ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

Кафедра МСИБ

Методические указания для выполнения контрольных работ по дисциплине:

Сетевые технологии высокоскоростной передачи данных (СТВ ПД)

Для специальностей: 210700 (ССиСК, МТС, ССиСКу, МТСу)

Составитель:
ст. препод. Буранова М.А.

Редактор:
к.т.н., доц. Поздняк И.С.

Самара, 2013

Алгоритм Беллмана-Форда

Алгоритм Беллмана-Форда позволяет найти кратчайшие пути от узла-источника до всех узлов-адресатов. Без ограничения общности полагаем, что узлом источником является первый узел.

Алгоритм итерирует числом дуг h.

1) Начальные условия

$D^h{}_1 = 0; \quad D^0{}_i = \infty$ для всех $i \neq 1$;

2) Итерация при h<N

$D_i^{h+1} = \min_j (D^h{}_j + d_{ji})$ для всех $i \neq 1$;

$D^h{}_1$ - длина кратчайшего пути от 1-узла до i -узла при условии, что путь содержит не более h дуг,

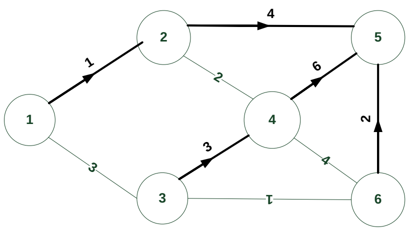
d_{ji} - расстояние от j – узла до соседнего i – узла,

h – число дуг кратчайшего пути,

N – число узлов сети.

Задача №1

Кратчайшие пути до 5 узла, определить маршрут потока от 1 до 5 узла.



1 шаг:

$$D_1 = \min(d_{1,j} + D_J) = \min(d_{1,2} + D_2; d_{1,3} + D_3) =$$

$$\min_{j \in (2,3)} (1 + \infty; 3 + \infty) = \infty$$

$$D_2 = \min(d_{2,j} + D_J) = \min(d_{2,1} + D_1; d_{2,4} + D_4; d_{2,5} + D_5) =$$
$$\min_{j \in (1,4,5)} (1+\infty; 2+\infty; 4+0) = 4; n = 5$$

$$D_3 = \min(d_{3,j} + D_J) = \min(d_{3,1} + D_1; d_{3,4} + D_4 + d_{3,6} + D_6) =$$
$$\min_{j \in (1,4,6)} (3+\infty; 3+\infty; 1+\infty) = \infty$$

$$D_4 = \min(d_{4,j} + D_J) = \min(d_{4,2} + D_2; d_{4,3} + D_3; d_{4,5} + D_5; d_{4,6} + D_6) =$$
$$\min_{j \in (2,3,5,6)} (2+5; 3+\infty; 6+0; 4+\infty) = 6; n = 5$$

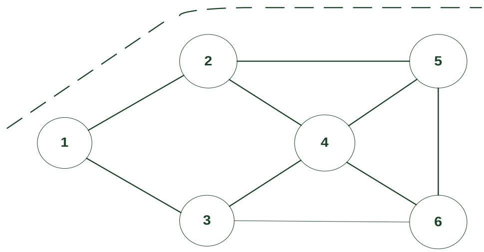
$$D_6 = \min(d_{6,j} + D_J) = \min(d_{6,3} + D_3; d_{6,4} + D_4; d_{6,5} + D_5) =$$
$$\min_{j \in (3,4,5)} (1+\infty; 4+6; 2+0) = 2; n = 5$$

2 шаг:

$$D_1 = \min(d_{1,j} + D_J) = \min(d_{1,2} + D_2; d_{1,3} + D_3) =$$
$$\min_{j \in (2,3)} (1+4; 3+\infty) = 5; n = 2$$

$$D_3 = \min(d_{3,j} + D_J) = \min(d_{3,1} + D_1; d_{3,4} + D_4 + d_{3,6} + D_6) =$$
$$\min_{j \in (1,4,6)} (3+5; 3+6; 1+2) = 3; n = 6$$

Шаг	D_1	D_2	D_3	D_4	D_6
1	$(\bullet; \infty)$	(5;4)	$(\bullet; \infty)$	(5;6)	(5;2)
2	(2;5)	(5;4)	(6;3)	(5;6)	(5.2)


1
2
3
4
5
6

<u>Алгоритм Дийкстра</u>

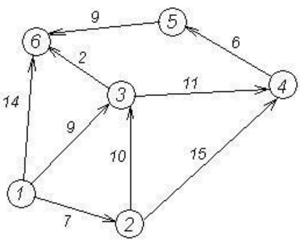
Алгоритм Дийкстры решает задачу о кратчайших путях из одной вершины для взвешенного ориентированного графа $G = (V, E)$ с исходной вершиной s, в котором веса всех рёбер неотрицательны ($\omega(u, v) \geq 0$ для всех $(u, v) \in E$).

Каждой вершине из множества вершин из V сопоставим метку — минимальное известное расстояние от этой вершины до a. Алгоритм работает пошагово — на каждом шаге он «посещает» одну вершину и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены.

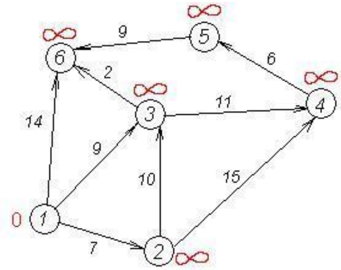
Инициализация. Метка самой вершины a полагается равной 0, метки остальных вершин — бесконечности. Это отражает то, что расстояния от a до других вершин пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как непосещенные.

ПРИМЕР

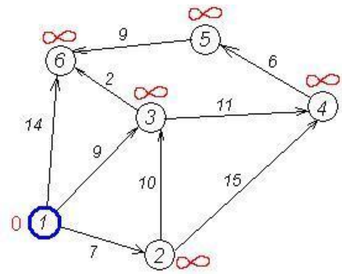
Рассмотрим работу алгоритма на примере графа, показанного на рисунке. Пусть требуется найти расстояния от 1-й вершины до всех остальных.



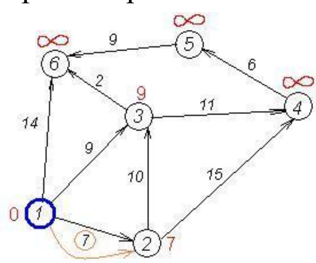
Кружками обозначены вершины, линиями — пути между ними (ребра графа). В кружках обозначены номера вершин, над ребрами обозначена их «цена» — длина пути. Рядом с каждой вершиной красным обозначена метка — длина кратчайшего пути в эту вершину из вершины 1.



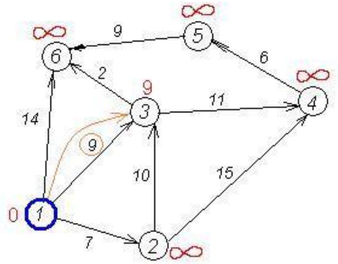
Первый шаг. Рассмотрим шаг алгоритма Дейкстры для нашего примера. Минимальную метку имеет вершина 1. Ее соседями являются вершины 2, 3, 6.

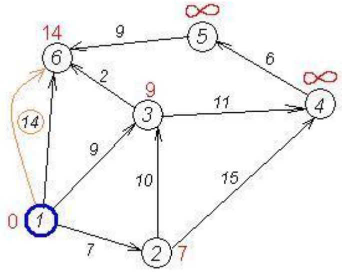


Первый по очереди сосед вершины 1 — вершина 2, потому что длина пути до нее минимальна. Длина пути в нее через вершину 1 равна кратчайшему расстоянию до вершины 1 + длина ребра, идущего из 1 в 2, то есть 0 + 7 = 7. Это меньше текущей метки вершины 2, поэтому новая метка 2-й вершины равна 7.

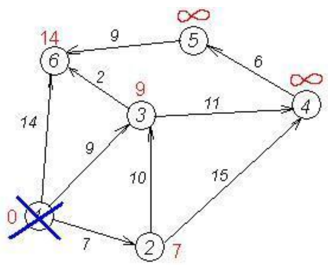


Аналогичную операцию проделываем с двумя другими соседями 1-й вершины — 3-й и 6-й.

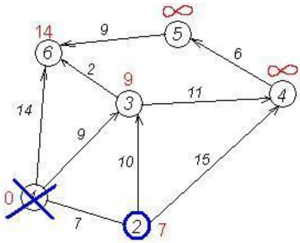




Все соседи вершины 1 проверены. Текущее минимальное расстояние до вершины 1 считается окончательным и пересмотру не подлежит (то, что это действительно так, впервые доказал Дейкстра). Вычеркнем её из графа, чтобы отметить, что эта вершина посещена.



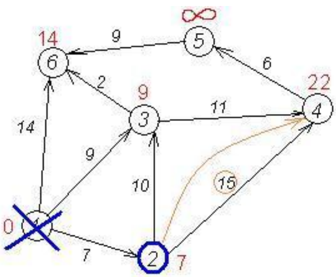
Второй шаг. Шаг алгоритма повторяется. Снова находим «ближайшую» из непосещенных вершин. Это вершина 2 с меткой 7.



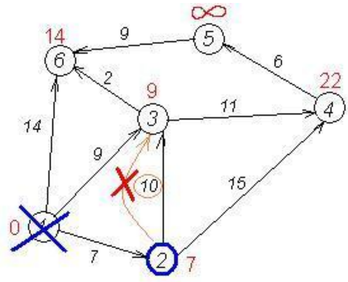
Снова пытаемся уменьшить метки соседей выбранной вершины, пытаясь пройти в них через 2-ю. Соседями вершины 2 являются 1, 3, 4.

Первый (по порядку) сосед вершины 2 — вершина 1. Но она уже посещена, поэтому с 1-й вершиной ничего не делаем.

Следующий сосед вершины 2 — вершины 4 и 3. Если идти в неё через 2-ю, то длина такого пути будет = кратчайшее расстояние до 2 + расстояние между вершинами 2 и 4 = 7 + 15 = 22. Поскольку 22<∞, устанавливаем метку вершины 4 равной 22.



Ещё один сосед вершины 2 — вершина 3. Если идти в неё через 2, то длина такого пути будет = 7 + 10 = 17. Но текущая метка третьей вершины равна 9<17, поэтому метка не меняется.



Все соседи вершины 2 просмотрены, замораживаем расстояние до неё и помечаем ее как посещенную.

Третий шаг. Повторяем шаг алгоритма, выбрав вершину 3.

Дальнейшие шаги. Повторяем шаг алгоритма для оставшихся вершин (Это будут по порядку 6, 4 и 5).

Завершение выполнения алгоритма. Алгоритм заканчивает работу, когда вычеркнуты все вершины. Результат его работы: кратчайший путь от вершины 1 до 2-й составляет 7, до 3-й — 9, до 4-й — 20, до 5-й — 20, до 6-й — 11.

Поскольку алгоритм Дейкстры всякий раз выбирает для обработки вершины с наименьшей оценкой кратчайшего пути, можно сказать, что он относится к жадным алгоритмам.

<u>3. Задержка пакета в сеансе и по сети в целом.</u>

<u>Средняя задержка пакета в сеансе:</u>

$$\grave{O}_{\eth} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot (\mu_i - \lambda_i)} + \frac{1}{\mu_i} + d_i \right),$$

Где λ_i - скорость поступлений в i – линию,

$\frac{1}{\mu_i}$ - среднее время передачи пакета по i – линии,

γ - средняя задержка распространения и обработки в i – линии.

<u>Средняя сетевая задержка пакета</u>
<u>не зависимо от сеансов</u>

$$\grave{O} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i} + \lambda_i \cdot d_i \right)$$

где γ - общая скорость поступлений пакетов в сеть,

λ_i - скорость поступлений пакетов в i – линию.

<u>Задача №1</u>

В сети рис. 3.1 имеются 4 сеанса: ACE, ADE, BCEF, BDEF, по которым передаётся пуассоновский поток с интенсивностями 100, 200, 500, 600 пакетов в минуту соответственно.

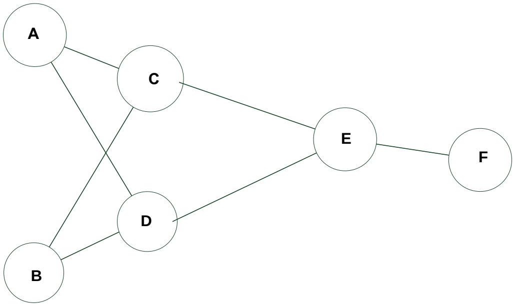


Рис. 3.1

Длины пакетов распределены экспоненциально со средним значением 1000 бит. Все линии передачи имеют пропускную способность, равную 50 кбит/с. Задержка распространения в каждой линии равна 2мс. Используя аппроксимацию Клейнрока, найдите среднее число пакетов в сети, среднюю задержку пакета (независимую от сеанса) и среднюю задержку пакета в каждом сеансе.

<u>Решение:</u>

$$\lambda_1 = \lambda_{ACE} = 100\text{ï / ì èí}; \lambda_2 = \lambda_{ADE} = 200\text{ï / ì èí}$$

$$\lambda_3 = \lambda_{BCEF} = 500\text{ï / ì èí}; \lambda_4 = \lambda_{BDEF} = 600\text{ï / ì èí}$$

$$L = 1000\text{áèò}; \tilde{N} = 50\text{êáèò / ñ}; d = 2\text{ì ñ} = 0,002\text{ñ}$$

$$\mu = \frac{c}{L} = \frac{50000}{1000} = 50n / сек$$

Аппроксимация Клейнрока позволяет <u>для каждой линии связи принять модель M/M/1</u> не зависимо от взаимодействия потока этой линии с потоками других линий.

<u>Задержка в сеансе ACE:</u>

$$T_{ACE} = T_{AC} + T_{CE} = 22мс + 27мс = 49мс$$

$$T_{AC} = \frac{1}{\mu - \lambda_1} + d = \frac{1}{50 - \frac{100}{60}} + 0.002 = 22\text{мс}$$

$$T_{CE} = \frac{1}{\mu - (\lambda_1 + \lambda_3)} + d = \frac{1}{50 - (\frac{100}{60} + \frac{500}{60})} + 0,002 = 27\text{мс}$$

<u>Задержка в сеансе ADE:</u>

$$T_{ADE} = T_{AD} + T_{DE} = 23\text{мс} + 29\text{мс} = 52\text{мс}$$

$$T_{AC} = \frac{1}{\mu - \lambda_2} + d = \frac{1}{50 - \frac{200}{60}} + 0.002 = 23\text{мс}$$

$$T_{CE} = \frac{1}{\mu - (\lambda_2 + \lambda_4)} + d = \frac{1}{50 - (\frac{200}{60} + \frac{600}{60})} + 0,002 = 29\text{мс}$$

<u>Задержка в сеансе BCEF:</u>

$$T_{BCEF} = T_{BC} + T_{CE} + T_{EF} = 26\text{мс} + 27\text{мс} + 33\text{мс} = 86\text{мс}$$

$$T_{AC} = \frac{1}{\mu - \lambda_3} + d = \frac{1}{50 - \frac{500}{60}} + 0.002 = 26\text{мс}$$

$$T_{EF} = \frac{1}{\mu - (\lambda_3 + \lambda_4)} + d = \frac{1}{50 - (\frac{500}{60} + \frac{600}{60})} + 0.002 = 33\text{мс}$$

$$T_{CE} = 27\text{мс}$$

Задержка в сеансе BDEF:

$$T_{BDEF} = T_{BD} + T_{DE} + T_{EF} = 27\text{мс} + 29\text{мс} + 33\text{мс} = 89\text{мс}$$

$$T_{AC} = \frac{1}{\mu - \lambda_4} + d = \frac{1}{50 - \frac{600}{60}} + 0.002 = 27\text{мс}$$

$$T_{EF} = 33\text{мс}; T_{DE} = 29\text{мс}$$

Сетевая задержка (независимо от сеансов):

где m – число линий в сети

λ_i - интенсивность поступлений в i – линию

T_i - задержка в i –линии

$\gamma = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$ - интенсивность поступлений в сеть

$$T = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \cdot T_{AC} + (\lambda_1 + \lambda_3) \cdot T_{CE} + \lambda_2 \cdot T_{AD} + (\lambda_2 + \lambda_4) \cdot \\ \\ T_{DE} + \lambda_3 \cdot T_{BC} + \lambda_4 \cdot T_{BD} + (\lambda_3 + \lambda_4) \cdot T_{EF} \end{bmatrix} =$$

$$\frac{1}{100 + 200 + 500 + 600} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 2200 + 600 \cdot 27 + 200 \cdot 23 + 800 \cdot 29 + \\ \\ 500 \cdot 26 + 600 \cdot 27 + 800 \cdot 33 \end{bmatrix} \approx 80\text{ì ñ}$$

Число пакетов в сети:

$$N = \gamma \cdot T = \frac{100 + 200 + 500 + 600}{60} \cdot 0.08 \approx 1.86(\textit{пак})$$

Задача №2

Рассмотрим сеть, представленную на рис. 3.2

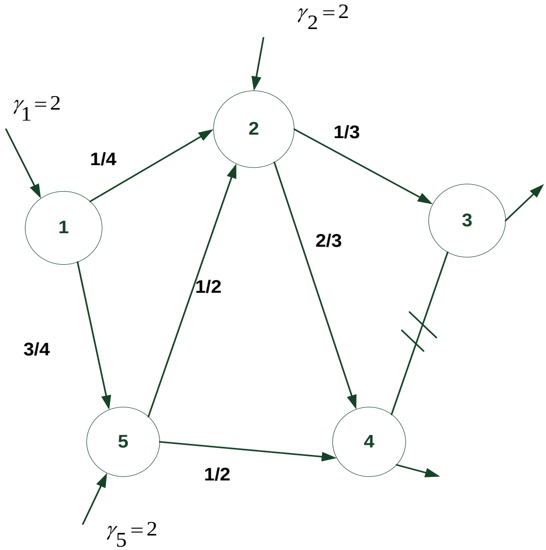


Рис. 3.2

Величины γ_i относятся к интенсивностям пуассоновского входящего потока:

$$\gamma_1 = 2\textit{пак}/c; \gamma_2 = 2\textit{пак}/c; \gamma_5 = 2\textit{пак}/c$$

Вероятности разветвления маршрута показаны на рисунке числами (q). Пропускная способность всех каналов одинакова и равна 3пак/с. Найдите средние задержки из конца в конец между узлами 1 из 3 по маршрутам:

1) через узел 2;
2) через узла 5 и 2.

Задержкой распространения пренебречь (d).

Решение:

Определим интенсивность поступления для каждого канала:

$$\lambda_1 = \gamma_1 = 2 пак/с$$

$$\lambda_{12} = q_{12} \cdot \lambda_1 = \frac{1}{4} \cdot 2 = 0.5 пак/с$$

$$\lambda_{15} = q_{15} \cdot \lambda_1 = \frac{3}{4} \cdot 2 = \frac{3}{2} пак/с$$

$$\lambda_{52} = q_{52} \cdot (\gamma_5 + \lambda_{15}) = \frac{1}{2} \cdot (2 + \frac{3}{2}) = \frac{7}{4} пак/с$$

$$\lambda_{54} = \lambda_{52} = \frac{7}{4} пак/с$$

$$\lambda_{23} = q_{23} \cdot (\gamma_2 + \lambda_{12} + \lambda_{52}) = \frac{1}{3} \cdot (2 + \frac{1}{2} + \frac{7}{4}) = \frac{17}{12} пак/с$$

$$\lambda_{24} = q_{24} \cdot (\gamma_2 + \lambda_{12} + \lambda_{52}) = \frac{2}{3} \cdot (2 + \frac{1}{2} + \frac{7}{4}) = \frac{17}{6} пак/с$$

$$\lambda_{34} = 0 пак/с$$

$$1) T = T_{12} + T_{23} = \frac{1}{\mu - \lambda_{23}} = \frac{1}{3 - \frac{1}{2}} + \frac{1}{3 - \frac{17}{12}} \approx 1,032 сек$$

$$2) T = T_{15} + T_{52} + T_{23} = \frac{1}{3 - \frac{3}{2}} + \frac{1}{3 - \frac{7}{4}} + \frac{1}{3 - \frac{17}{12}} = \frac{2}{3} + \frac{4}{5} + \frac{12}{19} \approx 2,1 сек$$

Задача №3

Обратимся к рис. 3.3

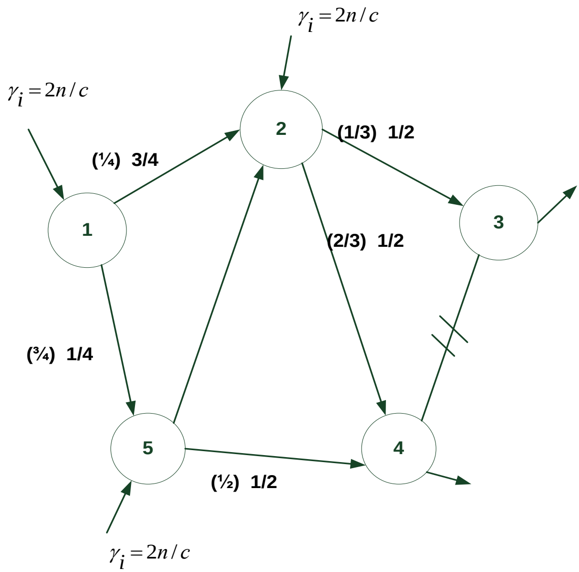


Рис. 3.3

Все пропускные интенсивности линии равны $\mu = 3пак/c$

а) Найдите среднюю задержку по сети для вероятностей разветвления, указанных в скобках (как в задаче 31)

б) Пусть вероятности маршрутов изменились и стали равными $q_{15} = \frac{1}{4}, q_{12} = \frac{3}{4}, q_{24} = \frac{1}{2}$

Найдите среднюю задержку по сети и сравните с величиной, найденной

Решение:

а) $T = \dfrac{1}{\gamma} \cdot \sum_i \dfrac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i}$;

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_5$$

Используя интенсивности, полученные в задаче 31, определим средние задержки в каждом канале:

$$T_{12} = \frac{1}{\mu - \lambda_{12}} = \frac{1}{3 - \frac{1}{2}} = 0,4 сек; T_{15} = \frac{1}{\mu - \lambda_{15}} = \frac{1}{3 - \frac{3}{2}} = 0.667 сек$$

$$T_{52} = \frac{1}{3 - \frac{7}{4}} = 0,8 сек; T_{54} = 0,8 сек$$

$$T_{23} = \frac{1}{3 - \frac{17}{12}} = 0,63 сек; T_{24} = \frac{1}{3 - \frac{17}{6}} = 6 сек$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_5 = 6 пак / с$$

$$T = \frac{1}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^{7} \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i} = 3.6 сек$$

б) Определим интенсивности с учётом новых вероятностей

$$\lambda_{12} = q_{12} \cdot \gamma = \frac{3}{4} \cdot 2 = \frac{3}{2} пак / с; \lambda_{15} = q_{15} \cdot \gamma = \frac{1}{4} \cdot 2 = \frac{1}{2} пак / с$$

$$\lambda_{52} = q_{52} \cdot (\gamma_5 + \lambda_{15}) = \frac{1}{2} \cdot (2 + \frac{1}{2}) = \frac{5}{4} пак / с; \lambda_{54} = \frac{5}{4}$$

$$\lambda_{23} = q_{23} \cdot (\gamma_2 + \lambda_{12} + \lambda_{52}) = \frac{1}{2} \cdot (2 + \frac{3}{2} + \frac{5}{4}) = \frac{19}{8} пак / с$$

$$\lambda_{24} = q_{24} \cdot (\gamma_2 + \lambda_{12} + \lambda_{52}) = \frac{1}{2} \cdot (2 + \frac{3}{2} + \frac{5}{4}) = \frac{19}{8} \, пак / с$$

$$\frac{\lambda_{12}}{\mu - \lambda_{12}} = \frac{\frac{3}{2}}{3 - \frac{3}{2}} = 1; \frac{\lambda_{15}}{\mu - \lambda_{15}} = \frac{\frac{1}{2}}{3 - \frac{1}{2}} = 0,4$$

$$\frac{\frac{5}{4}}{3 - \frac{5}{4}} = \frac{5}{7}; \frac{\frac{19}{8}}{3 - \frac{19}{8}} = \frac{19}{5}$$

$$T = \frac{1}{6} \cdot (1 + 0,4 + \frac{5}{7} + \frac{19}{5}) = 1,787 сек$$

Задача №5

Рассмотрим сеть с коммутацией пакетов (рис. 3.4).

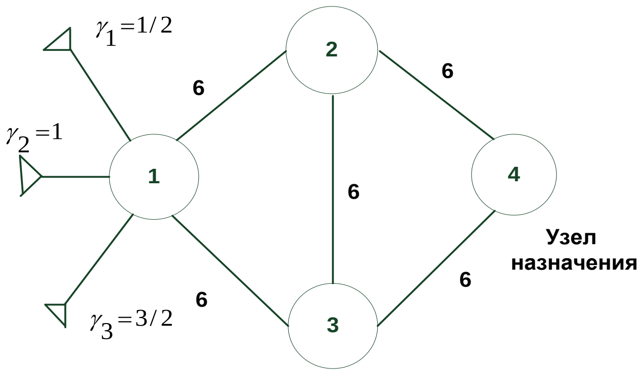


Рис. 3.4

С терминалов поступают пуассоновские потоки с интенсивностями $\gamma_1 = \frac{1}{2}; \gamma_2 = 1; \gamma_3 = 1\frac{1}{2} n/c$

Все пакеты имеют длительность в среднем обслуживания $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{6} c$ и распределены по показательному закону.

Все они направляются в узел 4. Пропускные способности всех линий $\mu = 6n/c$.

а) Найдите среднюю задержку пакета от узла 1 до узла 4, если все они направляются через узел 2.

б) Повторите а), если пакеты направляются по пути 1-2-3-4.

в) Теперь пакеты направляются по случайным маршрутам от узла 1 к узлу 4, выбираемым с вероятностями:

$$q_{13} = \frac{1}{3}; q_{23} = \frac{3}{4}; q_{34} = 1$$

Найдите среднюю задержку по сети.

Решение:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = \frac{1}{2} + 1 + 1\frac{1}{2} = 3n/c$$

$$T = T_{12} + T_{23} + T_{34} = 3\frac{1}{\mu - \gamma} = \frac{2}{6-3} = \frac{2}{3} сек$$

$$б) T = T_{12} + T_{23} + T_{34} = 3\frac{1}{\mu - \gamma} = \frac{3}{6-3} = 1 сек$$

$$в) \lambda_{12} = \gamma \cdot q_{12} = 3 \cdot \frac{2}{3} = 2n/c; \lambda_{13} = \gamma \cdot q_{13} = 3 \cdot \frac{1}{3} = 1n/c$$

$$\lambda_{23} = \gamma \cdot q_{23} = 2 \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{2} n/c; \lambda_{34} = \lambda_{23} + \lambda_{13} = 1\frac{1}{2} + 1 = 2\frac{1}{2} n/c$$

$$\lambda_{24} = \lambda_{12} \cdot q_{24} = 2 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{2} n/c$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^{5} \frac{\lambda_i}{\mu - \lambda_i} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2}{6-2} + \frac{1}{6-1} + \frac{\frac{3}{2}}{6-\frac{3}{2}} + \frac{\frac{5}{2}}{6-\frac{5}{2}} + \frac{\frac{1}{2}}{6-\frac{1}{2}}\right) =$$

$$\frac{1}{3}(0.5 + 0.2 + 0.333 + 0.714 + 1) \approx 0.916 сек$$

$$2/3 < T_{cp} < 1$$

4. Задание на самостоятельное выполнение

Задача №1

Используя алгоритм Беллмана-Форда, построить кратчайшие пути до 1-узла от всех остальных узлов.

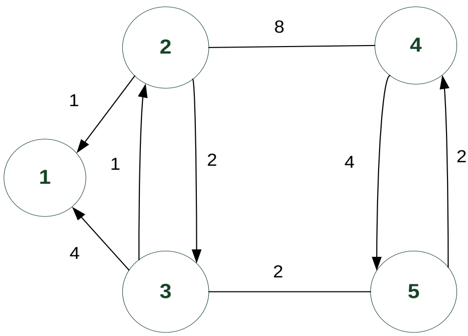


Рис. 4.1

Задача №2

Используя алгоритм Беллмана-Форда построить кратчайшие пути от всех узлов до 2-узла-адресата для сети 2.1. Цифрами указаны длины дуг.

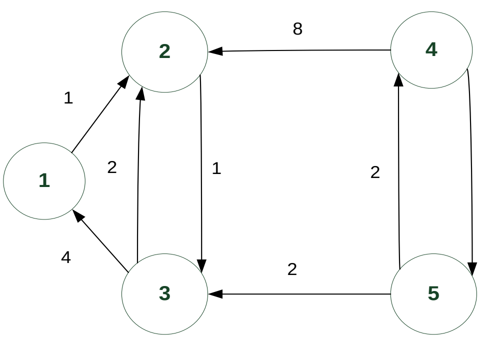


Рис. 4.2

Задача №3

Используя алгоритм Дийкстра найти кратчайшие пути от 1-го узлов – адресатов для сети.

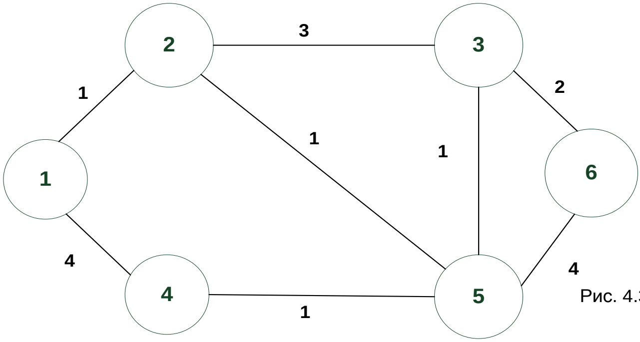


Рис. 4.3

Задача №4

Найти кратчайший путь до 7 узла и определить маршрут потока от 1 до 7 узла.

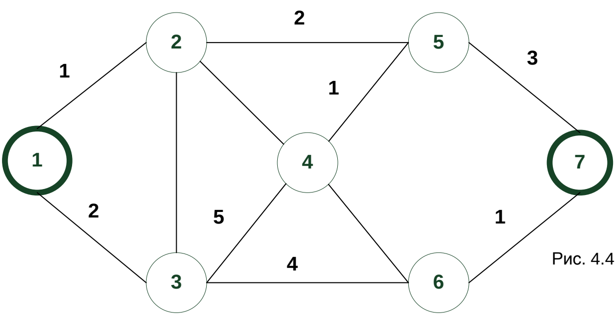


Рис. 4.4

Задача №5

Используя распределённый алгоритм Белманна-Форда построить крайтчайшие пути от всех узлов до 1-узла-адресата для сети на рис 5.1.

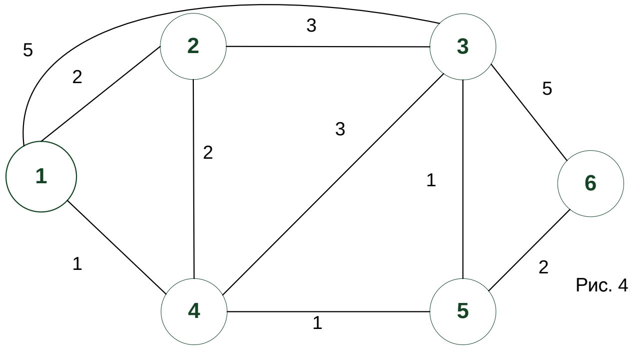
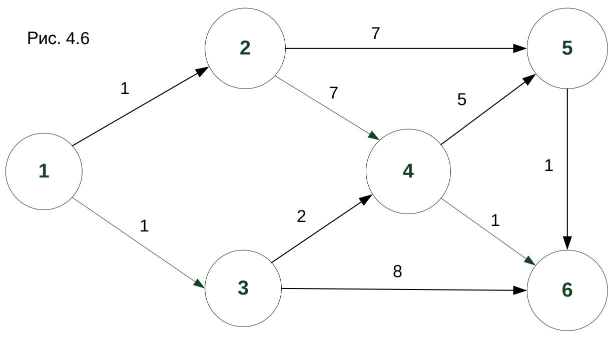


Рис. 4.5

Задача №6

Кратчайшие пути до 5 узла, определить маршрут потока от 1 до 6 узла.

Рис. 4.6



Задача №7

Рассмотрим сеть, представленную на рис. 4.7.

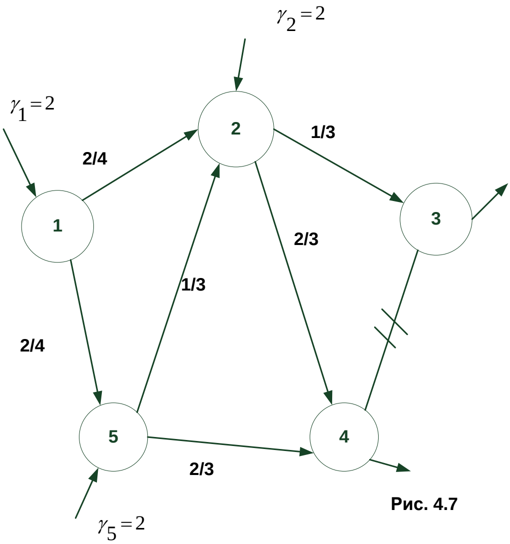


Рис. 4.7

Величины γ_i относятся к интенсивностям пуассоновского входящего потока:

$$\gamma_1 = 2пак/с; \gamma_2 = 2пак/с; \gamma_5 = 2пак/с$$

Вероятности разветвления маршрута показаны на рисунке числами (q). Пропускная способность всех каналов одинакова и равна 3пак/с. Найдите средние задержки из конца в конец между узлами 1 из 3 по маршрутам:

1) через узел 2;
2) через узла 5 и 2.

Задержкой распространения пренебречь (d).

<u>Задача №8</u>

Рассмотрим сеть, представленную на рис. 4.8.

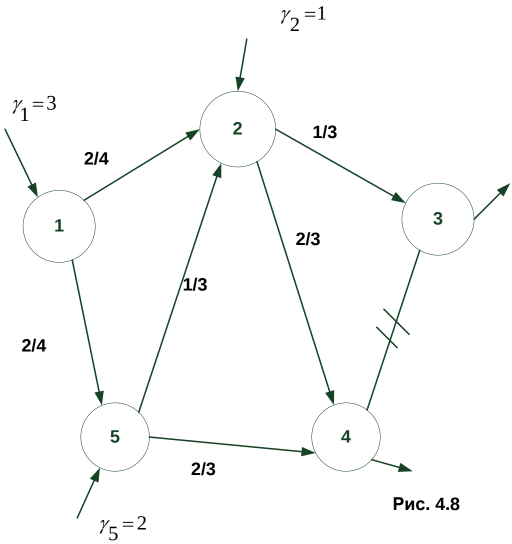


Рис. 4.8

Величины γ_i относятся к интенсивностям пуассоновского входящего потока:

$$\gamma_1 = 3\ \ddot{i}\ \grave{a}\hat{e} / \tilde{n}; \gamma_2 = 1\ \ddot{i}\ \grave{a}\hat{e} / \tilde{n}; \gamma_5 = 2\ \ddot{i}\ \grave{a}\hat{e} / \tilde{n}$$

Вероятности разветвления маршрута показаны на рисунке числами (q). Пропускная способность всех каналов одинакова и равна 3пак/с. Найдите средние задержки из конца в конец между узлами 1 из 4 по маршрутам:

1) через узел 5;
2) через узла 2 и 5.

Задержкой распространения пренебречь (d).

Задача №9

В сети рис. 4.9 имеются 4 сеанса: BEF, CDF, ACDF, ABDF, по которым передаётся пуассоновский поток с интенсивностями 100, 200, 300, 400 пакетов в минуту соответственно.

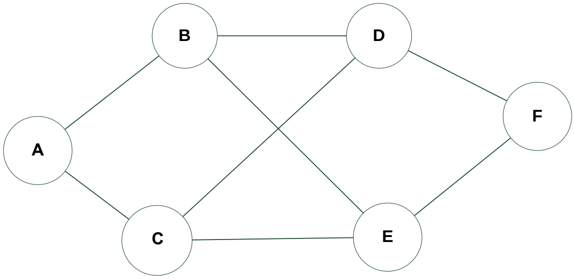


Рис. 4.9.

Длины пакетов распределены экспоненциально со средним значением 1000 бит. Все линии передачи имеют пропускную способность, равную 50 кбит/с. Задержка распространения в каждой линии равна 3 мс. Используя аппроксимацию Клейнрока, найдите среднее число пакетов в сети, среднюю задержку пакета (независимую от сеанса) и среднюю задержку пакета в каждом сеансе.