



являются векторы R^k, R^0 . Приоритеты сравниваемых объектов определяются путем перемножения матриц $Y[N] = X[K, N] * R[K]$, или в развернутой форме:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1K} \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2K} \\ \dots \\ X_{N1} + X_{N2} + \dots + X_{NK} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 X_{11} + R_2 X_{12} + \dots + R_K X_{1K} \\ R_1 X_{21} + R_2 X_{22} + \dots + R_K X_{2K} \\ \dots \\ R_1 X_{N1} + R_2 X_{N2} + \dots + R_K X_{NK} \end{bmatrix}$$

Аналогичную структуру имеет итоговая таблица для выбора оборудования с учетом всех критериев. Оптимальный выбор соответствует максимальному элементу вектора Y . Электронная книга также содержит макросы для настройки таблиц в соответствии с исходными данными.

Литература

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

А.А. Царёв, А.Ю. Привалов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В DTN СЕТЯХ С ГИБРИДНОЙ МОДЕЛЬЮ ПОДВИЖНОСТИ УЗЛОВ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва)

1. Введение

Ввиду большой сложности моделирования работы мобильных беспроводных сетей, терпимых к задержкам (DTN сети) в частности, имитационное моделирование играет ведущую роль в исследовании работы таких сетей, в том числе характеристик протоколов маршрутизации.

В результате исследований реальной мобильности, привлекавших большое внимание научного сообщества в последнее десятилетие, был выявлен целый ряд своеобразных черт реальной человеческой мобильности, которые необходимо отразить в адекватной модели. Среди них т.н. кластеризация трасс реальной мобильности, распределение вероятностей расстояний перемещений, близкое к распределению Леви, и т.н. персистентность (т.е. примерное постоянство) ежедневных маршрутов одного отдельного человека, если рассматривается работа системы на протяжении нескольких дней (см, например, [1]).

В [3, 5] авторами данного доклада была предложена т.н. гибридная модель человеческой подвижности, которая объединяет в себе все важные черты человеческой мобильности, перечисленные выше. Она является развитием моделей, предложенных в [2], но более эффективна при имитационном моделировании, и в ней более последовательно проведён учёт персистентности индиви-



дуальных маршрутов, в том числе с помощью введения специальной характеристики – *коэффициента персистентности p* .

Подробное описание гибридной модели приведено в [3, 5]. Для большей адекватности модели, как локации, так и длительности дневных индивидуальных маршрутов берутся из реальных данных, также описано в [3, 5]. В записях реальных трасс перемещения занимают в среднем 12 часов. Так как длительность маршрутов разная, в модель введена возможность принудительного окончания трассы, которое случается через определённый заранее постоянный отрезок времени – *модельный день* – d . В данной статье представлены результаты моделирования при выборе длительности модельного дня равного среднему значению от длительностей маршрутов всех узлов из реальных трасс. Каждая локация в реальном маршруте может посещаться пользователем несколько раз. Число таких возможных посещений назовём *кратностью* локации. Перед началом нового дня маршруты меняются в соответствии с *коэффициентом персистентности p* – это заменяемая доля от кратности локации. Коэффициент p введён для возможности изменения маршрута во время всего моделирования ото дня ко дню, чтобы имитировать возможность смены маршрута пользователем в реальности.

2. Протоколы маршрутизации

Для описания протоколов маршрутизации введём несколько определений. *Непосредственными соседями* или просто *соседями* будем называть те узлы, которые имеют активное сетевое соединение с текущим узлом в данный момент времени. Прежде всего, во всех протоколах DTN сетей используется эвристика передачи пакета *в один прыжок* – если у узла i есть пакет, адресованный узлу j , то при наличии непосредственного соединения с узлом j и пакет передаётся ему. Если же в числе непосредственных соседей нет целевого узла, но есть сосед, который одновременно и сосед целевого узла, то пакет посылается ему – это эвристика передачи пакета *в два прыжка*.

Если с помощью данных простейших эвристик не получилось найти целевой узел или подходящий транзитный узел, тогда и начинает работать одна из следующих эвристик, названия которых совпадают с соответствующими протоколами (например, [4]):

- эвристика Last Encountered Time (LET);
- эвристика More Frequently Visible (MFV);
- эвристика LET-MFV с порогом переключения (*гибридный протокол*);
- протокол ПРОФЕТ [6].

Эвристика LET посылает пакет от узла i тому непосредственному соседу, который позже всех (включая сравнение с текущим узлом i) «видел» целевой узел j . Если таких узлов несколько, то пакет посылается случайному из них. Если никто из соседей ещё не «видел» целевой узел, то пакет никому не передаётся. Образно говоря, в процессе маршрутизации пакет «стремится догнать» свой целевой узел. Эвристика MFV работает с использованием истории о час-



тоте встреч узлов между собой. Данная эвристика на узле i посылает пакет тому транзитивному узлу k , который чаще видит целевой узел j . Мера частоты встреч между узлами определяется как отношение общей суммарной длительности сетевого соединения ко всему времени моделирования. Суммарная длительность считается по ширине скользящего «окна» в модельных днях.

Также реализована гибридная эвристика LET-MFV. Она заключается в использовании LET только до некоторого временного порога, после которого начинает работать эвристика MFV. Решение о выборе наилучшего транзитного узла сначала пытается найти эвристика LET. Если все соседние узлы для текущего -ого «видели» целевой узел j позже, чем установленный порог, то протокол переключается на эвристику MFV. Такая логика должна сделать ситуацию по маршрутизации оптимистичнее, так как таким образом имитируется учёт устаревания информации о том, когда узлы «видели» друг друга, после чего начинается работа по собранной статистике о частоте встреч – работа MFV.

Наконец, реализован упрощённый вариант протокола PROPNET. Вместо того, чтобы делать без разборочную репликацию пакетов на узлах сети в процессе распространения пакетов, как делают простые протоколы, основанные на репликации, PROPNET реализует «вероятностную маршрутизацию» [6].

3. Экспериментальные результаты

Для сравнения результатов моделирования на основе гибридной модели, она была реализована в среде имитационного моделирования OMNeT++. Цель экспериментов – исследовать поведение протоколов LET, MFV, LET-MFV и PROPNET в зависимости от количества узлов N и коэффициента персистентности трасс p посредством сравнения целевых показателей протоколов маршрутизации: распределение вероятностей задержки доставки пакетов или распределение времени жизни пакетов – $CCDF(TTL)$ и среднее время жизни \overline{TTL} и вероятность доставки $Pr(delivery)$.

В работе представлены результаты моделирования протоколов для набора данных с территории Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

Параметры генератора длины перемещений такие же как в работах [3, 5]. Радиус передатчиков узлов равен 100 метрам. В силу ограниченности статьи представлены графические результаты функции $CCDF(TTL)$ только для $p = 0.9$ и количества узлов $N = 12$ и $N = 46$ на рисунках 1 и 2 соответственно. Оценка вероятности доставки пакета $Pr(delivery)$ и среднего времени жизни пакета \overline{TTL} представлены в таблице 1.

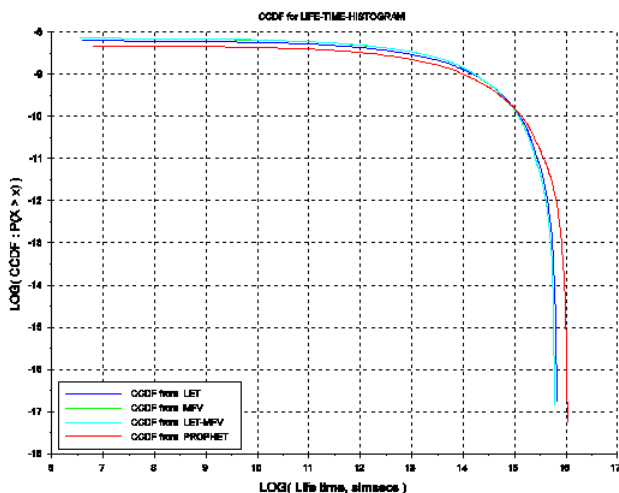


Рис. 1. Сравнение распределений $CCDF(TTL)$ протоколов: $N = 12$ и $p = 0.9$

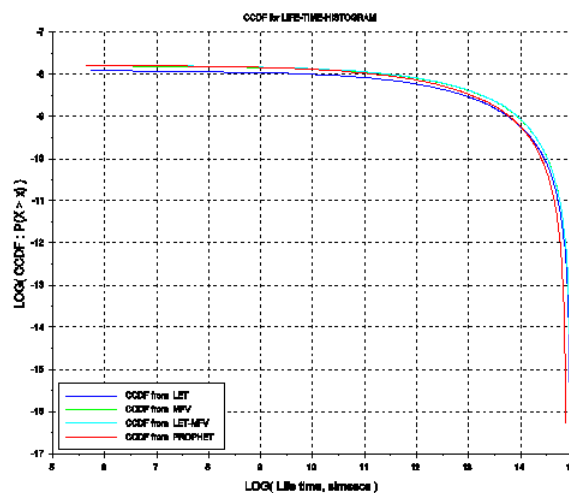


Рис. 2. Сравнение распределений $CCDF(TTL)$ протоколов: $N = 46$ и $p = 0.9$

Таблица 1. Оценка вероятности доставки пакета $Pr(delivery)$ (в процентах) – сверху, и оценка среднего времени жизни пакета \overline{TTL} (в модельных секундах) – снизу

Количество узлов (N)	$p = 0.5$				$p = 0.9$			
	LET	MFV	LET-MFV	PROPNET	LET	MFV	LET-MFV	PROPNET
46	67.8561	<u>69.3943</u>	69.3809	66.949	79.451	80.0606	80.2553	77.418
	52060.2	49784.8	<u>49575.9</u>	56642.8	45952.1	43695.7	<u>43022.3</u>	43560.5
23	63.8996	<u>73.7463</u>	73.6119	69.6292	<u>80.7188</u>	79.0921	79.2263	75.7503
	52522.1	50324.6	<u>50176.4</u>	55306.7	43013.1	35147.3	<u>34871.2</u>	37608.1
12	<u>69.5116</u>	<u>69.5116</u>	69.3531	80.2309	<u>73.8683</u>	70.0897	70.1062	70.7717
	63177.9	63177.9	<u>62928.5</u>	80434.9	45022.8	42577.7	<u>42405.2</u>	46661.

4 Заключение

Представлены результаты имитационного моделирования популярных протоколов маршрутизации в DTN сетях и реализованные в сети с гибридной моделью подвижности узлов. Исследована вероятность доставки сообщения и среднее время доставки сообщения. В результате проведённых экспериментов установлено, что при малой средней плотности узлов и среднем коэффициенте персистентности MFV протокол превосходит по вероятности доставки сообщения остальные рассматриваемые протоколы. При большой плотности узлов и при большом коэффициенте персистентности маршрута преимущество имеет протокол LET по вероятности доставки, но наилучшим по среднему времени доставки при всех рассмотренных значениях параметров мобильности узлов является гибридный протокол LET-MFV. Протокол PROPNET имеет хуже характеристики, по сравнению с другими, но стоит отметить, что он реализован схематично (например, без реализации репликации), с использованием рекомендуемых параметров в [6], и его применение к предложенной нами гибрид-



ной модели мобильности и сравнение с представленными алгоритмами маршрутизации – поле деятельности для дальнейших исследований.

Литература

1. Rhee I. On the Levy walk nature of human mobility / I. Rhee, M. Shin, S. Hong, K. Lee, S. Chong // Proc. IEEE INFOCOM, Phoenix, AZ, (Apr.). – 2008. – P. 924-932.
2. Lee K. Demystifying Levy Walk Patterns in Human Walks / K. Lee, S. Hong, S.J. Kim, I. Rhee, S. Chong. // Technical Report in CSC, NCSU. [Electronic resource]. – 2008. – Access mode: https://www.csc.ncsu.edu/research/tech/reports.php/Demystifying_Levy_Walk_Patterns.pdf (28.01.2017).
3. Privalov A.Yu. Hybrid Model of Human Mobility for DTN Network Simulation / A.Yu. Privalov, A.A. Tsarev // In Proceedings of 30th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS2016), Regensburg university of applied sciences, Regensburg, Germany. – 2016. – P. 419-424.
4. Dubois-Ferriere H. Age matters: Efficient route discovery in mobile ad hoc networks using encounter ages / H. Dubois-Ferriere, M. Grossglauser, M. Vetterli // In Proc. ACM MobiHoc, Annapolis, MD. (Jun.). – 2003. – P. 257–266.
5. Privalov A.Yu. Hybrid Model of Human Mobility for DTN Network Simulation in Comparison with SLAW-type Model / A.Yu. Privalov, A.A. Tsarev // In Proceedings of 10th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP16), 20-23 July 2016 in Prague, Czech Republic. [Electronic resource]. – 2016. – Access mode: <http://www.csndsp16.com/csndsp16.zip> (28.01.2017).
6. Lindgren A. Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks / A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, S. Grasic // [Electronic resource]. – 2012. – Access mode: <https://tools.ietf.org/html/rfc6693> (дата обращения 28.01.2017).

Д.Э. Цыганков, А.Ф. Похилько

ОТОБРАЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ

(ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»)

Изделие, как материализованный результат проектной деятельности, определяемый исходными данными в виде технического задания, отображается в САД-системе 3D-моделью – проектным решением на этапе конструкторского проектирования. Непосредственно сам 3D-образ является лишь «следствием» выполнения базовых операций САД-системы, иерархически упорядоченных в т.н. «дереве построения» 3D-модели [1, 2]. Проектные данные об изделии, ото-