STUDIA INFORMATICA 2001
Volume 22 Number 4 (46)

Krzysztof Dobosz
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

ROZPOZNAWANIE SŁOWA GENETYCZNEGO SYSTEMU ROZWIJAJĄCEGO SIĘ[1]

Streszczenie. W publikacji omówiono problem rozpoznawania słowa genetycznego systemu ewolucyjnego na podstawie znajomości jego struktury. Po wstępnej analizie problemu przedstawiono sposoby znajdowania minimalnego słowa genetycznego oraz najkrótszego słowa genetycznego. Zdefiniowano również pojęcie wzorca genetycznego i omówiono je na przykładach.

RECOGNITION OF DEVELOPMENTAL SYSTEM'S GENETIC WORD

Summary. In the paper the problem of recognition of developmental system's genetic word basing on its structure is discussed. After the initial analyse, the ways of searching the minimal genetic word and the shortest genetic word are presented. Next the genetic pattern is defined, and it is discussed with examples.

1. Wprowadzenie do systemów rozwijających się

W badaniach nad wizualizacją systemów ewolucyjnych (rozwijających się) [1,2] napotkano problem rozpoznawania postaci słowa genetycznego na podstawie znajomości cech struktury systemu rozwijającego się. Struktura ta może być wynikiem rozwoju pewnego systemu rozwijającego się bądź też tworem zaprojektowanym przez użytkownika. Jeśli nie znamy pochodzenia struktury, to pierwszym i podstawowym problemem jest stwierdzenie, czy jest ona możliwa do uzyskania na drodze rozwoju od określonego stanu początkowego zgodnie z teorią systemów rozwijających się. Jeśli tak, to kolejnym krokiem jest rozpoznanie

[1] Artykuł jest wynikiem badań realizowanych w ramach projektu BW-446/Rau-2/2000 finansowanego przez KBN

słowa genetycznego, które umożliwia otrzymanie zaprojektowanej struktury w czasie rozwoju systemu ewolucyjnego. Istotą problemu staje się poszukiwanie operacji elementarnych realizowanych przez komórki poszczególnych typów. Poszukiwanie to bazuje na znajomości wyglądu struktury bądź na zmianach ilościowych i jakościowych w niej zachodzących. Niniejszy artykuł przedstawia ogólne rozważania na temat rozwiązania tego problemu. Bardziej szczegółowo został potraktowany w nim problem znajdowania słów genetycznych o pewnych szczególnych cechach.

1.1. Systemy ewolucyjne

System ewolucyjny - to uporządkowany zbiór elementów różnych typów oznaczonych symbolami a_1, a_2, ..., a_i, ... a_n, dla których to elementów operację elementarną oznaczamy odpowiednio A_1, A_2, ..., A_i, ... A_n. Zakładamy, że operacje te są wykonywane sekwencyjnie i synchronicznie, w tych samych momentach czasu dla wszystkich elementów zbioru.

Ciąg symboli operacji elementarnych A_1, A_2, ..., A_i, ... A_n określających transformacje, którym podlegają elementy typów a_1, a_2, ..., a_i, ... a_n, nazywamy **słowem genetycznym MG** danego systemu rozwijającego się (ewolucyjnego). MG = A_1, A_2, ..., A_i, ... A_n.

Zbiór *n* typów elementów oznaczamy przez: Z = { a_1, a_2, ..., a_i, ... a_n }. Zatem system ewolucyjny SE jest zdefiniowany przez jego słowo genetyczne MG rozpięte nad zbiorem Z wszystkich typów elementów występujących w rozpatrywanym systemie oraz przez warunek początkowy, za który przyjmowali będziemy zawsze a_1, co zapisujemy:

$$SE = \frac{MG}{Z} = \frac{A_1, A_2, \ldots\ldots, A_i, \ldots\ldots A_n}{a_1, a_2, \ldots\ldots, a_i, \ldots\ldots a_n}$$

O operacjach A_i zakładamy, że przekształcają elementy zbioru Z w elementy również należące do tego zbioru, czyli jeżeli $A_i \in MG$ i $a_i \in Z$, to $A_i(a_i) \in Z$. Operacje te ogólnie można podzielić na trzy klasy:

- operacje transformacji, gdzie $A_i(a_i) = a_j$;
- operacje stagnacji, gdzie $A_i(a_i) = a_i$;
- operacje podziału, gdzie $A_i(a_i) = a_j a_k$, co oznacza, że elementy a_j i a_k znajdują się obok siebie wzdłuż tego samego kierunku rozwoju lub gdzie $A_i(a_i) = a_j(a_k)$, co oznacza, że element a_k znajduje się na innym w stosunku do dominującego kierunku rozwoju, przy czym dla wszystkich operacji musi zachodzić: $j > i$, $k \geq i$, $j \neq k$.

Warunki te prowadzą do realizacji operacji, poczynając od pierwszego elementu występującego w zbiorze Z i pierwszej operacji występującej w słowie MG. Następnie słowo MG czytane jest od lewej do prawej. Słowo takie to **słowo genetyczne o strukturze liniowej**. Jeśli w przypadku pewnej wartości *i* warunki liniowości nie są spełnione, to mamy do czynienia ze **słowem genetycznym o strukturze kołowej** z pętlą globalną, bądź lokalną.

W dotychczasowych badaniach brano pod uwagę systemy ewolucyjne o dwóch stopniach swobody i synchronicznym trybie rozwoju. W systemach takich zbiór operacji jest ograniczony do sześciu zdefiniowanych następująco:

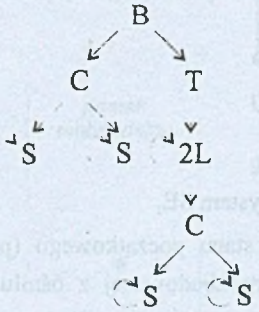
- Transformacja $T(a_n) = b_{n+1}$
- Bifurkacja $B(a_n) = b_{n+1}c_{n+1}$.
- Bifurkacja ze zmianą kierunku $C(a_n) = b_{n+1}(c_{n+1})$.
- Generacja liniowa $L(a_n) = b_{n+1}(a_{n+1})$.
- Generacja ze zmianą kierunku $R(a_n) = b_{n+1}(a_{n+1})$.
- Stagnacja $T(a_n) = a_{n+1}$.

przy czym „n" oznacza czas dyskretny procesu rozwoju (jednakże często podczas analizy systemów ewolucyjnych indeks ów jest pomijany).

1.2. Rozwój struktury systemu ewolucyjnego

Rozwój struktury systemu ewolucyjnego zostanie przedstawiony na konkretnym przykładzie. Weźmy pod uwagę system: $SE_1 = \frac{MG_1}{Z} = \frac{BCSST2LCSS}{a,b,c,d,e,f,g,h,i}$. Odpowiada mu struktura słowa genetycznego jak na rys. 1a oraz relacje przedstawione na rys. 1b.

a)



b)

$B(a) = be$

$C(b) = c(d)$

$S(c) = c$

$S(d) = d$

$T(e) = f$

$$2L(f) = \begin{cases} gf, & jezeli\ n_f \le 2 \\ g, & jezeli\ n_f = 3 \end{cases}$$

$C(g) = h(i)$

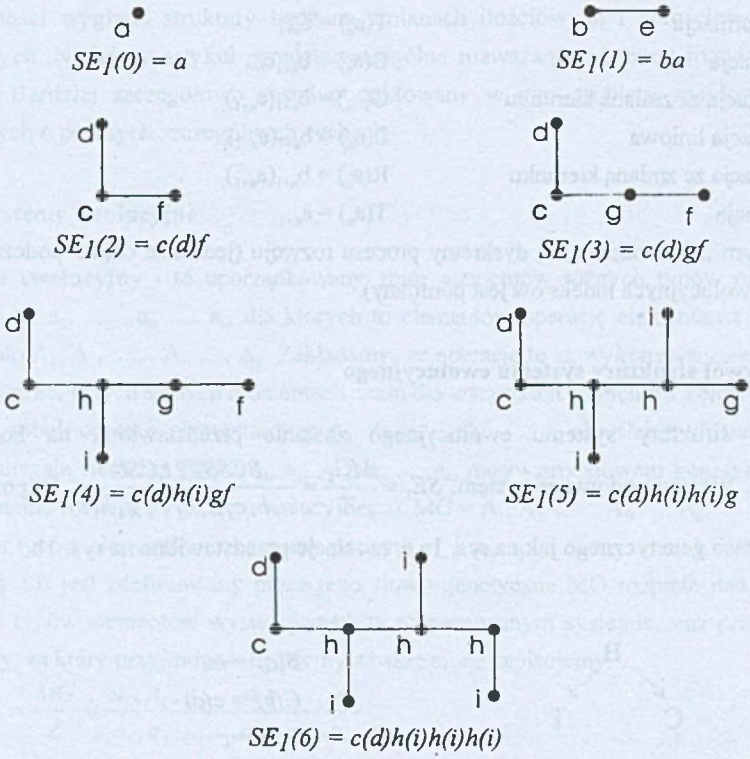
$S(h) = h$

$S(i) = i$

Rys. 1. Słowo genetyczne MG_1: a) struktura, b) relacje
Fig. 1. The genetic word MG_1: a) structure, b) relations

W słowie genetycznym tego systemu ewolucyjnego brak jest sprzężeń zwrotnych. Zbudowane ono jest z dziewięciu operacji elementarnych, wśród których jedna (2L) posiada lokalny system operacyjny z pojedynczą instrukcją kontrolującą liczbę jej wykonań. Na rys. 2

przedstawiono ewolucję struktury tego systemu począwszy od stanu początkowego, którym jest pojedyncza komórka, aż do szóstej fazy jego rozwoju.



Rys. 2. Rozwój systemu SE_1

Fig. 2. Development of the system SE_1

Jak widzimy, przykładowy system rozwija się od stanu początkowego (pojedynczej komórki) aż do osiągnięcia na szóstym etapie struktury zbudowanej z ośmiu komórek. Począwszy od tego etapu, wszystkie komórki wykonują operację stagnacji, a więc zarówno kształt struktury, jak i ilość i jakość (typ) elementów pozostają bez zmian.

2. Przedstawienie problemu

W poprzednim rozdziale na rys. 2 przedstawiono krok po kroku rozwój przykładowego systemu ewolucyjnego SE_1. Problem rozpoznawania słowa genetycznego zostanie

przedstawiony na przykładzie analizy struktury systemu SE_1 znajdującego się na wybranym etapie rozwoju, co ogólnie pokazano na rys.3.

$$MG = \sum_{i=1}^{m} I_i A_i$$

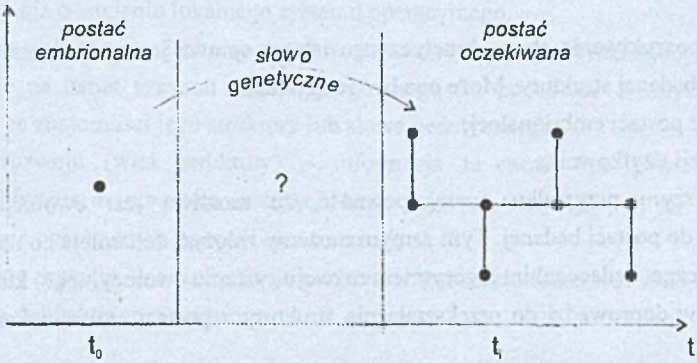
Rys. 3. Ogólne przedstawienie badanego problemu
Fig. 3. General view on the research problem

W czasie omawiania problemu rozpoznawania słowa genetycznego zachodzi potrzeba zdefiniowania kilku podstawowych pojęć.

DEFINICJE:

2.1. ***Postacią embrionalną systemu ewolucyjnego*** *nazwiemy taką jego strukturę, która podczas badań uznawana jest za stadium początkowe, od którego rozpoczyna się cały cykl rozwojowy systemu ewolucyjnego.*

2.2. ***Postacią oczekiwaną systemu ewolucyjnego*** *nazwiemy taką strukturę grafową, którą system ewolucyjny powinien osiągnąć podczas rozwoju z postaci embrionalnej, wykonując algorytm zapisany w słowie genetycznym.*



Rys. 4. Rozwój systemu SE_1
Fig. 4. Development of system SE_1

Powyższe definicje wykorzystują pojęcie „embriona" jako stanu początkowego systemu [3]. Naszym zadaniem jest rozpoznanie słowa genetycznego pozwalającego na ewolucję struktury od postaci embrionalnej do postaci oczekiwanej. Tak jak można się domyśleć, słów genetycznych spełniających taki warunek może być bardzo dużo. Po znalezieniu jednego z

takich słów jesteśmy w stanie wygenerować postać struktury systemu ewolucyjnego na wszystkich pozostałych etapach rozwoju, co pokazano symbolicznie na rys. 4.

3. Omówienie założeń

3.1. Cechy badanych systemów ewolucyjnych

Zanim przystąpimy do poszukiwań słowa genetycznego, musimy określić kilka cech, jakimi charakteryzować się powinna zarówno badana przez nas struktura, jak i sam system ewolucyjny. Sprecyzowanie takich cech pozwoli na uściślenie metodologii poszukiwania rozwiązania problemu rozpoznawania struktury systemu ewolucyjnego na podstawie znajomości jego struktury. Zanim więc rozpoczniemy analizę problemu, musimy mieć pewność, że:

- badana struktura jest grafem acyklicznym i spójnym — istnieje dokładnie jedna ścieżka łącząca dwa dowolne węzły struktury;
- badana struktura jest poprawną strukturą systemu ewolucyjnego — czyli jest grafem acyklicznym charakteryzującym się maksymalnie trzema krawędziami przylegającymi do tego samego węzła; warunek ten może nie być spełniony, gdy nie mamy pewności co do pochodzenia struktury.

3.2. Pochodzenie struktury

Podczas poszukiwania słowa genetycznego istotną sprawą jest posiadanie informacji o pochodzeniu badanej struktury. Może ona być rezultatem:

- ewolucji z postaci embrionalnej,
- kompozycji użytkownika.

W pierwszym przypadku mamy pewność, że możliwa jest ewolucja z postaci embrionalnej do postaci badanej. Tym samym możemy założyć, że istnieje co najmniej jedno słowo genetyczne, będące takim algorytmem rozwoju systemu ewolucyjnego, który w pewnej liczbie kroków doprowadzi do przekształcenia struktury z postaci embrionalnej do postaci oczekiwanej.

W przypadku gdy badana struktura jest kompozycją użytkownika, nie mamy gwarancji, że struktura zaprojektowana przez użytkownika spełnia wszystkie założenia omówione w rozdziale 3.1.

3.3. Informacje o systemie

Metodologia podejścia do problemu znajdowania minimalnego słowa genetycznego jest zależna od posiadanych informacji o badanej strukturze i o oczekiwanych cechach słowa genetycznego.

Informacje o strukturze systemu ewolucyjnego mogą pochodzić ze znajomości:

a) statycznego obrazu struktury

- kształt struktury — informacja o istnieniu i długości pnia struktury oraz liczbie i długości gałęzi poszczególnych typów [3];
- liczba komórek w strukturze;
- typy komórek — informacja o komórkach aktywnych (wykonujących w badanej fazie rozwoju operacje L, R, B, C lub T) i nieaktywnych (wykonujących w danej fazie rozwoju operację S, a więc będące w stagnacji);
- wiek komórek;

b) skutków dynamicznych zmian w strukturze

- zmiany ilościowe – informacja o funkcji wzrostu $V(k)$ systemu ewolucyjnego [1, 2];
- zmiany jakościowe – informacja o zmianach w liczbie komórek poszczególnych typów.

Wymagania stawiane poszukiwanym słowom genetycznym również mają wpływ na sposób ich poszukiwania oraz na ograniczenie zbioru znalezionych rozwiązań. Istotne są następujące informacje o kodzie genetycznym:

- informacja o długości kodu słowa genetycznego,
- informacja o istnieniu lokalnego systemu operacyjnego,
- informacja o sprzężeniach zwrotnych w strukturze słowa genetycznego.

Informacje na temat systemu ewolucyjnego mogą też pochodzić z innych źródeł niż bezpośrednio ze znajomości jego struktury lub słowa genetycznego:

- etap rozwoju (wiek struktury) – informacja ta może być pomocna podczas poszukiwania argumentów instrukcji kontrolujących znajdujących się w lokalnym systemie operacyjnym operacji elementarnej;
- przebyte mutacje — ta informacja może mieć znaczenie tylko wówczas, gdy jest ona bardzo dokładnie sprecyzowana.

4. Analiza problemu

4.1. Założenia

Po ogólnych założeniach sprecyzowanych w poprzednim rozdziale nadszedł moment, aby dokonać analizy konkretnej klasy zadań rozpoznawania słowa genetycznego. W związku z tym przyjmiemy pewne założenia, które pozwolą nam na uściślenie cech analizowanej struktury oraz poszukiwanego słowa genetycznego.

Zakładamy więc, że jest znany kształt struktury, liczba komórek w strukturze oraz wykonywane przez nie operacje (operacja stagnacji). Nie mamy natomiast informacji, jakiego typu są komórki w postaci oczekiwanej, tzn. nie wiemy, czy wykonują one tę samą, czy różne operacje stagnacji. Poszukujemy słowa genetycznego o nieznanej długości, z lokalnym systemem operacyjnym, ale bez sprzężeń zwrotnych.

4.2. Wyznaczanie minimalnego słowa genetycznego

Jak łatwo się można domyśleć, struktura od stanu początkowego do postaci oczekiwanej może rozwijać się na wiele sposobów. Aktualnie zainteresujmy się takim rozwojem, który wykona się jak najszybciej, czyli postać oczekiwaną osiągniemy w jak najmniejszej liczbie etapów. Słowo genetyczne charakteryzujące taki rozwój możemy określić za pomocą definicji 4.1:

DEFINICJA

4.1. *Słowo genetyczne pozwalające na rozwój systemu ewolucyjnego od postaci embrionalnej do postaci oczekiwanej w najkrótszym czasie nazwiemy* ***minimalnym słowem genetycznym***.

Na podstawie analizy szybkości wzrostu liczby komórek w strukturze systemu ewolucyjnego zauważamy, że w przypadku systemów o słowach genetycznych bez sprzężenia zwrotnego szybkość wzrostu jest funkcją wielomianową [1,2,5]. Przyrost liczby komórek jest najszybszy w przypadku, gdy w każdej fazie rozwoju każda z komórek struktury wykonuje elementarną operację, której wynikiem są dwie komórki (operacje generacji: L i R oraz bifurkacji: B i C). W tym skrajnym przypadku funkcja wzrostu (określająca liczbę komórek struktury) jest wykładnicza i wynosi: $V(k) = 2^k$, gdzie k oznacza numer fazy rozwoju systemu ewolucyjnego. Innymi słowy: minimalny czas rozwoju struktury z postaci początkowej (pojedyncza komórka) do postaci oczekiwanej w omawianym skrajnym przypadku wynosi: $k = \log_2 V(k)$.

Tak więc, dla wszystkich przypadków systemów ewolucyjnych minimalną wartość czasu osiągnięcia postaci oczekiwanej określa zależność:

$$k = \lceil \log_2 V(k) \rceil \tag{1}$$

Na podstawie wielu obserwacji rozwoju różnych struktur systemów ewolucyjnych można stwierdzić, że dla danej struktury można wyznaczyć minimalne słowo genetyczne na kilka sposobów, w znacznej jednak mierze zależnych od kształtu badanej struktury. Spośród przeanalizowanych metod została wybrana jedna, najbardziej uniwersalna, a bazująca wyłącznie na operacjach elementarnych bifurkacji (B i C) oraz stagnacji (S). Słowo genetyczne zostaje wyznaczone na podstawie znajomości struktury systemu ewolucyjnego według określonych zasad, zawartych w poniższym algorytmie.

ALGORYTM

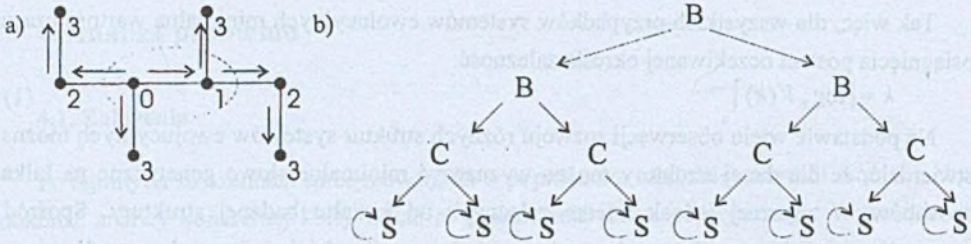
a) W oczekiwanej strukturze systemu ewolucyjnego wyznaczamy taki węzeł, dla którego ścieżka prowadząca do najbardziej odległego węzła jest najkrótsza [6]. W przypadku gdy węzłów o takich własnościach będzie więcej, to wybieramy spośród nich jeden dowolny. Komórka reprezentowana przez ten węzeł zostaje wyznaczona jako stan początkowy struktury i będzie wykonywać w pierwszym etapie rozwoju operację bifurkacji B.

b) Węzeł początkowy rozgranicza całą strukturę na dwie lub trzy części (w zależności od liczby dochodzących do niego krawędzi). Operacja B powinna wygenerować drugą komórkę w tej części, w której położony jest najbardziej odległy węzeł.

c) Po pierwszym etapie rozwoju na skutek bifurkacji otrzymamy dwie komórki. Przyjmiemy, że wyznaczają one główny kierunek rozwoju systemu. Od tego momentu każda z komórek po rozdzieleniu się wykonuje operację B lub C. Nowo powstające komórki muszą być generowane w kierunku tej części struktury, w której położone są najbardziej odległe węzły.

d) W przypadku gdy wszystkie węzły sąsiadujące z węzłem bieżącym były już odwiedzone, to przyjmujemy, że komórka przez ten węzeł reprezentowana wykonuje elementarną operację stagnacji S.

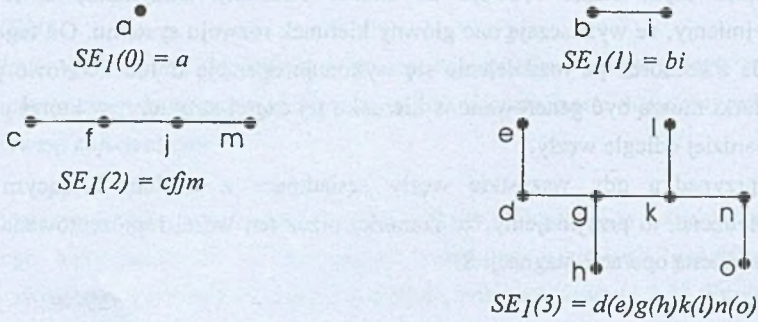
Zademonstrujmy działanie powyższego algorytmu na przykładzie. Mamy daną strukturę jak na rys.5a. Poszukujemy węzła grafu skierowanego o minimalnej głębokości. Przechodząc wszystkie węzły struktury, znajdujemy dwa węzły (na rys.5a są one zaznaczone obrysem), dla których głębokość jest równa 3. Dla pozostałych węzłów głębokości te wynoszą 4 lub 5.



Rys. 5. Systemu ewolucyjny: a) postać oczekiwana struktury, b) struktura minimalnego słowa genetycznego

Fig. 5. The evolutive system: a) expected form of the structure, b) structure of the minimal genetic word

Z dwóch znalezionych węzłów wybieramy ten położony po lewej stronie i oznaczamy go jako węzeł początkowy struktury, dodając mu etykietę „0". Następnie wyznaczamy głębokości podstruktur przyłączonych do węzła początkowego. Patrząc od lewej, wynoszą one: 1, 0 i 2. Wybieramy podstrukturę o głębokości 2 i generujemy jej korzeń, nadając mu etykietę „1". W kolejnych etapach postępujemy podobnie dla każdego węzła, któremu odpowiada już utworzona komórka. Na rys. 5a ponumerowano węzły zgodnie z numerami etapów, w których te węzły będą tworzone. Kolejności takiej odpowiada słowo genetyczne o strukturze przedstawionej na rys. 5b. System rozwijający się zgodnie z tym słowem na poszczególnych etapach rozwoju przyjmuje postać jak na rys. 6.



Rys. 6. Rozwój systemu SE_1

Fig. 6. Development of the system SE_1

Jak widzimy na rys. 6, przykładowy system osiąga oczekiwany kształt już po trzech etapach. Tak jak można zauważyć, na trzecim etapie rozwoju każda z komórek jest innego typu. Wynika to z faktu, że każda z nich wykonuje inną operację stagnacji. Również na wszystkich etapach poprzedzających ten etap, w którym struktura osiąga postać oczekiwaną,

można zauważyć, że każda komórka wykonuje inną operację. Tak więc liczba operacji w słowie genetycznym jest równa sumie wszystkich komórek systemu we wszystkich etapach rozwoju, przez które system przechodził dążąc do postaci oczekiwanej.

$$MG = \sum_{i=1}^{m} A_m, \quad gdzie \quad m = \sum_{i=0}^{k} V(k) \tag{2}$$

W przypadku systemu SE_1 mamy (zgodnie z zasadą przeszukiwania struktury słowa genetycznego metodą „w głąb"):

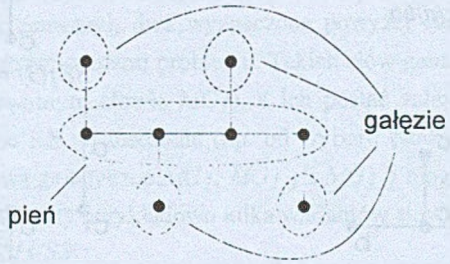
$MG_{1,1}$=*BBCSSCSSBCSSCSS*, gdzie $m=1+2+4+8=15$

Otrzymane słowo genetyczne doprowadza podany system ewolucyjny z postaci początkowej do postaci oczekiwanej w ciągu trzech etapów rozwoju. Możemy je nazwać minimalnym słowem genetycznym systemu SE_1, ponieważ spełniony jest warunek (1):

$$3 = \lceil \log_2 V(3) \rceil$$

4.3. Wyznaczanie słowa genetycznego o najmniejszej długości

W poszukiwaniu najkrótszego słowa genetycznego (niekoniecznie będącego słowem minimalnym) posłużmy się analizą geometrycznych własności struktury systemu ewolucyjnego [4]. Zauważmy, że przy założeniu mówiącym o poszukiwaniu słowa genetycznego nie posiadającego pętli sprzężenia zwrotnego, komórki struktury systemu ewolucyjnego znajdujące się w jego podstrukturach będących różnego typu, same muszą różnić się typami. Przeanalizujmy znajdującą się na rys.7 postać oczekiwaną systemu ewolucyjnego.

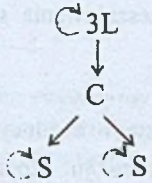


Rys. 7. Postać oczekiwana systemu SE_1
Fig. 7. Expected form of the system SE_1

Jak widzimy, struktura ta jest zbudowana z pnia oraz z kilku gałęzi tego samego typu. Mamy więc do czynienia z dwoma rodzajami podstruktur (pień i gałąź). Zatem struktura drzewiasta słowa genetycznego musi posiadać minimum dwa liście, aby móc generować dwa minimum typy komórek, z których każdy tworzy inną podstrukturę. Pień struktury zbudowany jest z czterech jednakowych komórek (zakładaliśmy tak w rozdziale 4.1), a

najkrótsza generująca je sekwencja to 3L. Po dołożeniu sekwencji, tworzącej w strukturze gałęzie o długości równej 1, otrzymujemy słowo genetyczne: $MG_{1,2}$=*3LCSS*, o strukturze i relacjach jak na rys. 8.

a)



b)

$L(a) = ba$

$C(b) = c(d)$

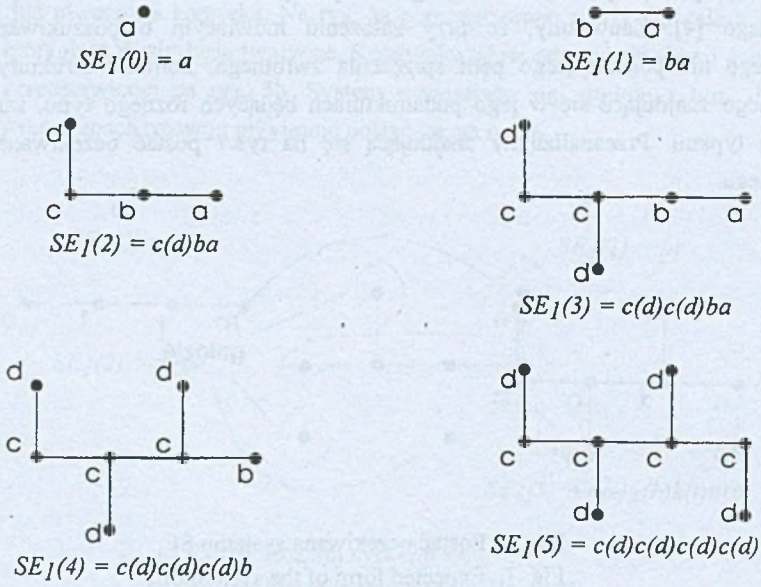
$S(c) = c$

$S(d) = d$

Rys. 8. Słowo genetyczne $MG_{1,2}$: a) struktura, b) relacje

Fig. 8. The genetic word $MG_{1,2}$: a) structure, b) relations

Słowo to jest wśród prowadzących rozwój od postaci embrionalnej do postaci oczekiwanej, słowem genetycznym o najmniejszej długości. Drogę rozwoju struktury systemu ewolucyjnego wykorzystującego to słowo przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Rozwój systemu SE_1

Fig. 9. Development of the system SE_1

Postać oczekiwana systemu ewolucyjnego $SE_1 = \dfrac{3LCSS}{a, b, c, d}$ zostaje osiągnięta na piątym etapie rozwoju.

Uogólniając omawiany sposób tworzenia słowa genetycznego, możemy zapisać, że jest ono zbudowane z sekwencji operacji elementarnych. Każda sekwencja opisuje sposób rozwoju pewnej części struktury systemu rozwijającego się. Dla struktury zbudowanej z pnia i N-typów gałęzi możemy zapisać:

$MG = SEQ_P SEQ_1 SEQ_2 ... SEQ_i ... SEQ_{N-1} SEQ_N$

gdzie: SEQ_P – sekwencja zbudowana z operacji generujących pień struktury,

SEQ_i – sekwencja zbudowana z operacji generujących gałąź typu i.

4.4. Wzorce genetyczne

Nasze rozważania nad różnymi postaciami słów genetycznych prowadzą do spostrzeżenia, że pewien ciąg operacji elementarnych może powtarzać się w niektórych ze słów genetycznych generujących postać struktury systemu ewolucyjnego podobną do postaci oczekiwanej. Nazwijmy ten ciąg wzorcem genetycznym i zdefiniujmy go:

DEFINICJA

4.2. ***Wzorcem genetycznym** nazwiemy ciąg operacji elementarnych, który po uzupełnieniu określonymi wartościami argumentów lokalnych systemów operacyjnych może stanowić integralną część słów genetycznych pozwalających na rozwój systemu od postaci embrionalnej do postaci oczekiwanej.*

W rozdziałach 4.2 i 4.3 pokazano, że droga od stanu początkowego systemu ewolucyjnego do jego postaci oczekiwanej może być opisana różnymi słowami genetycznymi i jak zapewne czytelnik zauważył, dwa wyznaczone powyżej słowa genetyczne $MG_{1,1}$ i $MG_{1,2}$ nie są jedynymi rozwiązaniami problemu. Takich słów genetycznych może być wiele (nie zapominając o pierwotnym słowie MG_1), a ich postać zależy od przyjętych założeń (rozdział 3) oraz sposobu ich wyznaczania (np. od wyboru punktu początkowego rozwoju systemu). Znane już słowa genetyczne MG_1, $MG_{1,1}$ i $MG_{1,2}$ mogą również występować w wielu wariantach. Przedstawmy przykładowo kilka wariantów słowa MG_1:

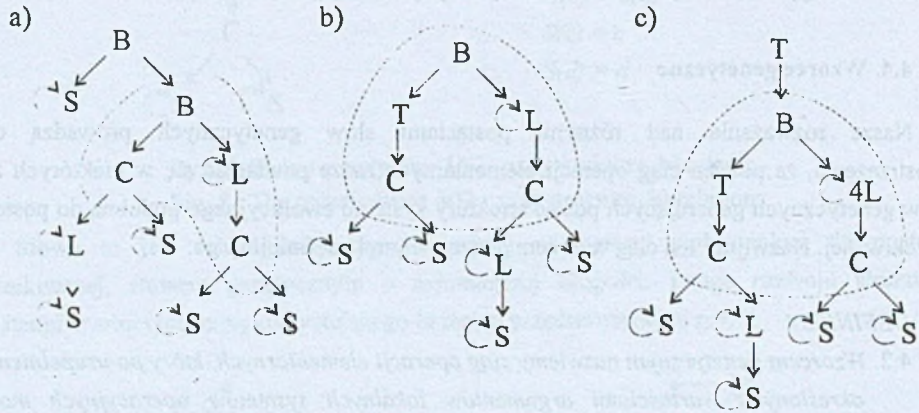
a) $MG_1^{I} = BSBCLSSLCSS$

b) $MG_1^{II} = BTCSSLCLSS$

c) $MG_1^{III} = TBTCSLS4LCSS$

Powyższym liniowym zapisom słów genetycznych odpowiadają struktury drzewiaste, takie jak na rys. 10. Na rysunku tym obrysem zaznaczono powtarzające się (należące do wzorca genetycznego) aktywne (zmieniające jakościowo bądź ilościowo skład struktury) operacje elementarne. Zwróćmy uwagę na występowanie operacji T (transformacja) w zakreślonych obszarach. Operację tę pomijaliśmy w naszych rozważaniach, ponieważ

pomimo faktu, iż jest ona operacją aktywną, to nie wprowadza ona zmian ilościowych w strukturze. Z punktu widzenia szybkości rozwoju struktury, operacja transformacji wprowadza tylko opóźnienie. Tak więc operacja transformacji może występować we wzorcu genetycznym praktycznie na każdej pozycji, nie wnosząc do niego żadnych istotnych zmian. Z tego powodu przyjęto, że operacje T występujące we wzorcu genetycznym będziemy pomijać.



Rys. 10. Struktury słów genetycznych: a) MG_1^I, b) MG_1^{II}, c) MG_1^{III}
Fig. 10. Genetic words' structures: a) MG_1^I, b) MG_1^{II}, c) MG_1^{III}

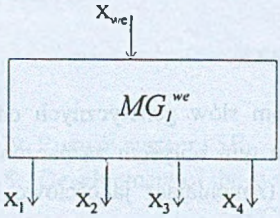
Zgodnie z tym założeniem, na podstawie przeanalizowanych wariantów słowa MG_1, możemy zdefiniować wzorzec genetyczny jako:

$$MG_1^{wz} = x_{we} BCx_1x_2LCx_3x_4, \tag{3}$$

gdzie: x_{we} – sekwencja operacji elementarnych poprzedzających wzorzec w słowie genetycznym (sekwencja ta może być pusta),

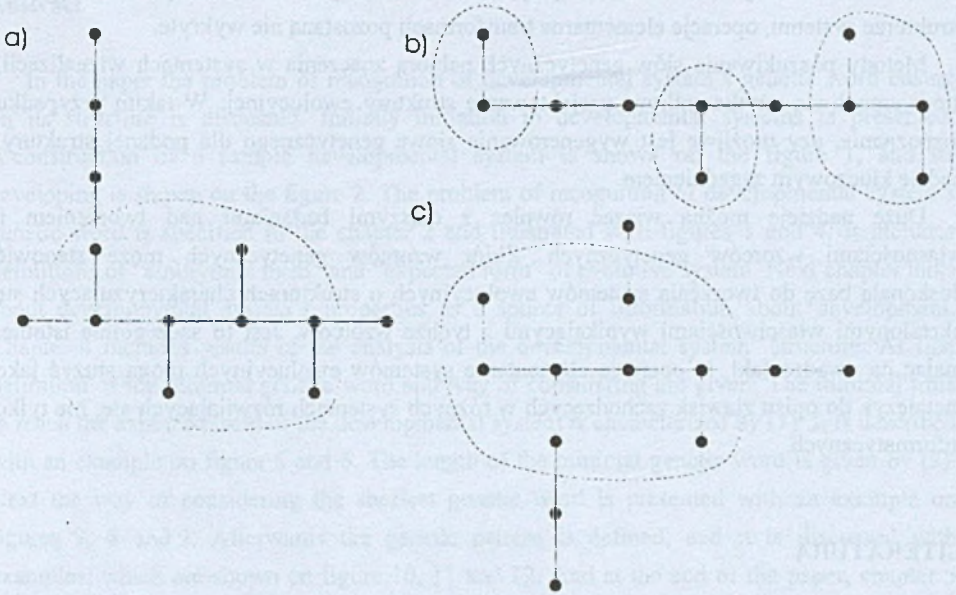
x_1, x_2, x_3, x_4 – sekwencje operacji elementarnych następujących po wzorcu w słowie genetycznym (sekwencja ta musi składać się z co najmniej jednej operacji).

Symbolicznie wzorzec MG_1^{wz} odpowiada temu wyrażeniu schemat przedstawiony na rys. 11.



Rys. 11. Symboliczne przedstawienie wzorca genetycznego
Fig. 11. Symbolic view of genetic pattern

Systemy ewolucyjne bazujące na słowach genetycznych: MG_1^I, MG_1^{II} i MG_1^{III} rozwijają się od postaci początkowej, przyjmując na pewnych etapach takie postacie struktury, jak pokazano na rys. 12.



Rys. 12. Struktury systemów ewolucyjnych definiowanych słowami genetycznymi: a) MG_1^I, b) MG_1^{II}, c) MG_1^{III}

Fig. 12. Structures of evolutive systems which are defined by genetic words: a) MG_1^I, b) MG_1^{II}, c) MG_1^{III}

Na rysunku zakreślono komórki struktury wchodzące w skład postaci oczekiwanej systemu ewolucyjnego. Jak można zauważyć, komórki te występują w każdej strukturze wygenerowanej za pomocą wariantu słowa genetycznego MG_1, choć nie zawsze tworzą one spójną podstrukturę całości.

5. Uwagi końcowe

Wykonane badania prowadzą do spostrzeżenia, że im mniej dodatkowych danych o strukturze, tym łatwiej znaleźć słowo genetyczne. Z drugiej jednak strony, im więcej danych mamy o systemie ewolucyjnym, tym dokładniej możemy wyznaczyć rzeczywiste słowo genetyczne, jeśli takie posłużyło do otrzymania postaci oczekiwanej. Na wielkość zbioru

rozwiązań naszego problemu wpływa również założenie, mówiące o istnieniu lokalnego systemu operacyjnego. Nie jesteśmy wtedy w stanie dokładnie określić poszukiwanej postaci słowa genetycznego. Podczas analizy różnych słów genetycznych pozwalających na otrzymanie postaci oczekiwanej (lub postaci do niej zbliżonej) systemu ewolucyjnego z postaci embrionalnej zauważono, że przy braku informacji o zmianach jakościowych w strukturze systemu, operacje elementarne transformacji pozostaną nie wykryte.

Metody poszukiwania słów genetycznych nabiorą znaczenia w systemach wizualizacji, które umożliwią użytkownikowi projektowanie struktury ewolucyjnej. W takim przypadku rozpoznanie, czy możliwe jest wygenerowanie słowa genetycznego dla podanej struktury, będzie kluczowym zagadnieniem.

Duże nadzieje można wiązać również z dalszymi badaniami nad tworzeniem i własnościami wzorców genetycznych. Zbiór wzorców genetycznych może stanowić doskonałą bazę do tworzenia systemów ewolucyjnych o strukturach charakteryzujących się określonymi właściwościami wynikającymi z tychże wzorców. Jest to szczególnie istotne, mając na uwadze fakt, iż operacje elementarne systemów ewolucyjnych mogą służyć jako metajęzyk do opisu zjawisk zachodzących w różnych systemach rozwijających się, nie tylko informatycznych.

LITERATURA

1. Węgrzyn S., Gille J.-C., Vidal P.: Developmental Systems. Springer-Verlag, Berlin 1990.
2. Węgrzyn S., Gille J.-C., Vidal P.: Genetyka procesów rozwoju. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Informatyka, z. 19, Gliwice 1992.
3. Węgrzyn S.: Embryonic organisation of developmental processes and algorithms structures. Gliwice 1999.
4. Dobosz K.: Własności struktury systemu ewolucyjnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Informatyka, z.38, Gliwice 2000, s. 207 - 224.
5. Dobosz K.: Zastosowanie metod wykreślania drzew binarnych do prezentacji struktury systemu ewolucyjnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Informatyka, z.38, Gliwice 2000, s. 25 - 48.
6. Reingold E. M., Nievergelt J., Deo N.: Algorytmy kombinatoryczne. PWN, Warszawa 1985.
7. Dobosz K.: Wizualizacja grafowych struktur danych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Informatyka, z.37, Gliwice 1999, s. 105 - 119.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Mieczysław Kłopotek

Wpłynęło do Redakcji 5 lutego 2001 r.

Abstract

In the paper the problem of recognition of developmental system's genetic word basing on its structure is discussed. Initially initiation in developmental systems is presented. A construction of a sample developmental system is shown on the figure 1, and its developing is shown on the figure 2. The problem of recognition of developmental system's genetic word is specified in the chapter 2 and illustrated with figures 3 and 4. It includes definitions of "embryonic form" and "expected form" of evolutive system. Next chapter talks about developmental system's properties as a source of information about development. Chapter 4 includes results of the analysis of the developmental system' structure. At first definition of the minimal genetic word and way of considering are given. The minimal time to reach the expected form of the developmental system is characterised by (1). It is described with an example on figure 5 and 6. The length of the minimal genetic word is given by (2). Next the way of considering the shortest genetic word is presented with an example on figures 7, 8 and 9. Afterwards the genetic pattern is defined, and it is discussed with examples, which are shown on figure 10, 11 and 12. And at the end of the paper, chapter 5 contains conclusions.