

УДК 004.7

М.Г. Шишаев, А.В. Трефилов

Институт информатики и математического моделирования Кольского НЦ РАН,
Кольский филиал ПетрГУ

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА БАЗЕ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МЕТРИКОЙ МАРШРУТОВ*

Аннотация

В статье рассмотрен метод организации динамической коммуникационной сети на базе мобильных устройств, основанный на использовании многокомпонентной вероятностной метрики маршрутов. Рассмотрена проблематика маршрутизации потоков данных в динамических сетях, а также технология организации динамической сети с квазислучайными перемещениями узлов.

Ключевые слова:

динамическая сеть, мобильный узел, вероятностная многокомпонентная метрика.

M.G. Shishaev, A.V. Trefilov

THE ORGANIZATION OF AN AD-HOC NETWORK ON THE BASIS OF MOBILE DEVICES WITH THE MULTICOMPONENT METRICS OF ROUTES

Abstract

The method of the organization of an ad-hoc network on the basis of the mobile devices is considered. The method is based on use of a multicomponent probabilistic metrics of routes. Problems of routing in dynamic networks, and also technology of the organization of a dynamic network with quasicasual movings of nodes are considered.

Keywords:

d-hoc network, mobile node, probabilistic multicomponent metrics.

Введение

Динамические коммуникационные сети на базе мобильных устройств (ad-hoc сети) [1, 2] являются перспективной современной технологией телекоммуникаций. Одним из преимуществ подобных сетей является возможность эффективно использовать незадействованный телекоммуникационный ресурс множества мобильных устройств, находящихся в распоряжении современных пользователей. Этот ресурс обеспечивается технологиями радиопередачи малого радиуса действия, реализующими для большей части устройств факультативные функции, неиспользуемые большую часть времени. Организация сети, работающей по принципу «возьми и передай дальше», на базе таких технологий с учетом современного уровня распространенности мобильных информационно-вычислительных устройств позволяет аккумулировать весьма существенный коммуникационный ресурс. В этом отношении динамические коммуникационные сети относятся к специфической категории одноранговых информационных систем

* Работа выполнена в рамках проекта № 2.8 программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

и, кроме возможности интеграции распределенного информационно-коммуникационного ресурса, обеспечивают присущие одноранговым системам высочайшую отказоустойчивость, огромный потенциал масштабирования и наращивания мощности.

Вторым принципиальным преимуществом динамических коммуникационных сетей на базе мобильных устройств является то, что подобные сети позволяют решать задачи оперативного развертывания телекоммуникационных сетей на вновь осваиваемых территориях, не имеющих развитой коммуникационной инфраструктуры. В настоящее время уже существуют действующие приложения рассматриваемой технологии в области военных телекоммуникаций, а также приложения, позволяющие создавать подобные сети вдоль автомобильных магистралей [3, 4]. Однако эти приложения накладывают существенные ограничения на размер сети, плотность «заселения» территории узлами сети и возможные маршруты перемещения мобильных узлов.

В данной статье рассматриваются основы технологии организации динамической коммуникационной сети на базе мобильных узлов, использующей маршрутизацию по вектору расстояния и двухкомпонентную метрику маршрутов, отражающую вероятность активности маршрута в различные временные интервалы (периоды суток).

Проблема маршрутизации потоков данных в динамических сетях

Главной проблемой организации динамических сетей на базе мобильных устройств является маршрутизация потоков данных в условиях нестационарной структуры сети. В чистом виде, динамические сети не располагают какими-либо аналогами постоянно доступных и стационарных в пространстве базовых станций или узлов коммутации. Узлы сети, построенной на базе мобильных устройств, могут подключаться и отключаться от сети в случайные моменты времени, плюс к этому – свободно перемещаться в пространстве. Поэтому доступность некоторого узла в некоторый момент времени не может быть гарантирована.

Один из распространенных подходов к решению данной проблемы (используемый, по-видимому, в практических реализациях динамических сетей, упомянутых выше) заключается в постоянном мониторинге текущей структуры сети с помощью широковещательных сообщений. Однако широковещательные запросы потребляют коммуникационный ресурс и, при значительном количестве сетевых узлов, могут приводить к существенному снижению или полной утрате работоспособности сети.

Альтернативой широковещанию является передача блоков данных, формирующих информационный поток, в направлении наиболее вероятного местонахождения адресата. При таком подходе возможен компромисс между широковещательной рассылкой и полностью детерминированной маршрутизацией, потенциально обеспечивающий оптимальный уровень эффективности сети (в смысле скорости и надежности доставки данных) при имеющейся плотности узлов и степени их нестационарности. Компромисс заключается в рассылке идентичных блоков данных не всем имеющимся в зоне доступа узлам, а лишь нескольким из них, наиболее вероятно способным доставить блок данных адресату. Увеличивая количество промежуточных узлов-получателей блока данных, мы приближаем свойства динамической сети к сети с широковещательной рассылкой, а уменьшая

его – к детерминированной сети со стационарной структурой. Регулируя это количество в соответствии с имеющимся уровнем нестационарности сетевой инфраструктуры, мы получаем возможность достигать оптимума эффективности сети при имеющихся условиях.

Ключевым вопросом реализации такого подхода к маршрутизации потоков данных в сети является определение наиболее вероятного местоположения узла адресата (маршрута, с наибольшей вероятностью актуального в данный момент времени). В работе [5] ранее был предложен подход к организации динамической сети на базе мобильных устройств с вероятностной метрикой маршрутов, рассчитываемой на базе частоты встречаемости узлов. В качестве механизма маршрутизации в работе предлагался известный алгоритм Беллмана-Форда [6]. Для определения метрики прямого маршрута между парой узлов каждый из них периодически осуществлял опрос находящихся в его зоне действия соседей. Отношение количества положительных откликов к общему количеству опросов за некоторый период времени рассматривалось в качестве вероятности взаимной «встречи» пары мобильных узлов. Таким образом, предполагается равномерное распределение данных вероятностей на протяжении периода опроса. Однако в ряде практических случаев вероятность попарных встреч узлов мобильной сети будет существенно зависеть от времени, например – периода суток. Учет этого факта позволит значительно повысить эффективность работы динамической сети на базе мобильных устройств.

Организация динамической самоорганизующейся сети с квазислучайными перемещениями узлов

Под средой с квазислучайными перемещениями мобильных узлов в данном случае понимается коммуникационная среда, в которой узлы перемещаются случайным образом, однако каждый узел имеет некоторый набор множеств доминирующих маршрутов для различных временных периодов. Примером среды подобного сорта является городской социум, где маршруты перемещения людей (и, соответственно, принадлежащих им мобильных коммуникационных устройств) в различное время суток обусловлены графиками труда и отдыха, личными предпочтениями, особенностями коммуникационной инфраструктуры города, и иными факторами.

Очевидно, что для динамической сети, функционирующей в такой среде, вероятности доступности тех или иных узлов и вероятности актуальности соответствующих маршрутов будут зависеть от времени. Установить эту зависимость в аналитическом виде не представляется возможным, однако вполне реализуемым шагом является разбиение временной оси на периоды с характерными величинами вероятностей попарной доступности узлов. Это возможно сделать, если располагать некоторой выборкой априорных наблюдений, которые затем подвергнуть кластеризации. Рассмотрим далее основные принципы организации динамической самоорганизующейся сети, использующей такой подход к определению вероятностной метрики маршрутов.

Будем предполагать, что маршрутизация осуществляется по вектору расстояний (алгоритм Беллмана-Форда). В соответствии с данным алгоритмом, выделяются два основных процесса, обеспечивающих работоспособность сети:

- измерение «расстояний» до соседей, как правило, совмещенное с обменом между узлами их векторами расстояний;
- перерасчет узлом собственного вектора расстояний с учетом имеющихся результатов измерений дистанции до соседей и содержимого полученных от них векторов.

Для случая динамической сети еще одной важной задачей является обеспечение механизмов входа и выхода узла из сети. Поскольку рассматриваемый тип сетей характеризуется непредсказуемостью структуры, вход/выход узла из сети является тривиальной задачей, заключающейся в генерации уникального идентификатора узла и первичного обмена маршрутными таблицами (векторами расстояний) с узлами, находящимися в зоне доступа первого. Также следствием изменчивости внутренней структуры сети является невозможность практической реализации каких-либо механизмов коммуникаций, ориентированных на соединение. Поэтому в сети предполагается дейтаграммный режим пакетной коммутации, когда блоки данных протокола отправляются получателю без его предварительного уведомления и без предварительной прокладки маршрута и резервирования сетевых ресурсов.

Сеть представляет собой некоторое множество узлов:

$$A = \{a^i\}, i = 1, \dots, N_t,$$

где N_t - количество узлов сети в момент времени t .

Расчет метрики маршрутов осуществляется на основании результатов постоянных наблюдений узлов за состоянием сети. С этой целью каждый узел a^k периодически (с частотой F) рассылает широковещательные запросы *HEARTBEAT*, в ответ на которые узлы, находящиеся в зоне доступа источника запроса, возвращают собственные текущие вектора расстояний. Последние используются узлом a^k для пересчета собственного вектора расстояний. В случае наличия отклика со стороны узла a^l , узел a^k инкрементирует счетчик n^{kl} . С целью учета фактора локализации во времени коммуникаций между отдельно взятыми парами узлов, используются отдельные счетчики для разных временных интервалов в течение используемого периода.

Временные интервалы определяются следующим образом. Исходный временной период T разбивается на микроинтервалы длительностью τ и для каждого из них рассчитывается вероятность коммуникации узла a^k с прочими известными узлами (вероятность межузловой доступности) как скользящее среднее за N периодов наблюдений:

$$P_j^{kl} = \frac{n_j^{kl}}{N \cdot \tau / T},$$

где n_j^{kl} - количество успешных коммуникаций узлов a^k и a^l в j -м микроинтервале в течение N последних периодов наблюдений.

Далее микроинтервалы подвергаются кластеризации, с помощью какого-либо из известных алгоритмов [7], с целью сокращения объемов маршрутных таблиц и передаваемых по сети векторов расстояний (рис. 1). При этом в качестве метрики схожести микроинтервалов используется разница между соответствующими вероятностями межузловой доступности.

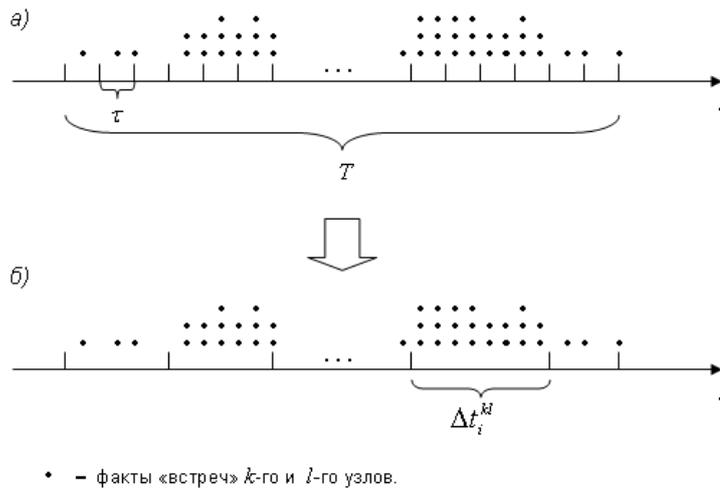


Рис. 1. Результаты мониторинга состояния сети узлами a^k и a^l (а); результат кластеризации временных интервалов по вероятности соответствующих междузловых коммуникаций (б)

В результате, метрика маршрута между узлами a^k и a^l (R^{kl}) представляет собой множество троек вида:

$$r_i^{kl} = (p_i^{kl}, t_i^{kl1}, t_i^{kl2}), \quad i = 1, \dots, K^{kl},$$

где K^{kl} - количество временных интервалов (кластеров), используемых k -м узлом при оценке маршрута до узла a^l .

$t_i^{kl1}, t_i^{kl2} \in [0, 24], t_i^{kl1} < t_i^{kl2}$ - границы временного интервала в пределах суток (возможно также использование и иной периодизации времени, отличной от суточной),

где p_i^{kl} - вероятность нахождения узла a^l в зоне доступа узла a^k в i -м временном интервале.

Назовем полученную совокупность временных интервалов

$$\Delta t_i^{kl} = [t_i^{kl1}, t_i^{kl2}], \quad i = 1, \dots, K^{kl}, \quad \bigcup_i \Delta t_i = T \quad l\text{-разбиением узла } a^k.$$

Расчет вектор расстояний узла a^k производится для каждого интервала, входящего в его разбиение. Очевидно, что при используемом подходе разбиения разных узлов будут различаться, что существенно усложняет задачу расчета значений компонентов вектора расстояний узла.

При расчете метрики маршрута от узла a^k до любого другого узла a^m через узел a^l формируется проекция m -разбиения узла a^l на l -разбиение узла a^k

(рис. 2) таким образом, что $\Delta t_i^{kl} = \bigcup_{\Delta t_j^{klm} \in \Theta_i^{klm}} \Delta t_j^{klm}$,

где Θ_i^{klm} - множество интервалов m -разбиения узла a^l , удовлетворяющих условию:

$$\Delta t_j^{klm} \in \Theta_i^{klm}, t_j^{klm1} < t_i^{kl2} \wedge t_j^{klm2} > t_i^{kl1}, \text{ и}$$

$$t_j^{klm1} = \begin{cases} t_j^{lm1}, t_j^{lm1} \geq t_i^{kl1} \\ t_i^{kl1}, t_j^{lm1} < t_i^{kl1} \end{cases},$$

$$t_j^{klm2} = \begin{cases} t_j^{lm2}, t_j^{lm2} \leq t_i^{kl2} \\ t_i^{kl2}, t_j^{lm2} > t_i^{kl2} \end{cases}.$$

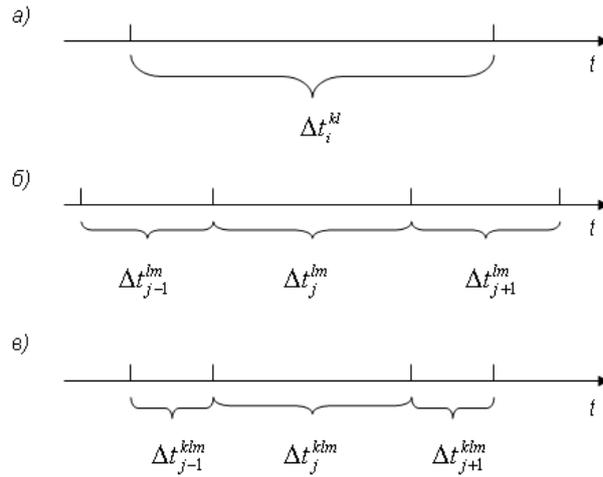


Рис. 2. Проекция (в) m -разбиения узла a^l (б) на l -разбиение узла a^k (а)

Метрика дистанции от узла a^k до узла a^m через узел a^l в момент времени $t \in \Delta t_i^{kl}$, в предположении равномерного распределения вероятности междуузловой доступности на интервалах разбиений узлов, рассчитывается следующим образом:

$$D_i^l(n_k, n_m) = p_i^{kl} \times \sum_{\Delta t_j^{klm} \in \Theta_i^{klm}} p_j^{lm} \cdot \frac{|\Delta t_j^{klm}|}{|\Delta t_i^{kl}|},$$

где $|\Delta t|$ - размер интервала Δt .

Формирование маршрутной таблицы узла (суть, выбор маршрута) осуществляется далее в соответствии с алгоритмом маршрутизации на базе вектора расстояний (Беллмана-Форда).

Заключение

Количество мобильных информационно-коммуникационных устройств, находящихся в распоряжении пользователей, растет огромными темпами. При этом неуклонно возрастают вычислительные и коммуникационные возможности этих устройств. Суммарный объем вычислительных и коммуникационных ресурсов мобильных телефонов, коммуникаторов, карманных и планшетных компьютеров с трудом поддается оценке и измеряется числами высокого порядка. Все это делает весьма привлекательными перспективы объединения подобных устройств в самоорганизующиеся одноранговые информационно-коммуникационные системы.

Рассмотренный в данной работе подход к организации динамической коммуникационной сети на базе мобильных устройств, основанный на многокомпонентной метрике маршрутов, позволяет создавать высокоэффективные коммуникационные системы на базе распределенных коммуникационных ресурсов. Использование многокомпонентной метрики маршрутов, учитывающей вероятность нахождения узлов в зоне доступа друг друга в разное время суток позволяет учесть тот факт, что наиболее вероятные местонахождения мобильных узлов в реальной ситуации зависят от времени суток: в рабочее время – места работы владельца мобильного устройства, в вечернее и ночное время – места его жительства и т. п.

Дальнейшим направлением исследований в данной области представляется исследование эффективности предложенных механизмов организации динамической сети в различных условиях. Эти условия определяются плотностью узлов, степенью их мобильности и степенью стационарности их типовых маршрутов, а также другими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхов, А.И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности / А.И. Ляхов, И.А. Пустогаров, С.А. Шпилев // Информационные процессы. - 2008. – Т.8, № 3. – С.173–192.
2. Шишаев, М.Г. Современные технологии сетей типа ad-hoc и возможные подходы к организации одноранговых телекоммуникационных сетей на базе мобильных устройств малого радиуса действия / М.Г. Шишаев, С.А. Потаман // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С.70-74
3. The Theory of Vehicular Ad-Hoc Network. TechViewz.Org. 2008-02-12. - Режим доступа: <http://techviewz.org/2008/02/theory-of-vehicular-ad-hoc-network.html>.
4. Arunkumar Thangavelu, Sivanandam S.N (February 2007). Location Identification and Vehicular Tracking for Vehicular Ad-Hoc Wireless Networks. IEEE Explorer 1 (2). –pp.112–116.
5. Шишаев, М.Г. Моделирование динамической самоорганизующейся мобильной сети с метрикой на базе частоты встречаемости узлов / М.Г. Шишаев, М.Л. Куимов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. -4/2011(7). – Вып. 2. – С.90-99.
6. Форд, Л. Потоки в сетях / Л. Форд, Д. Фулкерсон. -М.: Мир, 1966. -276 с.
7. Berkhin, P. A Survey of Clustering Data Mining Techniques /P. Berkhin // Grouping Multidimensional Data (2006). - pp.25-71.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,

e-mail:shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev - Dr. of Sci (Tech), head of laboratory

Трефилов Александр Валерьевич - аспирант

Alexander Trefilov - post-graduate