

Исследование сети массового обслуживания
с динамическим управлением маршрутизацией,
основанным на локальной информации
о состоянии сети

Долгов В. И., Рогачко Е. С.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

В сетях массового обслуживания используется *централизованное* и *децентрализованное* управление маршрутизацией требований.

В первом случае управление осуществляется централизованной системой управления на основе информации о состоянии сети.

При децентрализованном управлении маршрутизация требований в сети выполняется на основе имеющейся в каждой системе информации о состояниях смежных систем обслуживания.

- Используется интервальный метод динамического управления маршрутизацией.
- Отсутствует централизованная система управления.
- В каждой системе обслуживания имеется *локальная информация* о текущем состоянии сети.
- Локальная информация обновляется с помощью передачи между системами обслуживания системных требований.
- Маршрутизация требований основывается на локальной информации о состоянии сети, имеющейся в системе обслуживания.

Рассматривается замкнутая экспоненциальная сеть массового обслуживания N :

- L одноприборных систем массового обслуживания S_i , $i = 1, \dots, L$; $I = \{1, \dots, L\}$ — множество номеров систем;
- Q требований одного класса;
- $s = (s_i)$, $i = 1, \dots, L$, — состояние сети, где s_i — число требований, находящихся в системе S_i ;
- X — множество состояний сети N ;
- $V(s)$ — потенциал состояния $s \in X$;
- $s^\circ = (s_i^\circ)$, $i = 1, \dots, L$, — базовое состояние;
- X делится на подмножества Y и Z *доминантных* и *ординарных* состояний.

- В каждой системе S_k , $k \in I$, имеется *локальная информация* о состоянии сети в виде вектора s^k ; эта информация обновляется после поступления *системных требований*.
- После завершения обслуживания обычного требования в системе S_i и его перехода в систему S_j , $i, j \in I$, в системе S_i генерируются L системных требований.
- Содержание системного требования, предназначенного системе S_k , $k = 1, \dots, L$, определяется вектором $x^k = (x_l^k)$, $l = 1, \dots, L$, где $x_l^k = -1$, если $l = i$; $x_l^k = 1$, если $l = j$; $x_l^k = 0$ для остальных l .
- При поступлении системного требования x^k в S_k и завершении его обслуживания в этой системе формируется информация о новом состоянии сети $s'^k = s^k + x^k$, $s'^k \in X$; после этого системное требование *уничтожается*.

- Системные требования называются требованиями 2-го класса, а обычные требования — требованиями 1-го класса.
- Требования обслуживаются в порядке *абсолютного* приоритета с дообслуживанием; более высокий уровень приоритета имеют требования 2-го класса.
- Требования 1-го класса обслуживаются в системе S_i , $i \in I$, с интенсивностью μ_i^1 , а требования 2-го класса — с интенсивностью μ_i^2 ; предполагается, что μ_i^2 значительно больше μ_i^1 .
- Переходы требований 1-го класса между системами сети определяются заданной неприводимой маршрутной матрицей $\Theta^1 = (\theta_{ij}^1)$, а переходы требований 2-го класса — $\Theta^2 = (\theta_{ij}^2)$, $i, j = 1, \dots, L$.

Метод управления маршрутизацией

Основной целью управления маршрутизацией является увеличение значения стационарной вероятности $\pi(Y)$ пребывания сети N в множестве доминантных состояний Y .

- Различаются *нормальные* и *коррективные* такты функционирования сети; все такты имеют фиксированную длительность φ (φ — положительная константа).
- Функционирование сети начинается в состоянии s° в нормальном такте; за нормальным тактом следует коррективный такт, и далее такты чередуются.
- В нормальном такте маршрутизация требований осуществляется с использованием маршрутной матрицы Θ^1 , а в коррективном такте используются *матрицы передач* $\nu(s) = (\nu_{ij}(s))$, $i, j = 1, \dots, L$.

Матрицы передач

В *коррективном* такте, если завершается обслуживание требования в системе S_i , $i \in I$, то на основе известной в данной системе информации о состоянии сети s^i определяется система S_j , $j \in I$, куда будет направлено требование из S_i .

- Формируется множество $\Omega_i(s^i)$ всех состояний сети, порожденных состоянием s^i и переходом требования из S_i в S_l , $l \in I$.
- Определяется номер системы $j \in I$, переход требования в которую из S_i обеспечит переход сети из состояния s^i в принадлежащее $\Omega_i(s^i)$ состояние, имеющее наибольший потенциал по сравнению с другими состояниями множества $\Omega_i(s^i)$.
- Полагается $\nu_{ij}(s^i) = 1$, а $\nu_{il}(s^i) = 0$, $l \neq j$, $l \in I$, т. е. требование направляется из системы S_i в систему S_j .

Имитационная модель сети N позволяет вычислять *оценки* следующих основных стационарных характеристик сети:

- $\pi(Y)$ — стационарная вероятность пребывания сети в множестве Y доминантных состояний,
- $\bar{s}_i, i = 1, \dots, L$, — математические ожидания числа требований в системах сети,
- $\bar{u}_i, i = 1, \dots, L$, — математические ожидания длительностей пребывания требований в системах сети.

Также вычисляются:

- P — оценка вероятности ошибки при принятии управляющих решений в течение коррективных тактов,
- R — оценка математического ожидания числа управляющих решений в единицу времени.

Пример сети N

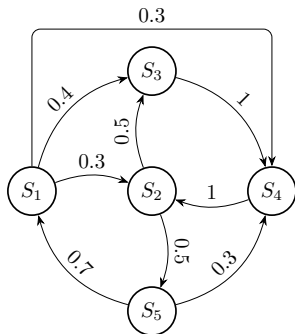


Рис.: Топология сети N

Параметры сети N :

- $L = 5$, $Q = 5$;
- $(\mu_i^1) = (0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.2)$;
- $\mu_i^2 = K\mu_i^1$, где K — коэффициент пропорциональности, $K > 1$;
- $\Theta^1 = \Theta^2$;
- $s^\circ = (1, 1, 1, 1, 1)$, $V(s^\circ) = 1$;
- $V(s) = 1/\sqrt{\sum_{i=1}^L (s_i - s_i^\circ)^2}$, $s \neq s^\circ$, $s \in X$.

Состояния $s \in X$, для которых справедливы неравенства $|s_i - s_i^\circ| \leq 1$, $i \in I$, относятся к множеству Y , остальные состояния — к множеству Z .

Оценки стационарных характеристик сети N при $\varphi = 100$

Характеристика	Коэффициент K										
	10	15	20	25	30	35	40	50	100	500	1000
$\pi(Y)$	0.16	0.22	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
\bar{s}_1	0.31	0.37	0.42	0.44	0.46	0.47	0.49	0.50	0.53	0.55	0.55
\bar{s}_2	0.90	1.01	1.06	1.09	1.11	1.11	1.13	1.15	1.16	1.16	1.16
\bar{s}_3	0.35	0.42	0.47	0.51	0.52	0.54	0.55	0.57	0.61	0.62	0.63
\bar{s}_4	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.30	0.32	0.34	0.34	0.34
\bar{s}_5	3.26	2.98	2.81	2.70	2.62	2.57	2.53	2.46	2.35	2.33	2.33
\bar{u}_1	6.12	5.73	5.54	5.36	5.26	5.16	5.11	4.96	4.72	4.44	4.41
\bar{u}_2	28.77	14.94	13.61	12.77	12.18	11.67	11.37	10.97	9.92	9.11	9.06
\bar{u}_3	6.17	5.81	5.60	5.46	5.32	5.24	5.14	5.04	4.83	4.62	4.62
\bar{u}_4	5.27	4.99	4.78	4.67	4.58	4.49	4.41	4.32	4.12	3.95	3.93
\bar{u}_5	49.17	35.14	28.53	24.88	22.52	20.94	19.78	18.15	15.27	13.52	13.33
P	0.96	0.93	0.90	0.86	0.84	0.80	0.78	0.73	0.54	0.17	0.10
R	0.27	0.35	0.41	0.45	0.49	0.51	0.53	0.57	0.64	0.69	0.69

Без управления: $\pi^0(Y) = 0.27$;

$$\bar{s}_1^0 = 0.60, \quad \bar{s}_2^0 = 1.20, \quad \bar{s}_3^0 = 0.53, \quad \bar{s}_4^0 = 0.38, \quad \bar{s}_5^0 = 2.29;$$

$$\bar{u}_1^0 = 5.05, \quad \bar{u}_2^0 = 9.88, \quad \bar{u}_3^0 = 4.86, \quad \bar{u}_4^0 = 4.47, \quad \bar{u}_5^0 = 13.55.$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!