PROBLEM KOMIWOJAŻERA W ZMIENIAJĄCYM SIĘ ŚRODOWISKU KOMUNIKACYJNYM

Jarosław Kęsy[1], Zbigniew Domański[1,2]

[1]*Instytut Matematyki i Informatyki, Politechnika Częstochowska*
[2]*Instytut Informatyczno-Matematyczny, Akademia Polonijna w Częstochowie*

Streszczenie. Rozpatrzono problem komiwojażera w środowisku o zmieniających się trasach. Zaopatrzenie jest realizowane na modelu układu komunikacyjnego, w którym losowo wybrana część ciągów komunikacyjnych jest nieprzejezdna. Wymusza to adaptację tras i dynamiczną zmianę kolejności zaopatrzenia tak, by wybierana sekwencja odwiedzin umożliwiała zrealizowanie wszystkich dostaw przy zachowaniu jak najkrótszej trasy. Przeanalizowano, jaki jest wpływ zjawiska perkolacji sieci komunikacyjnej na skuteczność zaopatrzenia dla sieci komunikacyjnej typu jednorodnej kraty.

Jednym z najważniejszych problemów, jakie napotykają przed sobą firmy spedycyjne, jest zagadnienie zmiany tras przejazdowych w wyniku perturbacji komunikacyjnych. Perturbacje takie pojawiają się na skutek zdarzeń losowych, takich jak poważne kolizje drogowe, bądź na skutek planowanych zamknięć ciągów komunikacyjnych np. na czas remontów. Okresowo, niektóre ulice mogą być zablokowane i kierujący pojazdami muszą zmieniać swoje trasy, aby dojechać do wyznaczonego punktu docelowego. Zmiana trasy wywołana zaistniałymi sytuacjami drogowymi wiąże się z jej wydłużeniem, a tym samym ze wzrostem kosztów, jakie ponoszą przewoźnicy. Jest to zagadnienie szczególnie ważne w przypadku dystrybucji artykułów codziennego użytku dla odbiorców w dużych aglomeracjach miejskich.
Problem komiwojażera lub ogólniej problemy zaopatrzenia należą do problemów optymalizacyjnych klasy *NP*. Oryginalne zagadnienie Eulera ruchu konika szachowego zostało przeformułowane w 1948 roku przez RAND Corporation na problem optymalizacyjny nazywany problemem TSP (Traveling Salesman Problem). Nieliczne, zaczerpnięte z fizyki lub biologii, schematy obliczeniowe pozwalają na rozwiązania przybliżone problemów optymalizacyjnych. Są to jednak metody przybliżone i znalezienie globalnego optimum jest dla takiej klasy problemów praktycznie nieosiągalne. To co jest możliwe to znalezienie rozwiązań bliskich optimum. Adekwatnym podejściem badawczym jest w takim przypadku wykorzystanie programów ewolucyjnych, które w oparciu o stochastyczne reguły adaptacyjne umożliwiają skuteczne przeszukanie przestrzeni możliwych rozwiązań i znalezienie rozwiązań bliskich optimum względem ustalonego kryterium [1-4]. W szczególności obiecujące wydaje się podejście bazujące na traktowaniu odbiorców jako neuronów, zaś łączące tych odbiorców drogi na trasie komiwojażera jako połączenia synaptyczne pewnej sieci neuronowej [4].

Rozpatrywane przez nas zagadnienie adaptacji tras zaopatrzeniowych do zmiennych warunków drogowych jest zagadnieniem ogólniejszym niż sam problem komiwojażera. W przypadku perturbacji komunikacyjnych zagadnieniem samym w sobie jest możliwość zrealizowania dostaw w zadanym czasie. Problem ten jest związany z występowaniem perkolacji [5-7]. Analogicznym problemem z dziedziny fizyki statystycznej jest problem transportu, na przykład ładunku elektrycznego w sieci. W naszym ujęciu komunikacyjnym, gdzie istotne jest blokowanie się ulic, będziemy mieli do czynienia z perkolacją wiązań [5].

W tym celu rozważmy sieć komunikacyjną miasta i wybierzmy kilka węzłów w sieci ulic. Węzły te będą punktami odbiorczymi towarów. Mogą to być np. sklepy, punkty sprzedaży prasy lub urzędy pocztowe. Jeden z wybranych węzłów ma specjalne znaczenie. Węzeł ten nazywamy punktem startowym, a pozostałe punkty punktami docelowymi. Z punktu startowego wyjeżdża przewoźnik, który musi rozwieźć towar do wszystkich punktów odbiorczych i wrócić do punktu startowego. Punktem startowym może być np. hurtownia zaopatrująca wybranych odbiorców. Gdy wszystkie ulice są przejezdne, można wyznaczyć najkrótszą trasę przechodzącą przez wybrane punkty odbiorcze, rozwiązując znany problem komiwojażera. Sytuacja na drogach ulega jednak zmianom i wpływa na przebieg oraz długość najkrótszej trasy. Czasami konieczna jest nawet zmiana kolejności dostarczania towaru do poszczególnych odbiorców. Mogą także wystąpić przypadki, gdy do niektórych odbiorców nie będzie można dojechać, ponieważ wszystkie możliwe drogi prowadzące do tych odbiorców są zablokowane. W takich sytuacjach możliwa jest tylko częściowa realizacja zamówień z pominięciem nieosiągalnych odbiorców.

Przedstawioną sytuację można opisać za pomocą pojęć teorii perkolacji. Załóżmy, że mamy kwadratową siatkę o rozmiarze NxN węzłów. Krawędzie łączące węzły siatki są równej długości i reprezentują ulice miasta. Liczba wszystkich krawędzi w siatce jest równa $2(N-1)N$. W rozpatrywanym modelu zablokowane ulice realizujemy poprzez usunięcie odpowiadających tym ulicom krawędzi w kwadratowej siatce.

Opisując zjawiska losowe zachodzące na drogach w aspekcie perkolacji, stosujemy pewne uproszczenie polegające na zaniedbaniu faktu, że blokadę ulicy powodują nie tylko losowe sytuacje drogowe na samej ulicy. Często korki i spowolnienia są wynikiem sytuacji na drogach sąsiadujących. Współczynnik, od którego będzie zależna ilość takich sytuacji, oznaczymy literą p. Liczba p będzie określać prawdopodobieństwo zablokowania dowolnej z ulic. Dla $p = 0$ wszystkie ulice są przejezdne. Efektem zwiększania wartości p będzie usuwanie coraz większej liczby krawędzi. Gdy wartość p zbliża się do progu perkolacji dla danej topologii, sieć komunikacyjna przestaje być spójna i nie jest możliwe utrzymanie skutecznego zaopatrzenia.

W pracy badamy, jaki jest wpływ liczby zablokowanych ulic na długość trasy do pokonania oraz dostępną liczbę tras, na których towar dostarczony jest do wszystkich odbiorców, tzn. wszystkie punkty odbiorcze są osiągalne.

Do znalezienia najkrótszych tras wykorzystujemy program ewolucyjny, będący zmodyfikowanym algorytmem genetycznym. Program ewolucyjny generuje początkową populację tras. Następnie ocenia trasy należące do tej populacji i na podstawie tej oceny dokonuje selekcji, wybierając trasy do stworzenia kolejnego pokolenia. Ocena tras opiera się na wartości długości drogi związanej z daną trasą, im mniejsza długość trasy, tym większe dopasowanie. Trasy wybrane w procesie selekcji są następnie użyte do utworzenia nowej populacji tras za pomocą operatorów krzyżowania i mutacji. W stosowanym przez nas programie ewolucyjnym została wykorzystana reprezentacja ścieżkowa oraz operator krzyżowania OX. Jako operator mutacji wykorzystano operator wzajemnej wymiany. Po zakończeniu programu ewolucyjnego otrzymujemy trasę o długości najkrótszej lub długości bliskiej najkrótszej oraz wartość długości tej trasy przy aktualnej topologii połączeń w siatce dla zadanego współczynnika perkolacji p. Jeżeli okaże się, że jeden lub więcej wyróżnionych węzłów nie będzie miał połączenia z pozostałymi węzłami, to w takim przypadku przyjmuje się, że nie można zrealizować dostawy oraz że wartość długości trasy jest nieskończona. Użycie programu ewolucyjnego wymaga znajomości najkrótszych elementarnych odległości między poszczególnymi parami węzłów sieci. Odległości te obliczano w oparciu o algorytm opracowany przez E.W. Dijkstrę [8].

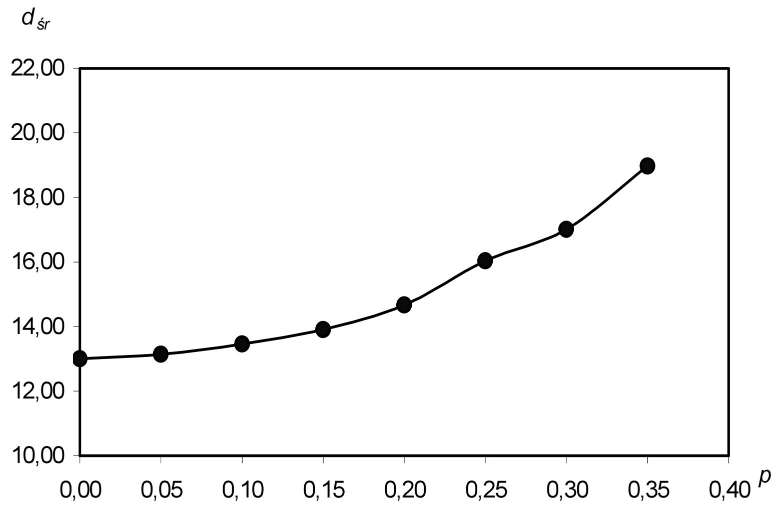
Algorytm obliczenia najkrótszej trasy powtarzany jest dla liczby prób j = 100 przy zadanej wartości współczynnika perkolacji p. Procedura losowego usuwania krawędzi w siatce powoduje, że w każdej próbie generowana jest inna topologia połączeń w siatce. W każdej próbie otrzymujemy wartość skończoną najkrótszej drogi łączącej punkty odbiorcze lub informację, że nie można zrealizować dostawy, ponieważ długość trasy ma wartość nieskończoną. Jeżeli wśród j prób ponad połowa otrzymanych tras ma długość skończoną, to obliczamy średnią najkrótszą drogę $d_{śr}$ łączącą punkty odbiorcze przy zadanej wartości współczynnika perkolacji. Obliczając średnią najkrótszą drogę $d_{śr}$ uwzględniamy oczywiście tylko skończone wartości długości najkrótszych tras. Ilość prób m, w których uzyskaliśmy trasy o skończonej długości, określa stopień realizacji dostaw

$$\eta = \frac{m}{j}$$

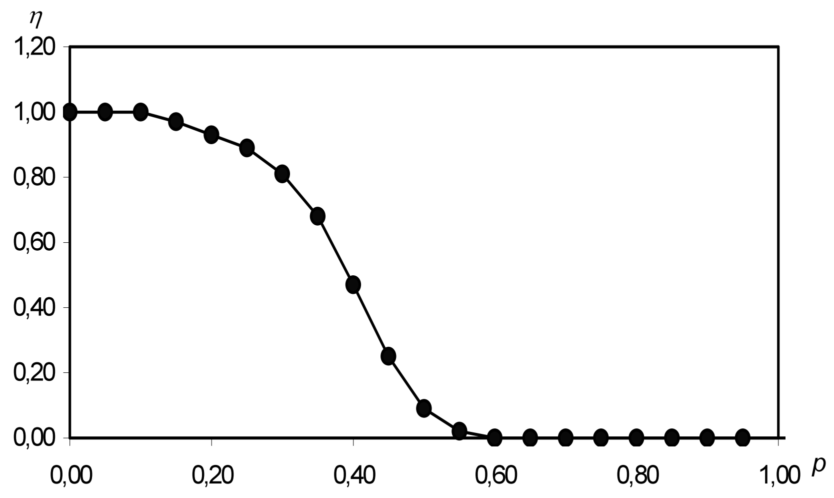
Jeżeli dla danej wartości współczynnika perkolacji p mamy stopień realizacji $\eta > 0.5$, to przyjmujemy, że możliwe jest dostarczenie towaru do wszystkich odbiorców, a najkrótsza trasa potrzebna do rozwiezienia towaru ma długość równą $d_{śr}$. Dla $\eta \leq 0.5$ przyjmujemy, że nie można dostarczyć towaru wszystkim odbiorcom, a długość trasy jest nieskończona.

Wartości średniej najkrótszej drogi $d_{śr}$ oraz stopnia realizacji dostaw η obliczamy przy tych samych węzłach - punktach odbiorczych, zmieniając p w zakresie od 0 do 0.8 ze skokiem 0.02.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla sieci kwadratowej o rozmiarach NxN węzłów, dla N = 10 i N = 12. Liczba węzłów - punktów odbiorczych została ustalona jako pierwiastek całkowitej liczby węzłów w sieci. Wyniki przedstawiają otrzymane wartości średniej drogi $d_{śr}$ oraz wartości stopnia realizacji zamówień η w zależności od współczynnika perkolacji p. Rysunek 1 przedstawia długość średniej drogi $d_{śr}$, gdy stopień realizacji $\eta > 0.5$. Rysunek 2 przedstawia zależność współczynnika realizacji od parametru perkolacji p.



Rys. 1. Długość średniej drogi minimalnej $d_{śr}$ dla kwadratowej sieci zależności od wartości współczynnika perkolacji p. Wartości liczbowe odnoszą się do sieci zawierającej 100 węzłów i 10 punktów odbiorczych



Rys. 2. Zależność współczynnika realizacji dostaw η od wartości współczynnika perkolacji p dla sieci kwadratowej

W pracy tej analizowano wpływ losowych zaburzeń komunikacyjnych mających miejsce w aglomeracjach miejskich na problemy logistyczne. Przeprowadzone obliczenia wskazują na niewielką zależność współczynnika realizacji od rozmiaru sieci przy wybranej gęstości punktów odbiorczych na poziomie około 6 procent liczby węzłów w sieci. Zgodnie z oczekiwaniami całkowite załamanie realizacji dostaw występuje, gdy współczynnik perkolacji zbliża się do wartości progu perkolacji, który dla nieskończonej dwuwymiarowej sieci kwadratowej ma wartość 0.5 [9]. Planuje się analizę tego problemu dla sieci o innych topologiach oraz uwzględnienie większej liczby odbiorców.

Literatura

[1] Holland J.H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor 1975.

[2] Michalewicz Z., Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, WNT, Warszawa 1996, 1999.

[3] Goldberg D.E., Computer - aided gas pipeline operation using genetic algorithms and rule learning, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in The University of Michigan 1983.

[4] Chen K., Physical Review 1997, E55, 7809.

[5] Staufer D., Introduction to percolation theory, Taylor&Francis, London, Philadelphia 1985.

[6] Bauerschäfer U., Shultz M., Physical Review 1996, E54, 1442.

[7] Domb C., Stoll E., Schneider T., Percolation clusters, IBM Zurich Laboratory, 8803 Ruschlikon, Switzerland.

[8] Kulikowski J.L., Zarys teorii grafów, Juliusz L. Kulikowski, Warszawa 1986.

[9] Bernasconi J., Physical Review 1978, B18, 2185.