

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ОБСЛУЖИВАНИЯ В МИКРОСОТОВЫХ СЕТЯХ СТАНДАРТА LTE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КООРДИНАЦИИ**

**Рак Р.И., Кравчук С.А.**

*Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ», Украина*

*E-mail: foxter222@ukr.net*

### **Research of handover in micro cellular LTE networks with the interference coordination**

In this article is proposed an enhanced inter cell interference coordination (ICIC) mechanism based on Multi Armed Bandit (MAB) approach that aims at maximizing throughputs of the attached users and their handover performances evaluated through 3GPP Mobility Robustness Optimization (MRO) indicators.

Для построения мобильных сетей 4G и дальнейшего их развития до 5G получил развитие стандарт LTE (Long Term Evolution). На сегодня, согласно данных Global mobile Suppliers Association (GSA) уже запущено 480 сетей стандарта LTE в 157 странах. Не смотря на такое распространение данной технологии, координация интерференции между сотами ICIC (Inter Cell Interference Coordination) и оптимизация передачи обслуживания остаются двумя основными техническими проблемами, которые препятствуют эффективному развертыванию LTE-сетей [1]. В особенности это касается случаев плотного развертывания небольших сот (микросот) с целью решения проблемы обслуживания постоянно растущих объемов трафика и охвата зон с недостаточным покрытием.

На производительность передачи обслуживания оказывает большое влияние интерференция, особенно межсотовая, которая встречается при выполнении передачи обслуживания НО (HandOver) на границах сот, где уровень помех является наиболее критичным. В зависимости от уровня интерференции, воспринимаемого пользователем на краю соты, в ситуации касающейся передачи обслуживания, важным аспектом является умение правильно и вовремя переключиться на обслуживание соседней базовой станции (БС). Если на краю соты присутствует интерференция высокого уровня, крайне важно инициировать передачу обслуживания иначе, она может быть затруднена. Данная ситуация будет считаться в качестве передачи обслуживания с запозданием. С другой стороны, для того же расположения абонента, если уровень интерференции очень низкий, решение переключиться на другую БС, вероятно, может быть слишком ранним и приведет к ошибочным решениям касательно инициации передачи обслуживания или к выбору неправильной целевой соты. В этом случае, становится очевидным, что совместная настройка и оптимизация ICIC и процесса НО – важная техническая задача, требуемая решения.

До решения данной задачи были проведены несколько исследований, которые показывают взаимосвязь между ICIC-механизмами и передачей обслуживания в сетях стандарта LTE. В работе [2] представлено влияние схемы

ICIC на процесс НО, которое с количественной точки зрения оценивалось числом передач обслуживания и уровнем блочных ошибок BLER (Block Error Rates). Этот метод хорошо подходит для стандартного развертывания сот (макросот), но в то же время он не является оптимальным для развертывания микросот, где выдвигаются более жесткие требования к самоорганизации сети. В [3] было проанализировано взаимодействие между НО и ICIC в микросотовых LTE-сетях, также было оценено влияние управления межсотовой интерференции на производительность передачи обслуживания для различных конфигураций.

В данной работе предлагается математическая модель, которая учитывает в явном виде ключевые показатели эффективности процесса передачи обслуживания внутри механизма ICIC. Метрики передачи обслуживания для соответствия стандартизации рассматриваются как стандартные показатели оптимизации надежности мобильной сети MRO (Mobility Robustness Optimization), представленных в 3GPP [4]. Необходимо, чтобы существовала возможность переконфигурирования механизма ICIC таким образом, чтобы минимизировать интерференцию на границах сот к допустимому уровню, после чего будут выполнены цели MRO: уменьшение количества разорванных вызовов, приведение к максимально возможному минимуму вероятности отказа передачи обслуживания, уменьшение избыточных НО.

В работе используется модель, где вся доступная полоса частот делится на равные поддиапазоны. Эти поддиапазоны обозначены как  $\{SB_i\}_{i=1}^N$ , где  $N$  – общее количество поддиапазонов. В каждый момент времени итерации  $t$  БС должна выбрать поддиапазон для передачи. Так как рассматривается плотное развертывание микросот, то необходимо, чтобы процесс координации интерференции проходил в автономном режиме.

Для этой цели предлагается использовать алгоритм верхнего доверительного предела [5], который является методом обучения с подкреплением и используется для решения задачи «многоорукого бандита» МАВ (Multi Armed Bandit). Этот алгоритм имеет преимущество в вычислительном плане, поскольку он не требует предварительных знаний о распределении выигрыша. Единственное условие, необходимое для вычисления верхней границы потерь состоит в том, что выигрыш находится в диапазоне  $[0, 1]$ . В исследуемом случае это условие реализуется путем деления функции выигрыша по связанному максимуму.

При таком подходе используется функция принятия решений, которая однозначно определяет следующий поддиапазон доступный для БС. На каждой  $t$  итерации базовая станция выбирает  $SB_{g,t}$ , который идентифицирован как «жадный» поддиапазон  $g$ , при этом максимизируя значение функции принятия решения, рассчитанное во время  $t$  для каждого поддиапазона, идентифицированного индексом  $i$ :  $DF_{i,t}$ .

$$SB_{g,t} = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} DF_{i,t} \quad (1)$$

Функция принятия решений формулируется следующим образом:

$$DF_{i,t} = \mu_{i,t} + \sqrt{\frac{2 \times \log \left( \sum_{i=1}^N n_{i,t} \right)}{n_{i,t}}}, \quad (2)$$

где:  $\mu_{i,t}$  – среднестатистическая функция выигрыша поддиапазона  $i$  в момент времени  $t$ . Этот параметр указывает на производительность базовой станции, которая осуществляет передачу сигналов в поддиапазоне  $i$ ;  $n_{i,t}$  – параметр, показывающий сколько БС работало в поддиапазоне  $i$  до момента времени  $t$ . Параметр  $N$  соответствует общему количеству поддиапазонов, которые корректируются динамично в соответствии с показателями MRO (3).

В методике МАВ число поддиапазонов  $N$  может увеличиваться или уменьшаться детерминированным способом на основе показателей MRO, таких как отношение сигнал/шум (SINR). При этом нужно учитывать возможность возникновения НО с запозданием и, в результате, разрыва процесса передачи обслуживания. Была предложена следующая формула:

$$N = \begin{cases} N + 1 \text{ если} \\ HO_{зан.} > \text{Порог.знач.1} \text{ либо } SINR < \text{Порог.знач.2} \\ N - 1 \text{ если} \\ Total_{failures} < \text{Порог.знач.3} \end{cases} \quad (3)$$

вместе с:  $Total_{Failures} = HO_{зан.} + HO_{ран.} + HO_{непр.}$ .

В действительности, число поддиапазонов увеличивается в двух случаях: низкое значение отношения SINR по всей зоне покрытия соты; большое количество НО с опозданием, которое соответствует высокому уровню интерференции, воспринимаемой пользователями в области передачи обслуживания.

Таким образом, каждой соте предоставляется больше вариантов для выбора необходимого поддиапазона, что уменьшает риск повторного использования одних и тех же ресурсов и минимизирует влияние интерференции на абонентов. Также стоит отметить, что в случае низкой интенсивности отказов передачи обслуживания можно утверждать, что уровень интерференции, воспринимаемый на границах сот, не есть критическим, из-за чего можно получить выигрыш за счет увеличения размера дозированной пропускной способности соты (уменьшив количество «рук»), что в результате приводит к более высокой пользовательской пропускной способности.

### Литература

1. Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, LTE the UMTS long term evolution, Second Edition, Wiley.
2. Рак Р.І., Кравчук С.О. Покращення характеристик передачі обслуговування в мережі LTE за допомогою інтерференційної координації. Проблеми телекомунікацій : 8-а Міжнар. наук.-техн. конф., 16-19 квіт. 2014р. : матеріали конф. – К., 2014. – С. 148–150.
3. V. Capdevielle, A. Feki and E. Sorsy, Joint Interference Management and Handover Optimization in LTE Small Cells Network, IEEE ICC12, International workshop on Small Cell Wireless Networks, June 15th, 2012.
4. 3GPP TS 36.423, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ; X2 application protocol (X2AP) (Release 9), 9.4.0 ed., 2010.

5. P. Auer, N. Cesa-Bianchi and P. Fischer, Finite time Analysis for the Multi-armed Bandit Problem, *Machine Learning*, 47, 235-256, 2002.