



- метода бомбометания;
- количества бомб в серии или в залпе;
- числа заходов на цель каждым самолетом;
- вида боевого порядка при бомбометании группой;
- качества бомбардировочной подготовки ведущих экипажей, а при одиночном бомбометании – от подготовки каждого экипажа.

Общая оценка индивидуальных учебных бомбометаний, выполненных с высот ниже 1000 м, производится путем сопоставления оценок по дальности с оценками по направлению согласно таблице оценок бомбометания (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка бомбометания

Оценка по дальности	Оценка по направлению	Общая оценка
Отлично	Отлично	Отлично
Отлично	Хорошо	Хорошо
Отлично	Посредственно	Хорошо
Отлично	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно
Хорошо	Хорошо	Хорошо
Хорошо	Посредственно	Посредственно
Хорошо	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно
Посредственно	Посредственно	Посредственно
Посредственно	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно

Система моделирования и имитации режимов бомбометания может облегчить и повысить эффективность обучения молодых специалистов, значительно уменьшить затраты на получение статистических данных результатов бомбометания, а также дает возможность анализировать еще не созданные методики бомбометаний.

### Литература

1. Боевая авиационная техника: Авиационное вооружение [Текст]: / Д.И. Гладков [и др.]. – М.: Воениздат, 1987. – 279 с.
2. Сафонов, Л.Г. – Баллистика авиационной бомбы [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Сафонов. – Челябинск: Типография ЧВВАУШ, 1987. – 98 с.
3. Юдовин, М.Я. – Теория прицеливания при бомбометании с горизонтального полета [Текст]: учеб. пособие / М.Я. Юдовин, В.А. Неуймин. – Челябинск: Типография ЧВВАУШ, 1987. – 76 с.
4. Бюшгенс, Г.С. – Динамика самолета. Пространственное движение [Текст]: учеб. пособие / Г.С. Бюшгенс, Р.В. Студнев. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.



А.Ю. Привалов, А.А. Царёв

## ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДВИЖНОСТИ УЗЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ DTN СЕТЕЙ

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

Наличие адекватной модели перемещений узлов в беспроводных сетях очень важно для корректной оценки производительности сетей в моделировании поведения реальных сетей. Это особенно важно для DTN сетей, т.к. они характеризуются короткими сеансами связи, перемещения узлов влияют на такие фундаментальные характеристики протоколов маршрутизации, как вероятность доставки сообщения и распределение вероятностей задержки доставки пакета. В последнее время [1-2] был представлен новый тип моделей, который можно обозначить как SLAW-подобные модели, способные одновременно смоделировать несколько важных особенностей реальных человеческих перемещений. Сравнения, сделанные в [1], показывают, что эти модели лучше моделей из [3-4] в моделировании особенностей реальных человеческих перемещений. Но в работе [5] показано, что SLAW-подобные модели требуют больше времени на вычисления. В данной работе показано, что гибридная модель обеспечивает весьма близкие к модели SLAW статистические характеристики протоколов маршрутизации (ITC, распределение вероятностей задержки доставки пакетов, вероятность доставки пакета).

SLAW-подобные модели рассматривают человеческую мобильность как прямолинейные переходы между путевыми точками, где люди останавливаются на определённый промежуток времени. Хорошо известно, например, [3], что дистанция между последовательными путевыми точками и время, проведённое в путевой точке, имеют распределение вероятностей близкое к распределению Леви. В SLAW-подобных моделях кластеры точек и параметр самоподобия (дисперсию) извлекаются из реальных трасс [2]. Когда генерируется трасса, её путевые точки распределяются внутри каждого кластера с использованием параметра самоподобия, полученного на основе реальной трассы. Как показано в работе [1], для обеспечения Леви распределения расстояния между последовательными путевыми точками, последние должны быть посещены согласно алгоритму LAMP, и после посещения всех точек внутри кластера выбирается следующий кластер, тем же образом:

$$\Pr\{i \rightarrow j\} = \frac{\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^p}{\sum_{k \in |V-V|} \left(\frac{1}{d_{ik}}\right)^p} \quad (1)$$

где  $d_{ij}$  это евклидово расстояние от кластера  $i$  до  $j$ , параметр  $p$  фиксированное вещественное число со значениями  $[0; +\infty)$ , также  $V'$  это набор кластеров из  $V$ ,



которые уже были посещены. В модели два разных параметра  $p$  – один для путевых точек, второй для локаций. Фактически, для вычислений согласно LATP для  $N$  путевых точек требуется вычислить  $N(N-1)/2$  расстояний между путевыми точками, т.е.  $O(N^2)$  операций. Это может требовать большого количества времени, в то время как предлагаемая гибридная модель может преодолеть данный недостаток.

В начале моделирования каждый пользователь получает информацию о его трассе в виде набора кластеров, он выбирает первый кластер и выбирает случайную точку внутри в качестве стартовой. Затем он перемещается внутри кластера, совершая перемещения и паузы, соответствующие длине и длительности которых распределены по закону Леви:

$$f_x(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-itx - |ct|^\alpha) dt \quad (2)$$

Обычно направление, выбираемое при генерации прыжка, имеет равномерное распределение, однако в гибридной модели при генерации прыжка используется такой выбор направления, чтобы избежать выхода за пределы кластера, если это возможно. Перемещения между кластерами, так же, как и в SLAW модели, совершаются согласно алгоритму LATP. Очевидно, что время вычислений при перемещениях внутри кластера пропорционально числу путевых точек внутри кластера, т.е.  $O(N)$ . Следовательно, для большого числа  $N$  мы можем ожидать, что данная модель будет быстрее, чем модель SLAW.

Для маршрутизации пакетов в DTN сетях используется несколько простых эвристик. Непосредственными соседями или просто соседями будем называть те узлы, которые имеют активное соединение с текущим узлом на данный момент. Эвристики должны принять решение о том, в каком направлении (какому соседу) посылать пакет, если непосредственное соединение с узлом назначения отсутствует. Если у узла  $i$  есть пакет, адресованный узлу  $j$ , то проверяется наличие непосредственного соединения с узлом  $j$  (эвристика передачи пакета в один прыжок). Если же в числе непосредственных соседей нет целевого узла, тогда пакет посылается первому попавшемуся узлу, который соединён с целевым (эвристика передачи пакета в два прыжка). Если ни одно из предыдущих условий не выполнилось, тогда решение пытается найти эвристика, которая посылает пакет от узла  $i$  тому непосредственному соседу, который позже всех (включая сравнение с текущим узлом  $i$ ) «видел» целевой узел  $j$  (то есть, имел активное соединение с этим узлом). Если таких узлов несколько, то пакет посылается случайному из них. Данная эвристика носит название LET – Last Encountered Time [6] и с её помощью в процессе маршрутизации передаваемый пакет «стремится догнать» свой пункт назначения.

Для сравнения результатов моделирования на основе гибридной модели и модели SLAW, данные модели были реализованы в среде имитационного моделирования OMNET++ с помощью фреймворка INET (подробнее описано в работе [5]). Цель экспериментов – сравнить основные характеристики протоколов маршрутизации: распределение вероятностей ICT, распределение вероятностей задержки доставки пакетов или распределение времени жизни пакетов TTL и



вероятность доставки пакета – для разных моделей мобильности, чтобы показать адекватность предложенной нами гибридной модели, не меньшую чем у SLAW модели, а также большую эффективность гибридной модели в смысле затрат вычислительных ресурсов [5]. Далее представлены результаты для двух наборов данных из коллекции [7]: KAIST и NCSU. Обе модели запускались для 30 узлов на протяжении 24 модельных часов. На рисунках 1-2 изображены функции распределений CCDF для времени взаимодействия узлов (inter-contact time (ICT)) и времени жизни пакетов (time to live (TTL)). Они показывают, что гибридная модель имеет схожие результаты по обеспечению характеристик ICT и TTL. Оценка вероятности доставки пакета для обеих территорий представлена в Таблице 1.

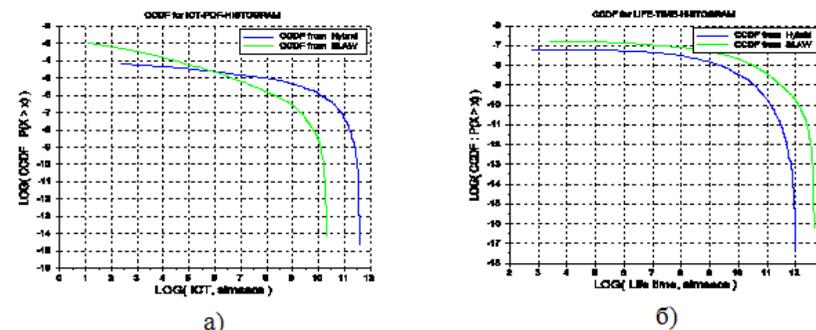


Рис. 1. Распределение ICT (а) и TTL (б) на KAIST

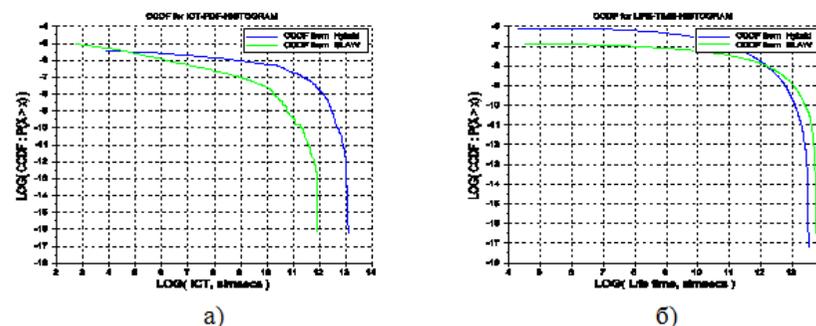


Рис. 2. Распределение ICT (а) и TTL (б) на NCSU

Табл. 1. Оценка вероятности доставки пакета

Набор данных	SLAW модель	Гибридная модель
KAIST	0.93	0.79
NCSU	0.78	0.76



Представлена гибридная модель человеческой мобильности. Данная модель воспроизводит такие важные характеристики реальных перемещений, как распределение Леви расстояний между последовательными путевыми точками и кластеризацию путевых точек, а также является более быстрой в моделировании, чем SLAW модель, считающаяся в настоящее время одной из самых адекватных моделей человеческой мобильности. Адекватность предложенной гибридной модели демонстрируется сравнением характеристик протоколов маршрутизации при их работе в DTN сети, мобильность узлов в которой моделируется с помощью двух указанных выше моделей. Для обеих моделей характеристики протоколов оказываются весьма близкими. При этом, гибридная модель даёт, как правило, худшие оценки параметрам работы протоколов, и потому её результаты могут служить в качестве консервативных оценок для реальных значений параметров. Таким образом, в силу хорошей адекватности и большей вычислительной эффективности, гибридная модель имеет преимущество перед SLAW при моделировании DTN сетей с большим количеством узлов.

#### Литература

1. Lee K. SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk / K. Lee, S. Hong, S.J. Kim, I. Rhee, S. Chong // IEEE/ACM Trans. on Networking. – 2012. Vol. 20(2). – P. 515-529.
2. Lee K. Demystifying Levy Walk Patterns in Human Walks / K. Lee, S. Hong, S.J. Kim, I. Rhee, S. Chong. // Technical Report (CSC, NCSU). – [Электронный ресурс]. – 2008. – URL: [https://www.csc.ncsu.edu/research/tech/reports.php/Demystifying\\_Levy\\_Walk\\_Patterns.pdf](https://www.csc.ncsu.edu/research/tech/reports.php/Demystifying_Levy_Walk_Patterns.pdf) (дата обращения 20.03.2016).
3. Rhee I. On the Levy-walk nature of human mobility / I. Rhee, M. Shin, S. Hong, K. Lee, S.J. Kim, S. Chong. // IEEE/ACM Trans. on Networking. – 2011. – Vol. 19(3). – P. 630-643.
4. Lim S. Clustered mobility model for scale-free wireless networks / S. Lim, C. Yu, C.R. Das // Proc. IEEE LCN 2006 (Tampa, FL, Nov.). 2006. – P. 231-238.
5. Privalov A.Yu. Hybrid Model of Human Mobility for DTN Network Simulation / A.Yu. Privalov, A.A. Tsarev // (доклад принят на 30th European Conference on Modelling and Simulation). 2016.
6. 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.
7. Kotz D. Community Resource for Archiving Wireless Data at Dartmouth. Dartmouth College. [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://www.crowdad.org/index.html> (дата обращения 20.03.2016)



А.И. Пугачев

#### МОДЕЛЬ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

(Самарский государственный технический университет)

Типовая структура перерабатывающего предприятия включает несколько производственных участков (цехов), один из которых выпускает готовую продукцию, а остальные являются вспомогательными и выпускают собственные ресурсы, необходимые как для своего функционирования, так и для работы других участков. Наряду с внутренним потреблением отдельные собственные ресурсы могут реализовываться так же, как и готовая продукция. Примером собственных ресурсов может служить теплоэнергия.

Для перерабатывающих предприятий характерен короткий цикл производства, как готовой продукции, так и собственных ресурсов, что позволяет пренебречь остатками незавершенного производства, а также запасами ресурсов внутри производственных участков.

Основная проблема учета выпуска собственных ресурсов и готовой продукции заключается в том, что в состав общих затрат всякого производственного участка наряду с прямыми производственными затратами С входят также затраты в виде себестоимости одного или нескольких видов потребляемых собственных ресурсов, включая и ресурсы, выработанные в самом подразделении [1, 2]. Сложные маршруты движения ресурсов, включая циклические участки, серьезно усложняют расчет их себестоимости, а, следовательно, и себестоимости готовой продукции.

Рассмотрим предприятие, в составе которого имеется  $m$  производственных участков  $P_i$ , производящих  $n$  видов ресурсов, причем каждый участок производство может выпускать несколько видов ресурсов. Для моделирования нет принципиальной разницы между учетом собственных ресурсов и учетом готовой продукции. Поэтому, обобщая, будем говорить о выпуске каждым участком одного или нескольких ресурсов.

На рис. 1 приведен пример структуры перерабатывающего предприятия, включающего вспомогательные участки  $P_1$ ,  $P_2$  и участок  $P_3$  выпуска готовой продукции.

Ресурс  $r$ , выработанный за период  $\Delta t$ , характеризуется количеством  $b$  и стоимостью  $s$ , т.е.  $r = (b, s)$ . Выпуск ресурсов всеми участками представим как

$$R_i = (r_{iu} | u \in \overline{1, n}) = ((b_{iu}, s_{iu}) | u \in \overline{1, n}), \quad i \in \overline{1, m}. \quad (1)$$

Движение ресурсов в стоимостном выражении отражает следующее уравнение:

$$C_i + \sum_{j=1}^m S_{ji} = \sum_{j=1}^m S_{ij} + S_{i0}, \quad i \in \overline{1, m}, \quad (2)$$

где  $C_i = (c_{iu} | u \in \overline{1, n})$  обозначает затраты участка  $P_i$  в течение периода  $\Delta t$  на вы-