

Projektowanie jednowarstwowe z uwzględnieniem technologii IP QoS, MPLS i DWDM

Zanim przejdziemy do właściwego tematu uzupełnimy sobie wiedzę o tym jak projektować sieci w przypadku klas ruchu ale w sieci PSTN/ISDN aby następnie przez analogie pokazać to projektowanie dla sieci pakietowych.

Zasady te będą dotyczyły wymiarowania zasobów międzywęzłowych w przypadku klas abonentów różniących się parametrami ruchowymi.

W dotychczasowych rozważaniach zakładaliśmy tylko jedną klasę abonentów, która charakteryzowała się tym iż:

- dla realizacji konkretnego połączenia wymagała tej samej ilości zasobów i
- abonent był charakteryzowany przez ten sam parametr ruchowy oznaczony przez $\alpha = \lambda'/\mu$.

W rzeczywistości w dzisiejszej sieci PSTN/ISDN oba te warunki w ogólnym przypadku nie muszą być spełnione.

Rozważmy zatem sytuację, gdy drugi warunek nie jest spełniony, tzn. mamy K klas abonentów z których każda charakteryzuje się innym parametrem ruchowym α_k , gdzie $k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$. Uwzględnienie niespełnienia pierwszego warunku wymagałoby wprowadzenia wielowymiarowego modelu Erlanga systemu obsługi. Model ten nazywany jest też modelem multirate.

Jako przykład uzasadniający takie podejście to podział abonentów na:

- mieszkaniowych,
- urzędowych,
- biznesowych (małych, średnich i dużych).

Jak w takim przypadku wymiarować zasoby międzywęzłowe?

Otóż w ogólnym podejściu do rozwiązania tego problemu możemy skorzystać z już posiadanej wiedzy co do wymiarowania tych zasobów w przypadku jednej klasy i podjąć próbę uogólnienia na K klas.

Poczyńmy następujące założenia:

- dla każdej z klas obowiązują założenia jakie poczyniono przy rozwiązywaniu tego problemu w przypadku jednej klasy,
- strumienie żądań i obsług poszczególnych klas są wzajemnie niezależne,

- klasy korzystają z wspólnych zasobów.

Drugie założenie upoważnia nas do tego, że możemy każdą z klas rozważać niezależnie od pozostałych w celu wyznaczenia ulokowania ruchu w sieci telekomunikacyjnej.

Następnie dla wyznaczenia sumarycznego ulokowania ruchu przeprowadzić sumowanie ulokowanego ruchu po klasach.

Dla tak otrzymanego ulokowania ruchu w sieci telekomunikacyjnej możemy obliczyć zasoby łączy międzywęzłowych korzystając z modelu Erlanga (wzoru Erlanga, Erlang B-formula) przy określonym poziomie usług (GoS), który wchodzi w skład jakości usług.

Algorytm obliczeń:

- W celu wyznaczenia rozplywu ruchu w całej sieci określamy macierz WZ^k zainteresowań dla k -tej klasy (może ona być dana z pomiarów lub obliczona przy założeniu np. równomiernego zainteresowania każdego abonenta każdym innym abonentem)

$$WZ^k = \begin{bmatrix} wZ_{11} & wZ_{12} & . & . & wZ_{1P} \\ wZ_{21} & wZ_{22} & . & . & wZ_{2P} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ wZ_{P1} & wZ_{P2} & . & . & wZ_{PP} \end{bmatrix}$$

- oraz macierz A^k nateżeń ruchu generowanych przez poszczególne węzły rozważanej sieci dla k -tej klasy

$$A^k = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & . & 0 \\ 0 & A_2 & 0 & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & A_P \end{bmatrix},$$

przy czym

$$A_i^k \cong S_i^k \cdot \beta^k.$$

- Dla k -tej klasy na podstawie macierzy WZ^k i macierzy A^k obliczamy rozpływ natężenia ruchu AZ^k między węzłami z następującej zależności

$$AZ^k = A^k \cdot WZ^k = [az_{ij}],$$

gdzie az_{ij} jest natężeniem ruchu oferowanym przez węzeł i do węzła j . Macierz tą można także obliczyć bezpośrednio w oparciu o macierz A^k , przy czym należy pamiętać o założeniach przy których takie podejście jest uprawnione.

- Obliczone AZ^k musimy przyporządkować poszczególnym łączom międzywęzłowym. Do tego celu posłuży macierz L^k połączeń międzywęzłowych, które mogą być wykorzystane dla realizacji drogi połączeniowej. Macierz L^k jest podzbiorem macierzy L . Droga połączeniowa jest opisana przez węzeł początkowy i , węzeł końcowy j oraz węzły pośredniczące p_p , tzn.

$$d_{ij}^k = \{i, p_1, p_2, \dots, j\}.$$

Jeżeli założymy, że rozważamy tylko jedną drogę połączeniową między węzłem i oraz j to zbiór dróg można przedstawić w postaci

$$DP^k = [dp_{ijl}],$$

gdzie: i, j - określa odpowiednio węzeł początkowy i końcowy,
 l - kolejny węzeł pośredniczących dla pary (i, j) .

- Dla każdej klasy obliczamy natężenie ruchu oferowane na poszczególne wiązki łączy międzywęzłowych korzystając z macierzy AZ^k i macierzy DP^k . Wyniki tworzą macierz AZL^k postaci

$$AZL^k = [azl_{ij}].$$

Macierz ta po zakończeniu obliczeń może mieć elementy różne od zera w miejscach w których tablica L^k ma jedynki.

Algorytm obliczania macierzy AZL^k jest następujący:

- na początku macierz AZL^k jest wyzerowana (nie bierzemy pod uwagę przekątnej macierzy),

- z macierzy DP^k dla każdej pary (i,j) odczytujemy ciąg par $(i,p_1), (p_1,p_2), \dots, (p_l,j)$,
- każda para (p_v,p_u) z tego ciągu wyznacza element $AZL^k[p_v,p_u]$ do którego należy dodać element $AZ^k[i,j]$.
- Obliczamy natężenie ruchu ulokowane w sieci telekomunikacyjnej sumując macierze AZL^k

$$AZL = \sum_{k=1}^K AZL^k .$$

- Znając macierz BL dopuszczalnych prawdopodobieństw straty zgłoszenia w poszczególnych elementach sieci (w tym przypadku na wiązkach łączy) w postaci

$$BL = [bl_{ij}],$$

obliczamy liczbę łączy nl_{ij} pomiędzy węzłami i oraz j . W tym celu zakładamy model Erlanga i stosujemy pierwszą funkcję Erlanga $E_{1,nl_{ij}}(azl_{ij})$, która jest postaci

$$E_{1,nl_{ij}}(azl_{ij}) = \frac{\frac{azl_{ij}^{nl_{ij}}}{nl_{ij}!}}{\sum_{l=0}^{nl_{ij}} \frac{azl_{ij}^l}{l!}} .$$

Poszukiwane minimalne wartości wielkości n_{ij} obliczamy z nierówności $E_{1,nl_{ij}}(azl_{ij}) \leq bl_{ij}$. Pojemności poszczególnych wiązek można zebrać i przedstawić w postaci macierzy

$$NL = [nl_{ij}] .$$

Ponieważ technologicznie węzeł realizuje łącza na styku PCM30/32 to można macierz NL przeliczyć na ten rodzaj styku.

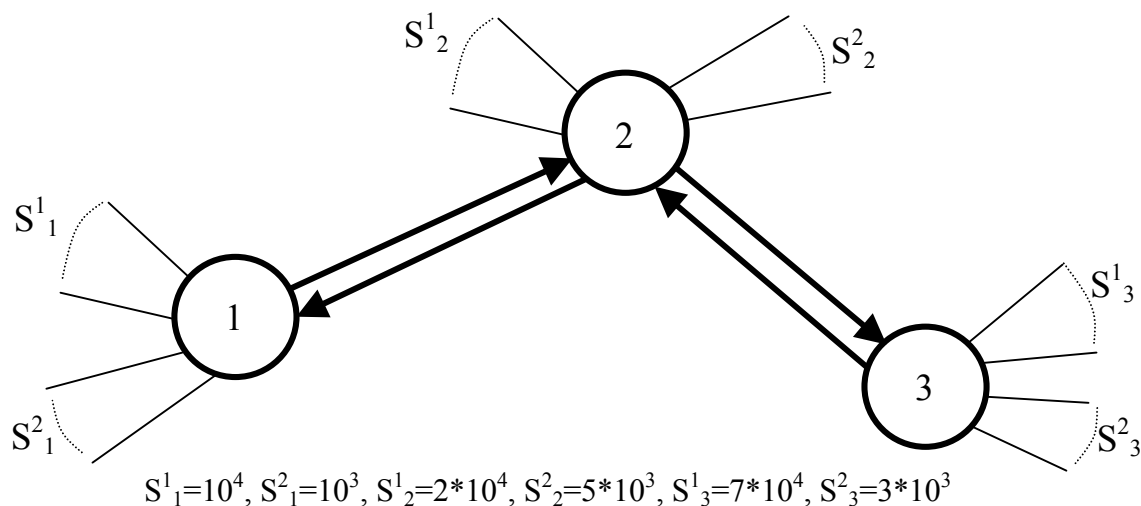
$$NL_{PCM} = [\lceil nl_{ij}/30 \rceil]$$

Uwaga:

Pozostałe uwagi i zastrzeżenia poczynione dla wymiarowania zasobów z jedną klasą pozostają także słuszne dla k klas.

Przykład

Dla sieci o strukturze pokazanej na rysunku obliczyć pojemności jednokierunkowych wiązek łączy jeżeli sieć obsługuje dwie klasy abonentów charakteryzujących się parametrem $\alpha_1 = 0.050$ i $\alpha_2 = 0.200$. Obliczenia przeprowadzić dla dopuszczalnego prawdopodobieństwa straty na wiązce wynoszącego 0.005.



Rozwiązanie:

Ponieważ spełnione są założenia umożliwiające bezpośrednie obliczenie macierzy A^k to skorzystamy z tej możliwości, gdyż uprości to nam algorytm obliczeń.

Mamy

$$A_i^k \cong S_i^k \cdot \beta^k,$$

$$\beta^1 = 0.05/(1+0.05) = 0.04762, \beta^2 = 0.2/(1+0.2) = 0.16667.$$

Zatem $A_i^k[\text{Erl}]$

k \ i	1	2	3	suma
1	476.2	952.4	3333.4	4762.0
2	166.67	833.35	500.1	1500.15

Elementy macierzy AZ^k obliczamy z wzoru

$$az_{ij}^k = \frac{A_i^k \cdot A_j^k}{\sum_{l=1}^3 A_l^k}$$

W tabelach zamieszczono wyniki obliczeń kolejno dla AZ^1 i AZ^2 .

i\j	1	2	3
1	47.62	95.24	333.34
2	95.24	190.48	666.68
3	333.34	666.68	2333.38

i\j	1	2	3
1	18.52	92.59	55.56
2	92.59	462.94	277.81
3	55.56	277.81	166.72

Dokonując ulokowania ruchu na odpowiednie wiązki łączy otrzymamy macierze AZL^1 i AZL^2 . Należy przy tym podkreślić, że dla każdego strumienia ruchu mamy dokładnie jedną drogę. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabelach kolejno dla AZL^1 i AZL^2 .

i\j	1	2	3
1	-	428.58	0
2	428.58	-	1000.02
3	0	1000.02	-

i\j	1	2	3
1	-	148.15	0
2	148.15	-	333.37
3	0	333.37	-

Dodajemy macierze AZL^1 oraz AZL^2 i otrzymujemy macierz AZL , która jest nam potrzebna do obliczenia pojemności wiązek łączy jednokierunkowych.

Macierz $AZL[\text{Erl}]$.

i\j	1	2	3
1	-	576.73	0
2	576.73	-	1333.39
3	0	1333.39	-

Na podstawie treści przykładu macierz BL przyjmuje wartości zamieszczone w tabeli. Należy pamiętać, że gdyby była podana wartość prawdopodobieństwa straty zgłoszenia od końca do końca (nie uzyskania połączenia abonentów) to

wówczas należy przeliczyć to prawdopodobieństwo na prawdopodobieństwa bl_{ij} .

$i \backslash j$	1	2	3
1	-	0.005	1
2	0.005	-	0.005
3	1	0.005	-

Obliczone pojemności nl_{ij} jednokierunkowych wiązek łączy zamieszczono w kolejnej tabeli.

$i \backslash j$	1	2	3
1	-	615	0
2	615	-	1382
3	0	1382	-

Po przeliczeniu na technologię PCM30/32 otrzymujemy wartości zamieszczone w tabeli.

$i \backslash j$	1	2	3
1	-	21	0
2	21	-	47
3	0	47	-

Otrzymane wyniki kończą proces obliczeń.

Przechodząc do projektowania sieci obsługującej strumienie ruchu, które mogą należeć do różnych klas, musimy sprecyzować co na tym etapie naszych rozważań będziemy rozumieli pod pojęciem projektowania.

Otóż najpierw musimy zdefiniować problem w kategorii zapotrzebowań czy też zadań na obsługę. Zakładamy więc, że:

- rozważamy warstwę sieciową obsługującą strumienie zagregowane, przy czym strumienie należą do jednej z K klas,
- każda z klas jest w indywidualny sposób obsługiwana w sieci, co wynika z przynależności do różnych klas jakości,
- zadana jest macierz zapotrzebowań na przepływności między węzłami brzegowymi sieci dla poszczególnych klas.

Co do sieci to zakładamy, że znana jest struktura tej sieci jako całości. Jednakże z uwagi na różne klasy strumieni w ramach tej sieci mogą być utworzone sieci wirtualne dla obsługi każdej z klas lub grup klas.

Zadaniem projektowania będzie ulokowanie zapotrzebowań w tych wirtualnych sieciach a następnie określenie zapotrzebowania na zasoby fizyczne łączy międzywęzłowych dla obsługi tak ulokowanego ruchu. Jest to zatem, zgodnie z wcześniej omówioną metodologią projektowania sieci, **zadanie wymiarowania**.

Uwaga:

Na tym etapie projektowania nie określamy skąd i w jaki sposób zostały ilościowo wyznaczone zapotrzebowania żądań na obsługę. Problem ten sam w sobie nie jest trywialny.

Ponieważ mamy ulokować ruch w sieci to muszą być narzucone wymagania co do kryteriów lokowania tego ruchu. Oczywiście te kryteria mogą być różne jak na przykład: minimalizacja kosztów, minimalne opóźnienie, najkrótsza droga, itp. Dotychczas z wymienionych tu kryteriów poznaliśmy dwa, tzn. najkrótsza droga i minimalne opóźnienie, które metodologicznie sprowadzają się do tego samego algorytmu tylko z różnymi miarami przyporządkowanymi do krawędzi. Na późniejszych wykładach poznamy także sposoby dla minimalizacji kosztów.

Zatem podejście jest podobne do prezentowanego w poprzednim przykładzie z tym, że inne jest kryterium określania koniecznych zasobów, tzn. inne są modele opisujące jakość obsługi żądań.

W przypadku wymienionego już tu przykładu był to model Erlanga, natomiast w tym projekcie będzie to zależne od klasy. Może to być prawdopodobieństwo straty, opóźnienie, jego zmienność liczone od brzegu do brzegu sieci.

Przejdźmy zatem od **omówienia** poszczególnych **kroków projektowania**.

1. Dana jest trójwymiarowa macierz zapotrzebowań $RR[i,j,k]$, gdzie i, j to numery węzłów na brzegu sieci między którymi istnieje zapotrzebowanie na obsługę k -tej klasy.
2. Struktura sieci zadana jest przez macierz $LR[m,n]$ opisującą fizyczne połączenia węzłów tej sieci.
3. W tej sieci tworzymy sieci wirtualne opisując je przez macierz $LV_k[m,n]$ dla klas lub grup klas ruchu. Posiłkujemy się tu dodatkowymi uwarunkowaniami będącymi kryterium tworzenia tych wirtualnych sieci.
4. Dla każdej z klas ruchu określamy kryterium według którego lokujemy ruch w sieci wirtualnej przyporządkowanej do każdej z klas.

5. Następnie według tego kryterium lokujemy ruch z macierzy zapotrzebowań RR w każdej z wirtualnych sieci LV_k . W wyniku tego otrzymujemy macierz $RRL_k[m,n]$ przyporządkowania ruchu do łącza w tej sieci.
6. Składając dwuwymiarowe macierze RRL_k w jedną trójwymiarową macierz $RRL[m,n,k]$ otrzymujemy macierz ruchu oferowanego na poszczególne łącza fizyczne między parą węzłów (m,n) .
7. Kończy to pierwszy etap projektowania sieci.

W drugim etapie mając narzucone wymagania jakościowe na obsługę poszczególnych klas ruchu obliczamy wymagane zasoby dla obsługi ruchu z macierzy RRL .

Wykorzystujemy do tego celu wiedzę i modele jakie zostały omówione na przedmiocie *Inżynieria Ruchu dla Technologii Pakietowej*. Złożoność tego etapu zależy od różnorodności klas i narzuconych wielkości opisujących wymagania jakościowe dla tych klas.

Uwaga:

Punkt pierwszy przedstawionego postępowania zakłada, że zapotrzebowanie jest opisane przez jeden parametr. Dla realizacji drugiego etapu ta informacja może okazać się niewystarczająca. W takim przypadku konieczna jest modyfikacja macierzy RR do takiej postaci aby jej elementy opisywały nie jeden parametr a taką ich liczbę jaka wynika z modeli opisujących jakość obsługi. Zauważmy, że opis przy pomocy jednego parametru jest odpowiedni dla przypadku, gdy dotyczy on ruchu CBR lub ruchu VBR ale w tym ostatnim przypadku parametr ten wyrażony jest poprzez pasmo efektywne.

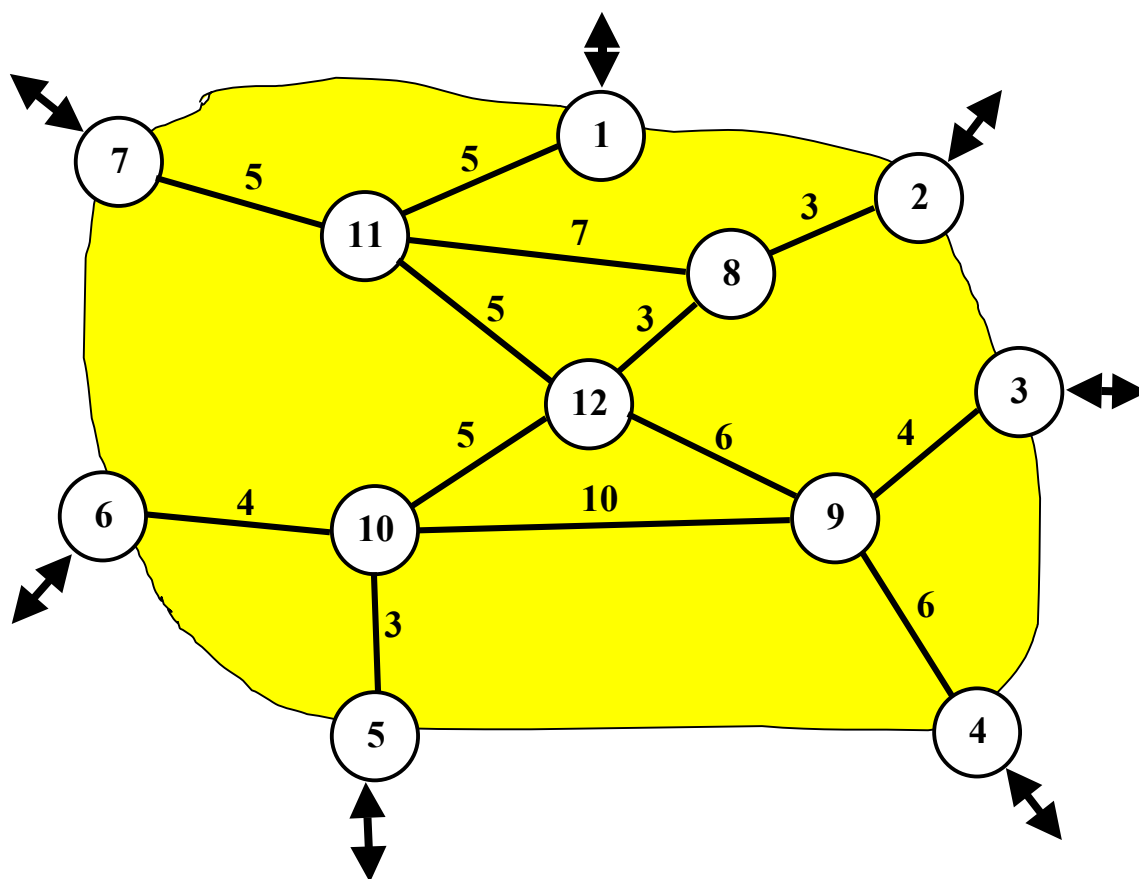
Przykład

Sieć o strukturze określonej przez macierz LR , przedstawiona graficznie na rysunku, ma obsługiwać dwie klasy ruchu: strumieniowy (1) i elastyczny (2). Macierz zapotrzebowań RR przedstawia się następująco (żądania REQ):

$$RR(i, j, 1) = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 0 & 9 & 11 & 9 & 16 \\ 7 & 0 & 0 & 5 & 8 & 0 & 4 \\ 13 & 1 & 0 & 7 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 0 & 18 & 10 & 8 \\ 4 & 3 & 6 & 7 & 0 & 0 & 13 \\ 8 & 9 & 9 & 2 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 5 & 7 & 0 & 4 & 4 & 0 \end{bmatrix} \text{ [Mbit/s]}$$

$$RR(i, j, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 23 & 36 & 64 & 21 & 78 & 38 \\ 18 & 0 & 21 & 41 & 28 & 47 & 32 \\ 0 & 24 & 0 & 21 & 35 & 63 & 23 \\ 34 & 0 & 36 & 0 & 33 & 23 & 26 \\ 62 & 53 & 34 & 49 & 0 & 51 & 47 \\ 46 & 84 & 38 & 45 & 29 & 0 & 52 \\ 34 & 53 & 65 & 29 & 47 & 41 & 0 \end{bmatrix} \text{ [Mbit/s]}$$

Struktura sieci z podanymi miarami odległości podana jest na kolejnym rysunku.

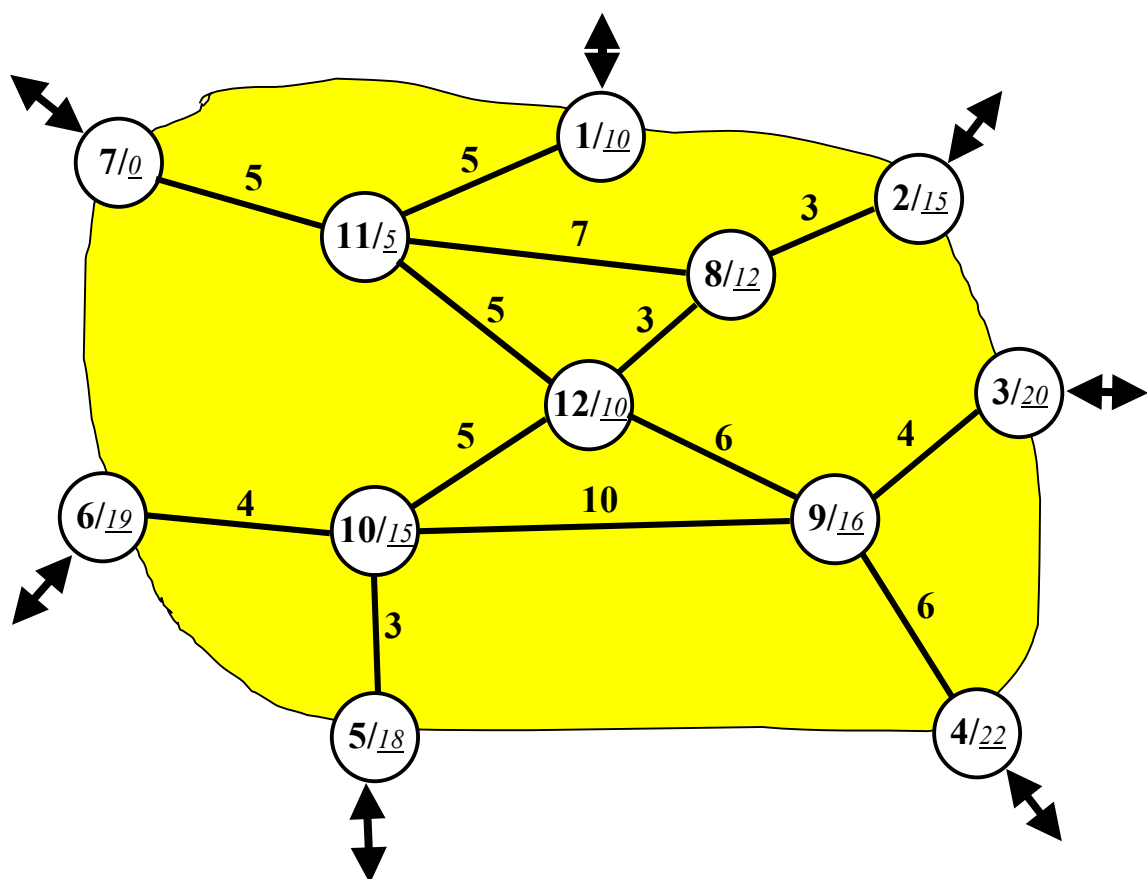


Dla tej sieci należy określić macierz *RRL* przyjmując kryterium lokowania według najkrótszej drogi oraz sieci wirtualne dla każdej klasy pokrywające się z całą siecią.

Na bazie tego przykładu rozważymy **dodatkowe warunki CON**, które wynikają z wymagań jakościowych. Otóż niech z analizy ruchowej wynika, że dla spełnienia wymagań jakościowych dopuszczalne obciążenie dla ruchu strumieniowego wynosi $0.3C$ a dla obu strumieni razem $0.8C$ (tu można zwiększyć do $1.0C$, wówczas mamy 100% wykorzystanie zasobów), gdzie C jest przepływnością łącza. Jednocześnie zakładamy, że w warstwie niższej mamy system transmisyjny, który dopuszcza maksymalny strumień o przepływności 140Mbit/s.

Spróbujmy pokazać jaki wpływ na projektowanie mają te dodatkowe warunki. Przy czym pokażemy to dla wybranych łączy międzywęzłowych, na przykład dla łączy (10,9) i (12,8).

Ponieważ żądania REQ (macierze $RR(i,j,k)$) mają być lokowane po najkrótszych drogach to konieczne jest określenie tych najkrótszych dróg. Należy to wykonać dla każdego węzła na brzegu traktując go jako węzeł źródłowy. Przykładowy opis najkrótszych dróg pokazano dla węzła źródłowego o numerze 7.



Znając najkrótsze drogi (ścieżki) lokujemy strumienie dla każdej klasy na tych ścieżkach.

Dla interesujących nas łączy otrzymamy wówczas następujące wyrażenia na ten ruch:

$$rrl(10,9,1) = rr(6,3,1) + rr(6,4,1) + rr(5,3,1) + rr(5,4,1),$$

$$rrl(10,9,2) = rr(6,3,2) + rr(6,4,2) + rr(5,3,2) + rr(5,4,2),$$

$$rrl(12,8,1) = rr(6,2,1) + rr(5,2,1) + rr(3,2,1) + rr(4,2,1),$$

$$rrl(12,8,2) = rr(6,2,2) + rr(5,2,2) + rr(3,2,2) + rr(4,2,2).$$

Po podstawieniu otrzymamy

$$rrl(10,9,1) = 9 + 2 + 6 + 7 = 24[\text{Mbit/s}],$$

$$rrl(10,9,2) = 38 + 45 + 34 + 49 = 166 \text{ [Mbit/s]},$$

$$rrl(12,8,1) = 9 + 3 + 1 + 0 = 13 \text{ [Mbit/s]},$$

$$rrl(12,8,2) = 84 + 53 + 24 + 0 = 161 \text{ [Mbit/s]}.$$

Uwzględniając ograniczenia na maksymalne przepływności strumieni

$$\begin{aligned} rrl(i, j, 1) &\leq 0.3C \\ rrl(i, j, 1) + rrl(i, j, 2) &\leq 0.8C \end{aligned}$$

otrzymamy dla łącza:

- (10,9) $C \geq 80 \text{ Mbit/s}$ i $C \geq 237.5 \text{ Mbit/s}$, zatem $C = 237.5 \text{ Mbit/s}$,
- (12,8) $C \geq 43.3 \text{ Mbit/s}$ i $C \geq 217.5 \text{ Mbit/s}$, zatem $C = 217.5 \text{ Mbit/s}$.

Uwzględniając dodatkowo warunek z niższej warstwy, tzn. że przepływność jednego systemu wynosi 140 Mbit/s , łącza te musimy z realizować na dwóch takich systemach. Wówczas dostępna przepływność będzie wynosiła 280 Mbit/s . Będziemy mieli więc nadmiar przepływności, którą w przyszłości możemy wykorzystać na wypadek konieczności rekonfiguracji sieci.

Zauważmy, że to co zostało przez nas wykonane dotyczy projektowania zasobów dla obsługi strumieni pakietów. Zarówno w przypadku IP QoS jak i MPLS mamy do czynienia z taką samą sytuacją, tzn. mamy zagregowane strumienie pakietów, które mogą należeć do różnych klas jakości.

Pozostaje więc udzielenie odpowiedzi gdzie tu mamy wpływ technologii DWDM. Otóż odpowiedź jest dość prosta. Technologia DWDM znajduje się w warstwie niższej i wprowadza dodatkowe ograniczenia przy określaniu liczby systemów, np. SDH oraz długości fal jakie mamy do dyspozycji lub chcemy mieć aby zapewnić obsługę zagregowanych strumieni pakietów określonych w technologii IP QoS czy też w technologii MPLS.