

# ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH DO OPTIMALIZACJI ROZMIESZCZENIA MOBILNYCH ROUTERÓW

Radomir Rozwadowski, Denis Goździk

rrozwadowski@gmail.com  
denisgozdzik@hotmail.com

**Streszczenie:** *Algorytmy genetyczne są wykorzystywane w szerokim spektrum ludzkiego dążenia do optymalizacji życia codziennego, są krokiem milowym dla całej gałęzi wiedzy określanej mianem sztucznej inteligencji. Został stworzony program optymalizujący, pod względem dostępnego zasięgu użytkowników, rozmieszczenie wielu mobilnych routerów w budynku, aplikacja biorąca pod uwagę rozmieszczenie ścian i użytkowników.*

**Słowa kluczowe:** *Sztuczna inteligencja, algorytmy genetyczne, optymalizacja rozmieszczenia routerów, C++*

## 1. WSTĘP

Wraz z postępowaniem internet stał się tak popularny, że dostęp do niego zapewnia się niemal wszędzie. Do tego celu buduje się sieci bezprzewodowe w taki sposób, aby maksymalnie wykorzystać możliwości routera i moc sygnału, która w tym przypadku jest kluczowa. Dynamiczna zmiana ustawień urządzeń generujących ruch w sieci w zależności od jego natężenia w danym punkcie oraz szukanie optymalnych dróg pomiędzy danymi węzłami stwarza szansę na jeszcze lepszą efektywność danej sieci.

## 2. KOMUNIKACJA PUNKT – PUNKT ORAZ PUNKT – GRUPA

Najbardziej rozpowszechnionym i podstawowym typem komunikacji pomiędzy dwoma węzłami sieci jest komunikacja oparta na transmisji jednostkowej. Jest to zwykła komunikacja między dwoma hostami zarówno w sieci klient – serwer jak i w sieci komputerów równorzędnych. Dzięki temu mamy zapewnioną kontrolę połączenia i retransmisję błędnych lub utraconych pakietów. Jednak mnóstwo aplikacji wykorzystuje w danym połączeniu więcej niż jednego odbiorcę. Korzystamy więc z rozwiązań:

- punkt –punkt dla poszczególnych odbiorców,

- punkt – grupa (ang. multicast).

Dla modelu punkt - punkt, nadawca wysłał kopię pakietów do odbiorcy. Liczba podłączonych odbiorców jest ograniczona przepływnością na łączu nadawcy. Pomimo tego, że pakiety, aż do ostatniego routera, podróżują tą samą drogą, są wysyłane jako oddzielne strumienie. Gdy host źródłowy chce wysłać pakiet do grupy hostów korzystając z transmisji jednostkowej, musi do każdego z nich wysłać osobny, odpowiednio zaadresowany pakiet.

Model punkt – grupa został opracowany z myślą o oszczędzaniu szerokości pasma. Jest to istotnie ograniczenie ruchu w sieci, ponieważ pozwala hostowi wysłać pakiety do wybranej grupy hostów.. Pakiety są replikowane dopiero wtedy, kiedy rzeczywiście zaistnieje taka potrzeba, dzięki czemu rezygnujemy z równoległej transmisji tych samych danych.

## 3. TRANSMISJA GRUPOWA

Na tle powyższych informacji dowiadujemy się, że korzystając z transmisji grupowej (ang. multicast) host źródłowy może wysłać jeden pakiet, który dotrze do setek hostów docelowych. Czyli multicast to nic innego jak rozwiązanie pozwalającego na równoległe przesyłanie danych w sieci od węzła nadawczego do grupy węzłów

odbiorczych, w którym rozgałęzienia pakietów następują tylko w tych węzłach, które prowadzą bezpośrednio do sieci z odbiorcami.(3)

Istotnym problemem stojącym na przeszkodzie w użytkowaniu tego rozwiązania jest konieczność stosowania specjalizowanych rozwiązań wyznaczających drzewo o minimalnym koszcie między węzłem nadawczym, a poszczególnymi węzłami odbiorczymi.(4)

W procesie optymalizacji można wyróżnić dwa rodzaje drzew:

1. drzewo najkrótszych ścieżek (ang. Shortest Path Tree),
2. minimalne drzewo Steinera (ang. Minimum Steiner Tree),

Algorytmy budowania drzewa najkrótszych ścieżek polegają na zmniejszaniu kosztu poszczególnych ścieżek rozpoczynających się w węźle początkowym, a kończących się w węzłach odbiorczych. Do wyznaczania składowych dróg tworzących takiego rodzaju drzewo stosuje się w ogólności:

3. algorytm Dijkstry,
4. algorytm Bellmana-Forda

#### 4. PROPAGACJA I INTERFERENCJE FAL

Na specyfikę propagacji fal w środowisku wewnątrzbudynkowym składa się przede wszystkim to, że teren jest zamknięty i ogrodzony ścianami, ponadto w pomieszczeniu znajdują się ludzie oraz czasem wiele sprzętu i maszyn. Dochodzi więc do wielu niepożądanych zjawisk: tłumienie fali, która przenika przez ściany i stropy, wszelkiego rodzaju odbicia. Ciekawym zjawiskiem jest tunelowanie – wielokrotne odbicia fal od ścian (najczęściej w długim korytarzu), które może zwiększyć zasięg sieci, ale także może dojść do zjawiska wielodrogowości, powodującego zakłócenia (Inter-Symbol-Interference). W związku z tym konstruując sieć bezprzewodową trzeba posiadać dokładne wymiary i położenie pomieszczeń oraz znać materiał, z którego wykonane są ściany i stropy. Dlatego powstało pojęcie bilansu energetycznego.(5)

Wyznaczanie tłumienia fali radiowej jest rzeczą złożoną, dlatego warto korzystać w tym przypadku z modeli propagacyjnych.

Model propagacyjny to inaczej pewien matematyczny wzór, który z pewnym przybliżeniem opisuje propagację fal radiowych biorąc pod uwagę takie czynniki jak częstotliwość, odległość czy położenie anteny.

#### 4.1. Tłumienie swobodnej przestrzeni

Ten model odnosi się do projektowania sieci bezprzewodowych w hali lub po prostu w jednym pomieszczeniu i jest funkcją dwóch zmiennych: odległości i częstotliwości.

$$L = 27,55 + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10}(d)$$

gdzie:

L – tłumienie swobodnej przestrzeni [dB],

f – częstotliwość pracy systemu [MHz],

d – odległość pomiędzy antenami [m].

#### 4.2. Model organizacji ITU-R P.1238

Model stworzony przez ITU-R, który bierze pod uwagę częstotliwość, odległość oraz tłumienie przeszkód – podstawowe czynniki propagacyjne, które mają znaczny wpływ na tłumienie fali wewnątrz budynków. I tak postać równania jest następująca:

$$L = 20x \log(f) + Nx \log(d) + Lf(n) - 28$$

gdzie:

L – tłumienie propagacyjne pomiędzy antenami [dB],

f – częstotliwość pracy systemu [MHz],

N – odległościowy współczynnik tłumienia,

d – odległość pomiędzy antenami [m] ( $d > 1$  m),

Lf – współczynnik tłumienia stropów [dB],

n – ilość pięter pomiędzy urządzeniami

#### 5. ALGORYTMY GENETYCZNE

Algorytmy genetyczne są wzorowane na mechanizmach mających miejsce w przyrodzie. Poszukiwania, w których biorą udział algorytmy genetyczne są zależne od doboru naturalnego i dziedziczności. Dobór naturalny poprzez mechanizm selekcji pozwala wybrać do dalszego krzyżowania osobniki najlepiej przystosowane – najbliższe rozwiązaniu idealnemu. Dziedziczność poprzez krzyżowanie osobników z tzw. puli rodzicielskiej dostarcza kolejne pokolenia osobników- potomków, wśród których poszukiwane jest rozwiązanie. Krzyżowane polega na przekazaniu potomkom odcinków chromosomów osobników rodzicielskich. Istotna jest również mutacja mająca odzwierciedlenie w prawach przyrody. Pozwala ona na wprowadzenie pożądanego genu do populacji, gdy takowe nie zostały zainicjowane w populacji początkowej bądź zostały usunięte w procesie selekcji, zamaskowane przeważającą ilością genów niepożądanych. W przypadku

większości algorytmów genetycznych wykorzystuje się system binarny zapisu liczb. Ułatwia to znacznie krzyżowanie osobników oraz mutowanie genów.

### 5.1. Selekcja

Selekcja jest to proces wyboru najlepiej przystosowanych osobników, biorących udział w dalszym krzyżowaniu. Obrazuje to prawa natury gdzie najsilniejszy, najlepiej dostosowany osobnik ma większe szanse przetrwać i przekazać swoje cechy większej liczbie potomstwa niż osobnik gorzej dostosowany. Istnieje wiele metod selekcji. Wybór metody jest istotny dla szybkości działania całego algorytmu jak i osiągnięcia zbieżności rozwiązań. W przypadku poszukiwania rozwiązania na przestrzeni funkcji unimodalnej dobrze spisują się metody selekcji kładące większy nacisk selektywny – na przykład selekcja progowa z ustawionym progiem blisko czoła rankingu. W przypadku funkcji multimodalnych lepiej spisują się metody selekcji kładące mniejszy nacisk selektywny za to skupiające się na zróżnicowaniu genetycznym całej populacji.

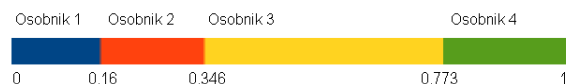
Istnieje kilka głównych metod selekcji:

- metoda koła ruletki,
- metoda rankingowa,
- metoda turniejowa.

#### 5.1.1. Metoda koła ruletki

Najpopularniejszą metodą selekcji jest metoda koła ruletki. Zakłada ona, że najbardziej przystosowany osobnik ma największe szanse wzięcia udziału w krzyżowaniu aczkolwiek nie odrzuca ona udziału osobników mniej przystosowanych. Jej wadą jest to, że najbardziej przystosowany osobnik nie musi zostać wylosowany do dalszego krzyżowania. Jej zaletą jest to, że nie odrzuca osobników mniej przystosowanych, które mogą posiadać w swoim genotypie pożądane geny. Tworzone jest koło podzielone na wycinki o różnych rozmiarach. Każdy osobnik otrzymuje wycinek o rozmiarze wprost proporcjonalnym do jego jakości wyrażonej liczbowo poprzez funkcję przystosowania. Następnie losowany jest punkt na okręgu, w zależności od wycinka którego osobnika owy punkt został wylosowany – dany osobnik będzie brał udział w dalszym krzyżowaniu. Prawdopodobieństwo wylosowania danego osobnika można policzyć.  $F(i)$  – wartość funkcji przystosowania  $i$ -tego osobnika,  $p(i)$  – prawdopodobieństwo wylosowania  $i$ -tego osobnika,  $n$  – ilość osobników

$$p(i) = F(i) / \sum F(j) \text{ dla } j = [1, n]$$



Rysunek. 1 Graficzne przedstawienie zmodyfikowanej metody koła ruletki [źródło: własne]

Każdy osobnik jest reprezentowany przez przedział długości odpowiadającej wartości wyliczonej przez funkcję przystosowania. Losując następnie liczbę z przedziału  $[0,1]$  do dalszego krzyżowania bierzemy tego osobnika na którego przedział trafiliśmy.(1)

#### 5.1.2. Metoda selekcji progowej

Selekcja progowa zwana też metodą współczynnika przepełnienia jest wyjątkowym przypadkiem selekcji rankingowej. Po określeniu kolejności w rankingu – rangi, osobniki znajdujące się ponad progiem mają pewność wzięcia udziału w dalszym krzyżowaniu. Wiąże się to z możliwością starowania naciskiem selektywnym w selekcji progowej. Przyjmując próg bliżej początku rankingu zwiększamy nacisk selektywny zaś przesuwając w stronę końca rankingu zmniejszamy go zwiększając różnorodność genetyczną. Sterowanie progiem jest możliwe w czasie działania algorytmu genetycznego zatem możliwe jest początkowe położenie nacisku na różnorodność – zaś później na selektywność.(6)

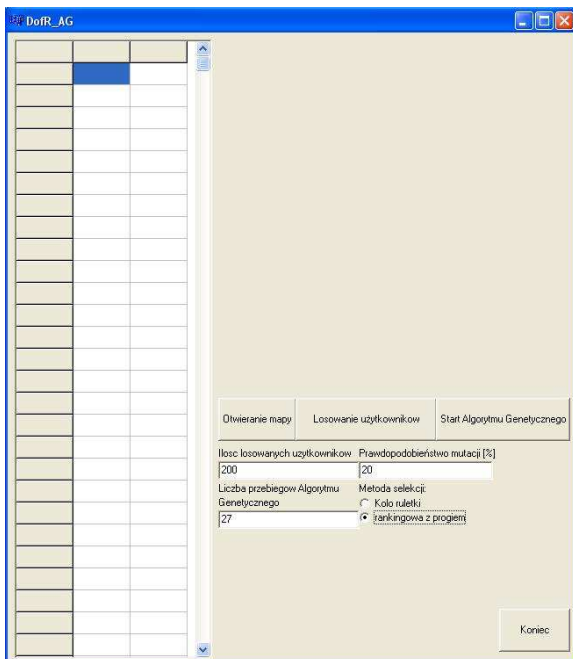
### 5.2. Krzyżowanie

Krzyżowanie równomierne polega na przekazaniu potomkowi pierwszemu wylosowanych genów rodzica pierwszego – i dopełnieniu chromosomu genami rodzica drugiego z zachowaniem locus genów. Najczęstszym sposobem jest losowanie parametru krzyżowania  $p$  z indeksem  $e$  dla każdej pozycji locus. Gdy  $p_e$  losowane z przedziału  $[0,1]$  jest mniejsze lub równe  $0,5$  potomek pierwszy przyjmuje wartość genu chromosomu rodzica pierwszego z locus o numerze  $e$  na pozycji locus= $e$ , gdy  $p_e$  jest większe od  $0,5$  potomek pierwszy przyjmuje gen od rodzica drugiego z pozycji locus= $e$  Potomek drugi budowany jest z niewykorzystanych genów rodziców z zachowaniem locus.(2)

## 6. IMPLEMENTACJA W JĘZYKU C++

Aplikacja DofR\_AG została stworzona w celu optymalizacji rozmieszczenia routerów znajdujących się w

budynku. W aplikacji zostały wykorzystane algorytmy genetyczne. Wykorzystano strukturę binarną do zapisu chromosomów osobników. Zastosowano operatory selekcji: metody koła ruletki oraz metody selekcji progowej, wykorzystano operator krzyżowania równomiernego oraz operator mutacji probabilistycznej. Do napisania aplikacji wykorzystano oprogramowanie Borland C++ Builder w wersji 6.



Rysunek. 3 Wygląd aplikacji [źródło: własne]

W aplikacji DofR\_AG wykorzystywane są mapy przedstawiające obraz budynku 2D. W plikach tych zawarte są współrzędne położenia ścian budynku oraz szyny po których, poruszają się routery. Zapis współrzędnych położenia ścian i współrzędne szyn routerów poprzedza liczba określająca ich ilość. Jest możliwość przygotowania innych map – scenariuszy, dostosowanych do indywidualnych potrzeb użytkownika.

Do działania aplikacji potrzebne jest wczytanie uprzednio wybranej mapy rozmieszczenia ścian i szyn routerów.

```
int** CoordinatesOfFile =  
data_map( (OpenDialog1>FileName).c_str() );
```

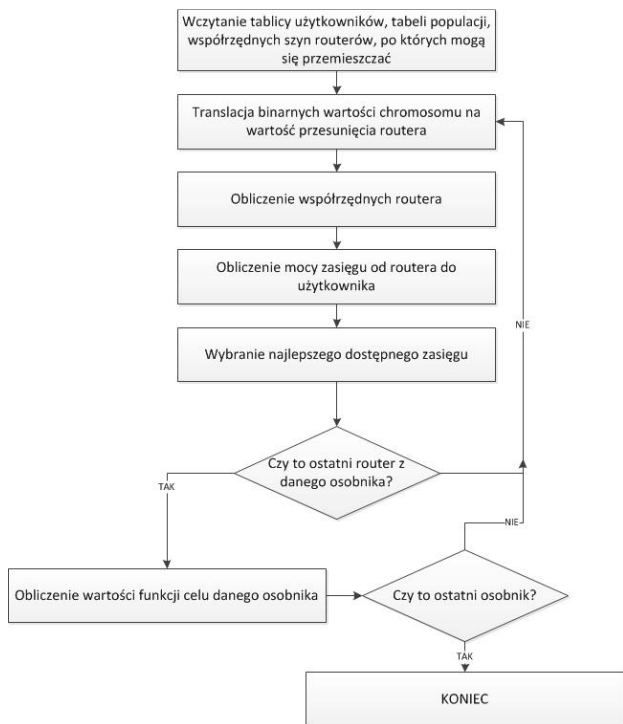
Funkcja *data\_map* zwraca do tablicy *CoordinatesOfFile* zarysy ścian oraz zarysy szyn routerów.

```
for (int i=0; i<NumberOfWall; i++)
```

```
{  
for (int k=0; k<4; k++)  
Walls[k]=0;  
int j;  
for(j=0; j<4; j++)  
{  
nr = nr + 1;  
do  
{  
Walls[j] =Walls[j] *10+data[nr]-'0';  
nr = nr + 1;  
}  
while(data[nr]!=':');  
}
```

Powyższy fragment kodu ilustruje pobieranie współrzędnych ścian do zmiennej tablicowej *Walls*. Wcześniej zawartość pliku mapy została zapisana do zmiennej tablicowej *data*, ilość ścian została umieszczona w zmiennej *NumberOfWall*. Podobnie postępuje się w przypadku odczytywania współrzędnych szyn routerów.

```
int V_X=Walls[2]-Walls[0];  
int V_Y=Walls[3]-Walls[1];  
double VXY=0,VYX=0;  
if(V_X!=0 && V_Y!=0)  
{  
int x=0,y=0;  
VXY=(double)V_X/(double)V_Y;  
VYX=(double)V_Y/(double)V_X;  
if(VXY<VYX)  
{  
for(int i=Walls[1]; i<=Walls[3]; i++)  
{  
x = Walls[0]+(i*VXY);  
tab[x][i]=1;  
}  
}
```

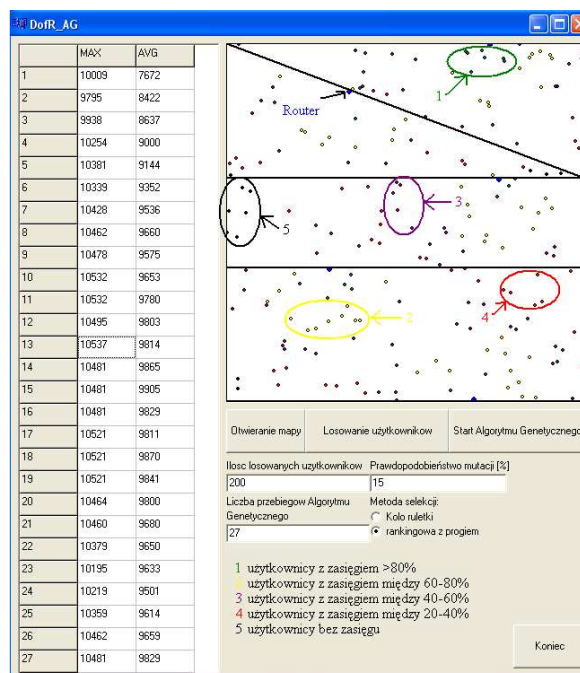


**Rysunek. 4** Schemat blokowy przedstawiający obliczanie funkcji celu [źródło: własne]

Największą część całej aplikacji stanowi funkcja *FitF* w klasie *F\_Adaptation*. Oblicza ona funkcję przystosowania osobników. Wartością funkcji przystosowania osobnika jest suma sił sygnałów użytkowników wyrażonych w procentach, przy czym sygnał słabszy niż 20% nie jest liczony (przyjmuje się, że użytkownik nie ma żadnego zasięgu). Obliczając siłę sygnału bierze się pod uwagę odległość użytkownika od routera oraz przeszkody w postaci ścian.

Wynikami pracy aplikacji są optymalne współrzędne rozmieszczenia routerów w budynku. Aplikacja pozwala na wyświetlenie najlepszych osobników ze wszystkich populacji budowanych przy każdym przebiegu algorytmu genetycznego. Dostęp do innego rozmieszczenia użytkowników i routerów niż ostatnie – z ostatniego przebiegu algorytmu genetycznego odbywa się poprzez kliknięcie na wiersz odpowiadający danemu przebiegowi w tabeli po lewej stronie. Na wyniki składa się również wizualne przedstawienie sił zasięgów przypadających na każdego użytkownika. Siłę zasięgu pokazano za pomocą koloru punktów (użytkowników). W tabeli zajmującej lewą stronę okna aplikacji w pierwszej kolumnie znajdują się

numery przebiegów pracy algorytmu. W drugiej kolumnie zapisany jest wynik funkcji przystosowania najlepszego osobnika w danej populacji. Trzecia kolumna zawiera wartość średnią funkcji celu wszystkich osobników budujących daną populację.



**Rysunek. 5** Przykładowa wizualizacja wyniku działania aplikacji [źródło: własne]

Powyższy Budynek zbudowany jest z 7 ścian, na 5 z nich położone są szyny po których mogą się przemieszczać routery. Wygenerowano 200 losowych użytkowników, wykonano 27 przebiegów algorytmu genetycznego z wykorzystaniem selekcji rankingowej z progiem i mutacji probabilistycznej z prawdopodobieństwem mutacji 15%. Zwizualizowano sytuację najlepszego osobnika z 13 przebiegu algorytmu genetycznego – jako najlepszego osobnika ze wszystkich przebiegów algorytmu genetycznego.

## 7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Algorytmy genetyczne doskonale sprawdziły się przy optymalizacji rozmieszczenia mobilnych routerów. Jednak aby aplikacja rzeczywiście nadawała się do ułatwiania

pracy i projektowania takich bezprzewodowych sieci należy wprowadzić jeszcze sporo usprawnień. Przede wszystkim w przyszłości należałoby popracować nad wprowadzeniem algorytmu rzeczywistej propagacji fali. Jest to o tyle ważne, że mamy wielokrotnie do czynienia z budynkami, do których zbudowania zostały użyte różne materiały. Jest coraz więcej nowoczesnych rozwiązań wznoszenia nowych budynków, przede wszystkim centrów handlowych, parkingów, stacji benzynowych i bloków mieszkalnych i należałoby się zorientować, jak fala bezprzewodowa zachowuje się w odniesieniu do różnych, nowych rozwiązań architektonicznych. Jest dostęp do kilkunastu tabel, które określają przybliżony model propagacji w odniesieniu do najczęstszych i charakterystycznych rozwiązań. Natomiast na potrzeby rozwoju aplikacji DofR\_AG potrzebne jest przeprowadzenie dużej ilości testów i, w końcu, podjęcie próby implementacji wyszukanych rozwiązań.

Jest również pomysł popracowania nad implementacją większej ilości operatorów genetycznych. Równolegle do tego powstała idea wprowadzenia symulacji w zależności od wybranego rozwiązania. Założono, że będzie można wprowadzać dokładne wymiary pomieszczeń, skosy, załamania ścian w trudnych miejscach, wysokość, a także poszczególne piętra i ich ilość. Aplikacja może też znaleźć zastosowanie w małych sieciach ISP, gdzie szybkie sieci kablowe są jak na razie niedostępne.

## **Literatura**

1. Czerniak J., "Algorytmy genetyczne w praktyce", Software 2.0 Extra, Numer 10, Sztuczna inteligencja, 2004
2. Gwiazda T. D., "Algorytmy genetyczne", T. 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007
3. Piechowiak M., Zwierzykowski P., „Przegląd protokołów routingu multicast”, VIII Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, 2003
4. Piechowiak M., Zwierzykowski P., „Wpływ parametrów topologii sieci na efektywność algorytmów połączeń rozgałęźnych”, PWT, 2005
5. Ryszard J. Katulski, „Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej”, Wydanie I, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2009
6. Rutkowski L., "Metody i techniki sztucznej inteligencji", Wydawnictwo naukowe PWN, 2006

