

Paweł WICHARY

wicharypawwl@gmail.com

Ireneusz J. JÓŹWIAK

Wydział Informatyki i Zarządzania

Politechnika Wroclawska

ireneusz.jozwiak@pwr.edu.pl

Karol STASIŃSKI

karol.stasinski@gmail.com

STRATEGIE EFEKTYWNEGO ROZMIESZCZANIA NADAJNIKÓW W SIECIACH BEZPRZEWODOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono doświadczenia związane z modelowaniem we współczesnej informatyce na przykładzie problemu pokrycia terenu ze szczególnym uwzględnieniem rozmieszczania nadajników w sieciach bezprzewodowych. Opisano dostępne algorytmy i heurystyki mające zastosowanie, z opisem ich wad i zalet. Przedstawiono aktualne problemy związane z uzyskiwaniem wyników wysokiej jakości. Wskazano sposoby redukcji obliczeń wpływające na zmniejszenie stopnia skomplikowania obliczeniowego problemów.

Słowa kluczowe: sieć bezprzewodowa, problem pokrycia terenu, modelowanie, redukcja obliczeń, interpolacja, macierz odniesień, metoda różnic skończonych.

EFFECTIVE STRATEGIES FOR LOCATING TRANSMITTERS IN WIRELESS NETWORKS

Summary. In this paper an experience connected with modeling in modern information technology illustrated with an example of problem of covering an area, taking into special consideration the location of transmitters in wireless network was presented. Available algorithms and heuristics having their implementation with indicating their advantages and disadvantages were described. Current problems connected with obtaining the high quality results were also shown. The ways of reduction of calculations affecting diminution of the stage of counting complexity of problems were pointed.

Keywords: wireless network, collocation problem, modeling, reduction of calculations, interpolation, reference matrix, finite-difference method.

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono doświadczenia zdobyte podczas realizacji studiów inżynierskich, magisterskich oraz badań własnych w dziedzinie rozwiązywania problemów o złożoności obliczeniowej NP-zupełnej. Szczególna uwaga zostanie poświęcona problemowi pokrycia terenu, będącemu jednym z kluczowych problemów współczesnego świata. Celem punktu pierwszego jest przedstawienie potrzeby oraz strategii modelowania współczesnej informatyki. Rozdział drugi stanowi wprowadzenie do problemu pokrycia terenu z poświęceniem szczególnej uwagi problemowi rozmieszczenia nadajników. Przedstawiono dwa podstawowe kryteria oceny jakości znalezionych rozwiązań oraz metody użyte w celu zamodelowania problemu. Rozdział trzeci to opis wybranych algorytmów i heurystyk, mających zastosowanie przy obliczaniu współczesnych problemów o złożoności NP-zupełnej. Rozdział czwarty przedstawia sposoby redukcji obliczeń, przy wykorzystaniu których możliwe jest m.in. szybsze uzyskanie wyników badań przez interpolację obliczeń podproblemów oraz nie trzeba ponownie wykonywać obliczeń już wykonanych, z zastosowaniem macierzy odniesień. Autorzy w podsumowaniu skupią się na kluczowych wnioskach wynikających z praktycznego wdrażania strategii efektywnego rozmieszczenia nadajników w sieciach bezprzewodowych.

2. Strategie modelowania we współczesnej informatyce

Współczesna informatyka bardzo często jest powiązana z rozwiązywaniem problemów o złożoności NP lub NP-zupełnej [1]. Rozwiązania nie da się zaproponować w czasie wielomianowym, co powoduje znaczną złożoność czasową potrzebną do uzyskania wyników. Z praktycznego punktu widzenia nie należy przeprowadzać obliczeń z uwzględnieniem wszystkich składowych świata rzeczywistego. Na przykład nie uwzględnia się stopnia oświetlenia pokoju przy obliczaniu prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej.

Przeprowadzane obliczenia dostarczają wyników, które należy weryfikować według kryteriów oceny jakości, często nazywanych funkcjami oceny jakości. Każdy rozwiązywany problem wymaga od badacza przedstawienia stosowanej funkcji jakości oraz zadowalającego progu, który osiągną wyniki, tak aby zagadnienie uznać za rozwiązane. Celem tych działań jest miarodajność oraz porównywalność wyników. Z punktu widzenia problemów rozmieszczenia terenu podstawowymi kryteriami oceny jakości znalezionych rozwiązań są:

- największe pokrycie terenu,
- zaspokojenie potrzeb użytkowników,
- połączenie powyższych.

Jeśli chodzi o rozmieszczanie nadajników, najczęściej wybierane jest pierwsze kryterium. Zadaniem terytorium mogą być obszary miejskie wymagające dostępu do sieci bezprzewodowej z określoną minimalną siłą sygnału, np. na poziomie 30%. Rozwiązaniem będzie mapa rozmieszczenia punktów dostępowych w taki sposób, aby zachować złożenia wstępne oraz uwzględnić budynki i elementy terenu wpływające na rozchodzenie się fal elektromagnetycznych. Powyższe kryteria można z łatwością zastosować do podobnych zagadnień, jak np. problem rozmieszczenia szpitali na terenie miejskim. Kryterium oceniającym może być połączenie największego pokrycia terenu oraz zaspokojenie potrzeb użytkowników. Potrzebą z punktu widzenia użytkownika może być zachowanie minimalnego czasu przejazdu karetki. Stosowane w artykule algorytmy, kryteria oraz sposoby redukcji obliczeń z powodzeniem można aplikować do badań oraz prac niekoniecznie związanych z informatyką.

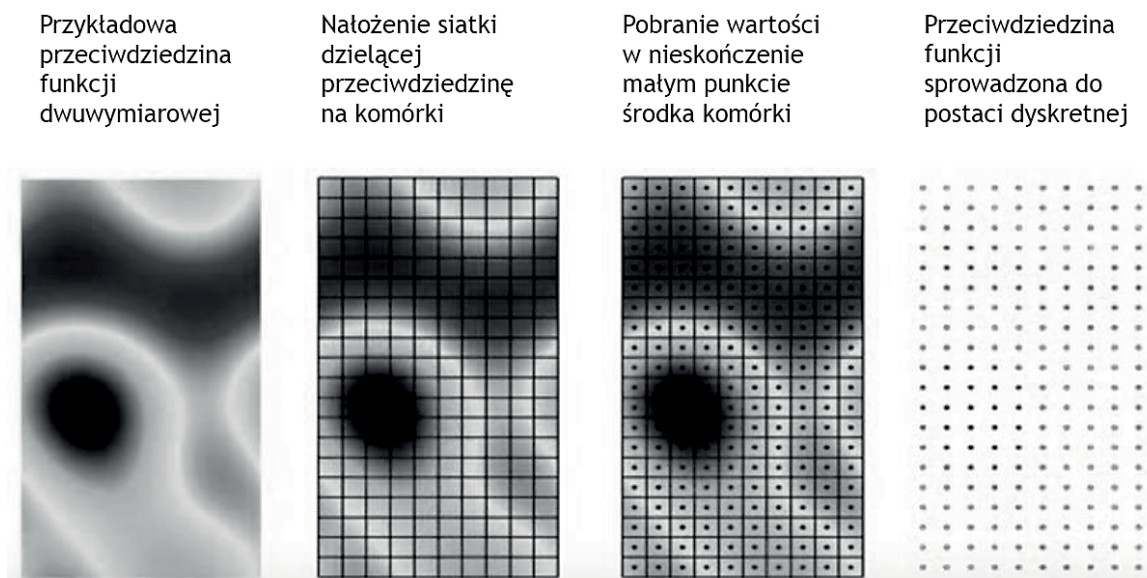
3. Model rzeczywistości dla problemu rozmieszczenia

3.1. Wybrane zjawiska fizyczne

Do badań użyto modelu odzwierciedlającego sytuację z rzeczywistości [2, 3]. Wybrano zestaw czynników oraz cech kluczowych dla rozchodzenia się fali. Pierwszym czynnikiem jest interferencja; termin ten odnosi się do sytuacji, w której co najmniej dwie fale nakładają się w przestrzeni. W opisie zjawiska interferencji stosujemy zasadę superpozycji liniowej. Drugim czynnikiem jest dyfrakcja występująca na krawędziach przeszkody, jaką napotyka fala na swej drodze. Dla ułatwienia modelu zostało przyjęte uproszczenie zgodne z zasadą Huygensa. Każdy punkt frontu falowego może być rozważany jako źródło wtórnych małych fal kulistych rozchodzących się we wszystkich kierunkach. Trzecim czynnikiem jest refrakcja będąca zmianą kierunku rozchodzenia się fali elektromagnetycznej. Zjawisko występuje w momencie przejścia między ośrodkami fizycznymi (np. powietrze – ściana betonowa), zmiana prędkości wiąże się ze zmianą długości fali, podczas gdy częstotliwość pozostaje stała.

3.2. Reprezentacja fali elektromagnetycznej

Z fizycznego punktu widzenia fale sieci bezprzewodowej mają charakter ciągły [4, 5]. Ciągła charakterystyka problemu prowadziłaby do znacznego skomplikowania modelu. Sprowadzenie przeciwdziedziny funkcji do postaci dyskretnej można przeprowadzić za pomocą metody różnic skończonych.



Rys. 1. Dyskretyzacja przeciwdziedziny funkcji dwuwymiarowej

Fig. 1. Domain discretization of two-dimensional function

Źródło: Opracowanie własne.

W badaniach zostały zastosowane algorytmy typu wave front [2], badające tylko zmiany modelu wynikające z przemieszczania się czoła fali. W badanym problemie dla badaczy nieinteresujące są zjawiska, jakie występują za czołem fali. Tak przyjęte założenia pozwalają na ograniczenie się tylko do czynników istotnych dla problemu.

4. Wybrane algorytmy heurystyki

Poniżej omówiono znane algorytmy i heurystyki stosowane we współczesnej informatyce [6-8]. Każdy z algorytmów ma wady i zalety, które wpływają na wybór przy wykorzystaniu w przypadku danego problemu. Informacją niezbędną w pracy z algorytmami jest znajomość ich złożoności obliczeniowej, sposobów adaptacji algorytmów do rodzaju zadania oraz – co często stanowi o efektywnym uzyskiwaniu wyników – jakie algorytmy warto ze sobą łączyć.

4.1. Algorytmy genetyczne

W przypadku zagadnień NP-zupełnych, takich jak np. problem komiwojażera czy problem pokrycia, zastosowanie znajdują algorytmy genetyczne. Algorytmy te inspirowane są naturą, gdzie większość problemów rozwiązywana jest przez dopasowanie się środowiska, a tym samym spełnienie warunków (w przypadku efektywnego rozmieszczenia nadajników warunkiem jest funkcja oceny jakości). Idea w połowie XX wieku została uznana za jedną z podstaw tworzenia tak zwanej sztucznej inteligencji. Algorytmy genetyczne wciąż

stanowią przedmiot wielu badań. Zasada działania algorytmu nie jest tematem niniejszego artykułu, materiały dotyczące tego zagadnienia są ogólnodostępne w sieci Internet.

Wykorzystanie algorytmów genetycznych przy rozwiązywaniu problemów pokrycia ma następujące:

zalety:

- z punktu widzenia złożoności problemu metoda jest szybka,
- algorytm ma szerokie możliwości konfiguracji, stosując różne operatory krzyżowania oraz mutacji, można dostosować pracę do specyfiki problemu i uzyskać lepsze wyniki,
- algorytm zapewnia satysfakcjonujące rozwiązanie nawet dla zaszumionej optymalizowanej funkcji,
- algorytm nie zatrzymuje się w ekstremach lokalnych funkcji,
- metoda jest uniwersalna i można ją stosować dla różnych modeli;

oraz wady:

- algorytmy genetyczne nie gwarantują rozwiązania optymalnego. Istotne jest, że najczęściej nie wpływa to na zadowolenie odbiorcy (rozwiązanie spełnia wymagania podstawowe, np. minimalny poziom zasięgu 30%, pokryty teren dla rozwiązania nieoptymalnego jest nieznacznie mniejszy od optymalnego),
- wymaga doświadczenia przy dobieraniu nastaw pracy algorytmu oraz operatorów.

4.2. Programowanie dynamiczne oraz algorytm zachłanny

Podejście przeciwne do algorytmów genetycznych stanowi programowanie dynamiczne. Opiera się na podziale rozwiązywanego problemu na podproblemy względem kilku parametrów. W odróżnieniu od techniki dziel i zwyciężaj podproblemy w programowaniu dynamicznym nie są rozłączne, ale musi je cechować własność optymalnej podstruktury. W każdym kroku podejmowane są decyzje, który wybór zależy od rozwiązań podproblemów. Zastosowanie techniki programowania dynamicznego w zadanym problemie cechuje się bardzo wysoką konsumpcją pamięci. Zużycie pamięci wynika z konieczności przechowywania drzewa możliwych stanów (przez stan rozumiane jest przykładowe rozmieszczenie nadajników na mapie), zastosowanie tej techniki jest niemożliwe dla dużych modeli. Zaletą programowania dynamicznego jest doprowadzenie do optymalnego wyniku.

W przypadku algorytmu zachłannego wybory dotyczące możliwych stanów podejmowane są jako najlepsze w danej chwili, co prowadzi do ponownego przeszukiwania stanów, które z perspektywy czasu uznane są za niesatysfakcjonujące.

4.3. Zastosowanie algorytmów w praktyce

Podstawowym problemem wynikającym z zagadnienia rozmieszczenia jest złożoność obliczeniowa, określana jako NP-zupełna, w praktyce jednak znaczącymi problemami są

wynikający z modelu długi czas oczekiwania na wynik oraz złożoność pamięciowa. W zależności od zastosowanych nastaw programu oraz niewielkiej skali zagadnienia czas potrzebny na uzyskanie wyników może wynosić kilkanaście godzin. Skuteczne rozmieszczanie punktów dostępowych przy uwzględnieniu bardzo dużej skali zagadnienia może prowadzić do nieakceptowalnie długiego oczekiwania na wynik obliczeń. Rozwiązaniem pozwalającym na znaczne skrócenie obliczeń jest ich częściowa redukcja, co przekłada się na skrócenie czasu. Rezultatem zastosowanych rozwiązań jest możliwość wykorzystania bardziej dokładnego modelu, co bezpośrednio przekłada się na podwyższenie jakości otrzymanych wyników.

5. Sposoby redukcji obliczeń

Redukowaniem obliczeń możemy nazwać sytuację, w której zmniejszamy liczbę operacji koniecznych do wykonania w celu uzyskania wyniku. Z punktu widzenia badacza możemy podzielić redukcję obliczeń na stratną oraz bezstratną.

5.1. Macierz odniesień

Przykładem redukcji bezstratnej jest macierz odniesień [6], czyli zabieg programistyczny pozwalający w czasie pracy programu zapisywać wyniki wyliczonych podproblemów w taki sposób, aby nie powtarzać obliczeń, gdy zostanie wywołana funkcja z identycznymi parametrami. Wspomnianą sytuację można przedstawić na przykładzie.

Podczas wyliczania wartości funkcji oceny dla problemu rozmieszczenia 3 nadajników i 2 odbiorców zostały zaproponowane następujące hipotetyczne lokalizacje, wraz z siłą sygnału przedstawioną procentowo. Ukazuje to tabela 1.

Tabela 1

Siła sygnału dla pierwszego rozmieszczenia nadajników

Nazwa nadajnika	Lokalizacja nadajnika		Siła sygnału odbiorca 1	Siła sygnału odbiorca 2
Nadajnik_1	10	2	15%	38%
Nadajnik_2	5	2	13%	6%
Nadajnik_3	3	8	22%	23%

Zródło: Opracowanie własne.

Dla zaproponowanych lokalizacji zostały sprawdzone podstawowe założenia. Lokalizacje zostały odrzucone przez niespełnienie wymagań minimalnych (siła sygnału odbiorcy

pierwszego nie przekroczyła 30%). Wyliczone wartości zostają zapamiętane w macierzy odniesień. Zgodnie z przyjętym dowolnym algorytmem obliczenia są ponawiane dla nowych propozycji lokalizacji, co przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Siła sygnału dla drugiej próby rozmieszczenia nadajników

Nazwa nadajnika	Lokalizacja nadajnika		Siła sygnału odbiorca_1	Siła sygnału odbiorca_2
Nadajnik_1	10	2	15%	38%
Nadajnik_2	0	1	42%	2%
Nadajnik_3	3	8	22%	23%

Źródło: Opracowanie własne.

Nadajniki pierwszy oraz trzeci nie zmieniły swojego położenia, przez co siła sygnału dla poszczególnych odbiorców nie wymagała przeliczenia, pobrane zostały z macierzy odniesień (wartości pogrubione). Następuje przerwanie obliczeń i koniec pracy programu, ponieważ każdy z odbiorców ma dostęp do sieci na poziomie 30%.

5.2. Interpolacja

Jednym z przykładów na stratną redukcję wykonywanych obliczeń jest interpolacja części obliczeń [9]. Przy ciągłości zjawisk fizycznych, a w tym ciągłości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej oraz przy rozchodzeniu się koncentrycznym, począwszy od źródła, przybliżona wartość siły sygnału w punkcie B jest wartością średnią siły sygnałów w punktach A i C. Następujące założenie można przyjąć, jeżeli badany punkt B jest współliniowy wraz z punktami A i C oraz znajduje się w równej odległości od nich. Przy wyznaczaniu siły sygnału co 45°, rozpoczynając od nadajnika, uzyskujemy dokładne wartości, które posłużą do interpolacji.

Tabela 3

Tabela siły sygnału przed interpolacją

	65%							30%
	70%						40%	
	75%					50%		
	80%				60%			
	85%			70%				
	90%		80%					
90%	95%	90%						
95%	Nadajnik	95%	90%	75%	70%	65%	60%	55%

Źródło: Opracowanie własne.

Siła sygnału w elementach siatki (tabele 3 i 4) może zostać uzyskana za pomocą interpolacji. Znaczny spadek siły sygnału znajdujący się na prawo od nadajnika pomiędzy 90% a 75% może wynikać z przeszkody terenu.

Tabela 4

Tabela siły sygnału po interpolacji

60%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%
65%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	33,6%
70%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	43,3%	37,2%
75%	80%	75%	70%	65%	60%	53%	46,6%	40,8%
80%	85%	80%	75%	70%	62,5%	56%	49,9%	44,4%
85%	90%	85%	80%	71,6%	65%	59%	53,3%	48%
90%	95%	90%	85%	73,3%	67,5%	62%	56,6%	51,6%
95%	Nadajnik	95%	90%	75%	70%	65%	60%	55%

Źródło: Opracowanie własne.

Brakujące wartości siły sygnału zostały wyliczone za pomocą interpolacji.

6. Podsumowanie

Kluczowe strategie podejmowane podczas rozmieszczania nadajników w sieciach bezprzewodowych polegają na opracowaniu adekwatnego modelu rzeczywistości. Model powinien być na tyle prosty, aby umożliwić szybką pracę programu, a jednocześnie na tyle zgodny z rzeczywistością, aby oddawać jej charakter w kwestiach kluczowych.

Podczas badania różnych algorytmów i heurystyk najlepsze wyniki zostały uzyskane dla metod dopasowanych do charakterystyki problemu; na przykładzie algorytmu genetycznego należy użyć „nieślepych” operatorów mutacji oraz krzyżowania.

Dzięki użyciu modeli o większej skali można otrzymać dokładniejsze wyniki. Zwiększenie stopnia zaawansowania wymaga więcej obliczeń, co przekłada się na zwiększenie czasu i zasobów potrzebnych na wypracowanie wyniku. Koszty można redukować, stosując interpolację oraz macierz odniesień.

Przedmiotem dalszych badań mogą być kolejne metody redukcji obliczeń.

Bibliografia

1. Adward L.: A Study of Routing Algorithms in Wireless Mesh Networks. *British Journal of Science*, vol. 1, No. 1, September 2011.
2. Hugh D.Y. and others: *Sears and Zamansky's University Physics – With Modern Physics*. 13th Edition, Pearson International, 2008.
3. Hodgeson M.J., Whelan P.M.: *Essential Principles of Physics*. 2nd Edition, John Murray, 1978.
4. Michał W.: Zastosowanie metod projekcji w algorytmach różnicowych elektrodynamiki obliczeniowej. *Rozprawa Doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2006*.
5. Grossman C.: *Numerical Treatment of Partial Differential Equations*. Springer Science & Business Media, 2015.
6. Michalewicz Z.: *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2003.
7. Markowska-Kaczmar U., Kwaśnicka H.: *Metaheurystyki inspirowane naturą w zastosowaniach*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
8. Flasiński M.: *Wstęp do sztucznej inteligencji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
9. Fortuna Z., Macukow B., Wąskowski J.: *Metody numeryczne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.

Abstract

Effective location of transmitters in wireless network constitutes one of the particular cases concerning problem of location in general. Modern Information Technology according to plan of location must meet requirements set by recipients remembering about technological constraints. Effective research requires creation of a model which concentrates on, characteristic of electromagnetic wave, physical phenomena such as: interference, refraction or diffraction. Using latest algorithms it is important to remember about the computational and space complexity which influence time in which the researcher will receive the results. It is possible to reduce the amount of calculations using matrices of references and matrices of interpolation what significantly accelerates the process and improves quality of obtained results.