

## ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАФИКА В СОТЕ СЕТИ LTE СО СТРАТЕГИЕЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Артемов Е.А., Салтымакова К.Э.

Российский университет дружбы народов, [eartemev@sci.pfu.edu.ru](mailto:eartemev@sci.pfu.edu.ru), [ksaltymakova@sci.pfu.edu.ru](mailto:ksaltymakova@sci.pfu.edu.ru)

**В докладе построена модель в виде системы массового обслуживания для оценки вероятностей блокировки сообщений.**

Ключевые слова: LTE, вероятность блокировки, стратегия переключения пользователей.

### Введение

На рис. 1 представлена сота гетерогенной сети, состоящая из макробазовой станции (Macro Base Stations, MaBSs) и микро базовых станций (Micro Base Stations, MiBSs), которая функционирует в соответствии с (Novel Switching Strategy, NS) [3], при которой, в зависимости от нагрузки поступающей на сеть, слабонагруженные узлы переходят в режим ожидания, а поступающие вызовы распределяются между работающими.

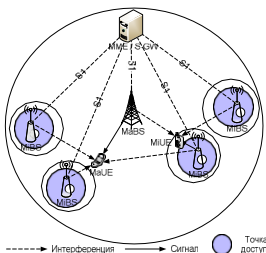


Рис. 1. Архитектура соты сети LTE [3]

Будем считать, что в макросоте случайным образом распределены  $N$  устройств для создания микросот. Пользователи (UEs) в данной сети условно разделены на два типа: пользователи, расположенные в зонах покрытия макросот (MaUEs), и пользователи, расположенные в зонах покрытия микросот (MiUEs). Шлюз обслуживания (MME/S-GW) соединяется со всеми базовыми станциями (Base Stations, BS) через интерфейс S1 [1].

Все BSs используют одну и ту же частоту, это может привести к возникновению помех. Основным распределителем ресурсов в LTE-A сетях является блок физических ресурсов (Physical Resource Block, PRB) [2]. В работе рассматривается только негарантированный битрейт (Non-GBR), где 1 PRB, распределяется на каждую сессию. Так же в работе не рассматривается влияние интерференции на прием сигнала.

Работа базовых станций происходит в соответствии с NS стратегией. Если нагрузка на активной MiBS ниже порогового значения, то MiBS переходит в режим ожидания. Если нагрузка на MaBS превышает порогового значения, то одна из спящих MiBS переходит в активный режим. Во избежание дыр в зоне покрытия, будем считать, что макросоты не должны переходить в спящий режим.

В работе строится модель обслуживания LTE трафика пользователей и исследуются основные вероятностно-временные характеристики.

### Построение математической модели

Предположим, что поток заявок, поступающих на соту, подчиняется пуассоновскому распределению с параметром  $\lambda$ . Время обработки заявки распределено по экспоненциальному закону со средним  $1/\mu$ . Обозначим  $S(i)$  - состояние, в котором  $i$

микросот находятся в режиме ожидания и  $N - i$  микросот в активном режиме. Тогда  $\lambda_i^M$  и  $\lambda_i^m$  - интенсивности поступающих заявок в макросоту и в  $k$ -тую активную микросоту в состоянии  $S(i)$  соответственно.

Для обозначения размера макросоты и  $k$ -той микросоты будем использовать, соответственно,  $A^M$  и  $A^m$ . Плотность распределения числа абонентов в микросоте и плотность распределения числа абонентов, находящихся на территории макросоты, но не в зоне покрытия микросот, обозначим как  $g_h$  и  $g_k$  соответственно. Максимальное количество разрешенных негарантированных сессий для макросот и микросот обозначим  $C^M$  и  $C^m$ , которое определяется их пропускной способностью и управлением доступом. Коэффициент использования MaBS и  $k$ -той MiBS может быть представлено в виде  $UTIL^M = n^M / C^M$  и  $UTIL_k^m = n_k^m / C^m$ , где  $n^M$  и  $n_k^m$  количество активных сессий в макросоте и в  $k$ -той микросоте соответственно.

Определим  $P_k^m$  как вероятность, что сеанс проходит в области  $k$ -той микросоты, которую можно записать в виде 
$$P_k^m = \frac{g_h A + g_k (A^m - A)}{g_h (A^m - NA) + g_k NA}, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$
 Согласно

[3] будем считать, что вероятность для всех микросот будет приблизительно одна и та же, поэтому далее  $P_k^m = P^m$ . Тогда,  $\lambda_i^M$  и  $\lambda_i^m$  могут быть найдены как  $\lambda_i^M = (1 - (N - i)P^m)\lambda$ ,  $\lambda_i^m = P^m\lambda$ . Процесс обслуживания сессий в макросоте и в  $k$ -той активной микросоте будем моделировать в виде СМО  $M/M/C^M/0$  и  $M/M/C^m/0$  соответственно.

Введем марковский процесс  $X(t)$  того, что в момент времени  $t$  система находится в состоянии  $S(i)$ . Обозначим  $\pi(i)$  стационарную вероятность пребывания в состоянии  $S(i)$ . Обозначим искомые вероятности блокировок в макросоте, в  $k$ -той активной микросоте в состоянии  $S(i)$  и во всей системе как  $B^M = Q_i^M(C^M)$ ,  $B^m = Q_i^m(C^m)$ , и  $B^NS = \sum_{i=0}^N Q_i^M(C^M)\pi(i)$ , соответственно, где  $Q_i^M(C^M)$  и  $Q_i^m(C^m)$  - вероятности того, что установлено  $C^M$  сессий в макросоте и  $C^m$  сессий в  $k$ -той активной микросоте в состоянии  $S(i)$ .

### Распределение числа микросот в спящем режиме

В рамках NS-стратегии  $k$ -тая активная микросота может быть выключена, когда ее нагрузка меньше чем  $Th_e$ , и загрузка макросоты меньше чем  $Th_a$  после перераспределения своей нагрузки. Таким образом, вероятность того, что  $k$ -тая активная микросота удовлетворяет условию отключения, когда на макросоте  $n^M$  сессий,

равна 
$$P_{i,k,off}^{NS} = \sum_{n_i^m=0}^{\min(C^m Th_e, C^m Th_a - n_i^M)} Q_i^m(n_i^m) \frac{n_i^M \leq Th_a}{C^M}$$
 В состоянии  $S(i)$ ,  $N - i$  активных

микросот. Вероятность перехода из  $S(i)$  в  $S(i+1)$  выражается как 
$$\lambda_i^k = \left[ \sum_{n_i^m=0}^{C^m Th_0} [1 - (1 - P_{i,k,off}^{NS})^{N-i}] Q_i^M(n_i^M) \right], \quad i = 1, 2, \dots, N - 1,$$
 где  $k$ -тая спящая микросота может

быть включена только в том случае, если нагрузка на макросоту стала выше  $Th_0$ .

Поэтому вероятность перехода из  $S(i)$  в  $S(i + 1)$

$$p_{i-1}^i = P\left(\frac{M_i}{C^m} > Th\right) = \sum_{n_i=\lceil CTh \rceil}^{\lfloor M_i \rfloor} Q_i^M(n_i^M), \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Включение или выключение одной микросоты происходит за один раз. Диаграмма интенсивностей переходов показана на рис. 2.

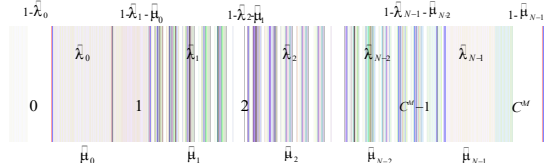


Рис. 2. Диаграмма переходов состояний системы

Стационарное распределение  $\pi(i) = \delta_{i,0} \prod_{k=0}^{i-1} \beta_k \left( 1 + \sum_{j=1}^N \prod_{k=0}^{j-1} \beta_k \right)^{-1}$ ,  $i = 0, K, N$ ,  $\beta_k = \frac{\tilde{\lambda}_k}{\tilde{\mu}_k}$ ,  $\delta$  - вид символа Кронкера.

### Выводы

В работе моделируется работа соты со стратегией переключения пользователей между микросотами в соответствии с NS стратегией в виде систем массового обслуживания. Получены формулы для расчета стационарного распределения числа активных сессий в сети, а также числа активных микросот.

### Литература

- 3GPP TS 36.300: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN); Overall description; Stage 2, January 2010.
- Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 284 с.: ил.
- Jinlin Peng, Peilin Hong, and Kaiping Xue. Performance Analysis of Switching Strategy in LTE-A Heterogeneous Networks — Journal of communications and networks, vol. 15, no. 3, 292-300 с., 2013.

## MODELING OF SWITCHING STRATEGY IN LTE

Artemev E.A., Saltyrnakova K.E.

Peoples' Friendship University of Russia, [eartemev@sci.pfu.edu.ru](mailto:eartemev@sci.pfu.edu.ru), [ksaltyrnakova@sci.pfu.edu.ru](mailto:ksaltyrnakova@sci.pfu.edu.ru)

*Model of switching strategy in LTE network is the form of queuing system was constructed and analyzed. Formulas for calculation of stationary probability and the number of microcells in active mode were obtained.*

Key words: LTE, blocking probability, switching strategy.