

УДК 004.724.4(045)

Кулаков Ю.А., д-р. техн. наук
Ланге А.Й.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Предложен способ построения динамической структуры системы управления трафиком в мобильных компьютерных сетях. Предложен и обоснован выбор месторасположения агентов управления трафиком на основе критерия плотности сетевого окружения. Разработан распределенный алгоритм формирования и реконфигурации системы управления трафиком

Введение

В связи с расширением области использования мобильных компьютерных сетей, увеличивается их размерность. Это сказывается на организации системы управления мобильными компьютерными сетями, которая перестает быть централизованной и все больше приобретает распределенный характер. При этом система управления трафиком должна быть адаптивной и реагировать на изменение топологии сети и информационных потоков. В работе [1] рассмотрены вопросы оптимизации многоуровневой структуры сети при решении задачи маршрутизации в масштабируемых мобильных сетях. Дальнейшее развитие эти вопросы получили в работе [2].

С целью повышения эффективности задачи маршрутизации компьютерная сеть разбивается на домены, при этом маршрутизация осуществляется отдельно на внутримоментном и межмоментном уровнях. Как правило, алгоритмы и протоколы маршрутизации внутри доменов и между доменами различаются. При этом эффективность каждого из этих методов зависит от размера и структуры доменов. В настоящее время существует ряд подходов [3-7] к решению задачи формирования доменов и их контролеров. Все известные решения направлены на определение подмножества узлов в пределах компьютерной сети и назначение контролеров домена. Каждый контролер домена

ответственен за внутримоментную и межмоментную маршрутизацию.

В большинстве случаев в качестве критерия выбора параметров доменов служит эффективность передачи данных, которая равна: $E=1+W_d/W_c$, где: W_d – количество переданных полезных данных, W_{cl} – количество служебной информации. В свою очередь, объем служебного трафика в домене V_i зависит от количества узлов N_{Vi} в нем и частоты (F_r) его реконфигурации.

С увеличением числа реконфигураций домена, объем служебного трафика в домене увеличивается по нелинейному закону [8], за счет чего резко падает эффективность передачи данных. При определенных условиях это может привести к неустойчивой работе сети. Объем служебной информации зависит также от диаметра домена и степени связности его узлов.

Таким образом, чем больше степень вершины, выбранной в качестве контролера домена, тем меньше объем управляющего трафика и время его распространения по сети. В связи с этим в большинстве случаев степень вершины выбирается в качестве критерия при определении месторасположения контролера домена.

В работе [9] показано, что известные методы формирования доменов и выбора месторасположения их контролеров не всегда эффективны для мобильных сетей,

структура которых постоянно изменяется. В первую очередь это касается процедуры выбора узла компьютерной сети в качестве контролера домена. В большинстве известных алгоритмов месторасположение контролера домена определяется на основании степени вершины, то есть выбирается вершина с максимальной степенью, однако, при регулярной топологии сети степени всех вершин равны.

Кроме того, данный подход предполагает фиксированное месторасположения контролеров домена, это неэффективно для мобильных компьютерных сетей.

Определение оптимального месторасположение агента управления трафиком

Основная цель заключается в разработке способа размещения агентов управления трафика в определенных узлах компьютерной сети оптимального с точки зрения минимизации управляющего трафика.

В связи с этим для выбора узла компьютерной сети в качестве месторасположения агента управления трафиком предложен и обоснован критерий $d_k(v_i)$ плотности k -го порядка сетевого окружения вершины v_i :

$$d_k(v_i) = 1 + \frac{\sum_{v_m \in \Gamma_k(v_i)} \sum_{v_j \in \Gamma_k(v_m)} l_{m,j}}{\delta(v_i)},$$

где: $\delta(v_i)$ – степень вершины v_i ; $l_{m,j}$ – эвклидово расстояние между вершинами v_m и v_j ; $\Gamma_k(v_i)$ – многозначное соответствие k -го порядка для вершины v_i .

Критерий $d_k(v_i)$ характеризует относительную связность вершины v_i в своем k -ом окружении и представляет собой отношение общего числа ребер в подграфе, образованном k -ым окружением вершины v_i , к ее степени.

В качестве месторасположения агента управления трафиком выбирается узел сети, соответствующий вершине графа с максимальным значением $d_k(v_i)$. $\Gamma_k(v_i)$ характеризует отношение между количеством связей и количеством узлов в k -сетевым окружением. Такой способ выбора месторасположения агентов

управления трафиком способствует повышению устойчивости функционирования сети и снижению объема управляющего трафика.

Рассмотрим диапазон изменения значений критерия $d_k(v_i)$ в зависимости от структуры сети и степени связности ее узлов. Для линейной или древовидной структуры графа компьютерной сети, величина параметра $d_k(v_i)$ будет минимальной и равной для всех вершин $d_k(v_i)=1$.

Для компьютерной сети с полностью связной топологией и единичном сетевом окружении $\Gamma(v_i)$ все вершины имеют равные степени $\delta(v_i) = n-1$, где n – число вершин графа. В этом случае $d_k(v_i) = n/2$.

Для компьютерной сети с полностью связной плоской топологией плотность сетевого окружения первого порядка для всех внутренних вершин равна двум.

В свою очередь, плотность первого порядка сетевого окружения для боковых вершин равна 5/3.

При лавинообразном алгоритме распространения маршрутной информации, что характерно для алгоритмов внутридоменной маршрутизации, выбор месторасположения агента управления трафиком на основе критерия плотности сетевого окружения позволяет сократить объем управляющей информации при реконфигурации сети примерно в $d_k(v_i)$ раз.

Это достигается за счет то, что в данном случае уменьшается дублирование управляющего трафика.

Рассмотрим загрузку каналов передачи информации при лавинообразном распространении одного кадра управляющей информации.

В начальный момент времени t_1 количество K_1 кадров управляющей информации равно степени $\delta(v_i)$ вершины v_i , выбранной в качестве контролера домена, т.е. $K_1 = \delta(v_i)$. В следующий момент времени t_2 количество кадров управляющей информации равно:

$$K_2 = \sum_{\delta \in \Gamma(v_i)} (\delta(v_i) - 1).$$

В общем случае

$$K_{i+1} = \sum_{\delta \in \Gamma(v_i)} (\delta(v_i) - 1)$$

Уменьшению объема управляющей информации также способствует сокращение времени распространения управляющего трафика. Так, например, в данном случае (рис. 1) при выборе вершины v_6 в качестве контролера домена время распространения управляющей информации до наиболее удаленного узла равно двум тактам, а при выборе вершины v_3 или v_8 в качестве контролера домена время распространения управляющей информации до наиболее удаленного узла равно трем тактам.

В общем случае порядок (k) плотности сетевого окружения выбирается в зависимости от размера сети, на начальном этапе формирования инфраструктуры сети значение k принимается равным единице. При нескольких вершинах с одинаковым значением $d_1(v_i)$ значение k задается равным 2 и для вершин с максимальным значением $d_1(v_i)$ вычисляется значение $d_2(v_i)$. Среди этих вершин выбирается вершина с максимальным значением $d_2(v_i)$. При наличии нескольких вершин с максимальным значением $d_2(v_i)$ задается $k=3$ и процедура повторяется до выявления одной вершины с максимальным значением $d_k(v_i)$.

В связи с этим предлагается следующий способ формирования инфраструктуры компьютерной сети.

Формирование структуры системы управления трафиком

На начальном этапе формирования структуры компьютерной сети определяется количество и месторасположение агентов управления трафиком на основе критерий $d_k(v_i)$ плотности k -го порядка. С этой целью выполняется следующая последовательность операций:

1. Каждый узел $v_i \in V$ компьютерной сети формирует множество $\Gamma(v_i)$ смежных с ним узлов.

2. На основании множества $\Gamma(v_i)$ и степени $\delta(v_i)$ каждый узел v_i формирует свой коэффициент плотности $d_k(v_i)$.

3. Узлы $v_i \in V$ обмениваются между собой значениями $d_k(v_i)$.

4. Каждый узел $v_i \in V$ сравнивает собственное значение $d_k(v_i)$ со всеми значениями $d_k(v_j)$ узлов $v_j \in \Gamma_k(v_i)$.

5. Если $d_k(v_i) > d_k(v_j)$ узлов $v_j \in \Gamma_k(v_i)$, то узел v_i объявляет себя контролером домена. Являясь контролером домена, узел v_i начинает формировать домен $D(v_i)$, включая в свой состав все узлы $v_j \in \Gamma_k(v_i)$.

6. Затем аналогичным образом из узлов $v_m \notin D(v_i)$ формируется следующий домен и так далее.

7. В результате формируется множество $\{D_j(v_i)\}$ доменов конструирования трафика.

Процедура реконфигурации системы управления трафиком

В результате перемещения узлов происходит изменение топологии компьютерной сети, которая в некоторых случаях может вызвать необходимость реконфигурации доменов. Данная процедура заключается в следующем:

1. При перемещении узла v_m проверяется принадлежность его к одному из доменов $\{D_j(v_i)\}$.

2. При отсутствии признака принадлежности к одному из доменов узел v_m начинает процедуру поиска ближайшего домена, которая заключается в обмене информацией с контролерами смежных доменов.

3. При выполнении условия вхождения в домен, узел подключается к домену, при этом агент управления доменом уведомляет всех членов домена о новом члене домена.

4. Если узел не может быть включен хотя бы в один из доменов, она начинает процедуру формирования собственного домена, объявляя себя агентом управления трафиком. За счет перераспределения узлов, входящих в состав смежных с вновь образованным доменом, осуществляется динамическая реконфигурация сети и обновление таблиц маршрутизации.

Таким образом, в результате процесса самоорганизации мобильная компьютерная разбивается на оптимальное число доменов, количество и состав которых меняется в зависимости от перемещения мобильных узлов. При этом каждый из агентов управления обеспечивает конструирование трафиком в определенной группе узлов, объединенных в соот-

ветствующий домен конструирования трафиком.

Выводы

1. Использование критерия плотности сетевого окружения при выборе контролера домена позволяет сформировать максимально устойчивую инфраструктуру мобильной сети и снизить объем управляющего трафика.

2. Предложенный способ формирования доменов маршрутизации по сравнению с известными способами позволяет реализовать сформировать и поддерживать оптимальную инфраструктуру крупномасштабных мобильных сетей с точки зрения минимизации объема управляющего трафика.

Список литературы

1. N. Mitton, A. Busson, E. Fleury. Self-organization in large scale ad hoc networks. In *The Third Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, MED-HOC-NET 04*, Bodrum, Turkey, June 2004.

2. B. Goncalves, N. Mitton, and I. Guérin-Lassous. Comparison of two Self-Organization and Hierarchical Routing Protocols for Ad Hoc Networks. In *Second International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Networks (MSN)*, Hong-Kong, China, December 2006.

3. P. Basu, N. Khan, T. Little. A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks. In *Proceedings of Distributed Computing Systems Workshop 2001*, 2001.

4. G. Chen I., Stojmenovic. Clustering and routing in mobile wireless networks. Technical Report TR-99-05, SITE, June 1999.

5. A. Amis, R. Prakash, T. Vuong, D. Huynh. Max-min dcluster formation in wireless ad hoc networks. In *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, march 2000.

6. B. Das, V. Bharghavan. Routing in ad-hoc networks using minimum connected dominating sets. In *ICC*, 1997.

7. Y. Fernandess, D. Malkhi. K-clustering in wireless ad hoc networks. In *Proceedings of the second ACM internation-*

al workshop on Principles of mobile computing, 2002.

8. Кулаков Ю.А., Мухамед Ель Амин Бабиер. Адаптивный алгоритм формирования доменов в динамических системах // *Вісник національного технічного університету України "КПІ", Інформатика, управління та обчислювальна техніка*, 2006. – № 45. – С. 57 – 66.

9. Кулаков Ю.А., Мухамед Ель Амин Бабиер, Рамессар Сурийур Кумар. Адаптивный распределенный алгоритм формирования кластеров в мобильных сетях // *Труды шестой международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии"* (23–27 мая 2005 г. г. Одесса. Украина). – 2005.