ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2011
Seria : ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE z. 57 Nr. kol.1847

Franciszek MARECKI
Wyższa Szkoła Biznesu
Dąbrowa Górnicza

LOGISTYKA DYSTRYBUCJI I TRANSPORTU

Streszczenie. W artykule przedstawiono problem optymalizacji logistyki dystrybucji i transportu. Z teoretycznego punktu widzenia jest to połączenie dwóch problemów NP. zupełnych (komiwojażera i pakowania) w sensie złożoności obliczeniowej. Z tego względu do rozwiązania sformułowanych problemów zaproponowano metodę programowania wieloetapowego oraz heurystyczne algorytmy decyzyjne. Dla prezentacji optymalizacji logistycznej w artykule przedstawiono przykłady zastosowania metody programowania wieloetapowego.

DISTRIBUTION AND TRANSPORT LOGISTICS

Summary. In the paper problems of distribution and transport logistics are presented. From theoretical point of view the NP complete problems of packing and travelling salesman and has been implemented. An article contains also discussion of multi-stage programming method application to solving problems of distribution and transport. In the paper the heuristic algorithms based on multi-stage programming method has been given.

1. Wstęp

Współczesna logistyka ma zasięg globalny dzięki Internetowi, telefonii komórkowej oraz systemom satelitarnym. Wywodzi się ona z wojskowości, w której sztaby armii planowały kampanie, czyli kompleksy operacji z ograniczeniami logicznymi, czasowymi oraz przestrzennymi [8, 9, 10]. Logistyka jest dziedziną informatyczną bazującą na badaniach operacyjnych [3, 15, 16]. Do gromadzenia danych oraz podejmowania decyzji wykorzystywane są Internet, telefonia komórkowa oraz systemy satelitarne (GPS, telewizja satelitarna, mapy Globu itp.). W praktyce gospodarczej logistyka jest powszechnie kojarzona z transportem i magazynowaniem [16].

Podstawowymi kryteriami optymalizacji zadań logistycznych są czas i koszt. Kryteria czasu dotyczą najczęściej synchronizacji kompleksów operacji. Kryteria kosztów mogą dotyczyć: wejścia do systemu (np. oczekiwania obiektów na obsługę), funkcjonowania systemu (np. przestojów maszyn) lub wyjścia z systemu (np. premii lub kar za terminowość obsługi obiektów) [9, 12].

Logistyka tradycyjnie zajmuje się rozkładami jazdy: pociągów i autobusów, rejsów samolotów oraz kursów promów i statków. W takich przypadkach Internet pozwala wybrać najlepszą trasę i połączenia w skali globalnej. Telefony komórkowe oraz GPS pozwalają nieustannie monitorować położenie środków transportu i osób (np. dla ich bezpieczeństwa). Na przykład satelitarne monitorowanie ruchu samochodów pozwala: rozliczać koszty przejazdu autostradami, informować o zatorach drogowych, ustalać składki ubezpieczeniowe itp.

Logistyka zajmuje się również innymi procesami, np. kompleksami operacji montażu samochodów, budową domów, autostrad itp. Są to skomplikowane procesy z ograniczeniami logicznymi, czasowymi i przestrzennymi [9, 12]. Za pomocą programów komputerowych wyznacza się optymalne terminy i koszty realizacji takich systemów.

Jest ona również stosowana w nowoczesnych zautomatyzowanych magazynach (wysokościowych, karuzelowych, liniowych itp.) przy podejmowaniu decyzji o załadunku, wyładunku oraz przeładunku kontenerów. Pozwala to minimalizować czasy oczekiwania samochodów (TIR-ów) na rozładunek lub załadunek. Przykładem zastosowania logistyki informatycznej jest zarządzanie obsługą statków w portach [4, 5, 6, 12]. Powinny być one transportowane (przez holowniki) z redy do nabrzeży rozładunkowych (z magazynami), po rozładunku mogą oczekiwać na załadunek w basenach portowych (parkingi), a po załadunku (z magazynów) są wyprowadzane na redę. Komputer wyznacza terminy i miejsca obsługi statków, telefony komórkowe pozwalają koordynować prace holowników, a GPS śledzi ruchy statków.

Tradycyjne zarządzanie logistyczne było oparte na praktycznej wiedzy osób podejmujących decyzje. Były one podejmowane na podstawie reguł heurystycznych, wynikających z doświadczenia dyspozytorów [8, 14]. Logistyka informatyczna pozwala wykorzystywać sztuczną inteligencję, tzn. wiedzę zapisaną w komputerowych bazach. Wiedzę tę można zgromadzić przez modelowanie systemów i symulację procesów zachodzących w tych systemach [1, 2]. Efektem badań symulacyjnych jest tablica decyzyjna. W tablicy tej wiersze odpowiadają stanom charakterystycznym systemu, a kolumny interpretują heurystyczne reguły decyzyjne. Elementy tablicy określają prawdopodobieństwo uzyskania najlepszego rezultatu przy zastosowaniu wybranej heurystyki w danym stanie charakterystycznym [11].

W artykule zostaną sformułowane problemy logistyki dystrybucji i transportu dla przypadków jednego lub wielu samochodów, jednego lub wielu asortymentów towarów oraz jednego lub wielu kursów. Problemy te zostaną rozwiązane metodą programowania wieloetapowego.

2. Modelowanie systemów logistycznych

Wiele problemów logistycznych można rozwiązać przez modelowanie za pomocą metody programowania wieloetapowego [9, 12]. Metoda ta polega na zdefiniowaniu:

- stanu procesu decyzyjnego,
- procedury generowania trajektorii stanów,
- wartości stanu,
- reguł eliminacji stanów nieperspektywicznych.

Stan procesu decyzyjnego jest definiowany w postaci wektora lub macierzy. Istotne znaczenie ma zdefiniowanie ich elementów.

Generowanie trajektorii stanów polega na wyznaczeniu elementów kolejnego stanu na podstawie danego stanu i podjętej decyzji. W praktyce decyzje podejmowane są za pomocą reguł heurystycznych. W ten sposób wyznaczane są rozwiązania efektywne, lecz bez gwarancji optymalności. Podejście takie jest uzasadnione stopniem skomplikowania problemu kombinatorycznego (są to tzw. problemy NP. w sensie złożoności obliczeniowej) i ograniczonym czasem wyznaczania rozwiązania.

Procedura generowania trajektorii stanów może uwzględniać mieszane strategie heurystyczne. Z tego względu generowane są równocześnie (np. na różnych procesorach) różne trajektorie. Niektóre z wygenerowanych stanów nie są perspektywiczne, tzn. nie można z nich wyznaczyć rozwiązania optymalnego. Stany takie są eliminowane z dalszych obliczeń za pomocą określonych reguł. Ogólnie, wyróżnia się reguły bezwzględne oraz względne. Reguły bezwzględne pozwalają wyeliminować stan na podstawie aktualnie najlepszego rozwiązania. Reguły względne eliminują jeden z dwóch stanów należących do tego samego etapu (nie końcowe).

Cechą charakterystyczną modelowania systemów logistycznych jest porządek chronologiczny. Koncepcja ta wymaga precyzyjnego wyjaśnienia. Załóżmy, że system logistyczny składa się z M agregatów, które obsługują N obiektów. Marszruty obiektów w systemie (kolejne agregaty obsługujące obiekty) mogą być dowolne. Dane są czasy obsługi obiektów w agregatach oraz czasy transportu obiektów pomiędzy agregatami. Problem polega na wyznaczeniu optymalnego harmonogramu obsługi obiektów w agregatach systemu.

Modelowanie systemów logistycznych opiera się na metodzie programowania wieloetapowego. W metodzie tej trajektorie stanów są generowane chronologicznie. Oznacza to, że każdy kolejny stan interpretuje sytuację w systemie, która ma miejsce w późniejszym czasie. W innych metodach optymalizacyjnych – stosowanych dla problemów kombinatorycznych – ten warunek nie jest wymagany. Z tego względu operacje obsługi obiektów w agregatach są wyznaczane bez uwzględnienia porządku chronologicznego.

Stan systemu logistycznego pozwala wyznaczyć chwilę, w której on zachodzi. Może to być chwila zwolnienia *m-tego* agregatu $(m=1,...,M)$ lub dostępności *n-tego* obiektu, $(n=1,...,N)$. W takiej (istotnej) chwili w praktyce dyspozytor – na podstawie wybranej reguły heurystycznej – podejmuje decyzję o przydzieleniu pewnego obiektu do dopuszczalnego agregatu. W metodzie programowania wieloetapowego implementowana jest analogiczna zasada. Program komputerowy wyznacza chwilę istotną oraz dopuszczalne decyzje heurystyczne. Wybór heurystyki następuje na podstawie strategii mieszanej, która określa prawdopodobieństwo uzyskania najlepszego rozwiązania dla każdej heurystyki.

3. Problemy logistyczne dystrybucji i transportu

Logistyka zajmuje się rozwiązywaniem praktycznych problemów kombinatorycznych, związanych z ruchem i obsługą obiektów w systemie, przy ograniczeniach: przestrzennych, logicznych i czasowych. Problemy logistyczne zwykle mają wykładniczą złożoność obliczeniową i z tego względu są rozwiązywane za pomocą algorytmów heurystycznych. W problemach tych występują zakłócenia losowe (np. pogodowe, preferencje klientów itp.). Ponadto zarządzanie logistyczne polega na cyklicznym (np. codziennym, cotygodniowym itp.) rozwiązywaniu problemów tej samej klasy, lecz dla zmieniających się danych. Klasyczne problemy logistyczne dotyczą transportu oraz magazynowania. Transport wynika z potrzeby: przemieszczenia, dystrybucji lub gromadzenia pewnych obiektów (towarów lub osób). Powszechnie wyróżnia się transport: drogowy, kolejowy, wodny oraz powietrzny. W praktyce transport jest związany z dystrybucją obiektów (towarów lub osób). W dalszej części zostaną sformułowane podstawowe problemy logistyki transportu i dystrybucji.

3.1. Podstawowy model dystrybucji i transportu

Rozważymy problem logistyczny oraz algorytm jego rozwiązania dla przypadku transportu i dystrybucji jednym samochodem towarów jednoasortymentowych. Dla takiego przypadku problem logistyczny transportu i dystrybucji można sformułować następująco.

Producent wytwarza towar tego samego asortymentu. Towar ten ma być dostarczany cyklicznie (np. codziennie) do N sklepów jednym samochodem dostawczym. Dane są czasy $\tau_{j,n}$ oraz odległości $d_{j,n}$, $(j=0,...,N;\ n=0,1,...,N)$ transportu pomiędzy wszystkimi punktami (0 – producent, $n=1,...,N$ sklepy). Każdy zamówiony towar jest transportowany w standardowych kontenerach (o określonych wymiarach i pojemności). Dane są zamówienia z_n każdego sklepu, wyrażone w liczbach kontenerów. Dana jest pojemność (oznaczona przez w) samochodu dostawczego, wyrażona w liczbie kontenerów.

Przy wymienionych założeniach należy wyznaczyć:

- liczbę kursów samochodu dostawczego,
- towary dystrybuowane przez samochód w każdym kursie,
- czas trwania każdego kursu,
- sklepy obsłużone w każdym kursie,
- trasę każdego samochodu dostawczego

tak, by czas dystrybucji wszystkich towarów był najkrótszy. W tym przypadku minimalizacja czasu dystrybucji wszystkich towarów stanowi kryterium optymalizacji rozważanego problemu logistycznego.

Sformułowany problem logistyczny jest uogólnieniem tzw. problemu komiwojażera (w którym należy wyznaczyć najkrótszą trasę od punktu 0 poprzez wszystkie punkty n, $n=1,...,N$ z powrotem do punktu 0). Problem ten można rozwiązać metodą programowania wieloetapowego. W metodzie tej należy zdefiniować stan procesu decyzyjnego oraz funkcję generowania kolejnych stanów tworzących trajektorię. Stan początkowy każdej trajektorii jest dany, a każdy stan końcowy określa dopuszczalne rozwiązanie problemu.

W sformułowanym problemie stan procesu decyzyjnego definiujemy jako macierz o dwóch kolumnach. Wiersze tej macierzy interpretują punkty, natomiast kolumny zawierają odpowiednio zakodowane decyzje. Stan procesu decyzyjnego ma postać:

$$X = [x_{n,j}] \qquad n = 1,...,N \qquad j = 1,2. \tag{1}$$

Elementy pierwszej kolumny macierzy (1) definiujemy następująco:

$$x_{n,1} = r, \tag{2}$$

gdzie r – trasy (kursu) samochodu (r=1,2,...,R),
przy czym liczba R tras (kursów) nie jest znana.

Elementy drugiej kolumny macierzy (1) definiujemy następująco:

$$x_{n,2} = s, \tag{3}$$

gdzie s – numer sekwencyjny (kolejny) *n-tego* sklepu w ramach *r-tej* trasy, przy czym $s=1,2,...S_r$, gdzie S_r jest liczbą sklepów na *r-tej* trasie.

Zatem przyjmujemy, że każdy wiersz odpowiada *n-temu* sklepowi, $n=1,...,N$. W pierwszej kolumnie zapisuje się numer trasy (kursu) r, w którym dostarczono towar do *n-tego* sklepu, a w drugiej kolumnie numer kolejny s tego sklepu na *r-tej* trasie.

Stan początkowy X^0 jest macierzą o zerowych elementach, stan końcowy X^N nie jest znany – jest to macierz o wszystkich elementach dodatnich. Stan końcowy reprezentuje dopuszczalne (w tym optymalne) rozwiązanie problemu. Gwarancją trajektorii, składającej się tylko z dopuszczalnych stanów, jest odpowiednio zdefiniowana procedura generowania stanów.

Generowanie stanów polega na podejmowaniu decyzji o włączeniu w stanie X^{e-1}, $(e=1,...N)$ kolejnego sklepu n do aktualnej trasy samochodu. W ten sposób otrzymujemy kolejny stan X^e na generowanej trajektorii. Sklep może być *s-tym* na aktualnej trasie. Zatem wszystkich decyzji dla jednej trajektorii jest N. Każda trajektoria wychodzi ze stanu X^0, przechodzi przez dopuszczalne stany X^e, i kończy się w stanie X^N.

W algorytmie generowania stanów należy zapamiętywać:

- aktualne położenie samochodu p^{e-1}, przy czym na każdej trasie samochód startuje z położenia 0, a na końcu wraca do położenia 0 (do bazy);
- liczbę przejechanych kilometrów $d^{e-1}{}_r$ na *r-tej* trasie, przy czym na starcie każdej trasy $d^{e-1}{}_r=0$;
- liczbę kontenerów $v^{e-1}{}_r$ dostarczonych do sklepów na *r-tej* trasie, przy czym na starcie każdej trasy $v^{e-1}{}_r=0$, a na zakończenie trasy musi być spełniony warunek:

$$v_r^{e-1} \leq w. \tag{4}$$

Procedura generowania dopuszczalnych stanów ma postać:

$$\bigvee_n \left(x_{n,1}^{e-1} = 0\right) \Rightarrow \left[X^e = F\left(X^{e-1}, n\right)\right]. \tag{5}$$

Funkcja F jest zdefiniowana następująco:

- dla $i \neq n$ otrzymujemy:

$$x_{i,j}^{e} = x_{i,j}^{e-1}, \tag{6a}$$

– dla $i=n$ otrzymujemy:

$$\begin{aligned} x_{i,1}^{e} &= R^{e-1}, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n \le w \\ x_{i,1}^{e} &= R^{e-1}+1, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n > w \\ x_{i,2}^{e} &= S^{e-1}+1, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n \le w \\ x_{i,2}^{e} &= 1, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n > w, \end{aligned} \tag{6b}$$

gdzie:
R^{e-1} – numer aktualnej (ostatniej) trasy,
S^{e-1} – numer ostatniego miasta na trasie R^{e-1}.

Numery R^{e-1} oraz S^{e-1} można łatwo wyznaczyć ze stanu X^{e-1}. Ponadto, w trakcie generowania stanów określamy parametry:

$$p^e = n \tag{7a}$$

$$d^e_r = d^{e-1}_r + \tau_{p,n} \tag{7b}$$

$$\begin{aligned} v_r^{e} &= v_r^{e-1} + z_n, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n \le w \\ v_r^{e} &= z_n, & jesli \quad & v_r^{e-1} + z_n > w. \end{aligned} \tag{7c}$$

W systemach logistycznych w procedurze generowania stanów stosowane są reguły heurystyczne, które pozwalają wygenerować kolejny stan dla wybranego sklepu n.

W rozpatrywanym problemie można wykorzystać następujące reguły heurystyczne:

1. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, który jest położony najbliżej ostatniego punktu na trasie, tzn. p^{e-1} (pierwszy sklep jest najbliżej punktu 0).
2. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, do którego czas transportu jest najkrótszy z ostatniego punktu na trasie, tzn. p^{e-1} (pierwszy sklep jest najbliżej punktu 0).
3. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, którego zamówienie z_n jest największe.
4. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, którego zamówienie z_n jest najmniejsze.

W rozpatrywanym problemie można również rejestrować czas każdego kursu oraz sumę czasów wszystkich kursów. Jeśli czas dystrybucji (kilku kursów) jest zbyt długi, to w praktyce wykorzystuje się więcej samochodów dostawczych.

3.2. Dystrybucja wieloma samochodami

Załóżmy, że producent wytwarza towar tego samego typu. Towar ten jest dostarczany do N sklepów K samochodami dostawczymi. Dane są czasy $\tau_{j,n}$ oraz odległości $d_{j,n}$,($j=0,...,N$; $n=0,1,...,N$) transportu pomiędzy wszystkimi punktami (0 – producent, $n=1,...,N$, sklepy). Dane są zamówienia z_n każdego sklepu na każdy towar. Każdy zamówiony towar jest transportowany w standardowym kontenerze (o określonych wymiarach i pojemności). Dana jest pojemność w_k , $(k=1,...,K)$, oznaczona jako liczba kontenerów samochodu dostawczego. Załóżmy, że w trakcie dystrybucji towarów *k-ty* samochód dostawczy wykonuje jeden kurs, rozwożąc nie więcej niż w_k kontenerów z towarem. Założymy przy tym, że suma zamówionych towarów jest mniejsza niż suma pojemności samochodów. Dla rozwiązania tak sformułowanego problemu dystrybucji i transportu należy wyznaczyć:

- minimalną liczbę samochodów K_{min} potrzebnych do dystrybucji wszystkich towarów,
- towary dystrybuowane przez każdy samochód,
- trasę każdego samochodu dostawczego,
- czas każdego kursu,
- sklepy, które obsługuje każdy samochód dostawczy

tak, by liczba samochodów dostawczych była minimalna.

Zatem w tym przypadku jako kryterium optymalizacji problemu dystrybucji i transportu przyjmujemy minimalizację liczby samochodów. Jednakże rozwiązanie musi być dopuszczalne, tzn. wszystkie towary muszą być dostarczone do sklepów oraz nie można przekroczyć pojemności samochodu.

Sformułowany problem logistyczny jest uogólnieniem tzw. problemu wielu komiwojażerów. Można go rozwiązać metodą programowania wieloetapowego. Stan procesu decyzyjnego jest definiowany jako macierz o dwóch kolumnach. Każdy wiersz odpowiada jednemu sklepowi. W pierwszej kolumnie zapisywany jest numer samochodu, a w drugiej numer sklepu na trasie. W trakcie generowania dopuszczalnych stanów należy sprawdzać ograniczenie pojemności w_k samochodu.

W algorytmie mogą być stosowane następujące reguły heurystyczne:

1. Wybór *k-tego* samochodu o największej pojemności w_k. Wyznaczenie trasy dla wybranego samochodu.
2. Wybór na trasę kolejnego sklepu *n*, którego zamówienie z_n jest największe.
3. Wybór na trasę kolejnego sklepu *n*, który jest położony najbliżej ostatniego sklepu na trasie danego samochodu (pierwszy wybrany sklep jest najbliżej punktu *0*).

Jeśli czas dystrybucji (czas kursu samochodu) pewnego samochodu jest zbyt długi, to w praktyce stosuje się ograniczenie czasowe dla kursu.

3.3. Dystrybucja z ograniczeniem czasowym kursów

Problem dystrybucji towarów przy ograniczeniach czasowych kursów można sformułować następująco. Producent wytwarza towary tego samego typu. Towar ten jest dostarczany do *N* sklepów, *K* samochodami dostawczymi. Dane są czasy $\tau_{j,m}$ oraz odległości $d_{j,n}$, $(j=0,...,N;\ n=0,1,...,N)$ transportu pomiędzy wszystkimi punktami (*0* – producent, $m=1,...,N$, sklepy). Dane są zamówienia z_n każdego sklepu $(n=1,...,N)$ na towar. Każdy zamówiony towar jest transportowany w standardowym kontenerze (o określonych wymiarach). Dana jest pojemność w_k (liczba kontenerów) samochodu dostawczego $k=1,...,K$. Każdy samochód dostawczy wykonuje jeden kurs, którego czas nie może przekroczyć C_k.

W tak sformułowanym problemie należy wyznaczyć:

- samochody potrzebne dla dystrybucji towarów,
- towary dystrybuowane przez każdy samochód,
- trasę każdego wybranego samochodu dostawczego,
- czas każdego kursu,
- sklepy, które obsługuje każdy samochód dostawczy

tak, by liczba samochodów dostawczych K była minimalna.

Zatem jako kryterium optymalizacji problemu dystrybucji i transportu przyjmuje się minimalizację liczby potrzebnych samochodów. Warto zwrócić uwagę na fakt, że samochody mają różną pojemność; przyjęte kryterium preferuje samochody o dużej pojemności.

Istotne znaczenie w rozważanym problemie ma ograniczenie czasowe C_k kursu każdego samochodu. Trasy dla samochodów należy wyznaczyć tak, by każdy z nich powrócił do bazy przed upływem limitu czasu C_k.

Sformułowany problem logistyczny jest uogólnieniem tzw. problemu wielu komiwojażerów. Można go rozwiązać metodą programowania wieloetapowego. Stan procesu decyzyjnego jest definiowany jako macierz o dwóch kolumnach. Każdy wiersz odpowiada jednemu sklepowi. W pierwszej kolumnie zapisywany jest numer samochodu, a w drugiej numer sklepu na trasie. W trakcie generowania stanów należy sprawdzać ograniczenie pojemności samochodu oraz chwilę dostarczenia towaru do ostatniego sklepu na trasie.

W algorytmie można zastosować następujące reguły heurystyczne:

1. Wybór samochodu o największej pojemności w_k, a następnie wyznaczenie trasy dla tego samochodu.
2. Wybór samochodu o największym czasie C_k, a następnie wyznaczenie trasy dla tego samochodu.
3. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, którego zamówienie z_n jest największe.
4. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, który jest położony najbliżej ostatniego sklepu na trasie (pierwszy sklep jest najbliżej punktu 0).

Warto zauważyć, że jeśli czas kursu pewnego samochodu jest krótki, to w praktyce samochód ten może wykonać więcej kursów (do upływu czasu C_k).

3.4. Dystrybucja jednym samochodem towarów wielu typów

Rozważmy problem dystrybucji i transportu, w którym jeden samochód może zrobić więcej niż jeden kurs przy ograniczeniu czasowym C. Producent wytwarza towary M typów.

Towary te są dostarczane do N sklepów jednym samochodem dostawczym. Dane są czasy $\tau_{j,n}$ oraz odległości $d_{j,n}$ transportu pomiędzy wszystkimi punktami (0 – producent, $n=1,...,N$, sklepy). Dane są zamówienia $z_{m,n}$ każdego sklepu $n=1,...,N$ na każdy towar $m=1,...,M$. Każdy zamówiony towar jest transportowany w standardowym kontenerze (o określonych wymiarach). Dana jest pojemność w (liczba kontenerów) samochodu dostawczego.

W rozważanym problemie należy wyznaczyć:

- liczbę kursów potrzebnych do dystrybucji towarów,
- towary dystrybuowane przez samochód w każdym kursie,
- sklepy, które obsługuje samochód dostawczy w każdym kursie,
- trasę samochodu dostawczego i czas każdego kursu

tak, by czas dystrybucji wszystkich towarów był najmniejszy.

Zatem w rozważanym problemie przyjmuje się kryterium minimalizacji czasu realizacji wszystkich kursów, które są potrzebne dla dystrybucji wszystkich towarów. Istotne ograniczenie stanowi pojemność w samochodu. Liczba kursów zależy od rozwiązania tzw. problemu pakowania, czyli towarów załadowanych do samochodu w każdym kursie. Jeżeli znane są towary (czyli sklepy), to należy dla każdego kursu rozwiązać problem komiwojażera (trasy samochodu). Zatem, w rozważanym problemie dystrybucji i transportu występują dwa problemy NP. zupełne (komiwojażera i pakowania) w sensie złożoności obliczeniowej, które trzeba rozwiązać wielokrotnie.

Sformułowany problem logistyczny jest uogólnieniem tzw. problemów komiwojażera oraz pakowania. Można go rozwiązać metodą programowania wieloetapowego. Stan procesu decyzyjnego jest definiowany jako macierz o dwóch kolumnach. Każdy wiersz odpowiada jednemu sklepowi. W pierwszej kolumnie zapisuje się numer kursu, a w drugiej numer sklepu na trasie. W trakcie generowania stanów należy sprawdzać ograniczenia pojemności w samochodu oraz czasu transportu.

Do rozwiązania sformułowanego problemu można wykorzystać następujące algorytmy heurystyczne:

1. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, który jest położony najbliżej (w sensie czasu) ostatniego sklepu na ustalonej trasie (pierwszy sklep jest najbliżej punktu 0).
2. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, który jest położony najbliżej (w sensie odległości) ostatniego sklepu na ustalonej trasie (pierwszy sklep jest najbliżej punktu 0).
3. Wybór na trasę kolejnego sklepu n, którego sumaryczne zamówienie z_n (wszystkich towarów) jest największe.

Jeśli czas dystrybucji (kilku kursów) dla jednego samochodu jest zbyt długi, to w praktyce wykorzystuje się więcej samochodów dostawczych.

3.5. Dystrybucja wieloma samochodami towarów wielu typów

Rozważmy problem dystrybucji towarów K samochodami, przy założeniu że każdy z nich może zrobić więcej niż jeden kurs. Problem taki można sformułować następująco. Producent wytwarza towary M typów (np. spożywczych itp.). Towary te są dostarczane do N sklepów K samochodami dostawczymi. Dane są czasy $\tau_{j,n}$ oraz odległości $d_{j,n}$ transportu pomiędzy wszystkimi punktami (0 – producent, $n=1,...,N$ sklepy). Dane są zamówienia $z_{m,n}$ każdego sklepu $n=1,...,N$ na każdy towar $m=1,...,M$. Każdy zamówiony towar jest transportowany w standardowym kontenerze (o określonych wymiarach). Dana jest pojemność w_k (liczba kontenerów) *k-tego* samochodu dostawczego $k=1,...,K$. Każdy samochód dostawczy może wykonać więcej niż jeden kurs.

W tak sformułowanym problemie należy wyznaczyć:

– liczbę samochodów potrzebnych do dystrybucji wszystkich towarów,
– towary dystrybuowane przez każdy samochód,
– trasę każdego samochodu dostawczego,
– czasy każdego kursu,
– sklepy, które obsługuje każdy samochód dostawczy

tak, by liczba samochodów dostawczych była minimalna.

Podstawowe znaczenie ma ograniczenie czasowe C_k dla każdego samochodu. W takim przypadku samochody mogą zrobić więcej niż jeden kurs, jeśli zdążą przed upływem czasu C_k. Można zauważyć, że dystrybucja towarów może zająć mniej czasu, jeżeli będzie realizowana przez więcej samochodów. Jeżeli jednak założymy, że każdy samochód ma do dyspozycji czas C_k (np. zmianę roboczą), to wówczas kryterium minimalizacji liczby samochodów wybranych dla dystrybucji towarów jest uzasadnione.

Sformułowany problem logistyczny jest uogólnieniem tzw. problemów wielu komiwojażerów oraz pakowania, które są NP zupełne w sensie złożoności obliczeniowej. Można go rozwiązać metodą programowania wieloetapowego. Stan procesu decyzyjnego jest definiowany jako macierz o dwóch kolumnach. Każdy wiersz odpowiada jednemu sklepowi. W pierwszej kolumnie zapisywany jest numer samochodu, a w drugiej numer sklepu na trasie. W trakcie generowania stanów należy sprawdzać ograniczenia: pojemności w_k samochodu oraz czasu transportu C_k.

Do rozwiązania sformułowanego problemu dystrybucji i transportu wieloma samochodami, przy wielu kursach można wykorzystać następujące reguły heurystyczne:

1. Wybór samochodu k o maksymalnej pojemności w_k, a następnie wyznaczenie dla niego tras kolejnych kursów.
2. Wybór samochodu k o maksymalnym czasie C_k, a następnie wyznaczenie dla niego tras kolejnych kursów.

3. Wybór na trasę kolejnego sklepu *n*, którego zamówienie z_n (suma wszystkich towarów – kontenerów) jest największe.
4. Wybór na trasę kolejnego sklepu *n*, który jest położony najbliżej ostatniego sklepu na trasie (pierwszy sklep jest najbliżej punktu *0*).

Jeśli czas dystrybucji wszystkich towarów do wszystkich sklepów – wszystkimi *K* samochodami (tzn. maksymalny czas kursu *C*) jest zbyt długi, to teoretycznie nie istnieje rozwiązanie problemu. W logistycznej praktyce wyznaczany jest inny model, dla którego istnieje rozwiązanie (np. pominięcie pewnych towarów lub sklepów).

4. Uwagi końcowe

W artykule przedstawiono problemy logistyki informatycznej dystrybucji i transportu. Sformułowano kilka modeli, wyróżniając wiele: samochodów, typów towarów, kursów oraz ograniczeń czasowych i objętościowych. Z teoretycznego punktu widzenia jest to połączenie dwóch problemów NP. zupełnych (komiwojażera oraz pakowania) w sensie złożoności obliczeniowej. Z tego względu do rozwiązania sformułowanych problemów zaproponowano metodę programowania wieloetapowego oraz heurystyczne algorytmy decyzyjne.

W praktyce do rozwiązania problemów dystrybucji i transportu wykorzystywane są komputery, Internet oraz telefony komórkowe, dlatego są to problemy logistyki informatycznej. Ponadto, jeżeli nie istnieje matematyczne rozwiązania problemu, to modyfikowany jest model logistyczny.

W artykule przedstawiono problemy dystrybucji i transportu drogowego. Analogiczne problemy dystrybucji występują w transporcie: kolejowym, wodnym oraz lotniczym.

Problememami analogicznymi do dystrybucji i transportu są gromadzenie i transport, np. wywóz odpadów komunalnych z kontenerów przy pomocy specjalistycznych samochodów.

Ogólnie, mogą wystąpić kompleksy problemów dystrybucji, gromadzenia i transportu, np. dowóz uczniów do szkół jest problemem transportu i gromadzenia, z kolei powrót uczniów ze szkół do domów stanowi problem dystrybucji i transportu. Istotne znaczenie ma sieć dróg i zmienna liczba uczniów (absencje chorobowe itp.). Z tego względu problemy gromadzenia i dystrybucji są rozwiązywane codziennie.

Do wielu kurortów turyści przylatują samolotami i są rozwożeni autokarami z lotniska do różnych hoteli (dystrybucja). W drodze powrotnej są oni zabierani z hoteli i dowożeni autokarami do lotniska (gromadzenie). Istotnym problemem jest minimalizacja autokarów i wybór ich tras od lotniska poprzez hotele. Każdy samolot jest obsługiwany przez kilka autokarów. Ponadto, codziennie obsługiwanych jest kilkadziesiąt samolotów.

BIBLIOGRAFIA

1. Bucki R., Marecki F.: Modeling and Simulation. Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA 2005.
2. Bucki R., Marecki F.: Digital Simulation of Discrete Processes. Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA 2006.
3. Błażewicz J., Cellary W., Słowiński R., Węglarz J.: Badania operacyjne dla informatyków. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
4. Frąckiewicz Z.: Logistyka obsługi statków w porcie. t. „Badania operacyjne", Beskidzki Festiwal Nauki, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2001, s. 7-19.
5. Frąckiewicz Z., Marecki J.: Logistical Ships Scheduling Model in Parallel Port. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej, nr 70, Szczecin 2003, s. 73-84.
6. Frąckiewicz Z., Marecki J.: Logistical Ships Scheduling in Serial Stracture Port. International Conference on „Marine Traffic Engineering", Szczecin Meritime University, Świnoujście 2003, p. 94-104.
7. Frąckiewicz Z., Marecki J.: Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do sterowania ruchem statków w porcie, [w:] J.K. Grabara (red.:) Efektywność zastosowań systemów informatycznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004, s. 453-466.
8. Kowalowski H.: Inżynieria wiedzy. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej J. Skalmierski, Gliwice 2000.
9. Marecki J., Łużny D., Marecki F.: Logistyka informatyczna kompleksów operacji. WSIZ, Bielsko-Biała 2010.
10. Łużny D., Marecki F.: Modelowanie matematyczne i optymalizacja kompleksów operacji. Instytut Infrastruktury Informatycznej, Narodowa Akademia Nauk Ukrainy, Lwów 2007 (monografia w języku ukraińskim).
11. Marecki F.: Expert control of production and transport systems. Information Technologies and Systems, Vol. 10, No. 1, 2007, p. 191-207.
12. Marecki J., Marecki F.: Logistyka informatyczna obsługi statków w portach. WSIZ, Bielsko-Biała 2007.
13. Marecki J.: Metody sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej J. Skalmierski, Gliwice 2001, s. 115.
14. Marecki J.: Semantic Networks and Intelligence Agents, Network Integrators Associates. Parkland, Florida, USA 2003, p. 111.
15. Sawik T.: Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1998.
16. Wagner H.M.: Badania operacyjne. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Kałuski, prof. nzw. w Politechnice Śląskiej

Abstract

In the paper problems of distribution and transport logistics are presented. From theoretical point of view the NP complete problems of packing and travelling salesman has been implemented. An article discusses also applications of multi-stage programming method to solving problems of distribution and transport. As examples the problems of distribution of single-type and multi-type objects has been solved. Transport of objects to the space points with time restrictions was realized by single or multiply car service. The heuristic algorithms based on multi-stage programming method has been given.