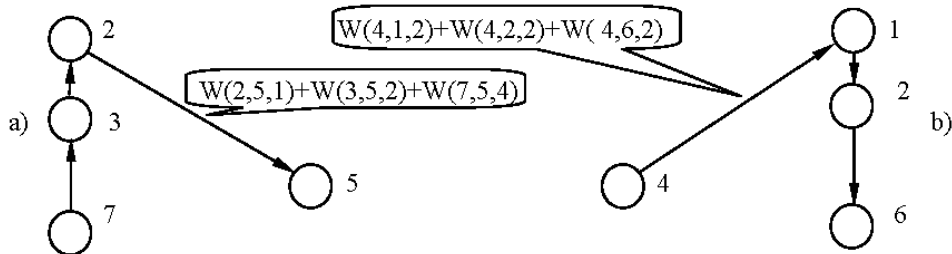


przykład: czy bardziej opłaca się przewieźć jeden towar do kilku odbiorców (rys. 1b) czy kilka towarów do jednego odbiorcy (rys. 1a).



Rys. 1

Na rysunku 1a zbierając towary o kodach 1, 2 i 4 u dostawców oznaczonych odpowiednio 2, 3 i 7 dowozimy je do odbiorcy 5. Na rysunku 1b towar o kodzie 2 dostarczamy do odbiorców 1, 2, 6 od dostawcy o kodzie 4. Koszty transportu można ocenić następująco:

$$c(2,5,1)*W(2,5,1)+c(3,2,2)+c(2,5,2))*W(3,5,2)+(c(7,3,4)+c(3,2,4)+c(2,5,4))*W(7,5,4)=>z1$$

$$c(4,1,2)*W(4,1,2)+(c(4,1,2)+c(1,2,2))*W(4,2,2)+(c(4,1,2)+c(1,2,2)+c(2,6,2))*W(2,6,2)=>z2$$

Zasada podejmowania decyzji oparta na wyborze minimalnego kosztu przewozu jako priorytetowego etapu działania polega, dla powyższego przykładu, na sprawdzeniu czy $z1 < z2$. Jeżeli warunek jest spełniony, to podejmowana jest decyzja o przewozie ilustrowanym przez rysunek 1a, w przeciwnym wypadku decydujemy się na rozwiązanie z rysunku 1b. Po realizacji aktualnego etapu przewozu sytuacja dotycząca zamówień oraz wielkości towaru, którym dysponuje producent, ulega zmianie. Stąd też po wykonaniu odpowiednich korekt przeprowadzamy ponownie analizę powstałej sytuacji.

1. Struktura danych i dynamika ich zmian

Dla każdego towaru możemy określić zbiór producentów i odbiorców, a także wielkość produkcji i zamówień (rys. 2).

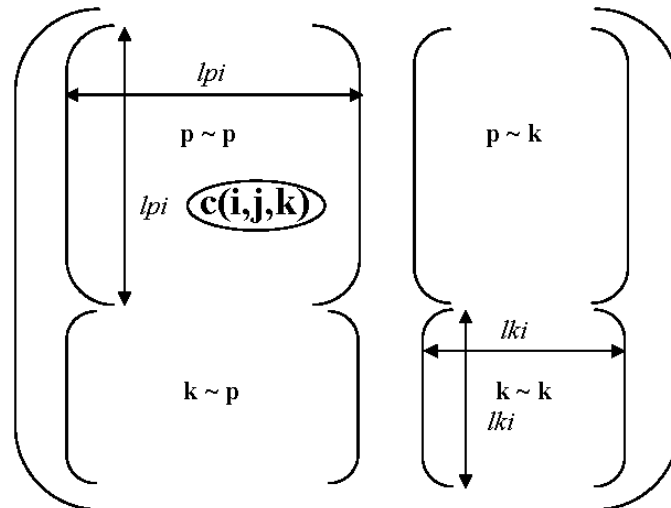
Aby ustalić rozmiary tablicy jednostkowych kosztów przewozu $c(i,j,k)$, czyli zakresu zmian parametrów i oraz j , trzeba dodać wielkości l_{pi} i l_{ki} .

W macierzy przedstawionej na rysunku 3 pole $p \sim p$ przeznaczony jest dla transportu między producentami w sytuacji, kiedy na przykład pojemność taboru pozwala na zabranie kilku rodzajów towarów wyprodukowanych w różnych miejscach. W polu $p \sim k$ (klasyczny wariant) zawarte są jednostkowe koszty przewo-

zów bezpośrednio od dostawcy do odbiorcy. W kwadracie $k \sim k$, podróżując między odbiorcami, pozostawiamy zamówiony towar. Ostatnie pole $k \sim p$, z reguły niewykorzystywane, można wypełnić na przykład jednostkowymi kosztami zwrotu towaru.

$p(1,i)$	$p(2,i)$	$p(3,i)$									$p(l_{pi,i})$
$k(1,i)$	$k(2,i)$	$k(3,i)$									$k(l_{ki,i})$
$a(1,i)$	$a(2,i)$	$a(3,i)$									$a(l_{pi,i})$
$b(1,i)$	$b(2,i)$	$b(3,i)$									$b(l_{ki,i})$

Rys. 2. Wektory miejsc nadania (p) i odbioru (k) towarów „i” oraz wektory wielkości produkcji (a) i zamówień (b)

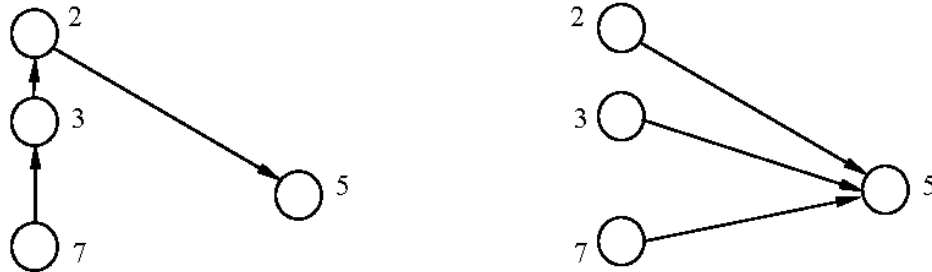


Rys. 3. Macierz kosztów jednostkowych przewozu towaru o kodzie k

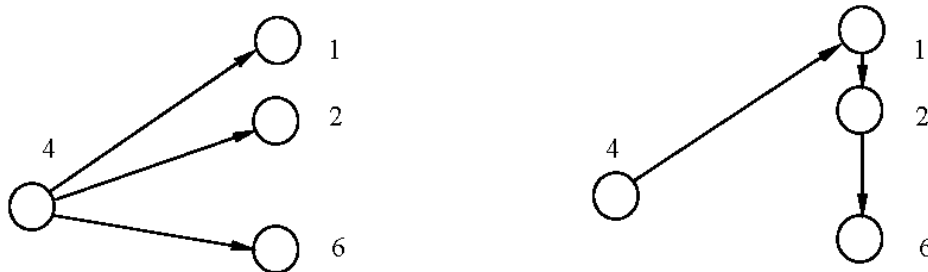
Podjęcie decyzji o przemieszczaniu się po polu $p \sim p$ (pomiędzy dostawcami) wymaga przeprowadzenia analizy, czy pobranie towarów od kilku dostawców i dostarczenie ich do jednego lub kilku odbiorców jest bardziej opłacalne niż transport niezależny (bezpośrednia dostawa). Algorytm takiej analizy winien zawierać następujące etapy:

- sprawdzenie, czy aktualna pojemność taboru jest większa bądź równa którymkolwiek aktualnym wielkościom zamówień,
- sprawdzenie, czy korzystniejsze jest pobranie nowego towaru u innego producenta czy niezależne dostarczenie poszczególnych partii towarów (rys. 4),
- sprawdzenie, czy korzystniejsze jest dostarczenie towarów do kilku odbiorców w jednym objazdowym przewozie czy w dostawach niezależnych (rys. 5),

- integracja rezultatów drugiego oraz trzeciego etapu i podjęcie finalnej decyzji o trasie przewozu i strukturze załadunku.



Rys. 4. Przedmiot analizy efektywności objazdu producentów: Struktura zamówień: $W(7,5,7)$, $W(3,5,3)$, $W(2,5,2)$; Sprawdzenie warunku opłacalności (dla jednego z możliwych wariantów):
 $(c(7,3,7)+c(3,2,7)+c(2,5,7))*W(7,5,7)+(c(3,2,3)+c(2,5,3))*W(3,5,3)+c(2,5,2)*W(2,5,2) <$
 $c(7,5,7)*W(7,5,7)+c(3,5,3)W(3,5,3)+c(2,5,2)*W(2,5,2)$



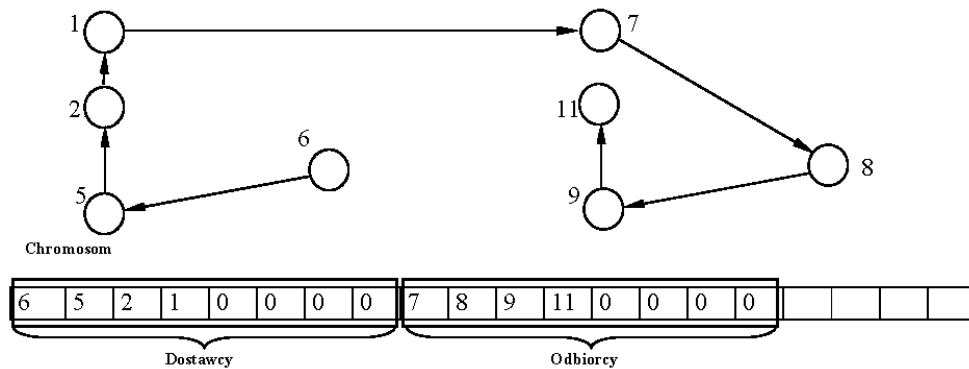
Rys. 5. Przedmiot analizy efektywności objazdu odbiorców: Struktura zamówień: $W(4,1,4)$, $W(4,2,4)$, $W(4,6,4)$; Sprawdzenie warunku opłacalności (dla jednego z możliwych wariantów):
 $c(4,1,4)*W(4,1,4)+c(4,2,4)*W(4,2,4)+c(4,6,4)*W(4,6,4) >$
 $c(4,1,4)*(W(4,1,4)+W(4,2,4)+W(4,6,4))+c(1,2,4)*(W(4,2,4)+W(4,6,4))+c(2,6,4)*W(4,6,4)$

Po każdorazowym przewozie redukujemy tablice zamówień i zasobów. Ich rozmiary redukowane są w sposób w przybliżeniu liniowy w funkcji liczby dostaw przy założeniu, że wielkości produkcji i zamówień są tego samego rzędu.

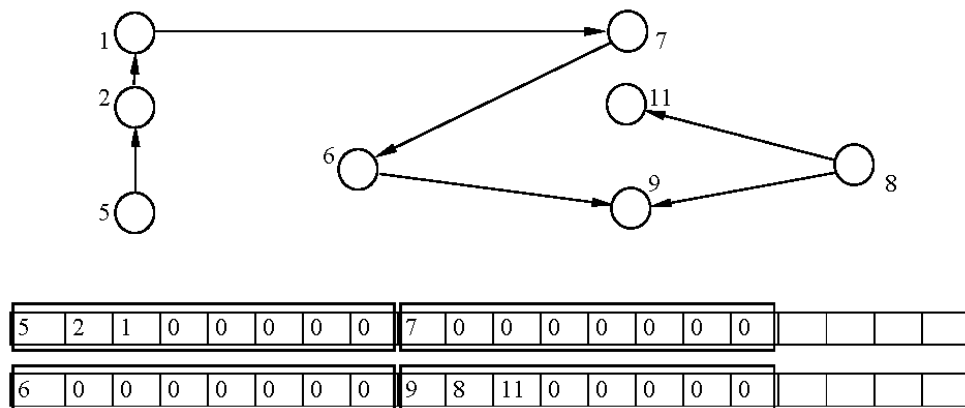
2. Genetyczny zapis dostaw

Dostawcy i odbiorcy w proponowanym zapisie są od siebie oddzieleni. Również w opisie realizacji dostaw rozdzielone to ma miejsce, tzn. najpierw zestawione są kolejne miejsca, skąd towar jest zabierany, a następnie kolejno zapisujemy miejsca, do których towar jest dostarczany. Przykład taki ilustruje rysunek 6.

Jeżeli podczas przewozu nastąpi wymieszanie miejsc dostawców i odbiorców, to każdorazowy powrót do dostawców oznacza, w proponowanym zapisie, rozpoczęcie nowego przewozu (rys. 7).



Rys. 6. Genetyczny zapis pojedynczej dostawy



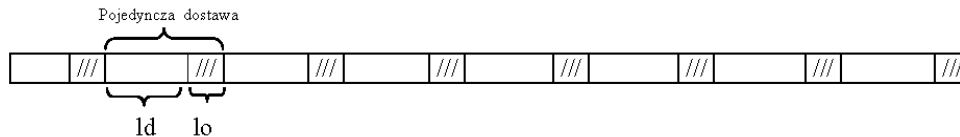
Rys. 7. Genetyczny zapis podwójnej dostawy

Dostawy są realizowane w ustalonej kolejności i po każdej z nich następuje korekta bazy danych dotyczącej aktualnych zasobów i zamówień. Przed każdą nową dostawą należy przeprowadzić procedurę wyboru trasy dostawy w oparciu o nową postać skorygowanej bazy. Aby sprostać wymogom automatyzacji i ciągłości realizacji całego zadania transportowego, należy zunifikować powtarzającą się procedurę polegającą na przygotowaniu bazy zasobów i zamówień, dokonaniu wyboru trasy dostawy oraz określeniu wartości funkcji celu (funkcji przystosowania; w wariacie genetycznym), którą jest koszt samej dostawy. Procedura winna zawierać także etap systematycznego „wylawiania” najlepszego rozwiązania.

Chromosom opisujący zadanie transportowe w proponowanym wariacie zawierać będzie opis wszystkich dostaw [1, 2]. Przykładowa struktura takiego chromosomu przedstawiona jest na rysunku 8.

Trasa każdej dostawy opisana jest fragmentem chromosomu długości $l_s = l_d + l_o$. Ilość dostaw tworzących całość zadania transportowego zależy głównie

od sumy wszystkich zamówień (SR) oraz od wielkości taboru dostawczego (ST). Minimalna ilość dostaw będzie miała miejsce przy każdorazowo pełnym wykorzystaniu taboru i będzie równa $id = \text{TRUNC}(SR/ST + 0.5)$. Oznaczając współczynnik załadowania przez kt, a jego średnią wartość przez kts, możemy oszacować faktyczną ilość dostaw fid na poziomie id/kts .



Rys. 8. Struktura chromosomu opisującego zadanie transportowe, ld - długość opisu trasy objazdu dostawców, lo - długość opisu trasy objazdu odbiorców

Długość ld odpowiada liczbie dostawców wszystkich towarów, a długość lo jest równa liczbie wszystkich odbiorców. Długość chromosomu lch wyniesie $fid * ls$.

3. Tworzenie populacji bazowej

Aby utworzyć populację bazową, posłużymy się generatorami liczb losowych dla następujących zadań:

- generowanie początku i końca dostawy zgodnie z rozkładem jednostkowych kosztów przewozu (najmniejsze koszty przewozu jednego z towarów na konkretnej trasie to największe prawdopodobieństwo wyboru tej trasy),
- generowanie z zadanym rozkładem długości trasy kumulowania dostawy (odwiedzamy kolejnych producentów),
- generowanie pozostałych elementów trasy „dostawczej” z rozkładem jednostkowych kosztów przewozu,
- generowanie pozostałych odbiorców zgodnie z rozkładem minimalnych kosztów jednostkowych lub maksymalnego zaspokojenia zamówień.

Aby wybrać początkową trasę (początek i koniec dostawy), generujemy losową wartość ξ z przedziału $[0,1)$, następnie losowo generujemy dostawcę nd i odbiorcę no. Jeżeli dostawca jest producentem kilku towarów, należy wylosować jeden z nich, kod którego oznaczymy przez nt. O przyjęciu do populacji wartości nd i no zdecydować sprawdzić warunku

$$\xi \geq c(nd, no, nt) / \max c(i, j, k) \quad (2)$$

$$1 \leq i \leq ld$$

$$1 \leq j \leq lo$$

$$1 \leq k \leq ltd$$

gdzie ltd - liczba towarów produkowanych przez wszystkich producentów.

Jeżeli warunek jest spełniony, to początkowa trasa jest wyznaczona przez dostawcę ld i odbiorcę lo, a dostarczany towar posiada kod nt.

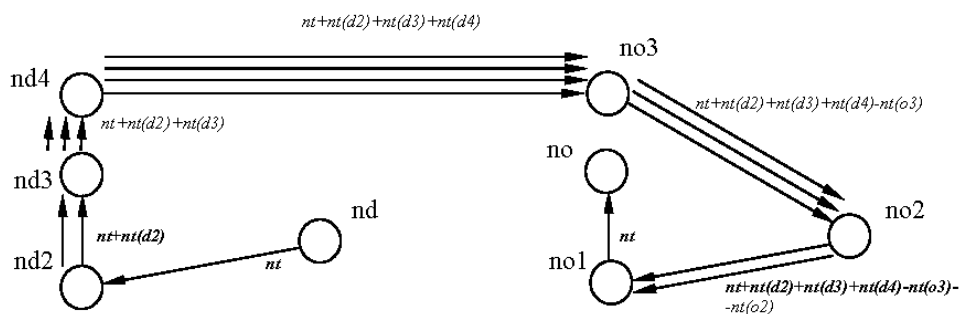
Kolejny etap to określenie długości i sekwencji objazdu dostawców. W tym celu generujemy wartość losową ξ z przedziału $[0, c(nd, no, nt))$ i sprawdzamy kolejny warunek

$$\xi \geq c(nd, j, k), 1 \leq j \leq ld; j \neq nd, k = nt \dots \quad (3)$$

Liczba sytuacji, dla których spełniony jest warunek (3), wyznacza długość trasy objazdu dostawców lt . Kolejne kody dostawców, które spełniają warunek (3) (dla $nt \leq k \leq nt(lt-1)$, gdzie $nt(lt-1)$ - kod towaru zabieranego od dostawcy odwiedzanego jako przedostatni, a oznaczenie „ \leq ”, wskazuje na zabieranie towarów od kolejno odwiedzanych producentów), stanowią węzły objazdu dostawców. Jednakowoż będą one uporządkowane w kolejności rosnących kosztów. I tak kolejno:

- pierwszym wybranym dostawcą jest dostawca oznaczony kodem nd ,
- drugim będzie dostawca $nd2$, spełniający warunek $nd2 = j, \min c(nd, j, nt)$ dla $1 \leq j \leq ld, j \neq nd$,
- trzecim będzie dostawca $nd3$, spełniający warunek $nd3 = j, \min (c(nd2, j, nt) + c(nd2, j, nt(d2)))$,
- $j \neq nd, j \neq nd2$,
- i -tym dostawcą ndi będzie ten, który spełnia warunek $ndi = j, \min (c(nd(i-1), j, nt) + c(nd(i-1), j, nt(nt(d2))) + \dots + c(nd(i-1), j, nt(d(i-1))))$, $j \neq nd, j \neq nd2, \dots, j \neq nd(i-1)$.

Opisaną sytuację przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Przebieg realizacji dostawy (kursywą - kody dostarczanych oraz odbieranych towarów)

Zakładając, że kolejność rozładowania nie zależy od kolejności załadunku, to trasę objazdu odbiorców można określić za pomocą następującego algorytmu:

- wybieramy minimalny jednostkowy koszt przewozu $c(nd(lt), j, nt(j))$, gdzie j jest kodem odbiorcy zamawiającego jeden spośród lt dostarczanych towarów,
- po dokonaniu rozładunku u odbiorcy o kodzie j powtarzamy poprzednią procedurę z poprzedniego punktu.

Po zrealizowaniu całej dostawy korygujemy macierz zamówień i powtarzamy wszystkie procedury, poczynając od warunku (2). Robimy to tak długo, aż wszyst-

Wnioski

1. Oryginalną koncepcją wydaje się wzbogacenie populacji bazowej o informację porządkującą przebieg zadania transportowego. Jest to w istocie rzeczy połączenie stosowanej praktyki algorytmicznej z metodykami genetycznymi. Jest to zarazem efektywne przygotowanie, wspierające i przyspieszające dalsze poszukiwania optimum.
2. Trudno zakładać, że otrzymane w rozsądnym (i z góry założonym) czasie rozwiązanie jest ostateczne i w pełni optymalne; jest ono jednak na tyle zbliżone do optymalnego, że wykorzystanie go jako pomocy w podejmowaniu decyzji organizacyjnych może dać zdecydowane i wymierne korzyści materialne.
3. Genetyczne opisy tras odwiedzania dostawców i odbiorców jest korzystnym (z punktu widzenia minimalizacji kosztów) uzupełnieniem stosowanych rozwiązań zadań transportowych, gdzie mamy do czynienia z bezpośrednim połączeniem pomiędzy pojedynczymi dostawcami i odbiorcami.
4. Prostota proponowanej operacji genetycznego przepłotu stanowi o sensie i celowości zastosowania metody do wyszukiwania optymalnego wariantu dostarczenia towarów zgodnie ze złożonymi zamówieniami.
5. Przepłot zastosowany na trasie dostawców lub odbiorców nie wpływał na konieczność zmian w innych częściach chromosomu, ponieważ rodzaj i ilość przewożonego i dostarczanego towaru nie ulega zmianie. Wynika to z faktu, iż odwiedzamy tych samych dostawców lub odbiorców, lecz w innej kolejności, co oczywiście wpływa na wartość funkcji przystosowania (kosztów dostawy).

Literatura

- [1] Arabas J., Wykłady z algorytmów ewolucyjnych, WNT, Warszawa 2001.
- [2] Cytowski J., Algorytmy genetyczne. Podstawy i zastosowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1996.
- [3] Goldberg D., Algorytmy genetyczne, WNT, Warszawa 1995.
- [4] Sysło M., Deo N., Kowalik J., Algorytmy optymalizacji dyskretnej, WN PWN, Warszawa 1995.
- [5] Rutkowska D., Inteligentne systemy obliczeniowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1998.