

**Przykładowy Autor**

Informatyka, Przykładowy Kierunek  
grupa 2b

# Procesy doboru trasy przesyłania informacji

Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej  
XX listopad 20XX

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Urządzenia trasujące</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Klasyfikacja algorytmów trasowania</b>	<b>4</b>
3.1	Algorytmy statyczne i dynamiczne . . . . .	4
3.2	Algorytmy jednościeżkowe i wielościeżkowe. . . . .	5
3.3	Algorytmy płaskie i hierarchiczne . . . . .	5
3.4	Algorytmy trasowania z inteligencją stacji i routera . . . . .	6
3.5	Algorytmy trasowania wewnątrzdomenowe i międzydomenowe . . . . .	6
3.6	Algorytmy trasowania <i>link state</i> , <i>distance vector</i> i <i>path vector</i> . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Dynamiczne metody trasowania</b>	<b>6</b>
4.1	Algorytm trasowania oparty o wektor odległości . . . . .	6
4.1.1	Działanie algorytmu . . . . .	6
4.1.2	Metryki trasowania . . . . .	9
4.2	Algorytm trasowania oparty o stan linii . . . . .	11
4.3	Algorytm trasowania ścieżki . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>13</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>14</b>

# 1 Wstęp

Dobór trasy podróży – zagadnienie bardzo stare i bliskie codziennemu życiu, jest zagadnieniem niezwykle złożonym. Długość wybranej trasy, przechodzącej przez zadane punkty, decydując o kosztach transportu musiała od najdawniejszych czasów być poddawana analizie. Równie istotny był dobór trasy przesyłu poufnych informacji, który musiał uwzględniać względy bezpieczeństwa przy doborze trasy. Początki współczesnej inżynierii ruchu, opartej o matematyczną analizę problemu, głównie przy pomocy teorii grafów, sięgają co najmniej XVIII wieku. W 1736 roku, zainspirowany zagadką podróży przez mosty królewieckie Leonard Euler opublikował opis tej zagadki jako pierwszy posługując się analizą grafów. Rozwój badań nad tą teorią doprowadził do sformułowania podstaw, stosowanych dzisiaj do analizy doboru trasy.

Mechanizmy doboru trasy, będące wyzwaniem nawet w stosunkowo nieskomplikowanych zagadnieniach w sieciach transportowych, nabrał nowego znaczenia w czasie błyskawicznego rozwoju sieci telekomunikacyjnych. Metody stosowane w telefonii, oparte o manualne zestawianie połączeń w centralach telefonicznych okazały się niedostatecznie wydajne. Automatyzacja tej metody, będąca *de facto* trasowaniem statycznym, długo wydawała się spełniać to zadanie, nawet w początkach rozwoju sieci komputerowych. Wraz ze wzrostem zasięgu i popularności sieci i powstaniem Internetu także statyczna metoda okazała się niewystarczająca. Kierując ruch przez węzły sieci niezależnie od stanu sieci na trasie przesyłania informacji prowadziła do nierównomiernego obciążenia łączy oraz była mało odporna na awarie łączy. Tablice trasowania (*routingu*) wyznaczające ruch danych między węzłami w przypadku trasowania statycznego definiowane były przez administratora i mogły być dalekie od optymalnych, łatwo też mogły ulec dezaktualizacji. W związku z tym już podczas prac nad siecią ARPANet poddawano analizie i próbom dynamiczne metody trasowania, które pozwoliłyby lepiej wykorzystać infrastrukturę sieci do przesyłania informacji.

Niniejsza praca skupia się na dynamicznych algorytmach doboru trasy (*trasowania*), gdyż takie właśnie zdominowały współczesne sieci telekomunikacyjne. Część druga krótko przedstawia sposób działania urządzenia, dokonującego doboru trasy. W części trzeciej omówiona zostanie klasyfikacja algorytmów trasowania. W części czwartej przedstawione zostaną trzy podstawowe algorytmy trasowania. Pierwszy oparty jest o wektor odległości, którego długość określa się przy pomocy zaprezentowanych metryk odległości w sieciach. Wraz z drugim algorytmem opartym o stan linii, są podstawowymi algorytmami stosowanymi wewnątrz systemów autonomicznych sieci Internet (ang. *intradomain routing*). Trzeci z zaprezentowanych algorytmów to algorytm trasowania ścieżki (ang. *path vector routing protocol*), któ-

ry jest podstawowym systemem trasowania pomiędzy systemami autonomicznymi (ang. *interdomain routing*). W części piątej praca jest krótko podsumowana.

## 2 Urządzenia trasujące

Podstawowym urządzeniem pozwalającym na dobór trasy przesyłania informacji jest trasownik (ang. *router*). Urządzenie to pracuje w warstwie trzeciej modelu OSI. Służy on do łączenia różnych sieci komputerowych, posiada więc przynajmniej dwa protokoły sieciowe. Różnice między łączonymi sieciami mogą dotyczyć medium transmisyjnego, lub też adresacji sieci. Na podstawie informacji adresowych zawartych w przetwarzanych danych jest w stanie decydować, którym z interfejsów sieciowych powinny dane podążać dalej.

Do wyboru tras przesyłania informacji routery posługują się tablicami trasowania. Zawierają one informacje o sąsiadujących routerach i sieciach lokalnych i pozwalają dobrać optymalną trasę przesyłania informacji. W sieci Internet najczęściej trasowanie odbywa się przy pomocy protokołu IP, jednak istnieją routery obsługujące inne protokoły trasowane, takie jak np. IPX lub Appletalk.

Routery mogą być urządzeniami dedykowanymi tej funkcji, mogą także być komputerami ogólnego przeznaczenia, posiadającymi przynajmniej dwie karty sieciowe, wykonujące obowiązki routera. Ze względu na szybkość działania obecnych sieci najczęściej używa się urządzeń dedykowanych, które posiadają szybkie magistrale łączące interfejsy sieciowe, sprzętowe układy pakujące i rozpakowujące ramki warstwy drugiej i inne rozwiązania pozwalające przyspieszyć obsługę sieci.

Istotną zaletą routerów jest ich konfigurowalność, pozwalająca na filtrowanie danych, odrzucanie danych uszkodzonych i pozbawionych adresów, mogą także pełnić istotne funkcje bezpieczeństwa jako firewalle.

## 3 Klasyfikacja algorytmów trasowania

Ze względu na szybki rozwój sieci komputerowych powstały różne algorytmy trasowania. Różnice między nimi pozwalają nam klasyfikować je na różne sposoby. W bieżącym rozdziale prezentowane są różne kategorie, według których klasyfikuje się algorytmy trasowania, wraz z ich krótkim opisem.

### 3.1 Algorytmy statyczne i dynamiczne

Pierwszą, podstawową cechą mechanizmu doboru trasy jest to, czy trasa ta jest z góry ustalona w tablicy trasowania i stała w czasie funkcjonowania sieci. Jeżeli tak, to algorytm jest *trasowaniem statycznym*. Trasowanie statyczne posiada istotne wady.

Tablica zdefiniowana przez administratora może nie być optymalna. Ponadto w razie wystąpienia zmian w strukturze sieci może nie wykorzystywać nowych połączeń, powodując przeciążenie tych istniejących, może także próbować przesyłać informację drogami, które już nie istnieją lub uległy awarii. Zaletą jest brak konieczności nieustannego przeliczania tablic routingu oraz możliwość łatwego kontrolowania ruchu danych, co może być niezbędne z przyczyn bezpieczeństwa lub przyczyn ekonomicznych.

Trasy przesyłania danych mogą w danej sieci zmieniać się w czasie. Algorytmy, które pozwalają na aktualizację tras, w zależności od aktualnego stanu sieci nazywamy algorytmami *trasowania dynamicznego*. Szczegółowo omówione są w czwartej części pracy.

### 3.2 Algorytmy jednościeżkowe i wielościeżkowe.

Niektóre algorytmy doboru trasy umożliwiają wyznaczanie wielu ścieżek łączących źródło informacji ze stacją docelową. Rozwiązanie takie zwiększa odporność sieci na awarie. Niektóre z protokołów, jak na przykład OSPF, może bilansować obciążenie sieci przesyłając wszystkimi ścieżkami o takiej samej długości (w sensie metryki trasowania).

Algorytmy jednościeżkowe w danej chwili czasu oferują urządzeniu trasującemu (routerowi) tylko jedną ścieżkę dla danych. Ponieważ tablica trasowania może zmieniać się dynamicznie w czasie, to dane przesyłane pakietowo także w przypadku trasowania jednościeżkowego mogą być przesyłane różnymi drogami, jednak w razie awarii któregoś z elementów trasy stacja docelowa będzie nieosiągalna aż do czasu aktualizacji tablic routingu.

### 3.3 Algorytmy płaskie i hierarchiczne

Algorytmy mogą zakładać równorzędność routerów lub też ich shierarchizowaną strukturę. W przypadku struktury równorzędnej każdy router może pośredniczyć w przesyłaniu informacji między węzłami sieci, musi także posiadać tablice trasowania obejmujące wszystkie pozostałe routery.

Algorytmy hierarchiczne widzą sieć jako strukturę zhierarchizowaną. Dane krążą wewnątrz domeny, kierowane przez kontrolujący ją router, a jeżeli ich odbiorca znajduje się w innej domenie, router przekazuje dane routerowi sobie nadrzędnemu lub podrzędnemu. Rozwiązanie takie pozwala zmniejszyć rozmiar tablic routingu, a w sytuacji, gdy w sieci dominuje ruch wewnątrzdomenowy – zmniejsza także obciążenie w sieci. Wadą rozwiązania hierarchicznego jest poważny skutek awarii routera nadrzędnego oraz duże obciążenie połączeń między routerami nadrzędnymi w sytuacji, gdy w sieci dominuje ruch międzydomenowy.

### 3.4 Algorytmy trasowania z inteligencją stacji i routera

W niektórych algorytmach trasowania zakłada się, że stacja nadawcza będzie wyznaczać całą trasę. Trasowanie takie jest nazywane trasowaniem źródłowym (*source routing*). W systemach trasowania źródłowego routery pracują tylko jako urządzenia pośredniczące, przesyłając pakiety do następnego routera. Jest to tak zwane trasowanie z inteligencją stacji.

W innych algorytmach zakłada się, że stacje nie muszą nic wiedzieć o stacjach węzłowych (routerach). W tych wypadkach routery określają trasę w intersieci opierając się na własnych kalkulacjach. Trasowanie takie nazywamy trasowaniem z inteligencją routera.

### 3.5 Algorytmy trasowania wewnątrzdomenowe i międzydomenowe

Algorytmy trasowania mogą różnić się (i zwykle się różnią) w komunikacji wewnątrzdomenowej (ang. *interdomain*) i międzydomenowej (ang. *intradomain*). Pierwsze z nich operują tylko w obszarze konkretnej domeny, drugie – wyznaczają trasy między różnymi domenami. Wśród algorytmów wewnątrzdomenowych często spotyka się algorytmy oparte o wektor odległości (np. protokół RIP) lub o stan łącza (protokół IS-IS). Trasowaniu międzydomenowemu mogą służyć algorytmy wszystkich trzech dalej opisanych typów.

### 3.6 Algorytmy trasowania *link state*, *distance vector* i *path vector*.

Podstawowym zadaniem algorytmów trasowania jest znalezienie optymalnej trasy przesyłania informacji. Klasyfikuje się je więc także w oparciu o to, w jaki sposób uznają trasę za optymalną. W czasie ewolucji metod trasowania trzy stały się szczególnie popularne. Zagadnieniu temu poświęcona jest następna część pracy.

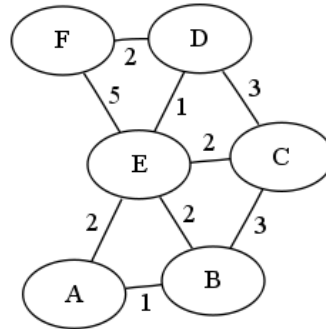
## 4 Dynamiczne metody trasowania

### 4.1 Algorytm trasowania oparty o wektor odległości

#### 4.1.1 Działanie algorytmu

Historycznie pierwsza metoda, spośród obecnie stosowanych do wybierania optymalnej trasy to metoda oparta o wektor odległości (*distance vector*). Optymalna trasa, wyznaczona tą metodą jest trasą, której długość jest najmniejsza. Długość wyznaczana jest przez odpowiednio dobraną *metrykę trasowania*.

Tablica trasowania w każdym routerze składa się z wektora par odległości do wszystkich pozostałych routerów i adresu sąsiada, przez którego ta najkrótsza trasa prowadzi. W chwili, gdy router otrzymuje dane zaadresowane do innego routera, w swojej tablicy trasowania odnajduje router docelowy i wysyła dane do sąsiada, przez którego prowadzi najbliższa trasa. Tabela 1 przedstawia tablice trasowania dla routerów z rysunku 1, przy wyłączonym routerze  $F$ . Tabele routingu wymieniane są pomiędzy sąsiadującymi routerami. Tabela 2 przedstawia tworzenie tablicy trasowania w routerze  $F$  po jego włączeniu. Wymiana tabel routingu tylko pomiędzy sąsiadami prowadzi do trudności, które stają się podstawowymi wadami algorytmu.



Rysunek 1: Topologia przykładowej, sześciowęzłowej sieci z trasowaniem algorytmem opartym o wektor odległości

węzeł docelowy	Tabela trasowania routera					
	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$
$A$	-	1, $A$	4, $B$	3, $E$	2, $A$	—
$B$	1, $B$	-	3, $B$	3, $E$	2, $B$	—
$C$	4, $B$	3, $C$	-	3, $C$	2, $C$	—
$D$	3, $E$	3, $E$	3, $D$	-	1, $D$	—
$E$	2, $E$	2, $E$	2, $E$	1, $E$	-	—
$F$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	—

Tabela 1: Tabela przedstawia tablice trasowania (długość najkrótszej trasy i kierunek do węzła docelowego) w sieci z rysunku 1, w sytuacji w której router  $F$  jest wyłączony.

Tabela 3 przedstawia stan tabel routingu w przykładowej sieci krótko po włączeniu routera  $F$ . W tym przypadku przekazywanie tylko pomiędzy sąsiadami jest niegroźne i prowadzi tylko do wysłania danych dłuższą trasą.

Łatwo skonstruować jednak sieć, w której problem powolnej propagacji tablic staje się poważny. Rysunek 2 prezentuje taką sieć.

Tabela 4 przedstawia sytuację w czasie kolejnych wymian tablic routingu po wyłączeniu routera  $A$ .

Widać, że zastosowany algorytm zawodzi – w chwilę po wyłączeniu routera  $A$  router  $B$  dostrzega, że trasa do  $A$  przez łącze  $B-A$  jest niemożliwa, ale otrzymu-

węzeł docelowy	tabela trasowania routera		odległość do $F$		Wybrana trasa
	$D$	$E$	przez $D$	przez $E$	
$A$	$3,E$	$2,A$	$2+3=5$	$5+2=7$	$5,D$
$B$	$3,E$	$2,B$	$2+3=5$	$5+2=7$	$5,D$
$C$	$3,C$	$2,C$	$2+3=5$	$5+2=7$	$5,D$
$D$	-	$1,D$	2	$5+1=6$	$2,D$
$E$	$1,E$	-	$2+1=3$	5	$3,D$

Tabela 2: Sytuacja zachodząca chwilę po włączeniu routera  $F$ . Oceniał on odległość do swoich sąsiadów  $D$  i  $E$  i otrzymał od nich ich tablice routingu (najkrótszą trasę i jej kierunek do węzłów docelowych). Na tej podstawie może stworzyć własną tablicę trasowania.

węzeł docelowy	Tablica trasowania routera					
	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$
$A$	-	$1,A$	$4,B$	$3,E$	$2,A$	$5,D$
$B$	$1,B$	-	$3,B$	$3,E$	$2,B$	$5,D$
$C$	$4,B$	$3,C$	-	$3,C$	$2,C$	$5,D$
$D$	$3,E$	$3,E$	$3,D$	-	$1,D$	$2,D$
$E$	$2,E$	$2,E$	$2,E$	$1,E$	-	$3,D$
$F$	$7,E$	$7,E$	$7,E$	$2,D$	$5,E$	-

Tabela 3: Sytuacja po stworzeniu przez router  $F$  tablicy routingu. Tablice trasowania routerów  $A$ ,  $B$  i  $C$  (najkrótsza trasa i jej kierunek do węzłów docelowych) ciągle wskazują, że najlepsza trasa do routera  $F$  prowadzi przez router  $E$ , gdyż tablice routingu wymieniane są tylko między sąsiadami. Tuż po włączeniu routera  $F$  router  $E$  wysłał do  $A$ ,  $B$  i  $C$  swoją zaktualizowaną tablicę routingu. W kolejnych aktualizacjach tablica znowu stanie się symetryczna względem diagonal.

je z routera  $C$  informację, że on może wysłać dane do routera  $A$  drogą o długości 2. W kolejnych krokach sytuacja będzie się powtarzać, co wynika z tego, że żaden router nie wie, czy znajduje się na trasie routingu w innych routerach. Pewnym rozwiązaniem jest przyjęcie założenia, że pewna istnieje graniczna wartość odległości, powyżej której trasę uznaje się za nieaktywną. W takiej sytuacji wszystkie routery, po osiągnięciu tej wartości uznają router  $A$  za nieosiągalny i przywrócone zostanie normalne funkcjonowanie sieci. Wartość graniczna uznawana za nieskończoność zależy od tego, w jaki sposób zdefiniowana jest metryka routingu, w szczególności dla



Rysunek 2: Topologia przykładowej sieci, dla której zawodzi algorytm oparty o wektor odległości



t	Odległość i kierunek do A			
	B-A	C-A	D-A	E-A
0	1,A	2,B	3,C	4,D
→1	3,C	2,B	3,C	4,D
2	3,C	4,B	3,C	4,D
3	5,C	4,B	5,C	4,D
4	5,C	6,B	5,C	6,D
5	7,C	6,B	7,C	6,D
...				

Tabela 4: Propagacja tablic trasowania (najkrótszej trasy i jej kierunku) do routera A prowadząca do wyliczenia w nieskończoność. W chwili  $t=1$  router A zostaje wyłączony.

metryki wyznaczonej przez opóźnienie pakietu nie istnieje naturalna górna granica tego opóźnienia, a założenie zbyt niskiej wartości może prowadzić do nieosiągalności czynnego routera. Między innymi ten problem doprowadził do badań nad możliwymi metrykami trasowania.

Algorytmy trasowania oparte o wektor odległości mają swoją reprezentację wśród najczęściej stosowanych algorytmów. Do tej klasy algorytmów należy między innymi protokół RIP, IGRP i EIGRP.

#### 4.1.2 Metryki trasowania

Odległość, która znajduje się w tablicy trasowania routera może być obliczona na wiele sposobów, w zależności od potrzeb. Oblicza się je przy pomocy metryk trasowania rozumianych są jako miary odległości między węzłami. Metryki te są funkcjami  $d$  takimi, że w sieci  $\mathcal{S}$ , dla każdej pary sąsiadujących węzłów  $(i, j)$ :

$$d : \{i, j\} \rightarrow \mathcal{R}, \quad (1)$$

w sensie matematycznym jednak metrykami nie muszą być (mogą być np. quasi-metryką, nie spełniającą aksjomatu symetryczności –  $\forall_{i,j \in \mathcal{S}} d(i, j) \neq d(j, i)$ ).

W czasie rozwoju sieci telekomunikacyjnych stosowane były liczne metryki trasowania. Większość z nich jest miarami dynamicznymi, to jest odległości między węzłami mogą zmieniać się w trakcie działania sieci. W niniejszej pracy prezentowane są najpopularniejsze spośród metryk.

#### Miary oparte na ruchu w sieci (ang. *traffic-based metrics*).

Do tej grupy należą metody bazujące na opóźnieniu przesyłania pakietu (ang. *delay metric*), wielkości kolejki w węzłach (ang. *queue length*), szerokości pasma (ang. *bandwidth metric*), współczynnika traconych pakietów (ang. *packet loss ratio*), oczekiwanej ilości transmisji (ang. *expected transmission count*,

*ETX*) z modyfikacjami (np. *mETX*, *EDR*, *ENT*) oraz metody oparte o oczekiwany czas transmisji (ang. *expected transmission time*, *ETT*, *WCETT*). Wszystkie te miary pozwalają (w większym lub mniejszym stopniu) rozładowywać ruch w sieci w zależności od natężenia ruchu, są jednak stosunkowo podatne na samointerferencję trasowania (ścieżki wybrane jako optymalne w jednym kroku stają się przeciążone w kolejnym kroku itd.).

### Miary oparte o jakość sygnału i medium.

W przypadku sieci bezprzewodowych okazało się, że miary oparte o ruch w sieci często preferują trasy długie o niewielkiej ilości węzłów. W przypadku sieci bezprzewodowych wydłużenie trasy połączenia osłabia sygnał i zwiększa ilość błędnych lub niedoręczonych danych oraz zwiększa rolę interferencji sygnałów. W związku z tym zaproponowano (Awerbuch) metrykę bazującą na minimalnym czasie zajęcia medium transmisyjnego *Medium Time Metric*. Innym pomysłem są metryki oparte na sile sygnału (ang. *signal strength metric*).

### Metryki oparte o topologię sieci

Przykładem takich metryk są metryka zależna od ilości sąsiadów (ang. *number of neighbours*), ilości przeskoków między węzłami (ang. *hop count*) oraz metoda najkrótszej najszerszej ścieżki i najszerszej najkrótszej ścieżki (ang. *shortest widest path* i *widest shortest path*). Metody te w czasie bezawaryjnej pracy są stacjonarne i są stosunkowo odporne na samointerferencję trasowania, mogą jednak nie spełniać oczekiwań w niektórych zastosowaniach (jak np metryka ilości przeskoków w przypadku sieci radiowych).

### Metryki oparte o mobilność routerów i ich położenie geograficzne

Metody stosowane szczególnie w sieciach bezprzewodowych. Prędkość z jaką porusza się router negatywnie wpływa na jakość sygnału, jest też duża szansa, że w trakcie transmisji sygnału zerwane zostanie połączenie i stosuje się metryki, które na tej podstawie szacują optymalną trasę połączenia. Przykładem takiej metryki jest uśredniona po czasie  $T$  odległość :

$$M_{XY} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |v(x, y, t)| dt, \quad (2)$$

gdzie  $v(x,y,t)$  jest względną szybkością routerów w chwili czasu  $t$ . Inną metryką związaną z mobilnością i położeniem routerów jest czas działania routera, kluczowa podczas długotrwałych połączeń (ang. *lifetime metric*). Kolejną metrykami związanymi z położeniem geograficznym jest odległość między urządzeniami (użyteczna w przypadku np. urządzeń mobilnych), nie uwzględniająca jednak jakości połączenia, lub też projekty metod trasujących w oparciu

o warunki propagacji fali elektromagnetycznej w zależności od ukształtowania terenu i przeszkód terenowych (metoda o ograniczonej stosowalności ze względu na koszty wdrożenia dostatecznie dokładnych map i urządzeń).

### **Metryki oparte o własności energetyczne (ang. *energy metrics*)**

W przypadku urządzeń bezprzewodowych często istotne jest zużycie energii podczas przesyłania danych. W związku z tym proponuje się metryki, w których bardziej korzystne jest to połączenie, które wiąże się z mniejszym zużyciem energii podczas przesyłania informacji, stan baterii routerów i inne.

### **Pozostałe metryki**

Oprócz podstawowych wymienionych metryk stosuje się także inne, które w szczególnych przypadkach mogą być konieczne. Należą do nich metryki związane z bezpieczeństwem przesyłania informacji poszczególnymi trasami, metryki związane z kosztami nawiązywania połączeń między routerami, oparte o maksymalne wielkości transmitowanych pakietów, zależne od zasobów węzłów i wreszcie metryki dostosowane do działania konkretnych aplikacji.

## **4.2 Algorytm trasowania oparty o stan linii**

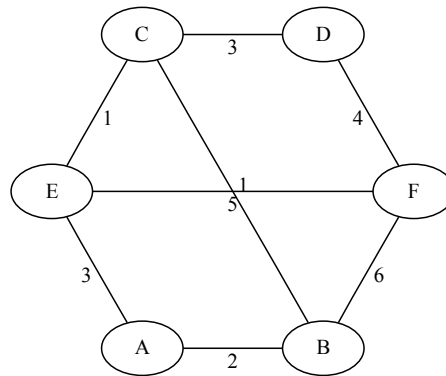
W przypadku sieci przewodowych algorytmy oparte o wektor odległości często okazują się niepotrzebnie skomplikowane, czasochłonne, zbyt podatne na awarie sieci lub też wykazujące inne wady. Dlatego też już w roku 1979 w sieci ARPANet protokół trasowania oparty o wektor odległości zastąpiony został algorytmem opartym o stan linii. Podstawowa różnica polega na tym, że każdy z routerów rozsyła informację tylko o swoich sąsiadach, jednak odbierana jest ona przez wszystkie routery w sieci. Okresowo, lub też wskutek wystąpienia określonego zdarzenia (zmiana stanu sąsiada, zmiana właściwości linii) każdy router na podstawie otrzymanych od innych routerów informacji buduje graf połączeń w sieci i na podstawie tego grafu, korzystając z algorytmu Dijkstry, oblicza najkrótsze trasy do wszystkich pozostałych węzłów. Na tej podstawie buduje tablice trasowania, które wykorzystuje do wybierania tras przesyłania informacji.

Pakiety stanu linii, przykładowej sieci, przesyłane przez routery przedstawia tabela 5. Na ich podstawie każdy węzeł jest w stanie odtworzyć graf prezentowany na rysunku 3.

Algorytm trasowania oparty o stan linii jest powszechnie stosowany, także w Internecie. Jego główną zaletą jest stosunkowo szybki czas reakcji sieci na zmiany topologii i brak problemu liczenia w nieskończoność występującego w algorytmie trasowania opartym o wektor odległości. Do poważnych wad należą trudności związane z tym, że każdy pakiet rozsyłany jest po całej sieci i może w niej krążyć bardzo

numer pakietu	Pakiet pochodzący od routera					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
1	<i>B</i> ,2	<i>A</i> ,2	<i>B</i> ,1	<i>C</i> ,3	<i>A</i> ,3	<i>B</i> ,6
2	<i>E</i> ,3	<i>C</i> ,1	<i>D</i> ,3	<i>F</i> ,4	<i>C</i> ,1	<i>D</i> ,4
3		<i>F</i> ,6	<i>E</i> ,1		<i>F</i> ,5	<i>E</i> ,5

Tabela 5: Pakiety stanu linii dla przykładowej sieci (zawierające unikalną nazwę sąsiada i odległość do niego).



Rysunek 3: Graf przedstawiający sieć, odtworzony na podstawie pakietów z tabeli 5.

długo, narażając sieć na korzystanie z nieaktualnych topologii sieci. Ponadto różne routery mogą korzystać z tablic trasowania zbudowanych na podstawie różnych pakietów, więc trasy mogą zawierać zapętlenia, być przerwane i być dalekie od optymalnych. Ponadto algorytm ten stawia stosunkowo wysokie wymagania sprzętowe routerowi, który musi być w stanie regularnie i stosunkowo szybko skonstruować z grafu tablicę routingu.

Do algorytmów opartych o stan linii należą podstawowe algorytmy w sieci Internet – OSPF i IS-IS.

### 4.3 Algorytm trasowania ścieżki

Algorytm trasowania ścieżki jest algorytmem, w którym tablica trasowania zawiera dla każdej sieci docelowej adres następnego routera oraz przebieg ścieżki w kolejnych etapach przesyłu danych. Pozwala to uniknąć problemu zapętlenia danych. Algorytm ten posiada pewne cechy wspólne z algorytmem wektora odległości, jednak o optymalnej drodze decyduje nie metryka, a określone atrybuty ścieżek. Protokoły trasowania ścieżki są stosunkowo trudne implementacyjnie, jednak ze względu na swoją niezawodność stały się jednym z podstawowych algorytmów trasowania w Internecie. W szczególności protokół BGP, będący od roku 1994 podstawowym

algorytmem trasowania pomiędzy autonomicznymi systemami w Internecie jest algorytmem trasowania ścieżki.

## 5 Podsumowanie

Rozwój procesów doboru tras przesyłu informacji towarzyszy rozwojowi sieci telekomunikacyjnych. Proste metody, oparte o statyczne trasy routingu, które wystarczały do przesyłania wiadomości telegraficznych, telefonicznych i w niewielkich sieciach komputerowych okazały się niewystarczające w dobie światowego zasięgu sieci telekomunikacyjnych. Pierwsze dynamiczne tablice routingu, konstruowane przy pomocy algorytmów bazujących na wektorach odległości okazały się zbyt mało odporne na błędy, by sprostać potrzebom Internetu. Dalszy rozwój Internetu doprowadził do powstania bardziej niezawodnych metod, wybierających trasy routingu na podstawie atrybutów elementów sieci, odpornych na problemy zapętleń, oscylacji i zapewniających dużą redundancję połączeń. Z drugiej strony powstanie i popularyzacja sieci bezprzewodowych przywróciła do łask algorytmy oparte o wektory odległości, gdyż algorytmy bazujące tylko na znajomości stanu linii okazały się nieodpowiednie. Rozwój metod opartych o wektory odległości z kolei doprowadził do prac badawczych nad szerokim spektrum metryk, w celu zbadania które są najkorzystniejsze w sieciach radiowych. Wydaje się, że badania te ciągle pozostawiają szerokie pole do badań, a ciągły rozwój wszelkiego rodzaju sieci telekomunikacyjnych, obejmujących coraz więcej mediów na rosnących obszarach geograficznych, zapewne nieraz jeszcze zmusi do wprowadzenia nowatorskich metod doboru trasy. W dobie rosnącego zapotrzebowania na bezpieczeństwo przesyłania informacji algorytmy te stają się coraz ważniejsze, gdyż trasy muszą nie tylko być optymalne w sensie czasu dostarczenia informacji, ale muszą tą informację dostarczać w sposób niezawodny i uniemożliwiający przechwycenie lub zmienienie przesyłanych informacji.

## Bibliografia

1. A. Grzywak, A. Domański, J. Domańska, M. Rostański, *Sieci komputerowe*, Wydawnictwo WSB w Dąbrowie Górniczej 2007.
2. A. S. Tanenbaum, *Sieci komputerowe*, Wydawnictwo Helion 2004.
3. B. Awerbuch *et. al*, *The Medium Time Metric: High Throughput Route Selection in Multirate Ad Hoc Wireless Networks*, Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal, Special Issue on Internet Wireless Access: 802.11 and Beyond 2004.
4. R. Baumann, S. Heimlicher, M. Strasser, A. Weibel, *A Survey on Routing Metrics*, TIK Report 262, ETH Zürich, 2006