

УДК 519.6

Методика анализа эффективности системы динамического управления компьютерной сетью

Ю. И. Лосев, К. М. Руккас

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина

В статье рассматривается методика анализа эффективности динамического управления компьютерной сетью. Предложенная методика позволяет провести анализ системы динамического управления компьютерными сетями с учетом особенностей построения различных архитектур управления компьютерной сетью.

Ключевые слова: эффективность управления, динамическое управление, компьютерные сети.

В статті розглядається методика аналізу ефективності динамічного керування комп'ютерною мережею. Запропонована методика дозволяє провести аналіз системи динамічного управління комп'ютерними мережами з урахуванням особливостей побудови різних архітектур управління комп'ютерною мережею.

Ключові слова: ефективність управління, динамічне управління, комп'ютерні мережі.

The technique of analysis of the effectiveness of the dynamic management of computer network. The proposed method allows analysis of dynamic management of computer networks allowing for the construction of different architectures intranet management.

Key words: effectiveness control, dynamic control, computer networks.

1. Общая постановка задачи и её актуальность

Система динамического управления осуществляет распределение сетевых ресурсов ТКС между абонентами сети с учетом качества обслуживания. Система динамического управления для каждого пользовательского потока выделяется определенный набор сетевых ресурсов. Под ресурсами сети R будем понимать пропускные способности каналов (вектор C), выделяемое время и емкость буферного ЗУ (вектор M). Поскольку ТКС, как правило, является элементом сложных систем управления (СУ), то основной задачей ТКС будет являться обеспечение эффективного решения задач управления. Поскольку эффективность управления СУ определяется объемом информации о состоянии объекта СУ, то в качестве функции эффективности ТКС можно использовать суммарную скорость передачи ценной для решения задач управления информации (V_{I_u}). Следовательно, СДУ должна так распределить ресурсы сети (т.е. найти такой вектор распределения ресурсов $\bar{r} \in \bar{R}$), чтобы выполнялось следующее условие

$$V_{I_u}(\bar{r}) \rightarrow \max. \quad (1)$$

На сами ресурсы сети R накладываются ограничения обусловленные топологией компьютерными сетями (КС), которые можно записать в виде следующей системы уравнений

$$Q \cdot \bar{r} \leq d, \quad (2)$$

где Q - матрица, описывающая ограничения накладываемые топологией ТКС.

Кроме того, существуют ограничения связанные алгоритмами функционирования КС, которые можно описать в следующем виде

$$\bar{x}(n+1) = f(\bar{x}(n), \bar{r}(n), \bar{\xi}(n)) \quad (3)$$

где $\bar{x}(n+1)$ - вектор состояния ТКС на $n+1$ шаге;

$\bar{r}(n)$ - вектор распределения ресурсов ТКС;

$\bar{\xi}(n)$ - вектор-функция, описывающая воздействие случайных факторов.

Состояние сети постоянно меняется. Поэтому задача распределения ресурсов решается динамически. Сетевые ресурсы на k -ом шаге управления $\bar{r}(k)$ выделяются непосредственно на доставку информации пользователей $\bar{r}_{КС}(k)$ и на нужды системы динамического управления $\bar{r}_{СДУ}(k)$, причем выполняется следующее ограничение

$$\bar{r}_{КС}(k) + \bar{r}_{СДУ}(k) \leq \bar{r}(k). \quad (4)$$

Как правило, объем ресурсов выделяемых на нужды СДУ составляет не более 10% от общего объема ресурса. Т.е.

$$\bar{r}_{СДУ}(k) \leq 0.1 \cdot \bar{r}(k) \quad (5)$$

Задачу оптимального распределения сетевых ресурсов ТКС можно представить в следующем виде

$$\begin{aligned} \max_{\bar{r}_{КС}(t)} V_{I_u} &= F(\bar{r}_{КС}(0), \bar{x}(1), \bar{r}_{КС}(1), \bar{x}(2), \dots, \bar{r}_{КС}(K-1), \bar{x}(K)) \\ \bar{x}(n+1) &= f(\bar{x}(n), \bar{r}(n), \bar{\xi}(n)) \\ Q \cdot \bar{r}(k) &= d \\ \bar{r}(k) &\geq 0 \\ \bar{r}_{КС}(k) + \bar{r}_{СДУ}(k) &\leq \bar{r}(k) \\ \bar{r}_{СДУ}(k) &\leq 0.1 \cdot \bar{r}(k) \end{aligned} \quad (6)$$

где K - число временных шагов.

Необходимо найти такую последовательность распределений ресурсов ТКС $\bar{r}_{КС}(0), \bar{r}_{КС}(1), \dots, \bar{r}_{КС}(k), \dots, \bar{r}_{КС}(K)$, чтобы скорость передачи ценной информации V_{I_u} была максимальной.

Успешное решение этой задачи определяется вероятностью правильного распределения сетевых ресурсов системой динамического управления P_{np} . Значение этой вероятности зависит от следующих параметров: полнота перебора всех возможных альтернатив решений ($P_{пол}$); полнота информации ($P_{инф}$) и

вероятности своевременного решения задачи распределения сетевых ресурсов ($P_{ер}$)

$$P_{np} = f(P_{пол}, P_{инф}, P_{ер}). \quad (7)$$

При выборе функционала $f(P_{пол}, P_{инф}, P_{ер})$ необходимо учитывать, что вероятность правильного решения имеет значения в диапазоне от 0 до 1 (т.е. $P_{np} \in [0;1]$). Если перебор вообще не осуществлялся, то вероятность P_{np} будет равна P_{k-1} (вероятность распределения ресурсов на предыдущем шаге). Если информация полностью устарела ($P_{инф} = 0$) и/или решение принято несвоевременно ($P_{ад} = 0$), тогда вероятность правильного распределения ресурсов P_{np} будет также равна P_{k-1} . Если все указанные вероятности будут равны 1, то вероятность правильного распределения ресурсов P_{np} будет также равна 1.

Лучше всего указанным условиям удовлетворяет функционал следующего вида

$$P_{npk} = 1 - (1 - P_{k-1}) \cdot e^{-\frac{P_{пол} \cdot P_{инф} \cdot P_{ер}}{1 - P_{пол} \cdot P_{инф} \cdot P_{ер}}}. \quad (8)$$

2. Истоки исследования авторов

Настоящая работа опирается на методику [1,2] анализа эффективности системы динамического управления компьютерных сетей, позволяющей оценить эффективность различных архитектур управления компьютерными сетями.

3. Нерешенные проблемы и цели работы

Для дальнейшего анализа необходимо разработать методику оценки эффективности системы динамического управления компьютерными сетями с учетом особенностей построения различных типов систем управления и архитектуры компьютерных сетей.

4. Используемый метод анализа эффективности системы динамического управления компьютерными сетями

Рассмотрим подробно получения каждого параметра данного выражения.

Полнота выбора альтернатив управления для информационного потока p -ого типа между i и j -ыми УК $P_{ij пол}^p$ определяется как отношение исследованных альтернатив управления (L_{ij}^p) к общему числу возможных альтернатив (N_{ij}^p). Тогда полноту выбора можно определить в виде следующего выражения

$$P_{ij}^p = \frac{L_{ij}^p}{N_{ij}^p}. \quad (9)$$

Вероятность выбора альтернатив управления для ТКС в целом можно определить следующим образом

$$P_{пол} = \frac{1}{S} \sum P_{ij}^p, \quad (10)$$

где S - общее число всех возможных информационных потоков.

Пусть в ТКС имеется V узлов коммутации и U каналов связи. В каждом i -м узле возникают информационные потоки p -ого типа между i и j узлами с интенсивностью λ_{ij}^p . Для каждого такого потока необходимо решить задачу динамического управления. Для каждого потока необходимо выделить сетевые ресурсы, чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания. Оценим сложность решения задачи ДУ для отдельного потока. Предположим, что в сети существует Q возможных маршрутов между i и j узлами. Из них только $Q_{ооп}$ маршрутов могут обеспечить требуемое качество обслуживания. Каждый маршрут представляет собой совокупность l узлов и каналов между конечными узлами. На каждом узле необходимо определить требуемую полосу пропускания (C) и необходимую емкость буферного ЗУ (M). Выбор оптимального варианта связан с полным перебором всех возможных маршрутов и значений пропускных способностей каналов связи и емкости буферных ЗУ на этих маршрутах. Пусть требуемая емкость ЗУ, измеряемая количеством сохраненных блоков информации, может иметь значения от 0 до M_i , а возможные значения пропускной способности, измеряемое в бит/с, может изменяться с шагом ΔC в интервале $[C_{ij\min}, C_{ij\max}]$.

Тогда оптимальное решение означает вектор оптимальных значений пропускных способностей и емкости буферного ЗУ, выделяемых для данного потока. Тогда поиском оптимального решения является перебор всех значений емкости буферного ЗУ и всех возможных значений пропускной способности каналов связи для всех возможных маршрутов.

Для отдельного q -ого маршрута состоящего из l_q -узлов число возможных вариантов можно представить в следующем виде

$$N_{ij}^q = \prod_{l=1}^{l_q} M_l \cdot \prod_{l=1}^{l_q} \left[\frac{C_{\max}^l - C_{\min}^l}{\Delta C_l} \right] \quad (11)$$

Если емкости ЗУ на всех УК данного маршрута и все пропускные способности данного маршрута одинаковы, то будет справедливо выражение

$$N^{q,ij} = M_l^{l_q} \cdot \left[\frac{C_{\max}^l - C_{\min}^l}{\Delta C_l} \right]^{l_q} \quad (12)$$

Соответственно, для всех Q маршрутов число всех вариантов составит

$$N_{ij} = \sum_{q=1}^Q N^{q,ij} = \sum_{q=1}^Q \prod_{l=1}^{l_q} M_l \cdot \prod_{l=1}^{l_q} \left[\frac{C_{\max}^l - C_{\min}^l}{\Delta C_l} \right] \quad (13)$$

Задачу оптимального распределения ресурсов необходимо решить для всех потоков ТКС. Общее число задач, которое необходимо решить за интервал времени T , можно представить в следующем виде

$$N_p = \sum_i \sum_j \sum_p \lambda_{ij}^p \cdot T \quad (14)$$

Для каждого потока необходимо рассмотреть N_{ij} вариантов. Тогда общее число вариантов, которые необходимо рассмотреть за время T можно определить следующим образом

$$N = N_{ij} * \sum_i \sum_j \sum_p \lambda_{ij}^p \cdot T = \sum_{q=1}^Q \prod_{l=1}^{l_q} M_l \cdot \prod_{l=1}^{l_q} \left[\frac{C_{\max}^l - C_{\min}^l}{\Delta C_l} \right] * \sum_i \sum_j \sum_p \lambda_{ij}^p \cdot T \quad (15)$$

Число возможных вариантов альтернатив можно уменьшить, используя целенаправленный перебор. Число исследованных альтернатив L ограничивается производительностью центра управления и допустимым временем управления ($T_{упр}$). Которое является суммой времени сбора информации ($T_{сбор}$), принятия решения ($T_{пр}$) и доведения управляющей информации до соответствующих сетевых устройств ($T_{дос}$).

Для проведения дальнейшего анализа необходимо определить параметры модели системы динамического управления КС.

Анализ следует проводить для сетей различных размеров. В данном случае в качестве параметра, характеризующего размер сети, будем использовать число узлов коммутации (УК) n . Данный параметр будет принимать значения $n = 10, 25, 100$, что примерно соответствует малым средним и большим сетям.

Другим важным параметром компьютерной сети является степень связности ее узлов. В самом простейшем случае (минимальная связность), каждый УК связан с одним или двумя соседними УК, что соответствует архитектуре кольцо или могут представлять собой цепочку, связанных УК. В данном случае число возможных маршрутов $Q = 2$.

Другим крайним случаем является полностью связанная сеть. В этом случае каждый УК связан отдельным каналом со всеми остальными УК. В данном случае число возможных маршрутов $Q = C_n^2 = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ для случая однопутевой

маршрутизации и $Q = 2^{C_n^2} = 2^{\frac{n(n-1)}{2}}$ для случая многопутевой маршрутизации.

Длина маршрута l зависит от размера сети и ее можно определить следующим образом $1 \leq l \leq n-1$.

Емкости ЗУ, которые выделяются на каждом УК для каждого потока, будем измерять в пакетах. Тогда диапазон допустимых значений емкости ЗУ можно определить, как $M = 20$. При значении $M = 0$ память ЗУ не выделяется. Максимальное значение емкости ЗУ, которое может быть выделено одному потоку равно 20 ($M = 20$).

Количество возможных значений пропускной способности $N_C = \left\lfloor \frac{C_{\max}^k - C_{\min}^k}{\Delta C_k} \right\rfloor$ зависит от соотношения пропускной способности канала связи C и шага приращения пропускной способности ΔC . Поэтому для удобства использования в нашей модели количество возможных значений пропускной способности можно задать степенью двойки $N_C = 128, 256, 512, 1024, 2048$.

Для определения вероятности полноты перебора всех возможных вариантов для каждого потока p -ого типа между i и j узлами с интенсивностью λ_{ij}^p число возможных вариантов определяется выражением (16). В свою очередь число рассмотренных вариантов L_{ij}^p определяется интенсивностью решения задач динамического управления центром принятия решения μ_{ij}^p и можно представить в данной форме

$$L_{ij}^p = T \cdot \mu_{ij}^p. \quad (16)$$

Тогда для моделирования важна следующая характеристика

$$P_{ij}^p \text{ пол} = \frac{L_{ij}^p}{N_{ij}^p}; L_{ij}^p = T \cdot \mu_{ij}^p \quad (17)$$

$$P_{ij}^p \text{ ит} = \frac{T \cdot \mu_{ij}^p}{T \cdot \lambda_{ij}^p} = \frac{\mu_{ij}^p}{\lambda_{ij}^p} \quad (18)$$

При $\mu_{ij}^p \geq \lambda_{ij}^p$ вероятность $P_{ij}^p = 1$, в противном случае $P_{ij}^p < 1$. Будем исследовать модель при соотношении $\frac{\mu_{ij}^p}{\lambda_{ij}^p} = 0, 0.2, 0.5, 0.9, 0.95, 0.99, 0.999$.

Число исследованных альтернатив L определяется производительностью центра управления. Данная величина определяется производительностью системы принятия решения. Она определяется временем управления ($T_{упр}$). Которое в свою очередь можно представить как сумму времен, которое система управления тратит на сбор информации ($T_{сбор}$), принятие решения ($T_{пр}$) и доведения управляющей информации до соответствующих сетевых устройств ($T_{дов}$).

Интервал времени сбора информации определяется объемом необходимой информации и сетевыми ресурсами, которые выделяются для ее передачи. Аналогично это относится ко времени доведения управляющей информации. В общем случае время сбора $T_{сбор}$ можно представить в следующем виде

$$T_{сбор} = (T_p + T_{нд} + T_{обсл}) \cdot \Theta, \quad (19)$$

где $T_p = \frac{D}{c}$ время распространения сигнала;

$T_{нд} = \frac{n_{kk}}{B}$ – время передачи информационного блока размером n_{kk} со скоростью B бит в секунду;

$T_{обсл}$ - время ожидания в очередях.

Коэффициент Θ учитывает увеличение времени сбора информации за счет повторений искаженных сообщений в системах с обратной связью. Этот коэффициент определяется в соответствии с выражением

$$\Theta = \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1}, \quad (20)$$

где $F(z)$ - производящая функция, описывающая процесс информационного обмена;

z - параметр, степень которого характеризует время выполнения операции. Для систем без обратной связи коэффициент $\Theta = 1$.

Полнота информации означает наличие необходимой информации для принятия правильного решения. Если вся необходимая информация присутствует, то данный показатель равен 1. Этот показатель можно представить как соотношение полученной информации управления ($J_{дост}$) к необходимой информации (J_{max}).

При отсутствии информации вероятность $P_{инф}(t)$ снижается до величины P_0 . Такое снижение эффективности системы мониторинга в зависимости от

полученной информации должно происходить по какому-либо нелинейному закону. Этот закон должен быть таким, чтобы при наличии малого количества информации чувствительность показателя эффективности к изменению количества информации должно быть выше, чем при наличии большого количества информации. Указанным условиям удовлетворяет выражение вида

$$P_{\text{инф}}(t) = 1 - (1 - P_0) \cdot e^{-\frac{I_{\text{дост}}(t)}{I_{\text{max}} - I_{\text{дост}}(t)}}, \quad (21)$$

где $P_{\text{инф}}, P_0$ - соответственно вероятность правильного решения после получения информации управления и до его получения,

$I_{\text{дост}}(t)$ - количество полученной информации,

I_{max} - максимальное количество информации для эффективного решения поставленных задач.

За время доставки информация стареет. В данном случае под старением информации понимается уменьшение со временем ее ценности, т.е. уменьшение вероятности $P_{1i}(t)$.

Зависимость $P_{1i}(t)$ определяется конкретной решаемой задачей и задается законом изменения функции $I_{0i}(t)$. Однако можно указать и некоторые общие требования, которыми должна удовлетворять функция $I_{0i}(t)$.

Кроме того, часть информации может быть потеряна.

Тогда количество доставленной информации можно представить в следующем виде

$$I_{\text{дост}}(t) = I_{\text{отпр}} \cdot (1 - P_{\text{ном}}), \quad (22)$$

где $I_{\text{отпр}}$ - количество отправленной информации.

$P_{\text{ном}}$ - вероятность потери служебной информации. Данная величина определяется количеством выделенных на решение задач управления ТКС ресурсов

$$P_{\text{ном}} = \prod_{i,j \in \pi_{i,j}} \frac{1 - (\rho_{i,j})}{1 - (\rho_{i,j})^{W_{i,j}+2}} * (\rho_{i,j})^{W_{i,j}+1}, \quad (23)$$

$\rho_{i,j}$ - средняя загрузка служебным трафиком канала между i и j -ыми узлами компьютерной сети;

$W_{i,j}$ - емкость памяти, который выделяется для служебного трафика для передачи между i и j -ыми узлами компьютерной сети.

Количество отправленной информации $I_{\text{отпр}}$ определяется следующим ограничением

$$0 \leq I_{\text{досм}} \leq I_{\text{отпр}} \leq I_{\text{max}}. \quad (24)$$

Количество доставленной информации определяется количеством выделенных ресурсов ТКС, выделенных для решения задач управления. Для ее определения (и исследования) необходимо задать вероятность правильного решения при отсутствии текущей информации о сети P_0 , а также определить значение $I_{\text{досм}}(t)$, которое можно представить в виде следующего выражения

$$I_{\text{досм}}(t) = (H(x_i) - H(x_i/y_j)), \quad (25)$$

где $H(x_i)$ - энтропия источника информации, который находится в i -ом состоянии,

$H(x_i/y_j)$ - условная энтропия, которая учитывает возможность потери информации за счет искажения i -ого сообщения. Данная величина определяется вероятностью ошибки в сообщении $P_{\text{ош}}$.

За время доставки информация стареет. В данном случае под старением информации понимается уменьшение со временем ее ценности, т.е. уменьшение вероятности $P_{1i}(t)$.

Зависимость $P_{1i}(t)$ определяется конкретной решаемой задачей и задается законом изменения функции $I_{0i}(t)$ по (2) можно вычислить эту функцию.

Однако можно указать и некоторые общие требования, которыми должна удовлетворять функция $I_{0i}(t)$. Это следующие требования:

1. $I_{\text{досм}}(t) = I_{\text{max}}$ при $0 \leq t \leq t_k$, где t_k - допустимое время, в течение которого ценность информации не уменьшается. Так, например, при передаче радиолокационной информации t_k определяется периодом обзора радиолокационной станции;

2. $I_{\text{досм}}(t) = 0$ при $t \geq \Delta T_i$, где ΔT_i - допустимый интервал, по истечению которого информация, содержащаяся в сообщении, считается полностью устаревшей;

3. при $t_k \leq t \leq \Delta T_i$ ценность информации $I_{0i}(t)$ должна уменьшаться в соответствии с некой функцией от I_{max} до 0. С некоторым приближением для многих информационных задач эта функция может быть линейной.

Перечисленным требованиям удовлетворяет функция

$$I_{\text{досм}} = \begin{cases} J_{\text{max}} & \text{при } 0 \leq t \leq t_{ki} \\ I_{\text{max}} \cdot \left(1 - \frac{t - t_{ki}}{\Delta T_i - t_{ki}}\right) & \text{при } t_{ki} \leq t \leq \Delta T_i \\ 0 & \text{при } t > \Delta T_i \end{cases}. \quad (26)$$

В данном выражении значение t определяется временем доставки сообщений в сетях ($T_{\text{досм}}$). Время доставки определяется по формуле из теории массового обслуживания

$$T_{\text{доцт}_{i,j}} = \sum_{i,j \in \pi_{i,j}} T_{i,j} = \sum_{i,j \in \pi_{i,j}} \frac{N_{i,j}}{\lambda_{i,j} * \frac{1 - (\rho_{i,j})}{1 - (\rho_{i,j})^{W_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j})^{W_{i,j}^p + 1}} \quad (27)$$

Следовательно, выражение (21) позволяет определить эффективность ТКС точки зрения надсистемы, с учетом времени доставки, потери и искажения передаваемой информации, а также позволяет учесть ценность передаваемой информации.

Поэтому необходимо задать значение t_k - допустимого времени, в течение которого ценность информации не уменьшается и ΔT_i - допустимый интервал, по истечению которого информация, содержащаяся в сообщении, считается полностью устаревшей.

В принципе достаточно задать только один показатель t_k и соотношение $\frac{t_k}{\Delta T}$. При $\frac{t_k}{\Delta T} = 1$ ценность информации в момент времени t_k скачкообразно

изменяет свое значение с 1 на 0. Если $0 < \frac{t_k}{\Delta T} < 1$, тогда ценность информации с момента времени t_k монотонно (линейно) убывает от 1 до 0 к моменту времени ΔT_i . Поэтому для дальнейших исследований необходимо исследовать следующие значения $t_k = 0, 0.5, 1, 5, 10, 30$, а значения $\frac{t_k}{\Delta T} = 0, 0.01, 0.1, 0.5, 0.7, 0.9, 1$.

Для оценки вероятности своевременного решения задач динамического управления необходимо построить вероятностно-временной граф, описывающий алгоритм управления компьютерными сетями при использовании различных архитектур управления. Такой граф позволит оценить среднее время решения задач динамического управления, среднеквадратичное отклонение среднего времени решения и вероятность правильного решения.

5. Выводы по результатам и направления дальнейших исследований

Была предложена методика, которая позволяет оценить эффективность различных вариантов реализации системы динамического управления компьютерными сетями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поповский В. В. Модель управления реструктуризацией телекоммуникационной сети// Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2004. Вып.138. С. 25—31.
2. Лосев Ю. И., Руккас К.М. Алгоритм функционирования многоагентной системы динамического управления компьютерными сетями.// Вісник Харківського національного університету. Збірка наукових праць. Серія

- „Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління” - Випуск 5 (№703).-Харків: ХНУ ім. В.М. Каразіна, 2005.-С. 165-172.
3. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд./ В.Г. Олифер, Н.А.Олифер.- СПб.: Питер, 2006.-864 с.: ил.
 4. Vila P., Marzo J.L., Fabregat R., Harle D. “A multi-agent Approach to Dynamic Virtual Path Management in ATM Network.” IMPACT`99 Workshop. Seattle December 1999.
 5. H. Yamaki, M.P. Wellman, T. Ishida “A Market-Based Approach for Allocating QoS to Multimedia Applications”, ICMAS-96, pp.385-392, 1996.