

208356L/1

na prawach rękopisu

INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Komunikat nr 741

MODEL FORMALNY STEROWANIA
OBIEKTEM RUCHOMYM PRZY
ZASTOSOWANIU AUTOMATU
PARAMETRYCZNEGO
(praca doktorska)

Andrzej Wołeczowski

Promotor:

doc. dr hab. inż.

Jan Kazimierczak

słowa kluczowe: system cybernetyczny, proces sterowania, gra
wielochodowa, automat parametryczny

Wrocław 1978

79021508007

mgr inż. Andrzej Wołczowski
Instytut Cybernetyki Technicznej
Politechniki Wrocławskiej
ul. Janiszewskiego 11/17, Wrocław
budynek C-3

Matce mojej poświęcam

SPIS TREŚCI

WSTĘP	5
1. MODEL FORMALNY SAMOSTERUJĄCEGO SIĘ OBIEKTU RUCHOMEGO	11
1.1. Opis mnogościowy systemu cybernetycznego zawierającego obiekty ruchome	11
1.2. Model mnogościowy ruchomego obiektu cybernetycznego ..	14
2. MODEL FORMALNY PROCESU STEROWANIA OBIEKTEM RUCHOMYM W UJĘCIU GRY PARAMETRYCZNEJ	21
2.1. Wieloetapowy proces decyzyjny w systemie <Q>	22
2.2. Dwuosobowa gra wielochodowa opisująca wieloetapowy proces decyzyjny	24
2.3. Dwupoziomowy proces sterowania w ujęciu parametrycznej gry wielochodowej	28
2.4. Model formalny gry opisującej proces sterowania reali- zacją wybranego zadania	35
3. MODEL FORMALNY GRY OPISUJĄCEJ STEROWANIE REALIZACJĄ ZADANIA ROZPOZNAWANIA KONFIGURACJI OTOCZENIA	44
3.1. Opis działania obiektu ruchomego realizującego zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu	45
3.2. Proces sterowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu	50
3.3. Komputerowa synteza dendrytu gry opisującej proces ste- rowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu .	63
4. DWUPOZIOMOWY PROCES STEROWANIA OBIEKTEM RUCHOMYM REALIZUJĄ- CYM ROZPOZNAWANIE KONFIGURACJI TERENU	71
4.1. Proces sterowania realizacją zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego	73
4.2. Proces sterowania realizacją zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego	86
4.3. Kodowanie konfiguracji terenu za pomocą liczb naturalnych	99
5. MODEL FORMALNY AUTOMATU PARAMETRYCZNEGO STERUJĄCEGO DZIA- ŁANIEM OBIEKTU RUCHOMEGO	109
5.1. Ogólna charakterystyka automatu rozgrywającego paramet- rycznego pełniącego funkcję organu sterującego obiektu ruchomego	109
5.2. Model formalny automatu sterującego działaniem obiektu ruchomego badającego cechy fizyczne środowiska	116
5.3. Ogólna charakterystyka syntezy automatu sterującego roz- poznawaniem konfiguracji terenu	134
ZAKOŃCZENIE	144
DODATEK	145
LITERATURA	155

W pracy przedstawiono, w ujęciu teorii gier wielochoodowych, model formalny procesu sterowania obiektem ruchomym zdolnym do realizacji wielu zadań. Przyjęto, że organem sterującym takiego obiektu powinien być automat rozgrywający parametryczny. Podstawą syntezy takiego automatu jest dendryt gry parametrycznej opisującej proces sterowania działaniem obiektu ruchomego. Stąd też w pracy przedstawiono metodę syntezy dendrytu takiej gry. Przedstawiony model procesu sterowania zastosowano do rozwiązania problemu rozpoznawania konfiguracji terenu przez samosterujący się obiekt ruchomy. Podano opis formalny procesu działania obiektu realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu oraz przedstawiono metodę komputerowej syntezy gry opisującej proces sterowania działaniem takiego obiektu.

WSTĘP

Szybki rozwój nauki i techniki pociąga za sobą znaczne rozszerzenie działalności człowieka. Działalność ta wymaga w wielu przypadkach prowadzenia prac produkcyjnych lub badawczych, poza naturalnym środowiskiem człowieka, w warunkach, w których obecność ludzi jest niemożliwa lub szkodliwa dla ich zdrowia. Przykładem mogą być warunki występujące w kopalni położonej na dużej głębokości pod ziemią, warunki panujące na dnie oceanu, w próżni kosmicznej, na powierzchni innej planety lub w pomieszczeniach skażonych radioaktywnie. W takich przypadkach zachodzi konieczność stosowania urządzeń zastępujących bezpośrednią działalność człowieka.

Zdalne sterowanie takich urządzeń, przez człowieka, również podlega znacznym ograniczeniom, ze względu na małą szybkość i precyzję ludzkich reakcji.

Tak więc w pewnych przypadkach człowiek musi zostać całkowicie zastąpiony urządzeniami sterowanymi automatycznie. Szczególną klasę takich urządzeń, stanowią te urządzenia sterowane automatycznie, których działalność jest ściśle związana z ich przemieszczaniem się w przestrzeni i bezpośrednim oddziaływaniem na otaczające środowisko. Urządzenia takie mogą być sterowane zdalnie przez układ sterujący umieszczony poza urządzeniem ruchomym lub bezpośrednio przez układ sterujący wchodzący w skład urządzenia ruchomego.

Dotychczasowe rozwiązania obejmują proste przypadki sterowania bezpośredniego urządzeniami ruchomymi realizującymi pojedyncze zadania jak: lot po zadanej trajektorii, samonaprowadzanie się na cel czy automatyczne lądowanie. Przy bardziej skomplikowanych zadaniach stosowane są rozwiązania polegające na zdalnym sterowaniu za pomocą

odpowiednio zaprogramowanych komputerów.

W świetle tendencji rozwojowych cybernetyki, preferowane są urządzenia mające cechy samosterowalności.

Koncepcja przedstawiona w niniejszej pracy obejmuje zastosowanie jako organu sterującego urządzeniem ruchomym z przedstawionej klasy urządzeń, takiego automatu skończonego mającego postać urządzenia technicznego, który umieszczony bezpośrednio w urządzeniu ruchomym byłby w stanie sterować wykonywaniem kilku powiązanych ze sobą zadań. Zakłada się, że kolejność zadań nie jest znana a priori ze względu na niepekną znajomość otoczenia.

W pracy rozważono możliwość zastosowania jako automatu sterującego — rozgrywającego automatu parametrycznego [16]. Samosterujące się urządzenie ruchome zdolne do wykonywania skomplikowanych zadań nazwano umownie ruchomym obiektem cybernetycznym.

W celu określenia modelu procesu sterowania, obiekt ruchomy można traktować jako system cybernetyczny $\langle Q \rangle$ i opisać modelem matematycznym zawierającym te cechy systemu, które są istotne z punktu widzenia sterowania. Środowisko otaczające obiekt ruchomy, można przedstawić jako otoczenie $\langle \bar{Q} \rangle$ systemu cybernetycznego.

Działanie systemu $\langle Q \rangle$ w otoczeniu $\langle \bar{Q} \rangle$ opisuje trajektoria zakreślona w przestrzeni stanu przez wektor "z" stanu układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$.

Przyjmując pewne wartości współrzędnych stanu za wartości wyróżnione, można wszystkie możliwe stany układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ przedstawić za pomocą skończonego zbioru realizacji wektora "z". Działanie systemu $\langle Q \rangle$ można w takim przypadku rozpatrywać jako proces dyskretny.

Efektywność celowego działania systemu $\langle Q \rangle$ w otoczeniu $\langle \bar{Q} \rangle$ jest określona przez abstrakcyjny system F — reprezentujący sobą zachowanie się systemu, działanie i funkcje celu.

Przy takim opisie, problem sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$, w ujęciu teorii sterowania optymalnego, sprowadza się do następującego zadania:

- podać takie sterowanie systemem $\langle Q \rangle$, przy którym dla dowolnych stanów otoczenia, działanie systemu gwarantuje osiągnięcie jednego lub kilku określonych celów oraz optymalizuje abstrakcyjny system F . Jednym z możliwych modeli sterowania, pozwalających rozwiązać postawione zadanie, jest model matematyczny gry wielochodowej. Grę taką można sformułować następująco:

- dwóch graczy: gracz A i gracz B oddziałują, na przemian za pomocą określonych wymuszeń na zachowanie się systemu $\langle Q \rangle$

- w procesie działania system $\langle Q \rangle$ wypracowuje określoną wartość wskaźnika jakości działania.

- gracz A, za pomocą dostępnych mu wymuszeń, stara się uzyskać takie działanie systemu $\langle Q \rangle$, które maksymalizuje wskaźnik jakości, natomiast gracz B stosuje wymuszenia w sposób dowolny, jednakże zawsze należy liczyć się z możliwością, że wymuszenia te mogą być dla gracza A najbardziej niekorzystne.

Przy takim opisie procesu sterowania, rozwiązanie postawionego zadania sterowania optymalnego, sprowadza się do jednostronnej optymalizacji dendrytu gry wielochodowej na korzyść strony A [20]. Automat skończony zdolny do rozgrywania przedstawionej gry wielochodowej, jako gracz A, określamy mianem automatu rozgrywającego [16]. Duża liczba strategii chodowych graczy w grze opisującej wieloetapowy proces sterowania realizacją wielu zadań komplikuje zarówno syntezę dendrytu optymalnego gry jak i realizację fizyczną automatu rozgrywającego. Dlatego celowe jest przeprowadzenie podziału procesu działania systemu $\langle Q \rangle$ na zadania składowe i wynikającej stąd dekompozycji procesu sterowania.

Sterowanie realizacją każdego zadania składowego można traktować jako osobną grę wielochodową realizowaną na niższym poziomie sterowania, natomiast wybór kolejno realizowanego zadania składowego jest grą wielochodową realizowaną na poziomie wyższym. Zbiorowi zadań składowych odpowiada zbiór gier rozgrywanych przez tak samo określone strony gry przy zastosowaniu tych samych zbiorów strategii chodowych i w oparciu o takie same reguły gry. Zbiór takich gier można traktować jako pewną grę parametryczną. Tak więc niższy poziom sterowania odpowiada realizacji gry parametrycznej, natomiast wyższy poziom realizacji gry określającej dowolny parametr dla gry poziomu niższego. Automat skończony zdolny do rozgrywania parametrycznej gry wielochodowej określamy mianem parametrycznego automatu rozgrywającego.

Jednym z ciekawszych zastosowań przedstawionego modelu procesu sterowania jest wykorzystanie go przy sterowaniu obiektem ruchomym realizującym rozpoznawanie konfiguracji terenu. Obiekt ruchomy wykonując takie zadanie przemieszcza się w określony sposób w badanym obszarze. Rozpoznawanie konfiguracji terenu tego obszaru polega na wykrywaniu i zapamiętywaniu przeszkód występujących na drodze obiektu ruchomego. Zachowanie się obiektu na każdym etapie jego działania, zależy od konfiguracji terenu rozpoznanej w poprzednich etapach i zapewnia pełne przebadanie całego obszaru przy ruchu po najkrótszej drodze. Informacja o konfiguracji terenu rozpoznanego obszaru - po

odpowiednim zakodowaniu - jest pamiętana przez organ sterujący obiektu ruchomego lub przesyłana do organu nadrzędnego.

Praca składa się z pięciu tematycznie powiązanych rozdziałów, zakończenia i DODATKU.

W rozdziale pierwszym przedstawiono model formalny systemu cybernetycznego $\langle Q \rangle$ reprezentującego wszystkie istotne - z punktu widzenia sterowania - cechy obiektu ruchomego.

W rozdziale drugim scharakteryzowano dwupoziomowy proces sterowania systemem $\langle Q \rangle$. Poziom wyższy dotyczy wyboru realizowanego zadania, natomiast poziom niższy sterowania realizacją wybranego zadania. Dwupoziomowy proces sterowania opisano układem dwóch gier wielochodowych. Poziom niższy procesu sterowania opisuje wielochodowa gra parametryczna. Wybór kolejnych parametrów tej gry następuje w wyniku rozgrywania innej gry wielochodowej opisującej wyższy poziom procesu sterowania.

W rozdziale trzecim przedstawiono zastosowanie obiektu ruchomego do rozpoznawania konfiguracji terenu określonego obszaru.

Podano metodę komputerowej syntezy oraz jednostronnej optymalizacji gry wielochodowej opisującej proces sterowania obiektem ruchomym realizującym takie badanie obszaru.

W rozdziale czwartym przedstawiono metodę rozpoznawania konfiguracji terenu dowolnego obszaru polegającą na kolejnym badaniu jego fragmentów. Badanie każdego fragmentu potraktowano jako osobne zadanie. Podano model formalny dwupoziomowego procesu sterowania obiektem ruchomym realizującym takie rozpoznawanie konfiguracji terenu badanego obszaru. Przedstawiono proces sterowania powrotem obiektu ruchomego do punktu wyjściowego, oraz podano metodę komputerowej syntezy modelu formalnego takiego procesu. Ponadto przedstawiono metodę kodowania obrazów rozpoznanych konfiguracji terenu oraz opisano proces syntezy pełnego obrazu konfiguracji terenu badanego obszaru na podstawie obrazów składowych.

W rozdziale piątym określono strukturę automatu parametrycznego pełniącego rolę organu sterującego obiektu ruchomego badającego obszar o nieznannej pierwotnie konfiguracji terenu. Określono te własności i elementy funkcjonowania automatu, które wynikają z jego zastosowania do sterowania takim obiektem.

W DODATKU w załączniku 1 przedstawiono tabulogram programu syntezy oraz jednostronnej optymalizacji dendrytu gry opisującej proces sterowania obiektem ruchomym realizującym rozpoznawanie konfiguracji terenu. Program ten napisany w języku Fortran 1900 uruchomiono na maszynie cyfrowej serii ODRA 1300 - otrzymane przykładowe wyniki przedstawiono w załączniku 2 DODATKU.

Wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń

$\wedge, \vee, \neg, \Rightarrow, \Leftrightarrow$	- funktory rachunku zdań: iloczynu, sumy, negacji, implikacji, równoważności
$\forall, \exists$	- kwantyfikatory: ogólny, szczegółowy
$\longrightarrow$	- wzajemnie jednoznaczne przyporządkowanie elementów
$\longmapsto$	- odwzorowanie zbiorów
$a \in A, (a \notin A)$	- a jest (nie jest) elementem zbioru A
$\emptyset$	- zbiór pusty
$\cap, \cup$	- operacje mnogościowe: iloczynu, sumy
$A \subset B$	- zbiór A jest podzbiorem zbioru B
$\bar{S}$	- moc zbioru S
$A \times B$	- iloczyn kartezjański zbiorów A i B
$\{a: \beta(a)\}$	- zbiór wszystkich elementów, dla których prawdziwa jest funkcja zdaniowa $\beta(a)$
N_i^k	- podzbiór liczb naturalnych zawierający kolejne liczby od "i" do "k"
ROC	- ruchomy obiekt cybernetyczny
$\langle Q \rangle$	- ruchomy obiekt cybernetyczny rozpatrywany jako system
$\langle \bar{Q} \rangle$	- otoczenie systemu $\langle Q \rangle$
x_0	- organ sterujący ruchomego obiektu cybernetycznego
$\langle\langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle\rangle$	- ruchomy obiekt cybernetyczny rozpatrywany łącznie z otaczającym go środowiskiem jako układ system-otoczenie
z	- wektor stanu układu system-otoczenie w zakresie dziedzin funkcjonowania
π	- wektor stanu układu system-otoczenie w zakresie relacji pomiędzy obiektami

z	- wektor stanu układu system-otoczenie w zakresie dziedzin funkcjonowania oraz relacji pomiędzy obiektami
y	- decyzja etapowa
$d^{\bullet}$	- jednostronnie zoptymalizowany dendryt gry wielochodowej
d^{+}	- wyrażenie analityczne opisujące dendryt gry wielochodowej
p	- parametr
$q^{\bullet}$	- sytuacja pierwszego rodzaju
$q^{\bullet\bullet}$	- sytuacja drugiego rodzaju
ϑ	- relacja określająca następstwo sytuacji (pierwszego lub drugiego rodzaju) po sobie
$\oslash$	- relacja określająca wzajemne wykluczanie się sytuacji (pierwszego lub drugiego rodzaju)
$\delta(X)$	- średnica przestrzeni metrycznej
$\langle q \rangle$	- ciąg elementów typu q
$\text{ctd}^k q_i$	- k -ta współrzędna wektora q_i
$S(\langle q \rangle)$	- zbiór elementów ciągu $\langle q \rangle$
$\overline{G}$	- graf skierowany
$R^=$	- grupa obrotów kwadratu
X^{T_i}	- kwadrat metryczny otrzymany w wyniku przekształcenia $R_i^= \in R^=$ kwadratu metrycznego
$\text{ent}[\xi]$	- część całkowita liczby ξ
$\boxed{\vee}$	- operacja składania wektorów reprezentujących niekompletne obrazy konfiguracji terenu
$\langle A \rangle$	- automat parametryczny
$\langle A' \rangle$	- układ automatów parametrycznych tworzących organ sterujący obiektu ruchomego, rozpatrywanych jako system

1. MODEL FORMALNY SAMOSTERUJĄCEGO SIĘ OBIEKTU RUCHOMEGO

1.1. Opis mnogościowy systemu cybernetycznego zawierającego obiekty ruchome

Działanie organizmów spotykanych w przyrodzie lub społeczeństwie ludzkim, ma charakter celowy. Przykładami takich organizmów, mogą być: organizmy żywe, zakłady produkcyjne, zakłady badawcze, zjednoczenia czy wreszcie organizm państwowy.

Organizmy takie można rozważać w ujęciu teorii systemów jako systemy z zachowaniem celowym zdefiniowane następująco:

Def. 1.1. System z zachowaniem celowym, jest to zbiór obiektów funkcjonujących w określonych dziedzinach, wraz z relacjami pomiędzy tymi obiektami i dziedzinami ich funkcjonowania, przy czym wszystkie obiekty współdziałają ze sobą tak, aby osiągnąć z góry zadany cel.

Rozpatrując przedstawione organizmy z punktu widzenia sterowania ich działalnością, niektóre z nich można traktować jako systemy cybernetyczne, zgodnie z definicją:

Def. 1.2. System cybernetyczny jest to system z zachowaniem celowym, którego funkcjonowanie rozpatrywane jest w kontekście przetwarzania informacji i sterowania, posiadający własny element sterujący.

W trakcie działania system cybernetyczny podlega określonym oddziaływaniom zewnętrznym

Def. 1.3. Otoczenie systemu cybernetycznego jest to zbiór takich obiektów, które nie są obiektami systemu, a które wywierają wpływ na jego funkcjonowanie.

Szczególną klasę systemów cybernetycznych stanowią takie systemy, dla których jedną z dziedzin funkcjonowania jest przemieszczanie się pewnych obiektów lub całego systemu w przestrzeni.

Przykładami systemów cybernetycznych zawierających obiekty ruchome mogą być: - kopalnia, której działalność związana jest z przemieszczaniem się urządzeń urabiających i transportujących kopalinę, - placówka badawcza na powierzchni innej planety, której działanie związane jest z przemieszczaniem się urządzeń badających określony obszar planety, - system obiektów na dnie oceanu, - gospodarstwo rolne, którego działanie związane jest z przemieszczaniem się urządzeń automatycznych obrabiających glebę, pielęgnujących rośliny i zbierających plony.

System cybernetyczny zawierający obiekty ruchome oznaczmy symbolem $\langle Q' \rangle$, natomiast otoczenie systemu symbolem $\langle \bar{Q}' \rangle$.

W ujęciu abstrakcyjnym, zgodnie z def. 1.1 i 1.2, system taki określa czwórka elementów:

$$\langle Q', \Gamma', \Omega', F' \rangle \quad (1.1)$$

gdzie:

- Q' - zbiór elementów systemu (obiektów systemu)
- Γ' - zbiór dziedzin funkcjonowania (własności systemu)
- Ω' - zbiór relacji
- F' - system abstrakcyjny charakteryzujący działanie i zachowanie się systemu $\langle Q' \rangle$

Zbiór obiektów systemu $\langle Q' \rangle$ przedstawia się następująco:

$$Q' = \{x'_0, x'_1, \dots, x'_i, \dots, x'_m\} \quad (1.2)$$

gdzie: x'_0 - organ sterujący systemu

Obiekty scharakteryzowane elementami $x \in Q'$ (1.2) mogą cechować się samosterowalnością, być sterowane centralnie przez organ sterujący x'_0 systemu lub pełnić w działaniu systemu rolę pomocniczą nie podlegającą sterowaniu.

Ze względu na charakter sterowania obiektów systemu $\langle Q' \rangle$, na zbiorze Q' (1.2) określona jest następująca rodzina podzbiorów:

$$Q^{+'} = \{X'_0, X'_1, X'_2, X'_3\} \quad (1.3)$$

gdzie:

- X'_0 - jednoelementowy zbiór, reprezentujący organ sterujący systemu
- X'_1 - zbiór obiektów ruchomych posiadających własne organy sterujące
- X'_2 - zbiór pozostałych obiektów sterowanych (nie posiadających własnych organów sterujących)
- X'_3 - zbiór obiektów niesterowanych

Podzbiory rodziny Q^{+} (1.3) przedstawiają się następująco:

$$X'_0 = \{x'_0\} \quad (1.4)$$

$$X'_1 = \{x'_{1,1}, x'_{1,2}, \dots, x'_{1,i}, \dots, x'_{1,s}\} \quad (1.5)$$

$$X'_2 = \{x'_{2,1}, x'_{2,2}, \dots, x'_{2,j}, \dots, x'_{2,v}\} \quad (1.6)$$

$$X'_3 = \{x'_{3,1}, x'_{3,2}, \dots, x'_{3,k}, \dots, x'_{3,w}\} \quad (1.7)$$

System cybernetyczny $\langle Q' \rangle$ funkcjonuje w określonych dziedzinach stanowiących elementy zbioru Γ' :

$$\Gamma' = \{\tilde{A}', \tilde{B}', \dots, \tilde{M}'\} \quad (1.8)$$

Przykładowo, dla systemu jaki stanowi zautomatyzowana kopalnia, elementami zbioru Γ' (1.8) są takie dziedziny jak: badania występowania kopalin, urabianie kopalin, transport, zaopatrzenie, itp., natomiast dla systemu jaki stanowi placówka badawcza położona na powierzchni innej planety, dziedzinami są: próbkowanie zadanego obszaru, badania laboratoryjne próbek, zaopatrzenie w energię, remont urządzeń badawczych, itp.

Między obiektami systemu $\langle Q' \rangle$ oraz między dziedzinami jego funkcjonowania, występują relacje zawarte w zbiorze Ω' .

Dla dalszych rozważań istotna jest relacja, określająca wzajemne oddziaływanie między organem sterującym x'_0 a obiektami ze zbioru X'_1 (1.5) oznaczona symbolem Π'_s . Relacja Π'_s jest określona na iloczynie kartezjańskim zbioru Q' (1.2) w następujący sposób:

$$Q' \times Q' \supset \Pi'_s = \{(x'_i, x'_j) : x'_i = x'_0 \in X'_0 \wedge x'_j \in X'_1, j \in N\} \quad (1.9)$$

Każda para typu $(x'_i, x'_j) \in \Pi'_s$ charakteryzuje wzajemne oddziaływanie organu sterującego $x'_0 \in X'_0$ (1.4) na samosterujący się obiekt ruchomy $x'_j \in X'_1$ (1.5) (sterowanie nadrzędne obiektem) oraz oddziaływanie obiektu ruchomego na organ sterujący (dostarczanie informacji o sytuacji obiektu).

Ruchome obiekty cybernetyczne ujęte w zbiorze X'_1 (1.5), ze względu na fakt, że posiadają one własne organy sterujące, można traktować jako podsystemy z zachowaniem celowym systemu $\langle Q' \rangle$.

Zbiór podsystemów z zachowaniem celowym, systemu $\langle Q' \rangle$ jest więc równoliczny ze zbiorem X'_1 (1.5) i przedstawia się następująco:

$$Q' = \{\langle Q_1 \rangle, \langle Q_2 \rangle, \dots, \langle Q_s \rangle\} \quad (1.10)$$

Działanie określonego obiektu cybernetycznego $x'_i \in X'_1$ (1.5) w oto-

czeniu pozostałych obiektów $x_j \in Q' (1.2)$ systemu $\langle Q \rangle$ oraz otoczenia systemu $\langle \bar{Q} \rangle$, można rozpatrywać jako działanie podsystemu $\langle Q_i \rangle \in Q'$.

Dla uproszczenia opisu formalnego wybrany podsystem $\langle Q_i \rangle$ będzie dalej określany mianem systemu $\langle Q \rangle$.

Pozostałe obiekty systemu $\langle Q' \rangle$ oraz otoczenia $\langle \bar{Q}' \rangle$, które mają bezpośredni wpływ na działanie systemu $\langle Q_i \rangle = \langle Q \rangle$, traktowane są jako otoczenie systemu $\langle Q \rangle$ i oznaczone symbolem $\langle \bar{Q} \rangle$.

Przykładami ruchomego obiektu cybernetycznego stanowiącego system $\langle Q \rangle$ może być: automatyczna koparka pracująca w zautomatyzowanej kopalni, urządzenie do automatycznego badania powierzchni innej planety lub automatyczny kombajn rolniczy.

1.2. Model mnogościowy ruchomego obiektu cybernetycznego

Ruchomy obiekt cybernetyczny, oznaczany również skrótem ROC, jest samosterującym się urządzeniem technicznym zdolnym do przemieszczania się na płaszczyźnie oraz do wykonywania na niej pewnych czynności fizycznych.

Z punktu widzenia procesu sterowania, ROC można rozpatrywać jako pewien podsystem, cybernetycznego systemu $\langle Q' \rangle$, określony mianem systemu $\langle Q \rangle$ i zawierający wszystkie istotne dla sterowania cechy obiektu ruchomego.

W ujęciu abstrakcyjnym system $\langle Q \rangle$ można zdefiniować następująco:

Def. 1.4.

System $\langle Q \rangle$ stanowiący abstrakcyjny odpowiednik ROC jest czwórką

$$\langle Q, \Gamma, \Omega, F \rangle$$

gdzie:

Q - zbiór obiektów systemu $\langle Q \rangle$ odpowiadających elementom ROC

Γ - zbiór dziedzin funkcjonowania ROC

Ω - zbiór relacji

F - abstrakcyjny system charakteryzujący zachowanie się ROC

System $\langle Q \rangle$ działa w otoczeniu oznaczonym symbolem $\langle \bar{Q} \rangle$.

Def. 1.5.

Otoczenie $\langle \bar{Q} \rangle$ systemu $\langle Q \rangle$, jest scharakteryzowane trójką elementów abstrakcyjnych

$$\langle \bar{Q}, \bar{\Gamma}, \bar{\Omega} \rangle$$

gdzie:

- $\bar{Q}$ - zbiór obiektów wywierających wpływ na funkcjonowanie systemu $\langle Q \rangle$ nie będących obiektami tego systemu
- $\bar{P}$ - zbiór dziedzin funkcjonowania otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$
- $\bar{\Omega}$ - zbiór relacji

Zbiór obiektów systemu $\langle Q \rangle$ przedstawia się następująco:

$$Q = \{x_0, x_1, \dots, x_n\} \quad (1.11)$$

gdzie:

x_0 - organ sterujący ROC

Przykładami obiektów $x \in Q$ (1.11) mogą być: zespół napędowy, zespół receptorów, organ sterujący, organ wykonawczy, zespół zasilający, itp.

Ze względu na potrzebę wyróżnienia organu sterującego ROC jako tego obiektu, którego synteza jest głównym celem pracy, na zbiorze Q (1.11) określona jest rodzina podzbiorów:

$$Q^+ = \{x_0, x_1\} \quad (1.12)$$

gdzie:

x_0 - jednoelementowy zbiór reprezentujący organ sterujący ROC

x_1 - zbiór pozostałych elementów składowych ROC

Zbiór obiektów otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ przedstawia się następująco:

$$\bar{Q} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m\} \quad (1.13)$$

Zbiór $\bar{Q}$ (1.13) zawiera elementy będące obiektami aktywnymi lub pasywnymi. Dla rozróżnienia tych elementów, na zbiorze $\bar{Q}$ (1.13) jest określona rodzina podzbiorów:

$$\bar{Q}^+ = \{x_2, x_3\} \quad (1.14)$$

gdzie:

x_2 - zbiór pasywnych obiektów otoczenia, tj. takich, których stany w określonych dziedzinach są niezmiennie w czasie

x_3 - zbiór aktywnych obiektów otoczenia, tj. takich, których stany w określonych dziedzinach są zmienne w czasie.

Zbiór dziedzin funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$ przedstawia się następująco:

$$\Gamma = \{ \tilde{A}, \tilde{B}, \dots, \tilde{K} \} \quad (1.15)$$

Na przykład, dla ROC pełniącego funkcję automatycznej koparki i rozpatrywanego jako system $\langle Q \rangle$, dziedziny funkcjonowania mogą być następujące: prędkość przemieszczania się, kierunek i zwrot, zasób energii, siła nacisku, itp.

Podobnie do zbioru Γ (1.15) można określić zbiór $\bar{\Gamma}$ dziedzin funkcjonowania otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$:

$$\bar{\Gamma} = \{ \tilde{A}, \tilde{B}, \dots, \tilde{M} \} \quad (1.16)$$

Elementami $\tilde{A}, \tilde{B} \dots \tilde{M}$ zbioru $\bar{\Gamma}$ mogą być pewne dziedziny funkcjonowania należące do zbioru Γ (1.15) jak i dziedziny nie należące do zbioru Γ takie jak: ukształtowanie terenu, temperatura, twardość, wilgotność, skład chemiczny, itp.

Elementy zbiorów Γ i $\bar{\Gamma}$ opisane tymi samymi symbolami odpowiadają takim samym dziedzinom funkcjonowania.

Wzajemne oddziaływanie systemu $\langle Q \rangle$ z otoczeniem $\langle \bar{Q} \rangle$ można rozpatrywać jako oddziaływanie między elementami $x_1 \in X_1 \in Q^+$ a elementami $\bar{x}_j \in X_2 \in \bar{Q}^+$ oraz $\bar{x}_j \in X_3 \in \bar{Q}^+$.

Oddziaływanie to można w pewnym uproszczeniu rozpatrywać jako oddziaływanie między zbiorem X_1 traktowanym jako element rodziny Q^+ a zbiorami X_2 i X_3 traktowanymi jako elementy rodziny $\bar{Q}^+$.

Tworząc sumę zbiorów Q^+ i $\bar{Q}^+$ otrzymamy zbiór oddziaływujących na siebie elementów:

$$Q^+ \cup \bar{Q}^+ = Q^{\mathbb{K}}$$

$$Q^{\mathbb{K}} = \{ X_0, X_1, X_2, X_3 \} \quad (1.17)$$

przy czym: element X_0 jako organ sterujący systemu $\langle Q \rangle$ oddziałuje tylko z elementem X_1

System $\langle Q \rangle$ wraz z otoczeniem $\langle \bar{Q} \rangle$, można traktować jako układ $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$, którego obiekty są elementami zbioru $Q^{\mathbb{K}}$.

Obiekty układu funkcjonują w dziedzinach przynależnych do sumy zbiorów Γ i $\bar{\Gamma}$.

$${}^+\tilde{A} \times {}^+\tilde{B} \times \dots \times {}^+\tilde{M} \supset Z'$$

otrzymamy zbiór Z'

$$Z' = \{z'_1, z'_2, \dots, z'_s\} \quad (1.21)$$

Elementami zbioru Z' (1.21) są m -elementowe, uporządkowane ciągi typu:

$$z' = [a, b, c, \dots, m] \quad (1.22)$$

gdzie:

$$a_i = a_i \in {}^+\tilde{A}$$

Ciąg typu z' (1.22) można traktować jako określoną realizację wektora opisującego stan układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie dziedzin funkcyjowania.

Zbiór Z' (1.21) jest zbiorem dopuszczalnych realizacji wektora stanu układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie dziedzin jego funkcyjowania.

Trzecim elementem charakteryzującym działanie systemu $\langle Q \rangle$, jest (zgodnie z def. 1.4.) zbiór Ω , zawierający relacje występujące zarówno między obiektami jak i dziedzinami funkcyjowania systemu. Szczególnie istotne dla dalszych rozważań są relacje występujące między obiektami,

Def. 1.6.

Mianem relacji między obiektami systemu $\langle Q \rangle$ określamy każde wzajemne oddziaływanie obiektów na siebie.

W podobny sposób można określić relacje występujące między obiektami otoczenia $\langle\bar{Q}\rangle$ (zbiór $\bar{\Omega}$).

Dla uproszczenia opisu formalnego wspomniane relacje można rozważać łącznie w odniesieniu do obiektów układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$, stanowiących elementy zbioru $Q^{\mathbb{R}}$ (1.17).

Zgodnie z def. 1.6. relacją określoną na zbiorze $Q^{\mathbb{R}}$ (1.17) nazywamy zbiór Π_S będący podzbiorem produktu $(Q^{\mathbb{R}})^2$:

$$\Pi_S \subset Q^{\mathbb{R}} \times Q^{\mathbb{R}}$$

$$\Pi_S = \{(x_1, x_2), \dots, (x_3, x_2)\} \quad (1.23)$$

$$\Gamma \cup \bar{\Gamma} = \Gamma^{\mathbb{K}}$$

$$\Gamma^{\mathbb{K}} = \{ \tilde{A}, \tilde{B}, \dots, \tilde{M} \} \quad (1.18)$$

gdzie:

elementy $\tilde{A}, \tilde{B}, \dots, \tilde{M}$ odpowiadają dziedzinom funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$ lub otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ lub też wspólnym dziedzinom funkcjonowania zarówno systemu $\langle Q \rangle$ jak i otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$.

Stany układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ w dziedzinach funkcjonowania należących do zbioru $\Gamma^{\mathbb{K}}$ (1.18) przyjmują wartości z określonych przedziałów. Liczba wartości zawartych w dowolnym ograniczonym przedziale jest nieskończona. Przyjmując skończoną liczbę wartości z danego przedziału za wartości wyróżnione i przyporządkowując tym wartościom otaczające je wartości niewyróżnione, możemy dowolną wartość z danego przedziału odczytać jako odpowiadającą jej wartość wyróżnioną. Zbiór możliwych do odczytania wartości jest w takim wypadku zbiorem skończonym.

Przedstawiony proces dyskretyzacji, z jednej strony umożliwia poprawną interpretację rzeczywistego procesu pomiaru, który z konieczności musi odbywać się z określonym poziomem rozdzielczości, z drugiej strony umożliwia zrealizowanie dyskretnego procesu sterowania dając skończone zbiory wartości.

Tak więc do dalszych rozważań zostanie przyjęte, że każdej dziedzinie funkcjonowania układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ jest przyporządkowany skończony zbiór wartości określający możliwe stany układu w danej dziedzinie. Przykładowo, możliwe wartości dla dziedziny $\tilde{A} \in \Gamma^{\mathbb{K}}$ tworzą zbiór:

$${}^+\tilde{A} = \{ a_1, a_2, \dots, a_l \} \quad (1.19)$$

Stan układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ jest określony poprzez stany jego obiektów, tak więc każdy element $a_i \in {}^+\tilde{A}$ jest trójką typu:

$$a_i = [a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}] \quad (1.20)$$

gdzie:

a_{i1}, a_{i2}, a_{i3} - stany obiektów X_1, X_2, X_3 w dziedzinie $\tilde{A}$

W wypadku, gdy obiekt $X \in Q^{\mathbb{K}}$ (1.17) nie funkcjonuje w dziedzinie A - odpowiadająca mu współrzędna wektora a_i przyjmuje wartość zero.

Tworząc iloczyn kartezjański zbiorów typu ${}^+\tilde{A}$ (1.19):

gdzie:

$$(X_i, X_j) \in \Pi_s \longleftrightarrow X_i \Pi_s X_j$$

Relacja typu Π_s może dotyczyć wzajemnego położenia obiektów, odległości, nacisku, zagłębienia (np. ramienia koparki w grunt).

Uwzględniając wszystkie typy możliwych związków, otrzymamy zbiór:

$$\Pi = \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_s, \dots, \Pi_r \quad (1.24)$$

gdzie:

$$\Pi_s \in \Pi \quad \text{jest zbiorem typu } \Pi_s \quad (1.23)$$

Wybierając ze zbioru Π_s te pary, w których poprzednikiem jest zawsze element X_i , otrzymamy zbiór $\Pi_s^1 \subset \Pi_s$, który określa jeden z wymienionych związków występujących między i -tym obiektem a pozostałymi obiektami.

Dla każdej pary (X_i, X_j) relacja $\Pi_s \in \Pi$ (1.24) może przyjmować różne stany. Określonym stanom danej relacji odpowiadają określone wartości z następującego zbioru:

$$+ \Pi_s^{i,j} = \{ \delta_{s,1}^{ij}, \delta_{s,2}^{ij}, \dots, \delta_{s,w}^{ij} \} \quad (1.25)$$

Biorąc pod uwagę wartości odpowiadające stanom relacji występujących między poszczególnymi parami $(X_i, X_j) \in \Pi_s^1$, można przedstawić stan obiektu X_i w zakresie relacji Π_s z pozostałymi obiektami.

Stan taki wyraża wektor:

$$\pi_s^1 = [\delta_{s,k}^{1,2}, \delta_{s,k}^{1,3}] \quad (1.26)$$

Uwzględniając wszelkie możliwe powiązania obiektów można określić stan systemu $\langle Q \rangle$ i jego otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w zakresie relacji Π_s

$$\pi_s = [\pi_s^1, \pi_s^2, \pi_s^3]$$

$$\pi_s = [\delta_{s,k}^{1,2}, \delta_{s,k}^{1,3}, \delta_{s,k}^{2,1}, \delta_{s,k}^{2,3}, \delta_{s,k}^{3,1}, \delta_{s,k}^{3,2}] \quad (1.27)$$

Uwzględniając wszystkie typy relacji między obiektami, aktualny stan układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie tych relacji można przedstawić wektorem:

$$\pi = [\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s, \dots, \pi_v]$$

$$\pi = [\delta_{1,k}^{1,2}, \delta_{1,k}^{1,3}, \delta_{1,k}^{2,1}, \dots, \delta_{2,k}^{1,2}, \dots, \delta_{v,k}^{3,2}] \quad (1.28)$$

Dodając do współrzędnych wektora stanu systemu i otoczenia $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie dziedzin funkcjonowania, współrzędne wektora stanu w zakresie relacji między obiektami, otrzymamy wektor "z" stanu układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$.

$$z = [z', \pi]$$

$$z = [a, b, \dots, m, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_v] \quad (1.29)$$

Wektor "z" przedstawia sobą kompletną informację niezbędną w procesie sterowania systemem $\langle Q \rangle$ w otoczeniu $\langle\bar{Q}\rangle$.

Zbiór możliwych stanów układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie dziedzin funkcjonowania oraz relacji między obiektami przedstawia się następująco:

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n\} \quad (1.30)$$

gdzie:

z_j - wektor typu z (1.29).

2. MODEL FORMALNY PROCESU STEROWANIA OBIEKTEM RUCHOMYM W UJĘCIU GRY PARAMETRYCZNEJ

Celem działania ruchomego obiektu cybernetycznego (ROC) jest realizacja określonych zadań. Aby cel ten został osiągnięty, działanie ROC musi być odpowiednio sterowane. Dla określenia modelu formalnego procesu sterowania ROC należy rozpatrywać jako system z zachowaniem celowym $\langle Q \rangle$. Działanie systemu $\langle Q \rangle$ w otoczeniu $\langle \bar{Q} \rangle$ jest reprezentowane ciągiem kolejnych wektorów $z \in Z$ (1.30) opisujących kolejne stany układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$. Przyjmując, że informacja o stanie układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ jest pobierana tylko w określonych chwilach czasu, działanie systemu $\langle Q \rangle$ można rozpatrywać jako proces dyskretny [5, 36].

Chwile czasu, w których pobierana jest informacja o stanie układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ tworzą ciąg:

$$\langle t \rangle = t_0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_m \quad (2.1)$$

Na osi czasu wyrazy ciągu $\langle t \rangle$ (2.1) są punktami, natomiast różnica typu $t_k - t_{k-1} = T_k$ wyznacza czas trwania k-tego etapu funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$. Dla uproszczenia opisu formalnego stan układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ w czasie trwania k-tego etapu jest oznaczony symbolem $z(k)$ (stan ten jest w czasie trwania etapu niezmienny).

Ciąg wektorów typu z (1.29) reprezentujący działanie systemu $\langle Q \rangle$ przedstawia się następująco:

$$\langle z \rangle = z(1), z(2), \dots, z(m) \quad (2.2)$$

gdzie: $z(k) = z(T_k) = z \in Z$ (1.30)

Obrazem działania systemu $\langle Q \rangle$ (reprezentowanego ciągiem typu $\langle z \rangle$ (2.2)) jest trajektoria zakreślona w przestrzeni stanów przez wektor z (1.29).

Zbiór wszystkich ciągów typu $\langle z \rangle$ odpowiadających dopuszczalnym trajektoriom przedstawia się następująco:

$$Z^0 = \{ \langle z \rangle_1, \langle z \rangle_2, \dots, \langle z \rangle_v \} \quad (2.3)$$

gdzie: każdy element $\langle z \rangle_i$ jest ciągiem typu $\langle z \rangle$ (2.2).

2.1. Wieloetapowy proces decyzyjny w systemie $\langle Q \rangle$

Działanie systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane ciągiem $\langle z \rangle$ (2.2) powinno zapewniać osiągnięcie określonego celu, przy dowolnym, jednak ograniczonym pewnymi regułami, zachowaniu się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$. Pożądane działanie można osiągnąć sterując wielkościami reprezentowanymi przez współrzędne wektora stanu z (1.29). Bezpośredniemu sterowaniu podlegają tylko te wielkości, które odpowiadają niektórym dziedzinom funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$. Pozostałe wielkości reprezentowane przez współrzędne wektora z (1.29) zmieniają się w sposób przypadkowy, zależny od wpływu otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$.

Ze względu na potrzebę wyróżnienia wielkości podlegających bezpośredniemu sterowaniu, na zbiorze Γ (1.15) dziedzin funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$ określona jest rodzina podzbiorów:

$$\Gamma^+ = \{ \Gamma^{\cdot}, \Gamma^{\cdot\cdot} \} \quad (2.4)$$

gdzie: $\Gamma^{\cdot}$ - zbiór dziedzin funkcjonowania, które obejmują wielkości podlegające bezpośredniemu sterowaniu

$\Gamma^{\cdot\cdot}$ - zbiór dziedzin funkcjonowania, które obejmują wielkości nie podlegające bezpośredniemu sterowaniu.

Każdej dziedzinie $\tilde{A}$, $\tilde{B}$, ..., $\tilde{M}$ funkcjonowania układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ przynależnej do zbioru $\Gamma^{\cdot\cdot}$ (1.18) odpowiada zbiór wektorów określających możliwe stany układu w tej dziedzinie.

Na przykład dziedzinie $\tilde{C} \in \Gamma^{\cdot\cdot}$ (1.18) odpowiada zbiór ${}^+\tilde{C}$ wektorów typu $c_1 = [c_{11}, c_{12}, c_{13}]$. Pierwsza współrzędna c_{11} wektora typu c_1 określa stan systemu $\langle Q \rangle$ w dziedzinie $\tilde{C}$. Druga i trzecia współrzędna c_{12} , c_{13} wektora, określają stan otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w tej dziedzinie. Rozpatrując tylko pierwsze współrzędne wektorów typu a , b , ..., m , każdej dziedzinie przynależnej do zbioru $\Gamma^{\cdot\cdot}$ (1.18) można przyporządkować zbiór, którego elementy określają możliwe stany systemu $\langle Q \rangle$ w tej dziedzinie:

$$\begin{array}{ccc} \tilde{A} & \longleftrightarrow & {}^+\tilde{A}_1 \\ \tilde{B} & \longleftrightarrow & {}^+\tilde{B}_1 \\ \vdots & & \vdots \\ \tilde{M} & \longleftrightarrow & {}^+\tilde{M}_1 \end{array} \quad (2.5)$$

Tworząc iloczyn kartezjański zbiorów ${}^+\tilde{A}_1, {}^+\tilde{B}_1, \dots, {}^+\tilde{M}_1$ przyporządkowanych dziedzinom funkcjonowania przynależnym do zbioru $\Gamma^* \in \Gamma^+ (2.4)$, otrzymamy zbiór:

$$Z^* \subset {}^+\tilde{A}_1 \times {}^+\tilde{B}_1 \times \dots \times {}^+\tilde{M}_1$$

$$Z^* = \{ z_1^*, z_2^*, \dots, z_v^* \} \quad (2.6)$$

Zbiór Z^* zawiera m-elementowe wektory typu:

$$z_j^* = [a_{ji1}, b_{ji1}, \dots, m_{ji1}] \quad (2.7)$$

gdzie:

$$a_{ji1} = \text{crd}^1 a_i, b_{ji1} = \text{crd}^1 b_i, \dots, m_{ji1} = \text{crd}^1 m_i$$

- symbol $\text{crd}^1 a_i$ oznacza 1-szą współrzędną wektora a_i , podobną interpretację posiadają pozostałe współrzędne wektora z_j^*

Wektor z^* określa stan systemu $\langle Q \rangle$ w zakresie dziedzin funkcjonowania przynależnych do zbioru $\Gamma^* \in \Gamma^+ (2.4)$. Wielkości reprezentowane współrzędnymi wektora z^* podlegają bezpośredniemu sterowaniu.

Na dowolnym etapie funkcjonowania, system $\langle Q \rangle$ - w wyniku odpowiedniego sterowania - może przyjąć dowolny stan, w zakresie dziedzin funkcjonowania przynależnych do zbioru Γ^* , opisany wektorem $z^* \in Z^* (2.6)$. Pomiędzy stanami systemu $\langle Q \rangle$, opisanymi wektorami $z^* \in Z^* (2.6)$ a stanami układu $\langle\langle Q \rangle\rangle, \langle\bar{Q}\rangle$, opisanymi wektorami $z \in Z (1.30)$ występują określone zależności.

Znając te zależności można określić takie sterowanie działaniem systemu $\langle Q \rangle$, które zapewnia optymalną realizację zadań.

Sterowanie takie można rozpatrywać jako wieloetapowy proces decyzyjny [20,33]. Przy takim podejściu sterowanie działaniem systemu $\langle Q \rangle$ polega na podejmowaniu na każdym etapie działania decyzji sterującej wielkościami reprezentowanymi przez niektóre współrzędne wektora stanu $z (1.29)$. Każda decyzja sterująca podejmowana na danym etapie, zależy od celu działania systemu $\langle Q \rangle$ oraz stanów w jakich układ $\langle\langle Q \rangle\rangle, \langle\bar{Q}\rangle$ znajdował się na kolejnych etapach w przeszłości.

Decyzje sterujące stosowane na poszczególnych etapach działania systemu $\langle Q \rangle$ noszą nazwę decyzji etapowych. Każda decyzja etapowa jest złożona z decyzji składowych, sterujących wielkościami, które odpowiadają dziedzinom funkcjonowania przynależnym do zbioru $\Gamma^* \in \Gamma^+ (2.4)$. Decyzję taką można wyrazić za pomocą m-elementowego wektora:

$$y = [y_A, y_B, \dots, y_M] \quad (2.8)$$

gdzie:

y_A - decyzja składowa dotycząca sterowania systemem w zakresie dziedziny $\tilde{A} \in \Gamma$.

W wyniku decyzji etapowej $y(k)$ (gdzie: $y(k)$ jest decyzją wyrażoną wektorem y (2.8), zastosowaną na k -tym etapie) system $\langle Q \rangle$ przechodzi od stanu $z^*(k)$ do określonego stanu $z^*(k+1)$ (gdzie: $z^*(k)$, $z^*(k+1)$ stany systemu na k -tym i $k+1$ -szym etapie działania, w zakresie dziedzin funkcjonowania przynależnych do zbioru Γ).

$$z^*(k), y(k) \longrightarrow z^*(k+1) \quad (2.9)$$

Zbiór decyzji etapowych przedstawia się następująco:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (2.10)$$

gdzie: każdy element y_i jest wektorem typu y (2.8).

2.2. Dwuosobowa gra wielochodowa opisująca wieloetapowy proces decyzyjny

W ujęciu teorii sterowania optymalnego, problem sterowania systemem $\langle Q \rangle$, sprowadza się do następującego zadania:

- określić takie sterowanie systemem $\langle Q \rangle$, przy którym dla dowolnych stanów otoczenia, działanie systemu optymalizuje wskaźnik jakości.

Jednym z możliwych modeli sterowania, pozwalających rozwiązać postawione zadanie jest model matematyczny gry wielochodowej. Grę taką można sformułować następująco:

- dwóch graczy: gracz A i gracz B oddziałują na przemian, za pomocą dostępnych im wymuszeń, na zachowanie się systemu $\langle Q \rangle$
- w procesie działania systemu $\langle Q \rangle$ wypracowuje określoną wartość wskaźnika jakości działania
- gracz A za pomocą dostępnych mu wymuszeń stara się uzyskać takie działanie systemu $\langle Q \rangle$, które maksymalizuje wskaźnik jakości, natomiast gracz B stosuje wymuszenia w sposób dowolny (ograniczony pewnymi regułami) jednakże zawsze należy liczyć się z możliwością, że wymuszenia te mogą być dla gracza A najbardziej niekorzystne.

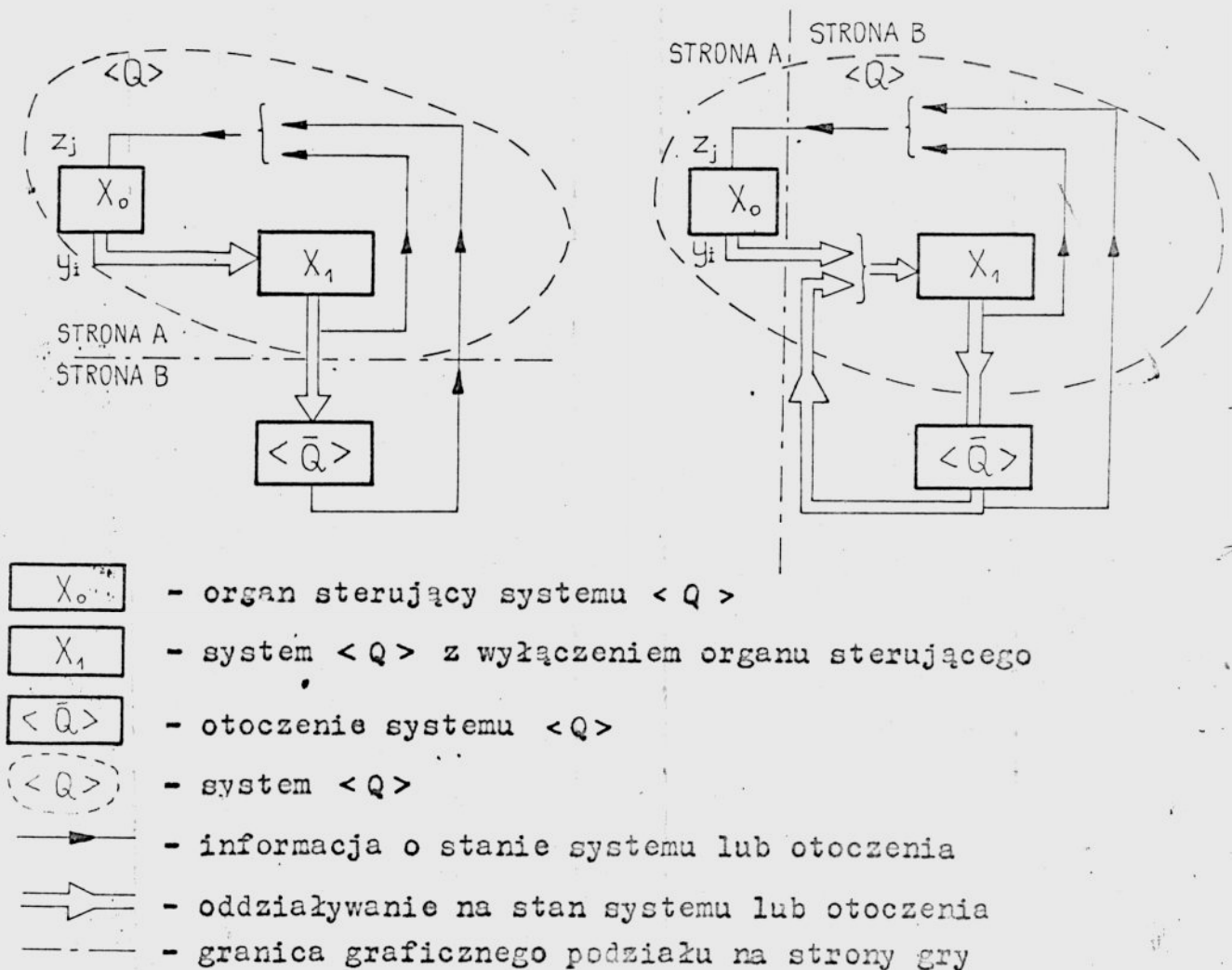
Przy takim opisie procesu sterowania, rozwiązanie postawionego zadania sterowania optymalnego sprowadza się do jednostronnej optymalizacji dendrytu gry wielochodowej na korzyść strony A. Zoptymalizowany dendryt gry wielochodowej jest podstawą do syntezy automatu rozgrywającego, mogącego pełnić rolę organu sterującego X_0 systemu $\langle Q \rangle$.

Istotny wpływ na określenie modelu formalnego tego rodzaju gry ma podział układu $\langle\langle Q \rangle, \langle\bar{Q}\rangle\rangle$ na strony gry.

W przypadku ogólnym na działanie systemu $\langle Q \rangle$ ma wpływ także bezpośrednio oddziaływanie otoczenia $\langle\bar{Q}\rangle$. W zależności od rodzaju tego wpływu można wyróżnić dwa przypadki funkcjonowania systemu:

- przypadek kiedy bezpośredni wpływ otoczenia na system jest pomijalny
- przypadek kiedy bezpośredni wpływ otoczenia na system jest znaczny i nie można go pominąć.

Na rys. 2.1. przedstawiono obydwa przypadki oraz odpowiadające im możliwe do przyjęcia podziały układu $\langle\langle Q \rangle, \langle\bar{Q}\rangle\rangle$.



Rys. 2.1. Podział systemu i otoczenia $\langle\langle Q \rangle, \langle\bar{Q}\rangle\rangle$ na strony gry

W przypadku "a" jako stronę A gry przyjęto system $\langle Q \rangle$ wraz z zawartym w nim organem sterującym, natomiast jako stronę B - otoczenie $\langle \bar{Q} \rangle$.

W przypadku "b" jako stronę A gry przyjęto organ sterujący X_0 systemu $\langle Q \rangle$ natomiast jako stronę B pozostałą część systemu i otoczenie $\langle \bar{Q} \rangle$. Przypadek "b" jest przypadkiem bardziej ogólnym, a przyjęty w nim podział układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ na strony gry wprowadza wyraźne rozgraniczenie organu sterującego X_0 i pozostałej części systemu $\langle Q \rangle$, dlatego też podział ten został przyjęty do dalszych rozważań. Strategiami chodowymi strony A gry, dla przypadku "b", są decyzje sterujące organu X_0 , natomiast strategiami chodowymi strony B są wektory stanu układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$. Zbiory strategii chodowych strony A i strony B przedstawiają się następująco:

$$Y = \{ y_1, y_2, \dots, y_n \}$$

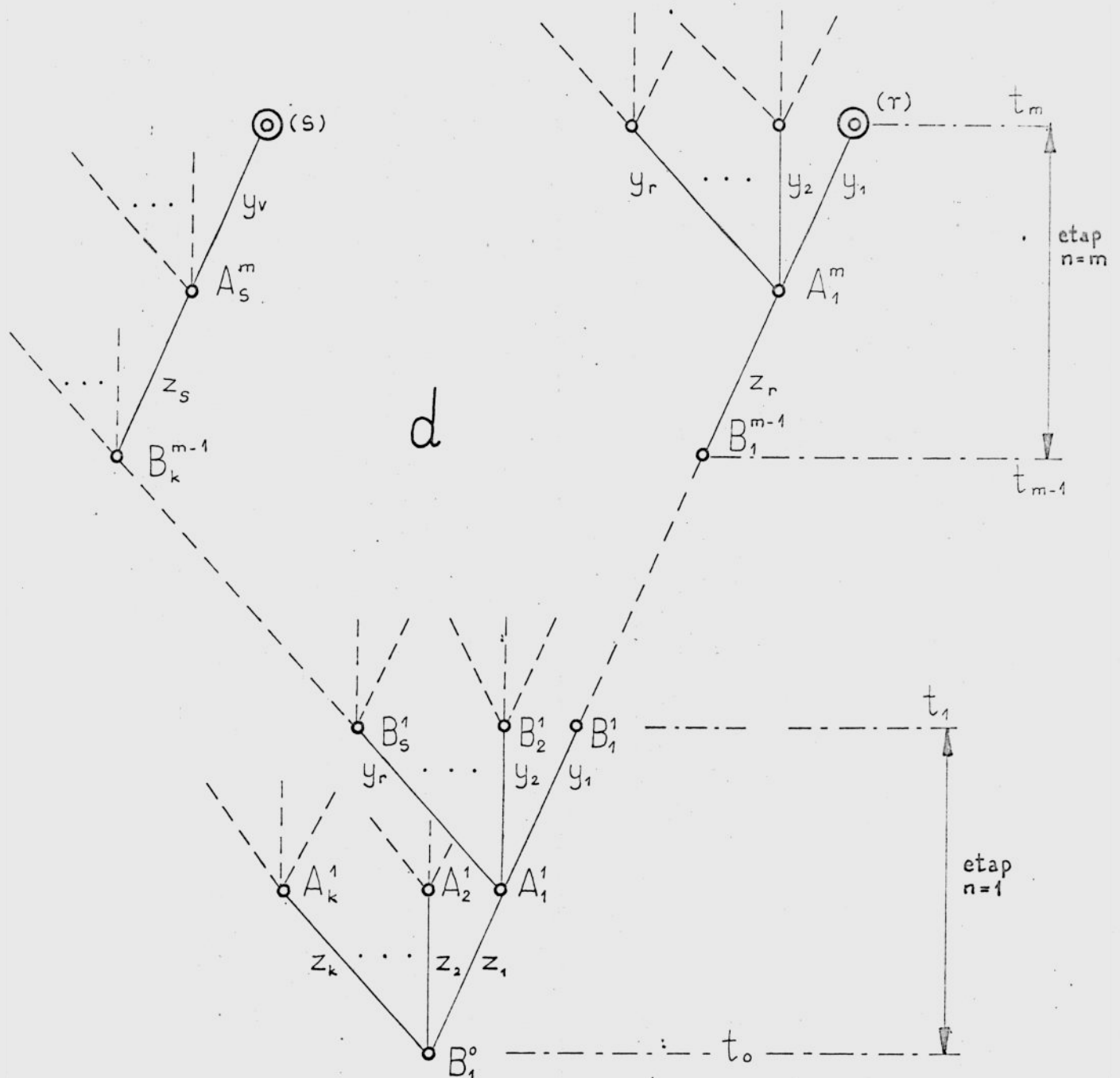
$$Z = \{ z_1, z_2, \dots, z_v \}$$

Strategie chodowe są stosowane przez strony gry zgodnie z określonymi regułami. Na reguły gry składają się zarówno ogólne zasady prowadzenia gier wielochodowych, jak i ograniczenia stosowania strategii chodowych przez strony gry, wynikające z określonych wzajemnych zależności między decyzjami sterującymi a wektorami stanu układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$. W oparciu o znajomość zbiorów strategii chodowych graczy oraz zestaw reguł gry, można przeprowadzić syntezę dendrytu gry wielochodowej [8,37].

Fragment dendrytu takiej gry został pokazany na rys. 2.2.

Wierzchołki dendrytu "d" odpowiadają sytuacjom powstałym w grze, natomiast krawędzie dendrytu odpowiadają strategiom chodowym zastosowanym przez strony gry. Każdy wierzchołek dendrytu, z wyjątkiem wierzchołków końcowych, jest opisany odpowiednim symbolem wskazującym na gracza wykonującego ruch w danej sytuacji. Symbol ten ma postać: A_k^n - dla gracza A lub B_k^n dla gracza B, przy czym "n" określa numer piętra dendrytu, a "k" kolejny numer danego wierzchołka w piętrze n-tym. Wierzchołek początkowy B_1^0 odpowiada sytuacji w jakiej dana gra się rozpoczyna, natomiast wierzchołki końcowe odpowiadają takim sytuacjom gry, w których grę uznaje się za zakończoną.

Każda ścieżka dendrytu "d", prowadząca od wierzchołka początkowego B_1^0 do jednego z wierzchołków końcowych, reprezentuje partię gry. Sekwencja strategii chodowych gracza A lub B, zastosowanych kolejno w danej partii, nosi nazwę strategii pełnej tego gracza.



Rys. 2.2. Przykładowy fragment dendrytu gry

Każdej strategii pełnej gracza A odpowiada ciąg decyzji etapowych podjętych na kolejnych etapach działania systemu $\langle Q \rangle$, natomiast strategii pełnej gracza B - ciąg $\langle z \rangle$ charakteryzujący działanie systemu sterowane kolejnymi decyzjami, przy danym zachowaniu się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$. Każdemu wierzchołkowi końcowemu dendrytu jest przyporządkowany określony wynik gry oznaczony symbolem (r) , równy wartości wskaźnika jakości działania systemu $\langle Q \rangle$.

Dendryt gry można zapisać w postaci analitycznej, za pomocą odpowiednio dobranego ciągu symboli reprezentujących elementy struktury dendrytu. Postać wyrażenia analitycznego opisującego dendryt "d" z rysunku 2.2. przedstawia się następująco:

$$d^+ = \left(z_1 \left(y_1 \left(\dots \left(z_r \left(y_1 \left((r) \right)^{2m}, y_2 \left(\dots \right)^{2m}, \dots \right)^{2m-1} \dots \right)^{2m-2} \dots \right)^2, y_2 \left(\dots \right)^2, \dots, y_r \left(\dots \left(z_s \left(y_r \left((s) \right)^{2m} \dots \right)^{2m-1} \dots \right)^{2m-2} \dots \right)^2 \right)^1, \dots, z_k \left(\dots \right)^1 \right)^0 \quad (2.11)$$

Przedstawienie dendrytu w postaci wyrażenia analitycznego umożliwia przeprowadzenie jego syntezy oraz jednostronnej optymalizacji na komputerze [16,18]. Duża liczba możliwych do rozegrania partii w grze opisującej wieloetapowy proces sterowania komplikuje zarówno syntezę zoptymalizowanego dendrytu gry jak i realizację fizyczną organu sterującego. Dlatego celowe jest przeprowadzenie podziału procesu działania systemu <Q> na procesy składowe, związane z realizowanymi przez system zadaniami i wynikającej stąd dekompozycji procesu sterowania. Przy założeniu, że działanie systemu <Q> podczas realizacji dowolnego zadania nie ma wpływu na jakość realizacji dowolnego innego zadania, podział taki znacznie upraszcza proces sterowania.

2.3. Dwupoziomowy proces sterowania w ujęciu parametrycznej gry wielochodowej

Zbiór zadań realizowanych przez system <Q> przedstawia się następująco:

$$K = \left\{ k_1, k_2, \dots, k_w \right\} \quad (2.12)$$

Na przykład dla systemu <Q>, którego działanie opisuje pracę automatycznej koparki, zadania przynależne do zbioru K (2.12) mają następującą interpretację: - badanie konfiguracji otoczenia, - pobieranie i analiza próbek gruntu, - urabianie kopaliny, - transport kopaliny do punktu zdawczego, - uzupełnianie zapasu energii, itp.

Każde zadanie $k_i \in K$ (2.12) system <Q> realizuje w wyniku

działania reprezentowanego ciągiem typu $\langle z \rangle$ (2.2). W ogólnym przypadku istnieje wiele różniących się między sobą ciągów $\langle z \rangle \in Z^0$ (2.3), reprezentujących działania prowadzące do realizacji zadania k_i . Każdemu z takich ciągów odpowiada zrealizowanie zadania z określonym wynikiem końcowym. Wynik końcowy jest kodowany liczbą naturalną. Zbiór możliwych wyników końcowych, dla zadań przynależnych do zbioru K (2.12) przedstawia się następująco:

$$G' = \{ g'_1, g'_2, \dots, g'_r \} \quad (2.13)$$

Dla każdego zadania k_i , na zbiorze Z^0 (2.3) można określić funkcję f'_i przyjmującą wartości ze zbioru G' (2.13):

$$g' = f'_i (\langle z \rangle) \quad (2.14)$$

Funkcja f'_i (2.14) charakteryzuje możliwe działania systemu prowadzące do realizacji zadania k_i . Na podstawie wyników końcowych kolejno realizowanych zadań, określany jest globalny wskaźnik jakości działania systemu $\langle Q \rangle$. Proces sterowania powinien zapewnić takie działanie systemu, które optymalizuje globalny wskaźnik jakości. Pomiedzy elementami zbioru Z^0 (2.3), stanowiącymi argumenty funkcji typu f'_i (2.14), istnieją wzajemne zależności. Zależności te można interpretować następująco; działanie systemu $\langle Q \rangle$ w przeszłości - reprezentowane ciągiem $\langle z \rangle_i \in Z^0$ (2.3) - wpływa w określony sposób na ciąg stanów $\langle z \rangle_j \in Z^0$ (2.3), w jakich system może się znaleźć w trakcie realizacji dowolnego zadania w przyszłości. Funkcje typu f'_i (2.14) tworzą więc pewien system. System ten wchodzi w skład abstrakcyjnego systemu F określającego działanie i zachowanie się systemu $\langle Q \rangle$.

W przypadku szczególnym można przyjąć, że dla dwóch dowolnych zadań $k_i, k_j \in K$ (2.12) (takich, że: $k_i \neq k_j$ oraz k_j jest wykonywane po k_i) działanie systemu $\langle Q \rangle$ związane z realizacją zadania k_i nie ma wpływu na jakość realizacji zadania k_j , natomiast może mieć wpływ na kolejność wystąpienia zadania k_j w procesie działania systemu. Przy takim założeniu, proces sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$ powinien zapewniać optymalną realizację każdego zadania $k \in K$ (2.12) oraz optymalną kolejność realizowania tych zadań.

Optymalne sterowanie realizacją zadania k_1 powinno zapewniać takie działanie systemu $\langle Q \rangle$, aby reprezentujący je ciąg $\langle z \rangle \in Z^0$ (2.3) - dla określonego zachowania się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ na kolejnych etapach realizacji zadania - optymalizował funkcję f_1^* (2.14) charakteryzującą działanie systemu w trakcie realizacji zadania k_1 . Ciąg taki oznaczamy symbolem $\langle z \rangle^K$. Ciągi $\langle z \rangle^K$ reprezentujące optymalne działanie systemu $\langle Q \rangle$ dla każdego możliwego sposobu zachowania się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ na kolejnych etapach realizacji zadania k_1 , tworzą zbiór:

$$Z_1^K = \left\{ \langle z \rangle_{i,1}^K, \langle z \rangle_{i,2}^K, \dots, \langle z \rangle_{i,s}^K \right\} \quad (2.15)$$

Optymalną kolejność realizowanych zadań można określić na podstawie znajomości zachowania się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji kolejnych zadań $k \in K$ (2.12) w przeszłości. Zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_1 można określić na podstawie pewnych wybranych współrzędnych niektórych wektorów z (1.29), stanowiących elementy ciągu $\langle z \rangle^K \in Z_1^K$ (2.15) reprezentującego działanie systemu $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji tego zadania. W szczególnym przypadku mogą być brane pod uwagę tylko pewne elementy składowe wybranych współrzędnych. Zgodnie z powyższym można przyjąć, że zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_1 , określa wektor:

$$g_i = \left[\bar{g}_{i,r_1}, \bar{g}_{i,r_2}, \dots, \bar{g}_{i,r_v} \right] \quad (2.16)$$

Każda współrzędna $\bar{g}_{i,r_j}$ wektora g_i (2.16) jest wektorem, którego współrzędne przyjmują wartości równe wartościom pewnych wybranych współrzędnych określonego wektora $z(k)$ stanowiącego jeden z elementów ciągu $\langle z \rangle^K \in Z_1^K$ (2.15). Kolejność współrzędnych wektora g_i (2.16), jest związana z przyjętą w danym zadaniu k_1 kolejnością pewnych niezmiennych elementów struktury otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ np.: punkty lub fragmenty badanego terenu. W ogólnym przypadku kolejność badania takich stałych elementów struktury otoczenia jest zmienna i zależy od nieznanego a priori zachowania się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$.

Stąd też, wektor z (1.29) stanu układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$, charakteryzujący dany element struktury otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$, może wystąpić na różnych etapach działania systemu $\langle Q \rangle$ realizującego zadanie k_1 .

Z powyższego wynika, że w przyporządkowaniu:

$$\bar{g}_{i,r_j} \longleftrightarrow z(k) \quad (2.17)$$

numer "k" etapu, na którym wystąpił wektor z (1.29) przyporządkowany współrzędnej $\bar{g}_{i,r_j}$, nie jest stały lecz zmienia się w zależności od zachowania się otoczenia.

Zarówno wybór niezmiennych elementów struktury otoczenia dla zadania k_i , jak i związany z nim wybór określonych wektorów z (1.29) z ciągu $\langle z \rangle^{\mathbb{N}} \in Z_i^{\mathbb{N}}$ (2.15), których pewne współrzędne charakteryzują zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$, wynikają ze specyfiki zadania k_i .

Na przykład, współrzędne wektora g_i (2.16) w zadaniu badania konfiguracji terenu, reprezentują stany układu $\langle \langle Q \rangle \rangle$, $\langle \bar{Q} \rangle$ w zakresie dziedzin i relacji opisujących wystąpienie przeszkód na kolejnych, określonych w badanym obszarze, odcinkach.

Dla zadania k_i , zbiór możliwych wektorów typu g_i (2.16) przedstawia się następująco:

$$G_i = \left\{ g_{i,1}, g_{i,2}, \dots, g_{i,s} \right\} \quad (2.18)$$

Każdemu zadaniu $k \in K$ (2.12) odpowiada zbiór typu G_i (2.18):

$$k_r \longleftrightarrow G_r \quad (2.19)$$

Dla każdego zadania $k_i \in K$ (2.12), na zbiorze $Z_i^{\mathbb{N}}$ (2.15) można określić funkcję przyjmującą wartości ze zbioru G_i :

$$g = f_i(\langle z \rangle^{\mathbb{N}}) \quad (2.20)$$

Funkcja f_i (2.20) charakteryzuje zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji przez system $\langle Q \rangle$ zadania k_i , przy założeniu, że działanie systemu jest sterowane optymalnie.

Kolejność realizowanych zadań reprezentuje ciąg:

$$\langle k \rangle = k(1), k(2), \dots, k(j), \dots, k(s) \quad (2.21)$$

gdzie: symbol (j) wskazuje na kolejność wystąpienia danego zadania w procesie działania systemu.

Zbiór dopuszczalnych ciągów typu $\langle k \rangle$ (2.21) można oznaczyć następująco:

$$K^0 = \left\{ \langle k \rangle_1, \langle k \rangle_2, \dots, \langle k \rangle_n \right\} \quad (2.22)$$

Każdemu z zadań tworzących ciąg $\langle k \rangle_j \in K^0(2.22)$ jest przyporządkowany wektor typu $g_i(2.16)$ określający zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji tego zadania.

$$\left(k(s) \longleftrightarrow g_{i,r} \in G_i(2.18) \right) \iff \left(k(s) = k_i \in K(2.12) \right) \quad (2.23)$$

Na przykład, dla ciągu $\langle k \rangle_j = k_7(1), k_1(2), k_3(3)$ zachodzi przyporządkowanie:

$$k(1) \longleftrightarrow g_{7,r}, \quad k(2) \longleftrightarrow g_{1,r}, \quad k(3) \longleftrightarrow g_{3,r}$$

Wpływ kolejności realizowanych zadań, w zależności od zachowania się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ na wartość wskaźnika jakości działania systemu $\langle Q \rangle$, określa funkcja:

$$\gamma = f_0(\langle k \rangle, g_{1,r}, g_{2,r}, \dots, g_{w,r}) \quad (2.24)$$

Kolejność realizowanych przez system zadań powinna być taka, aby reprezentujący ją ciąg $\langle k \rangle \in K^0(2.22)$ optymalizował funkcję $f_0(2.24)$ dla danych wektorów $g_{1,r}, \dots, g_{w,r}$, określających zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$, w trakcie realizacji tych zadań.

Proces sterowania zapewniający pożądaną przebieg przedstawionego procesu działania systemu $\langle Q \rangle$ jest procesem dwupoziomowym. Na poziomie wyższym realizowany jest proces sterowania wyborem kolejności wykonywanych zadań, natomiast na poziomie niższym - proces sterowania realizacją wykonywanego zadania.

Proces sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania $k_i \in K(2.12)$ można opisać za pomocą gry wielochodowej przedstawionej w rozdziale 2.2. Dla każdego zadania $k \in K(2.12)$ można określić dendryt takiej gry, oznaczony symbolem d .

$$k_i \longleftrightarrow d_i \quad (2.25)$$

Zbiorowi zadań odpowiada zbiór dendrytów gier wielochodowych:

$$D = \{ d_1, d_2, \dots, d_w \} \quad (2.26)$$

Gry opisujące procesy sterowania realizacją zadań $k \in K(2.12)$ są rozgrywane przez te same strony gry, przy zastosowaniu tak samo określonych strategii chodowych obydwu graczy (wektory $z \in Z$ oraz $y \in Y$). Ponadto, ponieważ system $\langle Q \rangle$ nie może realizować jednocześnie dwu różnych zadań przynależnych do zbioru $K(2.12)$, omawiane gry są rozgrywane "oddzielnie".

dzielnie w czasie", tzn. w danej chwili czasu jest rozgrywana tylko jedna gra. Zbiór gier odpowiadających zadaniom $k \in K$ można traktować jako grę parametryczną.

Def. 2.1.

Dwuosobowa gra wielochodowa parametryczna jest zbiorem gier rozgrywanych "oddzielnie w czasie" przez te same strony gry, przy zastosowaniu tak samo określonych strategii chodowych.

Zbiór D (2.26) dendrytów gier tworzących grę parametryczną jest dendrytem takiej gry.

Wierzchołkowi początkowemu każdego dendrytu $d_i \in D$ (2.26) można przyporządkować wielkość zwaną parametrem gry oznaczoną symbolem p_i :

$$d_i \longleftrightarrow p_i \quad (2.27)$$

Def. 2.2.

Parametr p_i gry jest liczbą naturalną służącą do identyfikacji wierzchołka początkowego dendrytu d_i w dendrycie D (2.26) gry parametrycznej.

Zbiór parametrów jest równoliczny ze zbiorem D (2.26)

$$P = \{ p_1, p_2, \dots, p_w \} \quad (2.28)$$

Optymalizacji sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji określonego zadania $k_i \in K$ (2.12) odpowiada jednostronna optymalizacja dendrytu $d_i \in D$ (2.26) na korzyść strony A. Zbiór zoptymalizowanych dendrytów gier wielochodowych odpowiadających zadaniom $k \in K$ (2.12) przedstawia się następująco:

$$D' = \{ d_1', d_2', \dots, d_w' \} \quad (2.29)$$

Aby umożliwić zapamiętanie dendrytu D' (2.29) w strukturze automatu rozgrywającego pełniącego rolę organu sterującego ruchomego obiektu cybernetycznego, należy przeprowadzić minimalizację struktury tego dendrytu [16,20]. Minimalizacja dendrytu D' (2.29) polega na nałożeniu dendrytów d_i' przynależnych do zbioru D' (2.29) na pewien dendryt odniesienia. Rezultatem takiego nałożenia jest dendryt zastępczy oznaczony symbolem D' . Dendryt D' zawiera tylko jeden wierzchołek początkowy reprezentujący wszystkie wierzchołki początkowe dendrytów D' (2.29). W strukturze dendrytu D' można wyróżnić strukturę każdego dendrytu $d_i' \in D'$ (2.29).

Tak więc sterowanie realizacją wykonywanych przez system $\langle Q \rangle$ zadań, realizowane na niższym poziomie procesu sterowania, opisuje wielochodowa gra parametryczna. Sterowanie wyborem kolejności zadań wykonywanych przez system, realizowane na wyższym poziomie procesu sterowania można również opisać za pomocą gry wielochodowej. Strategiami chodowymi gracza B, są w takiej grze wektory typu g_i (2.16) określające możliwe zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ w trakcie realizacji zadań $k \in K$ (2.12), natomiast strategiami chodowymi gracza A - reprezentującego organ sterujący systemu $\langle Q \rangle$ - są parametry $p \in P$ (2.28) inicjujące realizację kolejnych zadań. Przedstawiona gra jest grą nadrzędną w stosunku do gry parametrycznej reprezentowanej zbiorem D (2.26). W wyniku rozgrywania gry nadrzędnej, wypracowywane są kolejne parametry $p \in P$ (2.28) określające kolejność rozgrywania gier tworzących grę parametryczną. Dendryt gry nadrzędnej jest oznaczony symbolem d_0 . Optymalizacji sterowania wyborem kolejności realizowanych zadań, odpowiada jednostronna optymalizacja dendrytu d_0 na korzyść strony A. Zoptymalizowany dendryt gry nadrzędnej oznaczony symbolem d_0 wyznacza strukturę automatu $\langle P \rangle$ wchodzącego w skład organu sterującego obiektem ruchomego.

Pewne zadania $k \in K$ (2.12) wykazują wzajemne podobieństwo. Zarówno zachowanie się systemu $\langle Q \rangle$, jak i stany w jakich może on się znaleźć w trakcie realizacji tego typu zadań są dla każdego zadania takie same, występujące zaś różnice wynikają z różnych sytuacji początkowych. Zadania o takich własnościach można traktować jako warianty pewnego zadania ogólnego.

Na zbiorze K (2.12) można określić następującą rodzinę podzbiorów:

$$K^+ = \{ K_1, K_2, \dots, K_S \} \quad (2.30)$$

gdzie:

K_i - zbiór zadań będących wariantami pewnego zadania ogólnego

W szczególnym przypadku wszystkie zadania $k \in K$ (2.12), realizowane przez system $\langle Q \rangle$ mogą być wariantami pojedynczego zadania. Proces działania systemu $\langle Q \rangle$ można wtedy podzielić na podobne do siebie procesy składowe rozpoczynające się w jednoznacznie określonych, różniących się między sobą stanach układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$.

Model formalny procesu sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$ pozostaje w takim przypadku bez zmian, natomiast znacznemu uproszczeniu ulega synteza formalna gry wielochodowej opisującej proces sterowania. Na przykład, zadania realizowane przez obiekt ruchomy, którego celem jest rozpoznanie konfiguracji terenu określonego obszaru można traktować jako warianty ogólnego zadania badania konfiguracji terenu. Warianty takie różnią się między sobą początkowym położeniem obiektu ruchomego w badanym obszarze. Dokonywany na poziomie wyższym procesu sterowania tego typu obiektem ruchomym, wybór kolejno realizowanego zadania jest powiązany z wyborem kolejnego fragmentu badanego obszaru.

2.4. Model formalny gry opisującej proces sterowania realizacją wybranego zadania

W zależności od wykonywanego przez system zadania, decydujący wpływ na jego działanie mają stany układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ tylko w zakresie pewnych wybranych dziedzin i relacji, podczas gdy informacja o pozostałych dziedzinach i relacjach jest do pominięcia. Kryteria wyboru istotnych dla danego zadania dziedzin i relacji wynikają z charakteru tego zadania.

Wybrane dla zadania k_i dziedziny funkcjonowania układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ oraz relacje między obiektami tego układu, tworzą następujące zbiory:

$$\Gamma^{ki} \subset \Gamma^k \quad (1.18) \quad (2.31)$$

$$\Pi^i \subset \Pi \quad (1.24) \quad (2.32)$$

Na przykład, dla zadania oznaczonego symbolem k_5 zbiory te mogą przedstawiać się następująco:

$$\Gamma^{k_5} = \{ \tilde{A}, \tilde{C}, \tilde{M} \}, \quad \Pi^5 = \{ \pi_1, \pi_6, \pi_{15} \}$$

Tak więc dla opisu procesu działania systemu $\langle Q \rangle$, w trakcie realizacji zadania k_i , można posłużyć się stanami układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ tylko w zakresie dziedzin przynależnych do zbioru Γ^{ki} (2.31) oraz relacji przynależnych do zbioru Π^i (2.32). Stany takie (bądź pewne elementy z nich utworzone) określają sytuacje w jakich może znaleźć się system $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_i . W ogólnym przypadku rozróżniane są dwa rodzaje sytuacji.

Dla formalnego opisu sytuacji pierwszego rodzaju w jakiej system $\langle Q \rangle$ może się znaleźć w dowolnej chwili t_k , w trakcie realizacji zadania k_1 , można posłużyć się wektorem o postaci jak niżej:

$$q' = [a, b, \dots, m, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_v] \quad (2.33)$$

gdzie:

$$a \in {}^+\tilde{A} \longleftrightarrow \tilde{A} \in \Gamma^{*i} \quad (2.31)$$

$$\pi_k \in {}^+\Pi_k \longleftrightarrow \Pi_k \in \Pi^i \quad (2.32)$$

Def. 2.3. Sytuacja pierwszego rodzaju jest wektorem q' (2.32), którego współrzędne określają stan układu $\langle\langle Q \rangle\rangle$, $\langle\bar{Q}\rangle$ w zakresie dziedzin przynależnych do zbioru Γ^{*i} (2.31) oraz relacji przynależnych do zbioru Π^i (2.32).

Zbiór sytuacji pierwszego rodzaju w jakich może znaleźć się system $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_1 , przedstawia się następująco:

$$L_q^i = \{ q'_{i,1}, q'_{i,2}, \dots, q'_{i,r} \} \quad (2.34)$$

Na przykład, dla zadania badania otoczenia sytuacje $q' \in L_q^i$ związane są z osiągnięciem przez ROC kolejnych wyróżnionych punktów terenu, w których powinno nastąpić pobranie próbek gruntu.

Opis procesu sterowania realizacją pewnych zadań można znacznie uprościć posługując się - przy opisie procesu działania w trakcie realizacji tych zadań - uporządkowanymi parami sytuacji pierwszego rodzaju. W każdej takiej parze, opisującej dany etap funkcjonowania, następnikiem jest sytuacja q' (2.33) w jakiej system $\langle Q \rangle$ znajduje się na tym etapie funkcjonowania, natomiast poprzednikiem - sytuacja q' (2.33), w jakiej znajdował się poprzednio (na poprzednim etapie). Dla zadania k_1 , para uporządkowana opisująca k -ty etap funkcjonowania, przedstawia się następująco:

$$q'' = \langle q'(t_{k-1}), q'(t_k) \rangle \quad (2.35)$$

gdzie:

$$q'(t_{k-1}), q'(t_k) \in L_q^i \quad (2.34)$$

Def. 2.4. Sytuacja drugiego rodzaju jest w ujęciu formalnym uporządkowaną parą q'' (2.35).

Zbiór sytuacji drugiego rodzaju, w jakich może znaleźć się system $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_1 , przedstawia się następująco:

$$L_{q''}^1 = \{q_{1,1}'', q_{1,2}'', \dots, q_{1,s}''\} \quad (2.36)$$

Na przykład, dla zadania rozpoznawania konfiguracji terenu, sytuacje $q'' \in L_{q''}^1$ związane są z przebyciem przez obiekt ruchomy odcinków łączących sąsiednie punkty wyróżnione terenu lub z napotkaniem na tych odcinkach przeszkód.

Do sterowania działaniem systemu $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_1 można zastosować decyzje etapowe, złożone tylko z takich decyzji składowych, które dotyczą sterowania wielkościami odpowiadającymi dziedzinom funkcjonowania przynależnym do zbioru:

$$\Gamma^1 = \Gamma \cap \Gamma^{*1} \quad (2.37)$$

gdzie:

$$\Gamma \in \Gamma^+ \quad (2.4), \quad \Gamma^{*1} \subset \Gamma^* \quad (1.18)$$

Decyzje takie określane są mianem zastępczych decyzji etapowych. Zastępczą decyzję etapową można wyrazić za pomocą v -elementowego wektora (gdzie: $v = \bar{\Gamma}^1$), o postaci jak niżej:

$$y_{1,r} = [y_A, y_B, \dots, y_L] \quad (2.38)$$

Zbiór zastępczych decyzji etapowych w zadaniu k_1 przedstawia się następująco:

$$Y^1 = \{y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{1,r}\} \quad (2.39)$$

Jak wynika z przedstawionych rozważań, w trakcie syntezy gry opisującej proces sterowania realizacją określonego zadania, zamiast wektorów "y" i "z" reprezentujących strategie chodowe stron gry, można przyjąć jako strategie chodowe strony B, sytuacje typu q' (def. 2.3) i q'' (def. 2.4), natomiast jako strategie chodowe strony

A - zastępcze decyzje etapowe typu $y_{i,r}$ (2.38).

Do opisu procesu sterowania w postaci ogólnej, nie jest istotne odróżnienie sytuacji pierwszego rodzaju i sytuacji drugiego rodzaju. Dlatego też, w dalszych rozważaniach sytuacje te będą oznaczane symbolami typu q . Zbiór sytuacji, w jakich może znaleźć się system $\langle Q \rangle$ w trakcie realizacji zadania k_i , będący jednocześnie zbiorem strategii chodowych strony B, przedstawia się następująco:

$$L_q^i = \{ q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,n} \} \quad (2.40)$$

Pomiędzy sytuacjami $q \in L_q^i$ (2.40) występują określone zależności. Wystąpienie pewnych sytuacji pociąga za sobą konieczność wystąpienia w następnych etapach realizacji zadania k_i jednych sytuacji a wyklucza możliwość wystąpienia innych.

Wystąpienie sytuacji $q(k+1)$ po $q(k)$ (gdzie: $q(k)$ jest sytuacją $q_{i,r} \in L_q^i$ (2.40) w jakiej system znajdował się na k -tym etapie natomiast $q(k+1)$ - sytuacją $q_{i,s} \in L_q^i$ (2.40) na etapie $k+1$) jest uzależnione od reguł określających zachowanie się otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ oraz od decyzji $y_{i,r} \in Y^i$ (2.39) podjętej na k -tym etapie realizacji zadania k_i . Zależność określającą takie następstwo można przedstawić w ujęciu formalnym za pomocą relacji określonej na zbiorze L_q^i (2.40):

$$\Theta_i \subset L_q^i \times L_q^i$$

$$y_{i,j} \longleftrightarrow \Theta_{i,j} = \{ b'_{i,1}, b'_{i,2}, \dots, b'_{i,r} \} \quad (2.41)$$

gdzie:

$b' = (q_{i,1}, q_{i,k})$ jest parą wskazującą na możliwość wystąpienia na $k+1$ -szym etapie sytuacji $q_{i,k}$ o ile na k -tym etapie w sytuacji $q_{i,1}$ zostanie zastosowana decyzja sterująca $y_{i,j}$.

Na przykład dla zadania rozpoznawania konfiguracji terenu po sytuacji odpowiadającej przebyciu określonej drogi elementarnej, pod wpływem decyzji nakazującej ruch w określonym kierunku, może nastąpić sytuacja odpowiadająca przebyciu sąsiedniej - odpowiadającej temu kierunkowi - drogi elementarnej lub sytuacja odpowiadająca napotkaniu tam przeszkody.

Każdej decyzji sterującej $y_{i,j} \in Y^i$ (2.39) można przyporządkować relację typu $\Theta_{i,j}$ (2.41). Relacje przyporządkowane elementom zbioru Y^i (2.39) tworzą rodzinę o postaci jak niżej:

$$+ \Theta_i = \{ \Theta_{i,1}, \Theta_{i,2}, \dots, \Theta_{i,r} \} \quad (2.42)$$

Wystąpienie w trakcie realizacji zadania k_i określonej sytuacji $q \in L_q^i$, wyklucza możliwość wystąpienia - na którymkolwiek etapie realizacji tego zadania w przyszłości - innych sytuacji $q \in L_q^i$. Zależność wzajemnego wykluczania się sytuacji, można przedstawić w ujęciu formalnym za pomocą następującej relacji:

$$\mathcal{O}_i \subset L_q^i \times L_q^i$$

$$\mathcal{O}_i = \{ c'_{i,1}, c'_{i,2}, \dots, c'_{i,s} \} \quad (2.43)$$

gdzie:

$c' = (q_{i,1}, q_{i,k})$ jest parą wykluczających się wzajemnie sytuacji, tzn. jeżeli w trakcie realizacji zadania k_i system $\langle Q \rangle$ znalazł się w sytuacji $q_{i,1}$, to na żadnym etapie realizacji tego zadania nie może on znaleźć się w sytuacji $q_{i,k}$ i vice versa.

Na przykład w zadaniu rozpoznawania konfiguracji terenu, w wyniku ruchu między dowolną parą sąsiednich punktów wyróżnionych, obiekt ruchomy może znaleźć się w sytuacji odpowiadającej przebyciu odcinka łączącego te punkty lub w sytuacji odpowiadającej napotkaniu na tym odcinku przeszkody. Sytuacje takie (związane z tym samym odcinkiem) wykluczają się wzajemnie.

Relacje typu $\Theta_{i,j} \in +\Theta_i$ (2.42) oraz $\mathcal{O}_i$ (2.43) wyznaczają reguły stosowania strategii chodowych przez stronę B gry.

Jak wynika z rozważań przedstawionych na początku niniejszego rozdziału, dla określenia procesu sterowania realizacją zadania k_i , działanie systemu $\langle Q \rangle$ może być reprezentowane ciągiem sytuacji $q \in L_q^i$ (2.40) w jakich system znajduje się na kolejnych etapach realizacji tego zadania. Ciąg taki ma następującą postać:

$$\langle q \rangle = q(1), q(2), \dots, q(m) \quad (2.44)$$

gdzie: element typu $q(s)$ jest sytuacją $q \in L_q^1$ (2.40), która wystąpiła na s -tym etapie

Zbiór wszystkich dopuszczalnych, dla zadania k_1 , ciągów typu $\langle q \rangle$ (2.44), przedstawia się następująco:

$$Q_1^0 = \left\{ \langle q \rangle_{1,1}, \langle q \rangle_{1,2}, \dots, \langle q \rangle_{1,n} \right\} \quad (2.45)$$

Każde działanie systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane ciągiem $\langle q \rangle \in Q_1^0$ (2.45), można scharakteryzować wynikiem końcowym. Wynik taki jest dla zadania k_1 wektorem o następującej postaci:

$$g_{1,r}' = \left[\gamma_1', \gamma_2', \dots, \gamma_1' \right] \quad (2.46)$$

Współrzędnymi wektora $g_{1,r}'$ (2.46) są aktualne wartości pewnych parametrów, przydatnych do oceny działania systemu z punktu widzenia realizacji zadania k_1 , zwane cząstkowymi wynikami końcowymi, np.: czas działania systemu, ilość zużytej energii, stopień zrealizowania zadania k_1 , itp.

Wyniki końcowe typu $g_{1,r}'$ (2.46) charakteryzujące możliwe działania systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane dopuszczalnymi dla zadania k_1 ciągami $\langle q \rangle \in Q_1^0$ (2.45), tworzą zbiór:

$$G_1' = \left\{ g_{1,1}', g_{1,2}', \dots, g_{1,s}' \right\} \quad (2.47)$$

przy czym:

$$G_1' \subset G' \quad (2.13)$$

Wyniki końcowe $g' \in G_1'$ (2.47) kodowane są za pomocą liczb naturalnych. Zbiór takich liczb naturalnych przedstawia się następująco:

$$M_1 = \left\{ m_{1,1}, m_{1,2}, \dots, m_{1,n} \right\} \quad (2.48)$$

Liczby $m \in M_1$ (2.48) stanowią jednocześnie ocenę działań systemu pod względem stopnia przydatności do realizacji zadania k_1 . W ogólnym przypadku nie wszystkie działania systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane dopuszczalnymi dla zadania k_1 ciągami $\langle q \rangle \in Q_1^0$ (2.45), prowadzą do zrealizowania tego zadania. Stąd też na zbiorze Q_1^0 (2.45)

można określić następującą rodzinę podzbiorów:

$$Q_i^{0+} = \left\{ Q_i^{01}, Q_i^{02} \right\} \quad (2.49)$$

gdzie:

- Q_i^{01} - zbiór ciągów reprezentujących działania systemu prowadzące do zrealizowania zadania k_i ,
 Q_i^{02} - zbiór ciągów reprezentujących działania nie zapewniające zrealizowania zadania k_i .

Wyniki końcowe wszystkich działań nie zapewniających zrealizowania zadania k_i są kodowane umowną liczbą $\hat{\mathcal{K}}$, równą największej liczbie w zbiorze M_i (2.48), natomiast wyniki końcowe działań prowadzących do zrealizowania tego zadania kodowane są pozostałymi liczbami $m \in M_i$ (2.48), przy czym do kodowania wyników najlepszych - w sensie przyjętego kryterium optymalności funkcjonowania systemu $\langle Q \rangle$ - używane są liczby najmniejsze. Na zbiorze Q_i^0 (2.45) można określić funkcję przyjmującą wartości ze zbioru M_i (2.48), która charakteryzuje działanie systemu $\langle Q \rangle$:

$$m = \xi_i (\langle q \rangle) \quad (2.50)$$

Postać funkcji ξ_i (2.50) zależy od przyjętego dla zadania k_i kryterium optymalności funkcjonowania systemu, $\langle Q \rangle$.

Na przykład jako kryterium optymalności można przyjąć minimalny czas realizacji zadania. Przy założeniu, że czas trwania każdego etapu funkcjonowania systemu w trakcie realizacji zadania k_i jest jednokowy, czas realizacji tego zadania można wyrazić liczbą etapów. Jak wiadomo liczba etapów jest równa liczbie elementów ciągu reprezentującego działanie systemu. Postać funkcji ξ_i (2.50) jest wtedy wyjątkowo prosta i przedstawia się następująco:

$$m = \xi_i (\langle q \rangle) = \begin{cases} 1 & \text{dla } \langle q \rangle \in Q_i^{01} \\ \hat{\mathcal{K}} & \text{dla } \langle q \rangle \in Q_i^{02} \end{cases}$$

gdzie: 1 - liczba elementów ciągu $\langle q \rangle$

$\hat{\mathcal{K}}$ - liczba umowna równa największej liczbie w zbiorze M_i (2.48), spełniająca nierówność: $\hat{\mathcal{K}} > 1$

Każdy ciąg $\langle q \rangle \in Q_1^0$ (2.45) odpowiada strategii pełnej gracza B w określonej partii gry opisującej proces sterowania realizacją zadania k_1 . Wynik końcowy takiej partii gry, jest liczbą naturalną równą co do wartości liczbie naturalnej kodującej wynik końcowy, z jakim działanie systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane strategią pełną gracza B, prowadzi do realizacji zadania k_1 . Zbiór wyników końcowych gry opisującej proces sterowania realizacją zadania k_1 jest więc równy zbiorowi M_1 (2.48):

$$R = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \} \quad (2.52)$$

gdzie:

$$S_k = m \in M_1 \quad (2.48)$$

Rozpoczynając realizację zadania k_1 , system $\langle Q \rangle$ na pierwszym etapie działania może znajdować się tylko w pewnych określonych sytuacjach $q \in L_q^1$. Sytuacje te, określane mianem sytuacji początkowych, tworzą zbiór:

$$L_{q_0}^1 = \{ q_{1,01}, q_{1,02}, \dots, q_{1,0l} \} \quad (2.52)$$

gdzie:

$$q_{1,0j} = q \in L_q^1$$

Na przykład, w zadaniu rozpoznawania konfiguracji terenu sytuacje początkowe odpowiadają wystąpieniu przejścia lub przeszkody na pewnym odcinku prostej, od którego rozpoczyna się rozpoznawanie badanego obszaru.

Elementy zbioru $L_{q_0}^1$ (2.52) odpowiadają początkowym strategiom chodowym strony rozpoczynającej grę.

Przedstawione w niniejszym rozdziale zbiory Y^1 (2.39), L_q^1 (2.40) strategii chodowych stron gry, zbiór $L_{q_0}^1$ (2.52) strategii początkowych strony rozpoczynającej grę, relacje $\mathcal{B}_{i,j} \in + \mathcal{B}_1$ (2.42), $\mathcal{O}_1$ (2.43) między strategiami chodowymi strony B gry, zbiór R (2.51) wyników końcowych gry oraz zasady przyporządkowywania tych wyników możliwym partiom gry składają się, poza podstawowymi regułami prowadzenia gier wielochodowych, na reguły syntezy gry opisującej proces sterowania realizacją zadania k_1 .

Pełny zestaw reguł takiej gry przedstawia się następująco:

$$E = E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7 \quad (2.53)$$

gdzie:

- E_1 - strona A i B wykonują ruchy naprzemiennie, zaczyna strona B.
- E_2 - ruch strony A polega na zastosowaniu strategii chodowej $y_{i,r} \in Y^i$ (2.39) a ruch strony B na zastosowaniu strategii chodowej $q_{i,r} \in L_q^i$ (2.40)
- E_3 - w pierwszym ruchu strona B może zastosować tylko strategię chodową $q_{i,0r} \in L_{q_0}^i \subset L_q^i$
- E_4 - w sytuacji powstałej w grze w wyniku zastosowania przez stronę A strategii chodowej $y_{i,j}$, strona B może zastosować tylko taką strategię chodową $q_{i,k} \in L_q^i$, która pozostaje w relacji $\mathcal{Q}_{i,j}$ (2.41) ze strategią chodową $q_{i,1} \in L_q^i$ zastosowaną w poprzednim ruchu
- E_5 - każda strategia chodowa $q_{i,r} \in L_q^i$ (2.40) strony B może wystąpić w danej partii gry tylko określoną ilość razy
- E_6 - zastosowanie, przez stronę B w danej partii gry, strategii chodowej $q_{i,1} \in L_q^i$ uniemożliwia zastosowanie w tej samej partii gry takich strategii chodowych $q_{i,k} \in L_q^i$, które pozostają w relacji $\mathcal{Q}_i$ (2.43) ze strategią $q_{i,1}$.
- E_7 - partia gry kończy się ruchem strony A w przypadku wystąpienia w grze takiej sytuacji, w której strona B nie może zastosować gdzieś z regułami E_4, E_5, E_6 żadnej strategii chodowej $q_{i,r} \in L_q^i$ lub w przypadku, gdy strategia pełna strony B tworzy ciąg $\langle q \rangle \in Q_i^{01} \in Q_i^{0+}$ (2.48)
- E_8 - każdej partii gry jest przyporządkowany wynik gry równy co do wartości wynikowi końcowemu z jakim działanie systemu $\langle Q \rangle$, reprezentowane, strategią pełną strony B, prowadzi do realizacji zadania k_i .

3. MODEL FORMALNY GRY OPISUJĄCEJ STEROWANIE REALIZACJĄ ZADANIA ROZPOZNAWANIA KONFIGURACJI OTOCZENIA

Działanie ruchomego obiektu cybernetycznego w otaczającym go środowisku fizycznym jest związane z przemieszczaniem się całego obiektu lub jego elementów w przestrzeni fizycznej. Sterowanie działaniem obiektu ruchomego wymaga więc znajomości pewnych cech struktury przestrzennej środowiska w zakresie całej przestrzeni fizycznej będącej terenem jego działalności. Informacja jaką obiekt ruchomy otrzymuje za pośrednictwem swoich receptorów określa stan środowiska fizycznego jedynie w bezpośrednim otoczeniu obiektu. Niezbędną informację o przestrzennych cechach fizycznych środowiska, obiekt ruchomy może uzyskiwać równolegle z realizacją pewnych wyznaczonych mu zadań bądź specjalnie podejmując realizację zadań, których celem jest zdobycie takiej informacji. W przypadku obiektu ruchomego działającego na płaszczyźnie, szczególnie istotna - dla sterowania jego działaniem - jest znajomość konfiguracji terenu całego obszaru, po którym obiekt będzie się przemieszczał podczas realizacji wyznaczonych mu zadań.

Informację taką można uzyskać w wyniku realizacji zadania rozpoznawania konfiguracji terenu. Zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu może być zadaniem wstępnym poprzedzającym realizację podstawowych zadań obiektu ruchomego lub też zadaniem podstawowym w takich przypadkach, gdy obiekt ruchomy współpracuje z innymi obiektami ruchomymi. Zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu będzie dalej oznaczane symbolem k'_1 . Zadanie k'_1 obejmuje: - rozpoznanie konfiguracji dostępnego terenu przy ruchu po możliwie krótkiej drodze, zapamiętanie obrazu rozpoznanej konfiguracji oraz powrót po najkrótszej drodze do punktu wyjściowego.

Przyjmując, że obiekt ruchomy może przerwać wykonywanie jednego zadania, wykonać inne a następnie kontynuować zadanie przerwane, zadanie k'_1 można wykorzystać do badania dowolnych cech przestrzennych środowiska fizycznego łącząc je z takimi zadaniami jak: zadanie pobierania próbki gleby, badanie twardości gruntu, itp.

Na przykład poszukiwanie określonej kopaliny w wykonaniu obiektu ruchomego może być realizowane następująco: - obiekt porusza się w badanym terenie realizując zadanie k'_1 , - po przebyciu określonego odcinka drogi zadanie k'_1 jest przerywane i obiekt rozpoczyna zadanie pobierania próbki gleby, - pobrana próbka zostaje umieszczona w pojemniku obiektu i obiekt kontynuuje zadanie k'_1 , - po zrealizowaniu całego zadania k'_1 obiekt wraca do punktu wyjściowego. Na podstawie analizy, dostarczonych próbek oraz informacji o miejscach ich pobrania można

określić miejsca występowania poszukiwanej kopaliny.

3.1. Opis działania obiektu ruchomego realizującego zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu

Rozpoznawanie konfiguracji terenu przez obiekt ruchomy, polega na ruchu obiektu w obszarze badanym oraz wykrywaniu występujących na jego drodze przeszkód, w wyniku bezpośredniego z nimi kontaktu. W przypadku obszaru rzeczywistego liczba możliwych trajektorii ruchu obiektu jest nieskończona, aby więc było możliwe określenie procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego, dopuszczalne trajektorie powinny spełniać pewne wstępne ograniczenia.

W ujęciu topologicznym, obszar badany można traktować jako zbiór punktów tworzących dwuwymiarową przestrzeń metryczną X o skończonej średnicy $\delta(X)$, będącą podprzestrzenią dwuwymiarowej przestrzeni euklidesowej E^2 . Przy takim podejściu, dowolną, skończoną trajektorię ruchu obiektu w obszarze badanym można wyrazić za pomocą nieskończonego ciągu pewnych punktów przestrzeni X . Liczba możliwych ciągów równa liczbie rzeczywistych trajektorii jest nieskończona.

Przyjmując skończoną liczbę punktów przestrzeni X za punkty wyróżnione, można wspomniane trajektorie ruchu wyrazić za pomocą skończonych ciągów, których elementami są punkty wyróżnione przestrzeni X . Liczba takich ciągów jest skończona.

Dla uproszczenia dalszych rozważań można przyjąć, że obszar badany ma postać geometryczną kwadratu.

Zgodnie z powyższym, przestrzeń X jest traktowana dalej jako kwadrat metryczny, którego długość boku jest dana zależnością:

$$n = \frac{\delta(X)}{\sqrt{2}} \quad (3.1)$$

Przyjmując dalej, że współrzędne ξ, η punktów przestrzeni X spełniają nierówność: $1 \leq \xi \leq n+1, 1 \leq \eta \leq n+1$, jako punkty wyróżnione kwadratu metrycznego można przyjąć elementy następującego zbioru:

$$H = \{ h_1, h_2, \dots, h_\alpha \} \quad (3.2)$$

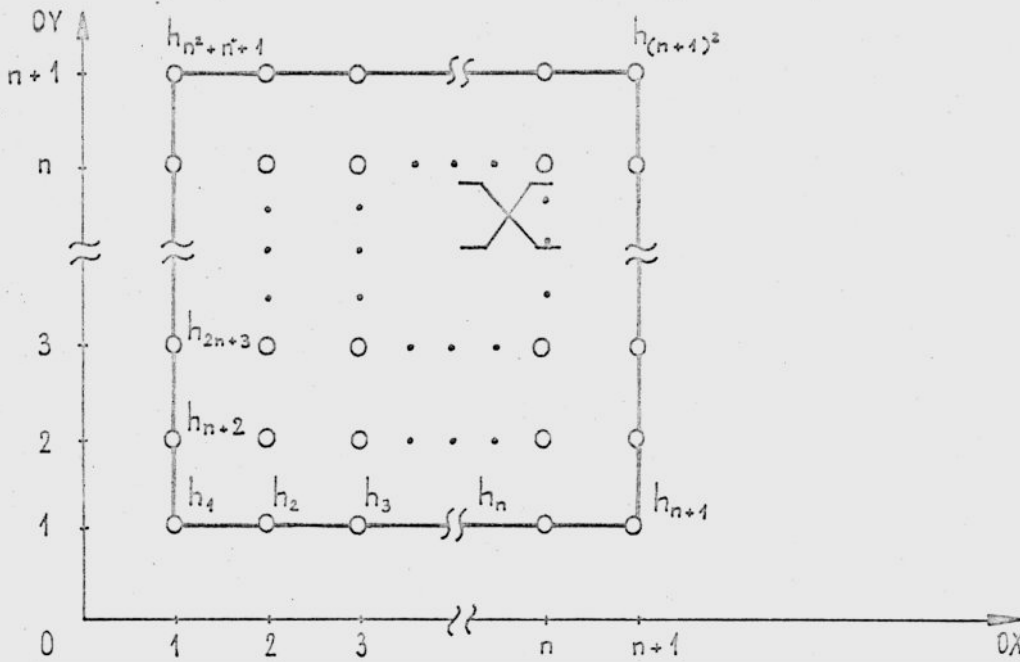
gdzie:

$h = [\xi, \eta]$ jest wektorem o współrzędnych $\xi, \eta \in N_1^{n+1}$

oraz:

$$\bar{H} = \alpha = (n+1)^2 \quad (3.3)$$

Obszar badany z zaznaczonymi punktami wyróżnionymi przedstawia rysunek 3.1.



Rys. 3.1 Obszar badany z zaznaczonymi punktami wyróżnionymi

Na zbiorze H (3.2) można określić relację "sąsiedztwa" punktów wyróżnionych:

$$H_r \subset H \times H$$

$$H_r = \{ r_1, r_2, \dots, r \} \quad (3.4)$$

gdzie:

$r = ([\xi_i, \eta_i], [\xi_j, \eta_j])$ jest parą punktów wyróżnionych, których współrzędne spełniają warunek 3.1.

Warunek 3.1.

$$|\xi_i - \xi_j| + |\eta_i - \eta_j| = 1$$

Moc zbioru H_r (3.4) przedstawia się następująco:

$$\bar{H}_r = \beta = 4n^2 + 4n \quad (3.5)$$

Dopuszczalne trajektorie ruchu obiektu w określonym powyżej obszarze badanym, składają się z odcinków prostych łączących punkty $h \in H$ (3.2) spełniające relację H_r (3.4). Odcinki takie określane są mianem krawędzi elementarnych. Z przyjętych założeń (warunek 3.1) wynika, że odległości pomiędzy dowolnymi "sąsiednimi" punktami wyróżnionymi badanego obszaru są jednakowe, równe przyjętej jednostce długości. Stąd też, każdą krawędź elementarną można w sposób jednoznaczny scharakteryzować parą "sąsiednich" punktów wyróżnionych badanego obszaru, między którymi krawędź ta jest położona. Zbiór wszystkich możliwych krawędzi elementarnych badanego obszaru można więc określić jako następującą relację na zbiorze H (3.2):

$$H_{rr} \subset H \times H$$

$$H_{rr} = \{ r_1', r_2', \dots, r_{\mathcal{G}}' \} \quad (3.6)$$

gdzie:

$r' = ([\xi_i, \eta_i], [\xi_j, \eta_j])$ jest parą punktów wyróżnionych, których współrzędne spełniają warunek 3.1 oraz warunek 3.2.

Warunek 3.2.

$$(\xi_i - \xi_j) + (\eta_i - \eta_j) < 0$$

Moc zbioru H_{rr} (3.6) przedstawia się następująco:

$$\bar{H}_{rr} = \mathcal{G} = 2n^2 + 2n \quad (3.7)$$

Def. 3.1. Krawędź elementarna jest odcinkiem o jednostkowej długości łączącym dwa punkty $h_i, h_j \in H$ (3.2), określonym w ujęciu formalnym utworzoną z tych punktów parą $(h_i, h_j) = r' \in H_{rr}$ (3.6).

Realizując zadanie k'_1 rozpoznawania konfiguracji terenu, obiekt ruchomy przemieszcza się w badanym obszarze jedynie po krawędziach elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6). Na każdej krawędzi elementarnej ruch obiektu może odbywać się w dwóch różniących się zwrotami kierunkach.

Celem działania obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania k'_1 jest przebadanie wszystkich dostępnych w obszarze badanym krawędzi $r' \in H_{rr}$ (3.6). Na każdym etapie działania obiekt ruchomy może przebyć tylko jedną krawędź $r' \in H_{rr}$ (3.6). Na początku etapu obiekt ruchomy znajduje się w określonym punkcie wyróżnionym. Organ sterujący podejmuje decyzję odnośnie kierunku ruchu obiektu na danym etapie. Pod wpływem takiej decyzji obiekt zaczyna przemieszczać się po określonej krawędzi w kierunku sąsiedniego punktu wyróżnionego. Osiągnięcie tego punktu kończy etap działania. O ile na badanym odcinku wystąpi przeszkoda uniemożliwiająca dalszy ruch, obiekt ruchomy zawraca w kierunku punktu, z którego rozpoczął ruch na początku etapu, a etap działania kończy się w momencie powrotu do tego punktu. Przebyte przez obiekt ruchomy krawędzie elementarne określane są mianem dróg elementarnych, natomiast krawędzie na których obiekt napotkał przeszkody określane są mianem przeszkód elementarnych.

Def. 3.2. Droga elementarna jest taką krawędzią elementarną (def. 3.1), na której nie występuje przeszkoda.

O ile w dowolnym miejscu krawędzi elementarnej występuje przeszkoda uniemożliwiająca ruch obiektu, to cała krawędź jest określana mianem przeszkody elementarnej.

Def. 3.3. Przeszkoda elementarna jest taką krawędzią elementarną (def. 3.1), która nie jest drogą elementarną (def. 3.2).

Liczba możliwych dróg elementarnych, podobnie jak liczba możliwych przeszkód elementarnych, jest równa liczbie δ (3.7) krawędzi elementarnych badanego obszaru.

Rozpoznanie konfiguracji terenu badanego obszaru polega na określeniu, które krawędzie elementarne $r' \in H_{rr}$ (3.6) tego obszaru są drogami, a które przeszkodami elementarnymi.

Każdą rozpoznaną konfigurację terenu można wyrazić za pomocą zbioru takich krawędzi elementarnych badanego obszaru, które są drogami elementarnymi. Na zbiorze H_{rr} (3.6) traktowanym jako zbiór dróg elementarnych można określić rodzinę podzbiorów odpowiadających wszystkim możliwym konfiguracjom terenu, jakie obiekt ruchomy może rozpoznać w badanym obszarze:

$$H^+ = \{ H^0, H^1, \dots, H^{\delta-1} \} \quad (3.8)$$

gdzie:

$$H^i \subset H_{rr} (3.6), \quad \delta = \overline{H^+} < 2^{\delta} = 2^{2n^2+2n}$$

$$H^0 = \emptyset \quad (\emptyset - \text{symbol zbioru pustego})$$

Oznaczając każdy badany obszar - którego konfigurację terenu określa zbiór H^i - symbolem $\mathcal{H}_i$, otrzymamy następujący zbiór możliwych obszarów:

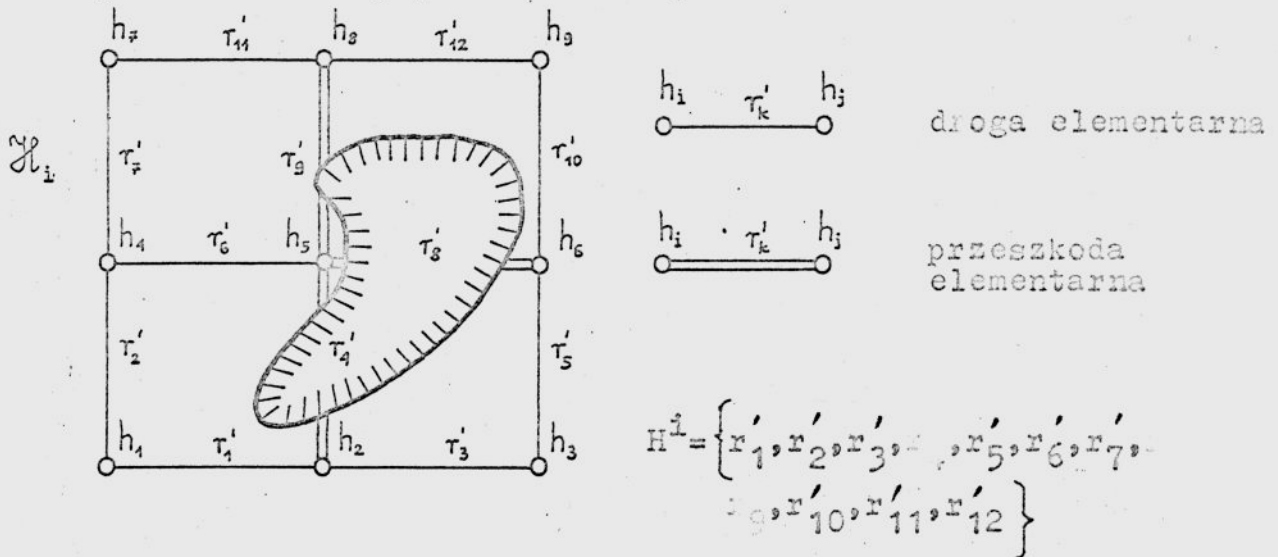
$$\mathcal{H} = \{\mathcal{H}_0, \mathcal{H}_1, \dots, \mathcal{H}_{\delta-1}\} \quad (3.9)$$

gdzie:

$$\mathcal{H}_i \longleftrightarrow H^i \in H^+ (3.8)$$

$\mathcal{H}_0$ - obszar, w którym wszystkie krawędzie elementarne są przeszkodami elementarnymi

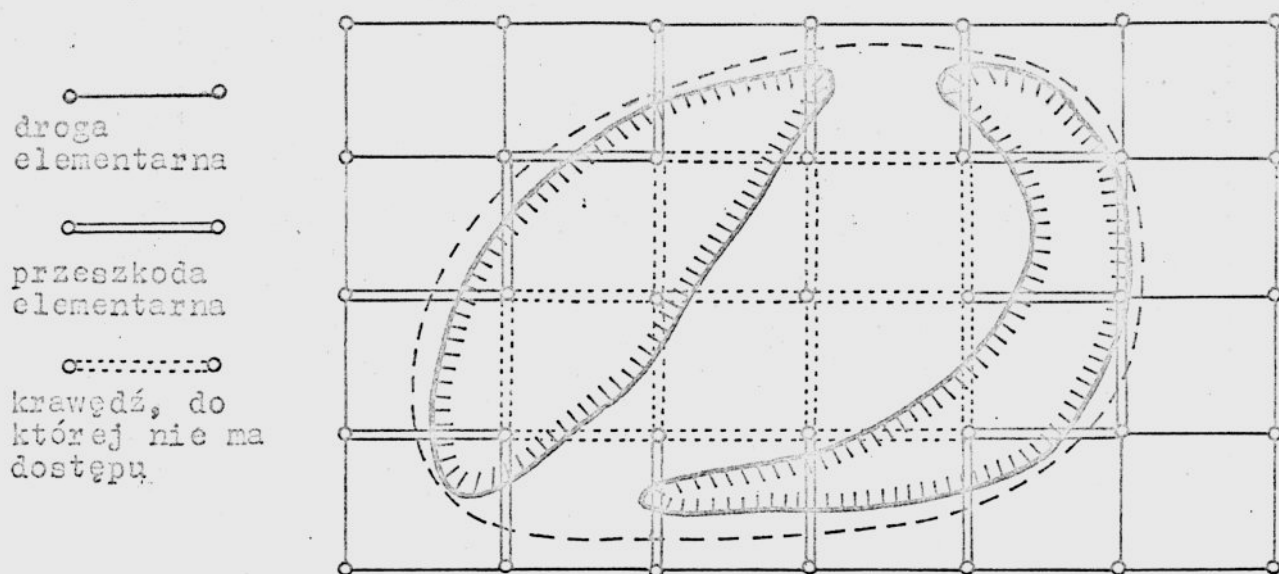
Przykładowy obszar badany przedstawia rys. 3.2.



Rys. 3.2 Obszar badany o konfiguracji terenu określonej zbiorem H^i

Ze względu na przyjęty sposób badania obszaru, w pewnych przypadkach obiekt ruchomy nie odróżnia sąsiadujących ze sobą, oddzielnych przeszkód od przeszkody jednolitej. Krawędzie elementarne położone na terenie zajmowanym przez takie przeszkody są dla obiektu ruchomego niedostępne. Krawędzie takie, pomimo tego, że nie zostały zbadane, należy

uznać za przeszkody elementarne. Na rys. 3.3. zostało przedstawione przykładowe położenie niedostępnych dla obiektu ruchomego krawędzi elementarnych.



Rys. 3.3 Przeszkoda jednolita zawierająca niedostępne krawędzie elementarne

3.2. Proces sterowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu

Proces sterowania działaniem ruchomego obiektu cybernetycznego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, powinien zapewnić przebadanie całego dostępnego terenu badanego obszaru przy ruchu po najkrótszej drodze.

Jak wynika z przedstawionego w poprzednim rozdziale opisu procesu rozpoznawania konfiguracji terenu, obiekt ruchomy realizujący takie rozpoznawanie na każdym etapie działania bada określoną krawędź elementarną $r' \in H_{rr}$ (3.6). Badana krawędź może okazać się drogą lub przeszkodą elementarną. Informację o wyniku takiego badania organ sterujący obiektu otrzymuje na początku następnego etapu działania. Dla uproszczenia rozważań można przyjąć, że wraz z tą informacją organ sterujący otrzymuje również informację o działaniu własnym obiektu na poprzednim etapie. Tak więc, na początku każdego etapu działania organ sterujący otrzymuje informację o tym, która krawędź elementarna została przebadana na etapie poprzednim, w jakim kierunku odbywał się ruch na tej krawędzi oraz jaki jest wynik przeprowadzonego badania.

Model formalny procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego został opisany w rozdziale drugim. Zgodnie z przedstawionym tam podejściem, ruchomy obiekt cybernetyczny - realizujący rozpoznawanie konfiguracji terenu badanego obszaru - można potraktować jako system cybernetyczny $\langle Q \rangle$ działający w otoczeniu $\langle \bar{Q} \rangle$. Dla opisu działania takiego obiektu, rozpatrywanego jako system $\langle Q \rangle$, wystarczy rozważyć stany układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ jedynie w zakresie tych dziedzin funkcjonowania, które umożliwiają wykrycie przeszkody na drodze systemu (obiektu ruchomego) oraz relacji między obiektami układu $\langle \langle Q \rangle, \langle \bar{Q} \rangle \rangle$ określającej położenie systemu względem przyjętego dla otoczenia $\langle \bar{Q} \rangle$ układu współrzędnych.

W dalszej części niniejszego rozdziału pojęcia "obiekt ruchomy" oraz "obszar badany" będą używane w sensie: "obiekt ruchomy rozpatrywany jako system $\langle Q \rangle$ " oraz "obszar badany rozpatrywany jako otoczenie $\langle \bar{Q} \rangle$ systemu $\langle Q \rangle$ ".

W oparciu o wymienione powyżej dziedziny i relacje, można określić wszystkie możliwe sytuacje (w sensie def. 2.3 i def. 2.4.) w jakich może znaleźć się obiekt w trakcie realizacji rozpoznawania konfiguracji terenu. Sytuacje te są ściśle związane z badanymi przez obiekt krawędziami elementarnymi $r' \in H_{rr}$ (3.6), przy czym z każdą krawędzią $r' = (h_i, h_j)$ są związane cztery różniące się między sobą sytuacje: dwie odpowiadające rozpoznaniu wspomnianej krawędzi jako drogi lub przeszkody elementarnej przy ruchu obiektu od punktu h_i do h_j , oraz dwie odpowiadające takiemu rozpoznaniu przy ruchu od punktu h_j do h_i . Znaczne ułatwienie syntezy gry opisującej proces sterowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu można uzyskać wykorzystując, do opisu omawianego procesu działania, wyłącznie sytuacje drugiego rodzaju (def. 2.4). Każdą taką sytuację można wyrazić uporządkowaną parą:

$$q'' = \langle q'(t_{k-1}), q'(t_k) \rangle \quad (3.10)$$

gdzie:

$q'(t_{k-1}) = h_i, q'(t_k) = h_j$ są punktami wyróżnionymi określającymi położenie obiektu ruchomego w chwilach t_{k-1} i t_k , względem przyjętego dla badanego obszaru układu współrzędnych, przy czym w wypadku sytuacji odpowiadającej przeszkodzie, element $q'(t_k) = h_j$ określa punkt, do którego obiekt dążył lecz go nie osiągnął.

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi w rozdziale 2.4, symbole wszystkich wielkości używanych przy opisie procesu sterowania realizacją dowolnego zadania k_i powinny posiadać dodatkowo indeks "i" wskazujący na związek z i-tym zadaniem. W niniejszym rozdziale w celu uproszczenia zapisu formalnego indeks ten zostanie pominięty.

Uporządkowane pary punktów wyróżnionych wyrażające sytuacje $(q''(3.10))$ odpowiadają parom typu $(h_i, h_j) = r \in H_r(3.4)$ sąsiadujących ze sobą punktów wyróżnionych. Przedstawione ujęcie formalne sytuacji w jakiej obiekt ruchomy znajduje się w wyniku działania podjętego na dowolnym etapie rozpoznawania konfiguracji terenu, pozwala na jednoznaczne określenie przebadanej na tym etapie krawędzi elementarnej oraz kierunku ruchu obiektu na tej krawędzi, nie umożliwia natomiast określenia wyniku jej badania. Dlatego też, sytuacje związane z rozpoznaniem drogi elementarnej oraz sytuacje związane z rozpoznaniem przeszkody elementarnej zostaną przedstawione jako elementy dwu różnych zbiorów, z których każdy jest równoliczny ze zbiorem $H_r(3.4)$. Zbiór wszystkich możliwych sytuacji związanych z rozpoznaniem drogi elementarnej przedstawia się następująco:

$$L_{q1} = \{ q_1, q_2, \dots, q_\beta \} \quad (3.11)$$

gdzie:

$q_i = \langle h_k, h_s \rangle \longleftrightarrow (h_k, h_s) = r_i \in H_r(3.4)$ jest sytuacją w jakiej znajduje się obiekt ruchomy w wyniku przebadania krawędzi elementarnej łączącej punkty h_k, h_s , przy ruchu od punktu h_k do h_s , w przypadku, gdy krawędź ta jest drogą elementarną.

Podobnie zbiór wszystkich możliwych sytuacji związanych z napotkaniem przeszkody elementarnej przedstawia się następująco:

$$L_{q2} = \{ q_{\beta+1}, q_{\beta+2}, \dots, q_{2\beta} \} \quad (3.12)$$

gdzie:

$q_i = \langle h_k, h_s \rangle \longleftrightarrow (h_k, h_s) = r_i \in H_r(3.4)$ jest sytuacją w jakiej znajduje się obiekt ruchomy w wyniku przebadania krawędzi elementarnej łączącej punkty h_k, h_s , przy ruchu od punktu h_k do h_s , w przypadku, gdy krawędź ta jest przeszkodą elementarną.

Przy opisie procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, poza sytuacjami przynależnymi do zbiorów L_{q_1} (3.11) i L_{q_2} (3.12), należy uwzględnić dodatkowo sytuację w jakiej obiekt znajduje się na początku pierwszego etapu badania obszaru. Sytuacja ta, oznaczona symbolem q'_0 , jest związana z przemieszczeniem się obiektu ruchomego z punktu wyjściowego h_0 do punktu wyróżnionego h_1 , od którego rozpoczyna się badanie obszaru. Sytuację q'_0 , podobnie do pozostałych, można wyrazić uporządkowaną parą:

$$q'_0 = \langle h_0, h_1 \rangle \quad (3.13')$$

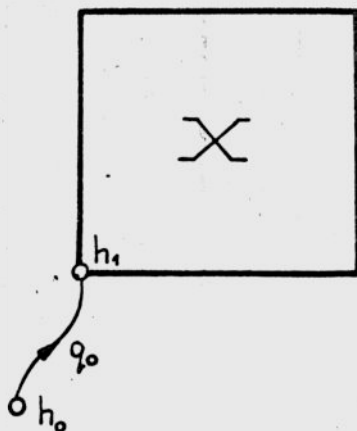
gdzie:

- h_0 - punkt wyjściowy, położony poza terenem badanego obszaru
- h_1 - dowolny punkt wyróżniony położony na obwodzie badanego obszaru.

Dla uproszczenia modelu należy przyjąć, że badanie zadanego obszaru może rozpoczynać się jedynie w punkcie wyróżnionym h_1 . Sytuacja w jakiej obiekt znajduje się na początku pierwszego etapu działania ma wtedy postać:

$$q_0 = \langle h_0, h_1 \rangle \quad (3.13)$$

Sytuacja q_0 jest w zadaniu k'_1 sytuacją początkową. Graficzną interpretację sytuacji q_0 przedstawia rys. 3.4.



Rys. 3.4. Graficzna interpretacja sytuacji początkowej w zadaniu k'_1

Zbiór wszystkich możliwych sytuacji w jakich może znaleźć się obiekt ruchomy w trakcie realizacji zadania k'_1 - rozpoznawania konfiguracji terenu, przedstawia się następująco:

$$L_q = \{ q_0, q_1, \dots, q_2 \} \quad (3.14)$$

gdzie:

$$q_i = \begin{cases} q_0 \quad (3.13) & \text{dla } i=0 \\ q_i \in L_{q_1} \quad (3.11) & \text{dla } 0 < i \leq \beta \\ q_i \in L_{q_2} \quad (3.12) & \text{dla } \beta < i \leq 2\beta \end{cases}$$

Każdą sytuację $q_i \in L_q$ (3.14) wyrażoną parą $\langle h_k, h_s \rangle$ punktów wyróżnionych $h_k = [\xi_{k,i}, \eta_{k,i}]$, $h_s = [\xi_{s,i}, \eta_{s,i}]$ można również wyrazić uporządkowaną czwórką:

$$q_i = \langle \xi_{k,i}, \eta_{k,i}, \xi_{s,i}, \eta_{s,i} \rangle \quad (3.15)$$

Na początku każdego etapu działania, organ sterujący X_0 obiektu ruchomego pobiera informację o sytuacji $q \in L_q$ (3.14) w jakiej obiekt aktualnie się znajduje. Na podstawie tej informacji oraz pamiętanej "historii" dotychczasowych działań, organ sterujący podejmuje decyzję sterującą działaniem obiektu na danym etapie, przy czym można przyjąć, że zarówno pobranie informacji, jak i podjęcie decyzji odbywa się w tej samej dyskretniej chwili czasu, wyznaczającej początek danego etapu. Dla sterowania działaniem obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu badanego obszaru wystarczają zastępcze decyzje sterujące typu $y_{i,r}$ (2.38), zawierające tylko decyzję składową dotyczącą sterowania kierunkiem ruchu obiektu w badanym obszarze. Taka decyzja składowa będzie oznaczana symbolem y_A . Z przedstawionego w rozdziale 3.1 opisu procesu rozpoznawania konfiguracji terenu wynika, że obiekt może poruszać się w badanym obszarze w czterech kierunkach. Decyzja składowa y_A przyjmuje więc swoje wartości z następującego zbioru:

$$^+Y_A = \{ y_{A,1}, y_{A,2}, y_{A,3}, y_{A,4} \} \quad (3.16)$$

gdzie:

- $y_{A,1} = [1, 0]$ - kierunek ruchu równoległy do osi OX, zwrot dodatni
 $y_{A,2} = [-1, 0]$ - kierunek ruchu równoległy do osi OX, zwrot ujemny
 $y_{A,3} = [0, 1]$ - kierunek ruchu równoległy do osi OY, zwrot dodatni
 $y_{A,4} = [0, -1]$ - kierunek ruchu równoległy do osi OY, zwrot ujemny

Zbiór zastępczych decyzji etapowych, możliwych do zastosowania w zadaniu k'_1 , przedstawia się następująco:

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\} \quad (3.17)$$

gdzie:

$$y_i = y_{A,i} \in {}^+Y_A \quad (3.16)$$

Pomiędzy sytuacjami w jakich może znaleźć się obiekt ruchomy w trakcie realizacji zadania k_i występują zależności określone formalnie za pomocą relacji typu $\mathcal{B}_{i,j}$ (2.41) charakteryzującej następowanie sytuacji po sobie oraz relacji $\mathcal{D}_i$ (2.43) określającej wzajemne wykluczanie się pewnych sytuacji w trakcie realizacji zadania k_i . W przypadku zadania k'_1 relacja $\mathcal{B}_j$ przedstawia się następująco:

$$y_j \longrightarrow \mathcal{B}_j = \{b'_1, b'_2, \dots, b'_r\} \quad (3.18)$$

gdzie:

$b' = (q_i, q_1)$ jest parą sytuacji spełniającą warunek 3.3 lub warunek 3.4.

Warunek 3.3.

$$\begin{aligned}
 & (\forall q_i \in L_{q_1})(\forall q_1 \in L_q)((q_i, q_1) \in \mathcal{B}_j \Rightarrow (\text{crd}^1 q_1 = \text{crd}^3 q_i) \wedge (\text{crd}^2 q_1 = \\
 & = \text{crd}^4 q_i) \wedge (\text{crd}^3 q_1 = \text{crd}^3 q_i + \text{crd}^1 y_{A,j}) \wedge (\text{crd}^4 q_1 = \text{crd}^4 q_i + \text{crd}^2 y_{A,j}))
 \end{aligned}$$

Warunek 3.4.

$$(\forall q_i \in L_{q_2})(\forall g_1 \in L_q)((q_i, q_1) \in \mathcal{B}_j \Rightarrow (\text{crd}^1 q_1 = \text{crd}^1 q_i) \wedge (\text{crd}^2 q_1 = \text{crd}^2 q_i) \wedge (\text{crd}^3 q_1 = \text{crd}^1 q_i + \text{crd}^1 y_{A,j}) \wedge (\text{crd}^4 q_1 = \text{crd}^2 q_i + \text{crd}^2 y_{A,j}))$$

gdzie: symbol $\text{crd}^k q_i$ oznacza k-tą współrzędną uporządkowanej czwórki wyrażającej sytuację q_i (3.15), a symbol $\text{crd}^k y_{A,j}$ - k-tą współrzędną decyzji składowej $y_{A,j}$.

Relacje typu $\mathcal{B}_j$ (3.18) odpowiadające decyzjom sterującym $y_j \in Y$ (3.17) tworzą rodzinę:

$$+\mathcal{B} = \{ \mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \mathcal{B}_3, \mathcal{B}_4 \} \quad (3.19)$$

W podobny sposób można przedstawić, dla zadania k'_1 , relację $\mathcal{D}$:

$$\mathcal{D} = \{ c'_1, c'_2, \dots, c'_s \} \quad (3.20)$$

gdzie:

$c' = (q_i, q_1)$ jest parą sytuacji spełniających warunek 3.5 lub warunek 3.6.

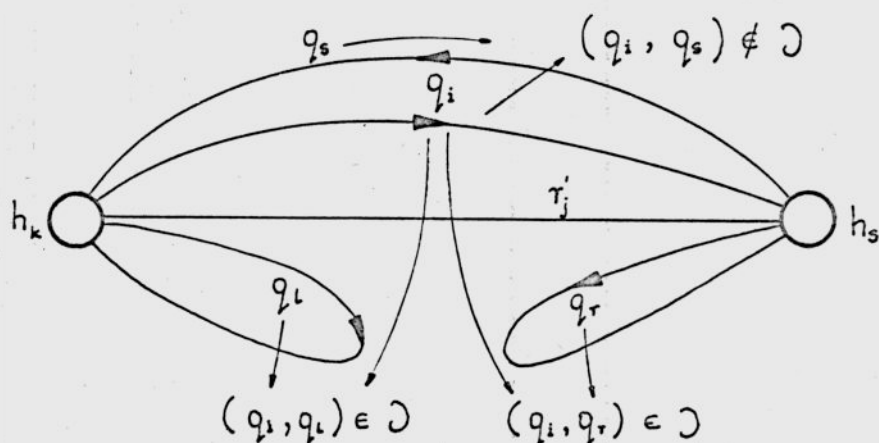
Warunek 3.5.

$$(\forall q_i \in L_{q_1})(\forall q_1 \in L_{q_2})(((q_i, q_1) \in \mathcal{D}) \wedge (q_i = \langle h_k, h_s \rangle) \Rightarrow (q_1 = \langle h_k, h_s \rangle) \vee (q_1 = \langle h_s, h_k \rangle))$$

Warunek 3.6.

$$(\forall q_i \in L_{q_2})(\forall q_1 \in L_{q_1})(((q_i, q_1) \in \mathcal{D}) \wedge (q_i = \langle h_k, h_s \rangle) \Rightarrow (q_1 = \langle h_k, h_s \rangle) \vee (q_1 = \langle h_s, h_k \rangle))$$

Na przykład, niech q_i będzie sytuacją w jakiej może znaleźć się obiekt w wyniku przejścia wzdłuż krawędzi elementarnej r'_j od punktu h_k do h_s (rys. 3.5), a q_s sytuacją związaną z przejściem wzdłuż tej krawędzi od punktu h_s do h_k . Podobnie, niech q_l i q_r będą sytuacjami w jakich może znaleźć się obiekt w wyniku napotkania na krawędzi r'_j przeszkody, przy ruchu odpowiednio od punktu h_k do h_s oraz od h_s do h_k . Przypadek, w którym w wyniku badania krawędzi r'_j obiekt znajdzie się w sytuacji q_i wyklucza możliwość aby podczas ponownego badania tej krawędzi obiekt znalazł się w sytuacji q_l lub q_r , stąd też relacja $\mathcal{D}(3.20)$ zawiera pary (q_i, q_l) , (q_i, q_r) oraz (q_l, q_i) , (q_r, q_i) .



Rys. 3.5. Graficzna interpretacja wzajemnego wykluczania się sytuacji w jakich może znaleźć się obiekt ruchomy w wyniku przebadania krawędzi elementarnej

Ze względu na występowanie przeszkód jednolitych (por. rys. 3.3), aby umożliwić komputerową syntezę gry opisującej proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu, należy dodatkowo wprowadzić relację określającą wszystkie sytuacje związane z badaniem tej samej krawędzi elementarnej:

$$\mathcal{D}^1 \subset L_q \times L_q$$

$$\mathcal{D}^1 = \{ c_1'', c_2'', \dots, c_r'' \} \quad (3.21)$$

gdzie:

$c'' = (q_i, q_l)$ jest parą sytuacji związanych z tą samą krawędzią elementarną, spełniających warunek 3.7.

Warunek 3.7.

$$(\forall q_i, q_l \in L_q) \left(((q_i, q_l) \in \mathcal{J}^1) \wedge (q_i = \langle h_k, h_s \rangle) \Rightarrow (q_l = \langle h_k, h_s \rangle) \vee \right. \\ \left. \vee (q_l = \langle h_s, h_k \rangle) \right)$$

Na każdym etapie działania obiekt porusza się wzdłuż pewnej krawędzi elementarnej, przy czym gdy krawędź ta jest drogą elementarną obiekt dociera do sąsiedniego punktu wyróżnionego, natomiast gdy jest przeszkodą elementarną - zawraca do punktu, z którego rozpoczął ruch na tym etapie. Osiągnięcie dowolnego z wymienionych punktów wyróżnionych kończy dany etap działania. W wyniku opisanego działania, na początku następnego etapu, obiekt ruchomy znajduje się w sytuacji $q \in L_q$ (3.14) związanej z przebadaną krawędzią oraz wspomnianym działaniem w trakcie jej badania. Kolejno rozpoznawane krawędzie elementarne badanego obszaru wyznaczają trajektorię ruchu obiektu. Dla obszaru badanego o dowolnej konfiguracji terenu określonej zbiorem $H^i \in H^+$ (3.8) prawdziwe jest następujące twierdzenie:

Twierdzenie 3.1. Dla każdej konfiguracji terenu badanego obszaru istnieje taka trajektoria ruchu, zapewniająca rozpoznanie tej konfiguracji terenu, która przechodzi przez każdą dostępną krawędź elementarną badanego obszaru co najwyżej dwa razy, za każdym razem w przeciwnym kierunku.

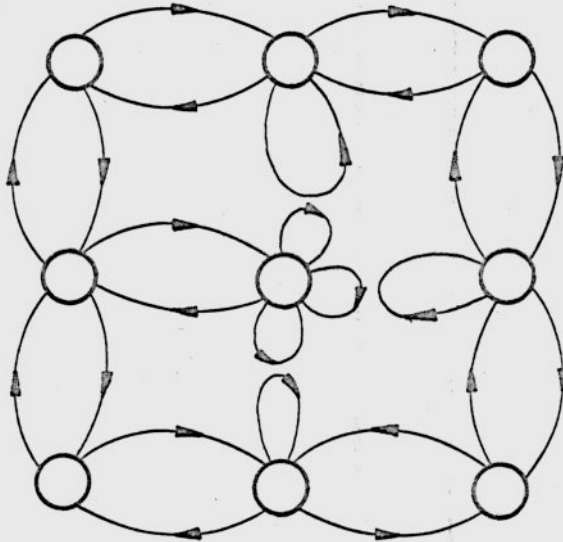
Dla wykazania słuszności powyższego twierdzenia można posłużyć się następującym twierdzeniem znanym z teorii grafów [6]:

Twierdzenie 3.2. Graf $\vec{G}$ posiada kontur Eulera wtedy i tylko wtedy gdy jest spójny i pseudosymetryczny.

Dowód twierdzenia 3.1.

Punkty wyróżnione $h \in H(3.2)$ badanego obszaru X wraz z łączącymi je krawędziami elementarnymi $r' \in H_{rr}$ (3.6), tworzą skończony, nieskierowany graf planarny. Graf taki można oznaczyć symbolem G' . Dla dowolnej, możliwej do rozpoznania konfiguracji terenu badanego obszaru, określonej zbiorem $H^i \in H^+$ (3.8) każdą krawędź grafu G' ,

odpowiadającą drodze elementarnej (w sensie def. 3.2), można zastąpić dwoma przeciwnie skierowanymi łukami odpowiadającymi sytuacjom $q_r, q_s \in L_{q1}$ (3.11) związanym z rozpoznaniem tej drogi elementarnej, natomiast każdą krawędź odpowiadającą przeszkodzie elementarnej (w sensie def. 3.3) - dwoma pętlami odpowiadającymi sytuacjom $q_1, q_m \in L_{q2}$ (3.12) związanym z rozpoznaniem tej przeszkody, przy czym każda pętla jest przyporządkowana innemu wierzchołkowi incyduentnemu ze wspomnianą krawędzią. Otrzymany w ten sposób graf skierowany można oznaczyć symbolem $\vec{G}'$. Graf $\vec{G}'$ jest grafem pseudosymetrycznym, gdyż liczba łuków dochodzących do każdego jego wierzchołka jest równa liczbie łuków wychodzących. Przykładowy taki graf został pokazany na rys. 3.6.



Rys. 3.6. Przykładowy graf typu $\vec{G}'$ odpowiadający obszarowi badanemu z rys. 3.2.

Dla każdej konfiguracji terenu określonej zbiorem $H^1 \in H^+(3.8)$, dostępnej części obszaru badanego odpowiada spójny, pseudosymetryczny graf będący podgrafem grafu $\vec{G}'$. Na mocy twierdzenia 3.2. podgraf taki posiada kontur Eulera - czyli istnieje w nim droga zamknięta przechodząca przez każdy łuk dokładnie jeden raz. Każdej dostępnej krawędzi elementarnej badanego obszaru odpowiadają dwa przeciwnie skierowane łuki lub dwie pętle grafu $\vec{G}'$, przez które przechodzi kontur Eulera. Wynika stąd, że istnieje trajektora ruchu zapewniająca przebadanie wszystkich dostępnych krawędzi elementarnych przechodząca przez każdą krawędź co najwyżej dwa razy, przy czym za każdym razem w przeciwnym kierunku c.b.d.o.

Sytuacje $q \in L_q(3.14)$ w jakich obiekt ruchomy znajduje się na kolejnych etapach realizacji rozpoznawania konfiguracji terenu badanego obszaru, tworzą ciąg typu $\langle q \rangle$ (2.44) reprezentujący działanie obiektu. Ciąg taki przedstawia się następująco:

$$\langle q \rangle = q(1), q(2), \dots, q(m) \quad (3.22)$$

gdzie:

$q(k)$ - jest sytuacją $q_i \in L_q(3.14)$ w jakiej obiekt znajduje się na k -tym etapie działania.

Oznaczając symbolem $S(\langle q \rangle)$ zbiór sytuacji stanowiących elementy ciągu $\langle q \rangle$ (3.22), można sformułować następujące warunki jakie powinny spełniać elementy ciągów reprezentujących dopuszczalne działania obiektu ruchomego w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu.

Warunek 3.8.

$$\begin{aligned} (\forall k \in N_1^{m-1}) (\forall q_l, q_r \in S(\langle q \rangle)) (\exists j \in N_1^4) ((q_l = q(k)) \wedge (q_r = q(k+1))) \iff \\ \iff (q_l, q_r) \in \mathcal{B}_j \end{aligned}$$

Warunek 3.9.

$$(\forall q_l, q_r \in S(\langle q \rangle)) ((q_l, q_r) \notin \mathcal{D})$$

Warunek 3.10.

$$(\forall k, s \in N_1^m) (\forall q_l \in S(\langle q \rangle)) (q_l = q(k) \implies q_l \neq q(s))$$

Warunek 3.11.

$$\bar{S}(\langle q \rangle) = 1 \leq \beta(3.5)$$

Warunek 3.8 oraz warunek 3.9 wynikają bezpośrednio z występujących pomiędzy sytuacjami zależności określonych formalnie relacjami

$\mathcal{B}_j$ (3.18) i $\mathcal{D}$ (3.20), natomiast warunek 3.10 oraz warunek 3.11 wynikają z twierdzenia 3.1.

Zbiór wszystkich możliwych ciągów reprezentujących dopuszczalne działania obiektu ruchomego w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu, przedstawia się następująco:

$$Q^0 = \{ \langle q \rangle_1, \langle q \rangle_2, \dots, \langle q \rangle_n \} \quad (3.23)$$

gdzie:

$\langle q \rangle_i$ jest ciągiem typu $\langle q \rangle$ (3.22), którego elementy spełniają warunki 3.8, 3.9, 3.10 i 3.11.

Z każdym ciągiem typu $\langle q \rangle$ (3.22) jest związany określony ciąg przebadanych przez obiekt krawędzi elementarnych. Z kolei, jak zostało przedstawione wyżej, z każdą krawędzią elementarną związane są cztery możliwe sytuacje, jednakże dana krawędź może być reprezentowana w ciągu $\langle q \rangle$ (3.22) co najwyżej tylko przez dwie przyporządkowane jej sytuacje. Aby określić które działania obiektu ruchomego, reprezentowane ciągami $\langle q \rangle \in Q^0$ (3.23) zapewniają przebadanie wszystkich dostępnych w badanym obszarze krawędzi elementarnych, należy każdemu z ciągów $\langle q \rangle \in Q^0$ (3.23) przyporządkować dwa zbiory: zbiór $W^1(\langle q \rangle)$ zawierający wszystkie możliwe sytuacje związane z krawędziami elementarnymi przebadanymi przez obiekt w wyniku działania reprezentowanego danym ciągiem oraz zbiór $W^2(\langle q \rangle)$ zawierający wszystkie pozostałe sytuacje $q \in L_q$ (3.14):

$$\langle q \rangle_i \longleftrightarrow W^1(\langle q \rangle_i), W^2(\langle q \rangle_i) \quad (3.24)$$

gdzie:

$$W^1(\langle q \rangle) = \left\{ q: q \in S(\langle q \rangle) \vee (q \in L_q \wedge (\exists q_k \in S(\langle q \rangle))((q_k, q) \in \mathcal{D}^1)) \right\}$$

$$W^2(\langle q \rangle) = \left\{ q: q \in L_q \wedge q \notin W^1(\langle q \rangle) \right\}$$

Twierdzenie 3.3. Działanie obiektu ruchomego reprezentowane ciągiem $\langle q \rangle$ zapewnia przebadanie wszystkich dostępnych krawędzi elementarnych badanego obszaru, wtedy i tylko wtedy, gdy elementy ciągu $\langle q \rangle$ spełniają warunek 3.12.

Warunek 3.12.

$$(\forall q_1 \in W^2(<q>))(\forall q_k \in W^1(<q>) \cap L_{q_1})(\forall j \in N_1^4)((q_1, q_k) \notin B_j)$$

Dowód twierdzenia 3.3.

Niech w zbiorze $W^2(<q>)$ sytuacji związanych z niebadanymi przez obiekt krawędziami elementarnymi istnieje taka sytuacja q_1 związana z krawędzią r'_s , która z dowolną sytuacją $q_k \in W^1(<q>)$ - odpowiadającą drodze elementarnej - pozostaje w relacji $(q_k, q_1) \in B_j \in B^+$. Oznacza to, że krawędź r'_s jest krawędzią dostępną. Ponieważ działanie reprezentowane ciągiem $<q>$ nie zapewnia przebadania krawędzi r'_s , nie zapewnia tym samym przebadania wszystkich dostępnych krawędzi elementarnych badanego obszaru. Tak więc, zbiór dostępnych w badanym obszarze krawędzi elementarnych jest równy zbiorowi krawędzi elementarnych przebadanych przez obiekt ruchomy w wyniku działania reprezentowanego ciągiem $<q>$, wtedy i tylko wtedy, gdy elementy ciągu spełniają warunek 3.12. c.b.d.o.

Z przedstawionych rozważań wynika, że nie każde dopuszczalne działanie obiektu - reprezentowane ciągiem $<q> \in Q^0(3.23)$ - zapewnia rozpoznanie konfiguracji terenu badanego obszaru. Na zbiorze $Q^0(3.23)$ można więc określić następującą rodzinę:

$$Q^{0+} = \{ Q^{01}, Q^{02} \} \quad (3.25)$$

gdzie:

- Q^{01} - zbiór ciągów, których elementy spełniają warunek 3.12.
- Q^{02} - zbiór ciągów, których elementy nie spełniają warunku 3.12.

Celem działania obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, jest przebadanie wszystkich dostępnych w danym obszarze krawędzi elementarnych, przy ruchu po najkrótszej drodze. Przy założeniu, że na każdym etapie działania obiekt przebywa jednakowy odcinek drogi, kryterium optymalności działania jest minimalna liczba etapów.

Każde działanie obiektu ruchomego, reprezentowane ciągiem $<q> \in Q^0(3.23)$ można scharakteryzować wynikiem końcowym. W przypadku zadania k'_1 wynik taki określa czy dane działanie zapewnia rozpoznanie konfiguracji terenu całego badanego obszaru oraz w ilu etapach.

Zgodnie z rozważaniami przedstawionymi w rozdziale 2.4. wyniki końcowe można zakodować liczbami naturalnymi określającymi jednocześnie stopień przydatności danego działania z punktu widzenia realizowanego zadania. Dla zadania k'_1 zgodnie z przyjętym kryterium optymalności działania oraz warunkiem 3.11, zbiór liczb kodujących wyniki końcowe jest zbiorem liczb naturalnych $N_0^{\beta+1}$. Stopień przydatności każdego działania obiektu ruchomego reprezentowanego ciągiem $\langle q \rangle \in Q^0$ (3.23) określa funkcja typu $\xi_i(\langle q \rangle)$ (2.50), która dla zadania k'_1 ma następującą postać:

$$m = \xi(\langle q \rangle) = \begin{cases} 1 & \text{dla } \langle q \rangle \in Q^{01} \\ \hat{\mathcal{K}} & \text{dla } \langle q \rangle \in Q^{02} \end{cases} \quad (3.26)$$

gdzie:

$$1 = \overline{\overline{S(\langle q \rangle)}} \quad , \quad \hat{\mathcal{K}} = \beta + 1$$

3.3. Komputerowa synteza dendrytu gry opisującej proces sterowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu

Wieloetapowy proces sterowania działaniem obiektu ruchomego, realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, można opisać za pomocą gry wielochodowej przedstawionej w rozdziale 2.2.

Strategiami chodowymi strony B w takiej grze są sytuacje $q \in L_q$ (3.14) w jakich może znaleźć się obiekt w trakcie badania obszaru, natomiast strategiami chodowymi strony A - decyzje sterujące $y \in Y$ (3.17). Każda partia gry opisuje jedno z możliwych sterowań działaniem obiektu ruchomego badającego obszar o jednej z możliwych konfiguracji terenu, określonej zbiorem $H^i \in H^+$ (3.8). Każdej takiej konfiguracji terenu odpowiada pewien podzbiór zbioru L_q (3.14) zawierający takie sytuacje w jakich może znaleźć się obiekt w trakcie badania obszaru o tej konfiguracji. W danej partii gry strona B dysponuje więc tylko pewnym podzbiorem zbioru L_q (3.14) strategii chodowych. Poznanie tego podzbioru jest równoznaczne z określeniem konfiguracji terenu badanego obszaru. Stąd też, celem gry dla strony A jest "zmuszenie" strony B do takiego stosowania swoich strategii chodowych, aby po jak najmniejszej liczbie ruchów w grze można było

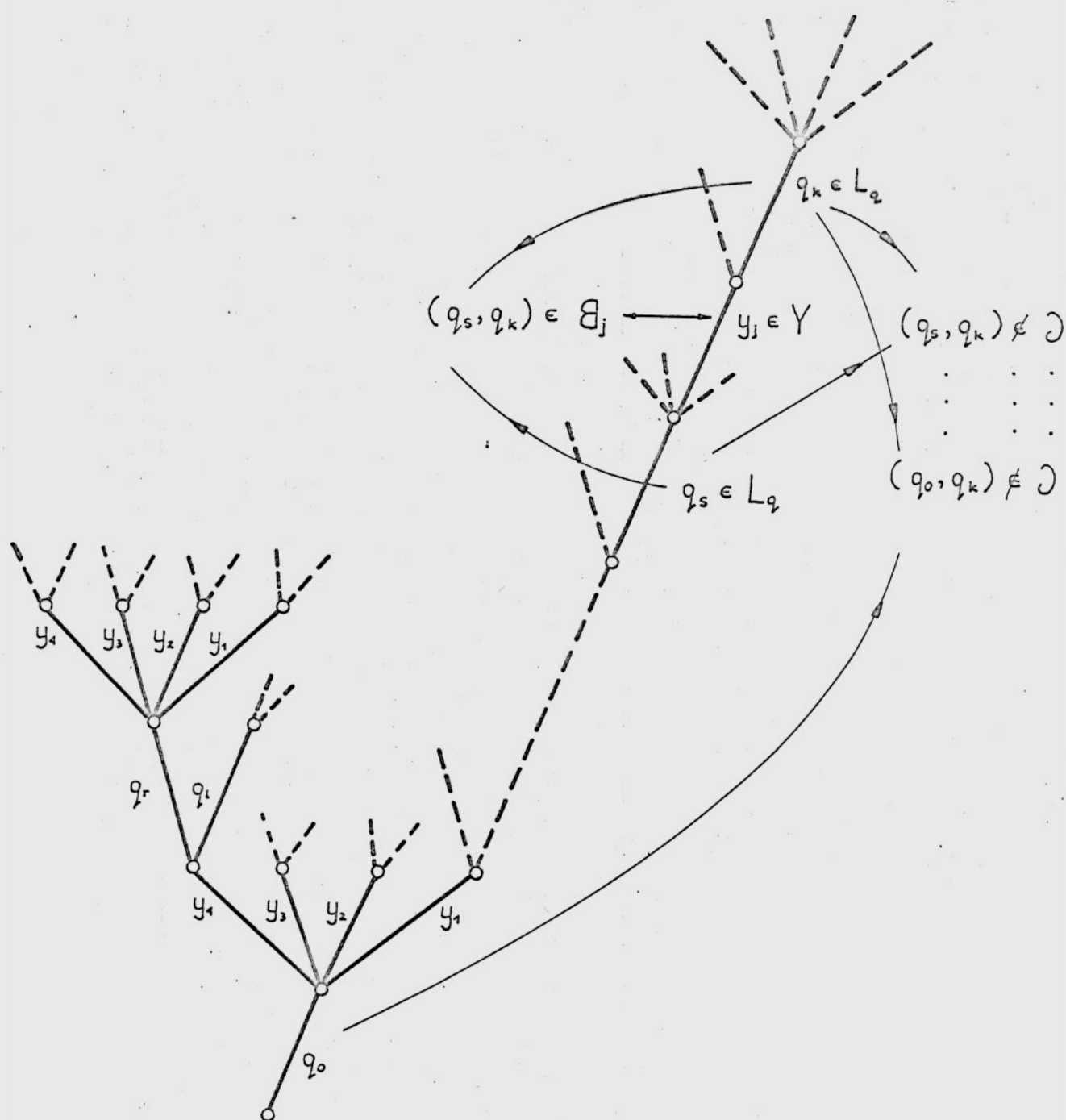
określić zbiór wszystkich strategii chodowych jakimi dysponuje strona B w danej partii. Strategie chodowe zastosowane kolejno przez stronę B w dowolnej partii gry, tworzą ciąg typu $\langle q \rangle \in Q^0$ (3.23) reprezentujący działanie obiektu ruchomego, przy czym liczba etapów takiego działania jest równa liczbie ruchów strony B w grze. Działanie to powinno zapewnić rozpoznanie konfiguracji terenu badanego obszaru w najmniejszej liczbie etapów. Zgodnie z twierdzeniem 3.3, działanie obiektu ruchomego reprezentowane ciągiem $\langle q \rangle$ zapewnia pełne rozpoznanie konfiguracji terenu tylko wtedy, gdy elementy ciągu $\langle q \rangle$ spełniają warunek 3.12. Dopuszczalne sterowanie działaniem obiektu ruchomego, zapewniają więc tylko takie partie gry, w których strategii pełnej strony B odpowiada ciąg $\langle q \rangle$ spełniający ten warunek. Gra opisująca wieloetapowy proces sterowania działaniem obiektu ruchomego, realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, jest rozgrywana zgodnie z regułami podanymi w rozdziale 2.4, przy czym:

- strona B dysponuje tylko jedną sytuacją początkową q_0 (3.13),
- każda strategia chodowa $q \in L_q$ (3.14) może być zastosowana w danej partii gry tylko jednokrotnie, - wynik końcowy każdej partii gry zapewniającej osiągnięcie celu gry przez stronę A jest równy liczbie ruchów strony B w grze, natomiast wynik końcowy każdej partii nie zapewniającej osiągnięcia takiego celu gry jest równy umownej liczbie $\hat{\mathcal{R}} = \beta + 1$.

Zgodnie z przyjętymi w rozdziale wstępnym założeniami, podstawą do syntezy organu sterującego X_0 obiektu ruchomego jest dendryt gry wielochodowej opisującej proces sterowania działaniem takiego obiektu. W przypadku gry opisującej proces sterowania realizacją rozpoznawania konfiguracji terenu wspomniany dendryt będzie oznaczany symbolem d'_1 . Struktura dendrytu d'_1 charakteryzuje się pewnymi - wynikającymi z przedstawionych reguł gry - własnościami, które można wykorzystać na etapie jego syntezy. Własności te przedstawiają się następująco:

- z wierzchołka początkowego dendrytu d'_1 wychodzi krawędź q_0 (3.13).
- po krawędzi typu $q_1 \in L_q$ (3.14) może wystąpić dowolna krawędź typu $y_j \in Y$ (3.17).
- po krawędzi typu $y_j \in Y$ (3.17) może wystąpić tylko taka krawędź $q_k \in L_q$ (3.14), która w danej ścieżce dendrytu d'_1 jeszcze nie wystąpiła i nie pozostaje z żadną krawędzią ścieżki w relacji $\supset$ (3.20), a która pozostaje z ostatnią występującą w ścieżce krawędzią q_1 w relacji $\mathcal{B}_j$ (3.18) (gdzie $\mathcal{B}_j$ odpowiada strategii y_j).

Przedstawione własności struktury dendrytu ilustruje rysunek 3.7.



Rys. 3.7. Ilustracja własności struktury dendrytu d'_1 .

Rozwiązanie gry wyznaczające optymalne sterowanie działaniem obiektu ruchomego, polega na jednostronnej optymalizacji dendrytu gry na korzyść strony A. Optymalizacja taka powoduje jednocześnie znaczną redukcję rozmiarów dendrytu, dlatego też w przypadku dendrytu o dużych rozmiarach celowe jest prowadzenie optymalizacji na bieżąco, w trakcie jego syntezy; czyli "synteza dendrytu zoptymalizowanego". Jednostronnie zoptymalizowany na korzyść strony A dendryt d'_1 będzie oznaczany symbolem d''_1 .

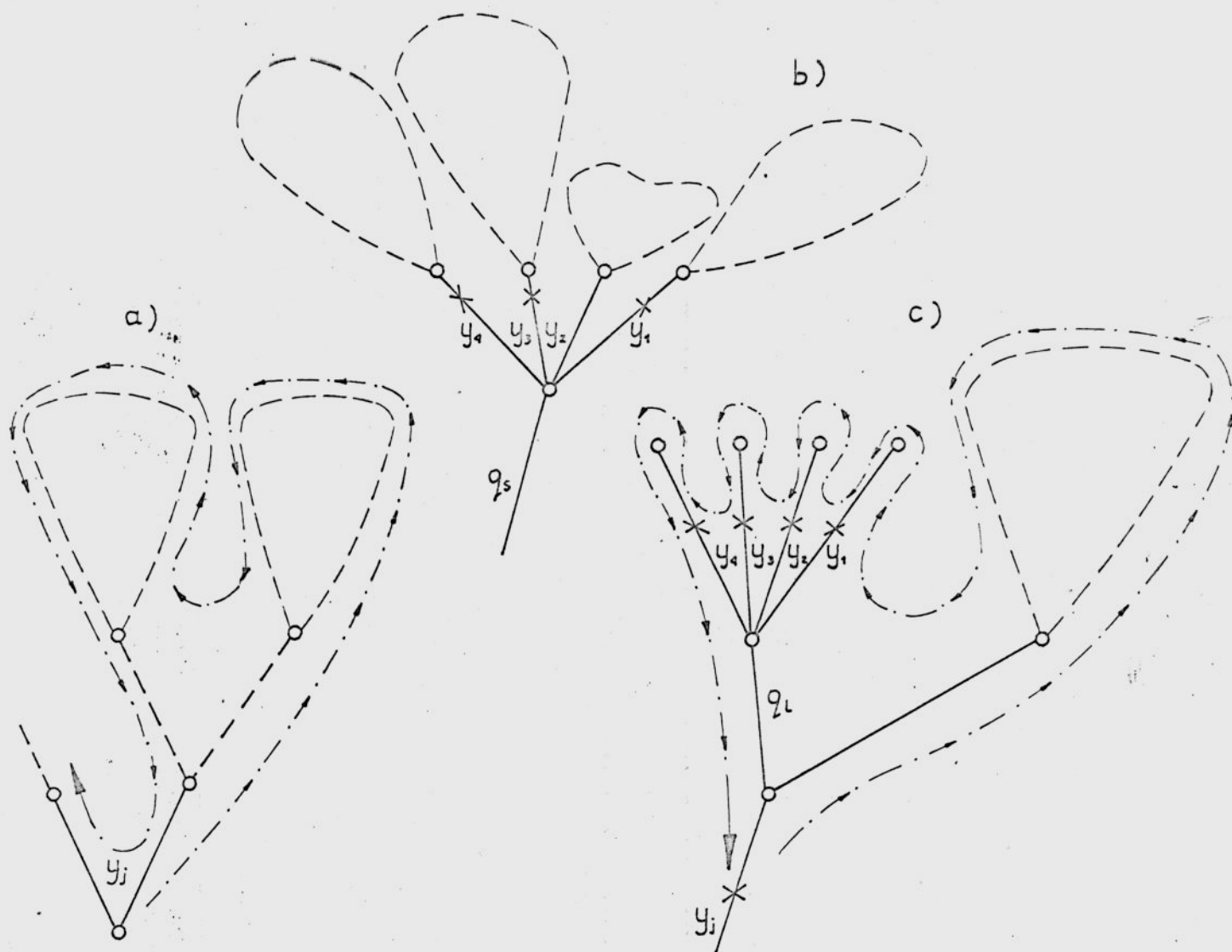
Podczas syntezy dendrytu d'_1 , poza ogólnymi regułami syntezy i optymalizacji dendrytu gry wielochodowej [15,18,19], należy posłużyć się dodatkowo regułami wynikającymi z przedstawionych powyżej reguł gry opisującej proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu, oraz przyjętego kryterium optymalności takiego sterowania. Reguły te tworzą następujący zbiór:

$$E' = \{ E'_1, E'_2, \dots, E'_6 \} \quad (3.27)$$

gdzie:

- E'_1 - jeżeli sekwencja krawędzi typu $q_1 \in L_q$ (3.14) występujących w danej ścieżce dendrytu d'_1 spełnia warunek 3.12, to budowa ścieżki zostaje zakończona, ostatni wierzchołek ścieżki zostaje oznaczony liczbą naturalną równą liczbie krawędzi typu q , które wystąpiły w ścieżce a budowa dendrytu zostaje cofnięta do przedostatniego wierzchołka danej ścieżki
- E'_2 - o ile żadna krawędź typu $q_k \in L_q$ (3.14) nie może - zgodnie z podanymi wcześniej własnościami struktury dendrytu - wystąpić po krawędzi $y_j \in Y$ (3.17), to krawędź y_j zostaje w budowanym dendrycie wykreślona
- E'_3 - wykreślenie wszystkich krawędzi typu $y_j \in Y$ występujących po krawędzi typu $q_1 \in L_q$ powoduje wykreślenie krawędzi typu $y_j \in Y$ prowadzącej do krawędzi q_1 wraz ze zbudowanym na tej krawędzi fragmentem dendrytu (rys. 3.8.c)
- E'_4 - wyczerpanie wszystkich krawędzi typu $q_1 \in L_q$ jakie mogą wystąpić po krawędzi typu $y_j \in Y$, powoduje cofnięcie się w budowie dendrytu do wierzchołka z którego wspomniana krawędź y_j wychodzi (rys. 3.8.a)
- E'_5 - po wyczerpaniu wszystkich krawędzi typu $y_j \in Y$ jakie mogą wystąpić po krawędzi typu $q_1 \in L_q$, następuje porównanie najdłuższych ścieżek zbudowanych na każdej omawianej krawędzi y_j , wybranie tej krawędzi y_j , na której zbudowana jest ścieżka najkrótsza - ze wspomnianych najdłuższych ścieżek - oraz wykreślenie pozostałych krawędzi typu y_j wraz ze zbudowanymi na nich częściami dendrytu, a następnie cofnięcie się do wierzchołka, z którego wspomniana krawędź q_1 wychodzi (rys. 3.8.b)

E'_6 - wyczerpanie wszystkich krawędzi typu $y_j \in Y$ jakie mogą wystąpić po krawędzi q_0 (3.13) oraz wybór jednej z nich zgodnie z przedstawionymi powyżej regułami kończy syntezę dendrytu.



Rys. 3.8. Graficzna interpretacja reguł syntezy dendrytu d'_1

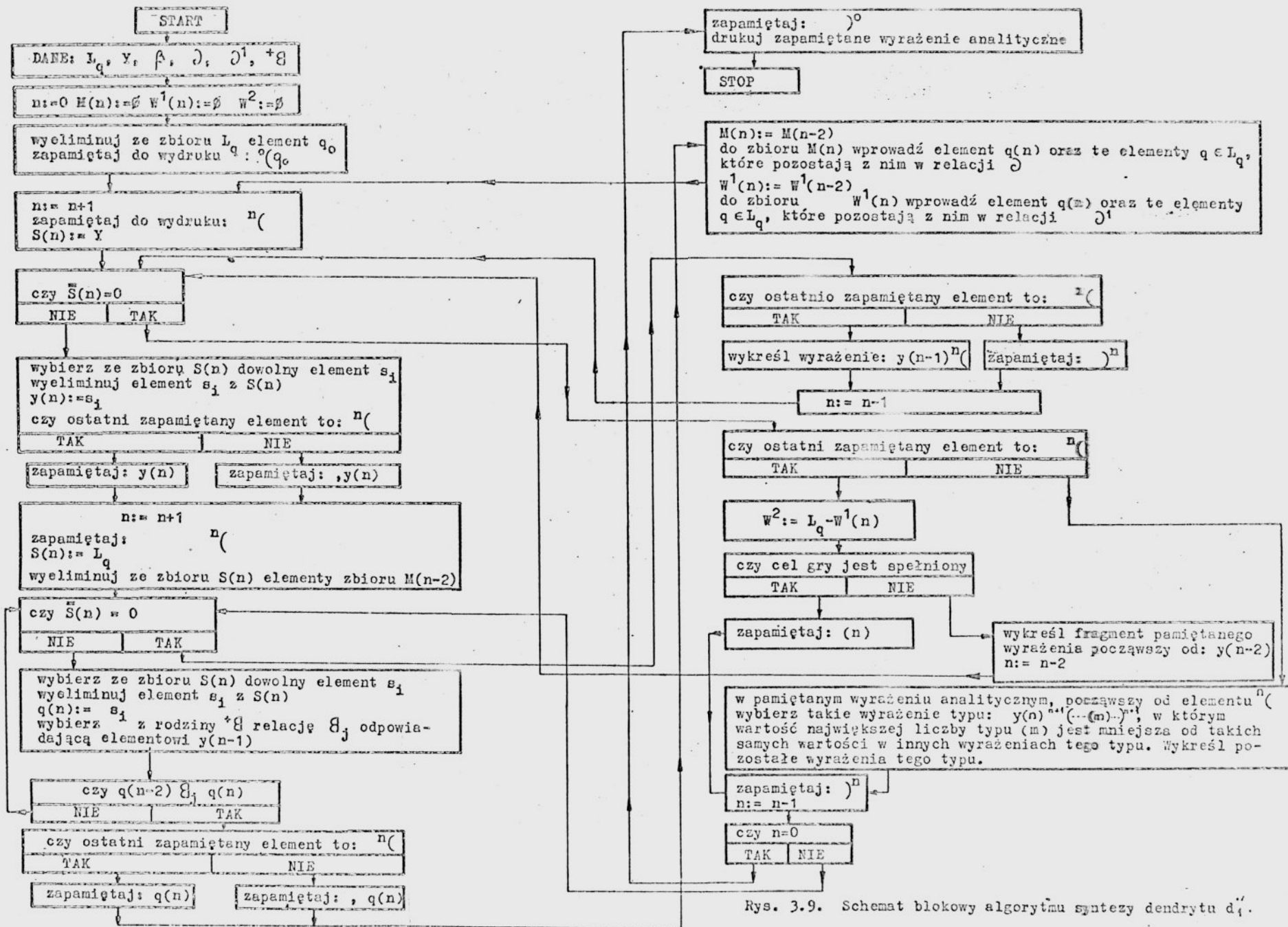
Przedstawioną w niniejszym rozdziale własności struktury dendrytu d'_1 w połączeniu z przedstawionymi regułami syntezy i optymalizacji tego dendrytu, stanowią punkt wyjścia do określenia algorytmu syntezy dendrytu d'_1 na komputerze. Oczywiście, za pomocą komputera można przeprowadzić jedynie syntezę wyrażenia analitycznego opisującego omawiany dendryt gry. Wyrażenie takie zostało przedstawione w rozdziale 2.2. Algorytm syntezy wyrażenia analitycznego opisującego dendryt d'_1 można przedstawić w następującej postaci opisowej:

1. Wprowadzić do pamięci liczbę $n(3.1)$ określającą długość boku kwadratu metrycznego reprezentującego obszar badany.
2. Określić elementy q_j zbioru L_q .
3. Określić elementy y_i zbioru Y .
4. Określić pary elementów (q_k, q_l) spełniających relację $\supset$.
5. Określić pary elementów (q_i, q_j) spełniających relację z rodziny $+\mathcal{B}$.
6. Określić pary elementów (q_r, q_s) spełniających relację $\supset^1$.
7. Określić liczbę β charakteryzującą max. liczbę pięter dendrytu.
8. Wyzerować i zarezerwować obszar pamięci przeznaczony na związane z kolejnymi piętrami dendrytu zbiory: $M(0), M(1), \dots, M(\beta)$ zawierające takie elementy $q_j \in L_q$, które nie mogą być użyte do budowy danej ścieżki dendrytu.
9. Wyzerować i zarezerwować obszar pamięci przeznaczony na związane z kolejnymi piętrami dendrytu zbiory: $W^1(0), W^1(1), \dots, W^1(\beta)$ zawierające elementy $q_j \in L_q$, użyte do budowy danej ścieżki dendrytu oraz takie elementy $q_j \in L_q$, które pozostają z nimi w relacji $\supset^1$.
10. Wyzerować i zarezerwować obszar pamięci przeznaczony na zbiór W^2 , zawierający na dowolnym, n -tym piętrze dendrytu takie elementy $q_j \in L_q$, które nie są elementami zbioru $W^1(n)$.
11. Wyzerować i zarezerwować obszar pamięci przeznaczony na związane z kolejnymi piętrami dendrytu zbiory: $S(1), S(2), \dots, S(\beta)$ zawierające elementy $q_j \in L_q$ lub $y_i \in Y$, które mogą być użyte do budowy ścieżki na danym piętrze dendrytu.
12. Wyzerować wskaźnik "n", określający rozpatrywane piętra dendrytu.
13. Wyzerować i zarezerwować obszar pamięci przeznaczony do zapamiętania kolejnych elementów wyrażenia analitycznego.
14. Wyeliminować ze zbioru L_q element q_0 .
15. Przyjąć jako element $q(0)$ wyrażenia analitycznego element q_0 .
16. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego; $^0(q(0))$.
17. Zwiększyć o jeden wskaźnik n.
18. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $^n($.
19. Wprowadzić do zbioru $S(n)$ elementy zbioru Y .
20. Sprawdzić czy zbiór $S(n)$ jest pusty. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 44, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 21.
21. Ze zbioru $S(n)$ wybrać dowolny element y_i .
22. Wyeliminować ze zbioru $S(n)$ wybrany element y_i .
23. Przyjąć jako element $y(n)$ wyrażenia analitycznego wybrany element y_i .

24. Sprawdzić czy ostatnim zapamiętanym elementem wyrażenia analitycznego jest element: $n($. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 26, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 25.
25. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: , .
26. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $y(n)$.
27. Zwiększyć o jeden wskaźnik n .
28. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $n($.
29. Dodać do zbioru $S(n)$ elementy zbioru L_q .
30. Wyeliminować ze zbioru $S(n)$ elementy q_j przynależne do zbioru $M(n-2)$.
31. Sprawdzić czy zbiór $S(n)$ jest pusty. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 56, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 32.
32. Ze zbioru $S(n)$ wybrać dowolny element q_j .
33. Wyeliminować ze zbioru $S(n)$ wybrany element q_j .
34. Przyjąć jako element $q(n)$ wyrażenia analitycznego wybrany element q_j .
35. Z rodziny $+ \mathcal{B}$ wybrać relację $\mathcal{B}_j$ odpowiadającą elementowi $y(n-1)$.
36. Sprawdzić czy para elementów $(q(n-2), q(n))$ spełnia relację $\mathcal{B}_j$. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 37, jeżeli NIE - powrócić do punktu 31.
37. Sprawdzić czy ostatnim zapamiętanym elementem wyrażenia analitycznego jest element: $n($. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 39, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 38.
38. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: , .
39. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $q(n)$.
40. Dodać do zbioru $M(n)$ elementy zbioru $M(n-2)$.
41. Dodać do zbioru $M(n)$ element $q(n)$ oraz te elementy $q_j \in L_q$, które pozostają z elementem $q(n)$ w relacji $\supset$.
42. Dodać do zbioru $W^1(n)$ elementy zbioru $W^1(n-2)$.
43. Dodać do zbioru $W^1(n)$ element $q(n)$ oraz te elementy $q_j \in L_q$, które pozostają z elementem $q(n)$ w relacji $\supset^1$.
Powrócić do punktu 17.
44. Sprawdzić czy ostatnim zapamiętanym elementem wyrażenia analitycznego jest element: $n($. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 45, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 52.
45. Wyzerować zbiór W^2 .
46. Dodać do zbioru W^2 elementy zbioru L_q .
47. Wyeliminować ze zbioru W^2 elementy q_j przynależne do zbioru $W^1(n)$.

48. Sprawdzić czy cel gry (warunek 3.12) jest spełniony.
Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 49, jeżeli NIE - przystąpić do punktu 50.
49. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: (n) . Przystąpić do punktu 53.
50. Wymazać z pamięci końcowy fragment pamiętanego wyrażenia analitycznego, począwszy od elementu: $y(n-2)$.
51. Zmniejszyć o dwa wskaźnik n . Powrócić do punktu 20.
52. W pamiętanym wyrażeniu analitycznym, począwszy od ostatniego elementu typu " n (" wybrać takie wyrażenie typu " $y(n)^{n+1} (\dots (m) \dots)^{n+1} "$, w którym wartość największej liczby typu " (m) " jest mniejsza od wartości takich liczb w pozostałych wyrażeniach tego typu. Wymazać pozostałe.
53. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $)^n$.
54. Zmniejszyć o jeden wskaźnik n .
55. Sprawdzić czy liczba " n " jest równa zero. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 60, jeżeli NIE - powrócić do punktu 31.
56. Sprawdzić czy ostatnim zapamiętanym elementem wyrażenia analitycznego jest element: n (. Jeżeli TAK - przystąpić do punktu 57, jeżeli NIE przystąpić do punktu 58.
57. Wymazać z pamięci końcowy fragment pamiętanego wyrażenia analitycznego, począwszy od elementu $y(n-1)$. Przystąpić do punktu 59.
58. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $)^n$.
59. Zmniejszyć o jeden wskaźnik n . Powrócić do punktu 20.
60. Zapamiętać element wyrażenia analitycznego: $)^0$.
61. Wydrukować zapamiętane wyrażenie analityczne.
62. Dać sygnał do zakończenia syntezy wyrażenia analitycznego.

Na podstawie powyższego algorytmu opracowano program w języku FORTRAN 1900. Tabulogram tego programu został przedstawiony w DODATKU w załączniku 1, natomiast tabulogram przykładowych wyników - w załączniku 2.



Rys. 3.9. Schemat blokowy algorytmu syntezy dendrytu d_1 .

4. DWUPOZIOMOWY PROCES STEROWANIA OBIEKTEM RUCHOMYM REALIZUJĄCYM ROZPOZNAWANIE KONFIGURACJI TERENU

Przedstawiona w rozdziale trzecim gra wielochodowa opisuje proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu obszaru o dowolnych rozmiarach i kształcie geometrycznym kwadratu. Rozmiary dendrytu takiej gry nie zależą od rzeczywistych rozmiarów badanego obszaru, lecz od - liczonych w jednostkach umownych - rozmiarów kwadratu metrycznego przyjętego za przestrzeń odniesienia, w której rozpatrywane jest działanie obiektu. Przykładowo, liczba δ wierzchołków końcowych dendrytu jest związana, z wyrażoną w jednostkach umownych, długością n (3.1) boku kwadratu metrycznego następującą zależnością:

$$2n^2 + 2n < \delta < 2(2n^2 + 2n) \quad (4.1)$$

Rozmiary kwadratu metrycznego zależą z kolei od wymaganej dokładności względnej badania obszaru. W zależności od tych rozmiarów kwadrat metryczny jest podzielony na określoną liczbę kwadratów jednostkowych, których wierzchołki są punktami wyróżnionymi badanego obszaru.

Fragment badanego obszaru, reprezentowany w przestrzeni odniesienia kwadratem jednostkowym nosi nazwę kwadratu podstawowego obszaru.

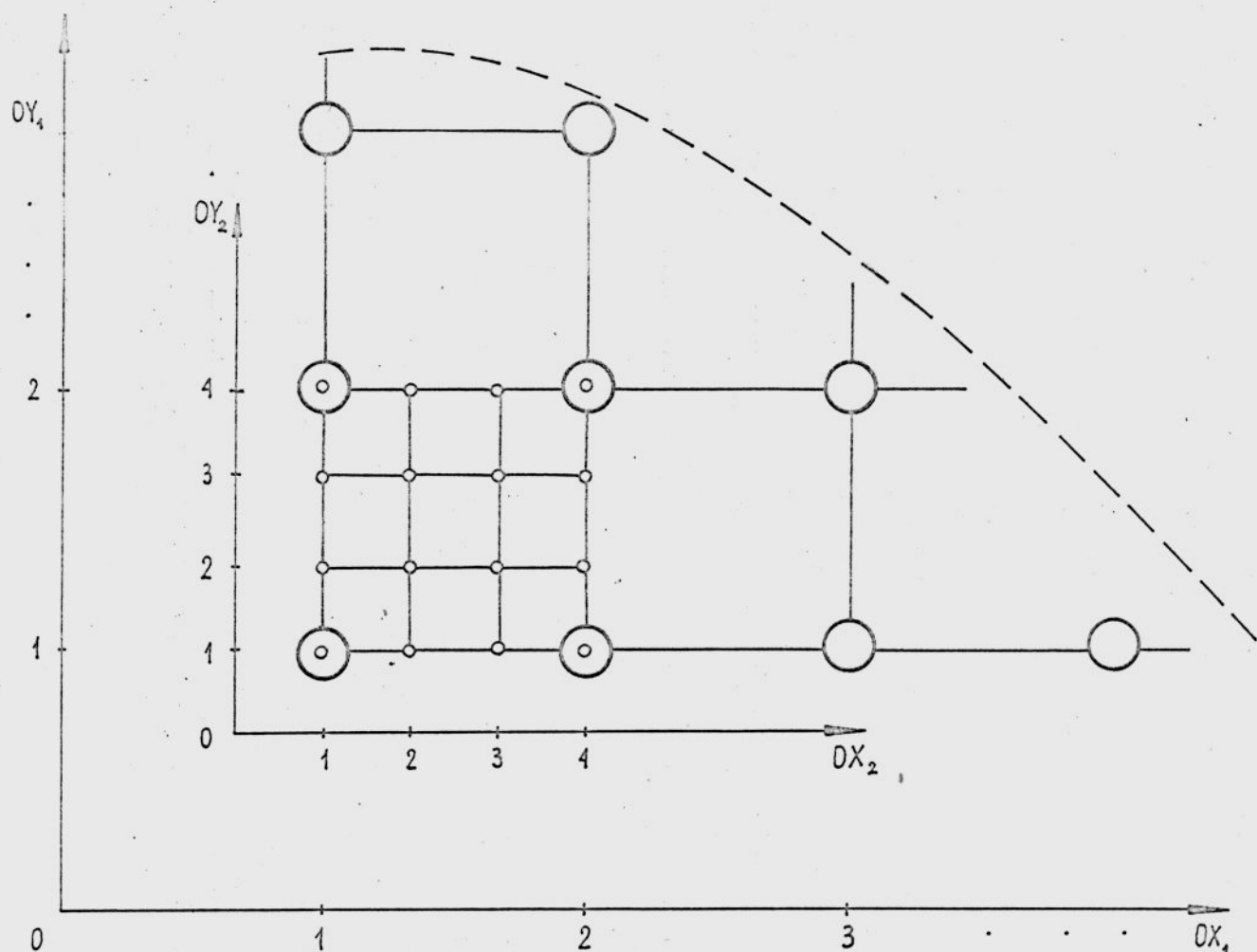
W przypadku, gdy zachodzi potrzeba badania obszaru z dużą dokładnością, rozmiary reprezentującego obszar kwadratu metrycznego a co za tym idzie rozmiary dendrytu gry opisującej proces sterowania działaniem obiektu ruchomego, mogą okazać się zbyt duże, uniemożliwiając w konsekwencji fizyczną realizację organu sterującego.

Możliwe rozwiązanie polega na przyjęciu dwóch stopni kwantowania przestrzeni odniesienia. Przestrzeń pierwszego stopnia jest kwadratem metrycznym o ustalonych rozmiarach, reprezentującym cały obszar badany, natomiast przestrzeń drugiego stopnia jest takim samym kwadratem metrycznym reprezentującym kwadrat podstawowy (por. rys. 4.1).

Rozpoznawanie konfiguracji terenu przebiega w takim wypadku następująco:

- obiekt ruchomy przemieszcza się w przestrzeni pierwszego stopnia, realizując przedstawiony pierwotnie proces rozpoznawania konfiguracji terenu badanego obszaru.

- w każdym punkcie wyróżnionym proces ten zostaje przerwany, następuje skokowe zwiększenie stopnia kwantowania przestrzeni odniesienia i obiekt przystępuje do rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego.



Rys. 4.1. Przestrzeń odniesienia o dwóch stopniach kwantowania

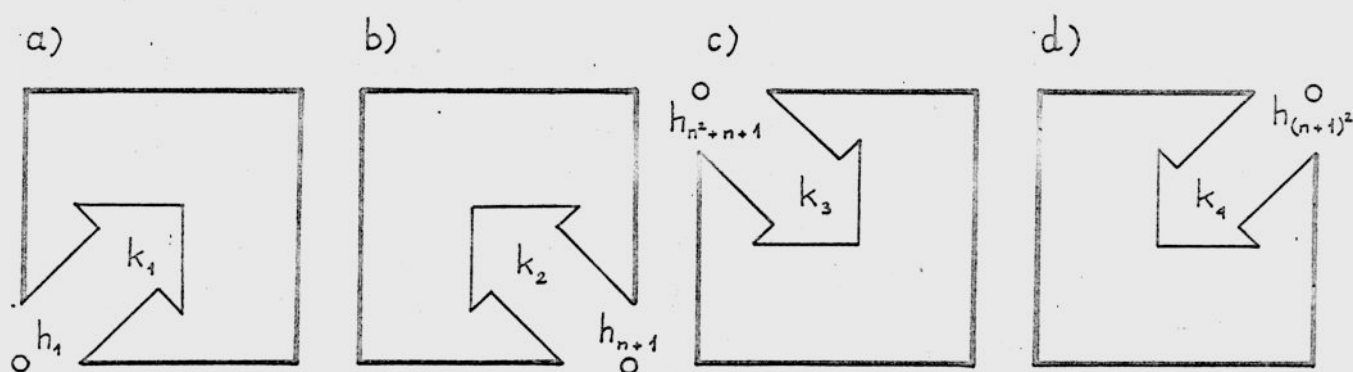
- po przebadaniu kwadratu podstawowego i powrocie do punktu wyjściowego, następuje powrót do pierwotnego stopnia kwantowania i obiekt kontynuuje przerwany poprzednio proces.

Oczywiście, w przedstawionym ujęciu działanie obiektu ruchomego w przestrzeni pierwszego stopnia traci sens rozpoznawania konfiguracji terenu i jest traktowane jako proces przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego. Tak więc zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu badanego obszaru można sprowadzić do dwóch zadań: zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego oraz zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego. Proces sterowania działaniem obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, jest w takim wypadku procesem dwupoziomym. Niższy poziom tego procesu dotyczy sterowania realizacją zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, natomiast poziom wyższy sterowania realizacją zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego.

4.1. Proces sterowania realizacją zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego

Badanie kwadratu podstawowego może rozpocząć się w jednym z czterech punktów wyróżnionych, położonych w jego wierzchołkach. Każdej takiej sytuacji początkowej odpowiada inny wariant zadania k'_1 -rozpoznawania konfiguracji terenu.

Warianty omawianego zadania, rozpoczynające się w punktach wyróżnionych: h_1 , h_{n+1} , h_{n^2+n+1} i $h_{(n+1)^2}$, (por. rys. 3.1) można traktować jako odrębne zadania i oznaczyć odpowiednio: k_1 , k_2 , k_3 i k_4 .



Rys. 4.2. Warianty zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego

Zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego tworzą zbiór:

$$K_1 = \{ k_1, k_2, k_3, k_4 \} \quad (4.2)$$

Każdemu zadaniu przynależnemu do zbioru K_1 (4.2) odpowiada zoptymalizowany dendryt gry wielochodowej opisującej proces sterowania realizacją takiego zadania:

$$k_i \longleftrightarrow d_i$$

Dendryty te tworzy zbiór:

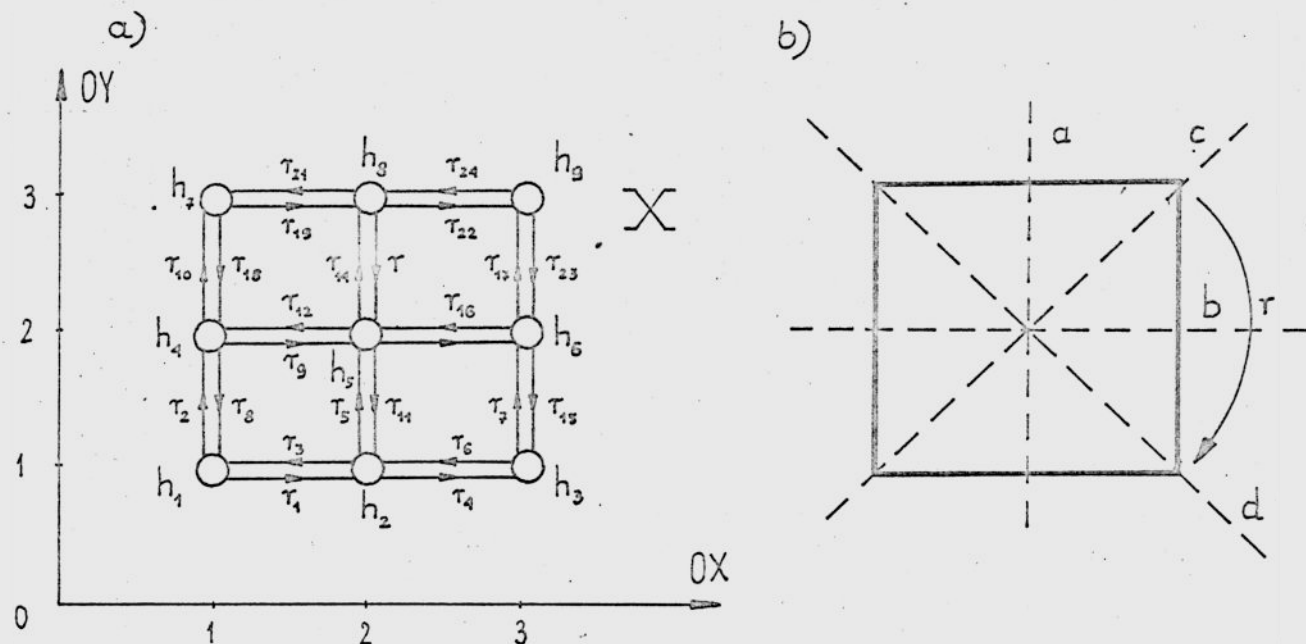
$$D_1 = \{ d_1, d_2, d_3, d_4 \} \quad (4.3)$$

Twierdzenie 4.1.

Dendryty przynależne do zbioru D_1 (4.3) są izomorficzne ze względu na strukturę.

Dowód.

Działanie obiektu ruchomego realizującego zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu dowolnego kwadratu podstawowego stanowiącego fragment badanego obszaru, można rozważyć w reprezentującym taki fragment kwadracie metrycznym X . Kwadrat metryczny wraz z punktami wyróżnionymi $h \in H(3.2)$ oraz łączącymi te punkty odcinkami skierowanymi $r \in H_r(3.4)$ został przedstawiony na rys. 4.3.a.



Rys. 4.3.a. Kwadrat metryczny X reprezentujący badany kwadrat podstawowy.

b. symetrie kwadratu metrycznego X

Trajektorie ruchu obiektu składają się w takim wypadku z odcinków $r \in H_r$, przy czym każdy odcinek może wystąpić w danej trajektorii najwyżej jeden raz. Każdą trajektorię można przedstawić w postaci ciągu odcinków skierowanych:

$$\langle X \rangle_j = r_{j,1}, r_{j,2}, \dots, r_{j,l} \quad (1^0)$$

Rozpatrzmy wszystkie możliwe trajektorie prowadzące od punktu wyróżnionego h_1 do pozostałych punktów $h \in H$ kwadratu X . Ciągi typu $\langle X \rangle (1^0)$ odpowiadające tym trajektoriom tworzą zbiór:

$$S = \{ \langle X \rangle_1, \langle X \rangle_2, \dots, \langle X \rangle_s \} \quad (2^0)$$

Zbiór S reprezentuje wszystkie możliwe działania obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania k_1 .

W celu udowodnienia twierdzenia 4.1 przestrzeń odniesienia, w której rozpatrywane jest działanie obiektu ruchomego należy rozważyć w ujęciu teorii grup [8].

Rozważmy grupę obrotów kwadratu metrycznego X . Grupę taką można oznaczyć symbolem $R^=$. Dowolne przekształcenie $R_i^= \in R^=$ odwzorowuje kwadrat metryczny X w symetryczny względem niego kwadrat metryczny, oznaczony dla odróżnienia symbolem X^T :

$$R_i^= : X \longleftrightarrow X^T \quad (3^0)$$

Punkty wyróżnione kwadratu X^T oraz łączące je odcinki skierowane są oznaczone odpowiednio symbolami h^T i r^T . Przekształcenie $R_i^=$ odwzorowuje wszystkie pary punktów wyróżnionych przestrzeni X tworzące odcinki skierowane $r \in H_r(3.4)$ w odpowiednie pary punktów wyróżnionych przestrzeni X^T tworzące odcinki $r^T \in H_r(3.4)$. W wyniku takiego przekształcenia każdy ciąg typu $< x >_j(1^0)$ odcinków skierowanych przestrzeni X zostaje odwzorowany w odpowiadający mu ciąg $< x >_j^T$ odcinków skierowanych przestrzeni X^T

$$< x >_j \longleftrightarrow < x >_j^T \quad (4^0)$$

Trajektorie ruchu obiektu rozpatrywane w kwadracie metrycznym są więc niezmiennicze względem grupy obrotów kwadratu. Ciągi $< x >_j^T$ odpowiadające ciągom $< x >_j \in S(2^0)$ tworzą zbiór:

$$S^T = \{ < x >_1^T, < x >_2^T, \dots, < x >_s^T \} \quad (5^0)$$

Weźmy takie przekształcenie $R_i^= \in R^=$, które zapewnia odwzorowanie punktu wyróżnionego h_1 kwadratu X , w taki punkt wyróżniony h_1^T - położony w jednym z czterech wierzchołków kwadratu X^T - w którym rozpoczyna się określone zadanie $k_1 \in K_1(4.2)$ różne od k_1 . Elementy zbioru $S^T(5^0)$ reprezentują w takim wypadku możliwe trajektorie ruchu obiektu w trakcie realizacji zadania k_1 . Z wzajemnego, jednoznacznego przyporządkowania elementów zbiorów $S(2^0)$ i $S^T(5^0)$ wynika, że możliwe działania podejmowane przez obiekt ruchomy w trakcie realizacji zarówno zadania k_1 jak i dowolnego innego zadania $k_i \in K_1(4.2)$ różnią się jedynie opisem. Wynika stąd, że procesy sterowania realizacją tych zadań są podobne a tym samym dendryty gier opisujących te procesy są izomorficzne ze względu na strukturę.

Zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego może być realizowane w czterech wariantach traktowanych jako zadania $k \in K(4.2)$. Jak wynika z twierdzenia 4.1, w celu określenia procesu sterowania realizacją takiego zadania wystarczy określić proces sterowania realizacją jednego z zadań $k \in K(4.2)$. Poniżej zostanie przedstawiony proces sterowania realizacją zadania k_1 .

Proces sterowania działaniem obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu, rozpoczynające się w punkcie wyróżnionym h_1 badanego obszaru, został opisany w rozdziale trzecim. Dla uproszczenia tego procesu przyjęto założenie, że obiekt może zakończyć badanie terenu w dowolnym punkcie wyróżnionym obszarze. Z przedstawionych we wstępie do niniejszego rozdziału rozważań wynika, że obiekt ruchomy po wykonaniu zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego powinien znajdować się w wyjściowym punkcie wyróżnionym, w którym zostało przerwane zadanie nadrzędne. Dlatego zadanie k_1 - będące wariantem wspomnianego zadania, poza rozpoznawaniem konfiguracji terenu obejmuje także powrót po najkrótszej drodze do punktu h_1 .

Najkrótszą drogę powrotu można wyznaczyć na podstawie znajomości rozpoznanej konfiguracji terenu. Konfiguracja terenu jest określona na zbiorze $H^1 \in H^+(3.8)$ tych krawędzi elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6), które zostały rozpoznane jako drogi elementarne. Zbiór takich krawędzi można wyznaczyć na podstawie ciągu typu $\langle q \rangle$ (3.12) reprezentującego działanie obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu:

$$\langle q \rangle_k \longleftrightarrow H^1 = \{ r' : r' \in H_{rr} \wedge (\exists q \in S(\langle q \rangle_k) \cap Lq_1) \\ ((q = \langle h_k, h_s \rangle) \Rightarrow (r' = (h_k, h_s)) \vee (r' = (h_s, h_k))) \} \quad (4.4)$$

gdzie:

$S(\langle q \rangle)$ - zbiór elementów ciągu $\langle q \rangle$

Lq_1 (3.12) - zbiór wszystkich możliwych sytuacji związanych z drogami elementarnymi

Droga powrotu może przebiegać wyłącznie przez te krawędzie elementarne badanego kwadratu podstawowego, które zostały rozpoznane jako drogi elementarne. W trakcie powrotu obiekt ruchomy powinien więc znajdować się jedynie w sytuacjach związanych z przebyciem krawędzi elemen-

tarnych przynależnych do zbioru H^i (4.4). Rozpoczynając powrót obiekt znajduje się w sytuacji, w której zostało zakończone rozpoznawanie konfiguracji terenu. Sytuacja taka jest ostatnim elementem danego ciągu $\langle q \rangle_k$ opisującego proces badania konfiguracji terenu i w dalszych rozważaniach będzie oznaczana symbolem $q^{\mathbb{R}}$. Natomiast kończąc powrót, obiekt znajduje się w sytuacji związanej z jedną z dwóch krawędzi elementarnych prowadzących do wyjściowego punktu wyróżnionego. Sytuacja taka będzie dalej oznaczana symbolem $q^{\mathbb{R}\mathbb{R}}$.

Proces sterowania powrotem obiektu do punktu wyjściowego można opisać za pomocą gry wielochodowej przedstawionej w rozdziale 2.2.

Strategiami chodowymi strony B w takiej grze są sytuacje typu $q \in L_q$ (3.14) związane z drogami elementarnymi $r' \in H^i$ (4.4), określone zbiorem:

$$H^i \longleftrightarrow L_i(\langle q \rangle_k) = \left\{ q: q \in L_{q_1} \wedge (\exists r' \in H^i)((r' = (h_k, h_s)) \Rightarrow (q = \langle h_k, h_s \rangle) \vee (q = \langle h_s, h_k \rangle)) \right\} \quad (4.5)$$

przy czym:

$$S(\langle q \rangle_k) \cap L_{q_1} \subset L_i(\langle q \rangle_k)$$

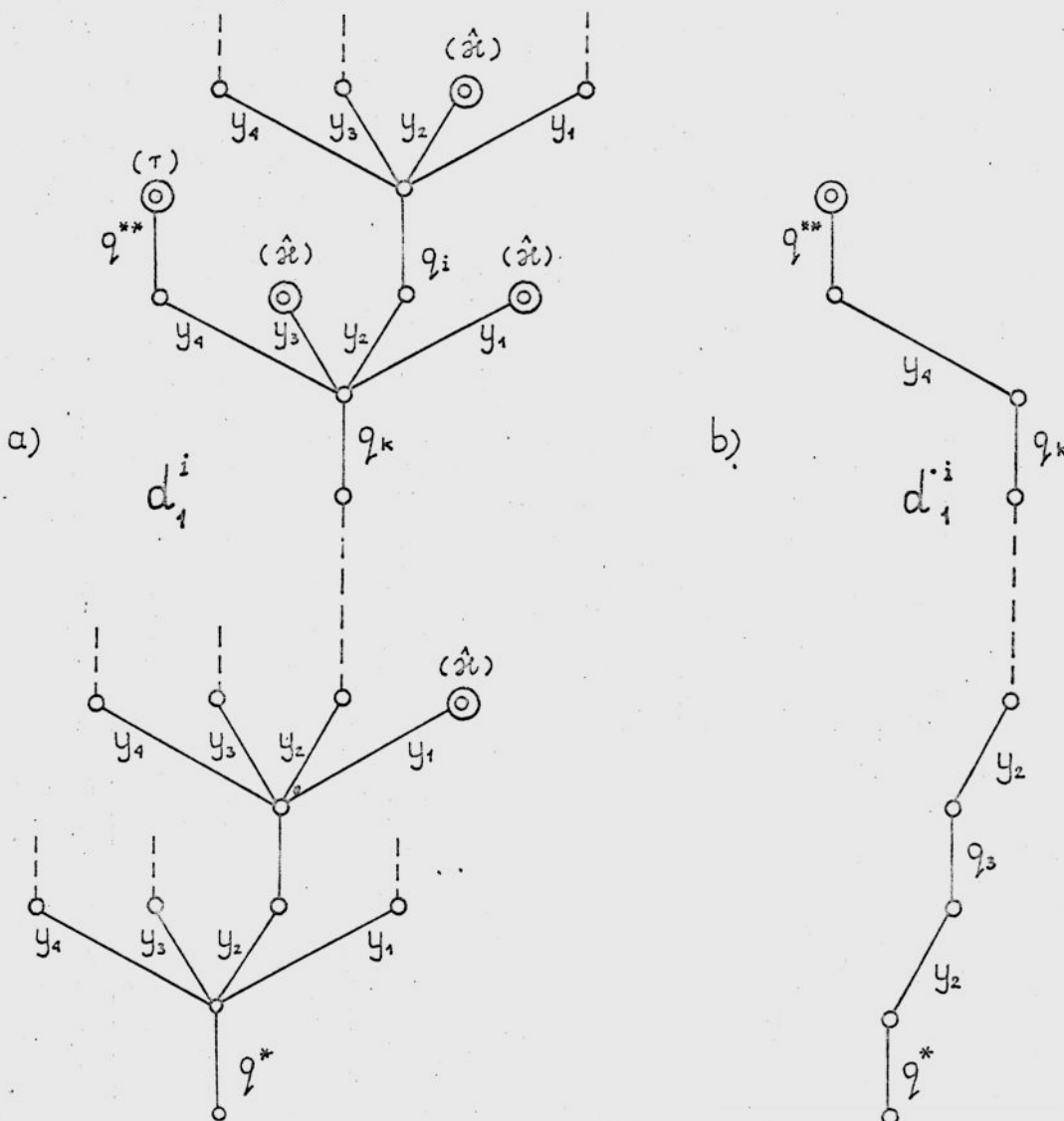
Strategiami chodowymi strony A w takiej grze, są decyzje sterujące $y \in Y$ (3.17). Strategią początkową strony B jest sytuacja $q^{\mathbb{R}}$. Celem gry dla strony A jest "zmuszenie" strony B do zastosowania "najkrótszej" strategii pełnej, w której ostatnia strategia chodowa odpowiada sytuacji $q^{\mathbb{R}\mathbb{R}}$.

Reguły gry opisującej proces sterowania powrotem obiektu ruchomego do punktu wyjściowego są podobne do przedstawionych w rozdziale 3.3 reguł gry opisującej proces sterowania działaniem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu. W każdym swoim posunięciu strona A może zastosować dowolną strategię $y \in Y$ (3.17). W pewnych przypadkach zastosowanym przez stronę A strategiom chodowym, w rzeczywistym procesie sterowania mogą odpowiadać takie decyzje sterujące, w których wyniku obiekt ruchomy znajdzie się w sytuacjach związanych z ruchem po krawędzi elementarnej będącej przeszkodą elementarną lub z wyjściem poza obszar badany. Z punktu widzenia omawianego procesu działania obiektu ruchomego sytuacje takie są niedopuszczalne. Zastosowanie przez stronę A takiej strategii chodowej jest sygnalizowane wyczerpaniem dostępnych w kolejnym ruchu strategii chodowych

strony B, gdyż zbiór strategii strony B nie zawiera strategii chodowych odpowiadających sytuacjom niedopuszczalnym.

Gra kończy się w takim wypadku przegraną strony A, a wynik końcowy partii gry jest równy umownej liczbie $\hat{x}$. Natomiast w przypadku osiągnięcia celu gry, partia gry kończy się wygraną strony A, a wynik końcowy (r) jest równy liczbie ruchów strony B w grze.

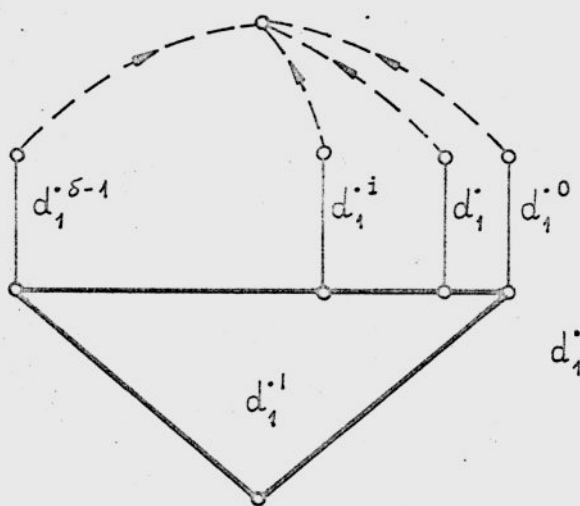
W celu określenia procesu sterowania zapewniającego powrót obiektu ruchomego po najkrótszej drodze do punktu wyjściowego, należy rozważyć wszystkie możliwe partie przedstawionej gry i wybrać partię zapewniającą najwyższą wygraną gracza A, tj. najniższy wynik (r) gry. Dendryt gry opisującej proces sterowania powrotem obiektu ruchomego do wyjściowego punktu wyróżnionego h_1 , w kwadracie podstawowym o konfiguracji określonej zbiorem $H^i(4.4)$, jest oznaczony symbolem d_1^i . Dendryt taki został przedstawiony na rys. 4.4.



Rys. 4.4. Dendryt gry opisującej proces sterowania powrotem obiektu ruchomego do punktu wyjściowego w obszarze o konfiguracji określonej zbiorem H^i

Wszystkie wierzchołki końcowe dendrytu d_1^i , do których prowadzą krawędzie typu $y \in Y$ oznaczone są umowną liczbą $\hat{\mathcal{L}}$, natomiast wierzchołki do których prowadzą krawędzie typu $q \in L_1(< q >)$ liczbą naturalną równą liczbie ruchów w grze. W związku z tym, że po każdej krawędzi typu $y \in Y$ występuje w omawianym dendrycie tylko jedna krawędź typu $q \in L_1(< q >)$, w wyniku jednostronnej optymalizacji na korzyść strony A, dendryt zostaje przekształcony w pojedynczą ścieżkę oznaczoną symbolem d_1^{*i} (rys. 4.4.b).

Jak wiadomo każdemu wierzchołkowi końcowemu dendrytu d_1^{*i} (gry opisującej proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu rozpoczynającym się w punkcie wyróżnionych h_1) odpowiada określona konfiguracja terenu kwadratu podstawowego, wyrażona zbiorem H^i (4.4). Przy porządkując każdemu takiemu wierzchołkowi dendrytu d_1^{*i} ścieżkę d_1^{*i} - opisującą proces sterowania powrotem obiektu ruchomego do punktu wyróżnionego h_1 - otrzymamy dendryt gry opisującej pełny proces sterowania realizacją zadania k_1 rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego rozpoczynającego się i kończącego w punkcie wyróżnionym h_1 (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Symboliczna interpretacja dendrytu gry opisującej proces sterowania realizacją wariantu k_1 zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego

Na podstawie dendrytu d_1^{*i} można - w wyniku odpowiedniego przekodowania jego krawędzi - określić pozostałe dendryty $d_1^{*j} \in D_1$ (4.3). Rozpatrzmy symetrię obrotową kwadratu metrycznego X , reprezentującego fragment badanego obszaru. Grupa obrotów kwadratu jest zbiorem czte-

roelementowym:

$$R^{\bar{}} = \{ R_1^{\bar{}}, R_2^{\bar{}}, R_3^{\bar{}}, R_4^{\bar{}} \} \quad (4.5)$$

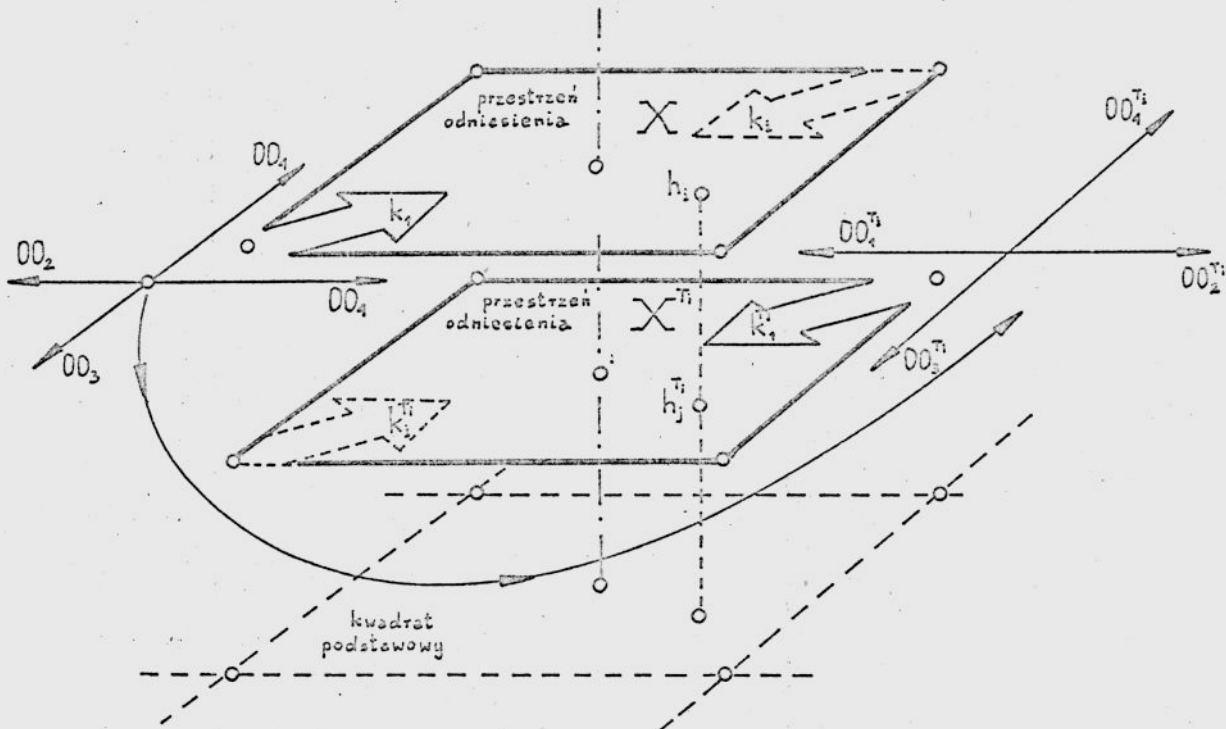
gdzie:

$R_1^{\bar{}} = J$ - przekształcenie tożsamościowe

$R_2^{\bar{}}$ - obrót dookoła środka kwadratu o 270°

$R_3^{\bar{}}$ - obrót dookoła środka kwadratu o 90°

$R_4^{\bar{}}$ - obrót dookoła środka kwadratu o 180°



Rys. 4.6. Przestrzenna interpretacja kwadratów metrycznych X i X^{Ti} reprezentujących badany kwadrat podstawowy

Każdemu zadaniu $k_i \in K_1$ (4.2) można przyporządkować takie przekształcenie $R_i^{\bar{}} \in R^{\bar{}}$ (4.6) kwadratu X w kwadrat X^{Ti} , że działanie obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania k_i - rozpatrywane w kwadracie X - odpowiada działaniu tego obiektu w trakcie realizacji zadania k_i^{Ti} , rozpatrywanemu w kwadracie X^{Ti} (rys. 4.6):

$$k_i \longleftrightarrow R_i^{\bar{}} : X \longrightarrow X^{Ti} \quad (4.7)$$

Przekształcenie $R_i^= \in R^=$ (4.6) przyporządkowuje w sposób wzajemny i jednoznaczny każdemu z punktów wyróżnionych kwadratu X określony punkt wyróżniony kwadratu X^{T_i} :

$$h_i \longleftrightarrow h_j^{T_i} \quad (4.8)$$

Na podstawie przyporządkowania (4.8) można określić odwzorowanie sytuacji $q \in L_q$ (3.14) opisujących krawędzie dendrytu d_1^* , na odpowiednie sytuacje $q^{T_i} \in L_q$ (3.14) opisujące krawędzie dendrytu d_i^* :

$$(V_q \in L_q)(V_{q^{T_i}} \in L_q) \left(((q = \langle h_i, h_j \rangle) \wedge (q^{T_i} = \langle h_k^{T_i}, h_s^{T_i} \rangle) \wedge \right. \\ \left. (h_i \longleftrightarrow h_k^{T_i}) \wedge (h_j \longleftrightarrow h_s^{T_i}) \right) \Rightarrow (q \longleftrightarrow q^{T_i}) \quad (4.9)$$

Z kwadratem metrycznym X związany jest układ czterech półprostych określających dopuszczalne kierunki ruchu w tym kwadracie. Półproste oznaczone są symbolami $00_1, 00_2, 00_3, 00_4$. Ruch w kierunku półprostej 00_j odbywa się w wyniku zastosowania decyzji y_j . Przekształcenie $R_i^= \in R^=$ (4.6) przyporządkowuje w sposób wzajemny i jednoznaczny każdej półprostej 00_j układu związanego z kwadratem X określoną półprostą $00_k^{T_i}$ układu związanego z kwadratem X^{T_i} :

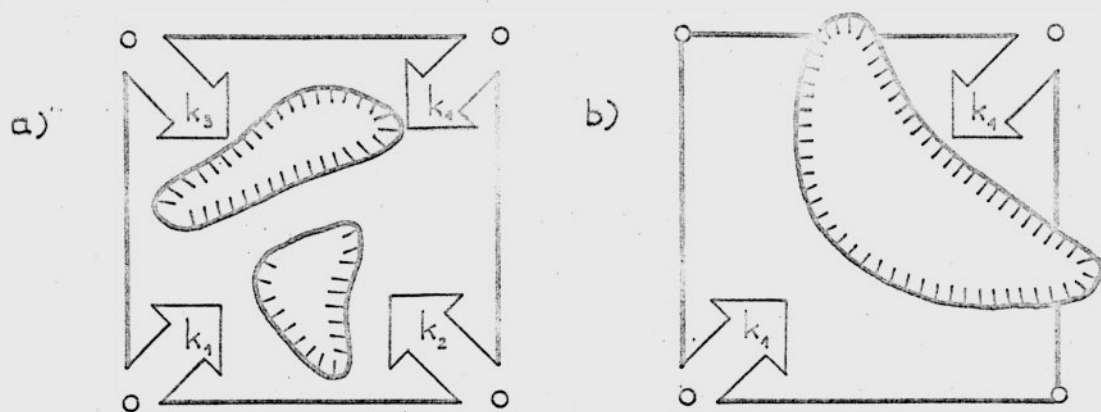
$$00_j \longleftrightarrow 00_k^{T_i} \quad (4.10)$$

Na podstawie przyporządkowania (4.10) można określić odwzorowanie decyzji sterujących $y \in Y$ (3.17) opisujących krawędzie dendrytu d_1^* , na odpowiednie decyzje sterujące $y^{T_i} \in Y$ (3.17) opisujące krawędzie dendrytu d_i^* :

$$(V_y \in Y)(V_{y^{T_i}} \in Y) \left(((y \longleftrightarrow 00_j) \wedge (y^{T_i} \longleftrightarrow 00_k^{T_i}) \wedge \right. \\ \left. (00_j \longleftrightarrow 00_k^{T_i}) \right) \Rightarrow (y \longleftrightarrow y^{T_i}) \quad (4.11)$$

W zależności od napotkanej konfiguracji terenu badanego kwadratu podstawowego, realizowane przez obiekt ruchomy zadanie $k_i \in K_1$

(4.2) może zakończyć się pełnym bądź niepełnym przebadaniem całego dostępnego terenu takiego kwadratu.



Rys. 4.7. Przykładowe konfiguracje terenu badanego kwadratu podstawowego

Jak wiadomo wystąpienie na terenie badanego kwadratu podstawowego przeszkód jednolitych (por. rys. 3.3) uniemożliwia przebadanie pewnych krawędzi elementarnych tego kwadratu. Nieprzebadane krawędzie zostają uznane za przeszkody elementarne. O ile występujące przeszkody jednolite nie obejmują żadnego z czterech punktów wyróżnionych, położonych w wierzchołkach badanego kwadratu podstawowego, każde z zadań przynależnych do zbioru K_1 (4.2) zapewnia pełne rozpoznanie całego dostępnego terenu badanego kwadratu, przy czym pod pojęciem terenu dostępnego rozumiany jest teren nie objęty przeszkodami jednolitymi. Oznacza to, że powtórzenie badania kwadratu w wyniku realizacji dowolnego innego zadania $k_j \in K_1$ (4.2) zapewnia uzyskanie identycznej informacji o konfiguracji jego terenu (rys. 4.7.a). Natomiast w wypadku, gdy przeszkody jednolite obejmują chociaż jeden ze wspomnianych czterech wierzchołkowych punktów wyróżnionych, zrealizowane zadanie $k_i \in K_1$ (4.2) nie może zapewniać pełnego rozpoznania konfiguracji całego dostępnego terenu badanego kwadratu podstawowego, gdyż istnieje możliwość, że badając kwadrat powtórnie - od strony wspomnianego punktu wyróżnionego - uzyskamy dodatkową informację o konfiguracji terenu tego kwadratu (rys. 4.7.b).

Stąd też informacją bardzo istotną - z punktu widzenia nadrzędnego procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego - jest informacja o stopniu przebadania kwadratu podstawowego.

Stopień przebadania kwadratu podstawowego można przedstawić przy pomocy wektora typu g (2.16) określającego warunki jakie zaistniały

w otoczeniu w trakcie realizacji przez obiekt ruchomy określonego zadania. W przypadku zadania rozpoznawania konfiguracji terenu, kwadratu podstawowego wektor taki przedstawia się następująco:

$$g_i = [\bar{g}_{i,1}, \bar{g}_{i,2}, \dots, \bar{g}_{i,8}] \quad (4.12)$$

Współrzędne wektora g_i (4.12) związane są z krawędziami elementarnymi badanego kwadratu podstawowego, incydującymi z jednym z czterech punktów wyróżnionych położonych w wierzchołkach tego kwadratu:

$$\begin{array}{ll} h_1 & \longleftrightarrow \bar{g}_{i,1}, \bar{g}_{i,2} \\ h_{n+1} & \longleftrightarrow \bar{g}_{i,3}, \bar{g}_{i,4} \\ h_{n^2+n+1} & \longleftrightarrow \bar{g}_{i,5}, \bar{g}_{i,6} \\ h_{(n+1)^2} & \longleftrightarrow \bar{g}_{i,7}, \bar{g}_{i,8} \end{array} \quad (4.13)$$

Wartość każdej współrzędnej omawianego wektora wskazuje na to, czy związana z nią krawędź elementarna została w trakcie realizacji zadania $k_i \in K_1$ (4.2) przebadana.

Współrzędne wektora g_i (4.12) przyjmują wartości ze zbioru:

$$G^+ = \{ 0, 1 \} \quad (4.14)$$

gdzie: - liczba "0" wskazuje na to, że krawędź elementarna związana z daną współrzędną nie została przebadana
- liczba "1" wskazuje na to, że krawędź elementarna związana z daną współrzędną została zbadana.

Wektory typu g_i (4.12) określające stopień przebadania kwadratu podstawowego tworzą zbiór:...

$$G = \{ g_1, g_2, \dots, g_{16} \} \quad (4.15)$$

Ponieważ zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego może być realizowane - w zależności od sytuacji początkowej w jakiej się rozpoczyna - w czterech odmiennych wariantach, proces sterowania jego realizacją dogodnie jest opisać parametryczną grą wielochodową. Dendrytem takiej gry jest zbiór D_1 (4.3). Do identyfikacji - w strukturze dendrytu D_1 - określonego dendrytu $d_i \in D_1$, gry opisującej proces sterowania realizacją wariantu k_i omawianego zadania, służy parametr gry oznaczony symbolem p_i .

$$k_i \longleftrightarrow d_i \longleftrightarrow p_i \quad (4.16)$$

Zbiór parametrów jest równoliczny ze zbiorem K_1 (4.2):

$$P_1 = \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \quad (4.17)$$

Wykonując operację wzajemnego nakładania na siebie dendrytów $d_i \in D_1$ (4.3), dendryt gry parametrycznej można zastąpić dendrytem pewnej fikcyjnej gry wielochodowej o tylko jednej sytuacji początkowej, izomorficznym ze względu na strukturę z dowolnym dendrytem d_i . Dendryt zastępczy jest oznaczony symbolem D'_1 . Krawędzie dendrytu D'_1 są obciążone symbolami fikcyjnych strategii chodowych gracza A i gracza B. Ze względu na specyfikę opisywanego procesu sterowania, zbiory fikcyjnych strategii chodowych obydwu graczy są zbiorami dwuelementowymi. Zbiory te - odpowiednio gracza A i gracza B - przedstawiają się następująco:

$$W_1 = \{w_1, w_2\} \quad (4.18)$$

$$S_1 = \{s_1, s_2\} \quad (4.19)$$

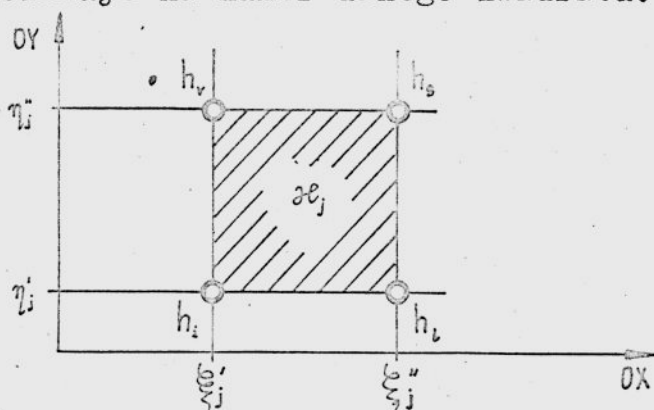
Przykładowy fragment dendrytu zastępczego D'_1 przedstawia rys. 4.8. Dla każdego parametru $p_i \in P$ (4.17) omawianej gry można określić inne odwzorowanie zbioru L_q (3.14) w zbiór S_1 (4.19), warunkujące przejście z rzeczywistych strategii chodowych $q \in L_q$ opisujących krawędzie dendrytu d_i , na fikcyjne strategie $s \in S_1$ opisujące krawędzie dendrytu D'_1 . Odwzorowanie takie dane jest funkcją:

$$s = \left. \varphi_i(q, b) \right|_{p_i = \text{const.}} \quad (4.20)$$

4.2. Proces sterowania realizacją zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego

Jak wynika z rozważań przedstawionych w rozdziale 2.3, proces sterowania działaniem obiektu ruchomego, realizującego wiele zadań, można traktować jako proces dwupoziomowy. Na poziomie wyższym tego procesu realizowane jest sterowanie wyborem kolejności wykonywania zadań, natomiast na poziomie niższym - proces sterowania realizacją wybranego zadania. W przypadku obiektu ruchomego realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu zgodnie z metodą przedstawioną na początku rozdziału czwartego, dogodnie jest połączyć proces sterowania wyborem określonego wariantu $k_1 \in K_1$ (4.2) zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego stanowiącego fragment badanego obszaru, z procesem sterowania ruchem obiektu w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego. Przy takim podejściu, wyższy poziom procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego odpowiada procesowi sterowania realizacją pewnego zadania o charakterze nadrzędnym w stosunku do zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, przedstawionego w rozdziale 4.1. Zadanie takie będzie określane mianem zadania nadrzędnego lub mianem zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, i oznaczane symbolem k_0 , natomiast zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego będzie określane mianem zadania podrzędnego.

Działanie obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania nadrzędnego jest rozpatrywane w przestrzeni odniesienia pierwszego stopnia kwantowania. Jako przestrzeń odniesienia reprezentującą badany obszar, został przyjęty kwadrat metryczny $\mathcal{X}$, opisany w rozdziale trzecim (por. rys. 3.1). Kwadrat taki jest podzielony na n^2 kwadratów jednostkowych, reprezentujących kwadraty podstawowe badanego obszaru. Kwadrat podstawowy jest oznaczony symbolem $\mathcal{X}_j$, przy czym indeks "j" wskazuje na numer danego kwadratu.



Rys. 4.9. Położenie kwadratu podstawowego w przyjętym dla badanego obszaru układzie odniesienia $OX - OY$

Każdy kwadrat podstawowy można jednoznacznie określić przez podanie czwórki punktów wyróżnionych położonych w jego wierzchołkach:

$$\mathcal{K}_j \longleftrightarrow (h_i, h_l, h_r, h_s) \quad (4.22)$$

Numery takich punktów - określone ich indeksami - spełniają warunek 4.1.

Warunek 4.1.

$$\begin{aligned} & (\forall i, l, r, s \in N_1^{(n+1)^2}) (\forall j \in N_1^{n^2}) \left(\mathcal{K}_j = (h_i, h_l, h_r, h_s) \Rightarrow \right. \\ & \left(\left(i = j + \text{ent} \left[\frac{j-1}{n} \right] \right) \wedge \left(l = j + 1 + \text{ent} \left[\frac{j-1}{n} \right] \right) \wedge \right. \\ & \left. \left(r = j + n + 1 + \text{ent} \left[\frac{j-1}{n} \right] \right) \wedge \left(s = j + n + 2 + \text{ent} \left[\frac{j-1}{n} \right] \right) \right) \end{aligned}$$

gdzie: n - długość boku kwadratu metrycznego $\mathcal{X}$ reprezentującego badany obszar

$\text{ent} [\xi]$ - część całkowita liczby $[\xi]$.

Kwadraty podstawowe badanego obszaru tworzą zbiór:

$$\mathcal{K} = \{ \mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2, \dots, \mathcal{K}_\tau \} \quad (4.23)$$

gdzie:

$\mathcal{K}_j = (h_i, h_l, h_r, h_s)$ jest czwórką punktów wyróżnionych obszaru, określających j -ty kwadrat podstawowy, których numery spełniają warunek 4.1.

Jak wiadomo, badanie określonego kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ (4.23) może rozpocząć się tylko w jednym z czterech punktów wyróżnionych, położonych w jego wierzchołkach.

Ze względu na dalsze rozważania, szczególnie interesująca jest relacja określająca kwadraty podstawowe $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ (4.23), których badanie można rozpocząć w danym punkcie wyróżnionym $h_k \in H$ (3.2) badanego obszaru. Relację taką można określić tworząc iloczyn kartezjański zbioru H (3.2) i $\mathcal{K}$ (4.23):

$$V \subset H \times \mathcal{X}$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_r\} \quad (4.24)$$

gdzie: $v_i = (h_k, \mathcal{X}_j)$ jest parą wskazującą na możliwość rozpoczęcia badania kwadratu podstawowego $\mathcal{X}_j$ w punkcie wyróżnionym h_k , spełniającą warunek 4.2.

Warunek 4.2.

$$(\forall h_k \in H)(\forall \mathcal{X}_j \in \mathcal{X})((\mathcal{X}_j = (h_i, h_l, h_r, h_s) \wedge (h_k, \mathcal{X}_j) \in V) \Rightarrow \\ (h_i = h_k \vee h_k = h_l \vee h_k = h_r \vee h_k = h_s))$$

Realizując zadanie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego - oznaczone symbolem k_0 - obiekt ruchomy przemieszcza się w badanym obszarze - rozpatrywanym jako kwadrat metryczny $\mathcal{X}$ - tylko po krawędziach elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6) łączących sąsiednie punkty wyróżnione obszaru. W każdym punkcie wyróżnionym $h_k \in H$ (3.2) obiekt może przystąpić do badania kwadratów podstawowych $\mathcal{X}_j \in \mathcal{X}$ (4.23) pozostających z tym punktem w relacji V (4.23). Decyzja o przystąpieniu do badania określonego kwadratu $\mathcal{X}_j$ wchodzi w zakres zadania k_0 , natomiast samo badanie związane jest z realizacją określonego wariantu $k_1 \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego, opisanego w rozdziale 4.1. Proces sterowania realizacją zadania k_0 jest - na czas trwania realizacji zadania podrzędnego - przerywany i podejmowany ponownie po otrzymaniu informacji o wyniku zakończenia badania kwadratu podstawowego.

W momencie przystąpienia do realizacji zadania podrzędnego następuje skokowe przesunięcie procesu działania obiektu ruchomego z przestrzeni odniesienia pierwszego stopnia kwantowania do przestrzeni drugiego stopnia (por. rys. 4.1). Badany kwadrat podstawowy - reprezentowany poprzednio kwadratem jednostkowym - w wyniku zmiany stopnia kwantowania jest reprezentowany całym kwadratem metrycznym $\mathcal{X}$, a jego wierzchołki - reprezentowane poprzednio punktami wyróżnionymi $h_1, h_l, h_r, h_s \in H$ (3.2) - są reprezentowane punktami wyróżnionymi $h_1, h_{n+1}, h_{n^2+n+1}, h_{(n+1)^2} \in H$ (3.2) (por. rys. 3.1).

Działanie obiektu ruchomego, związane z realizacją zadania podrzędnego, kończy się w takim punkcie wyróżnionym kwadratu podstawowego, w którym się rozpoczęło.

Tak więc po zakończeniu badania dowolnego kwadratu $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ (4.23) obiekt ruchomy znajduje się w tym punkcie badanego obszaru, w którym rozpoczął badanie danego kwadratu.

Realizacja zadania podrzędnego, jest z punktu widzenia zadania nadrzędnego k_0 , traktowana jako pojedynczy etap działania obiektu ruchomego. Etap taki rozpoczyna się decyzją przystąpienia do realizacji określonego wariantu $k_1 \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego, a kończy informacją o wyniku jego realizacji.

Celem działania obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 , jest pełne przebadanie wszystkich dostępnych kwadratów podstawowych $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ (4.23) badanego obszaru. Na każdym etapie działania podczas realizacji zadania k_0 obiekt ruchomy może przebyć tylko jedną krawędź elementarną $r' \in H_{rr}$ (3.6) lub przebadać tylko jeden kwadrat podstawowy $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$. Etap działania obiektu związany z ruchem po krawędzi elementarnej r' może zakończyć się dojściem obiektu do sąsiedniego punktu wyróżnionego, incydentnego z badaną krawędzią lub też powrotem do punktu wyjściowego, w którym obiekt znajdował się na początku etapu. Natomiast etap działania obiektu związany z badaniem kwadratu podstawowego kończy się zawsze powrotem do punktu wyjściowego, przy czym w organie sterującym pamiętany jest wynik typu $g \in G$ (4.15) wskazujący na stopień przebadania kwadratu. Na rys. 4.10 został przedstawiony fragment grafu, którego łuki obrazują możliwe działania obiektu ruchomego związane z przejściem do sąsiedniego punktu wyróżnionego badanego obszaru, natomiast pętle obrazują działania związane z powrotem do punktu wyjściowego. Linia przerywaną zostały oznaczone działania związane z przejściem do realizacji zadania podrzędnego.

Informację o działaniu podjętym na danym etapie oraz efekcie tego działania, organ sterujący obiektu otrzymuje na początku następnego etapu. Informacja taka określa przebadaną krawędź elementarną, kierunek ruchu na tej krawędzi oraz wynik badania, lub też kwadrat podstawowy, wariant zrealizowanego zadania podrzędnego oraz stopień przebadania kwadratu.

Jak wynika z rozważań przedstawionych w rozdziale drugim działanie obiektu ruchomego na danym etapie można określić za pomocą sytuacji q'' (definicja 2.4.) w jakiej obiekt znalazł się na tym etapie. Informacje o tego typu sytuacjach są dostarczane do organu sterują-

Informacja o przebadanym kwadracie podstawowym $\mathcal{K}_j$ oraz wyniku jego badania, jest określana w chwili t_k , na podstawie - zapamiętanej w organie sterującym obiektem - historii działania obiektu w trakcie realizacji zadania podrzędnego.

Przedstawione powyżej ujęcie formalne sytuacji w jakiej obiekt znajduje się w wyniku zakończenia działania związanego z przebadaniem kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}(4.23)$, pozwala na jednoznaczne określenie przebadanego kwadratu podstawowego oraz wariantu zrealizowanego zadania podrzędnego, natomiast nie umożliwia określenia stopnia przebadania tego kwadratu.

Dla uproszczenia rozważań, można przyjąć tylko dwa możliwe stopnie przebadania każdego kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}(4.23)$. Wynika stąd, że rozpoznawanie konfiguracji terenu każdego kwadratu podstawowego badanego obszaru - związane z wykonaniem przez obiekt ruchomy pojedynczego wariantu $k_i \in K_1(4.2)$ zadania podrzędnego - może zakończyć się jedynie pełnym lub niepełnym przebadaniem terenu tego kwadratu.

Przy takim podejściu, sytuacje związane z pełnym rozpoznaniem konfiguracji terenu kwadratów podstawowych $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ badanego obszaru oraz sytuacje związane z rozpoznaniem niepełnym takich kwadratów, można przedstawić jako elementy dwu różnych zbiorów, z których każdy jest równoliczny ze zbiorem $V(4.24)$. Zbiór wszystkich sytuacji typu $q''(4.25)$ - w jakich obiekt ruchomy może się znaleźć w trakcie realizacji zadania nadrzędnego, tj. zadania k_0 - związanych z pełnym rozpoznaniem konfiguracji terenu kwadratów podstawowych badanego obszaru, przedstawia się następująco:

$$L_{q_3} = \left\{ q_{2\beta+1}, q_{2\beta+2}, \dots, q_{2(\beta+v)} \right\} \quad (4.26)$$

gdzie: $q_i = \langle h_k, \mathcal{K}_j \rangle \longleftrightarrow (h_k, \mathcal{K}_j) = v_i \in V(4.24)$ jest sytuacją w jakiej znajduje się obiekt ruchomy w wyniku przebadania kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j$, przy rozpoczęciu badania w punkcie h_k , w przypadku gdy badanie to zakończyło się pełnym rozpoznaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego.

Podobnie zbiór wszystkich możliwych sytuacji typu q'' (4.25), związanych z niepełnym rozpoznaniem konfiguracji terenu kwadratów podstawowych badanego obszaru, przedstawia się następująco:

$$L_{q_4} = \{q_{2\beta+v+1}, q_{2\beta+v+2}, \dots, q_{2(\beta+v)}\} \quad (4.27)$$

gdzie: $q_i = \langle h_k, \mathcal{K}_j \rangle \longleftrightarrow (h_k, \mathcal{K}_j) = v_i \in V$ (4.24) jest sytuacją w jakiej znajduje się obiekt ruchomy w wyniku przebadania kwadratu $\mathcal{K}_j$, przy rozpoczęciu badania w punkcie h_k , w przypadku, gdy badanie to zakończyło się niepełnym rozpoznaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego.

Zbiór wszystkich możliwych sytuacji typu q'' (4.25) związanych z badaniem kwadratów podstawowych $\mathcal{K}_j \in \mathcal{K}$ (4.23), przedstawia się następująco:

$$L'_q = \{q_{2\beta+1}, q_{2\beta+2}, \dots, q_{2(\beta+v)}\} \quad (4.28)$$

gdzie:

$$q_i = \begin{cases} q_i \in L_{q_3} \quad (4.26) & \text{dla } i \leq 2\beta+v \\ q_i \in L_{q_4} \quad (4.27) & \text{dla } i > 2\beta+v \end{cases}$$

W wyniku przebadania kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j$ obiekt ruchomy - w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 - może znaleźć się w jednej z ośmiu sytuacji typu q'' (4.25) związanych z badaniem tego kwadratu. Cztery z tych sytuacji przynależą do zbioru L_{q_3} (4.26) i odpowiadają pełnemu rozpoznaniu konfiguracji terenu kwadratu $\mathcal{K}_j$ uzyskanemu w wyniku realizacji odpowiednio czterech możliwych wariantów zadania podrzędnego, natomiast pozostałe cztery sytuacje przynależą do zbioru L_{q_4} (4.27) i odpowiadają niepełnemu rozpoznaniu konfiguracji terenu tego kwadratu. Wystąpienie w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 dowolnej sytuacji związanej z kwadratem $\mathcal{K}_j$ i przynależnej do zbioru L_{q_3} , wyklucza możliwość wystąpienia w tym zadaniu jakiegokolwiek, związanej z tym kwadratem sytuacji przynależnej do zbioru L_{q_4} i na odwrót. W przypadku gdy badanie kwadratu $\mathcal{K}_j$ - związane z realizacją wariantu k_1 zadania podrzędnego -

zakończy się pełnym rozpoznaniem konfiguracji tego kwadratu, ponowne badanie kwadratu $\mathcal{K}_j$ związane z realizacją pozostałych wariantów zadania podrzędnego - z punktu widzenia realizacji zadania k_0 - nie ma sensu. Tak więc wystąpienie - w zadaniu k_0 - dowolnej sytuacji związanej z kwadratem $\mathcal{K}_j$ i przynależnej do zbioru L_{q_3} wyklucza możliwość wystąpienia pozostałych sytuacji związanych^{q3} z tym kwadratem.

Zależności występujące w zadaniu nadrzędnym k_0 , pomiędzy sytuacjami $q \in L'_q$ (4.28) związanymi z badaniem kwadratów podstawowych, można przedstawić w ujęciu formalnym za pomocą relacji określonej na zbiorze L'_q :

$$\begin{aligned} \perp &\subset L'_q \times L'_q \\ \perp &= \{ l'_1, l'_2, \dots, l'_r \} \end{aligned} \quad (4.29)$$

gdzie: $l'_i = (q_l, q_r)$ jest parą wzajemnie wykluczających się sytuacji, spełniających warunki 4.3 lub 4.4.

Warunek 4.3

$$\begin{aligned} (\forall q_l \in L_{q_4})(\forall q_r \in L_{q_3}) &\left((q_l = \langle h_k, \mathcal{K}_j \rangle \wedge q_r = \langle h_s, \mathcal{K}_i \rangle \wedge (q_l, q_r) \in \perp) \Rightarrow \right. \\ &\left. (\mathcal{K}_j = \mathcal{K}_i) \right) \end{aligned}$$

Warunek 4.4.

$$\begin{aligned} (\forall q_l \in L_{q_3})(\forall q_r \in L'_q) &\left((q_l = \langle h_k, \mathcal{K}_j \rangle \wedge q_r = \langle h_s, \mathcal{K}_i \rangle \wedge (q_l, q_r) \in \perp) \Rightarrow \right. \\ &\left. (\mathcal{K}_j = \mathcal{K}_i) \right) \end{aligned}$$

Sterowanie działaniem obiektu ruchomego, w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 , polega na podejmowaniu - na każdym etapie jego działania - decyzji sterujących bezpośrednio jego ruchem w badanym obszarze (ruch po krawędziach elementarnych) bądź też decyzji "wewnętrznych" - sterujących przystąpieniem obiektu do realizacji określonego wariantu $k_i \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego. Decyzje sterujące ruchem obiektu po krawędziach elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6)

badanego obszaru, zostały określone w rozdziale trzecim jako elementy zbioru Y (3.17). Decyzje "wewnętrzne" nie sterują bezpośrednio ruchem obiektu, mają natomiast dla niższego poziomu procesu sterowania charakter parametrów określających wariant zadania podrzędnego, wykonywanego przez obiekt na danym etapie realizacji zadania nadrzędnego. Decyzje takie odpowiadają więc - określonym w rozdziale 4.1 -parametrom $p \in P_1$ (4.17). Dla potrzeb syntezy procesu sterowania realizacją zadania k_0 , decyzje "wewnętrzne" można przedstawić w postaci wektorów. Zbiór wektorów odpowiadających parametrom $p \in P$ przedstawia się następująco:

$$P^* = \{ \dot{p}_1, \dot{p}_2, \dot{p}_3, \dot{p}_4 \} \quad (4.30)$$

gdzie: $\dot{p}_1 = [0, 0]$ - parametr określający przystąpienie do realizacji zadania k_1 (rys. 4.2-a)
 $\dot{p}_2 = [0, -1]$ - parametr określający przystąpienie do realizacji zadania k_2 (rys. 4.2-b)
 $\dot{p}_3 = [-1, 0]$ - parametr określający przystąpienie do realizacji zadania k_3 (rys. 4.2-c)
 $\dot{p}_4 = [-1, -1]$ - parametr określający przystąpienie do realizacji zadania k_4 (rys. 4.2-d)

W każdym punkcie wyróżnionym $h_k \in H$ (3.2) badanego obszaru obiekt ruchomy może przystąpić do badania jednego z czterech kwadratów podstawowych $\mathfrak{X}_j \in \mathfrak{X}$ (4.23) pozostających z rozpatrywanym punktem w relacji V (4.24). W wyniku takiego badania obiekt znajduje się w określonej sytuacji $q_i \in L_q^*$ (4.28). Badanie każdego z omawianych kwadratów jest związane z realizacją określonego wariantu $k_i \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego. Z kolei realizacja określonego wariantu zadania podrzędnego jest uwarunkowana decyzją "wewnętrzną" $p^* \in P^*$ (4.30). Tak więc po każdej sytuacji $q \in L_q^*$ (3.14), związanej z dojściem obiektu po krawędzi elementarnej do punktu wyróżnionego $h_k \in H$ (3.2), mogą - przy zastosowanej decyzji "wewnętrznej" p^* - nastąpić tylko dwie sytuacje $q \in L_q^*$ (4.28) odpowiadające pełnemu i niepełnemu przebadaniu ściśle określonego kwadratu podstawowego. Zależność określającą następowanie sytuacji $q \in L_q^*$ po sytuacjach $q \in L_q^*$ można przedstawić w ujęciu formalnym za pomocą następującej relacji:

$$\mathcal{R} \subset L_{q_1} \times L'_q$$

$$p_k \longleftrightarrow \mathcal{R}_k = \left\{ e'_1, e'_2, \dots, e'_s \right\} \quad (4.31)$$

gdzie: $e' = (q_i, q_j)$ jest parą sytuacji spełniających warunek 4.5

Warunek 4.5

$$(\forall q_i \in L_{q_1})(\forall q_j \in L'_q) \left((q_i = \langle h_n, h_m \rangle \wedge q_j = \langle h_k, \mathcal{H}_j \rangle \wedge (q_i, q_j) \in \mathcal{R}) \implies \right. \\ \left. \left((h_k = h_m + p) \wedge \mathcal{H}_j = (h_k, h_k + [0, 1], h_k + [1, 0], h_k + [1, 1]) \right) \right)$$

Relacje typu $\mathcal{R}_k$ (4.31) odpowiadające decyzjom wewnętrznym $p' \in P'$ (4.20) tworzą rodzinę:

$$^+ \mathcal{R} = \left\{ \mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{R}_3, \mathcal{R}_4 \right\} \quad (4.32)$$

Proces sterowania realizacją zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego - k_0 , odpowiada wyższemu poziomowi procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego. Proces taki można opisać za pomocą gry wielochodowej przedstawionej w rozdziale 2.2. Strategiami chodowymi strony B w takiej grze są sytuacje $q \in L_q$ (3.14) (związane z ruchem obiektu po krawędziach elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6)) oraz $q \in L'_q$ (4.28) (związane z badaniem kwadratów podstawowych $\mathcal{H} \in \mathcal{X}$ (4.23)) w jakich może znaleźć się obiekt ruchomy w trakcie realizacji zadania k_0 , natomiast strategiami chodowymi strony A - są decyzje $y \in Y$ (3.17) sterujące ruchem obiektu w badanym obszarze oraz parametry $p' \in P'$ (4.30) określające przystąpienie obiektu do realizacji określonego wariantu $k_1 \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego. Każda partia gry opisuje jedno z możliwych sterowań działaniem obiektu przechodzącego od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, przy ściśle określonej konfiguracji terenu każdego kwadratu $\mathcal{H}_j \in \mathcal{X}$ (4.23). Ze względu na zależności występujące pomiędzy sytuacjami $q \in L_q$ i $q \in L'_q$ - określone relacją $\supset$ (3.20) oraz $\perp$ (4.29) - w każdej partii gry strona B dysponuje tylko określonym podzbiorem zbioru swoich wszystkich możliwych strategii chodowych. Celem gry dla strony A jest "zmuszenie" strony B do zastosowania -

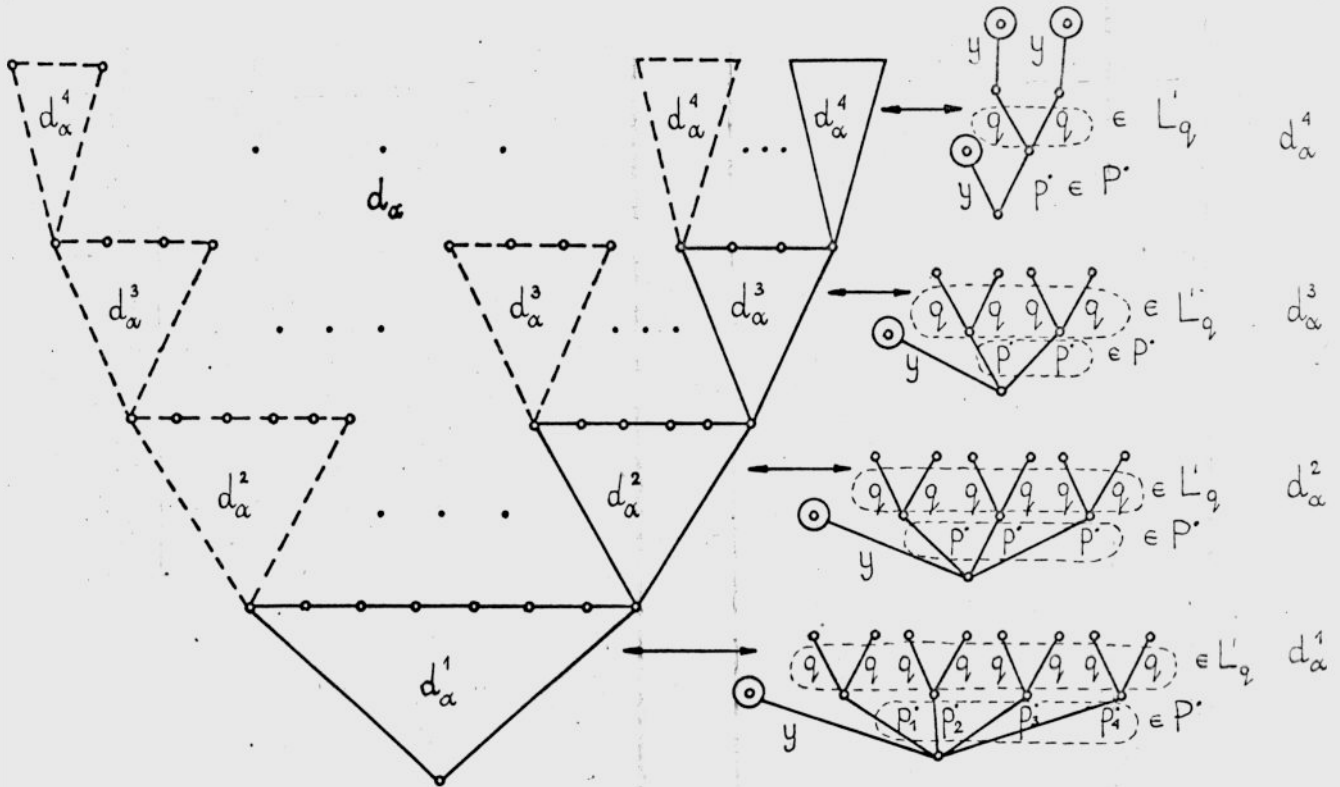
w minimalnej liczbie ruchów - wszystkich dostępnych w danej partii gry strategii chodowych przynależnych do zbioru L'_q (4.28).

Na podstawie analizy zależności - występujących pomiędzy sytuacjami w jakich może znaleźć się obiekt ruchomy w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 - dotyczących zarówno wzajemnego wykluczania się pewnych sytuacji jak i możliwości następowania sytuacji po sobie; można - podobnie jak to zostało przedstawione w rozdziale trzecim - określić reguły rozgrywania omawianej gry, a następnie określić reguły syntezy oraz jednostronnej optymalizacji na korzyść strony A, dendrytu takiej gry oznaczonego symbolem d_0 .

W celu uproszczenia syntezy dendrytu d_0 , można przyjąć założenie, że działanie obiektu ruchomego w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 , związane z przemieszczaniem się obiektu po krawędziach elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6) badanego obszaru, jest niezależne od wyników badania kolejnych kwadratów podstawowych $\mathcal{R}_j \in \mathcal{X}$ (4.23). Do sterowania takim działaniem można więc wykorzystać proces sterowania realizacją zadania k'_1 rozpoznawania konfiguracji terenu badanego obszaru. Proces taki został przedstawiony w rozdziale trzecim. Przy takim podejściu, pełną syntezę dendrytu d_0 można zastąpić odpowiednią modyfikacją dendrytu d'_1 , tj. dendrytu gry opisującej proces sterowania realizacją zadania k'_1 .

Aby określić taką modyfikację, należy rozważyć proces sterowania działaniem jakie obiekt ruchomy może podjąć w dowolnym punkcie wyróżnionym badanego obszaru, w trakcie realizacji zadania nadrzędnego k_0 . Jak wynika z rozważań przedstawionych w niniejszym rozdziale, w każdym punkcie wyróżnionym badanego obszaru obiekt może rozpocząć ruch po krawędzi elementarnej (decyzja $y_j \in Y$ (3.17)) lub przystąpić do realizacji jednego z czterech wariantów $k_i \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego (parametr $p_i \in P$ (4.30)).

Realizacja każdego wariantu k_i zadania podrzędnego, może zakończyć się pełnym lub niepełnym przebadaniem jednego z czterech kwadratów podstawowych $\mathcal{R}_j \in \mathcal{X}$ (4.23) pozostających z rozpatrywanym punktem wyróżnionym w relacji V (4.24). Informację o wyniku takiego badania stanowi określona sytuacja $q_i \in L'_q$ (4.28). Po zakończeniu realizacji danego wariantu k_i zadania podrzędnego, obiekt w dalszym ciągu znajduje się w rozpatrywanym punkcie wyróżnionym obszaru i może przystąpić do realizacji innego wariantu k_j zadania podrzędnego. Rozważany proces sterowania działaniem podejmowanym przez obiekt ruchomy w dowolnym punkcie wyróżnionym badanego obszaru, można przedstawić za pomocą dendrytu oznaczonego symbolem d_α . Strukturę takiego dendrytu przedstawia rys. 4.11.

Rys. 4.11. Struktura dendrytu d_α

Każde piętro dendrytu d_α jest zbudowane z jednakowych dendrytów, oznaczonych dla kolejnych pięter odpowiednio symbolami d_α^1 , d_α^2 , d_α^3 i d_α^4 . Krawędzie dendrytu d_α opisane elementami $p' \in P'$ (4.30) odpowiadają decyzjom "wewnętrznym" sterującym przystąpieniem obiektu ruchomego do realizacji określonego wariantu zadania podrzędnego, natomiast krawędzie opisane elementami $q \in L'_q$ (4.28) odpowiadają sytuacjom w jakich znalazł się obiekt ruchomy w wyniku przebadania określonych kwadratów podstawowych $\mathfrak{A} \in \mathfrak{X}$ (4.23). Krawędzie opisane elementem $y_i \in Y$ (3.17) odpowiadają decyzji sterującej przejściem obiektu do "sąsiedniego" punktu wyróżnionego.

Każdej sytuacji $q_i \in L_{q_1}$ (3.11) - związanej z dojściem obiektu ruchomego po krawędzi elementarnej do określonego punktu wyróżnionego badanego obszaru - można przyporządkować taki dendryt typu d_α , którego krawędzie opisane elementami "q" odpowiadają sytuacjom $q \in L'_q$ (4.28) pozostającym z daną sytuacją $q_i \in L_{q_1}$ w relacji $\mathfrak{A}$ (4.31):

$$q_i \longleftrightarrow d_{\alpha i} \quad (4.33)$$

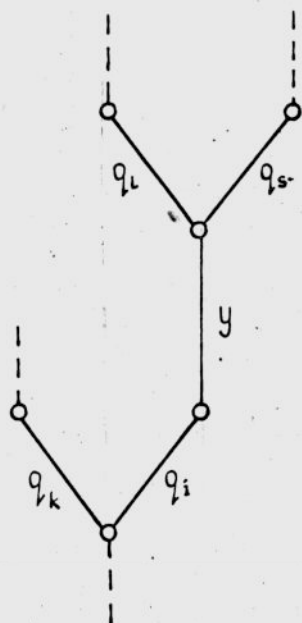
Zbiór dendrytów przyporządkowanych sytuacjom $q_i \in L_{q_1}$ przedstawia

się następująco:

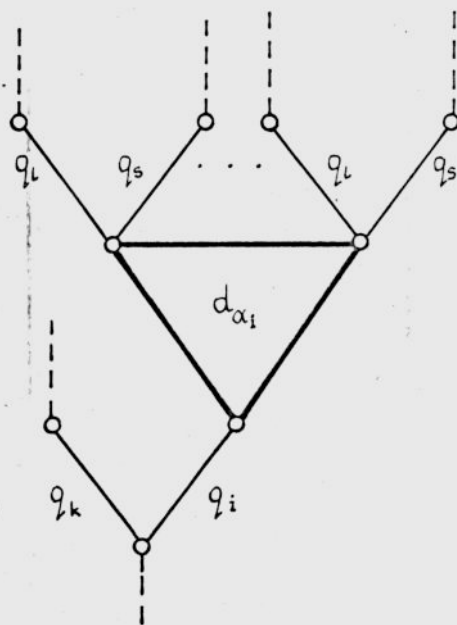
$$D_{\alpha} = \{d_{\alpha_1}, d_{\alpha_2}, \dots, d_{\alpha_{\beta}}\} \quad (4.34)$$

Zastępując w dendrycie d_1'' , każdą krawędź opisaną elementem $y_j \in Y(3.17)$ - wychodzącą z wierzchołka dendrytu, do którego docho-
dzi krawędź opisaną elementem $q_i \in L_{q_i}(3.11)$ - odpowiednim dendrytem $d_{\alpha_i} \in D_{\alpha}(4.34)$ oraz każdy wierzchołek dendrytu, do którego kra-
wędź y_j prowadzi, wierzchołkami końcowymi dendrytu d_{α_i} , otrzymamy
dendryt d_0 .

a)



b)



Rys. 4.12. Ilustracja modyfikacji dendrytu d_1''
a) fragment dendrytu przed modyfikacją
b) fragment dendrytu po modyfikacji

Przedstawione rozważania stanowią podstawę do określenia algo-
rytmu syntezy dendrytu d_0 - gry opisującej proces sterowania realizacją
zadania nadrzędnego k_0 - na drodze modyfikacji dendrytu d_1'' .
Ze względu na znaczne rozmiary dendrytu d_0 synteza taka powinna być
prowadzona łącznie z jednostronną optymalizacją dendrytu na korzyść
strony A rozpatrywanej gry. Zoptymalizowany dendryt tej gry oznaczony

symbolem d_0 wyznacza strukturę automatu $\langle P \rangle$ wchodzącego w skład organu sterującego obiektu ruchomego.

4.3. Kodowanie konfiguracji terenu za pomocą liczb naturalnych

Rozpoznawanie konfiguracji terenu badanego obszaru, polega na kolejnym badaniu kwadratów podstawowych $\mathcal{R}_j \in \mathcal{X}$ (4.23) tego obszaru. Badanie każdego kwadratu $\mathcal{R}_j$ jest związane z realizacją jednego z wariantów $k_i \in K_1$ (4.2) zadania podrzędnego i kończy się uzyskaniem obrazu konfiguracji terenu badanego kwadratu. Na podstawie informacji o obrazach terenu kolejno badanych kwadratów podstawowych, można określić obraz konfiguracji terenu całego obszaru badanego. Informacja taka stanowi podstawę do wyznaczenia zachowania się obiektu ruchomego w przyszłości. Aby informacja o obrazach konfiguracji terenu kolejno badanych kwadratów podstawowych mogła być wykorzystana, należy ją bądź zapamiętać w organie sterującym obiektem, bądź też przesłać do organu nadrzędnego. W tym celu obrazy konfiguracji terenu należy odpowiednio zakodować za pomocą liczb naturalnych.

Informację o rozpoznanej konfiguracji terenu dowolnego kwadratu podstawowego $\mathcal{R}_j \in \mathcal{X}$ (4.23) badanego obszaru, można przedstawić w postaci wektora o δ (3.7) współrzędnych, którego każda współrzędna charakteryzuje określoną krawędź elementarną $r' \in H_{rr}$ (3.6) danego kwadratu. Wektor taki przedstawia się następująco:

$$\mathbf{z} = \{z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_k}\} \quad (4.35)$$

gdzie:

$z_{i_k} \longleftrightarrow r'_k \in H_{rr}$ (3.6) jest współrzędną charakteryzującą k -tą krawędź elementarną badanego kwadratu podstawowego.

Długość wektora $\mathbf{z}$ (4.35) jest stała, niezależnie od rozpoznanej konfiguracji terenu badanego kwadratu podstawowego.

Def. 4.1. Obrazem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego $\mathcal{R}_j$ jest wektor $\mathbf{z}$ (4.35), którego współrzędne charakteryzują krawędzie elementarne tego kwadratu.

Zbiór możliwych wartości wektora $\mathbf{z}$ (4.35) jest zbiorem możliwych obrazów konfiguracji terenu kwadratu podstawowego.

Jak zostało nadmienione w rozdziale 3.2, z każdą krawędzią elementarną $r' \in H_{rr}$ (3.6) są związane cztery różniące się między sobą sytuacje:

$q_k, q_r \in L_{q_1} (3.11)$ i $q_{k+\beta}, q_{r+\beta} \in L_{q_2} (3.12)$ - w jakich może

znaleźć się obiekt ruchomy w trakcie badania tej krawędzi, przy czym dwie pierwsze sytuacje odpowiadają rozpoznaniu omawianej krawędzi jako drogi elementarnej, natomiast dwie pozostałe odpowiadają rozpoznaniu krawędzi jako przeszkody elementarnej.

$$\dot{x}_{i_k} \longleftrightarrow r'_k \longleftrightarrow q_k, q_r, q_{k+\beta}, q_{r+\beta} \quad (4.36)$$

Wynika stąd, że współrzędne wektora $\dot{x}_i$ (4.35) powinny przyjmować wartości ze zbioru dwuelementowego:

$${}^+L = \{0, 1\} \quad (4.37)$$

gdzie:

wartość: 0 - odpowiada przypadkowi, kiedy krawędź elementarna reprezentowana daną współrzędną została rozpoznana jako przeszkoda elementarna

wartość: 1 - odpowiada przypadkowi, kiedy krawędź elementarna reprezentowana daną współrzędną została rozpoznana jako droga elementarna.

Każda nieprzebadana krawędź elementarna traktowana jest podobnie, jak krawędź rozpoznana jako przeszkoda elementarna.

Zbiór wszystkich możliwych wektorów typu $\dot{x}_i$ (4.35) jest równoliczny ze zbiorem $\mathcal{H}$ (3.9):

$$L = \{ \dot{x}_0, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_{\delta-1} \} \quad (4.38)$$

gdzie:

$\dot{x}_i \longleftrightarrow \mathcal{H}_i \in \mathcal{H} (3.9)$ - jest obrazem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego stanowiącego obszar $\mathcal{H}_i$

Każdemu wektorowi $\dot{x}_i \in L$ (4.38) można przyporządkować liczbę naturalną:

$$\dot{x}_i \longleftrightarrow \dot{x}_i = \sum_{j=1}^{\delta} x_{i,j} \cdot 2^{(\delta-j)} \quad (4.39)$$

Zbiór liczb kodujących możliwe obrazy konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, przedstawia się następująco:

$$\dot{L} = \{ \dot{x}_0, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_{\sigma-1} \} \quad (4.40)$$

gdzie:

$$\dot{x}_i \longleftrightarrow x_i \in L \quad (4.38)$$

Jak wynika z rozważań przedstawionych w poprzednich rozdziałach, każdej możliwej konfiguracji terenu kwadratu podstawowego - jaką można określić w wyniku realizacji wariantu $k_1 \in K_1$ (4.2) zadania rozpoznawania konfiguracji terenu - odpowiada określona partia gry opisującej proces sterowania działaniem obiektu ruchomego w trakcie badania tego kwadratu. W dendrycie $\dot{d}_1 \in D_1$ (4.3) tej gry, partia taka jest reprezentowana ścieżką prowadzącą od wierzchołka początkowego do określonego wierzchołka końcowego dendrytu. Stąd też, każdemu wierzchołkowi końcowemu dowolnego dendrytu $\dot{d}_j \in D_1$ (4.3) - gry opisującej niższy poziom procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego, realizującego rozpoznawanie konfiguracji terenu - odpowiada określony obraz $\dot{x}_i \in L$ (4.38) konfiguracji terenu kwadratu podstawowego. Obraz taki można określić na podstawie ciągu typu $\langle q \rangle$ (3.12) reprezentującego - zastosowaną w danej partii gry - strategię pełną gracza B.

$$\langle q \rangle_k \longleftrightarrow \dot{x}_i \quad (4.41)$$

W tym celu, na podstawie ciągu $\langle q \rangle_k$ należy - korzystając z zależności (4.4) - wyznaczyć zbiór krawędzi elementarnych $r' \in H_{rr}$ (3.6), stanowiących w badanym kwadracie drogi elementarne:

$$\langle q \rangle_k \longleftrightarrow H^i \quad (4.4)$$

Każda współrzędna wektora $\dot{x}_i$ (4.35) przyporządkowana krawędzi elementarnej przynależnej do zbioru H^i (4.4) przyjmuje wartość "1".

$$(\forall r' \in H^i) (r'_k \longleftrightarrow \dot{x}_{i_k} \implies \dot{x}_{i_k} = 1) \quad (4.42)$$

Natomiast pozostałe współrzędne tego wektora przyjmują wartość "0".

$$(\forall r' \in H_{rr} - H^i)(r'_k \longrightarrow \dot{x}_{i_k} \Longrightarrow \dot{x}_{i_k} = 0) \quad (4.43)$$

Korzystając z zależności (4.4), (4.42), (4.43), (4.39), każdemu wierzchołkowi końcowemu dowolnego dendrytu $\dot{d}_j \in D_1$ (4.3) można przyporządkować liczbę naturalną $\dot{x}_j \in \mathbb{N}$ (4.40) kodującą - odpowiadający temu wierzchołkowi - obraz konfiguracji terenu kwadratu podstawowego. Proces przyporządkowywania wierzchołkom końcowym liczb kodujących obrazu konfiguracji terenu - podobnie jak proces przyporządkowania tym wierzchołkom liczb kodujących stopień przebadania kwadratu - stanowi część składową procesu syntezy dendrytu gry opisującej niższy poziom procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego.

Omawiany proces zostanie zilustrowany na przedstawionym niżej przykładzie.

Przykład.

Rozważmy fragment dendrytu gry opisującej proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, zawierającego tylko cztery punkty wyróżnione. Kwadrat taki oraz rozważany fragment dendrytu przedstawia rys. 4.13.

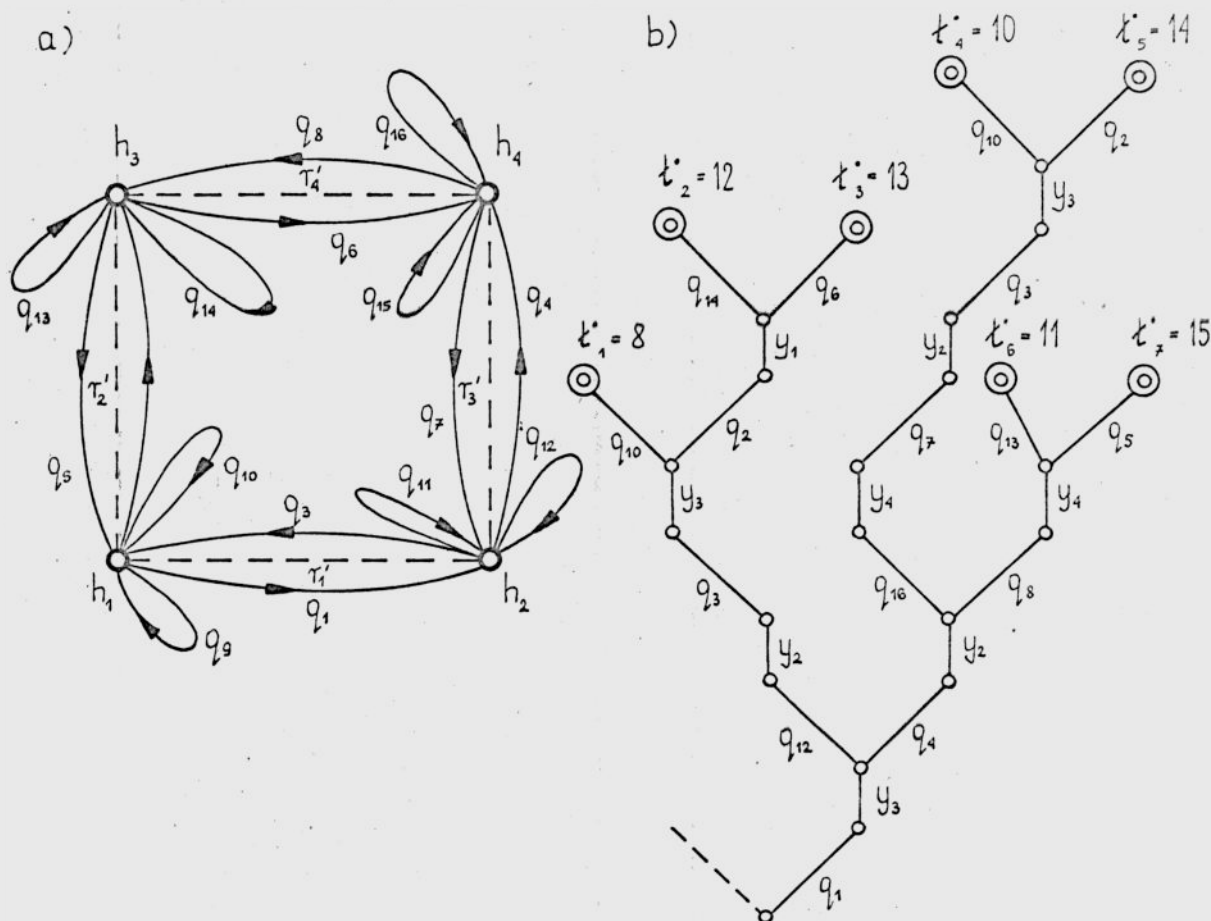
Linie przerywane oznaczone na rys. 4.13-a symbolami r'_1, r'_2, r'_3, r'_4 , odpowiadają badanym krawędziom elementarnym, linie tworzące łuki, oznaczone symbolami $q \in L_{q_1}$ (3.11) - sytuacjom związanym z rozpoznaniem krawędzi jako dróg elementarnych natomiast linie tworzące pętle, oznaczone symbolami $q \in L_{q_2}$ (3.12) - sytuacjom związanym z rozpoznaniem krawędzi jako przeszkód elementarnych.

Krawędzie dendrytu przedstawionego na rys. 4.13-b, oznaczone symbolami q odpowiadają omówionym wyżej sytuacjom występującym w trakcie badania kwadratu, natomiast krawędzie oznaczone symbolami $y \in Y$ (3.17) - decyzjom sterującym.

Wierzchołki końcowe dendrytu są oznaczone liczbami naturalnymi $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4, \dot{x}_5, \dot{x}_6, \dot{x}_7$. Liczby te zostaną wyznaczone poniżej.

Rozważmy sekwencję sytuacji typu q , występujących w ścieżce prowadzącej do wierzchołka oznaczonego symbolem $\dot{x}_1$. Sekwencja ta przedstawia się następująco:

$$\dot{x}_1 \longrightarrow \langle q \rangle_1 = q_1, q_{12}, q_3, q_{10} \quad (1^0)$$



Rys. 4.13.a - kwadrat podstawowy zawierając cztery punkty wyróżnione

b - fragment dendrytu gry opisującej proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu (bez sterowania powrotem)

Na podstawie sekwencji $\langle q \rangle_1$ można wyznaczyć zbiór krawędzi elementarnych, rozpoznanych jako drogi elementarne:

$$\dot{x}_1 \rightarrow \langle q \rangle_1 \rightarrow H^1 = \{ r'_1 \} \quad (2^\circ)$$

Ponieważ zbiór H^1 zawiera tylko pierwszą krawędź elementarną, wierzchołkowi oznaczonemu symbolem $\dot{x}_1$ odpowiada wektor, którego pierwsza współrzędna przyjmuje wartość "1":

$$\dot{x}_1 \rightarrow \langle q \rangle_1 \rightarrow H^1 \rightarrow \dot{x}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3^\circ)$$

$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ r'_1 & r'_2 & r'_3 & r'_4 \end{matrix}$

Zgodnie z przyjętą metodą kodowania - zależności (4.39) - występują-

ce kolejno po sobie wartości współrzędnych wektora $\dot{x}_1$ tworzą liczbę naturalną zapisaną w systemie dwójkowym

$$\dot{x}_1 = [1, 0, 0, 0] \longrightarrow 1000_2 = 8_{10} = \dot{x}_1 \quad (4^0)$$

W podobny sposób można wyznaczyć liczby opisujące pozostałe wierzchołki końcowe:

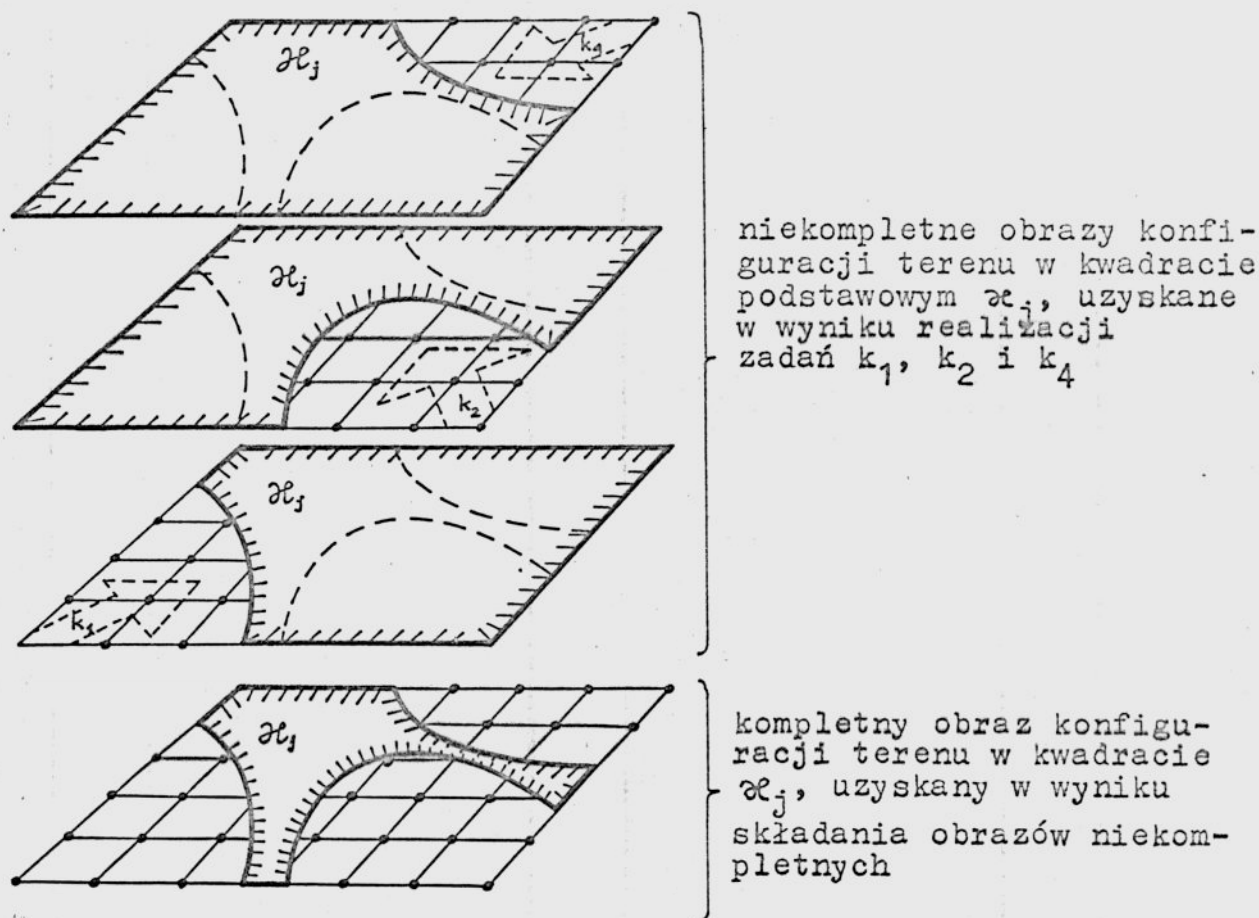
$$\dot{x}_2 \longrightarrow q_1, q_{12}, q_3, q_2, q_{14} \longrightarrow \{r'_1, r'_2\} \longrightarrow [1, 1, 0, 0] \longrightarrow 1100_2 = 12_{10} = \dot{x}_2$$

$$\dot{x}_3 \longrightarrow q_1, q_{12}, q_3, q_2, q_6 \longrightarrow \{r'_1, r'_2, r'_4\} \longrightarrow [1, 1, 0, 1] \longrightarrow 1101_2 = 13_{10} = \dot{x}_3$$

$$\dot{x}_4 = 10, \quad \dot{x}_5 = 14, \quad \dot{x}_6 = 11, \quad \dot{x}_7 = 15$$

Jak wynika z przedstawionego przykładu - ze względu na binarną postać informacji typu przejście/przeszkoda - kodowanie wektorów reprezentujących obrazy konfiguracji terenu sprowadza się do potraktowania wartości współrzędnych każdego wektora typu $\dot{x}$, jako kolejnych bitów liczby dwójkowej. Współczesna technika przesyłania i przetwarzania informacji dyskretnych, posługuje się liczbami w notacji dwójkowej, dlatego też nie ma potrzeby dalszej zamiany liczb kodujących omawiane wektory, na liczby dziesiętne.

W ogólnym przypadku, badanie kwadratu podstawowego $\mathcal{K}_j$ - związane z realizacją zadania $k_j \in K_1(4.2)$ - może zakończyć się niepełnym rozpoznaniem konfiguracji jego terenu. Ma to miejsce w takim wypadku, kiedy występujący układ przeszkód elementarnych uniemożliwia przebadanie pewnych krawędzi elementarnych, pomimo tego, że krawędzie te nie są objęte przeszkodami jednolitymi (por. rys. 4.14). W obrazie konfiguracji terenu wszystkie nieprzebadane krawędzie kwadratu podstawowego są uwidocznione jako przeszkody elementarne. Stąd też, uzyskany w omawianym przypadku obraz konfiguracji terenu w kwadracie $\mathcal{K}_j$ - pomimo tego, że reprezentuje wszystkie krawędzie badanego kwadratu - jest w rzeczywistości obrazem konfiguracji tylko pewnej części tego kwadratu. W dalszych rozważaniach obraz taki będzie określany mianem obrazu niekompletnego (niepełnego).



Rys. 4.14. Otrzymywanie kompletnego obrazu konfiguracji terenu w kwadracie podstawowym $\mathcal{X}_j$ w wyniku składania obrazów niekompletnych

W celu uzyskania rzeczywistych kompletnych obrazów konfiguracji terenu pozostałych części kwadratu $\mathcal{X}_j$, badanie tego kwadratu należy powtórzyć realizując pozostałe zadania przynależne do zbioru K_1 (4.2). Na podstawie otrzymanych w wyniku takiego badania niekompletnych obrazów konfiguracji terenu kwadratu podstawowego $\mathcal{X}_j$, można uzyskać pełny kompletny obraz konfiguracji terenu tego kwadratu (rys. 4.14). W tym celu, na wektorach reprezentujących takie obrazy należy wykonać pewną operację składania wektorów, oznaczoną dalej symbolem $\boxplus$. Operację tę można zdefiniować następująco:

Def. 4.2. Operacją $\boxplus$ nazywa się taką operację wykonywaną na wektorach $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \in \mathbb{L}$ (4.38) reprezentujących niekompletne obrazy konfiguracji terenu kwadratu podstawowego $\mathcal{X}_j$, w której wyniku zostaje uzyskany następujący wektor $\mathbf{x}_k \in \mathbb{L}$ (4.38):

$$r_i' \longrightarrow x_{i_i}, x_{j_i}, x_{r_i}, x_{s_i} \quad (2^0)$$

Każda współrzędna odpowiadająca krawędzi rozpoznanej jako droga elementarna przyjmuje wartość "1", natomiast współrzędna odpowiadająca krawędzi, do której nie ma dojścia lub krawędzi rozpoznanej jako przeszkoda elementarna przyjmuje wartość "0".

Utwórzmy sumę logiczną współrzędnych odpowiadających krawędzi elementarnej $r_i' \in H_{rr} (3.6) (zależność(2^0))$:

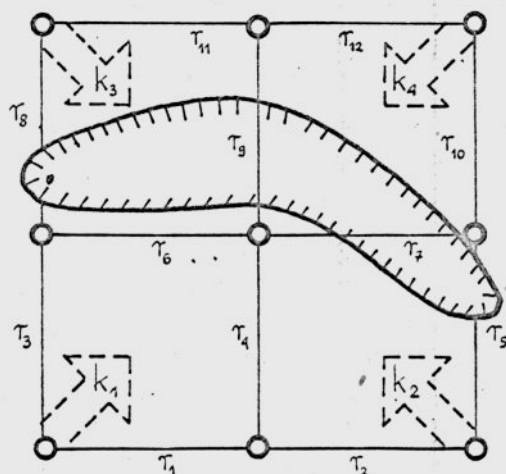
$$x_{k_i} = x_{i_i} \vee x_{j_i} \vee x_{r_i} \vee x_{s_i} \quad (3^0)$$

W przypadku, gdy krawędź r_i' jest drogą elementarną i została przebadana w wyniku realizacji co najmniej jednego zadania $k_i \in K_1 (4.2)$, suma logiczna przedstawiona zależnością (3^0) przyjmuje zawsze wartość "1", natomiast gdy do krawędzi r_i' nie ma dojścia lub krawędź ta jest przeszkodą elementarną, suma ta przyjmuje wartość "0".

Jak wynika z def. 4.2, każda współrzędna wektora x_k - uzyskanego w wyniku wykonania na wektorach x_i, x_j, x_r, x_s operacji $\boxed{\vee}$ - jest sumą logiczną odpowiednich współrzędnych wspomnianych wektorów, określoną zależnością (3^0) . Tak więc wektor x_k - z punktu widzenia przedstawionego w pracy procesu rozpoznawania konfiguracji terenu - reprezentuje pełny obraz konfiguracji terenu kwadratu $\mathcal{K}_j$.

Proces otrzymywania pełnego obrazu konfiguracji terenu na podstawie obrazów niekompletnych zostanie przedstawiony na poniższym przykładzie.

Przykład.



Rys. 4.15. Kwadrat podstawowy $\mathcal{K}_j$

Na rys. 4.15 został przedstawiony kwadrat podstawowy, zawierający przeszkodę jednolitą, uniemożliwiającą pełne rozpoznanie konfiguracji jego terenu. Obrazy konfiguracji terenu tego kwadratu - uzyskane w wyniku realizacji zadań k_1, k_2, k_3, k_4 - są obrazami częściowymi. Wektory reprezentujące te obrazy przedstawiają się następująco:

$$k_1, k_2 \longleftrightarrow \vec{x}_r = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ r_1 & r_2 & r_3 & r_4 & r_5 & r_6 & r_7 & r_8 & r_9 & r_{10} & r_{11} & r_{12} \end{bmatrix}$$

$$k_3, k_4 \longleftrightarrow \vec{x}_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ r_1 & r_2 & r_3 & r_4 & r_5 & r_6 & r_7 & r_8 & r_9 & r_{10} & r_{11} & r_{12} \end{bmatrix}$$

Wykonując na wektorach $\vec{x}_r$ i $\vec{x}_s$ operację $\boxed{\vee}$ uzyskamy wektor reprezentujący pełny obraz konfiguracji terenu rozpatrywanego kwadratu.

$$\boxed{\vee} \begin{matrix} \vec{x}_r = [1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0] \\ \vec{x}_s = [0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1] \end{matrix}$$

$$\vec{x}_k = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ r_1 & r_2 & r_3 & r_4 & r_5 & r_6 & r_7 & r_8 & r_9 & r_{10} & r_{11} & r_{12} \end{bmatrix}$$

5. MODEL FORMALNY AUTOMATU PARAMETRYCZNEGO STERUJĄCEGO DZIAŁANIEM OBIEKTU RUCHOMEGO

Przedstawiony w pracy model formalny sterowania ruchomym obiektem cybernetycznym (ROC), został opracowany z myślą o zastosowaniu w roli organu sterującego tym obiektem automatu skończonego. Stąd też, sterowanie działaniem obiektu potraktowano jako wieloetapowy proces decyzyjny. Do określenia modelu matematycznego takiego procesu wykorzystano aparat formalny teorii gier wielochodowych. Proces sterowania realizacją każdego zadania wykonywanego przez ROC opisano odrębną grą wielochodową. Z przedstawionego opisu wynika, że automat skończony - pełniący funkcję organu sterującego ROC - powinien być automatem rozgrywającym i powinien mieć możliwość realizowania wielu odrębnych zadań. Automatem spełniającym takie wymagania, jest automat rozgrywający parametryczny, przedstawiony w pracach [16],[17],[18].

5.1. Ogólna charakterystyka automatu rozgrywającego parametrycznego - pełniącego funkcję organu sterującego obiektem ruchomym

Automat rozgrywający parametryczny - oznaczony dalej symbolem $\langle A \rangle$ - jest automatem skończonym, przeznaczonym do wykonywania dużej liczby zadań. W przypadku zastosowania automatu $\langle A \rangle$ do sterowania działaniem ROC, zbiór realizowanych przez niego zadań jest równoliczny ze zbiorem $K(2.12)$, zadań wykonywanych przez obiekt ruchomy:

$$\hat{K} = \{ \hat{k}_1, \hat{k}_2, \dots, \hat{k}_w \} \quad (5.1.)$$

gdzie:

$$\hat{k}_i \longleftrightarrow k_i \in K(2.12)$$

Każde zadanie $\hat{k}_i \in \hat{K}(5.1)$ polega na realizacji przez automat $\langle A \rangle$ określonej gry wielochodowej opisującej proces sterowania działaniem ROC w trakcie wykonywania zadania $k_i \in K(2.12)$, reprezentowanej dendrytem $d_i \in D(2.29)$. Stąd też, sygnały wejściowe automatu $\langle A \rangle$ reprezentują sobą wektory stanu $z \in Z(1.30)$ odpowiadające możliwym strategiom chodowym strony B w grach $d \in D(2.29)$, natomiast sygnały wyjściowe tego automatu reprezentują decyzje etapowe $y \in Y(2.10)$ odpowiadające możliwym strategiom chodowym strony A w omawianych grach.

Przy realizacji danego zadania $\hat{k}_i \in \hat{K}$ (5.1) automat $\langle A \rangle$ odwzorowuje swoim działaniem działanie pewnego automatu rozgrywającego $\langle A_i \rangle$. Zbiór automatów odwzorowywanych działaniem automatu $\langle A \rangle$ jest więc równoliczny ze zbiorem $\hat{K}$ (5.1):

$$A^{\mathbb{R}} = \{ \langle A_1 \rangle, \langle A_2 \rangle, \dots, \langle A_w \rangle \} \quad (5.2)$$

Działanie automatu $\langle A \rangle$ według danego $\langle A_i \rangle \in A^{\mathbb{R}}$ (5.2), równoznaczne z wykonywaniem przez automat $\langle A \rangle$ zadania $\hat{k}_i \in \hat{K}$ (5.1), jest określone wartością $p_i \in P$ (2.28) parametru p podawanego w postaci odpowiedniego sygnału na wyróżnione wejścia automatu $\langle A \rangle$.

Wykonując operację nakładania dendrytów $d' \in D$ (2.29) na siebie, można otrzymać dendryt zbiorczy, oznaczony w rozdziale 2.3 symbolem D' i nazwany zastępczym dendrytem gry wielochodowej parametrycznej. Na podstawie dendrytu D' można określić graf zastępczy automatu $\langle A \rangle$ oznaczony symbolem D'' . W tym celu należy usunąć z dendrytu D' wierzchołki typu A_k^n wraz z wychodzącymi z nich krawędziami a pozostałe wierzchołki i krawędzie opisać elementami zastępczymi [16,18]. Zbiór elementów opisujących krawędzie dendrytu D'' przedstawia się następująco:

$$S = \{ s_1, s_2, \dots, s_k \} \quad (5.3)$$

Natomiast zbiór elementów opisujących wierzchołki dendrytu D'' ma postać:

$$B = \{ b_1, b_2, \dots, b_r \} \quad (5.4)$$

Dendryt D'' charakteryzuje się tym, że w jego strukturze można wyodrębnić strukturę dowolnego dendrytu $d' \in D$ (2.29). Każda krawędź $s \in S$ (5.3) dendrytu D'' , w zależności od wierzchołka $b \in B$ (5.4) z którego wychodzi oraz aktualnej wartości parametru $p \in P$ (2.28), reprezentuje określoną strategię chodową $z \in Z$ (1.30) gracza B . Natomiast każdy wierzchołek $b \in B$ (5.4), w zależności od parametru $p \in P$ (2.28), reprezentuje określoną strategię gracza A . Funkcje określające wymienione zależności przedstawiają się następująco:

$$s(n) = \xi[z(n), b(n-1), p] \quad (5.5)$$

$$y(n) = \varphi[b(n), p] \quad (5.6)$$

gdzie:

$z(n)$ - strategia chodowa zastosowana przez gracza B, $s(n)$ - krawędź dendrytu D'' reprezentująca strategię $z(n)$, $b(n)$ - wierzchołek dendrytu D'' wyróżniony w n -tym ruchu, $y(n)$ - strategia chodowa gracza A, p - parametr

W ujęciu formalnym automat rozgrywający parametryczny $\langle A \rangle$, sterujący działaniem ROC w trakcie realizacji zadań $k \in K(2.12)$, można rozpatrywać jako następujący układ sześciu elementów:

$$\langle Z, Y, B, P, \Phi, \varphi \rangle \quad (5.7)$$

gdzie:

$Z(1.30)$ - zbiór sygnałów wejściowych
 $Y(2.10)$ - zbiór sygnałów wyjściowych
 $B(5.4)$ - zbiór stanów wewnętrznych
 $P(2.28)$ - zbiór parametrów
 $\varphi(5.6)$ - funkcja wyjść
 Φ - funkcja przejść określona następująco:

$$b(n) = \Phi[b(n-1), z(n), p] \quad (5.8)$$

Przy praktycznej realizacji elementy zbiorów Z, Y, B, P kodowane są liczbami naturalnymi.

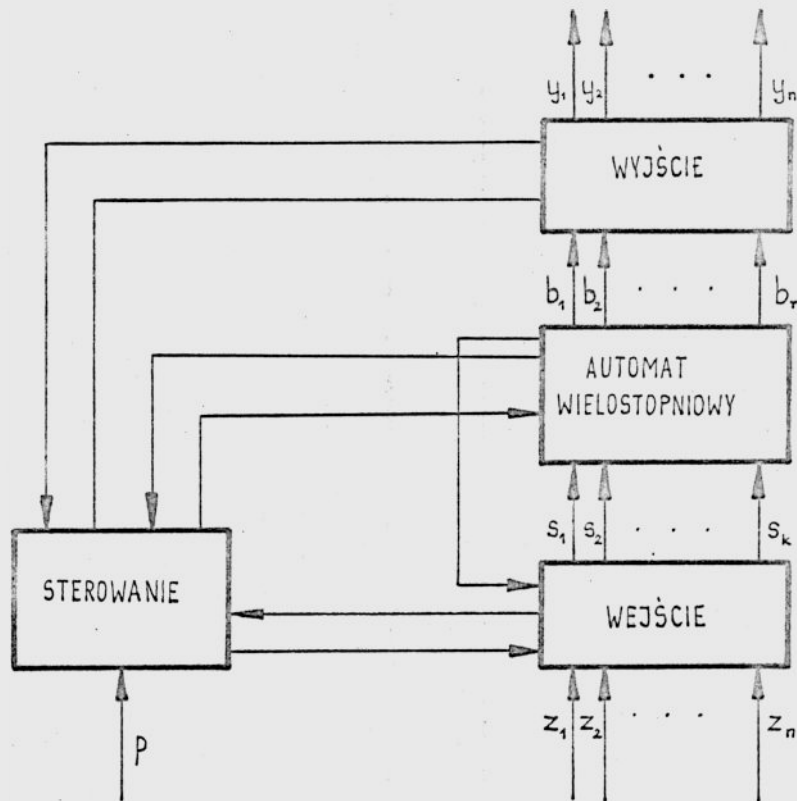
Na podstawie grafu zastępczego D'' oraz zależności (5.5), (5.6) i (5.8), można określić bloki funkcjonalne automatu $\langle A \rangle$. Schemat blokowy automatu rozgrywającego parametrycznego $\langle A \rangle$ został podany na rys. 5.1.

Automat wielostopniowy odzwierciedla swoją strukturą strukturę dendrytu D'' . Stany wewnętrzne tego automatu odpowiadają wierzchołkom $b \in B(5.4)$ dendrytu D'' , natomiast sygnały wejściowe - krawędziom $s \in S(5.3)$. Działanie automatu wielostopniowego jest zadane funkcją:

$$b(n) = \Phi[b(n-1), s(n)] \quad (5.9)$$

Blok wejścia realizuje funkcję $s(n) = \xi[z(n), b(n-1), p](5.5)$ zamiany strategii chodowych $z \in Z(1.30)$ na elementy $s \in S(5.3)$ opisujące krawędzie dendrytu D'' .

Blok wyjścia generuje strategię chodową $y \in Y(2.10)$, odpowiadającą wierzchołkom $b \in B(5.4)$ dendrytu D'' , zgodnie z funkcją $y(n) =$



Rys. 5.1. Schemat blokowy automatu rozgrywającego parametrycznego

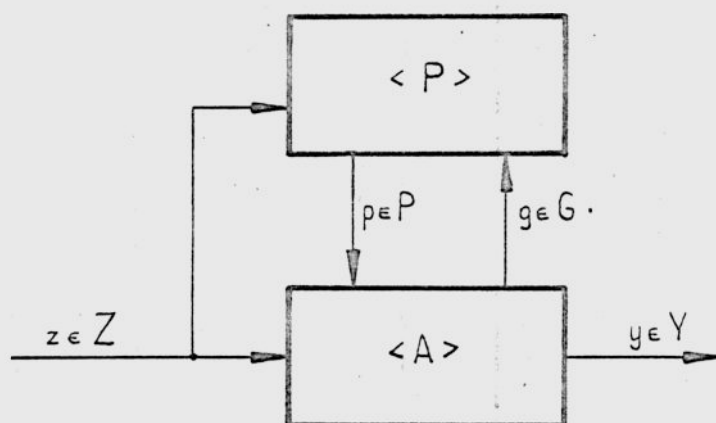
$$= \varphi[b(n), p] \quad (5.6).$$

Organ sterujący ruchomego obiektu cybernetycznego (ROC) powinien zapewniać zarówno sterowanie działaniem obiektu w trakcie realizacji każdego zadania przynależnego do zbioru K (2.12) jak i - w zależności od zaistniałych okoliczności - dokonywać wyboru realizowanych zadań oraz określać kolejność ich realizacji. Automat rozgrywający parametryczny pełniący funkcję takiego organu sterującego powinien więc posiadać możliwość samodzielnego wyboru kolejno realizowanych przez siebie zadań $\hat{k} \in \hat{K}$ (5.1). Automat taki dla odróżnienia od opisanego powyżej automatu $\langle A \rangle$ zostanie oznaczony symbolem $\langle A' \rangle$. Kolejność zadań $\hat{k} \in \hat{K}$ (5.1) realizowanych przez automat $\langle A' \rangle$ odpowiada porządkanej kolejności zadań $k \in K$ (2.12) wykonywanych przez ROC. Proces sterowania wyborem kolejności zadań wykonywanych przez ROC, został opisany w rozdziale 2.3 za pomocą gry wielochodowej, reprezentowanej dendrytem d_0 . Strategiami chodowymi strony A w takiej grze są parametry $p \in P$ (2.28) inicjujące wykonywanie zadań $k \in K$ (2.12), natomiast strategiami chodowymi strony B są wektory typu g_i (2.16) określające zachowanie się otoczenia w trakcie realizacji danego

zadania k_i . Na podstawie jednostronnie zoptymalizowanego dendrytu d_0^* omawianej gry można wyznaczyć graf d_0^{π} automatu $\langle P \rangle$ zdolnego do rozgrywania takiej gry. W tym celu każdą, opisaną elementem $p_i \in P$, krawędź dendrytu d_0^* wraz z incydentnymi z nią wierzchołkami A_k^n i B_k^n , należy zastąpić pojedynczym wierzchołkiem, opisanym elementem p_i . Automat $\langle P \rangle$ jest automatem bez wyjścia. Stany wewnętrzne tego automatu odpowiadają wierzchołkom grafu d_0^{π} , opisanym elementami $p \in P$ (2.28), natomiast sygnały wejściowe krawędziom grafu opisanym elementami typu g_i (2.16). Działanie automatu $\langle P \rangle$ jest określone funkcją przejść:

$$p(n) = \Psi[p(n-1), g(n)] \quad (5.10)$$

Automat $\langle P \rangle$ w połączeniu z automatem rozgrywającym parametrycznym $\langle A \rangle$ tworzy automat $\langle A' \rangle$ zdolny do realizacji dwupoziomowego procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego. Schemat blokowy takiego automatu przedstawia rys. 5.2.

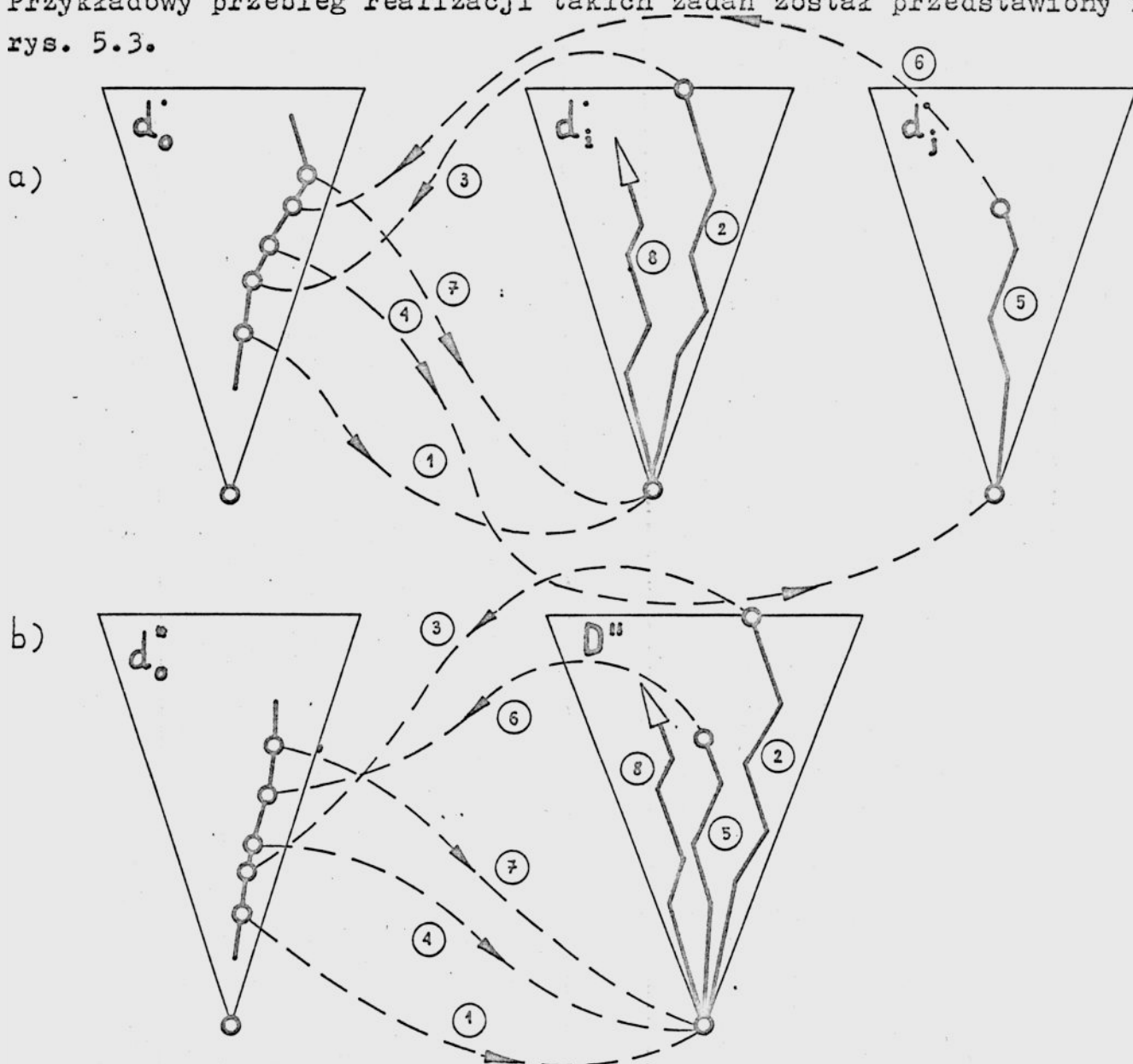


Rys. 5.2. Schemat blokowy automatu rozgrywającego parametrycznego $\langle A' \rangle$

Na wejście automatu $\langle A \rangle$ są podawane sygnały $z \in Z$ (1.30) zawierające informacje o kolejnych stanach ROC oraz otaczającego go środowiska. Jednocześnie na wyróżnione wejście tego automatu podawany jest sygnał $p_s \in P$ (2.28) inicjujący realizację przez automat określonego zadania $\hat{k}_s \in \hat{K}$ (5.1). Realizując zadanie $\hat{k}_s$ automat $\langle A \rangle$ wypracowuje - pod wpływem kolejnych sygnałów $z \in Z$ - sekwencję sygnałów wyjściowych $y \in Y$ (2.10), odpowiadających decyzjom sterującym działaniem obiektu ruchomego wykonującego zadanie $k_s \in K$ (2.12). Po zakończeniu realizacji zadania $\hat{k}_s$, na wyjściu tego automatu pojawia się sygnał $g_k \in G_s$ określający zachowanie się otoczenia w trakcie realizacji

przez ROC zadania k_s . Sygnał g_k jest podawany na wejście automatu $\langle P \rangle$. Pod wpływem takiego sygnału następuje określona zmiana wewnętrznego stanu tego automatu. Informacja o aktualnym stanie wewnętrznym automatu $\langle P \rangle$ podana w postaci sygnału $p \in P$ na wyróżnione wejście automatu $\langle A \rangle$ inicjuje realizację kolejnego zadania $\hat{k} \in \hat{K}$ (5.1). Zmiana stanu wewnętrznego automatu $\langle P \rangle$ może nastąpić również pod wpływem określonych sygnałów $z \in Z$. W wyniku takiej zmiany automat $\langle A \rangle$ przerywa wykonywane do tej pory zadanie $\hat{k} \in \hat{K}$ i przystępuje do realizacji innego. Sterowanie takie jest celowe w przypadku, gdy stan ROC bądź też otaczającego go środowiska uniemożliwia dalszą realizację wykonywanego przez obiekt zadania.

Zadanie realizowane przez automat $\langle P \rangle$ jest w stosunku do zadań $\hat{k} \in \hat{K}$ (5.1) realizowanych przez automat $\langle A \rangle$ zadaniem nadrzędnym, natomiast zadania $\hat{k} \in \hat{K}$ są względem siebie zadaniami równorzędnymi. Przykładowy przebieg realizacji takich zadań został przedstawiony na rys. 5.3.



Rys. 5.3. Ilustracja przykładowego przebiegu realizacji zadań wykonywanych przez automat $\langle A \rangle$

Na rys. 5.3-a zostały przedstawione, w postaci symbolicznej, dendryty $d_1, d_j \in D(2.29)$ gier wielochodowych opisujących procesy sterowania działaniem ROC w trakcie wykonywania zadań $k_1, k_j \in K(2.12)$ oraz dendryt d_0 gry wielochodowej opisującej proces sterowania wyborem kolejności realizacji tych zadań. Ścieżki dendrytów d_1, d_j oznaczone na rysunku numerami: 2, 5, 8, reprezentują przykładowe przebiegi zadań $\hat{k}_1, \hat{k}_j \in \hat{K}$ natomiast linie przerywane oznaczone numerami: 1, 3, 4, 6, 7 - łączące określone wierzchołki dendrytów - reprezentują przykładowe przejścia od realizacji jednego zadania do drugiego. Ścieżka dendrytu d_0 reprezentuje przykładowy przebieg zadania nadrzędnego. Zadanie to jest realizowane równolegle z zadaniami $\hat{k}_1, \hat{k}_j$. Na rys. 5.3-b zostały przedstawione, w postaci symbolicznej, grafy d_0^{π} oraz D'' odpowiednio automatów $\langle P \rangle$ i $\langle A \rangle$, wchodzących w skład automatu $\langle A \rangle$, z zaznaczonymi ścieżkami oraz liniami przerywanymi odpowiadającymi ścieżkom i liniom z rys. 5.3-a. Droga przechodząca przez ścieżki oraz linie oznaczone kolejnymi numerami od "1" do "9" ilustruje przykładowy przebieg realizacji zadań $\hat{k}_1, \hat{k}_j \in \hat{K}(5.1)$ wykonywanych przez automat $\langle A \rangle$.

Przedstawiony w niniejszym rozdziale automat $\langle A \rangle$ posiada możliwość samodzielnego wyboru kolejności realizowanych przez siebie zadań $\hat{k} \in \hat{K}(5.1)$ w zależności od zaistniałych okoliczności, przy czym każde zadanie może być zrealizowane w całości lub też przerwane na pewnym etapie jego realizacji. Przystąpienie automatu $\langle A \rangle$ do realizacji kolejnego zadania $\hat{k}_1 \in \hat{K}$, pociąga za sobą wyzerowanie wszystkich, wyróżnionych w trakcie wykonywania poprzedniego zadania $\hat{k}_j \in \hat{K}$, stanów automatu $\langle A \rangle$, stanowiącego podstawowy blok funkcjonalny automatu $\langle A \rangle$. Dlatego też, po powrocie do przerwanej poprzednio zadania $\hat{k}_j$, zadanie to musi być wykonywane od początku.

W ogólnym przypadku przebieg procesu sterowania działaniem ROC wymaga wielokrotnego przerywania przez automat $\langle A \rangle$ realizacji pewnych zadań $\hat{k} \in \hat{K}(5.1)$ a następnie kontynuowania każdego z nich od etapu, na którym jego realizacja została przerwana. Przykładem zadania, które powinno być realizowane w taki sposób jest zadanie związane ze sterowaniem działaniem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu. Struktura automatu $\langle A \rangle$ posiadającego możliwość realizacji takiego zadania zostanie przedstawiona w dalszej części pracy.

5.2. Model formalny automatu parametrycznego sterującego działaniem obiektu ruchomego badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska

Jednym z możliwych zastosowań ROC jest badanie określonych cech fizycznych zadanego obszaru. Podstawowym zadaniem realizowanym w takim wypadku przez obiekt jest zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu. Proces sterowania realizacją tego zadania zapewnia optymalne przemieszczanie się ROC w nieznanym pierwotnie obszarze, a po jego rozpoznaniu powrót obiektu po najkrótszej drodze do punktu wyjściowego. W każdym punkcie terenu przyjętym za punkt wyróżniony, obiekt może przerwać rozpoznawanie konfiguracji terenu i przystąpić do badania własności obszaru w danym punkcie, takich jak: twardość gruntu, wilgotność, skład gleby, itp.

Jak wynika z rozważań przedstawionych w rozdziale czwartym, rozpoznawanie konfiguracji terenu jest w ogólnym przypadku związane z realizacją przez ROC dwóch, powiązanych wzajemnie ze sobą zadań: zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, realizowanego w jednym z czterech możliwych wariantów $k_1, k_2, k_3, k_4 \in K_1(4.2)$ oraz zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, oznaczonego symbolem k_5 .

Przy badaniu wyznaczonego obszaru ROC przemieszcza się w jego terenie, realizując zadanie k_5 związane z przechodzeniem od jednego kwadratu podstawowego do drugiego. Po osiągnięciu kolejnego, nie badanego jeszcze kwadratu zadanie k_5 zostaje przerwane i obiekt przystępuje do realizacji określonego wariantu $k \in K_1(4.2)$ zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego. To zadanie może z kolei zostać przerwane w określonych punktach wyróżnionych badanego kwadratu dla wykonania innych zadań związanych z badaniem fizycznych własności obszaru w tych punktach. Po zakończeniu realizacji każdego z takich zadań obiekt kontynuuje realizację zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego a po jego zakończeniu powraca do realizacji zadania k_5 bądź przystępuje do realizacji powrotu do punktu, w którym rozpoczął badanie obszaru.

Jak wynika z przedstawionego opisu, realizacja zarówno zadania k_5 jak i dowolnego zadania $k \in K_1(4.2)$ jest w trakcie działania ROC wielokrotnie przerywana dla wykonania innych zadań a następnie kontynuowana od stanu w jakim dane zadanie zostało przerwane. Natomiast przerwanie realizacji dowolnego z pozostałych zadań wykonywanych przez ROC jest równoznaczne z jego zakończeniem. Stąd też, na zbiorze K

(2.12) zadań realizowanych przez ROC można określić rodzinę podzbiorów:

$${}^+K = \{K_0, K_1, K_2\} \quad (5.11)$$

gdzie:

- $K_0 = \{k_5\}$ - podzbiór jednoelementowy obejmujący zadanie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego badanego obszaru do drugiego
- K_1 (4.2) - podzbiór obejmujący warianty zadania rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego
- K_2 - podzbiór obejmujący pozostałe zadania realizowane przez ROC dotyczące badania cech fizycznych obszaru w punktach wyróżnionych

Ze względu na nadrzędny charakter zadania k_5 , przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, zostało ono przedstawione jako element odrębnego zbioru $K_0 \in {}^+K$ (5.11). Proces sterowania realizacją tego zadania dogodnie jest połączyć z procesem wyboru kolejności realizacji pozostałych zadań wykonywanych przez ROC i potraktować jako nadrzędny proces sterowania działaniem obiektu. Zadanie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego jest w takim wypadku zadaniem nadrzędnym i jest oznaczone symbolem k_0 . Proces sterowania realizacją takiego zadania został opisany w rozdziale 4.2 grą wielochodową reprezentowaną dendrytem d_0 . Dla uproszczenia rozważań, w rozdziale tym przyjęto, że obiekt realizuje tylko zadania przynależne do zbioru $K_1 \in {}^+K$ (5.11). W przypadku ROC badającego fizyczne cechy środowiska, proces sterowania realizacją zadania k_0 powinien oczywiście obejmować wybór kolejności realizacji zarówno zadań $k \in K_1$ jak i $k \in K_2$.

Ze względu na różnice występujące w sposobie realizacji zadań przynależnych do zbioru K_1 oraz zadań przynależnych do zbioru K_2 , procesy sterowania realizacją tych zadań należy opisać za pomocą dwóch oddzielnych gier wielochodowych parametrycznych, których dendryty zastępcze będą oznaczane odpowiednio symbolami D_1' i D_2' :

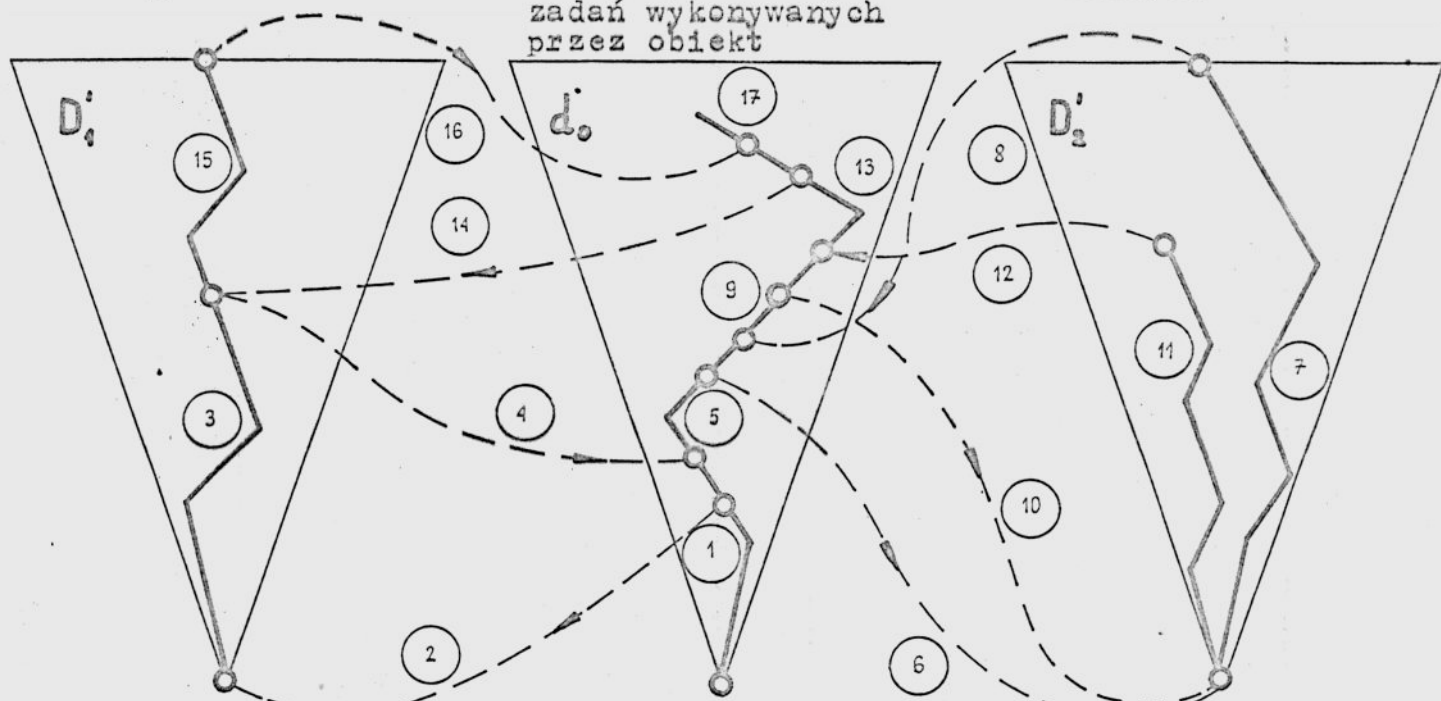
$$D_1' \longrightarrow K_1 \in {}^+K \quad (5.12)$$

Przykładowy przebieg procesu sterowania działaniem ROC badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska został przedstawiony na rys. 5.4.

proces sterowania realizacją zadań związanych z rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego

proces sterowania realizacją zadania przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego oraz wyboru kolejności realizacji pozostałych zadań wykonywanych przez obiekt

proces sterowania realizacją zadań związanych z badaniem cech fizycznych obszaru w punktach wyróżnionych



Rys. 5.4. Ilustracja przykładowego przebiegu procesu sterowania działaniem obiektu ruchomego badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska

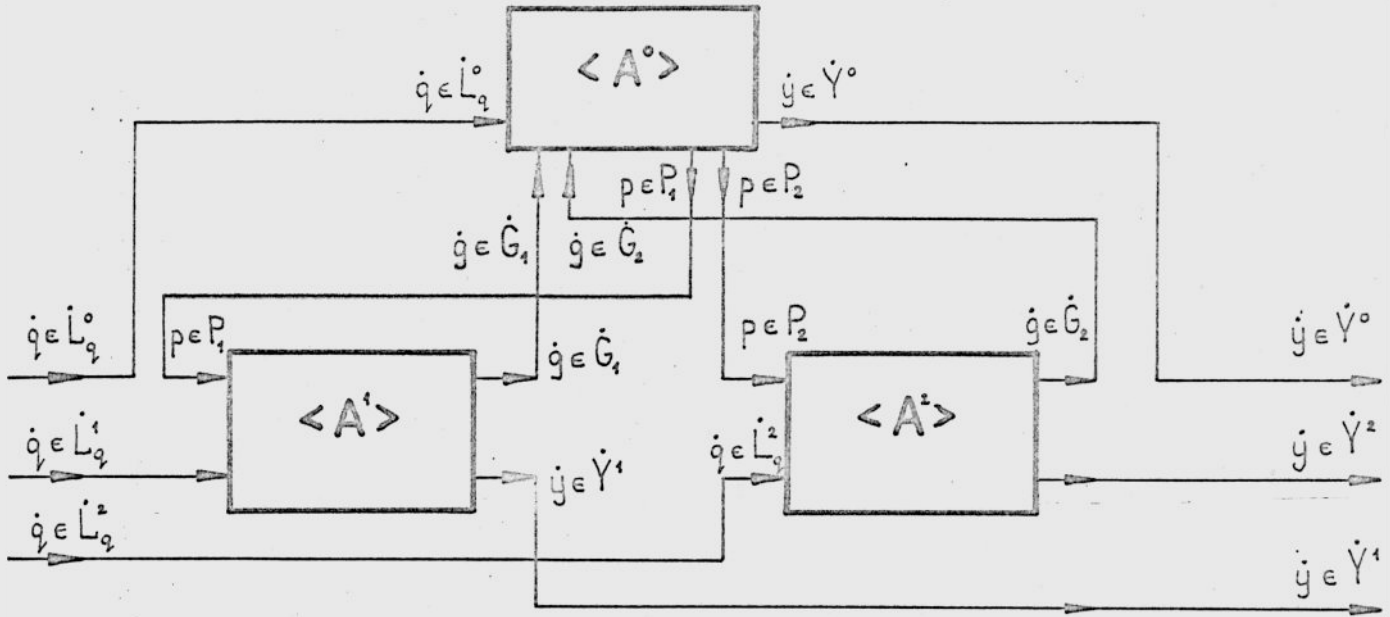
Na rys. 5.4. zostały przedstawione w postaci symbolicznej dendryty zastępcze D_1 i D_2 parametrycznych gier wielochodowych opisujących procesy sterowania działaniem ROC w trakcie wykonywania zadań przynależnych odpowiednio do zbiorów $K_1, K_2 \in {}^+K(5.11)$ oraz dendryt d_0 gry wielochodowej opisującej nadrzędny proces sterowania działaniem tego obiektu. Ścieżki dendrytów oznaczone liniami pogrubionymi reprezentują przykładowe przebiegi omawianych procesów sterowania, natomiast linie przerywane łączące określone wierzchołki dendrytów reprezentują przykładowe przejścia od realizacji jednego procesu sterowania do drugiego. Początkowo organ sterujący realizuje proces sterowania ruchem obiektu w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, wchodzący w skład nadrzędnego procesu sterowania (ścieżka nr 1 w dendrycie d_0). Pod wpływem informacji o dojściu obiektu do kolejnego kwadratu podstawowego zostaje uaktywnio-

ny proces sterowania ruchem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego (ścieżka nr 3 w dendrycie D_1'). Każdorazowo po otrzymaniu informacji o dojściu obiektu do kolejnego punktu wyróżnionego badanego kwadratu, organ sterujący - w zależności od położenia danego punktu w badanym obszarze lub też od okoliczności w jakich nastąpiło osiągnięcie tego punktu - może przerwać realizację procesu sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego i uaktywnić proces sterowania realizacją innego zadania (np. zadania pobierania próbki gleby) (ścieżka nr 7 i nr 11 w dendrycie D_2'). Po zakończeniu wszystkich zadań realizowanych przez obiekt w danym punkcie wyróżnionym, organ sterujący uaktywnia ponownie przerwany poprzednio proces sterowania ruchem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego (ścieżka nr 15 w dendrycie D_1'), natomiast po przebadaniu całego kwadratu powraca do realizacji procesu sterowania przechodzeniem od jednego kwadratu podstawowego do drugiego (ścieżka nr 17 w dendrycie d_0').

Z przedstawionego opisu wynika, że proces sterowania realizacją zadania k_0 oraz procesy sterowania realizacją pozostałych zadań wykonywanych przez ROC przynależnych do zbiorów $K_1, K_2 \in {}^+K(5.11)$ powinny być realizowane przez oddzielne elementy automatu $\langle A \rangle$. Proces sterowania realizacją zadania k_0 jako proces nadrzędny jest realizowany przez automat $\langle P \rangle$ wchodzący w skład automatu $\langle A \rangle$. Przy takim podejściu automat $\langle P \rangle$ jest automatem rozgrywającym. W ogólnym przypadku automat ten może być również automatem parametrycznym (np. wtedy gdy istnieje kilka wariantów badania obszaru a decyzja o realizacji jednego z nich jest podejmowana przez nadrzędny organ sterujący).

Procesy sterowania realizacją pozostałych zadań wykonywanych przez ROC są realizowane przez dwa oddzielne automaty parametryczne - typu automatu parametrycznego $\langle A \rangle$ omówionego w rozdziale 5.1 - wchodzące w skład automatu $\langle A \rangle$. Automaty te będą oznaczane symbolami $\langle A^1 \rangle$ i $\langle A^2 \rangle$. W celu ujednoliczenia oznaczeń wymieniony wyżej automat $\langle P \rangle$ będzie dalej oznaczany symbolem $\langle A^0 \rangle$. Z powyższych rozważań wynika więc, że automat $\langle A \rangle$ pełniący funkcję organu sterującego obiektem badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska powinien składać się z trzech automatów: $\langle A^0 \rangle$, $\langle A^1 \rangle$, $\langle A^2 \rangle$.

Konfiguracja automatów $\langle A^0 \rangle$, $\langle A^1 \rangle$ i $\langle A^2 \rangle$, wchodzących w skład automatu $\langle A \rangle$, potraktowanych jako "czarne skrzynki", została przedstawiona na rys. 5.5.



Rys. 5.5. Schemat blokowy automatu $\langle A \rangle$ pełniącego funkcję organu sterującego obiektem badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska

Współdziałanie tych trzech automatów oraz oznaczenia występujących pomiędzy nimi połączeń zostaną omówione szczegółowo w dalszej części niniejszego rozdziału. Niżej zostanie przedstawiona charakterystyka każdego z tych automatów oraz charakterystyka układu tych automatów jako systemu.

Automat $\langle A^1 \rangle$ steruje działaniem ROC w trakcie realizacji zadań związanych z rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego:

$$\langle A^1 \rangle \longleftrightarrow K_1 \in {}^+K \quad (5.11) \quad (5.13)$$

Automat ten realizuje więc następujący zbiór zadań typu $\hat{k}$, związanych ze sterowaniem obiektem:

$$\langle A^1 \rangle \longleftrightarrow \hat{K}_1 = \{ \hat{k} : \hat{k} \in \hat{K} \wedge (\exists k \in K_1) (k \longleftrightarrow \hat{k}) \} \quad (5.14)$$

W ujęciu formalnym automat $\langle A^1 \rangle$ można określić następującą szóstką elementów abstrakcyjnych:

$$\langle \dot{L}_q^1, x_Y^1, P_1, B^1, \Phi^1, \Psi^1 \rangle \quad (5.15)$$

gdzie:

$\dot{L}_q^1$ - zbiór sygnałów wejściowych

$\mathbb{Y}^1$ - zbiór sygnałów wyjściowych

P_1 - zbiór parametrów

B^1 - zbiór stanów wewnętrznych

Φ^1 - funkcja przejść

Ψ^1 - funkcja wyjść

Zbiór $\dot{L}_q^1$ obejmuje sygnały zawierające informacje o stanach obiektu ruchomego oraz otaczającego go środowiska, podawane na wejście automatu $\langle A^1 \rangle$ z zespołu receptorów obiektu.

Zbiór $\mathbb{Y}^1$ obejmuje dwa rodzaje sygnałów. Zbiór ten można więc podzielić na dwa podzbiory, które tworzą następującą rodzinę:

$$Y_R^1 = \{ \dot{Y}^1, \dot{G}_1 \} \quad (5.16)$$

gdzie:

$\dot{Y}^1$ - zbiór sygnałów reprezentujących decyzje sterujące ruchem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, podawanych z wyjścia automatu $\langle A^1 \rangle$ na zespół efektorów obiektu

$\dot{G}_1$ - zbiór sygnałów zawierających informacje o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie rozpoznawania przez obiekt konfiguracji terenu kwadratu podstawowego; podawanych z wyjścia automatu $\langle A^1 \rangle$ na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$

Zbiór P_1 zawiera sygnały podawane na wyróżnione wejście automatu $\langle A^1 \rangle$ z automatu $\langle A^0 \rangle$, reprezentujące parametry działania automatu $\langle A^1 \rangle$. Sygnały te inicjują realizację przez automat $\langle A^1 \rangle$ określonych zadań $\hat{k} \in \hat{K}_1$ (5.14). Funkcja przejść automatu $\langle A^1 \rangle$ ma następującą postać:

$$b(n) = \Phi^1 [b(n-1), \dot{q}(n), p] \quad (5.17)$$

gdzie:

$$b(n-1), b(n) \in B^1, \dot{q}(n) \in \dot{L}_q^1, p \in P_1$$

Natomiast funkcja wyjść omawianego automatu przedstawia się następująco:

$$\mathbb{y}(n) = \Psi^1 [b(n), p] \quad (5.18)$$

gdzie:

$$\pi_{Y(n)} \in \pi_Y^1$$

$$b(n) \in B^1, \quad p \in P_1$$

W podobny sposób można scharakteryzować automat $\langle A^2 \rangle$. Automat ten steruje działaniem ROC w trakcie realizacji zadań związanych z badaniem cech fizycznych otoczenia w punktach wyróżnionych:

$$\langle A^2 \rangle \longleftrightarrow K_2 \in {}^+K \quad (5.11)$$

Zbiór zadań typu $\hat{k}$ realizowanych przez ten automat przedstawia się następująco:

$$\langle A^2 \rangle \longleftrightarrow \hat{K}_2 = \left\{ \hat{k}: \hat{k} \in \hat{K} \wedge (\exists k \in K_2) (k \longleftrightarrow \hat{k}) \right\} \quad (5.20)$$

przy czym:

$$\hat{K}_1 \cap \hat{K}_2 = \emptyset$$

W ujęciu formalnym automat ten można rozpatrywać jako następujący układ sześciu elementów abstrakcyjnych:

$$\langle \dot{L}_q^2, \pi_Y^2, P_2, B^2, \Phi^2, \Psi^2 \rangle \quad (5.21)$$

gdzie:

$\dot{L}_q^2$ - zbiór sygnałów wejściowych

π_Y^2 - zbiór sygnałów wyjściowych

P_2 - zbiór parametrów

B^2 - zbiór stanów wewnętrznych

Φ^2 - funkcja przejść

Ψ^2 - funkcja wyjść

Zbiór $\dot{L}_q^2$ obejmuje sygnały zawierające informacje o stanach obiektu ruchomego oraz otaczającego go środowiska, podawane na wejście automatu $\langle A^2 \rangle$ z zespołu receptorów obiektu.

Zbiór π_Y^2 obejmuje dwa rodzaje sygnałów. Zbiór ten można więc podzielić (podobnie jak zbiór π_Y^1) na dwa podzbiory. Rodzina tych podzbiorów przedstawia się następująco:

$$Y_R^2 = \left\{ \dot{Y}^2, \quad \dot{G}_2 \right\} \quad (5.22)$$

gdzie:

$\dot{Y}^2$ - zbiór sygnałów reprezentujących decyzje sterujące działaniem obiektu w trakcie badania cech fizycznych otoczenia, podawanych z wyjścia automatu $\langle A^2 \rangle$ na zespół efektorów obiektu

$\dot{G}_2$ - zbiór sygnałów podawanych z wyjścia automatu $\langle A^2 \rangle$ na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$, zawierających informacje o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie realizacji przez obiekt zadań związanych z badaniem cech fizycznych otoczenia w punktach wyróżnionych.

Zbiór P_2 zawiera sygnały podawane na wyróżnione wejście automatu $\langle A^2 \rangle$ z automatu $\langle A^0 \rangle$, reprezentujące parametry działania automatu $\langle A^2 \rangle$. Sygnały te inicjują realizację przez automat $\langle A^2 \rangle$ określonych zadań $\hat{k} \in \hat{K}_2$ (5.20). Funkcja przejść oraz funkcja wyjść automatu $\langle A^2 \rangle$ przedstawiają się następująco:

$$b(n) = \Phi^2 [b(n-1), \dot{q}(n), p] \quad (5.23)$$

$$\mathbb{X}_y(n) = \Psi^2 [b(n), p] \quad (5.24)$$

gdzie:

$$b(n-1), b(n) \in B^2$$

$$\dot{q}(n) \in \dot{L}_q^2$$

$$p \in P_2$$

$$\mathbb{X}_y(n) \in \mathbb{X}_Y^2$$

Trzecim elementem składowym automatu $\langle A' \rangle$ jest automat $\langle A^0 \rangle$. Automat ten steruje zarówno bezpośrednim działaniem ROC w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego badanego obszaru do drugiego jak i wyborem kolejności realizacji pozostałych zadań wykonywanych przez obiekt. W ujęciu formalnym automat ten można przedstawić jako następujący układ pięciu elementów abstrakcyjnych:

$$\langle \mathbb{X}_Z^0, \mathbb{X}_Y^0, B^0, \Phi^0, \Psi^0 \rangle \quad (5.25)$$

gdzie:

$\mathbb{K}Z^0$ - zbiór sygnałów wejściowych

$\mathbb{K}Y^0$ - zbiór sygnałów wyjściowych

B^0 - zbiór stanów wewnętrznych

Φ^0 - funkcja przejść

Ψ^0 - funkcja wyjść

Zbiór $\mathbb{K}Z^0$ zawiera trzy rodzaje sygnałów. Zbiór ten można więc podzielić na trzy podzbiory, które tworzą następującą rodzinę:

$$Z_R^0 = \{ \dot{L}_q^0, \dot{G}_1, \dot{G}_2 \} \quad (5.26)$$

gdzie:

$\dot{L}_q^0$ - zbiór sygnałów zawierających informacje o stanach obiektu oraz otaczającego go środowiska, podawanych na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$ z zespołu receptorów.

$\dot{G}_1$ - zbiór sygnałów zawierających informacje o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie rozpoznawania przez obiekt konfiguracji terenu kwadratu podstawowego, podawanych na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$ z wyjścia automatu $\langle A^1 \rangle$.

$\dot{G}_2$ - zbiór sygnałów zawierających informacje o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie badania przez obiekt cech fizycznych otoczenia, podawanych na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$ z wyjścia automatu $\langle A^2 \rangle$.

Zbiór $\mathbb{K}Y^0$ zawiera również trzy rodzaje sygnałów. Zbiór ten można więc podzielić (podobnie jak zbiór $\mathbb{K}Z^0$) na trzy podzbiory. Rodzina tych podzbiorów przedstawia się następująco:

$$Y_R^0 = \{ \dot{Y}^0, P_1, P_2 \} \quad (5.27)$$

gdzie:

$\dot{Y}^0$ - zbiór sygnałów reprezentujących decyzje sterujące ruchem obiektu w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego, podawanych z wyjścia automatu $\langle A^0 \rangle$ na zespół efektorów obiektu.

P_1 - zbiór sygnałów podawanych z wyjścia automatu $\langle A^0 \rangle$ na wyróżnione wejście automatu $\langle A^1 \rangle$, stanowiących parametry inicjujące realizację przez automat $\langle A^1 \rangle$ określonych zadań $\hat{k} \in \hat{K}_1$ (5.20)

P_2 - zbiór sygnałów podawanych z wyjścia automatu $\langle A^0 \rangle$ na wyróżnione wejście automatu $\langle A^2 \rangle$, stanowiących parametry inicjujące realizację przez automat $\langle A^2 \rangle$ określonych zadań $\hat{k} \in \hat{K}_2$ (5.20).

Funkcja przejść automatu $\langle A^0 \rangle$ przedstawia się następująco:

$$b(n) = \Phi^0 [b(n-1), x_z(n)] \quad (5.28)$$

gdzie:

$$b(n), b(n-1) \in B^0$$

$$x_z(n) \in x_z^0$$

Natomiast funkcja wyjść omawianego automatu ma następującą postać:

$$x_y(n) = \Psi^0 [b(n)] \quad (5.29)$$

gdzie:

$$b(n) \in B^0$$

$$x_y(n) \in x_y^0$$

Jak zostało przedstawione powyżej, automat $\langle A \rangle$ pełniący rolę organu sterującego ROC składa się z trzech automatów: $\langle A^0 \rangle$, $\langle A^1 \rangle$, $\langle A^2 \rangle$. W trakcie działania tych automatów występują pomiędzy nimi określone zależności. Stąd też, automat $\langle A \rangle$ można traktować jako system określony na następującym zbiorze elementów:

$$\hat{A} = \{ \langle A^0 \rangle, \langle A^1 \rangle, \langle A^2 \rangle \} \quad (5.30)$$

Z punktu widzenia działania automatu $\langle A \rangle$ szczególnie interesująca jest zależność związana z wymianą informacji pomiędzy wchodzącymi w jego skład automatami. Zależność taką można przedstawić jako relację będącą podzbiorem produktu kartezjańskiego zbioru $\hat{A}$ (5.30)

$$\lambda \subset \hat{A} \times \hat{A}$$

$$\lambda = \{ (<A^0>, <A^1>), (<A^0>, <A^2>), (<A^1>, <A^0>), (<A^2>, <A^0>) \} \quad (5.31)$$

Stan systemu $<A^1>$ w zakresie relacji λ (5.31) jest dla każdej pary $(<A^i>, <A^j>)$ reprezentowany sygnałem podawanym z automatu $<A^i>$ na automat $<A^j>$. W ujęciu formalnym językiem wewnętrznym automatu $<A^i>$ (poprzez analogię do języka wewnętrznego komputera) są liczby naturalne a działanie tego automatu sprowadza się do operacji arytmetycznych na takich liczbach. Stąd też każdy z sygnałów, wymienianych pomiędzy automatami $<A^i>, <A^j> \in \hat{A}$ (5.30), jest wyrażony liczbą naturalną kodującą informację zawartą w tym sygnale.

Sygnały podawane z automatu $<A^0>$ na automaty $<A^1>$ i $<A^2>$ są wyrażane liczbami naturalnymi $p \in P$ (2.28) stanowiącymi parametry działania tych automatów. Sygnały te inicjują realizację przez te automaty odpowiednio zadań $\hat{k} \in \hat{K}_1 \subset \hat{K}$ (5.1) i zadań $\hat{k} \in \hat{K}_2 \subset \hat{K}$ (5.1). Zbiory liczb wyrażających sygnały podawane na każdy z tych automatów przedstawiają się następująco:

$$(<A^0>, <A^1>) \longleftrightarrow P_1 = \{ p: p \in P \wedge (\exists \hat{k} \in \hat{K}_1) (\hat{k} \longleftrightarrow p) \} \quad (5.32)$$

$$(<A^0>, <A^2>) \longleftrightarrow P_2 = \{ p: p \in P \wedge (\exists \hat{k} \in \hat{K}_2) (\hat{k} \longleftrightarrow p) \} \quad (5.33)$$

przy czym:

$$P_1 \cap P_2 = \emptyset$$

Sygnały podawane z automatów $<A^1>$ i $<A^2>$ na automat $<A^0>$ reprezentują sobą informację o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie wykonywania przez obiekt odpowiednio zadań $k \in K_1 \in {}^+K$ (5.11) oraz zadań $k \in K_2 \in {}^+K$ (5.11). Każdy z tych sygnałów jest wyrażony liczbą naturalną $\bar{g}$ będącą kodem liczbowym wektora $g_i \in G_i$ (2.28):

$$g_i = [\bar{g}_{i,r_1}, \bar{g}_{i,r_2}, \dots, \bar{g}_{i,r_v}] \quad (2.16)$$

gdzie:

$\bar{g}_{i,r_j}$ - wektor, którego współrzędne przyjmują wartości równe wartościom pewnych wybranych współrzędnych określonego wektora $z(k)$ (stanu obiektu i otoczenia) stanowiącego

jeden z elementów ciągu $\langle z \rangle^{\mathbb{N}} \in Z_1^{\mathbb{N}}$ (2.15) reprezentującego działanie obiektu w trakcie realizacji zadania k_1 .

Zbiór liczb wyrażających omawiane sygnały podawane z automatu $\langle A^1 \rangle$ na $\langle A^0 \rangle$ przedstawia się następująco:

$$(\langle A^1 \rangle, \langle A^0 \rangle) \longrightarrow \dot{G}_1 = \{\dot{g}_{1,1}, \dot{g}_{1,2}, \dots, \dot{g}_{1,n}\} \quad (5.34)$$

przy czym:

$$(\forall i \in N_1^4)(\forall g_{i,j} \in G_i)(\dot{g}_{i,j} \longrightarrow g_{i,j}) \quad (5.35)$$

gdzie:

N_1^4 jest zbiorem indeksów tych zadań, których realizacją steruje automat $\langle A^1 \rangle$.

Podobną postać ma zbiór liczb wyrażających sygnały podawane z automatu $\langle A^2 \rangle$ na automat $\langle A^0 \rangle$:

$$(\langle A^2 \rangle, \langle A^0 \rangle) \longrightarrow \dot{G}_2 = \{\dot{g}_{2,1}, \dot{g}_{2,2}, \dots, \dot{g}_{2,m}\} \quad (5.36)$$

przy czym:

$$(\forall i \in N_6^k)(\forall g_{i,j} \in G_i)(\dot{g}_{i,j} \longrightarrow g_{i,j}) \quad (5.37)$$

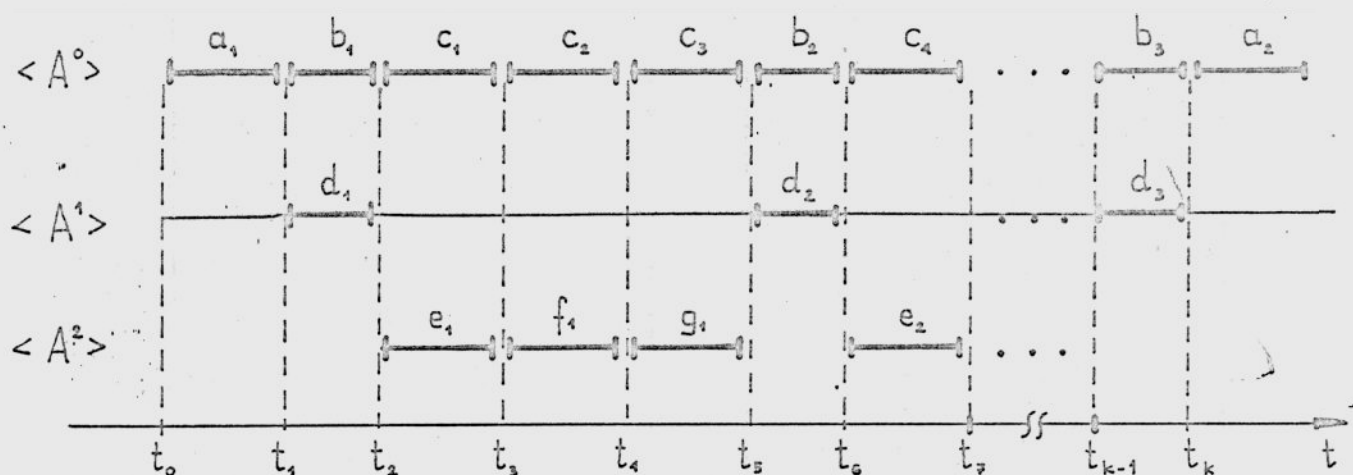
gdzie:

N_6^k jest zbiorem indeksów tych zadań, których realizacją steruje automat $\langle A^2 \rangle$.

Poza omówionymi sygnałami "wewnętrznymi" automatu $\langle A \rangle$ na każdy automat $\langle A^i \rangle \in \hat{A}$ (5.30) są podawane sygnały reprezentujące określone informacje o stanie obiektu i otaczającego go środowiska. Sygnały te zostaną omówione w dalszej części niniejszego rozdziału.

Przebieg procesu działania automatu $\langle A \rangle$ został przedstawiony na rys. 5.6.

Odcinki oznaczone na rys. 5.6 symbolami a, b, ..., g reprezentują okresy aktywności automatów wchodzących w skład automatu $\langle A \rangle$, związane z realizacją przez te automaty określonych fragmentów procesu sterowania działaniem ROC.



Rys. 5.6. Przebieg procesu działania automatu $\langle A^0 \rangle$

Początkowo automaty $\langle A^1 \rangle$ i $\langle A^2 \rangle$ są nieaktywne, natomiast automat $\langle A^0 \rangle$ steruje bezpośrednio ruchem obiektu w badanym obszarze, w trakcie przechodzenia obiektu od jednego kwadratu do drugiego (odcinek "a₁"). W tym okresie automat $\langle A^0 \rangle$ reaguje tylko na informacje dotyczące położenia ROC w określonych punktach wyróżnionych obszaru, stanowiących wierzchołki kwadratów podstawowych oraz na informacje o wystąpieniu na drodze obiektu przeszkody. Po otrzymaniu informacji o dojściu obiektu do kolejnego kwadratu podstawowego (chwila t_1) automat przerywa bezpośrednie sterowanie ruchem obiektu i za pomocą sygnału wyrażonego liczbą $p_1 \in P_1$ uaktywnia działanie automatu $\langle A^1 \rangle$ związane ze sterowaniem ruchem obiektu w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego. Automat $\langle A^1 \rangle$ przejmuje bezpośrednie sterowanie ruchem ROC aż do całkowitego przebadania danego kwadratu. W trakcie działania (odcinki "d") automat $\langle A^1 \rangle$ reaguje na informacje o położeniu obiektu w punktach wyróżnionych kwadratu oraz na informację o wystąpieniu na drodze obiektu przeszkody. Natomiast automat $\langle A^0 \rangle$ reaguje w tym okresie (odcinki "b") tylko na informacje o położeniu ROC w punktach wyróżnionych. Każdorazowo po otrzymaniu informacji o dojściu ROC do kolejnego punktu wyróżnionego (chwile t_2, t_3, t_4, t_6) automat $\langle A^0 \rangle$ przerywa działanie automatu $\langle A^1 \rangle$ i uaktywnia za pomocą sygnału reprezentującego odpowiedni parametr $p_j \in P_2$ działanie automatu $\langle A^2 \rangle$ związane ze sterowaniem obiektem w trakcie realizacji określonego zadania $k_j \in K_2$. Stan aktywności automatu $\langle A^2 \rangle$ podobnie jak i automatu $\langle A^1 \rangle$ trwa tak długo, jak długo na jego wyróżnione wejście jest podawany parametr "p". Automat $\langle A^2 \rangle$ w trakcie działania (odcinek "e₁") reaguje na informacje dotyczące zachowania się

obiektu i otaczającego go środowiska przy badaniu przez obiekt cech fizycznych obszaru. Natomiast automat $\langle A^0 \rangle$ w tym okresie (odcinek " c_1 ") reaguje tylko na ściśle określone informacje dotyczące "awaryjnych" stanów obiektu i otoczenia, tj. takich, których wystąpienie pociąga za sobą konieczność przerwania realizowanego przez ROC zadania. Każdorazowo po zakończeniu sterowania realizacją zadania $k_j \in K_2$ (chwile t_3, t_4, t_5) automat $\langle A^2 \rangle$ podaje na automat $\langle A^0 \rangle$ sygnał wyrażony liczbą typu $\dot{g}$ zawierający informację o "historii" zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie realizacji zakończonego aktualnie zadania. W oparciu o tą informację automat $\langle A^0 \rangle$ podejmuje decyzję odnośnie kolejnego zadania wykonywanego przez ROC. Po zakończeniu przez ROC badania obszaru w danym punkcie wyróżnionym (chwila t_5), automat $\langle A^0 \rangle$ ponownie uaktywnia działanie automatu $\langle A^1 \rangle$ i automat $\langle A^1 \rangle$ kontynuuje proces sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego (odcinek " d_2 "). Po przebadaniu przez obiekt całego kwadratu podstawowego (chwila t_k) automat $\langle A^1 \rangle$ podaje na automat $\langle A^0 \rangle$ sygnał wyrażony liczbą typu $\dot{g}$. Sygnał ten zawiera informację o stopniu rozpoznania przez ROC konfiguracji terenu przebadanego kwadratu. Pod wpływem tego sygnału automat $\langle A^0 \rangle$ przejmuje bezpośrednie sterowanie ruchem obiektu (odcinek " a_2 ") w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego.

Jak wynika z przedstawionych rozważań na wejście automatu $\langle A \rangle$ pełniącego funkcję organu sterującego ROC jest podawana informacja o stanie obiektu oraz otaczającego go środowiska. Informacja ta ma postać wektora z' (1.22) przedstawionego w rozdziale pierwszym:

$$z' = [a, b, \dots, m] \quad (1.22)$$

Każda współrzędna wektora z' (1.22) charakteryzuje stan obiektu oraz otoczenia w zakresie określonej dziedziny funkcjonowania.

W przypadku obiektu badającego cechy fizyczne otaczającego go środowiska współrzędne wektora z' (1.22) zawierają między innymi informację o aktualnym położeniu obiektu w badanym obszarze, informację o wystąpieniu na drodze obiektu przeszkody oraz inne informacje dotyczące zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie badań wykonywanych przez obiekt w wyznaczonych punktach obszaru.

Każdy z automatów wchodzących w skład automatu $\langle A \rangle$ wykorzystuje informację o stanie obiektu oraz otaczającego go środowiska tylko w zakresie określonych dziedzin. Stąd też zachodzi potrzeba przepro-

wadzenia dekompozycji wektora typu z' (1.22) na trzy wektory oznaczone symbolami $\tilde{q}_0, \tilde{q}_1, \tilde{q}_2$ i reprezentujące informację wykorzystywaną odpowiednio przez automat $\langle A^0 \rangle, \langle A^1 \rangle, \langle A^2 \rangle$. Postać wektora $\tilde{q}_r$ (gdzie $r = 0, 1, 2$) reprezentującego informację podawaną na wejście automatu $\langle A^r \rangle \in \hat{A}$ (5.30) zostanie określona poniżej. Jak wiadomo, każdy automat $\langle A^r \rangle$ wchodzący w skład automatu $\langle A \rangle$ steruje realizacją zadań przynależnych do zbioru $K_r \in {}^+K$ (5.11). Zbiór dziedzin funkcjonowania istotnych z punktu widzenia procesu sterowania realizacją danego zadania $k_i \in K_r$ przedstawia się następująco :

$$k_i \longleftrightarrow \Gamma^{xi}, \quad (5.38)$$

gdzie:

$$\Gamma^{xi} \subset \Gamma^x \quad (1.18),$$

Informacja wykorzystywana w procesie sterowania realizacją wszystkich zadań $k \in K_r$ dotyczy stanu obiektu oraz otaczającego go środowiska w zakresie dziedzin przynależnych do następująco określonego zbioru:

$$K_r \longleftrightarrow \Gamma_{K_r} = \bigcup_i \Gamma^{xi} \quad (5.39)$$

gdzie:

$$\Gamma^{xi} \longleftrightarrow k_i \in K_r$$

Każdej dziedzinie przynależnej do zbioru Γ_{K_r} (5.39) jest przyporządkowany zbiór wartości określających możliwe stany obiektu i otoczenia w danej dziedzinie. Zbiory takich wartości zostały w rozdziale pierwszym oznaczone symbolami ${}^+\tilde{A}, {}^+\tilde{B}, \dots, {}^+\tilde{M}$.

Tworząc iloczyn kartezjański takich zbiorów:

$$L_q^r \subset {}^+\tilde{A} \times {}^+\tilde{B} \times \dots \times {}^+\tilde{M}$$

otrzymamy zbiór L_q^r :

$$L_q^r = \{ \tilde{q}_{r,1}, \tilde{q}_{r,2}, \dots, \tilde{q}_{r,s} \} \quad (5.40)$$

którego elementami są uporządkowane n -tki traktowane dalej jako wektory typu:

$$\tilde{q}_r = [a, b, \dots, m] \quad (5.41)$$

gdzie:

$$a \in {}^+\tilde{A} \longleftrightarrow \tilde{A} \in \Gamma_{K_r} \quad (5.39)$$

Wektor typu $\tilde{q}_r$ (5.41) został w rozdziale drugim niniejszej pracy określony mianem sytuacji pierwszego rodzaju (def. 2.3).

Automat $\langle A^1 \rangle$ sterujący realizacją zadań $k \in K_1 \in {}^+K$ (5.11) związanych z rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego reaguje jedynie na informacje dotyczące położenia obiektu w określonych punktach obszaru zwanych punktami wyróżnionymi oraz informację o wystąpieniu na drodze obiektu przeszkody. Informacje te mają postać następującego wektora:

$$\langle A^1 \rangle \longleftrightarrow \tilde{q}_1 = [a, b, c] \quad (5.42)$$

gdzie:

a, b - współrzędne określające położenie w układzie współrzędnych prostokątnych

c - współrzędna określająca wystąpienie na drodze obiektu przeszkody

przy czym; wektor $\tilde{q}_1$ reprezentujący informację o dojściu do punktu wyróżnionego przyjmuje postać:

$$\tilde{q}_1 = [\xi, \eta, 0] \quad \xi, \eta \in N_1^{n+1} \quad (5.43)$$

natomiast wektor $\tilde{q}_1$ reprezentujący informację o napotkaniu przeszkody przyjmuje postać:

$$\tilde{q}_1 = [0, 0, 1] \quad (5.44)$$

Zbiór wektorów reprezentujących informację podawaną na wejście automatu $\langle A^1 \rangle$ przedstawia się następująco:

$$L_q^1 = \{ \tilde{q}_{1,0}, \tilde{q}_{1,1}, \dots, \tilde{q}_{1,\alpha} \} \quad (5.45)$$

gdzie:

$$\tilde{q}_{1,i} = \begin{cases} [0, 0, 1] & \text{dla } i=0 \\ [\xi, \eta, 0] & \text{dla } i \neq 0 \end{cases}$$

Z kolei automat $\langle A^2 \rangle$ sterujący realizacją zadań $k \in K_2 \in {}^+K$ (5.11) związanych z badaniem cech fizycznych otoczenia reaguje na informacje dotyczące zachowania się obiektu i otoczenia w trakcie badań wykonywanych przez obiekt w punktach wyróżnionych terenu. Wektor reprezentujący te informacje przedstawia się następująco:

$$\langle A^2 \rangle \longleftrightarrow \tilde{q}_2 = [d, e, g, \dots, m] \quad (5.46)$$

gdzie:

$d, e, g, \dots, m$ współrzędne określające stan obiektu i otoczenia w zakresie takich dziedzin funkcjonowania jak: twardość podłoża, jego wilgotność, temperatura, itp.

Zbiór wektorów reprezentujących informację podawaną na wejście automatu $\langle A^2 \rangle$ przedstawia się następująco:

$$L_q^2 = \{ \tilde{q}_{2,1}, \tilde{q}_{2,2}, \dots, \tilde{q}_{2,s} \} \quad (5.47)$$

Natomiast automat $\langle A^0 \rangle$ sterujący zarówno bezpośrednim ruchem obiektu w badanym obszarze jak i kolejnością realizacji przez obiekt zadań $k \in K_1$ i $k \in K_2$, reaguje zarówno na informacje dotyczące położenia obiektu w punktach wyróżnionych terenu oraz informację o napotkaniu przeszkody jak i na informacje o pewnych "awaryjnych" stanach obiektu i otoczenia (w zakresie pozostałych dziedzin funkcjonowania), tj. takich, których wystąpienie pociąga za sobą konieczność zmiany zadania realizowanego przez obiekt. Wektor reprezentujący te informacje ma następującą postać:

$$\langle A^0 \rangle \longleftrightarrow \tilde{q}_0 = [a, b, c, \dots, m] \quad (5.48)$$

Zbiór wektorów reprezentujących informację podawaną na wejście automatu $\langle A^0 \rangle$ przedstawia się następująco:

$$L_q^0 = \{ \tilde{q}_{0,1}, \tilde{q}_{0,2}, \dots, \tilde{q}_{0,r} \} \quad (5.49)$$

Informacja o stanie obiektu oraz otaczającego go środowiska jest podawana na automat $\langle A \rangle$ za pośrednictwem sygnałów wyrażonych liczbami naturalnymi oznaczonymi symbolami typu $\dot{q}$. Każda liczba $\dot{q}$ reprezentuje określony wektor $\tilde{q}$ przynależny do jednego ze zbiorów: L_q^0 (5.49), L_q^1 (5.45), L_q^2 (5.47). Zbiory liczb wyrażających sygnały podawane na wejścia automatów $\langle A^0 \rangle$, $\langle A^1 \rangle$ i $\langle A^2 \rangle$ z zespołu receptorów obiektu ruchomego przedstawiają się następująco:

$$\langle A^0 \rangle \longleftrightarrow \dot{L}_q^0 = \{ \dot{q}_{0,1}, \dot{q}_{0,2}, \dots, \dot{q}_{0,r} \} \quad (5.50)$$

gdzie:

$$\dot{q}_{0,i} - \text{kod liczbowy wektora } \tilde{q}_{0,i} \in L_q^0 \quad (5.43)$$

$$\langle A^1 \rangle \longleftrightarrow \dot{L}_q^1 = \{ \dot{q}_{1,1}, \dot{q}_{1,2}, \dots, \dot{q}_{1,\alpha} \} \quad (5.51)$$

gdzie:

$$\dot{q}_{1,i} - \text{kod liczbowy wektora } \tilde{q}_{1,i} \in L_q^1 \quad (5.45)$$

$$\langle A^2 \rangle \longleftrightarrow \dot{L}_q^2 = \{ \dot{q}_{2,1}, \dot{q}_{2,2}, \dots, \dot{q}_{2,s} \} \quad (5.52)$$

gdzie:

$$\dot{q}_{2,i} - \text{kod liczbowy wektora } \tilde{q}_{2,i} \in L_q^2 \quad (5.47)$$

Podobnie do sygnałów wejściowych automatu $\langle A \rangle$ można określić sygnały wyjściowe tego automatu. Liczby naturalne wyrażające te sygnały są kodami liczbowymi wektorów typu y (2.8) reprezentujących decyzje sterujące działaniem ROC. Zbiory liczb wyrażających sygnały podawane z wyjścia automatów $\langle A^0 \rangle$ i $\langle A^1 \rangle$ na zespół efektorów obiektu przedstawiają się następująco:

$$\langle A^0 \rangle \longleftrightarrow \dot{Y}^0 = \{ \dot{y}_{0,1}, \dot{y}_{0,2}, \dot{y}_{0,3}, \dot{y}_{0,4} \} \quad (5.53)$$

$$\langle A^1 \rangle \longleftrightarrow \dot{Y}^1 = \{ \dot{y}_{1,1}, \dot{y}_{1,2}, \dot{y}_{1,3}, \dot{y}_{1,4} \} \quad (5.54)$$

przy czym:

$$\dot{y}_{0,i} = \dot{y}_{1,i} - \text{kod liczbowy wektora } y_i \in Y \quad (3.17) \text{ reprezentującego decyzję sterującą kierunkiem ruchu obiektu w trakcie realizacji zadań przynależnych}$$

do zbioru $K_0 \in {}^+K(5.11)$ lub $K_1 \in {}^+K(5.11)$

W podobny sposób przedstawia się zbiór liczb wyrażających sygnały podawane na zespół efektorów obiektu ruchomego z wyjścia automatu $\langle A^2 \rangle$:

$$\langle A^2 \rangle \longleftrightarrow \dot{y}^2 = \{ \dot{y}_{2,1}, \dot{y}_{2,2}, \dots, \dot{y}_{2,1} \} \quad (5.55)$$

przy czym:

$\dot{y}_{2,j}$ - kod liczbowy wektora y_j reprezentującego decyzję sterującą działaniem obiektu w trakcie realizacji określonego zadania $k_i \in K_2 \in {}^+K(5.11)$, związanego z badaniem cech fizycznych otoczenia.

5.3. Ogólna charakterystyka syntezy automatu sterującego rozpoznawaniem konfiguracji terenu

Synteza automatów wchodzących w skład automatu $\langle A \rangle$ sprowadza się do określenia grafów tych automatów oraz funkcji określających relacje pomiędzy elementami opisującymi struktury grafów a elementami opisującymi sygnały wejściowe i wyjściowe automatów. Poniżej zostaną przedstawione pewne wybrane elementy syntezy automatu $\langle A^1 \rangle$ sterującego rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego.

Zadanie rozpoznawania konfiguracji terenu kwadratu podstawowego jest realizowane w czterech wariantach: $k_1, k_2, k_3, k_4 \in K_1(4.2)$. Stąd też automat $\langle A^1 \rangle$ sterujący realizacją takiego zadania odwzorowuje swoim działaniem działanie czterech automatów oznaczonych symbolami: $\langle A_1^1 \rangle, \langle A_2^1 \rangle, \langle A_3^1 \rangle, \langle A_4^1 \rangle$.

$$\langle A_i^1 \rangle \longleftrightarrow k_i \in K_1(4.2) \quad (5.56)$$

Graf danego automatu $\langle A_i^1 \rangle$ można określić na podstawie dendrytu $\dot{d}_i \in D_1(4.3)$ gry opisującej proces sterowania realizacją wariantu $k_i \in K_1(4.2)$ omawianego zadania. Graf taki będzie oznaczany symbolem $\dot{d}_i^x$

$$\langle A_i^1 \rangle \longleftrightarrow \dot{d}_i^x \quad (5.57)$$

Dendryty $\dot{d}_i \in D_1$ oraz ich synteza zostały przedstawione w roz-

działach trzecim i czwartym niniejszej pracy. Łuki każdego dendrytu d_i są opisane symbolami typu " q_i " lub typu " y_j ". Każdy łuk opisany symbolem " q_i " reprezentuje sytuację drugiego rodzaju $q_i \in L_q$ (3.14) w jakiej znajduje się obiekt w trakcie rozpoznawania konfiguracji terenu, związaną z przebadaną ostatnio przez obiekt krawędzią elementarną kwadratu podstawowego, kierunkiem ruchu obiektu w trakcie badania tej krawędzi oraz wynikiem jej badania. Natomiast każdy łuk opisany symbolem " y_j " reprezentuje decyzję sterującą $y_j \in Y$ (3.17), określającą optymalny w danych warunkach kierunek ruchu obiektu w badanym kwadracie. Dla uproszczenia syntezy dendrytu d_i , przy opisie omawianego procesu sterowania pominięto te fragmenty procesu, które dotyczą sterowania powrotem obiektu do punktu wyróżnionego po napotkaniu przez obiekt przeszkody na badanej przez niego krawędzi elementarnej.

Automat $\langle A^1 \rangle$ w trakcie wykonywania funkcji danego automatu $\langle A_i^1 \rangle$, tj. w trakcie sterowania realizacją zadania $k_i \in K_1$ (4.2) otrzymuje jedynie informacje dotyczące położenia obiektu w jednym z wyróżnionych punktów badanego obszaru bądź napotkania przez obiekt przeszkody. Informacje te mają postać wektora typu $\tilde{q}_1$ (5.42). Dwie pierwsze współrzędne tego wektora określają położenie obiektu w badanym obszarze, natomiast trzecia współrzędna określa wystąpienie na drodze obiektu przeszkody. Proces sterowania realizowany przez automat $\langle A^1 \rangle$ obejmuje zarówno sterowanie ruchem obiektu po jego dojściu do kolejnego punktu wyróżnionego jak i sterowanie powrotem obiektu do punktu wyróżnionego po napotkaniu na badanej krawędzi elementarnej przeszkody. Stąd też łuki dendrytu gry opisującej rzeczywisty proces sterowania realizacją zadania $k_i \in K_1$ (4.2) - wykonywany przez omawiany automat - reprezentują sytuacje pierwszego rodzaju $\tilde{q} \in L_q^1$ (5.45) (związane z dojściem obiektu do kolejnego punktu wyróżnionego lub z napotkaniem na drodze obiektu przeszkody) lub decyzje sterujące $y \in Y$. Dendryt taki będzie oznaczany symbolem $d_i^{\cdot}$. Dendryt $d_i^{\cdot}$ można otrzymać na drodze modyfikacji dendrytu d_i .

Modyfikacja taka przedstawia się następująco:

- 1^o Każdy łuk dendrytu d_i opisany elementem $q_i \in L_{q_1} \subset L_q$ (3.14) (reprezentującym sytuację drugiego rodzaju związaną z przejściem określonej krawędzi elementarnej) należy zastąpić łukiem opisany elementem $\tilde{q}_j \in L_q^1$ (5.45) (reprezentującym sytuację pierwszego rodzaju związaną z dojściem do określonego punktu wyróżnionego), dla którego prawdziwa jest zależność:

$$(\forall q_i \in L_{q_1}) (\forall \tilde{q}_j \in L_q^1) ((q_i = \langle \xi_k, \eta_k, \xi_s, \eta_s \rangle \wedge (q_j = [a, b, 0])) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow ((a = \xi_s) \wedge (b = \eta_s) \wedge (c = 0)) \quad (5.58)$$

2° Każdy łuk dendrytu d_i opisany elementem $q_i \in L_{q_2} \subset L_q$ (3.14) (reprezentującym sytuację drugiego rodzaju związaną z przebadaniem krawędzi, na której wystąpiła przeszkoda) należy zastąpić trzema następującymi po sobie łukami opisanymi odpowiednio:

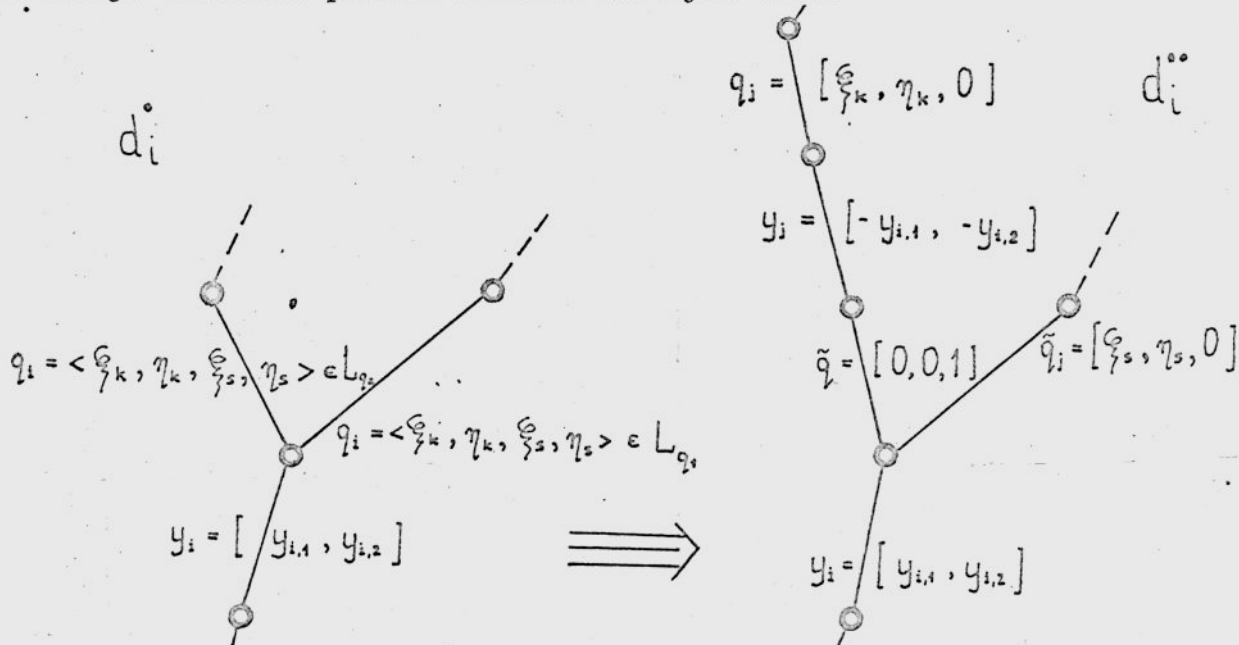
- a) elementem $q = [0, 0, 1]$ (reprezentującym sytuację pierwszego rodzaju związaną z wystąpieniem na drodze obiektu przeszkody.)
- b) elementem $y_j \in Y$ (reprezentującym decyzję sterującą) pozostającym z elementem $y_i \in Y$ (reprezentującym poprzednią decyzję sterującą) (rys. 5.7) w zależności:

$$(\forall y_i, y_j \in Y) (((y_i = [y_{i,1}, y_{i,2}]) \wedge (y_j = [y_{j,1}, y_{j,2}])) \Rightarrow \\ \Rightarrow ((y_{i,1} = -y_{j,1}) \wedge (y_{i,2} = -y_{j,2}))) \quad (5.59)$$

- c) elementem $q_j \in L_q^2$ (5.45) (reprezentującym sytuację pierwszego rodzaju związaną z dojściem obiektu do określonego punktu wyróżnionego) pozostającym z elementem $q_i \in L_{q_2} \subset L_q$ (3.14) opisującym modyfikowany łuk w zależności:

$$(\forall q_i \in L_{q_2}) (\forall \tilde{q}_j \in L_q^1) (((q_i = \langle \xi_k, \eta_k, \xi_s, \eta_s \rangle) \wedge (\tilde{q}_j = [a, b, c])) \Rightarrow \\ \Rightarrow ((a = \xi_k) \wedge (b = \eta_k) \wedge (c = 0))) \quad (5.60)$$

Pozostałe łuki dendrytu d_i pozostają bez zmian. Ilustracja omawianej modyfikacji została przedstawiona na rys. 5.7.



Rys. 5.7. Ilustracja modyfikacji dendrytu d_i prowadzącej do otrzymania dendrytu d_i''

Po zakończeniu sterowania rozpoznawaniem konfiguracji terenu kwadratu podstawowego automat $\langle A^1 \rangle$ powinien przesłać do automatu $\langle A^0 \rangle$ informację o stopniu przebadania tego kwadratu. Informacja taka ma postać wektora $g \in G$ (4.15). Stąd też, przed przeprowadzeniem opisanej powyżej modyfikacji, do każdego wierzchołka końcowego dendrytu $d_i \in D_1$ należy dobudować dodatkowy łuk opisany elementem $g_i \in G$ (4.15) wyznaczonym na podstawie sekwencji elementów typu $q \in L_q$ opisujących łuki występujące w ścieżce prowadzącej do tego wierzchołka końcowego.

Na podstawie dendrytu d_i można określić graf $d_i^{\mathbb{R}}$ automatu $\langle A_i^1 \rangle$. W tym celu z dendrytu d_i należy usunąć wierzchołki A_k^n wraz z wychodzącymi z nich łukami, a elementy $y \in Y$ i $g \in G$ opisujące te łuki przyporządkować wierzchołkom B_k^n , do których te łuki prowadzą. Grafy automatów odwzorowywanych przez automat $\langle A^1 \rangle$ tworzą zbiór:

$$D_1^{\mathbb{R}} = \{ d_1^{\mathbb{R}}, d_2^{\mathbb{R}}, d_3^{\mathbb{R}}, d_4^{\mathbb{R}} \} \quad (5.61)$$

gdzie:

$$d_i^{\mathbb{R}} \longleftrightarrow \langle A_i^1 \rangle$$

Wykonując operację nakładania dendrytów $d_i^{\mathbb{R}} \in D_1^{\mathbb{R}}$ (5.61) na siebie można otrzymać dendryt D_1'' będący grafem zastępczym automatu $\langle A^1 \rangle$. W strukturze dendrytu D_1'' można wyodrębnić strukturę każdego dendrytu $d_i^{\mathbb{R}} \in D_1^{\mathbb{R}}$. W celu ułatwienia identyfikacji dowolnego z tych dendrytów, łuki dendrytu D_1'' należy opisać elementami $s \in S_1 \subset S$ (5.3) natomiast wierzchołki elementami $b \in B^1 \subset B$ (5.4). Tak opisany dendryt wyznacza strukturę automatu wielostopniowego stanowiącego podstawową część składową automatu parametrycznego $\langle A^1 \rangle$ (por. rys. 5.1). Każdy wierzchołek dendrytu D_1'' opisany elementem $b \in B^1$ reprezentuje stan wewnętrzny automatu wielostopniowego, natomiast każdy łuk opisany elementem $s \in S_1$ reprezentuje określony sygnał wejściowy tego automatu. Każdy sygnał $s \in S_1$ przedstawia sobą informację jednobitową, a tym samym ma sobie przyporządkowany oddzielny przewód na wejściu automatu wielostopniowego. Natomiast informacja o stanie wewnętrznym $b \in B^1$ tego automatu jest podawana na pozostałe bloki funkcjonalne automatu $\langle A^1 \rangle$ w postaci słowa binarnego. Działanie automatu wielostopniowego jest zadane funkcją:

$$b(n) = \Phi^{1,1} [b(n-1), s(n)] \quad (5.62)$$

gdzie:

$$b(n-1), b(n) \in B^1 \subset B(5.4), s(n) \in S_1 \subset S(5.3)$$

Kodując w odpowiedni sposób elementy $s \in S_1$ i $b \in B^1$ opisujące dendryt D_1'' liczbami naturalnymi, działanie automatu wielostopniowego można sprowadzić do wykonywania arytmetycznej operacji dodawania na kodach liczbowych tych elementów. Zbiór liczb naturalnych kodujących elementy $b \in B^1$ jest równoliczny ze zbiorem wszystkich wierzchołków dendrytu D_1'' :

$$N_1^{\mathbb{N}} = \{0, 1, 2, \dots, \omega\} \quad (5.63)$$

Każdemu wierzchołkowi dendrytu D_1'' jest przyporządkowana inna liczba naturalna $b(n) \in N_1^{\mathbb{N}}$ (5.62).

Natomiast kod liczbowy każdego elementu $s_1 \in S_1$ jest zależny od numeru "n" piętra dendrytu D_1'' (numeru posunięcia w grze), na którym znajduje się łuk opisany tym elementem. Kod taki jest oznaczany symbolem $h(n)$:

$$h_i(n) \longleftrightarrow s_i(n) \quad (5.64)$$

gdzie:

$h_i(n)$ - liczba naturalna będąca dla automatu wielostopniowego "wewnętrznym" kodem liczbowym sygnału s_i , w posunięciu n-tym

Stan wewnętrzny automatu wielostopniowego, po posunięciu n-tym, jest dany zależnością:

$$b(n) = b(n-1) + h(n) \quad (5.65)$$

Sposób kodowania elementów $b \in B^1$ i $s \in S_1$ opisujących wierzchołki oraz łuki dendrytu D_1'' został podany w literaturze [16], [18].

Sygnały $s \in S_1$ są podawane na wejście automatu wielostopniowego z "bloku wejścia" automatu $\langle A^1 \rangle$. Blok ten realizuje funkcję zamiany sygnałów wejściowych $\dot{q} \in \dot{L}_q^1$ (5.51) automatu $\langle A^1 \rangle$ na sygnały $s \in S_1$. Funkcja ta jest określona na zbiorze:

$$C^1 \subset B^1 \times P_1 \times \dot{L}_q^1 \quad (5.66)$$

Odwzorowanie $C \longrightarrow S$ charakteryzuje się tym, że jednemu ustalonymu $s_j \in S_1$ może być przyporządkowana duża liczba różniących się między sobą trójek $(b_r, p_i, q_j) \in C^1$. Odwzorowanie to można określić jako funkcję:

$$s(n) = \Phi^{1,2} [q(n), b(n-1), p] \quad (5.67)$$

gdzie:

$$q(n) \in L_q^1 \quad (5.51)$$

$$b(n-1) \in B^1 \subset B \quad (5.4)$$

$$s(n) \in S_1 \subset S \quad (5.3)$$

$$p \in P_1 \quad (5.32)$$

Na informację wejściową "bloku wejścia" składają się sygnały b_r, p_i, q_j , przy czym każdy z nich ma postać słowa binarnego, natomiast $s_j \in S_1$ jest sygnałem wyjściowym "bloku wejścia". Każdej trójce $(b_r, p_i, q_j) \in C^1$ można przyporządkować liczbę naturalną otrzymaną w wyniku odpowiedniej operacji dodawania przeprowadzonej na liczbach binarnych reprezentujących dane elementy b_r, p_i, q_j . Zbiór liczb otrzymanych w wyniku takiego przyporządkowania jest oznaczony symbolem C^1 i jest równoliczny ze zbiorem C^1 . Realizując odwzorowanie $C^1 \longrightarrow S$ otrzymamy rozkład zbioru C^1 na podzbiory rozłączne, przyporządkowane poszczególnym elementom $s \in S_1$.

Podobną rolę jak "blok wejścia" spełnia "blok wyjścia" automatu parametrycznego $\langle A^1 \rangle$. Blok ten na podstawie informacji o stanie wewnętrznym automatu wielostopniowego - wyrażonym liczbą naturalną $b(n) \in B^1$ - oraz na podstawie informacji o parametrze $p_i \in P_1$ (5.32) wypracowuje sygnał $^x y(n) \in ^x Y^1$ będący sygnałem wyjściowym automatu $\langle A^1 \rangle$. Blok ten realizuje funkcję: $^x y(n) = \Psi^1 [b(n), p]$ (5.18). Zarówno sygnał $b(n)$ jak i sygnał p_i posiadają postać słowa binarnego o określonej długości. W celu określenia wartości liczbowej sygnału $^x y(n)$ dla danej pary (b_r, p_i) , na liczbach dwójkowych b_r i p_i wykonuje się operację pozycyjnego dodawania "modulo dwa". Stąd też dla wszystkich możliwych par (b_r, p_i) otrzymamy zbiór liczb naturalnych:

$$\Delta = \{0, 1, 2, \dots, \lambda\} \quad (5.68)$$

Na zbiorze Δ (5.68) można określić rodzinę podzbiorów, z których każdy zawiera liczby naturalne przyporządkowane danemu elementowi $^x y \in ^x Y^1$. Podzbiory te można ponumerować z kolei liczbami natural-

nymi przynależnymi do dwóch zbiorów:

$$\Delta_y^+ = \{1, 2, \dots, \gamma_y\} \quad (5.69)$$

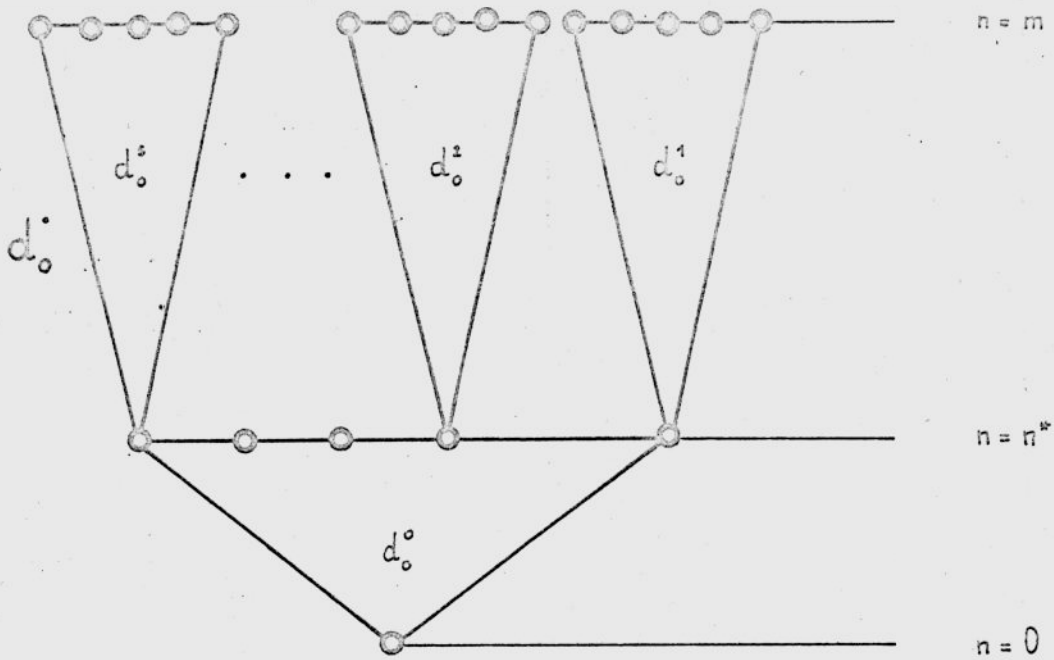
$$\Delta_g^+ = \{1, 2, \dots, \gamma_g\} \quad (5.70)$$

Dowolna liczba $\delta_y^+ \in \Delta_y^+$ jest kodem liczbowym określonego elementu $\dot{y}(n) \in \dot{Y}^1 \subset \mathbb{R}_Y^1$, natomiast dowolna liczba $\delta_g^+ \in \Delta_g^+$ jest kodem liczbowym elementu $\dot{g}(n) \in \dot{G}_1 \subset \mathbb{R}_Y^1$.

Czwartym elementem funkcjonalnym automatu parametrycznego $\langle A^1 \rangle$ jest "blok sterowania". Blok ten zabezpiecza synchronizację pracy pozostałych części składowych automatu $\langle A^1 \rangle$ jak również odpowiednie działanie tych części w procesie wypracowywania sygnałów wyjściowych $\mathbb{R}_y(n) \in \mathbb{R}_Y^1$. Współdziałanie "bloku sterowania" z pozostałymi częściami składowymi automatu parametrycznego oraz szczegółowa synteza elementów funkcjonalnych takiego automatu zostały przedstawione w literaturze [16].

Podobnie do syntezy automatu $\langle A^1 \rangle$ można scharakteryzować synteze automatu $\langle A^0 \rangle$. Automat ten realizuje nadrzędny proces sterowania działaniem ROC, obejmujący zarówno bezpośrednie sterowanie ruchem obiektu w trakcie przechodzenia od jednego kwadratu podstawowego do drugiego jak i sterowanie wyborem kolejności realizacji pozostałych zadań wykonywanych przez obiekt. Proces taki został opisany w rozdziale czwartym niniejszej pracy za pomocą gry wielochodowej, reprezentowanej dendrytem $\dot{d}_0$. Automat $\langle A^0 \rangle$ jest automatem rozgrywającym. Struktura oraz sposób syntezy automatu rozgrywającego zostały przedstawione w pracach [14], [15].

Ze względu na duże rozmiary dendrytu $\dot{d}_0$ gry opisującej nadrzędny proces sterowania, automat $\langle A^0 \rangle$ dogodnie jest zrealizować jako automat parametryczny. W tym celu dendryt $\dot{d}_0$ należy podzielić na dendryty składowe a następnie "zminimalizować" poprzez nałożenie tych dendrytów na siebie, podobnie jak w przypadku dendrytu gry parametrycznej. Dekompozycja dendrytu $\dot{d}_0$ została przedstawiona na rys. 5.8.



Rys. 5.8. Ilustracja dekompozycji dendrytu d_0^* na dendryty składowe

W celu przeprowadzenia takiej dekompozycji w dendrycie d_0^* należy wyróżnić określony poziom "n" wierzchołków tego dendrytu. Poziom taki będzie oznaczony symbolem n^* . Fragment dendrytu d_0^* zawarty pomiędzy wierzchołkiem początkowym a wierzchołkami poziomu n^* oraz fragmenty zawarte pomiędzy wierzchołkami poziomu n^* a wierzchołkami końcowymi stanowią dendryty składowe dendrytu d_0^* . Zbiór dendrytów składowych otrzymanych w wyniku dekompozycji dendrytu d_0^* przedstawia się następująco:

$$D_0 = \{ d_0^0, d_0^1, \dots, d_0^s \} \quad (5.71)$$

Każdemu z dendrytów $d_0^i \in D_0$ można przyporządkować element identyfikujący dany dendryt składowy w strukturze dendrytu d_0^* . Element taki traktuje się jako parametr fragmentu procesu reprezentowanego dendrytem $d_0^i \in D_0$. Zbiór parametrów identyfikujących dendryty składowe w strukturze dendrytu d_0^* (jak również w strukturze dendrytu zastępczego otrzymanego w wyniku nałożenia dendrytów składowych na siebie) jest równoliczny ze zbiorem D_0 (5.71) i przyjmuje się oznaczać go w sposób następujący:

$$P_0 = \{ p_{0,0}, p_{0,1}, \dots, p_{0,s} \} \quad (5.72)$$

gdzie:

$$p_{0,i} \longrightarrow d_0^i \in D_0 \quad (5.71)$$

W wyniku przeprowadzonej dekompozycji dendrytu d_0^* , wierzchołek początkowy tego dendrytu jest wierzchołkiem początkowym dendrytu składowego d_0^0 natomiast wierzchołki poziomu $n^{\mathbb{H}}$ są jednocześnie wierzchołkami końcowymi dendrytu d_0^0 oraz wierzchołkami początkowymi pozostałych dendrytów składowych $d_0^i \in D_0$. Przyporządkowując każdemu wierzchołkowi końcowemu dendrytu d_0^0 odpowiedni element $p_{0i} \in P_0$ (5.72), działanie automatu parametrycznego $\langle A^0 \rangle$ można przedstawić jak następuje. Początkowo w automacie tym jest uaktywniona struktura reprezentująca dendryt d_0^0 . W okresie tym automat $\langle A^0 \rangle$ funkcjonuje podobnie jak automat rozgrywający realizujący grę opisaną dendrytem d_0^* . Po osiągnięciu w takiej grze stanu reprezentowanego wierzchołkiem poziomu $n^{\mathbb{H}}$, "blok sterujący" automatu $\langle A^0 \rangle$ pod wpływem parametru $p_{0,i} \in P_0$, przyporządkowanemu temu wierzchołkowi, uaktywnia strukturę reprezentującą określony dendryt składowy $d_0^i \in D_0$. Po takiej zmianie automat parametryczny $\langle A^0 \rangle$ w dalszym ciągu funkcjonuje podobnie jak zwykły automat rozgrywający. Po zakończeniu realizowanej gry w automacie $\langle A^0 \rangle$ zostaje ponownie uaktywniona struktura dendrytu składowego d_0^0 .

Dekompozycję dendrytu d_0^* można sprowadzić do określonych operacji na opisującym go wyrażeniu analitycznym d_0^+ .

Algorytm dekompozycji wyrażenia analitycznego d_0^+ przedstawia się następująco:

1°. W wyrażeniu d_0^+ wyróżnić fragmenty zawarte w nawiasach $^{n_k}(\dots)^{n_k}$ oznaczonych numerem $n_k = n^{\mathbb{H}}$

$$d_0^+(1) = {}^0 \left(\dots \underbrace{{}^{n^{\mathbb{H}}}(\dots)^{n^{\mathbb{H}}}}_{d_0^{+1}} \dots \underbrace{{}^{n^{\mathbb{H}}}(\dots)^{n^{\mathbb{H}}}}_{d_0^{+2}} \dots \underbrace{{}^{n^{\mathbb{H}}}(\dots)^{n^{\mathbb{H}}}}_{d_0^{+s}} \dots \right)^0 \quad (5.73)$$

2°. Wyróżnione fragmenty oznaczyć symbolami d_0^{+i} i potraktować jako wyrażenia analityczne opisujące dendryty składowe $d_0^i \in D_0$ (z wyjątkiem dendrytu d_0^0).

3°. W wyrażeniu d_0^+ (1) zastąpić wyróżnione fragmenty odpowiednimi elementami $p_{0,i} \in P_0$ (5.72):

$$d_0^+ (2) = {}^o \left(\dots \overset{n^{\mathbb{N}}}{(p_{0,1})} \dots \overset{n^{\mathbb{N}}}{(p_{0,2})} \dots \overset{n^{\mathbb{N}}}{(p_{0,s})} \dots \right) {}^o \quad (5.74)$$

a otrzymane w ten sposób wyrażenie d_0^+ (2) potraktować jako wyrażenie analityczne d_0^{+0} opisujące dendryt składowy d_0^0 .

Dalsza synteza automatu $\langle A^0 \rangle$ jako automatu parametrycznego przebiega w taki sam sposób jak synteza automatu $\langle A^1 \rangle$.

Oczywiście powyżej podano jedynie pewne ogólne wskazówki syntezy automatu $\langle A^0 \rangle$ realizującego nadrzędny proces sterowania działaniem obiektu. Pełna synteza takiego automatu jest zagadnieniem złożonym i wykracza poza ramy niniejszej pracy.

ZAKOŃCZENIE

W pracy został przedstawiony model formalny sterowania obiektem ruchomym, zdolnym do realizacji wielu zadań. Model ten posłużył jako punkt wyjścia do syntezy formalnej automatu parametrycznego $\langle A' \rangle$ pełniącego funkcję organu sterującego obiektem ruchomym badającego cechy fizyczne obszaru o nieznanym pierwotnie kształcie terenu. Ze względu na ograniczone ramy niniejszej pracy, synteza organu sterującego została ograniczona tylko do tych elementów składowych automatu parametrycznego $\langle A' \rangle$ - będącego w rozpatrywanym przypadku systemem trzech automatów - które biorą bezpośredni udział w sterowaniu przemieszczaniem się obiektu w badanym obszarze. Na uwagę zasługuje dalsza synteza automatu $\langle A' \rangle$. Po przeprowadzeniu pełnej syntezy formalnej organu sterującego, jego działanie należałoby zweryfikować w oparciu o program symulujący działanie automatu $\langle A' \rangle$ na maszynie cyfrowej a następnie przeprowadzić jego syntezę strukturalną umożliwiającą zrealizowanie takiego automatu jako urządzenia technicznego.

Przydatność przedstawionej koncepcji automatu sterującego obiektem ruchomym jest bardzo duża. Między innymi automat ten może znaleźć zastosowanie do sterowania obiektami ruchomymi zastępującymi bezpośrednią działalność człowieka:

- a) w kopalniach położonych na dużych głębokościach pod powierzchnią ziemi
- b) przy badaniu dna oceanu
- c) w badaniach kosmicznych prowadzonych na powierzchni innych planet

Niniejsza praca stanowi podstawę do kontynuowania dalszych prac naukowych z tego zakresu.

DODATEK

Załącznik 1.

Program syntezy na m.c. wyrażenia analitycznego opisującego jednostronnie zoptymalizowany dendryt d_1^* gry opisującej proces sterowania obiektem ruchomym realizującym rozpoznawanie konfiguracji terenu. W skład programu oprócz segmentu głównego wchodzi również podprogram wydruku i przekodowywania wyrażenia analitycznego z postaci maszynowej na postać nawiasową.

```

LIST
PROGRAM(LABI)
COMPRESS INTEGER AND LOGICAL
INPUT 1=CR0
OUTPUT 2=LP0
USE 3=ED0/(LABIR)/1024
TRACE 0
END
MASTER DENDRYT
INTEGER S1(25,100),M(25,100),A(1000),A1(1000),W1(25,100)
INTEGER W3(25,100),S2(2,4),BET(4,100),C(3,100),LQ0(4),KS(4)
INTEGER KZ(4),F(25),INA(6),B(100),S(25)
COMMON/REX/INA,A,A1
LP=0
2004  FORMAT(16X,6HC[I,J],18X,8HBET[I,J])
      WRITE(2,2004)
1    FORMAT(5I0)
      READ(1,1)N
      K=0
      DO 2 I=1,N
      DO 2 J=1,N
      K=K+1
      W1(1,K)=I
2    W1(2,K)=J
      L=0
      DO 3 I=1,K
      DO 3 J=1,K
      L1=IABS(W1(1,I)-W1(1,J))+IABS(W1(2,I)-W1(2,J))
      IF(L1.NE.1)GO TO 3
      L=L+1
      M(1,L)=W1(1,I)
      M(2,L)=W1(2,I)
      M(3,L)=W1(1,J)
      M(4,L)=W1(2,J)
3    CONTINUE
C    GENEROWANIE RELACJI C I C1
      DO 4 I=1,L
      DO 5 J=1,L
      IF(M(1,I).NE.M(3,J).OR.M(2,I).NE.M(4,J))GO TO 5
      IF(M(3,I).NE.M(1,J).OR.M(4,I).NE.M(2,J))GO TO 5
      C(1,I)=J
      C(2,I)=I+L
      C(3,I)=J+L

```

```

C(1,1+L)=J+L
C(2,1+L)=I
C(3,1+L)=J
GO TO 4
5 CONTINUE
4 CONTINUE
LQ=L+L
S2(1,1),S2(1,2),S2(2,3),S2(2,4)=0
S2(2,1),S2(1,3)=1
S2(2,2),S2(1,4)=-1
C GENEROWANIE RELACJI B[1]
LL=L
DO 66 I=1,4
DO 66 J=1,LQ
DO 6 K=1,LL
L1=J
L2=K
IF(J.GT.L)GO TO 7
IF(M(3,L1).NE.M(1,L2).OR.M(4,L1).NE.M(2,L2))GO TO 6
IF(M(4,L2).NE.(M(4,L1)+S2(2,1)))GO TO 6
IF(M(3,L2).NE.(M(3,L1)+S2(1,1)))GO TO 6
8 BET(I,J)=K
GOTO 66
7 L1=J-L
IF(M(1,L1).NE.M(1,L2).OR.M(2,L1).NE.M(2,L2))GO TO 6
IF(M(3,L2).NE.(M(1,L2)+S2(1,1)))GO TO 6
IF(M(4,L2).NE.(M(2,L2)+S2(2,1)))GO TO 6
IF(L1-K)0,6,0
GO TO 8
6 CONTINUE
66 CONTINUE
2000 FORMAT(11X,3I4,10X,4I4)
DO 2001 I=1,LQ
2001 WRITE(2,2000)(C(J,I),J=1,3),(BET(J,I),J=1,4)
C POCZATEK ALGORYTMU GENEROWANIA DRZEWA
N=1
S1(1,1),S1(1,1+LL)=1
A(1)=-1
LI=2
C SPRAWDZENIE CZY CARD(LQ0)=0
72 DO 20 J=1,LQ
20 M(1,J),W1(1,J),W3(1,J)=0
F(1)=1
DO 22 I=1,LQ
IF(S1(1,I).EQ.1)GO TO 23
22 CONTINUE
JV=1
IF(LI.EQ.1001)GO TO 1002
51 A(LI)=0
JV=2
GOTO 1002
23 J=N/2+1
IF(I.GT.LL)M(J,C(1,I))=1
W3(J,C(1,I))=1
W3(J,1)=1
W1(J,C(1,I))=1

```

```

L=C(2,1)
W1(J,L),M(J,L)=1
L=C(3,1)
W1(J,L),M(J,L)=1
W1(J,1),M(J,1)=1
S1(J,1)=0
JV=3
IF(LI.EQ.1001)GO TO 1002
52 A(LI),B(N)=I
LI=LI+1
33 N=N+1
JV=4
IF(LI.EQ.1001)GO TO 1002
53 A(LI)=-N
LI=LI+1
L=1
IF(J-2)0,104,104
C PARZYSTE PIETRA STRATEGIE GRACZA 'A'
105 S(J)=4
F(J)=L
C SPRAWDZENIE CZY CARD(Y[N])=0
103 J=N/2
IK=J+1
DO 27 K=1,LQ
27 S1(IK,K)=1-M(J,K)
56 S(J)=S(J)-1
IF(S(J))101,0,0
I=S(J)+1
L2=BET(1,B(N-1))
IF(L2)56,56,0
IF(S1(IK,L2)+S1(IK,L2+LL))56,56,0
JV=5
IF(LI.EQ.1001)GO TO 1002
54 A(LI),B(N)=I
LI=LI+1
N=N+1
JV=6
IF(LI.EQ.1001)GO TO 1002
55 A(LI)=-N
LI=LI+1
32 J=N/2+1
K=B(N-1)
L1=B(N-2)
L2=BET(K,L1)
I=0
IF(S1(J,L2+LL).EQ.1)I=L2+LL
IF(S1(J,L2).EQ.1)I=L2
IF(I)102,102,0
DO 12 L=1,LQ
W3(J,L)=W3(J-1,L)
M(J,L)=M(J-1,L)
12 W1(J,L)=W1(J-1,L)
F(J)=F(J-1)
GO TO 23
104 DO 41 L=F(J),LQ
IF(1-W1(J,L))41,41,0
DO 40 L1=1,4

```



```

      IF(BET(L1,L))40,40,0
      IF(W3(J,BET(L1,L)))0,0,105
40  CONTINUE
41  CONTINUE
21  JV=8
      IF(L1.EQ.1001)GO TO 1002
57  A(L1)=N+10000
      LI=LI+1
      JV=9
60  IF(L1.EQ.1001)GO TO 1002
53  A(L1)=0
      LI=LI+1
      N=N-1
      IF(N-1)32,42,32
101 IF(A(L1-1))0,34,34
43  LI=LI-4
      JC=1
      IF(L1)0,0,45
47  LP=LP-1
      IF(LP.LT.0)STOP 'XX'
      BACKSPACE 3
      READ(3)A
      BACKSPACE 3
      LI=1000+LI
      GO TO (45,46,103),JC
45  IF(A(L1).GT.0.AND.A(L1).LT.10000)GOTO 44
      JC=2
43  LI=LI-1
      IF(L1)47,47,0
45  IF(A(L1)+N-2)48,0,48
      LI=LI+1
44  N=N-2
      GOTO 103
102 JV=10
      IF(L1.EQ.1001)GO TO 1002
59  A(L1)=0
      LI=LI+1
      N=N-1
      GO TO 103
1002 WRITE(3)A
      LP=LP+1
      DO 1003 L=1,1000
1003 A(L)=0
      IF(JV.NE.2)LI=1
      GO TO (51,1001,52,53,54,55,52,57,58,59),JV
1001 ENDFILE 3
      REWIND 3
      WRITE(2,2000)
      CALL PISZ(L1,LP)
      STOP
34  IL=LI
79  LI=LI-1
      IF(L1.NE.0)GO TO 78
      DO 76 J=1,IL
76  A(J)=A(J)
      BACKSPACE 3

```

```

READ(3)A
BACKSPACE 3
LP=LP+1
LI=1001
IL=IL+1000
GO TO 70
73 IF(A(LI).NE.(-N))GO TO 70
LI=LI+1
J=1
73 KS(J)=LI
KZ(J)=0
L=N
83 LI=LI+1
IF(A(LI))0,81,82
L=L+1
GOTO 83
81 L=L-1
IF(L-N)83,84,83
82 IF(A(LI)-KZ(J))83,83,0
KZ(J)=A(LI)
GO TO 83
84 LI=LI+1
IF(LI-IL)0,85,85
J=J+1
GOTO 73
85 LK=KZ(1)
L2=1
L=J
DO 74 J=1,L
IF(LK.LT.KZ(J))GO TO 74
LK=KZ(J)
L2=J
74 CONTINUE
IF(L2.NE.1)GO TO 75
LI=IL
IF(L.NE.1)LI=KS(2)
GO TO 77
75 K=IL-1
IF(L2.NE.L)K=KS(L2+1)-1
LI=KS(1)
DO 178 J=KS(L2),K
A(LI)=A(J)
178 LI=LI+1
77 IF(IL.LE.1000)GO TO 60
IF(LI.LE.1000)GO TO 60
WRITE(3)A
LP=LP+1
LI=LI-1000
DO 80 J=1,LI
80 A(J)=A1(J)
GO TO 60
END

```

```

SUBROUTINE PISZ(LQ,LR)
INTEGER A(1000),INA(6),B(120),C(120)
COMMON/REX/INA,A
J1=2**18
I1,I=0
LB=LR
READ(3)A
LB=LB-1
16 DD 13 L=1,120
B(L)=INA(1)
13 C(L)=INA(1)
J=1
11 I=I+1
IF(I.NE.1001)GO TO 5
READ(3)A
LB=LB-1
I=1
5 IF(I.EQ.1000)LEJ=A(I)
IF(A(I))0,1,2
IF(J.GE.120)GO TO 10
LIZ,IC=-A(I)-1
C(J+1)=MOD(IC,10)*J1
C(J)=IC/10*J1
IF(C(J).EQ.0)C(J)=INA(1)
B(J+1)=INA(2)
J=J+2
GO TO 11
1 IF(J.GE.120)GO TO 10
IC=LIZ
C(J+1)=MOD(IC,10)*J1
C(J)=IC/10*J1
IF(C(J).EQ.0)C(J)=INA(1)
B(J+1)=INA(3)
J=J+3
LIZ=LIZ-1
IF(LIZ+1.EQ.I1)GO TO 10
IF(I.GE.LQ.AND.LB.EQ.0)GO TO 10
GO TO 11
2 IF(I.EQ.1)GO TO 24
IF(A(I-1).LT.0)GO TO 23
GO TO 25
24 IF(LEJ.LT.0)GO TO 3
25 CONTINUE
IF(J.GE.121)GO TO 10
B(J)=INA(4)
J=J+1
23 IF(J.GE.116)GO TO 10
IC=A(I)
IF(IC.GT.10000)GO TO 57
B(J)=INA(5+MOD(LIZ,2))
N=2
DO 55 J5=1,N
B(J+N+1-J5)=MOD(IC,10)*J1
55 IC=IC/10
J=J+N+1
GO TO 11

```

```

57  IC=IC-10000
    DU 58 J5=1,2
    B(J+2-J5)=MOD(IC,10)*J1
58  IC=IC/10
    J=J+2
    GO TO 11
10  WRITE(2,15)(C(J),J=1,120)
    WRITE(2,15)(B(J),J=1,120)
    WRITE(2,17)
17  FORMAT(1H )
15  FORMAT(1X,120A1)
    IF(LI2+1.EQ.11.AND.A(1).EQ.0)GO TO 20
    IF(1.GE.LQ.AND.LB.EQ.0)GO TO 20
    I=I-1
    GO TO 16
20  RETURN
    END
    BLOCK DATA
    INTEGER INA(6)
    COMMON/REX/INA
    DATA INA/4H 000,4H(000,4H)000,4H,000,4HQ000,4HY000/
    END
    FINISH

```

Objaśnienia dotyczące zał. 1.

Program syntezy wyrażenia analitycznego został napisany w języku FORTRAN 1900. Opis algorytmu jest podany w rozdziale 3.3. Poniżej zostaną przedstawione dodatkowe informacje dotyczące sposobu kodowania wyrażenia analitycznego oraz wykaz ważniejszych symboli występujących w tabulogramie.

1. Kodowanie wyrażenia analitycznego

- a) nawias otwierający z numerem piętra $\overset{n}{(}$ jest kodowany liczbą całkowitą: $-n-1$
- b) nawias zamykający $\overset{n}{)}$ jest kodowany jako $\emptyset$
- c) strategia chodowa q_i lub y_i jest kodowana liczbą naturalną: i
- d) przecinek nie jest w ogóle pamiętany, gdyż miejsce jego umieszczenia wynika z sekwencji pozostałych elementów

Każdy z elementów zajmuje jedno słowo maszynowe.

2. Wykaz ważniejszych symboli

- a) $S1(25, 100)$ - tablica zawierająca zbiory: $S(1), S(2), \dots, S(\beta)$ takich elementów $q \in L_q$ lub $y \in Y$, które mogą być użyte do budowy danej ścieżki dendrytu odpowiednio na piętrach $1, 2, \dots, \beta$.
- b) $M(25, 100)$ - tablica zawierająca zbiory: $M(1), \dots, M(\beta)$ takich elementów $q \in L_q$, które zostały użyte do budowy danej ścieżki dendrytu lub pozostają z elementami użytymi do budowy tej ścieżki w relacji $\supset$.
- c) $W1(25, 100)$ - tablica zawierająca zbiory: $W^1(1), \dots, W^1(\beta)$ takich elementów $q \in L_q$, które zostały użyte do budowy danej ścieżki dendrytu lub pozostają z elementami użytymi do budowy tej ścieżki w relacji $\supset^1$.
- d) $W3(25, 100)$ - tablica zawierająca zbiór W^2 takich elementów $q \in L_q$, które nie są elementami rozpatrywanego w danym momencie zbioru $W^1(n)$.
- e) $A(1000), A1(1000)$ - tablice, w których zapisywana jest postać maszynowa generowanego wyrażenia analitycznego.
- f) $BET(4, 100)$ - tablica zawierająca zbiór par typu (q_i, q_j) , których elementy pozostają ze sobą w relacji $\mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \mathcal{B}_3$ lub $\mathcal{B}_4$.

- g) $C(3, 100)$ - tablica zawierająca zbiór par typu (q_i, q_j) ,
których elementy pozostają ze sobą w relacji $\supset$ lub $\supset^1$.
- h) JNA(6) - tablica zawierająca kody znaków potrzebnych przy wy-
druku wyrażenia analitycznego takich jak: nawiasy, przecinek,
spacja, itd.

3. Wyrażenie analityczne drukowane przez program ma następującą postać:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ Q01 & Y03 & Q04 & \dots & & & & \end{pmatrix}$$

gdzie:

$\begin{pmatrix} n & n \\ (&) \end{pmatrix}$ - nawiasy: otwierający $\begin{pmatrix} n \\ (&) \end{pmatrix}$ i zamykający $\begin{pmatrix} n \\) \end{pmatrix}$

$Q\ n$ - element q_n

$Y\ m$ - element y_m

Załącznik 2.

Przykładowy tabulogram wyników uruchomienia programu syntezy na m.c. wyrażenia analitycznego opisującego jednostronnie zoptymalizowany dendryt d_1' gry opisującej proces sterowania obiektem ruchomym realizującym rozpoznawanie konfiguracji terenu, dla danych:

długość boku badanego kwadratu = 1 (cztery punkty wyróżnione)

Wyrażenie analityczne dendrytu:

```

0 1 2 3 4 5 6 7 7 7 7 6 5
(001 (Y03 (004 (Y02 (008 (Y04 (005 (08 ) ,013 (08 ) ) ) ,
5 6 7 8 9 10 11 11 11 11 10 9 8
016 (Y04 (007 (Y02 (003 (Y03 (002 (12 ) ,010 (12 ) ) ) )
7 6 5 4 3 3 4 5 6 7 8 9 9
) ) ) ) ) ,012 (Y02 (003 (Y03 (002 (Y01 (006 (10 ) ,014
9 9 8 7 7 7 6 5 4 3 2 1 1 2 3
(10 ) ) ) ,010 (08 ) ) ) ) ) ,009 (Y03 (012 (
4 5 6 7 7 7 7 6 5 5 5 4
Y01 (006 (Y04 (007 (08 ) ,015 (08 ) ) ) ,014 (06 ) )
3 3 3 2 1 6
) ,010 (04 ) ) ) )

```

LITERATURA

- [1] Aleksandrov E.A., Osnovy teorji evrističeskich rešenij, Sov. Radio, Moskva 1975.
- [2] Arbib M.A., The Metaphorical Brain - An introduction to cybernetics as artificial intelligence and brain theory, Wiley-Interscience, New York 1972.
- [3] Ashby W.R., Wstęp do cybernetyki, PWN, Warszawa 1963.
- [4] Barton R.F., Wprowadzenie do symulacji i gier, WNT, Warszawa 1974.
- [5] Bellman R., Adaptacyjne procesy sterowania, PWN, Warszawa 1965.
- [6] Berge C., Theorie des graphes et ses applications, Dunod, Paris 1958.
- [7] Berlyne E.D., Struktura i kierunek myślenia, PWN, Warszawa 1969.
- [8] Birkhoff G., Mac Lane S., Przegląd algebry współczesnej, PWN, Warszawa 1966.
- [9] Bromirski J., Teoria automatów, WNT, Warszawa 1969.
- [10] Gawroński R., Rozpoznanie i decyzja, PWN, Warszawa 1970.
- [11] Gill A., Introduction to the theory of finite - state machines, McGraw-Hill Book Company, New York 1962.
- [12] Heynert H., Bionika ogólna, PWN, Warszawa 1975.
- [13] Isaacs R., Differential games, New York 1965.
- [14] Kazimierczak J., Synteza strukturalna automatów skończonych modelujących gry wielochodowe o dużej ilości strategii, Rozprawa doktorska nie publ., Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej Wrocław 1969.
- [15] Kazimierczak J., Teoria gier w cybernetyce, WP, Warszawa 1973.
- [16] Kazimierczak J., Automaty rozgrywające parametryczne - Synteza i zastosowanie, Monografie, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1974.
- [17] Kazimierczak J., Automat rozgrywający parametryczny i jego zastosowanie w procesach sterowania, Prace VI Krajowej Konferencji Automatyki, Poznań 1974.
- [18] Kazimierczak J., Concept of the parametric automaton and its synthesis, Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Komunikat 297, Wrocław 1975.
- [19] Kazimierczak J., Forecasting of the behaviour of a cybernetics system with application of the parametric game playing automaton, Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Komunikat 417, Wrocław 1976.

- [20] Kazimierczak J., System cybernetyczny z zachowaniem celowym, WP, Warszawa 1978.
- [21] Kazimierczak J., Koncepcja systemu operacyjnego SC działającego na bazie automatu parametrycznego, Prace VII Krajowej Konferencji Automatyki, Rzeszów 1977.
- [22] Klir G.J., Ogólna teoria systemów, WNT, Warszawa 1976.
- [23] Krasovski N.N., Igrovyje zadači o vstreče dviženij, "Nauka", Moskva 1970.
- [24] Kulikowski R., Procesy optymalne i adaptacyjne w układach regulacji automatycznej, PWN, Warszawa - Wrocław 1965.
- [25] Kulikowski R., Sterowanie w wielkich systemach, WNT, Warszawa 1974.
- [26] Kuratowski K., Wstęp do teorii mnogości i topologii, PWN, Warszawa 1972.
- [27] Neumann J., von, Vyčislitel'naja mašina i mozg, Kibernetičeskij sbornik, Nr 1, Moskva 1960.
- [28] Owen G., Teoria gier, PWN, Warszawa 1975.
- [29] Presnuchin L.N., Osnovy teorii i projektirovanija vyčislitel'nyh priborov i mašin upravlenija, Wyžša Škoła", Moskva 1970.
- [30] Pułaczewski J., Zasady automatyki, WNT, Warszawa 1974.
- [31] Rasiowa H., Wstęp do matematyki współczesnej, PWN, Warszawa 1973.
- [32] Szamkołowicz L., Teoria grafów skończonych, Ossolineum, Wrocław 1971.
- [33] Tou J.T., Nowoczesna teoria sterowania, WNT, Warszawa 1967.
- [34] Tou J.T., Advances in information systems science, Plenum Press, New York 1969.
- [35] Trachtenbrot V.A., Barzdin' J.M., Konečnyje avtomaty, "Nauka", Moskva 1970.
- [36] Wołczowski A., Wstępny model formalny procesu pościgu w ujęciu teorii automatów parametrycznych, Komunikat nr 377, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976.
- [37] Wołczowski A., Opis formalny sterowania ruchomym obiektem cybernetycznym w ujęciu gry wielochodowej, Komunikat nr 445, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976.
- [38] Wołczowski A., Formalny model sterowania obiektem ruchomym przy zastosowaniu automatu parametrycznego jako organu sterującego, Prace VII Krajowej Konferencji Automatyki, Rzeszów 1977.
- [39] Wiener N., Cybernetyka czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie, PWN, Warszawa 1971.
- [40] Young J.Z., Model mózgu, PWN, Warszawa 1968.

Niniejszy komunikat otrzymują:

- | | |
|--|--------|
| 1. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej | 1 egz. |
| 2. OINT | 1 egz. |
| 3. Biblioteka Międzyinstytutowa I-6 | 1 egz. |
| 4. I Z-ca Dyrektora I-6 | 1 egz. |
| 5. Z-ca Dyrektora I-6 d/s Badań Naukowych
i Współpracy z Przemysłem | |

Niniejszy komunikat otrzymują:

- | | |
|--|--------|
| 1. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej | 1 egz. |
| 2. OINT | 1 egz. |
| 3. Biblioteka Międzyinstytutowa I-6 | 1 egz. |
| 4. I Z-ca Dyrektora I-6 | 1 egz. |
| 5. Z-ca Dyrektora I-6 d/s Badań Naukowych
i Współpracy z Przemysłem | 1 egz. |
| 6. Prof. zw. dr J. Bromirski | 1 egz. |
| 7. Prof. dr hab. A. Sielicki | 1 egz. |
| 8. Doc. dr hab. E. Nawarecki | 1 egz. |
| 9. Doc. dr hab. J. Kazimierczak | 1 egz. |
| 10. Seminarium Ogólnej Teorii Systemów I-6 | 1 egz. |
| 11. Seminarium Systemów Sterowania I-6 | |

		1 2 3 4 5 6 7 8						9	
* N *		N, N, P, V, T, T, A, N						0, 2, 0, 0 0, 2, 1, 0 0, 2, 0, 1	
Rozpocz. pr.		Zakończ. pr.		Opubl. pr.		Instytut		Nr tematu	
0, 5, 7, 6						1, 0, 6		1, 0, 4, 0, 3, 7, 7 0, 4	
Nr zlecenia		Nr archiwalny							
		1, 0, 6, 1, K, - 74, 1, 1, 7, 9 *							
Symbol UKD		Teoria sterowania teoria automatów						78:Inst.Cybern	
007								PWr	
								MNSzWiT	
		pol.							
Opis bibliograficzny									
Wołczowski Andrzej Model formalny sterowania obiektem ruchomym przy zastosowaniu automatu parametrycznego. Komunikaty Inst.Cybern.PWr 1978 nr 741 157s. 34rys. bibliogr. 40poz. /maszyn.powiel./ Rozprawa doktorska Politechnika Wrocławska Instytut Cybernetyki Technicznej Wrocław Promotor: doc.drhab.inż.Jan Kazimierczak									
Charakter pracy: • podstawowa Rozpowszechnienie - Materiały odpłatne A									

Analiza dokumentacyjna

<D> W pracy przedstawiono, w ujęciu teorii gier wielo-
 chodowych, model formalny procesu sterowania obiektem
 ruchomym zdolnym do realizacji wielu zadań. Przyjęto,
 że organem sterującym takiego obiektu powinien być
 automat rozgrywający parametryczny. Podstawą syntezy
 takiego automatu jest dendryt gry parametrycznej opi-
 sującej proces sterowania działaniem obiektu ruchomego.
 Stąd też w pracy przedstawiono metodę syntezy dendrytu
 takiej gry. Przedstawiony model procesu sterowania zas-
 tosowano do rozwiązania problemu rozpoznawania konfi-
 guracji terenu przez samosterujący się obiekt ruchomy.
 Podano opis formalny procesu działania obiektu reali-
 zującego rozpoznanie konfiguracji terenu oraz określo-
 no strukturę i działanie automatu pełniącego rolę or-
 lmię i Nazwisko autora analizy gamy sterującego takiego
 obiektu.

Andrzej Wołczowski

Słowa kluczowe

<S

system cybernetyczny, proces sterowania, gra
 wielochodowa, automat parametryczny

**0480 * 00* _____

<A _____ *B _____ *C _____ *D _____

*E _____ *F _____ *G _____ *H _____ <<

tytuł PRL	CINTE	APW	Podp.	Podpis asyst. d/s badań	Potwierdzenie przyjęcia poprawki.	Potwierdzenie przyjęcia karty w Oddziale Do- kumentacji.
NIE	TAK	TAK				
Wpisać TAK lub NIE						