

## МОДЕЛЬ СОТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ САМООРГАНИЗАЦИИ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА LTE

*Гридасова А.А., аспирант,  
Дэльф Н.Р.А., аспирант*

*Белорусская государственная академия связи  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Карпук А.А. – профессор кафедры ПО сетей телекоммуникаций, канд. техн. наук*

Аннотация. Рассмотрены задачи, решаемые при самоконфигурации, самооптимизации и самовосстановлении сетей сотовой связи. Перечислены категории алгоритмов машинного обучения, используемых при решении задач самоорганизации сетей сотовой связи. Определен состав данных информационной модели соты для решения задач самоорганизации сетей сотовой связи стандарта LTE.

Самоорганизующуюся сеть Self-Organizing Network (SON) можно определить как адаптивную и автономную сеть, которая является масштабируемой, стабильной и достаточно гибкой для достижения желаемых целей. Понятие SON в мобильных сетях можно разделить на 3 основные категории: самоконфигурация (Self-Configuration), самооптимизация (Self-Optimisation) и самовосстановление (Self-Healing), которые обычно обозначаются совместно как функции Self-x [1].

Самоконфигурацию можно определить как все процедуры настройки, необходимые для обеспечения работоспособности сети. Эти параметры конфигурации могут иметь форму отдельных параметров конфигурации базовой станции (BS), таких как конфигурация IP, конфигурация списка соседних сот (NCL), конфигурация параметров радиосвязи в сотах или конфигурации, которые будут применяться ко всей сети. Самоконфигурация активируется всякий раз, когда в системе развертывается новая BS, но ее можно активировать и при изменении сети (например, при сбое BS или изменении сервисной или сетевой политики).

После правильной настройки сети подключаются функции самооптимизации. Фазу самооптимизации можно определить как функции, которые непрерывно оптимизируют BS и параметры сети, чтобы гарантировать почти оптимальную производительность. Самооптимизация может выполнять оптимизацию транзитного соединения, кэширования, покрытия и пропускной способности, параметров антенны, мобильности, параметров хэндовера, балансировку нагрузки, оптимизацию ресурсов, энергоэффективности и координацию функций SON. Благодаря постоянному мониторингу системы и использованию получаемых измерений, функции самооптимизации могут гарантировать соблюдение поставленных целей и близкую к оптимальной общую производительность сети.

Поскольку ни одна сеть не идеальна, отказы и сбои могут возникать неожиданно, и в сотовых сетях это не исключение. При возникновении неисправности или сбоя по какой-либо причине (например, неисправность программного или аппаратного обеспечения) активируются функции самовосстановления. Функции самовосстановления должны быть способны не только обнаруживать событие сбоя, но и диагностировать сбой (т. е. определять, почему он произошел), а также запускать соответствующие механизмы компенсации, чтобы сеть могла вернуться к правильному функционированию. Самовосстановление в сотовых сетях включает обнаружение неисправностей, классификацию неисправностей и управление компенсацией неисправностей.

Существующим сегодня методам решения задач самооптимизации сетей сотовой связи не хватает адаптивности и гибкости, необходимых для того, чтобы стать реальными решениями для сетей стандартов LTE и 5G. Хотя операторы мобильной связи собирают огромное количество данных из сети в форме сетевых измерений, взаимодействий по контролю и управлению и даже данных от своих абонентов, текущие методы, применяемые для настройки и оптимизации сети, очень элементарны. Очевидно, что для того, чтобы использовать всю информацию, уже собранную операторами, и предоставить сети адаптируемые и гибкие решения, необходимо задействовать больше интеллектуальных ресурсов. Учитывая это, в контексте SON применяется несколько решений машинного обучения Machine Learning (ML) для изучения различных видов данных, собираемых операторами. Таким образом, система SON, чтобы иметь возможность выполнять все три функции, нуждается в некотором интеллекте.

Машинное обучение – это способность систем приобретать и постоянно совершенствовать свои собственные знания путем извлечения закономерностей из необработанных данных для решения проблем, связанных со знаниями реального мира, и принимать решения, которые кажутся субъективными и имитируют «когнитивные» функции человека [2]. ML подразделяется на три категории: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением. Обучение с учителем, как следует из названия, требует супервизора для обучения системы. Этот супервизор сообщает системе для каждого входа, каков ожидаемый результат, а затем система учится на основе этого руководства. Обучение без учителя не имеет супервизора и применяется, главным образом, когда ожидаемый результат неизвестен, и тогда системе придется учиться самостоятельно. Обучение с подкреплением работает аналогично сценарию без учителя, где система должна самостоятельно

оценить ожидаемый результат, но в этом случае применяется механизм вознаграждения, так что система получает вознаграждение или штраф в зависимости от принятого решения. В дополнение к этим категориям существует глубокое обучение – это особый вид ML, который достигает большой мощности и гибкости, представляя целевую систему в виде вложенной иерархии концепций, где каждая концепция определяется относительно более простых концепций, а более абстрактные представления вычисляются в терминах менее абстрактных. Глубокое обучение основано на нейронных сетях и может применяться к обучению с учителем, обучению без учителя, а также к алгоритмам обучения с подкреплением.

В каждом из алгоритмов машинного обучения в качестве входных данных используются данные о работе сот, которые образуют информационную модель соты. В большинстве алгоритмов для самоконфигурации, самооптимизации и самовосстановления соты требуются данные о соте и соседних сотах. Наиболее часто применяется конфигурация сети с трехсекторными BS, в которых каждый сектор образует отдельную соту. Как показано на рисунке 1, при такой конфигурации в однородной сети каждая сота (на рисунке – с номером 0) имеет 6 соседних сот (на рисунке – с номерами от 1 до 6), а в гетерогенной сети – намного больше соседних сот. В правой части рисунка 1 макросота с номером 0 имеет 6 соседних макросот и 7 соседних минисот (2 минисотовых BS являются двухсекторными). Зелеными звездочками обозначены BS макросот и минисот.

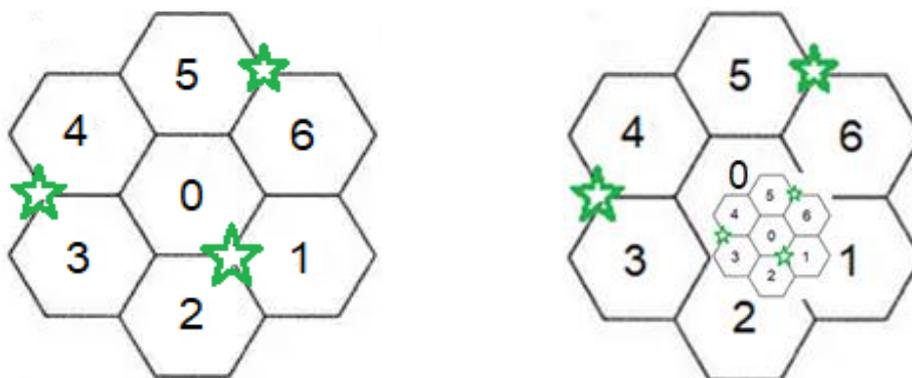


Рисунок 1 – Соседние соты для однородной сети и соседние соты для гетерогенной сети

В состав информационной модели каждой соты сети стандарта LTE входят общие характеристики соты: физический идентификатор соты (PCI); список PCI соседних сот; диапазон рабочих частот соты (800, 1800 или 2600 МГц); географические координаты базовой станции (BS) соты; азимут направления антенны; высота антенны над уровнем земли; тип антенны; границы излучаемой мощности передатчика; излучаемая мощность передатчика; границы изменения угла наклона антенны в вертикальной плоскости; угол наклона антенны в вертикальной плоскости; тип застройки в соте; расчетный радиус соты; количество ресурсных блоков, доступных оператору в соте.

Для каждого дискретного момента времени в состав информационной модели каждой соты сети стандарта LTE входят: количество абонентских станций (UE), обслуживаемых сотой; количество обслуживаемых UE, ожидающих оказания услуг; количество UE, которым оказываются услуги сотой; количество свободных ресурсных блоков в соте.

Для каждого дискретного момента времени для каждой UE, обслуживаемой сотой, в состав информационной модели соты сети стандарта LTE входят: идентификатор UE (номер телефона); средняя мощность принимаемых пилотных (опорных) сигналов от одного ресурсного блока соты (RSRP); мощность полезного сигнала от BS соты (RXLEV); отношение сигнал/шум для BS соты (SINR), индикатор качества сигнала (CQI). Для каждой UE, ожидающей оказания услуг, в состав информационной модели соты сети стандарта LTE, кроме перечисленных выше параметров, входят: признак инициатора услуги (абонент или хэндовер); идентификатор класса потока для услуги (QCI). Для каждой UE, которой оказываются услуги сотой, в состав информационной модели соты сети стандарта LTE, кроме перечисленных выше параметров, входят: код модуляции; кодовая скорость; пропускная способность на 1 ресурсный блок; количество ресурсных блоков, выделенных для оказания услуги. При прекращении оказания услуги в информационную модель соты записываются время прекращения и признак инициатора прекращения (абонент, хэндовер или сбой соединения).

**Список использованных источников:**

1. A Survey Ofself Organisation in Future Cellular Networks / O.G. Aliu [et al.] // IEEE Communications Surveys Tutorials. – Vol. 15. – 2013. – P. 336-361.
2. A Survey of Machine Learning Techniques Applied to Self-Organizing Cellular Networks / Klaine P.V. [et al.] // IEEE Communications Surveys Tutorials. – Vol. 19, no 4. – 2017. – P. 2392–2431.