

Olgierd Dziamski
Instytut Logistyki i Magazynowania

Współczesne metody automatycznego planowania dystrybucji towarów

Opracowanie korzystnych finansowo i efektywnych planów dystrybucji oraz załadunków wyrobów dla wielu przedsiębiorstw jest często trudnym zadaniem. Planiści muszą w wielu przypadkach uwzględniać wymagania w zakresie układania tras, terminów dostaw, możliwości technicznych floty transportowej oraz wiele innych wymagań natury legislacyjnej i zasad współpracy pomiędzy dostawcą i odbiorcami. W większości przypadków przedsiębiorstwa planują swoje działania w oparciu o doświadczenie swoich pracowników. Przy stale rosnących kosztach dystrybucji towarów rodzi się pytanie, czy metody manualne lub inne obecnie stosowane są tymi właściwymi, wykorzystywanymi przez firmę?

Postęp w technikach automatycznego planowania dystrybucji

Ogólnie szacuje się, że koszty transportu najczęściej mieszczą się pomiędzy jedną trzecią, a dwiema trzecimi całkowitych kosztów logistycznych. Nawet kilkuprocentowa poprawa jakości planu dystrybucji lub opracowanie w krótkim czasie blisko – optymalnego planu może przynieść wymierne oszczędności dla firmy w skali roku.

Pierwsze prace nad analizą problemu komiwojażera rozpoczął Karl Menger w 1930 r. Pierwszy udany program wyliczający optymalną trasę komiwojażera opracowali w 1954 r. G. Dantzig, R. Fulkerson i S. Johnson dla 49 miast. Dopiero w 1975 r. P.M. Cameron i L. Fratta wyliczyli optymalną trasę komiwojażera dla 100 miast. Prace nad przybliżonymi algorytmami planowania tras wykazały ich znacznie większą szybkość znajdowania rozwiązania bliską optymalnemu.

Często jednak trudno jest dla dużej liczby miast ocenić czy jest to rozwiązanie optymalne, albo jak bliskie jest ono optymalnemu. Dopiero w maju 2004 r. został pobity kolejny poważny rekord wyliczenia optymalnej trasy komiwojażera – dla 24978 miast w Szwecji – przez D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, i K. Helsgaun. Wykorzystali oni algorytmy programowania liniowego i całkowitoliczbowego, które liczone były równoległe na 96 komputerach posiadających po dwa procesory Intel Xeon 2.8 GHz. Uśredniony całkowity czas pracy jednego procesora wyniósł 84.8 lata. Na rys. 1 przedstawiony został postęp prac nad doskonaleniem algorytmów wyliczających optymalne trasy komiwojażera¹.

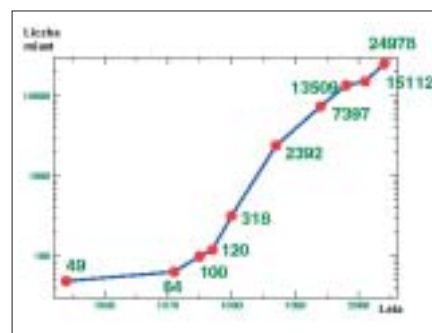
Metody planowania trasy komiwojażera

Algorytmy planowania tras komiwojażera można podzielić na metody dokładne (zwane inaczej metodami optymalizacyjnymi) oraz przybliżone (zwane też algorytmami heurystycznymi).

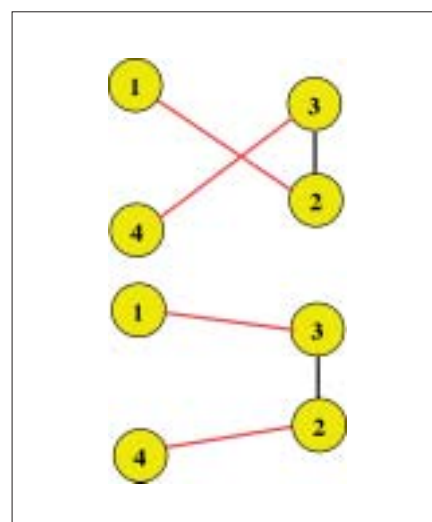
Algorytmy dokładne dają gwarancję wyliczenia optymalnej trasy w określonej liczbie kroków. Oparte są one na technikach programowania liniowego i całkowitoliczbowego (LP, MIP). W 1954 r. G. Dantzig zastosował tę technikę do wyliczenia optymalnej trasy komiwojażera. Zbudował model matematyczny tras w postaci równań ze zmiennymi rzeczywistymi i całkowitoliczbowymi, przyjmującymi wartości 1 lub 0. Zadaniem programu było znalezienie odpowiednich wartości tych zmiennych, aby opisały one optymalną trasę komiwojażera. Okazuje się, że możliwych rozwiązań już dla 20 miast jest ponad 10.000.000.000.000.000.000. Stosując

metodę podziału i ograniczeń, można w sposób istotny skrócić proces znalezienia optymalnej trasy. Nadal jednak algorytmy dokładne potrzebują olbrzymiej mocy obliczeniowej, co w praktyce czyni je mało efektywnymi i niepraktycznymi przy liczeniu tras powyżej 70 miast.

Algorytmy heurystyczne w początkowych latach rozwoju dziedziny badań operacyjnych były traktowane z dużym sceptycyzmem. Obecnie badania nad złożonością problemów kombinato-



Rys. 1. Postęp w rozwoju algorytmów obliczających optymalną trasę komiwojażera



Rys. 2. Heurystyka 2-lub 3-zamieniająca dwa połączenia pomiędzy miastami

¹ <http://www.tsp.gatech.edu/sweden/progress/progress.htm>

rycznych wykazały, że algorytmy przybliżone mogą w wielu przypadkach być znacznie bardziej praktyczne, niż metody optymalizacyjne. Metody heurystyczne jednak nie dają gwarancji wyliczenia optymalnego rozwiązania. Ich dużą zaletą natomiast jest znalezienie rozwiązania bliskiego optymalnemu, a często nawet optymalnego w krótkim czasie. W lipcu 2004 r. dla 1.904.711 miast na całym świecie algorytm heurystyczny autorstwa Keld Helsgaun² wyliczył trasę o 0.073% gorszą od optymalnej. Dla tak olbrzymiej liczby miast nikomu nie udało się wyliczyć rozwiązania optymalnego algorytmem dokładnym.

Najprostsze algorytmy heurystyczne budują trasę stopniowo, dodając w każdym kroku najbliższe miasto. Taka technika, choć szybka i prosta, często prowadzi do mało efektywnego rozwiązania. Współczesne algorytmy heurystyczne w kolejnym etapie poprawia pierwsze rozwiązanie. Dla przykładu heurystyka, zwana potocznie 2-lub (2-or, albo 2-opt) poszukuje możliwe pary połączeń pomiędzy miastami, których zamiana może dać krótszą trasę. Na rys. 2 przedstawiona została zamiana pary (1,2) i (4,3) na parę (1,3) i (4,2).

Otrzymana nowa trasa 1->3->2->4 jest krótsza od trasy 1->2->3->4. Ta heurystyka pozwala zbudować wiele alternatywnych tras na podstawie trasy pierwotnej. Nowe trasy mają zawsze pewne części wspólne. W opisywanym przykładzie jest to para (3,2), która nie uległa zamianie. Opracowane za pomocą heurystyki 2-lub alternatywne trasy tworzą sąsiedztwo wokół trasy pierwotnej. W kolejnym kroku algorytm wybiera najkrótszą nową trasę z sąsiedztwa. Ta nowa trasa teraz staje się trasą pierwotną i jest podstawą do zbudowania kolejnego jej sąsiedztwa. Program kończy swoją pracę, gdy nie ma

możliwości zbudowania nowego sąsiedztwa lub, gdy każda nowa trasa w sąsiedztwie jest dłuższa od aktualnie wyliczonej. Ten typ heurystyki nosi nazwę *algorytmów zachłannych*. Algorytm ten funkcjonuje podobnie jak turysta wspinający się na szczyt, dobierając swoje kroki tak, aby za każdym razem mógł się wyżej wspiąć. Jeżeli turysta wejdzie na niewielkie wzniesienie stosując tę zasadę, już się z niego nigdy nie wydostanie, ponieważ każdy jego krok prowadzi do zejścia niżej, a zatem jest krokiem nieakceptowanym. Takie zjawisko nazywa się osiągnięciem lokalnego maksimum. Keld Helsgaun zbudował algorytm Lin Kernighan z 1971 r. o mechanizm doboru odpowiednich heurystyk w celu wydostania się z lokalnego minimum. We wrześniu 2001 r. udało im się wyliczyć bliską optimum trasę komiwojażera dla 24978 miast w Szwecji. Otrzymali oni w ciągu 30 minut na 400 MHz PowerBook G3 trasę różniącą się jedynie o 0.033% od optymalnej. Dla porównania, optymalne rozwiązanie zostało wyliczone w 84.8 lata na procesorze Intel Xeon 2.8 GHz.

W ostatnich latach obserwuje się rozwój nowych algorytmów heurystycznych o ogólnym przeznaczeniu, które potrafią poradzić sobie z problemem zatrzymania się w lokalnym maksimum lub minimum.

Meta-heurystyki są algorytmami, które koordynują proste heurystyki tak, aby możliwe było wydostanie się z lokalnego minimum i kontynuowanie procesu poszukiwania lepszego rozwiązania. Jedną z bardziej udanych technik jest meta-heurystyka „tabu” (*tabu search*). Została ona pierwszy raz zaprezentowana przez Freda Glovera w 1986 r. Duża liczba eksperymentów obliczeniowych oraz wiele rzeczywi-

stych systemów potwierdziło jej wysoką skuteczność. Meta-heurystyka tabu oparta jest na technice przeszukiwania sąsiedztwa. Każda poprawa rozwiązania podstawowego jest zapisywana na określonej długości liście, zwanej „tabu”. Lista ta przechowuje kilka ostatnich zmian trasy pierwotnej, które mają zabronić powrót do potencjalnego ostatniego rozwiązania lokalnego. Jeżeli pogram znajdzie się w lokalnym minimum, to wybierana jest trasa gorsza od aktualnej, tak aby możliwe było wydostanie się z niego. W celu uniknięcia powrotu do lokalnego minimum program sprawdza, czy dana modyfikacja trasy znajduje na liście zabronionych zmian. Jeżeli tak, to taka zmiana jest niedozwolona i zostanie wybrana inna poprawna trasa z sąsiedztwa. Działanie programu wygląda jak powolne schodzenie turysty ze wzgórza tak aby mógł się wspiąć na najwyższy szczyt. Ten prosty algorytm okazał się bardzo skuteczny dla problemów transportowych, gdzie występują ograniczenia maksymalnej ładowności samochodu, długości trasy czy terminu dostawy. Ta i podobne jej meta-heurystyki potrafią skutecznie koordynować równoczesne znalezienie planu dystrybucji dla wielu samochodów, dużej liczby miejsc załadunkowych i rozładunkowych.

Praktyka pokazuje, że wdrożenie systemów opartych na algorytmach heurystycznych wspomagających planowanie dystrybucji i załadunku, potrafi przynieść oszczędności firmom w zakresie od 4% do 15%. Znane są projekty, gdzie oszczędności sięgać mogą nawet 25%.

W kolejnym artykule przedstawione zostaną różne modele dystrybucji towarów. Pokazane będą zasady budowania modelu dystrybucji oraz techniki znajdowania najlepszego rozwiązania.

² <http://www.tsp.gatech.edu/world/>