

# Имитационное моделирование межсотовых перемещений и отслеживание локальных перегрузок в системах связи с подвижными объектами

Разработана имитационная модель межсотовых перемещений пользователей сети подвижной радиотелефонной связи, позволяющая моделировать поведение мобильного потока абонентов во времени. При этом учитываются наличие двух типов абонентов: находящихся в режиме эстафетной передачи (HO) и абоненты входящие в соту в пассивном состоянии (OR). В качестве среды моделирования используется среда GPSS (General Purpose Simulation System — общепрограммная система моделирования) — язык программирования, используемый для имитационного моделирования различных систем, в основном систем массового обслуживания. Одновременной с моделированием и сбором информации о межсотовых перемещениях абонентов, в данной модели реализованы алгоритмы обработки полученной выборки, с целью предсказания локальных перегрузок в выбранной сотовой зоне, в режиме реального времени. В качестве примера работы алгоритма приведены результаты моделирования для макросотовы Синтезированную программную модель можно использовать на сетях подвижной радиосвязи для предсказания перегрузок и прогнозирования параметров оптимизации. Вычислительная часть полученного алгоритма может быть экспортирована в практически любую программную среду и использована в качестве программного продукта на системе OSS оператора. Интеллектуальные системы данного класса являются частью концепции SON (Self Optimizing Network) разрабатываемой консорциумом 3GPP.

**Ключевые слова:** моделирование, GPSS, SON, предсказания, оптимизация.

Щучкин В.М.,  
аспирант МТУСИ,  
vlad.sh86@yandex.ru

## Введение

Существующие сети подвижной радиосвязи (СПРС) испытывают частые локальные перегрузки вследствие резкого увеличения потребления услуг со стороны абонентов, спрос на которые растет с каждым днем. Величину потребления услуг обычно принято выражать в максимально обслуживающей нагрузки, при условии обеспечения качества связи (QoS) на заданном уровне. В общем случае, нагрузку можно определить, воспользовавшись соотношением:

$$\rho_{\Sigma} = N \rho_{yo} \quad (1)$$

где  $\rho_{\Sigma}$  — суммарная нагрузка [Эрл],  $N$  — число абонентов на заданной территории (сотовой зоны),  $\rho_{yo}$  — удельная нагрузка на абонента [Эрл]. В то же время, одним из основных критериев качества работы СПРС является доля блокировок абонентов, обычно данный показатель не превышает 2-5% от общего числа попыток установления соединения. С другой стороны, в простейшем случае, вероятность блокировки можно определить воспользовавшись формулой Эрганга В, для этого необходимо задаться числом каналов  $n$  и нагрузкой  $\rho_{\Sigma}$ . Очевидно, что вероятность блокировки зависит только от суммарной нагрузке в сотовой зоне, в случае лимитированного числа трафиковых каналов  $P_{bl}(\rho_{\Sigma})$ .

Отсюда следует, что увеличение вероятности блокировки может произойти из-за увеличения удельной нагрузки или

вследствие роста числа абонентов на заданной территории (сотовой зоне). Удельная нагрузка зависит от потребления абонентом услуг связи, например средняя длительность разговора при голосовом вызове. Колебания среднего значения данного параметра возможны, однако их легко предугадать, так как обычно они зависят от активности абонентов в определенные часы суток. В случае изменения удельной нагрузки у небольшого количества абонентов, отклонение суммарной нагрузки от своего среднего значения будут незначительны.

Число абонентов напротив, может претерпевать значительные изменения в короткие интервалы времени, например образование затора на автостраде, проведение массовых мероприятий и т.д., что говорит об актуальности исследования процессов межсотовых перемещений абонентов.

## Регулирование нагрузки в сотовой зоне

Из вышеизложенного следует, что поддержание QoS в заданной сотовой зоне можно осуществлять путем регулирования числа абонентов на обслуживаемой территории. Наиболее привлекательным, с точки зрения простоты реализации и эффективности являются методы регулировки площади при использовании интеллектуальных антенн [1], [5].

Интеллектуальные антенны (ИАС) позволяют управлять площадью обслуживания благодаря изменению параметров диаграммы направленности, что является частью концепции SON (Self Optimizing Network) разрабатываемой консорциумом 3GPP.

Наиболее распространенными методами регулировки диаграммы направленности (ДН) являются:

- изменение угла наклона максимума ДН, при этом выделяются случаи электрического и механического регулирования;
- изменение ширины диаграммы направленности, при использовании алгоритмов адаптивного формирования луча.

В работе [1], был проведен анализ ИАС из которого следует, что использование антенных систем с возможностью удаленного управление углом наклона ДН наиболее эффективно с точки зрения максимально обслуживаемого трафика и простоты реализации. Антенные системы подобного класса получили название RET (Remount Electrical Tilt) в англоязычной литературе [6-8]. Современные RET системы позволяют изменять угол наклона ДН со скоростью до 1 градус на 5-10 секунд.

В [1] была получена аналитическая зависимость, позволяющая определить площадь обслуживаемой соты при различных значениях угла наклона ДН:

$$S(\alpha) = \operatorname{tg}(\delta) \sum_{i=0}^M \left( \frac{r(i, \alpha) + r(i+1, \alpha)}{2} \right)^2 \quad (2)$$

где  $M$  – число шагов отсчета в горизонтальной плоскости,  $\delta = 360 / M$ ,  $r(i, \alpha)$  – функция определяющая дальность связи в направлении  $i$  и угле наклона ДН  $\alpha$ . Дальность связи это максимально расстояние между РЭС, на котором еще возможно установить соединение.

Если положить, что абоненты распределены по обслуживаемой территории равномерно, то число абонентов на территории соты будет определяться, как

$$I(\alpha) = S(\alpha)\sigma \quad (3)$$

где  $\sigma$  плотность абонентов  $a b / m^2$ .

#### Предсказание локальных перегрузок

Наиболее эффективными, с точки зрения поддержания качества обслуживания на сети, являются методы, позволяющие предотвратить перегрузку в соте, так как это позволит уменьшить коэффициент блокированных пользователей и увеличить обслуживаемых трафик. В работе [1-3], рассмотрены алгоритмы предсказания локальных перегрузок, основанные на контроле межсотовых перемещений абонентов. В данной работе ограничимся рассмотрением алгоритмов обнаружения скачка интенсивности входящего и исходящего потока абонентов, т.к. это наиболее распространенная причина возникновения локальных перегрузок.

Алгоритм обнаружения скачка интенсивности входящего на территорию соты потока абонентов имеет следующий вид:

$$\max_{t \in [0, T]} \left\{ \left( \frac{n_z(t)}{t} \right)^{n_z(t)} \left( \frac{N_z - n_z(t)}{T-t} \right)^{N_z - n_z(t)} \right\}^{H_1} > \Pi(P_\alpha) \\ \left( \frac{N_z}{T} \right)^{N_z} < H_0 \quad (4)$$

где  $t$  – параметр предполагаемого момента возникновения скачка,  $n_z(t)$  – число запросов, поступивших на интервале времени  $[0, t]$ ,  $N_z$  – число запросов, поступивших на интервале времени  $[0, T]$ . Для обеспечения заданной вероятности ложных тревог  $\Pi$  выбирается согласно требуемому значению  $P_\alpha$  – вероятности ложного обнаружения [2]. В данном случае в качестве критерия оптимальности используется критерий Неймана-Пирсона.

Для детектирования скачкообразного изменения интенсивности исходящего потока, так же можно воспользоваться соотношением полученным в [2]:

$$\frac{1}{4} (K - K(\hat{t}_0)) \frac{\left( \Xi'_2(\hat{t}_0) - 2 \frac{\tau'_{cp}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi'_1(\hat{t}_0) \right)^2}{\left( \frac{4}{3} \Xi'_3(\hat{t}_0) - \frac{\tau'_{cp}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi'_2(\hat{t}_0) - 2 \frac{D'_t(\hat{t}_0)}{(T - \hat{t}_0)^2} \Xi'_1(\hat{t}_0) \right) \cdot \Xi'_1(\hat{t}_0)^{H_0}} > \Pi(P_\alpha) \quad (5)$$

где  $\hat{t}_0$  – параметр предполагаемого момента возникновения скачка,  $K(\hat{t}_0)$  – число запросов на выход из соты, поступив-

ших на интервале времени  $[0, \hat{t}_0]$ ,  $K$  – число запросов на выход абонента из соты, поступивших на интервале времени  $[0, T]$ ,  $\Xi'_1(\hat{t}_0)$ ,  $\Xi'_2(\hat{t}_0)$ ,  $\Xi'_3(\hat{t}_0)$ ,  $\tau'_{cp}(\hat{t}_0)$ ,  $D'_t(\hat{t}_0)$  – усредненные моменты входящего и выходящего потоков абонентов [2].

#### Моделирование межсотовых перемещений абонента

Используя алгоритмы управления площадью обслуживания соты совместно с методами предсказания перегрузок возможно управлять оборудованием СПРС в масштабе реального времени, с целью получения максимального QoS. Для этого необходима разработка имитационной модели, на основе машинного кода, позволяющей в масштабе реального времени оценить параметры адаптации системы.

В данной работе в качестве программной среды моделирования используется GPSS (General Purpose Simulation System — общепринятая система моделирования) — язык программирования, используемый для имитационного моделирования различных систем, в основном систем массового обслуживания.

Блок схема описывающая процесс обслуживания абонента (транзакта) на территории одной соты СПРС (в многоканальном устройстве – МКУ), приведена на рис. 1 и 2. Абоненты условно разделены на абонентов находящихся в режиме эстафетной передачи (HO) и абоненты входящие в соту в пассивном состоянии (OR).

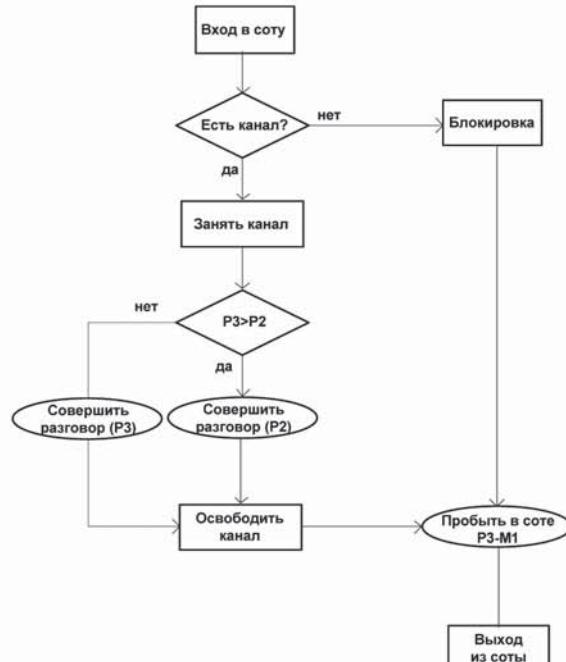
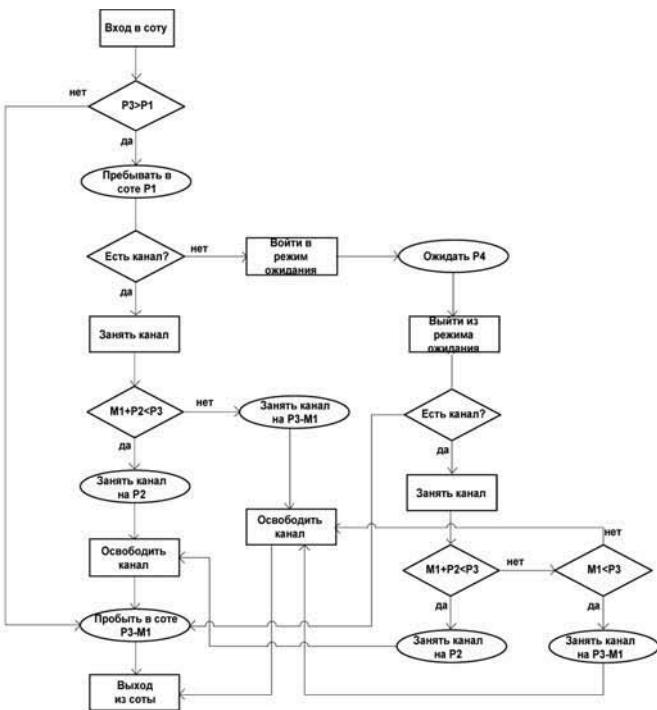


Рис. 1. Модель обслуживания абонента HO в соте

На рис. 1 и 2 приняты следующие обозначения: P1- Количество сек. до совершения первой попытки звонка, P2- Длительность разговора, P3- Длительность пребывания абонента в соте, P4- Длительность ожидания канала в случае блокировки, M1- Длительность пребывания абонента в системе. Параметры P1-P4 определяются моделью автоматически для каждого транзакта отдельно, на основе псевдослучайных счетчиков.

Данная блок-схема несколько отличается от схемы, отражающей процессы обработки транзакта в среде GPSS. Данные упрощения приведены улучшения восприятия материала и обеспечения прозрачности работы модели. Модель хорошо согласуется с теоретическими формулами, которые описывают соту как СМО, например Эрланга B.



**Рис. 2.** Модель обслуживания абонента OR в соте

Для отслеживания локальных перегрузок в синтезированную модель соты введены два дополнительных блока:

- блок сбора и накопления статистики межсотовых перемещений абонента (позволяет накапливать данные о времени входа и выхода абонента из соты);
  - блок обработки статистики (математический аппарат, который используя накопленную статистику, определяет возможность наступления перегрузки и оценивает среднее значение параметров мобильности абонента).

Блок сбора и накопления статистики реализуется при помощи стандартных средств GPPS. В данном блоке фиксируются и хранятся основные параметры мобильности абонента: время входа абонента на территорию соты, время выхода абонента с территории соты.

Блок обработки статистики извлекает необходимые данные о межсотовых перемещениях абонентов и прогнозирует наступление перегрузки, а так же оценку параметров мобильного потока. Основные параметры для оценки межсотовых перемещений абонентов являются, для входящего потока:  $\hat{t}_0$  – оценка момента возникновения скачка,  $\hat{\lambda}_a^m$  и  $\hat{\lambda}_b^m$  – оценка интенсивности входящего потока до и после момента наступления скачка мобильности абонентов. Для исходящего потока:  $\hat{t}_0$  – оценка момента возникновения скачка,  $\hat{\mu}_A^m$  и  $\hat{\mu}_B^m$  – оценка интенсивности исходящего потока до и после момента наступления скачка мобильности абонентов. Ниже приведены результаты имитационного моделирования детектирования скачка входящего/исходящего потоков, а так же произведем оценку параметров потоков.

В качестве исходных данных для создания модели соты и оценки мобильности абонентов воспользуемся данными, приведенными в табл. 1.

Данные значения использовались для определения параметров транзакта в системе GPSS, определяя, таким образом, средний интервал времени между двумя последовательными входами и выходами абонентов на с/территорию/и соты. Реальные значения параметров, определялись при помощи генераторов псевдослучайных чисел встроенных в GPSS по экспоненциальному закону. В качестве параметра, позво-

ляющего менять интенсивность поступления абонентов в сотовую сеть (транзактов в многоканальное устройство – в терминологии GPSS), использовался параметр  $\sigma$  – плотность распределения абонентов.

## Исходные данные

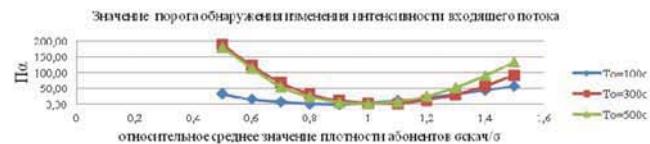
Параметр	Значение	Размерность
Процент абонентов совершающих handover от общего числа абонентов	1	%
Интенсивность входа в соту абонентов, $\lambda^*$	0,06724	с
Интенсивность выхода абонентов из соты, $\mu^*$	121	с
Удельная нагрузка на абонента	0,015	Эрл

\* - параметры рассчитаны из условия движения абонентов 50 км/ч, площадь соты 3600000 м<sup>2</sup>, плотность абонентов вне соты 0,0005 аб/ м<sup>2</sup>. Указания по расчету параметров приведены в [2].

Условия проведения эксперимента для входящего потока абонентов:

- Эксперимент проводится на 3х различных интервалах анализа То: 100с/300с/500с;
  - Детерминированным временем появления скачка интенсивности на выбранных интервалах будет временная отметка 70с/200с/400с (детерминированное время скачка необходимо для оценки параметров алгоритма обнаружения);
  - Интенсивность входящего потока меняется путем увеличения/уменьшения относительной плотности абонентов бскаж/б. Рассматриваемые значения относительной плотности: 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1; 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5.

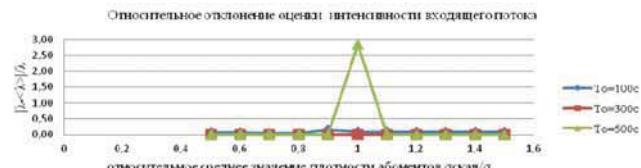
Результаты моделирования скачка интенсивности входящего потока абонентов и оценка его параметров приведены на рис. 3-5.



**Рис. 3.** Зависимость порога обнаружения изменения интенсивности входящего потока при различных значениях относительной плотности абонентов



**Рис. 4.** Относительное отклонение оценки момента скачка входящего потока при различных значениях относительной плотности абонентов



**Рис. 5.** Относительное отклонение оценки интенсивности скачка входящего потока при различных значениях относительной плотности абонентов

Из полученных результатов можно сделать вывод, что максимальное отклонение от действительного значения параметра скачка интенсивности наблюдается в моменты отсутствия самого скачка. Данный эффект не влияет на работоспособность алгоритма при правильном выборе порога обнаружения изменения интенсивности, что подтверждается результатами, см. рис. 3. При отсутствии изменения интенсив-

ности входящего потока оценка параметров не производится, при этом малые колебания числа абонентов в соте, которые не будут отслеживаться, незначительно скажутся на общем качестве обслуживания.

На рис. 6-8, для полной оценки работы алгоритма, показан результат ряда дополнительных экспериментов. Для этого зафиксировали величину скачка интенсивности (1,3) и отследим ошибки оценки параметров при различных моментах времени возникновения изменения интенсивности. Результаты моделирования представлены на рис. 6-7.

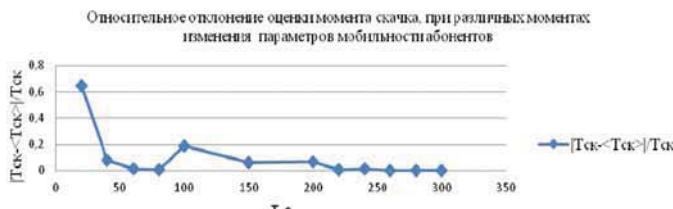


Рис. 6. Относительное отклонение оценки момента скачка, при различных моментах изменения параметров мобильности абонентов

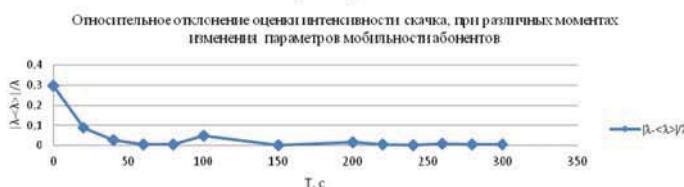


Рис. 7. Относительное отклонение оценки интенсивности скачка, при различных моментах изменения параметров мобильности абонентов

Дополнительно приведем полученную в результате эксперимента зависимость значение порога обнаружения изменения интенсивности исходящего потока, при различных моментах изменения параметров мобильности абонентов

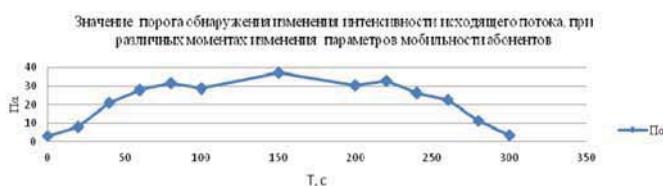


Рис. 8. Значение порога обнаружения изменения интенсивности исходящего потока, при различных моментах изменения параметров мобильности абонентов

На рис. 6-8 можно наблюдать наличие ошибки в случае возникновения изменения интенсивности на границе интервала наблюдения. Для устранения данного эффекта, проявляющегося на границах интервала наблюдения необходимо использовать метод параллельных вычислений с перекрывающимися интервалами наблюдений, технически пригодный вариант которых приведен на рис. 9.

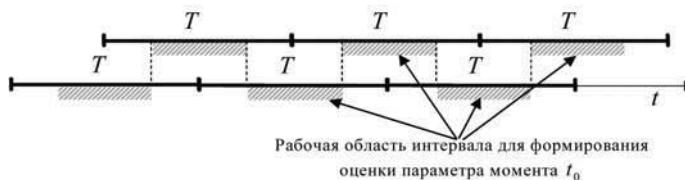


Рис. 9. Организация разделения времени на интервалы анализа  
Для детектирования скачка исходящего потока абонентов определим следующие начальные условия:

- Эксперимент проводится на трех различных интервалах анализа То: 100с/300с/500 с;

- Детерминированным временем появления скачка интенсивности на выбранных интервалах будет временная отметка 30с/150с/250с (детерминированное время скачка необходимо для оценки параметров алгоритма обнаружения);

- Интенсивность входящего потока меняется путем увеличения/уменьшения относительного пребывания абонента в соте  $\Delta t$ . Рассматриваемые значения: 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5;

- Интенсивность входящего потока на интервале постоянна.

Результаты моделирования скачка интенсивности исходящего потока абонентов и оценка его параметров приведены на рис. 10-15.

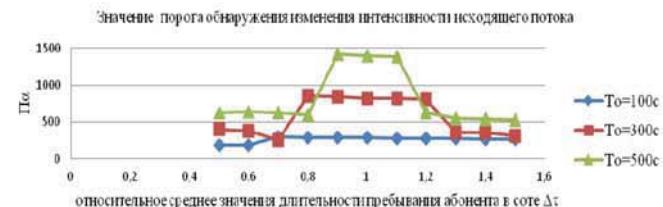


Рис. 10. Зависимость значение порога обнаружения изменения интенсивности исходящего потока от  $\Delta t$  для различных интервалов наблюдения

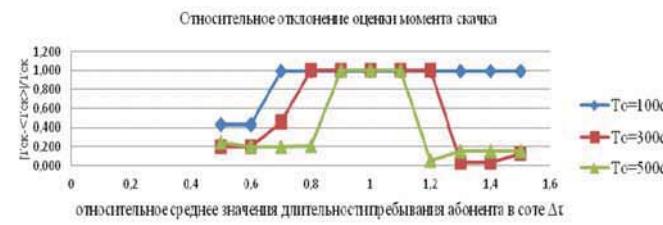


Рис. 11. Зависимость относительного отклонения оценки момента скачка от  $\Delta t$  для различных интервалов наблюдения

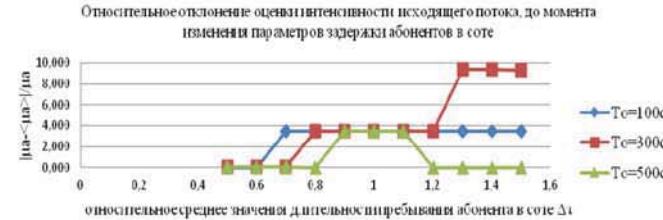


Рис. 12. Зависимость относительного отклонения оценки интенсивности исходящего потока, до момента изменения параметров задержки абонентов в соте от  $\Delta t$  для различных интервалов наблюдения

Полученный результат аналогичен предыдущему случаю. Однако необходимо отметить еще одно важное свойство: так как точность результатов зависит от величины выборки [2], следовательно она зависит и от интервала наблюдения То, что подтверждается результатами эксперимента. Например, в случае интервала наблюдения 500 с, ошибка детектирования скачка и оценки параметров межсотовых перемещений абонентов меньше, чем при То = 100, 300 с, см. рис. 4-7, 11-12, при идентичных начальных условиях.

## Выводы

1. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования синтезированной модели при оптимизации сети СПРС. При этом интервал наблюдения, время накопления статистики, необходимо выбирать в зависимости от необходимой точности. В рассматриваемом случае площадь соты 3,6км<sup>2</sup>, средняя скорость движения абонентов  $v = 50\text{км}/\text{ч}$ , плотность абонентов на обслуживаемой терри-

тории  $\sigma = 0,0005 \text{аб} / \text{м}^2$  интервал наблюдения целесообразно выбирать не менее чем 500 с., при этом интервал анализа, на котором происходит формирование оценки, целесообразно выбирать не менее 100 с., что позволит достаточно точно детектировать наличие скачка и иметь запас времени на применение алгоритмов оптимизации.

2. Определена возможность использования алгоритма оптимизации покрытия соты при помощи RET систем, при условии правильного детектирования перегрузки и корректной оценки параметров. Например, если вследствие оценки параметров определена возможность перегрузки и оценка интенсивности входящего потока  $\hat{\lambda}_b^m = k\hat{\lambda}_a^m$ , то учитывая, что  $\lambda^m = 2R \cdot \sigma \cdot v$  или при пересчете  $R$  в эквивалентную площадь  $\lambda^m = 2\sqrt{S/\pi} \cdot \sigma \cdot v$  (см. [2]). Очевидно, что площадь соты нужно уменьшить в  $k^2$  раз. При этом угол наклона выбирается в соответствии с диаграммой направленности антенны БС. Аналогично для случая со скачком интенсивности исходящего потока.

3. Синтезированную программную модель можно использовать на сетях СПРС для предсказания перегрузок и прогнозирования параметров оптимизации. Вычислительная часть полученного алгоритма может быть экспортирована в

практически любую программную среду и использована в качестве программного продукта на системе OSS оператора.

## Литература

1. Шорин О.А., Щучкин В.М. Использование интеллектуальных антенн в системах мобильной связи для снижения перегрузок // Труды МАИ, 2012. – №53.
2. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи: Дис. ... д-ра техн. наук / МТУСИ. – М., 2005. – 351 с.
3. Демьянов А.И. Оценка параметров скачков нагрузки в сотовых сетях подвижной связи // Электросвязь, 2002. – №1. – С.33-36.
4. Джейкс У.К. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. – М.: Связь, 1979. – 520 с.
5. Алексин Ю.Н. Дистанционное управление положением луча в панельных антенных КATHREIN//Мобильные системы. – 2003. – №3. – С.62-66.
6. [http://www.comba-telecom.com/Prd\\_Channel.aspx?ClassID=21](http://www.comba-telecom.com/Prd_Channel.aspx?ClassID=21) // 15.05.2012.
7. <http://www.amphenol-jaybeam.com/remote-electrical-tilt-technology.php> // 15.05.2012.
8. 3GPP TS 25.463 UTRAN Iuant interface: Remote Electrical Tilting (RET) antennas Application Part (RETAP) signaling.

## Simulation modeling of inter-cell movement and tracking of local congestion in communication systems with mobile objects

Shchuchkin Vladimir M., postgraduate student of Moscow Technical University of Communications and Informatics.  
vlad.sh86@yandex.ru

### Abstract

The simulation model of inter-cell movements of users of mobile radio communication network is developed in this paper. That allows one to simulate the behavior of mobile subscribers in the real-time. Presence of two types of subscribers is taken into account: being in the mode of handover (HO), and subscribers in the passive state (OR). A programming language GPSS (General Purpose Simulation System — general-purpose modeling system) is used as the simulation environment for the simulation of various systems, primarily queuing systems. Simultaneously with the modeling and the collection of information about intra-cell movements of subscribers in this model are implemented algorithms of calculation of obtained samples in order to predict local overloads in the selected cell in real time. As an example of the algorithm we present simulation results for macro-cell. Synthesized programming model can be used in mobile radio networks for the prediction of congestion and optimization parameters. Computation part of the resulting algorithm can be exported to virtually any programming environment and used as a software product in the operators OSS system. Intelligent systems of this class are part of the SON (Self Optimizing Network) concept developed by a consortium of 3GPP.

### References

1. Shorin O. A., Shchuchkin V. M. Use of intellectual aerials in systems of mobile communication for decrease in overloads // Works MAI, 2012. – No. 53.
2. Shorin O. A. Methods of optimum distribution of a time-and-frequency resource in systems of a mobile radio communication: Dis. ... Drs. tehn. sciences / MTUCI. – M., 2005. – 351 p.
3. Demyanov A.I. An assessment of parameters of jumps of loading in cellular networks of mobile communication // Telecommunication, 2002. – No.1. – pp. 33-36.
4. Jeiks U.K. Communication with mobile objects in a range of the microwave oven. – M.: Svyaz, 1979. – 520 p.
5. Alekhin Yu.N. Remote control by the provision of a beam in panel KATHREIN aerials // Mobile systems, 2003. – No. 3. – pp. 62-66.
6. [http://www.comba-telecom.com/Prd\\_Channel.aspx?ClassID=21](http://www.comba-telecom.com/Prd_Channel.aspx?ClassID=21) // 15.05.2012.
7. <http://www.amphenol-jaybeam.com/remote-electrical-tilt-technology.php> // 15.05.2012.
8. 3GPP TS 25.463 UTRAN Iuant interface: Remote Electrical Tilting (RET) antennas Application Part (RETAP) signaling.