

УДК 681.324

А.С. Изидинов, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 999053

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-КОММУТАЦИОННОЙ СЕТИ

Рассматриваются модели фрагмента локальной коммутационно-вычислительной сети и системы мониторинга. Предлагается методика вычисления основных характеристик сети и ее системы мониторинга.

Успешное развитие любого современного предприятия во многом зависит от используемых средств коммуникации, поэтому сегодня достаточно актуальной задачей является построение и эффективное использование вычислительно-коммутационных сетей. Достаточно часто особенные требования к функционированию конкретного предприятия накладываются на структуру сети. При этом некоторые ее узлы оказываются перегруженными, представляют собой так называемые «узкие места», состояние которых необходимо регулярно проверять и фиксировать отклонения в том случае, если значение какого-либо параметра, характеризующего состояние рассматриваемого узла, выйдет за допустимые границы. В настоящее время существуют разнообразные средства, позволяющие получить требуемые характеристики сетей [1]. Все многообразие этих средств можно разделить на два больших класса: методы моделирования и методы мониторинга уже существующих вычислительных сетей [2].

Целью данной работы является оптимизация параметров системы мониторинга локальной вычислительно-коммутационной сети на основе аналитической модели.

В качестве базового варианта для аналитического решения рассмотрим следующую систему, включающую в себя сегмент сети и систему мониторинга.

Аналитическая модель сегмента локальной вычислительной сети.

Структура сегмента сети содержит несколько машин-клиентов (МК) и машину-сервер (МС), которая обрабатывает запросы, поступающие от МК. МС является многопроцессорной, каждый из процессоров которой в отдельный момент времени может обрабатывать только один запрос МК. Запросы имеют одинаковую трудоемкость. Интенсивность запросов, поступающих от каждого МК, распределена по показательному закону с параметром λ . Время обработки запросов МС также распределено по показательному закону с параметром μ .

В том случае, если в момент поступления очередного запроса все процессоры МС заняты обслуживанием запросов, поступивших ранее, то он помещается в накопитель, емкость которого ограничена. Если все ячейки накопителя заняты, то запрос теряется. Описанная структура изображена на рисунке 1.

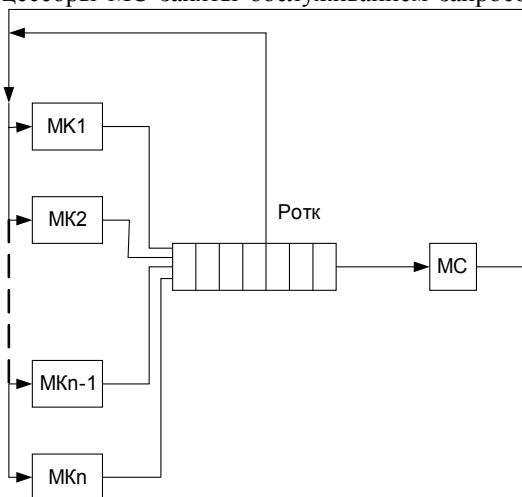


Рисунок 1 – Структура сегмента локальной вычислительной сети

Построим граф переходов такой системы. Возможные состояния сети будем связывать с числом запросов на обработку, находящихся в сети. S_0 – в сети нет ни одного запроса, процессоры простаивают, следовательно, интенсивность суммарного потока запросов, переводящих сеть в состояние S_1 , равна

$n\lambda$; S_1 – в сети один запрос, обслуживанием которого занят один из процессоров МС, МК, который передал данный запрос МС не может передавать запросы пока, не будет закончена обработка ранее им же сформированного запроса, следовательно, интенсивность потока переходов в следующее состояние равна $(n-1)\lambda$; интенсивность переходов в предыдущее состояние связана с интенсивностью суммарного потока обслуживаний, которая, равна произведению числа занятых процессоров МС на интенсивность обслуживания отдельного процессора μ ; S_m – в сети m запросов; все процессоры МС заняты обработкой запросов, накопитель для запросов пуст, интенсивность суммарного потока запросов равна $(n-m)\lambda$, интенсивность суммарного потока обработки запросов равна $m\mu$; S_{m+1} – в сети $m+1$ запрос на обработку, все процессоры МС заняты обработкой запросов, один запрос находится в накопителе, интенсивность суммарного потока запросов равна $(n-(m+1))\lambda = (n-(m+l))\lambda$, где $l=1$ – длина очереди, суммарный поток обслуживаний имеет интенсивность, как и в предыдущем случае, $m\mu$; S_{m+k} – в сети $m+k$ запросов, m запросов в данный момент обслуживается и k запросов дожидаются обработки в очереди. Описанный граф переходов показан на рисунке 2.

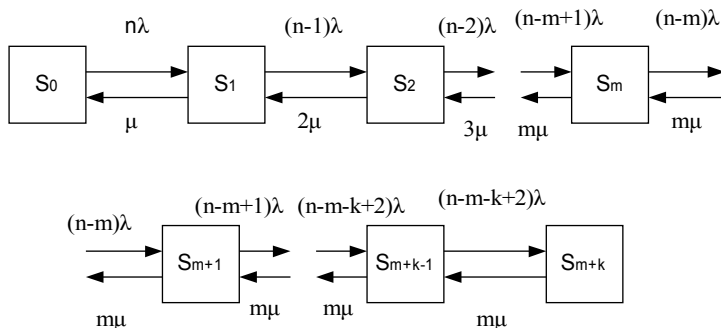


Рисунок 2 – Граф переходов локальной вычислительной сети

Для анализа переходного режима в рассматриваемой сети необходимо составить и решить систему дифференциальных уравнений. Проанализируем установившийся режим, соответствующий данной сети.

Вероятности пребывания сети в каждом из перечисленных состояний можно определить по следующим формулам:

$$P_i = \frac{n! \rho^i}{(n-i)! i!} P_0, i = \overline{1, m};$$

$$P_{m+l} = \frac{n! \rho^{m+l}}{(n-m-l)! m^l m!} P_0, l = \overline{1, m+k};$$

$$P_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{n! \rho^i}{(n-i)! i!} + \sum \frac{n! \rho^{m+l}}{(n-m-l)! m^l m!} \right]^{-1}.$$

Таким образом, параметрами сети являются следующие: количество процессоров МС; емкость накопителя; интенсивность обработки; количество МК; интенсивность поступления запросов на обработку.

В общем случае качество функционирования рассматриваемого фрагмента сети можно охарактеризовать такими характеристиками: коэффициент простоя; среднее число занятых процессоров; среднее число запросов на обработку, находящихся в сети; среднее число запросов, ожидающих обработки в очереди (средняя длина очереди); среднее время ожидания запросов в очереди; среднее время пребывания запроса в сети; вероятность потери запроса.

Остановимся более подробно на этих характеристиках и способах их вычисления.

Среднее число занятых процессоров k можно найти как математическое ожидание числа занятых процессоров:

$$k = 0 * P_0 + \sum_{i=1}^m i P_i + m \sum_{l=1}^{m+k} P_{m+l} = \sum_{i=1}^m i P_i + m \sum_{l=1}^{m+k} P_{m+l}.$$

Поскольку, передав МС запрос на обслуживание, МК не может передать ей следующий запрос, суммарный поток запросов на обслуживание формируется $(n-z)$ МК, при этом интенсивность этого потока определяется как $(n-z)\lambda$. В установившемся режиме интенсивность суммарного потока поступающих запросов должна уравниваться интенсивностью потока обработанных запросов, иными словами, в среднем должно выполняться соотношение $(n-z)\lambda = k\mu$, откуда среднее число запросов в сети определяется как

$$z = (n\lambda - k\mu) / \lambda = n - k / \rho.$$

Зная z и k , определим среднюю длину очереди:

$$l = z - k = n - k / \rho - k = n - k(\rho + 1) / \rho.$$

Среднее время пребывания запроса в сети t_c является очень важной характеристикой, определяющей длительность интервала времени, по истечении которого будет обслужен запрос, иными словами среднее время пребывания запроса в сети является временем реакции сети.

Общее время пребывания запроса в сети определяется как сумма времени обработки запроса и времени ожидания запроса в очереди $t_{ож}$. Время обработки отдельного запроса известно; оно определяется как величина, обратная интенсивности обработки запросов. Следовательно, для определения времени реакции сети необходимо вычислить время ожидания запроса в очереди.

Рассмотрим возможные гипотезы относительно времени ожидания в очереди запроса, сформированного одним из МК в случайный момент времени. Запрос, заставший сеть в одном из состояний $S_0, \dots, S_{m-1}$, не будет ждать ($t_{ож}=0$), так как хотя бы один из процессоров МС свободен. Нулевое время ожидания следует отнести и к состоянию S_{m+k} , поскольку в этом состоянии в замкнутой системе с ограниченной емкостью накопителя вновь сформированные запросы будут утеряны. Для состояния S_m характерно ненулевое время ожидания, которое в среднем равно $1/(m\mu)$, поскольку, обнаружив сеть в состоянии S_m , запрос должен будет стать в очередь и дожидаться момента окончания обслуживания запроса в каком-либо из процессоров МС. Запрос, заставший сеть в состоянии S_{m+1} , занимает в очереди второе место и должен дожидаться второго из ближайших моментов окончания обработки запроса МС. Очевидно, что время ожидания для этого запроса удваивается. Запрос, застающий сеть в состоянии S_{m+l} , где $l=1, \dots, m+k-1$, должен ждать в среднем $(l+1)/(m\mu)$ единиц времени. Среднее время ожидания в таком случае можно найти как математическое ожидание времени ожидания, связанное с произвольным состоянием сети:

$$t_{ож} = 0 * P_0 + 0 \sum_{i=1}^{m-1} P_i + \frac{1}{m\mu} P_m + \sum_{l=1}^{m+k-1} \frac{l+1}{m\mu} P_{m+l} + 0 P_{m+k} = \frac{1}{m\mu} P_m + \sum_{l=1}^{m+k-1} \frac{l+1}{m\mu} P_{m+l}.$$

Тогда среднее время пребывания запроса в сети или время реакции сети равно $t_c = t_{ожс} + t = \frac{P_m}{m\mu} + \sum_{l=1}^{m+k-1} \frac{l+1}{m\mu} P_{m+l} + \frac{1}{\mu}$.

Потеря запроса происходит в том случае, если в сети уже находится $m+k$ запросов, иными словами, вероятность потери запроса равна вероятности того, что в системе уже находится $m+k$ запросов:

$$P_n = P_{m+k} = \frac{n! \rho^{m+k}}{(n-m-k)! m^k m!} P_0.$$

Аналитическая модель системы мониторинга. Для наблюдения за описанным сегментом сети используется система мониторинга. Она формирует информационные пакеты (ИП), характеризующие состояние отдельного участка сети. В состав системы мониторинга включены устройства, фиксирующие события в сети – источники информации (ИИ). Эти устройства циклически опрашиваются распределительным устройством (К), которое работает непрерывно с периодом цикла, равным T . Если одним из ИИ сформирован ИП, то осуществляется регистрация этого пакета с помощью машины-регистратора (МР). Потоки регистрируемых ИП на выходах каждого из источников информации независимы между собой, а моменты возникновения формирования этих ИП образуют простейший поток с параметром λ .

Для повышения эффективности работы системы мониторинга в ней предусмотрены накопители для временного хранения поступающих на регистрацию ИП. При формировании ИП помещается в соответствующую ячейку накопителя (ЯН).

Для каждого из источников информации в накопителе предусмотрена своя ЯН. Ячейки накопителя непрерывно и поочередно опрашиваются К. При считывании ИП из i -й ячейки К временно прекращает опрос ячеек на время T , необходимое для регистрации ИП. Описанная структура изображена на рисунке 3.

Регистрация ИП может быть произведена без запаздывания, если мо-

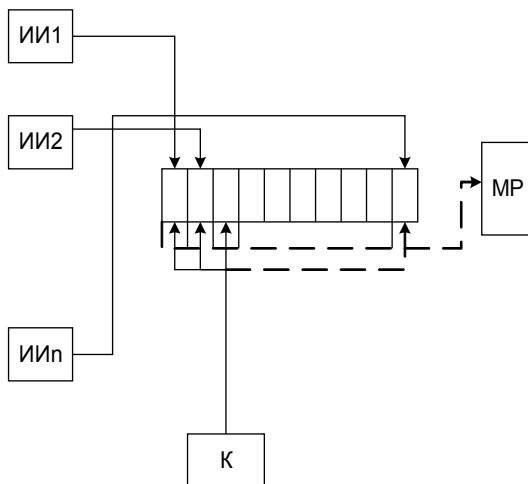


Рисунок 3 – Структура системы мониторинга

мент его формирования совпадает с моментом опроса соответствующей ячейки; если это условие не выполняется, то регистрация будет производиться с запаздыванием $T_{\text{зан}}$, определяемым как сдвиг момента регистрации K ИП относительно момента его формирования.

Считанный из ячейки накопителя ИП поступает в МР. Длительность регистрации T отдельного ИП постоянна. При отсутствии в ЯН сформированного K ИП длительность одного шага K равна $\tau < T$.

Длительность цикла опроса всех ЯН распределительным устройством не постоянна и зависит от числа поступающих ИП; она может оказаться такой, что время, в течение которого i -я ЯН занята, будет больше, чем время между двумя соседними моментами формирования ИП в i -том источнике информации. Это означает, что последний из двух сформированных ИП зарегистрирован не будет. Вычисление вероятности потери ИП, который необходимо зарегистрировать и времени запаздывания регистрации при наличии накопителя может быть произведено следующим образом.

Будем считать, что поток ИП от каждого из источников информации является простейшим с параметром λ . Очевидно, что длительность цикла, в котором производилась регистрация k ($k=0, 1, \dots, n-1$) ИП, равна $n\tau + kT$. Тогда вероятность того, что при следующем опросе в конце цикла в этой же i -ой ЯН окажется нуль (т.е. за время одного опроса всех ячеек i -тым ИП не было сформировано ни одного ИП) при условии, что в k из остальных $n-1$ ячеек оказались единицы на этом же цикле, и, следовательно, производилась регистрация k ИП, равна $\exp[-\lambda(n\tau + kT)]$.

Вероятность появления нуля и единицы при очередном шаге распределительного устройства определяется $n-1$ предыдущими разрядами, вследствие чего рассматриваемый случайный процесс (формирование последовательностей) является марковским, в котором за $n-1$ шагов из любого состояния можно перейти в любое другое состояние с некоторой вероятностью; при этом в качестве состояний рассматриваются последовательности нулей и единиц длиной $n-1$, образующиеся при очередном шаге распределительного устройства.

Рассмотрим вначале цикл, которому соответствует последовательность длиной $(n-1)$, содержащая k единиц и оканчивающаяся единицей. Последовательности, предшествующие рассматриваемой, могут быть двух типов; они могут начинаться либо нулем, либо единицей. Формирование последовательности, оканчивающейся единицей, может происходить одним из двух следующих способов:

1) предыдущая последовательность содержала $(k-1)$ единиц (вероятность этого обозначим через P_{k-1}), а в ячейке, подключаемой на данном шаге, оказалась единица (в предыдущем цикле в ней был нуль); вероят-

ность этого события, с учетом того, что длительность такого цикла составляет $n\tau + (k-1)T$, равна $1 - \exp(-\lambda(n\tau + (k-1)T))$;

2) предыдущая последовательность содержала k единиц (с вероятностью p_k), а в ячейке, подключаемой на данном шаге, также оказалась единица; поскольку длительность такого цикла составляет $n\tau + kT$, то вероятность этого события равна $1 - \exp(-\lambda(n\tau + kT))$.

Очевидно, что вероятность p_k получения последовательности, содержащей k единиц и оканчивающейся единицей, равна сумме вероятностей двух названных сложных событий:

$$p_k = p_{k-1}(1 - \exp(-\lambda[n\tau + (k-1)T])) + p_k(1 - \exp(-\lambda(n\tau + kT))), \quad (1)$$

откуда

$$p_k = p_{k-1} \frac{1 - \exp(-\lambda[n\tau + (k-1)T])}{\exp(-\lambda(n\tau + kT))}. \quad (2)$$

Подобным же образом для вероятности появления последовательности, оканчивающейся нулем, находим

$$p_k = p_{k+1} \exp(-\lambda[n\tau + (k+1)T]) + p_k \exp(-\lambda(n\tau + kT)),$$

откуда

$$p_{k+1} = p_k \frac{1 - \exp(-\lambda(n\tau + kT))}{\exp(-\lambda(n\tau + (k+1)T))}.$$

Величины p_k , определяемые выражением

$$p_k = p_0 \prod_{l=1}^k \frac{1 - \exp(-\lambda(n\tau + (l-1)T))}{\exp(-\lambda(n\tau + lT))},$$

причем, p_0 находится из условия

$$\sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k p_k = 1, \quad (3)$$

и, следовательно, удовлетворяют всем уравнениям перехода (1) и (2) и являются искомыми вероятностями состояний, не зависящими (в стационарном режиме) от начального состояния системы и порядка размещения единиц в последовательностях.

Вероятность того, что длительность цикла составит $T_u = n\tau + kT$, равна вероятности того, что в произвольно выбранном цикле произведена регистрация k ИП. Эта вероятность может быть найдена как

$$P\{T_u = n\tau + kT\} = C_{n-1}^k p_k.$$

Учитывая, что среднее число ИП, регистрируемых за один цикл,

$$\bar{k} = \sum_{k=1}^{n-1} k C_{n-1}^k p_k$$

среднее значение длительности цикла может быть найдено как

$$\bar{T}_y = n\tau + kT.$$

В силу симметрии системы при циклическом обслуживании распределение времени запаздывания регистрации является равномерным, так что условная плотность вероятности того, что время запаздывания равно $\tau_{\text{зап}}$, если длительность цикла равна $T_y = n\tau + kT$, может быть представлена в виде

$$f(t|k) = \frac{u(t)u([n\tau + kT] - t)}{n\tau + kT},$$

где

$$u(t)u([n\tau + kT] - t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq t \leq n\tau + kT; \\ 0 & \text{при } t < 0 \text{ и } t > n\tau + kT. \end{cases}$$

Безусловная плотность вероятности времени запаздываний найдется усреднением по всем значениям k :

$$f(t) = \sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k p_k f(t|k).$$

Математическое ожидание времени запаздывания регистрации равно:

$$M[\tau_{\text{зап}}] = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \frac{n\tau + kT}{2} = \frac{\bar{T}_y}{2}.$$

Потеря ИП происходит, если промежуток времени $\tau_{\text{отк}}$ между двумя соседними моментами формирования ИП оказывается меньше времени запаздывания регистрации $\tau_{\text{зап}}$. В соответствии с этим вероятность потери ИП, который необходимо зарегистрировать, может быть вычислена следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{\Pi} &= P(\tau_{\text{отк}} - \tau_{\text{зап}} \leq 0) = \int_0^{\infty} (1 - e^{-\lambda t}) f(t) dt = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k p_k \int_0^{n\tau + kT} e^{-\lambda t} f(t|k) dt = \\ &= 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{C_{n-1}^k p_k [1 - \exp\{-\lambda(n\tau + kT)\}]}{\lambda(n\tau + kT)}. \end{aligned}$$

Таким образом, величину P_{Π} можно использовать как критерий оптимизации системы мониторинга, позволяющий получить обоснованные оценки параметров n и τ . Численные расчеты показывают, что предлагаемая модель позволяет увеличить среднее число регистрируемых ИП до 15 %.

Однако качество функционирования сети и системы мониторинга зависит от большого количества характеристик, поэтому сравнительная оценка вариантов построения таких систем является достаточно сложной задачей. При разработке структуры сети, изучении особенностей системы мо-

мониторинга, а также выборе параметров сети, необходимо учитывать множество разнообразных и противоречивых требований. Это обстоятельство приводит к необходимости формирования некоторого комплексного критерия, который позволит учесть различные характеристики системы.

Разработка такого критерия, а также создание соответствующей инструментальной среды для решения оптимизационных задач на этой основе представляются перспективными для дальнейшего развития исследований в этой области.

Библиографический список

1. Жожиакашвили В.А. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ / В.А. Жожиакашвили, В.М. Вишневский. — М.: Радио и связь, 1988. — 192 с.
2. Уилсон Эд. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Эд Уилсон. — М.: Изд-во «Лори», 2000. — 213 с.

Поступила в редакцию 27.02.2006 г.