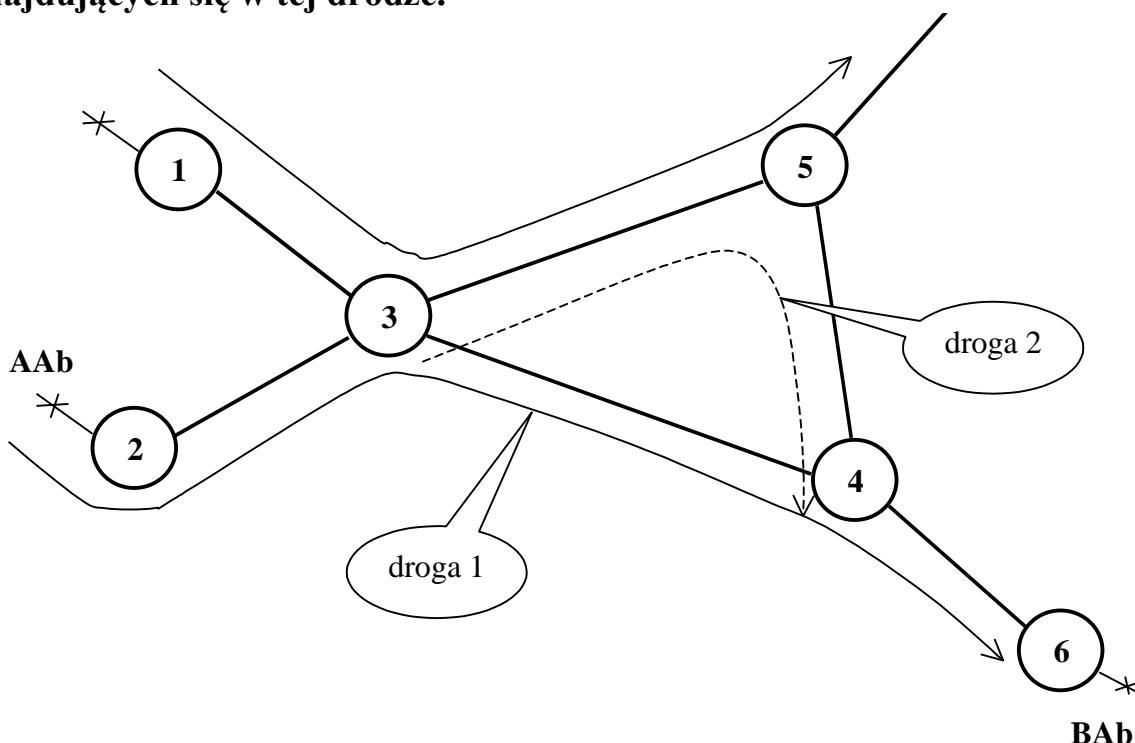


# RUTING

Z dotychczasowych rozważań wynika, że aby zrealizować wymianę informacji między terminalami użytkowników (abonentów) dołączonych do sieci telekomunikacyjnej to w tej sieci musi być zainstalowana funkcja routingu czyli wyboru drogi po której ta informacja będzie przekazywana. To przekazywanie informacji będzie realizowane przy wykorzystaniu zasobów znajdujących się w tej drodze.



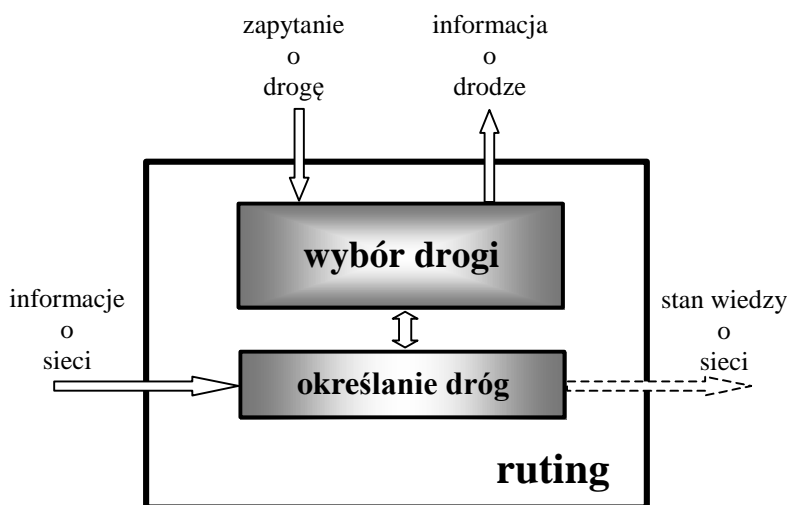
Realizacja połączenia między terminalami abonentów AAb i BAb wymaga aby węzeł 3 przesyłał informację drogą 1 albo drogą 2. W oparciu o jakie dane w węźle 3 ma być podjęta taka decyzja?

Zauważmy, że podstawowym celem jest osiągnięcie węzła do którego dołączony jest terminal żądanego abonenta. Jednakże cel ten może być osiągnięty różnymi drogami. Zatem nie wystarczy znajomość samych dróg ale także kryterium wyboru. Może się okazać, że to kryterium wyboru ma wpływ na rodzaj informacji jaką musimy dysponować o drogach (elementach je tworzących) nazywanych atrybutami.

Najogólniej mówiąc funkcja routingu musi realizować dwa podstawowe zadania:

- określenia dróg, które spełniają z góry narzucone wymagania (jakie?),
- a następnie wyboru jednej z nich przy określonym kryterium tego wyboru.

**Zadania te są na ogół realizowane rozłącznie oraz według różnych zasad i lokalizacjach w sieci.**



**Zadanie określania dróg wymaga pozyskiwania informacji o strukturze i zasobach sieciowych, ich przetwarzania i przechowywania w postaci bazy danych. Baza ta musi zawierać aktualne dane dotyczące sieci telekomunikacyjnej. Z tej bazy danych korzysta zadanie wyboru drogi, które jest wywoływane w chwili, gdy istnieje potrzeba wskazania drogi dla konkretnej usługi wymiany informacji.**

**Z tego wynika, że funkcja rutingu musi dysponować mechanizmami komunikacji z innymi elementami funkcjonalnymi sieci. Dotychczas poznaliśmy tylko dwa takie elementy, tzn. węzeł komutacyjny oraz centrum. Oczywiście funkcja rutingu może być umieszczona w każdym z tych elementów lub w dodatkowych elementach funkcjonalnych przeznaczonych do realizacji różnego rodzaju funkcji a w tym funkcji rutingu. Co więcej oba zadania nie muszą być umieszczone fizycznie w tym samym elemencie.**

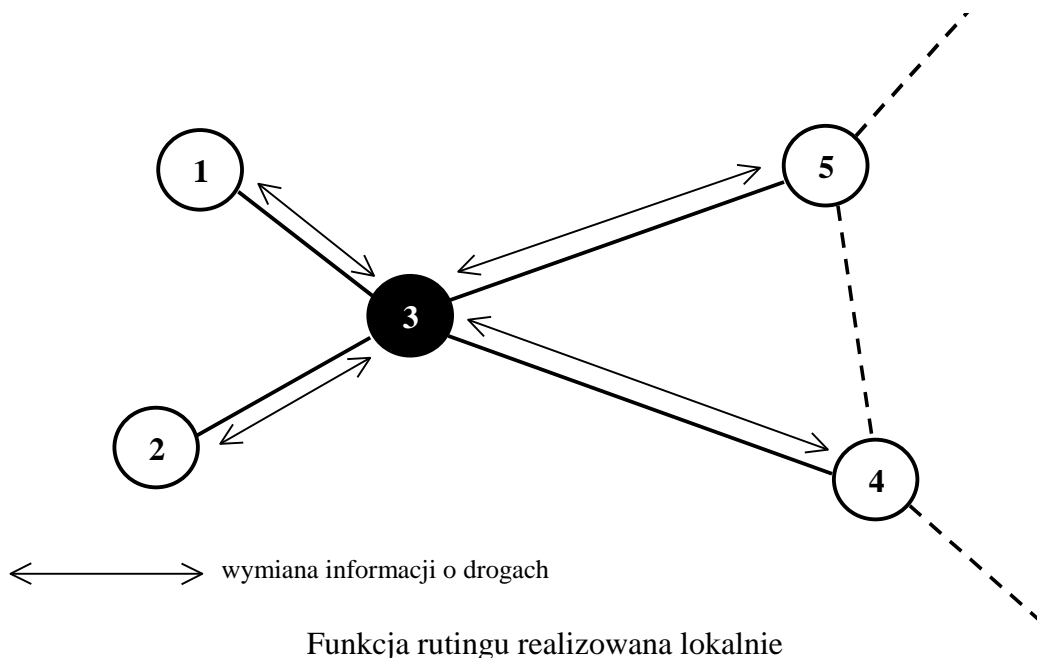
**Zadanie pozyskiwania informacji o sieci na potrzeby określania dróg połączeniowych może być realizowane na wiele sposobów przy czym wyróżnić da się dwa skrajne podejścia:**

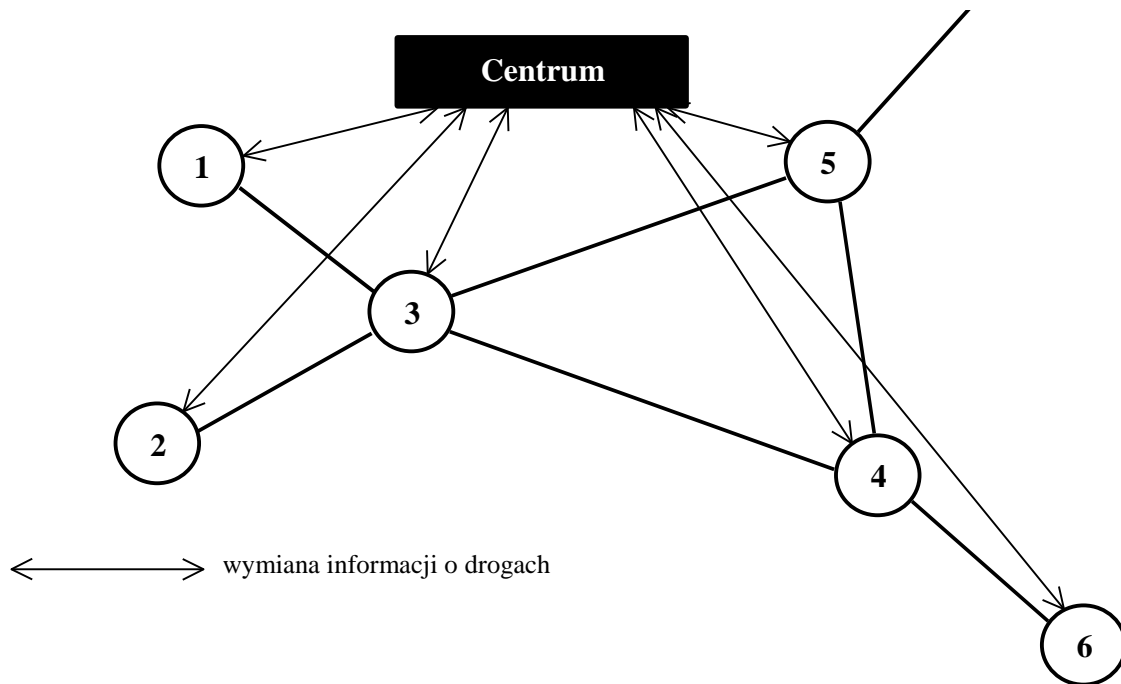
- **lokalne**, gdy realizuje to każdy węzeł sieci telekomunikacyjnej,
- **centralne**, gdy na poziomie sieci zostaje dla realizacji tego zadania wprowadzony specjalny element funkcjonalny.

**Ogólnie przedstawiono to na kolejnych rysunkach. Zauważmy, że dla pierwszego przypadku węzeł komutacyjny komunikując się ze swoimi sąsiadami uzyskuje te informacje. Jeżeli sieć jest duża to zmiany w sieci propagują się poprzez węzły komutacyjne co wymaga określonego czasu dla**

ustabilizowania się zawartości baz danych w poszczególnych węzłach komutacyjnych. Jeżeli zatem zmiany w sieci są szybkie to może mieć miejsce taka sytuacja, że baza danych dla całej sieci nie będzie spójna z uwagi na jej rozproszenie. To z kolei może prowadzić do niewłaściwego działania funkcji routingu. Jaki czynnik decyduje o tym że informacja o sieci zmienia się szybko? Otóż zależy to o tego jakimi atrybutami będziemy opisywali drogi połączeniowe. Jeżeli jednym z atrybutów będzie stan zajętości zasobów to wówczas te zmiany będą szybkie (dlaczego?). Natomiast jeżeli jedyną informacją będzie tylko to czy istnieje droga to wówczas zmiany informacji będą nieczęste i wystąpią tylko wówczas, gdy będzie miało miejsce uszkodzenie, usunięcie lub wprowadzenie nowego elementu sieci (węzła i jego dołączenie do innych węzłów). Zaletą takiego rozwiązania tworzenia bazy danych określającej drogi połączeniowe jest dobra skalowalność tego rozwiązania (przy wzroście pojemności sieci nie następuje wzrost złożoności funkcji routingu).

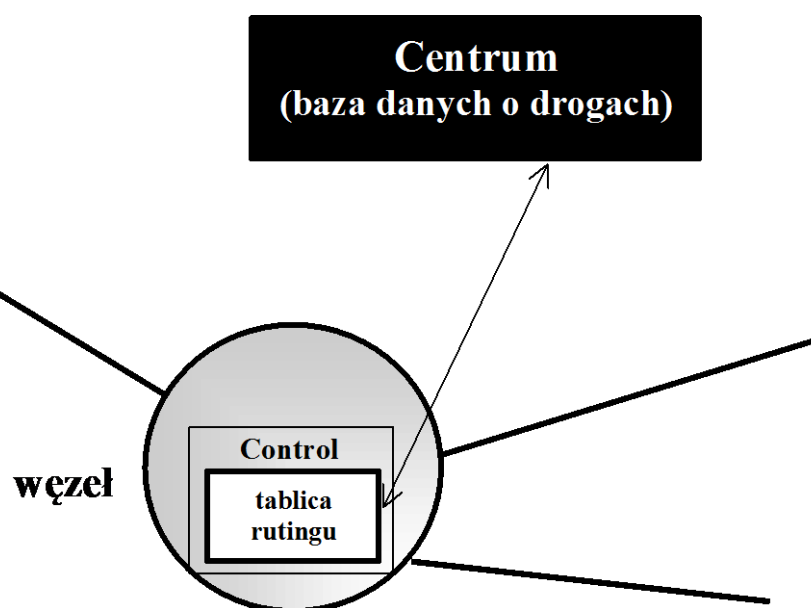
W przypadku rozwiązania centralnego informacje o sieci są zbierane w centrum, które tworzy bazę danych. Rozwiązanie to wymaga komunikacji centrum z każdym węzłem sieci który podlega temu centrum. W centrum musi być znaczna moc obliczeniowa dla przetwarzania informacji w celu tworzenia bazy danych. Nie ma jednak problemu ze spójnością bazy danych. Rozwiązanie to nie jest skalowalne.



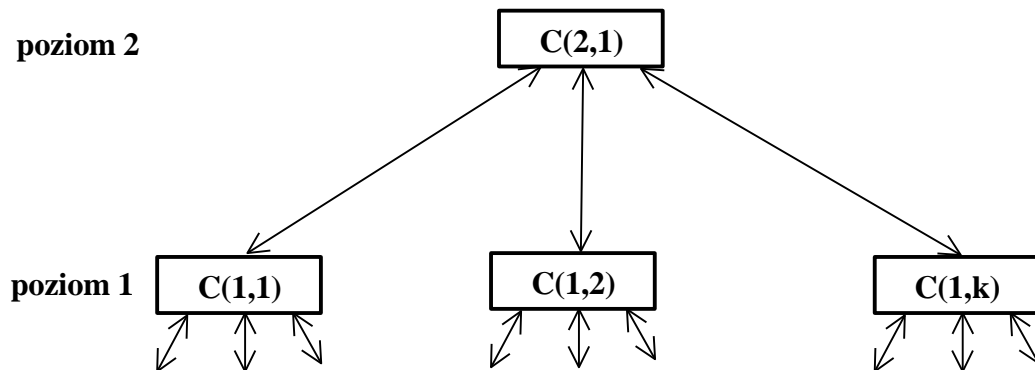


Funkcja routingu realizowana w centrum

Zauważmy, że przy pełnej centralizacji funkcji routingu oba zadania są realizowane w centrum co nie jest korzystne z uwagi na ciągłe odwoływanie się do tego centrum przy każdej próbie wymiany informacji dla danego połączenia. Dlatego też na ogół dla tego rozwiązania oba zadania są rozdzielane i w centrum jest baza danych dla dróg połączeniowych, natomiast do każdego węzła przesyłana jest indywidualna tablica routingu zawierająca informacje dla realizacji funkcji wyboru drogi połączeniowej. Pokazano to na kolejnym rysunku.



Z uwagi na brak skalowalności funkcji routingu w przypadku rozwiązania centralnego wprowadza się strukturę hierarchiczną. Na kolejnym rysunku pokazano taką strukturę dla dwóch poziomów w tej hierarchii.



Oczywiście istnieje szereg pośrednich rozwiązań łączących w sobie zalety rozwiązania lokalnego i centralnego. Jednakże z uwagi na czas przeznaczony na ten problem w ramach tego wykładu oraz faktu, że problem routingu jest bardzo złożony to zagadnienie to nie będziemy dalej tu rozwijali.

Przejdźmy do krótkiego scharakteryzowania atrybutów jakie mogą być brane pod uwagę przy opisie i wyborze drogi. Otóż do najważniejszych z nich możemy zaliczyć:

- osiągnięcie węzła docelowego (podstawowy i trywialny bo wynika z funkcji routingu),
- długość drogi; tu może być to różnie rozumiane ale podstawowym znaczeniem jest długość wyrażona w liczbie węzłów, które znajdują się na tej drodze,
- opóźnienie na drodze,
- zmiana (wariancja) opóźnienia na drodze,
- dostępne zasoby (łącza, pasmo),
- obciążenie drogi,
- itp.

Najprostsze rozwiązanie mamy wówczas, gdy brany jest pod uwagę tylko pierwszy z nich. Baza danych jest bardzo prosta sprowadza się do zapisu prefiksów numerów (adresów) abonentów terminali i numerów węzłów poprzez które są one (prefiksy) osiągalne. Jeżeli dodatkowo chcemy brać pod uwagę informację o liczbie węzłów, które musimy przejść na danej drodze to musimy tą informację dodać do tej tablicy. Na przykład dla węzła numer 3 z rozważanego tu fragmentu sieci może to być tablica o postaci przedstawionej w dalszej części tekstu. Przy czym w tablicy tej podano w osobnych

kolumnach oba rozwiązania. W drugim przypadku w nawiasie jest podana liczba węzłów. Tablica ta może znajdować się w centrum lub w węźle komunikacyjnym numer 3. Aktualnie dla sieci PSTN/ISDN stosuje się drugie rozwiązanie ponieważ jest prostsze i łatwiejsze w utrzymaniu. Proszę na podstawie tej tabeli określić w jakich węzłach znajdują się abonenci o zadanych prefiksach.

Prefiks	Kolejny węzeł	Kolejny węzeł (liczba węzłów)
347,348	1	1(1)
65	5,4	4(2),5(3)
302,306	4,5	4(1),5(2)
77	5	5(2)
551,552	2	2(1)

Oczywiście, gdybyśmy chcieli brać pod uwagę więcej atrybutów to tablica ta musiałaby być odpowiednio rozbudowana.

Następny problem to realizacja zadania wyboru drogi z wielu możliwych dróg, np. w tablicy dla prefiksu 65 mamy dwie drogi. Jeżeli jako kryterium przyjmiemy kolejność zapisu w tabeli (dla pierwszego opisu) albo długość drogi (dla drugiego opisu) to otrzymamy różne odpowiedzi. Dla pierwszego przypadku będzie to droga przez węzeł 5, a dla drugiego przypadku jest to droga przez węzeł 4.

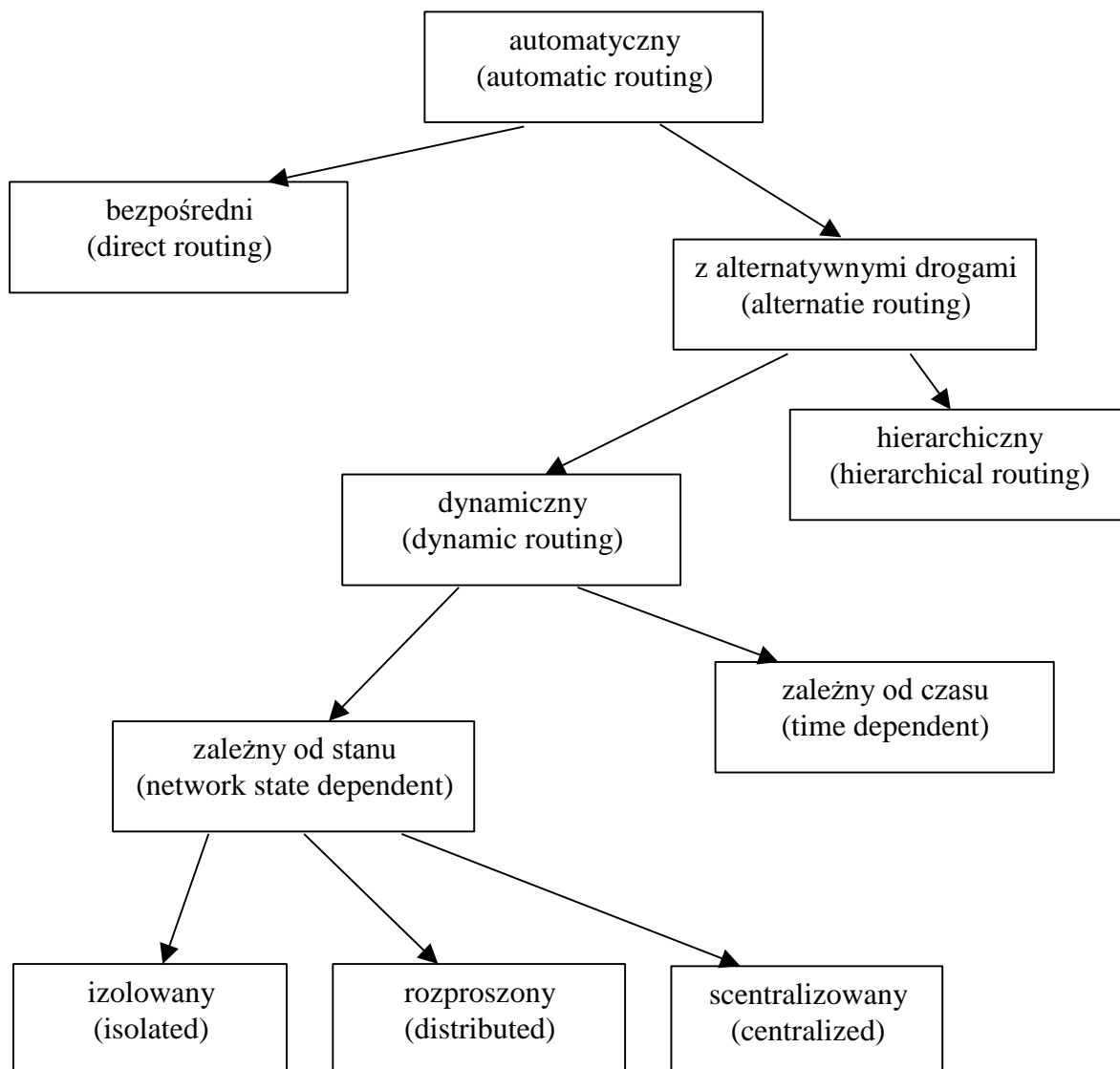
Zatem informacje o drodze zapisane w bazie danych oraz kryterium wyboru drogi mają istotny wpływ na to którądy zostanie przesłana informacja. Stąd prosty wniosek, że funkcja routingu ma istotny wpływ na pracę sieci.

Istotnym i nie trywialnym problemem jest wybór drogi, gdy kryterium jest wieloskładnikowe czyli bierzemy pod uwagę kilka parametrów, np. długość drogi, opóźnienie, wolne pasmo i przepływność. W takim przypadku powstaje problem sposobu porównania dwóch dróg i stwierdzeniu, którą z nich należy wybrać. W tym celu wprowadzono metrykę  $M(d)$  drogi  $d$ , która uwzględnia każdy z parametrów. Wartość metryki jest podstawą dla podejmowania decyzji wyboru. Jeżeli jest ona tak skonstruowana, że jej najmniejsza wartość oznacza najkorzystniejszą decyzję to wówczas wybór sprowadza się do uporządkowania metryk według ich wartości i wyboru tej która ma najmniejszą wartość. Przykładowo jeżeli spośród zbioru pięciu dróg  $d_1, d_2, d_3, d_4$  i  $d_5$  uzyskamy następujące uporządkowanie ich metryk

$$M(d_2) < M(d_5) < M(d_1) < M(d_4) < M(d_3)$$

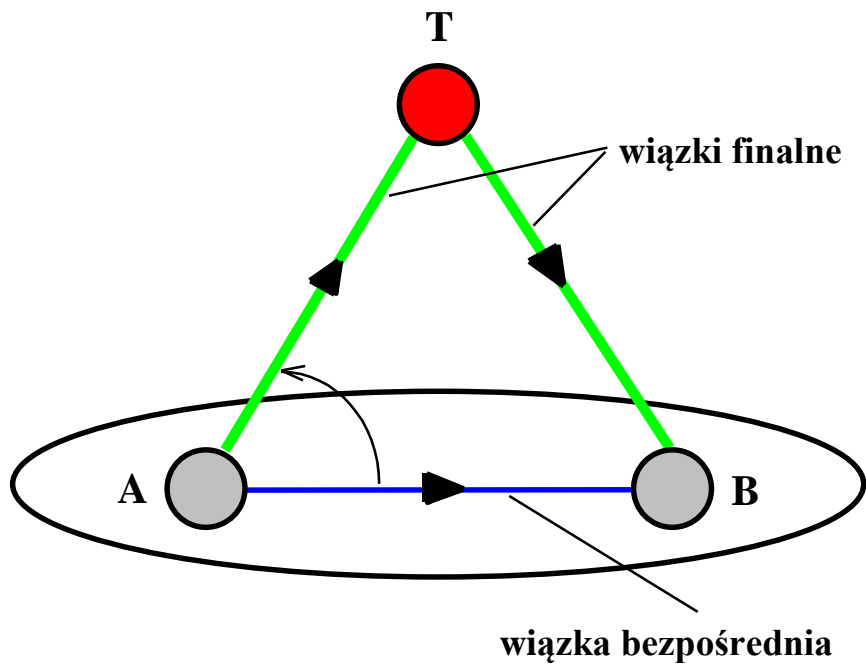
to dla realizacji połączenia wybierzemy drogę  $d_2$ . Oczywiście jak widać to na przykładzie problem wyboru został uproszczony ale nie trywialne jest podanie właściwej metryki przy użyciu której osiągniemy postawiony cel dla funkcji routingu. Nie ma tu ogólnej jednoznacznej metody postępowania. Metryki są dobierane jak na razie w sposób heurystyczny na drodze rozważań analitycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych na realnej sieci.

W dalszej części podamy ogólną klasyfikację metod routingu w ich historycznym rozwoju, która została ujęta na kolejnym rysunku (lata upływają z góry na dół rysunku).

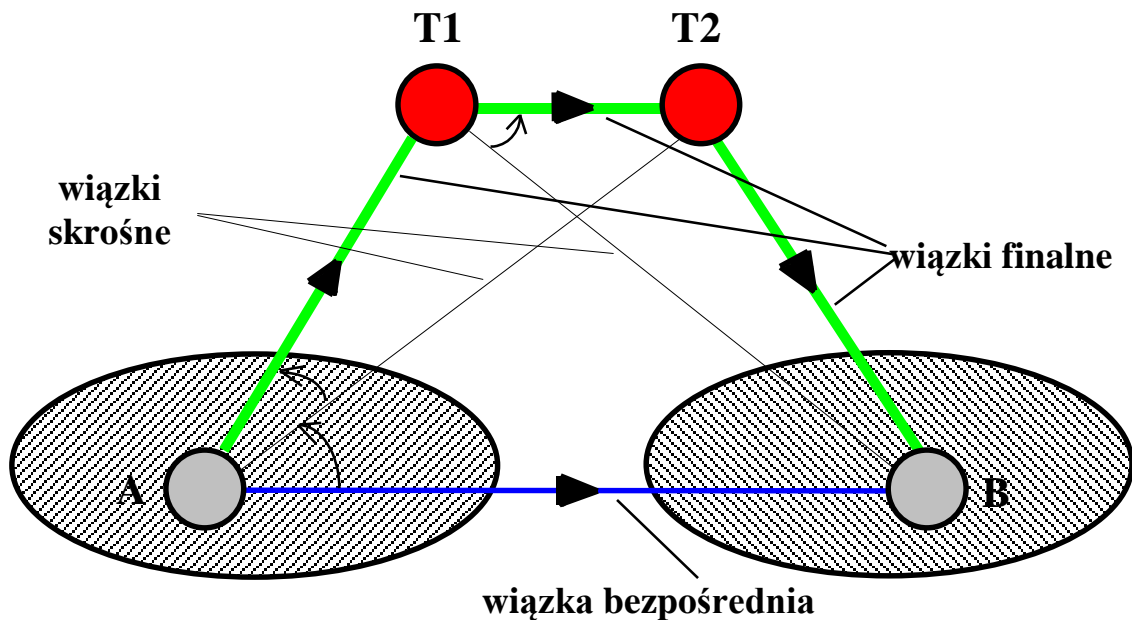


Oczywiście aktualnie największe znaczenie mają metody routingu dynamicznego (należą do niehierarchicznych metod). Na kolejnych rysunkach przedstawiono proste przykłady dla hierarchicznego i niehierarchicznego routingu.

## Hierachiczna metoda kierowania ruchem



jeżeli  $B \cong 0.01$  to  $B_{AT} = B_{TB} \cong 0.05$  ( $B$  jest prawdopodobieństwem nie uzyskania połączenia)

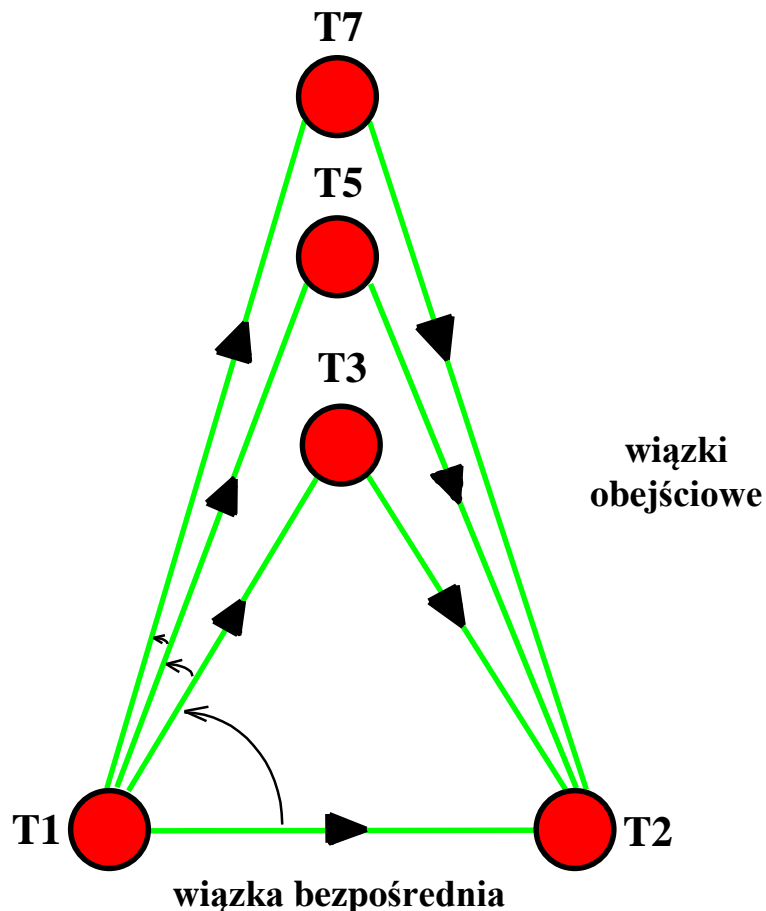


jeżeli  $B \cong 0.01$  to  $B_{AT1} = B_{T1T2} = B_{T2B} \cong 0.03$  (proszę to wykazać)

- w każdym węźle dla każdego węzła docelowego znajduje się jedna tablica
- jeżeli jest blokada dla wszystkich wiązek w tablicy to następuje strata
- wiązki bezpośrednie i skróśne są opcjonalne (wysoko stratne)



## Niehierarchiczna - dynamiczna metoda kierowania ruchem



- w każdym węźle znajdują się co najmniej dwie tablice - jedna dla zgłoszeń pierwotnych tego węzła, druga dla zgłoszeń tranzytowych przez ten węzeł
- wybór drogi obejściowej uzależniony jest od zastosowanych reguł (metod)
- wszystkie wiązki są średnio stratne

**Dlaczego właśnie dynamiczne metody routingu są tak preferowane?**

Metody te biorą pod uwagę aktualny stan sieci i starają się lokować ruch (połączenia) tak aby maksymalizować wykorzystanie posiadanych zasobów przy jednoczesnym zapewnieniu abonentom określonego poziomu usług. W konsekwencji umożliwia to zaoszczędzenie od 10 do 25 procent zasobów. Zauważmy, że te oszczędności wynikają z tego że mamy określony algorytm postępowania, który jest realizowany programowo a skutkuje on w tak dużych oszczędnościach w zasobach sieci rozumianej jako ta część twarda (hardware).

Operatorzy sieci telekomunikacyjnej stosują różne metody dynamicznego routingu opracowane na potrzeby konkretnej struktury sieci i stosowanych rozwiązań węzłów komutacyjnych. W literaturze używane są skróty dla każdej z metod, a nazwy tych metod (reguł) dla wybranych operatorów zestawiono poniżej:

- operator AT&T: DNHR – Dynamic Non-Hierarchical Routing, TSMR – Trunk Status Map Routing, RTNR – Real Time Network Routing, COS/RTNR – Class of Services RTNR,
- operator Northern Telecom: DCR – Dynamically Controlled Routing,
- operator France Telecom: STAR – System to Test Adaptive Routing,
- operator British Telecom: DAR – Dynamic Alternative Routing,
- operator Bellcore: DR-5 – Dynamic Routing 5,
- operator NTT: STR – State and Time dependent Routing.

Z kolei w tabeli zestawiono główne cechy każdej z wymienionych metod routingu biorąc pod uwagę: mechanizm metody dynamicznej, topologię realizacji algorytmu oraz częstość odświeżania informacji o rekomendowanych drogach.

#### Podstawowe cechy dynamicznych metod routingu

Metoda	Mechanizm	Topologia	Częstość
DNHR	zależny od czasu	scentralizowana	godziny
RTNR	zależny od stanu	rozproszona	-
DCR	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 10 -15sek.
STAR	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 1minuty do 10 sek.
DAR	zależny od stanu	izolowana	co połączenie
DR-5	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 5 minut
STR	zależny od czasu i stanu	izolowana	co połączenie

Metoda dynamicznego routingu DNHR jest oparta na scentralizowanym systemie zbierania danych, który przygotowuje po odpowiednim przetworzeniu dziesięć zestawów tablic routingu dla każdej pary węzłów komutacyjnych. Każda tablica dotyczy kierowania w ściśle określonym przedziale czasu w ciągu doby. Tablice są przygotowywane raz na tydzień w oparciu o zebrane dane. Wprowadzono dodatkowe mechanizmy zwiększające efektywność przez zastosowanie procedury zestawiania połączenia opartej na „crank-back procedure” oraz mechanizmu dynamicznej rezerwacji łączy dla ruchu bezpośredniego. Możliwości metody DNHR zostały zwiększone przez wprowadzenie uzależnienia od stanu wiązek łączy (TSMR).

**Metoda RTNR** została wprowadzona w miejsce DNHR. Oparta jest na pozyskiwaniu informacji o stanie sieci telekomunikacyjnej przy wykorzystaniu sieci sygnalizacyjnej. Jej istotną cechą jest to, że każdy węzeł komutacyjny gromadzi i przetwarza informacje o stanie sieci niezależnie od pozostałych węzłów.

**Metoda DCR** bazuje na scentralizowanym systemie gromadzenia i przetwarzania informacji o stanie zajętości wiązek łączy międzywęzłowych (a dokładniej liczbie wolnych łączy przy uwzględnieniu rezerwacji łączy) w cyklu 10 do 15 sekund. Jako kryterium wyboru drogi alternatywnej przyjmuje się maksimum wolnych łączy – minimalne obciążenie”. Nie jest stosowany mechanizm „crank-back procedure”.

**Metoda STAR** oparta jest o podobną koncepcję jak DCR, przy czym ze względu na moc obliczeniową w początkowym okresie stosowany był cykl generowania tablic równy jednej minucie, a następnie zmniejszany do 10 sekund. Wybór sekwencji dróg alternatywnych dla każdej pary węzłów komutacyjnych jest realizowany w oparciu o malejącą wartość liczby wolnych łączy.

**Metoda DAR** należy do innej klasy systemów uaktualniania informacji o stanie systemu i sposobie wyboru alternatywnej drogi połączeniowej. Zastosowano tu metodę opartą o uczące się automaty. Rekomendowana droga obejściowa jest wybierana losowo spośród dostępnych dróg i pozostaje ona nią tak długo, jak długo będzie można przy jej wykorzystaniu zrealizować połączenie. W przypadku pierwszej niemożności zrealizowania tą drogą połączenia, następuje strata wywołania i zostaje losowo wybrana następna rekomendowana droga alternatywna spośród pozostałych możliwych dróg.

**Metoda DR-5** jest w swych ogólnych zasadach taka sama jak metoda STAR. Sposób określania rekomendowanej drogi alternatywnej jest jednak inny i oparty o optymalizację kosztów na przyszły pięciominutowy okres czasu.

**Metoda STR** jest metodą, która jest kombinacją dwóch metod, tzn. DNHR i DAR. Dla wyznaczonych wcześniej okresów czasu dla każdej pary węzłów określany jest zbiór dopuszczalnych dróg alternatywnych. Z tego zbioru wybiera się rekomendowaną drogę według metody DAR.

Oczywiście lista ta nie wyczerpuje wszystkich metod, a przedstawiona klasyfikacja obejmuje sieci z komutacją kanałów. W sieciach z komutacją pakietów dotychczas nie stosowało się tak złożonych metod routingu, gdyż były to sieci które z założenia nie gwarantowały określonego poziomu jakości

**usług a tym samym problem lokowania ruchu sprowadzał się głównie do realizacji tylko pierwszej i podstawowej cechy rutingu, tzn. osiągnięcia na ogół najkrótszą drogą węzła docelowego. Sytuacja ta zmieniła się, gdy w sieci tej ma być realizacja usług czasu rzeczywistego z gwarantowaną jakością. Rozpoczęto prace nad algorytmami rutingu dynamicznego wzorując się na osiągnięciach sieci z komutacją kanałów i ich adaptacją uwzględniającą fakt stosowania komutacji pakietów.**