АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ сетями 4G/5G с использованием технологий и алгоритмов SON

В.Тихвинский, д.э.н., академик РАЕН, профессор МТУСИ,
заместитель генерального директора
АО "НИИТС" по инновационным
технологиям / vtiiir@mail.ru

А.Байкенов, к.т.н., заведующий
кафедрой "Телекоммуникационные
системы" Алматинского университета
энергетики и связи / baikenoff@yandex.kz

А.Солошенко, докторант АУЭС/ inferion_kz@inbox.ru

УДК 621.391.1 / ВАК 05.12.13; DOI: 10.22184/2070-8963.2019.80.3.80.91

Рассмотрена стандартизованная Партнерским проектом 3GPP автоматизация процессов управления сетями мобильной связи на основе технологии самоорганизующихся сетей SON, реализуемая в современных сетях эксплуатации, администрирования и управления сетью OAM. Показаны особенности решаемых задач на этапах самооптимизации, самоконфигурации и самовосстановления сети на всех этапах жизненного цикла сетей мобильной связи 4G и 5G, критерии и подходы к оценке эффективности решения задач сетью SON.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия автоматизации процессов управления сетями мобильной связи реализована главным разработчиком Технических спецификаций мобильной связи поколения 4G и 5G – 3GPP в технологической концепции применения самоорганизующихся сетей SON, охватывающих все этапы жизненного цикла этих сетей связи. Согласно определению, сформулированному в технических спецификациях 3GPP, SON – это сеть, используемая системой управления и эксплуатации сети мобильной связи для автоматизации управления функционированием сети при минимизации вмешательства человека в ее управление.

Основная цель внедрения алгоритмов SON в сети мобильной связи поколений 4G и 5G – это:

- расширение интеллектуальных возможностей и применение искусственного интеллекта в системах управления, администрирования и эксплуатации;
- снижение капитальных и эксплуатационных расходов операторов (CAPEX/OPEX) при развертывании, эксплуатации и оптимизации сети;
- повышение спектральной эффективности сети, производительности и пропускной способности сети, улучшения радиопокрытия, повышение эффективности использования ресурсов сетей радиодоступа следующего поколения (NGRAN).

Поэтому сегодня SON рассматривается как технология-драйвер для развития сетей 4G и 5G. Однако неправильно работающие алгоритмы сети SON (например, после обновления зон покрытия сот и при подключении новых базовых станций (БС) могут создавать угрозу нормальному функционированию сети и оказать значительное негативное влияние на сеть, снизив качество услуг подключенных пользователей. Учитывая, что алгоритмы SON не стандартизируются техническими спецификациями 3GPP [1, 2], исследование вопросов автоматизированного управления сетями 4G и 5G без вмешательства человека-оператора (планировщика сети) становится все более актуальной задачей.

ХАРАКТЕРИСТИКИ SON-СЕТЕЙ И SON-РЕШЕНИЙ

Согласно концепции 3GPP технические решения для сетей SON можно разделить на три категории по решаемым задачам [1, 2]:

- самоконфигурирование сети (SELF-Configuration);
- самооптимизация сети (SELF-Optimisation);
- самовосстановление сети (SELF-Healing).

Эти задачи охватывают все этапы жизненного цикла LCM [3] сетей 4G и 5G.

Функции для решения задачи самоконфигурирования сети впервые были включены в число сетевых задач сетей LTE в Релизе 8 [1]. В Релизе 9 впервые были включены в число сетевых задач функции для решения задач самооптимизации. Они заключаются в оптимизации покрытия, пропускной способности, хэндовера и помех [4].

Функции для решения задач самовосстановления сети (автоматического обнаружения не работающих БС и устранения сбоев их оборудования, а также автоматической настройки параметров) в основном включены в Релиз 10 [5].

Алгоритмы SON реализуются в трех видах архитектурных решений:

- централизованной, распределенной и гибридной SON;
- централизованная SON (C-SON) означает, что алгоритм SON размещен в системе управления и эксплуатации OAM (Operation, administration and maintenance) мобильной сети 3GPP, как показано на рис.1. Концепция централизованной SON была определена для сетей LTE в TS 32.500 [1], а для сетей 5G – в TR 28.861 [4];
- OAM сети 3GPP с помощью C-SON управляет сетью мобильной связи для решения одной из трех перечисленных выше задач на основе данных, поступающих в систему управления OAM, анализирует данные управления сетью, принимает решение о действиях SON и выполняет действия по алгоритму SON.

Распределенная SON (D-SON) представляет собой архитектуру самоорганизующейся сети, у которой алгоритм SON находится в соответствующей сетевой функции (сетевом модуле) NF, как показано на рис.2. Концепция распределенного D-SON была определена для LTE в TS 32.500 [1], а для сетей 5G – в TR 28.861 [2].

При использовании D-SON, включенной в сетевую функцию NF и локализованной в сети радиодоступа RAN или в базовой сети CN, она контролирует

Рис.3. Архитектура гибридной SON (H-SON)

сетевые события, анализирует сетевые данные, принимает решения о выполняемых задачах SON и реализует требуемый алгоритм SON в сети.

Система управления OAM в мобильной сети 3GPP отвечает за управление и контроль функций D-SON. Это управление и контроль могут включать в себя: включение/выключение функции D-SON, создание политик для функции D-SON, предоставление дополнительной информации (например, диапазона значений идентификатора) для функции D-SON и/или оценку выполнения функции D-SON.

Гибридная SON (H-SON) представляет собой архитектуру самоорганизующейся сети, у которой алгоритм SON частично расположен в системе управления OAM мобильной сети 3GPP, а частично включен в сетевую функцию NF. Концепция гибридного SON была определена для LTE в TS 32.500 [1], а для сетей 5G – в TR 28.861 [2], как показано на рис.3.

Система управления сети OAM мобильной сети и сетевой модуль (сетевая функция) NF согласованно работают вместе, чтобы реализовать полный алгоритм SON на основе гибридно-распределенных функций и алгоритмов.

Решения о последовательности действий самоорганизующейся сети H-SON могут приниматься либо системой управления OAM мобильной сети 3GPP, либо сетевым модулем (сетевой функцией) NF в зависимости от конкретных сценариев применения.

В зависимости от того, вмешивается ли оператор – планировщик сети в процесс управления работой SON, процесс ее работы классифицируется как

процесс управления с разомкнутым контуром и с замкнутым контуром.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ SON

Анализ технических спецификаций Партнерского проекта 3GPP по вопросам самоорганизующихся сетей показал, что в Релизе 8 была создана основа и сформулирована концепция и требования к функциональным возможностям SON, касающихся решения задачи самоконфигурации, начальных установок для оборудования и его интеграции. Предложенный механизм ANR – автоматического управления взаимодействием с соседними БС – обеспечивал уменьшение ручной работы технического персонала оператора сети LTE при настройке списка соседних сот во вновь развернутых БС eNB.

Концепция самооптимизации определена в Релизе 9. Этой концепцией введены такие механизмы SON, как: балансировка и перераспределение нагрузки между БС (MLB), оптимизация устойчивости хэндовера (MRO), координация межсотовых помех (ICIC) и оптимизация канала произвольного доступа (RACH). В Релизе 10 технологии SON получили механизмы для улучшения взаимодействия между малыми сотами и макросотами (HetNet), а также оптимизация покрытия и пропускной способности (CCO), расширенный механизм ICIC, механизм обнаружения и компенсации вышедших из строя сот (CODC) и компенсации сбоя соты (COC). Кроме того, в концепции были представлены механизмы минимизации драйв-тестов (MDT) и энергосбережения (ES), которые затем были улучшены в Релизе 11. Механизмы SON, введенные в Релизе 11, относятся к автоматизированному управлению гетерогенными сетями. Они включают в себя улучшения оптимизации и устойчивости мобильности, также оптимизацию хэндовера (HO) между БС с различными технологиями радиодоступа. В Релизе 12 были представлены механизмы оптимизации и улучшения покрытия для малых сот, включая их развертывание в зонах с высокой плотностью трафика.

В Релизе 13 была представлена новая технология LTE-U, основанная на использовании участков нелицензионного спектра. Кроме того, в этом Релизе были исследованы вопросы усовершенствования системы управления и эксплуатации сети OAM для централизованной и распределенной архитектуры SON, где основное внимание уделяется распределенному механизму MLB, а также усиленной NM или централизованному механизму CCO. В Релизе 14 основное внимание уделяется удовлетворению требований 5G к SON и использованию SON для активных антенн AAS, изменяющих угол наклона при их

автоматизированном управлении. Релиз 16 определил все механизмы SON, которые будут использованы в оборудовании сетей 5G фаз развития 1 и 2.

Наиболее важные технические требования на сеть SON в сетях 4G стандартизованы в следующих томах технических спецификаций 3GPP:

- TS 32.500: Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements;
- TS 32.501: Telecommunication management; Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Integration Reference Point (IRP) Requirements;
- TS 32.511: Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR) management; Concepts and Requirements;
- TS 32.521: Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Requirements;
- TS 32.541: Telecommunications Management; Self-Organizing Networks (SON); Self-healing concepts and requirements;
- TS 36.300: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description stage 2;
- 3GPP TS 36.902: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions.

Для SON в сетях 5G технические требования сформулированы в технической спецификации TR28.861: Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication management; Study on the Self-Organizing Networks (SON) for 5G networks (Release 16).

Кроме исследований Партнерского проекта 3GPP вопросы разработки механизмов SON рассматривались в ряде Европейских исследовательских проектов программ FP7 и FP8 (Horizon-2020). Это проекты SOCRATES [6], Gandalf [7] и SELFNET [8]. Большинство полученных в проектах решений вошли в перечисленные выше Релизы 3GPP.

ФУНКЦИИ САМОКОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТИ

Самоконфигурирование сети представляет собой динамическое конфигурирование сетевых настроек, основанное на принципах plug-and-play для вновь развертываемых базовых станций eNB/gNB для уже построенной сети 4G/5G. Другое определение самоконфигурирования – процесс ввода в эксплуатацию нового элемента сети, как правило, базовой станции eNB/gNB с минимальным вмешательством оператора [4].

Эта задача охватывает этап жизненного цикла мобильной сети связи, связанный с планированием и развертыванием (рис.4).

Самонастраивающиеся алгоритмы решают ряд аспектов конфигурирования базовой станции eNB/gNB. Когда БС eNB включена, она обнаруживает и устанавливает соединение с элементами сети радиодоступа RAN и базовой сети CN. Станция eNB самостоятельно конфигурирует (выбирает) физический идентификатор соты PCI, используемую несущую частоту и излучаемую мощность, что приводит к более быстрому планированию и развертыванию соты в сети.

После этого БС eNB/gNB готова установить соединения с системой ОАМ через интерфейсы S1 и X2 и переходит в рабочий режим. Как только eNB/gNB настроена, она выполняет самотестирование и отправляет отчет о своем состоянии в центр управления сетью ОАМ.

Для уменьшения объема ручной работы инженеров-планировщиков сети используют функцию автоматического взаимодействия с соседними сотами (ANR), входящую в состав SON-решения [10]. Функция ANR настраивает список соседних сот для вновь развернутых БС eNB/gNB и оптимизирует конфигурацию этого списка во время работы сети. Функция ANR используется для минимизации работы, необходимой для настройки вновь развернутых eNB/gNB, а также для оптимизации конфигурации во время работы. Правильные и актуальные списки соседних сот увеличивают количество успешных хэндоверов и минимизируют количество пропущенных вызовов. Перед выполнением хэндовера исходному eNB требуется информация о соседних сотах: PCI и CGID целевого eNB. Идентификатор PCI включен в каждый отчет об измерениях, формируемый eNB/gNB.

Оператор сети может поместить соту в черный список ANR, чтобы заблокировать определенные соты – кандидаты на передачу обслуживания, например, от внутренних к внешним сотам в гетерогенной сети. 3GPP также определил, что ANR формирует и оптимизирует списки соседних сот, работающих на частоте, обслуживающей соты или других частотах, а также с использованием других технологий радиодоступа RAT.

Кроме того, задача самоконфигурации SON включает в себя конфигурацию идентификаторов уровня 1: идентификатора физической соты PCI (Physical Layer Cell ID) и глобального идентификатора соты CGID. Планирование идентификаторов PCI и CGID может быть выполнено с использованием информации из системы ОАМ или сообщений абонентского терминала, декодирующего идентификатор CGID целевой соты по широкополосному каналу в целевой соте. Возможность декодирования CGID является необязательной функцией абонентского терминала UE.

Индикатор PCI определяет сигнатуру физического уровня сети:

- LTE/5G (псевдослучайную последовательность сигналов синхронизации;
- соты PSS/SSS), используемой для кодового разделения сигналов;
- синхронизации от разных сот и позволяющей отличать сигналы от разных базовых станций eNB/gNB. Он основан на сигналах синхронизации.

В сетях LTE доступно 504 различных варианта PCI, а в сети NG-5G – 1008. Выбранный идентификатор PCI должен удовлетворять условиям отсутствия конфликтов, а также создания путаницы в его распределении между БС сети. Идентификатор PCI может быть назначен как централизованным, так и распределенным способом.

Когда используется централизованное назначение, система ОАМ будет полностью знать и контролировать PCI для каждой физической соты. Если используется распределенное назначение, система ОАМ назначает список возможных PCI вновь развернутой в сети базовой станции eNB, но выбор PCI осуществляет БС eNB. Вновь развернутая станция eNB будет запрашивать отчет, отправленный либо абонентским терминалом (UE) по радиointерфейсу, либо другими БС eNB через интерфейс X2, включая уже используемые PCI. Автоматическое назначение PCI направлено на обеспечение автоматической идентификации сот без конфликтов и путаницы [11].

ФУНКЦИИ САМООПТИМИЗАЦИИ СЕТИ

Самооптимизация как процесс управления SON охватывает весь набор функций SON, которые оптимизируют параметры мобильной сети во время работы на основе данных измерений, полученных из сети. Функции SON для самооптимизации сетей 4G основаны на требованиях Релиза 9 3GPP, а 5G – Релизов 14-16 соответственно. Они включают в себя оптимизацию покрытия, пропускной способности сети, хэндовера и внутрисистемных помех.

Для решения задачи самооптимизации наиболее важными функциями являются:

Функция балансировки нагрузки мобильности (MLB) – это функция, при выполнении которой соты мобильной сети, испытывающие перегрузку, могут передавать нагрузку другим сотам, которые имеют свободные радиоресурсы. Информация, передаваемая функцией MLB, включает в себя отчеты о нагрузке, передаваемые между базовыми станциями eNB/gNB для обмена информацией об уровне этой нагрузки и о доступной емкости сот.

Целью функции MLB является автоматическое равномерное распределение нагрузки между сотами или передача части трафика из перегруженных сот посредством оптимизации параметров мобильности intra-RAT и inter-RAT для улучшения взаимодействия с абонентом и повышения пропускной способности сети.

Сообщения MLB содержат следующую полезную информацию: запрос о состоянии ресурса, ответ о состоянии, оповещения о сбоях и обновлениях – и передаются через интерфейс X2 [12]. Периодичность передачи сообщений может лежать в пределах от 1 до 10 с. Отчет может содержать информацию о загрузке оборудования, загрузке транспортной сети по интерфейсу S1 и состоянии радиоресурса. Отчеты о состоянии радиоресурсов разделены по направлениям передачи на отчеты по линиям вверх и вниз, включая данные об общем трафике с гарантированным и негарантированным BER, процент выделенного блока физических ресурсов (PRB) и процент PRB, доступных для балансировки нагрузки.

Функция MLB может быть реализована путем оптимизации параметра индивидуального смещения соты (CIO). Параметр CIO содержит данные об условиях смещения между обслуживающей и соседних сот, которые все абоненты соты должны применять, чтобы удовлетворить условию хэндовера по событию A3 (условия в соседних сотах становятся лучше чем в обслуживающей соте) [13].

Функция MRO (Mobility Robustness Optimization) – это функция SON, для обеспечения устойчивости

мобильности, то есть оптимизации каждого хэндовера в подключенном режиме и повторного выбора соты в режиме ожидания. Среди конкретных целей этой функции мы имеем минимизацию отбрасывания вызовов, уменьшение ошибок, вызывающих сбой радиосвязи (RLF), минимизацию ненужных хэндоверов, пинг-понгов хэндовера между сотами из-за плохих настроек параметров хэндовера, минимизацию проблем простоя. Его реализация широко распространена.

Функция MRO управляет устойчивостью мобильности через параметры подключенного режима и режима ожидания. В подключенном режиме она настраивает важные параметры хэндовера, такие как смещение соты при событии A3, время запуска (TTT, Timetottrigger) или коэффициенты фильтр уровней 1 и 3. В режиме ожидания она настраивает значения смещения соты для случая использования intra-RAT, случая агрегации несущих между сайтами.

Функция межсотовой координации помех ICIC используется для минимизации помех между сотами, использующими один и тот же спектр. Она включает в себя координацию использования физических ресурсов (физических радиоблоков) между соседними сотами, чтобы уменьшить помехи от одной соты к другой соте.

Функция ICIC может быть реализована как в линии связи "вверх", так и "вниз" для каналов передачи данных. При использовании физических каналов общего (совмещенного) доступа линии связи "вниз" (PDSCH) и общего доступа линии связи (PUSCH) или каналов управления линии связи "вверх" (PUCCH) и канала управления линии связи "вниз" (PDCCH) функция ICIC может быть статической, полустатической или динамической. Динамическая функция ICIC основана на процедуре частой настройки параметров, поддерживаемой передачей сигналов между сотами через интерфейс X2. Для поддержки проактивной координации между сотами были определены индикаторы

высокого уровня помех (HII) и относительной узкополосной мощности передачи (RNTP), а для поддержки реактивной координации был введен индикатор перегрузки (OI) [12]. Концепция ICIC, определенная для сетей LTE в TS 36.300 [14], может быть применима к сетям 5G.

Функция оптимизации канала RACH. Оптимизация RACH направлена на минимизацию количества попыток вызова и регистрации AT с использованием физического канала конкурентного доступа PRACH. Оптимизация канала PRACH направлена на оптимизацию канала случайного доступа в сотах на основе обратной связи абонентского терминала и данных о соседних с конфигурируемой БС. Оптимизацию канала RACH можно выполнить, отрегулировав параметр Power control (Pc) или изменив формат и параметры преамбулы, чтобы достичь заданной задержки доступа [14]. Количество преамбул, отправленных по каналу RACH до успешного завершения соединения, и количество ошибок разрешения конфликтов хранятся в статистике по каждой соте. AT может быть опрошен базовой станцией eNB по каналу RACH для сбора статистики после соединения. Количество преамбул, отправленных по каналу RACH до успешного завершения соединения, и количество ошибок разрешения конфликтов указаны в статистике.

Функция оптимизации покрытия и пропускной способности (CCO) – это функция SON, целью которой является использование алгоритмов самооптимизации, обеспечивающих оптимальный компромисс между охватом зоны покрытия и ее емкостью. Можно использовать различные функции для динамического улучшения покрытия и пропускной способности, такие как ICIC, планирование и приоритизация, и комбинацию таких механизмов. Задачи, которые могут быть оптимизированы, могут зависеть от вендора и включать покрытие, пропускную

способность соты, пропускную способность на границе соты или их комбинацию.

Функция оптимизации энергоэффективности ES. Функция ES нацелена на обеспечение минимизации воздействия мобильной сети на окружающую среду при условии обеспечения заданного качества услуг QoS. Цель состоит в том, чтобы оптимизировать энергопотребление сети путем отключения неиспользуемой аппаратной емкости сети или сетевых узлов, когда в этом нет необходимости [15]. В частности, во многих литературных источниках основное внимание уделялось эффективному включению/выключению базовых станций eNB или малых сот, чтобы гарантировать целевой уровень качества обслуживания, сводя к минимуму рассеиваемую энергию.

Функция САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕТИ

Самовосстановление [16] как функция сети SON фокусируется на фазе эксплуатации сети (рис.4). Сети мобильной связи подвержены неисправностям и сбоям, и наиболее критичным доменом для управления неисправностями является сеть радиодоступа RAN. Каждая базовая станция eNB отвечает за обслуживание зоны с минимальным или нулевым резервированием. Если сетевой элемент NE не может выполнять свои функции в течение определенного периода времени, то это приводит к снижению производительности сети и качества обслуживания абонентов сети, что, в свою очередь, влечет за собой серьезную потерю доходов для оператора. Концепция самовосстановления для сетевых элементов NE LTE описана в TS 32.541 [16]. Она может быть применима к сетевым элементам NE 5G (включая сетевые элементы 5G Core и NG-RAN). Вопросы самовосстановления как функции SON для сетей 5G исследованы в Релизе 16. Основные сценарии использования функции самовосстановления будут следующими.

Самовосстановление программных элементов сети (Self-Healing of NE Software). В случае сбоя программного обеспечения сетевого элемента NE из-за загрузки более ранней версии программного обеспечения и/или конфигурации, наиболее важным является обеспечение нормальной работы сетевого элемента путем удаления программного обеспечения для устранения неисправностей и восстановления конфигурации.

Самовосстановление недостатков оборудования (Self-Healing of Board of Faults). Этот вариант использования предназначен для самоустранения аппаратных сбоев в сетевых узлах NE [17].

Самовосстановление при отключении соты (Cell Outage Management). Этот сценарий самовосстановления включает две функции самовосстановления:

1. Обнаружение отключения соты (Cell Outage Detection, COD). Основной целью здесь является обнаружение сбоев соты с помощью индикаторов производительности монитора, которые сравниваются с пороговыми значениями и профилями.
2. Компенсация сбоев соты (Cell Outage Compensation, COC). Этот сценарий использования направлен на смягчение простоя, вызванного потерей соты из-за обслуживания [16]. Это относится к автоматическому уменьшению эффекта ухудшения в результате сбоя путем соответствующей настройки подпадающих параметров сети радиодоступа RAN, таких как мощность пилот-сигнала и параметры антенн окружающих сот.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИЙ И АЛГОРИТМОВ SON

Одной из сложных и важных задач, стоящих перед разработчиками сетей SON и системными архитекторами, планирующими развертывание сетей связи и использование в них SON, является оценка их эффективности в ходе эксплуатации или внедрения.

Рыночные реализации централизованной сети C-SON предлагаются на рынке такими разработчиками, как AMDOCS, Ingenia Telecom и Cisco. Решения для распределенной D-SON традиционно являются более сложными для реализации вендорами и не позволяют легко взаимодействовать сетевым решениям от разных поставщиков, поэтому оценка эффективности сетей SON необходима и для координации применения различных вариантов D-SON. Совсем недавно такие вендоры, как Qualcomm или Airhop, начали предлагать распределенную D-SON в качестве основного продукта SON, поскольку для небольших сот и HetNet-сетей требуется очень короткое время отклика D-SON, измеряемое в мс.

Таким образом, целью исследований и проведения оценки эффективности внедряемых функций и алгоритмов SON для различных сценариев использования [18] должны стать:

- определение подходов и выбор показателей оценки эффективности SON;
- оценка эффективности разрабатываемых вендорами алгоритмов SON;
- выбор лучшего алгоритма SON, если в системе OAM сети мобильной связи используется более одного алгоритма;
- оценка преимуществ, которые могут быть достигнуты с помощью SON;

Рис.5. Показатели эффективности алгоритмов SON, полученных при моделировании их использования в сети LTE

- оценка преимуществ по сравнению с ручной оптимизацией сети.

В [19] показано, что в качестве критериев эффективности при оценке внедряемых функций и алгоритмов SON предлагается выбирать:

- качество функционирования и предоставления услуг в сети мобильной связи, такие как GoS/QoS;
- уровень покрытия БС/сети;
- пропускную способность и абонентскую емкость БС/сети;
- операционные затраты (ОРЕХ);
- капитальные затрат (САРЕХ).

Параметры качества функционирования и предоставления услуг в сети мобильной связи, такие как GoS/QoS, до и после применения алгоритма SON можно оценивать при помощи следующих показателей работы: относительное число заблокированных вызовов (Call blocking ratio), относительное число разорванных вызовов (Call dropping ratio), относительное число успешных вызовов (Call success ratio), задержка пакетов (Packet delay), Transfer time, пропускная способность (Throughput), относительное число потерянных пакетов (Packet loss ratio), показатель качества принимаемой речи MOS (Mean opinion score).

Показатели эффективности для алгоритма SON по покрытию могут оцениваться по следующим критериям:

- величина покрытия БС определяемая заданным значением отношения сигнал/помеха SINR;
- величина покрытия БС, определяемая скоростью передачи данных;

- величины совокупного покрытия БС сети и индекса емкости сети (Capacity Index).

Совокупный показатель для индекса емкости и покрытия сети является наиболее наглядным, но часто проще и практичнее использовать показатель покрытия БС, определяемый скоростью передачи данных.

Также в качестве показателей эффективности оценки алгоритма SON могут быть использованы следующие критерии:

- максимальное количество одновременных звонков БС/сети;
- максимальная поддерживаемая нагрузка трафика БС/сети;
- эффективность использования спектра БС/сети.

Емкость сети можно рассматривать на двух уровнях: на соту или на всю область обслуживания сети. Добавление новой базовой станции не увеличит пропускную способность на соту. Фактически, внедрением алгоритма SON можно уменьшить пропускную способность соты, поскольку возрастет уровень междосотовых внутрисистемных помех. Однако пропускная способность сети по всей территории обслуживания может увеличиться, так как будет использоваться большее число БС.

Критерий получения дополнительных доходов за счет внедряемых функций и алгоритмов SON основывается на том, что добавление базовой станции может привести к дополнительному доходу оператора от трафика на новом сайте. Однако это трудно оценить, и поэтому данный показатель считается неподходящим для оценки эффективности.

Оценка эффективности внедряемых функций и алгоритмов SON на основе показателя CAPEX будет зависеть от выбранного эталона оценки. Если в результате ручного планирования добавляется БС, а при использовании функций и алгоритмов SON этого бы не произошло, то это означает уменьшение CAPEX сети.

Выбор сайтов на основе сценария использования SON может привести к лучшему выбору мест размещения новых базовых станций, в которых они нужны, и использование SON поможет избежать добавления ненужных сайтов в сеть, то в этом случае применение SON означает также уменьшение капитальных затрат оператора. Эффект влияния SON на CAPEX будет связан как с уменьшением количества сайтов, так и с увеличением общей и удельной стоимости оборудования сети за счет внедрения SON на сайт.

Чтобы оценить влияние показателя эффективности на основе OPEX для использования SON, необходимо определить затраты планировщика для каждого этапа выбора сайта при оптимизации сети. Для каждого из этих этапов следует оценить, какие шаги больше не нужны в результате применения функций и алгоритмов SON, и оценить экономию OPEX оператору.

На рис.5 показаны примеры значений показателей эффективности использования четырех различных алгоритмов SON, полученных при моделировании их использования в сети LTE [19].

Из полученных результатов видно, что алгоритм самооптимизации SON – SO_A имеет максимальную эффективность, которая позволяет достичь наименьшего CAPEX. Но для этого требуется проведение множества измерений (сложность оптимизации) и корректировки параметров в единицу времени (роста OPEX в случае вмешательства оператора для оптимизации). Напротив, наименее сложный алгоритм SON – SO_D обеспечивает худшую производительность и максимальные капитальные затраты.

К сожалению, известные подходы к оценке эффективности функций и алгоритмов SON [8, 19] для различных сценариев использования с показателями разной размерности и относящиеся к различным характеристикам сетей мобильной связи не позволяют ввести единый интегральный показатель эффективности, что приводит к возможности лишь качественной оценки на основе сравнительного метода "больше – меньше". Решение такой задачи многокритериальной оценки, предлагающее интегральный показатель эффективности SON, целесообразно провести с использованием одного из известных методов многокритериального анализа, рассматривая внедрение сети SON как инвестиционный проект и как инновацию сетевого управления сетью 4G/5G [20]. Проведение таких исследований с применением

многокритериального метода оценки и учет показателей эффективности функций и алгоритмов SON для различных сценариев использования потребует определения значения и веса каждого из выбранных критериев оценки на основе применения метода экспертных оценок и нормирования каждого показателя эффективности для приведения к безразмерному виду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение самоорганизующихся сетей SON, реализуемое в современных системах эксплуатации, администрирования и управления OAM в сетях 4G и 5G становится драйвером развития систем эксплуатации и управления и требует проведения интеллектуализации, а также внедрения систем искусственного интеллекта ввиду усложнения алгоритмов SON и виртуализации сетевых элементов.

Оценка эффективности внедряемых операторами в системы OAM функций и алгоритмов SON для различных сценариев использования требует новых подходов для объективной оценки преимуществ SON перед системами планирования и оптимизации с ручными алгоритмами. Применение многокритериального подхода к оценке и учету показателей эффективности функций и алгоритмов SON позволит повысить достоверность оценок необходимости затрат на внедрение самоорганизующихся систем в состав систем OAM мобильных сетей новых поколений и позволит использовать эти оценки для контроля эффективности будущих сетей SON на основе алгоритмов с искусственным интеллектом.

ЛИТЕРАТУРА

1. TS 32.500: Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements.
2. TR 28.861: Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication management; Study on the Self-Organizing Networks (SON) for 5G networks (Release 16).
3. TS 28.525: Telecommunication management; Life Cycle Management (LCM) for mobile networks that include virtualized network functions; Requirements.
4. TS 32.501: Telecommunication management; Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Integration Reference Point (IRP) Requirements.
5. TS 32.541: Telecommunications Management; Self-Organizing Networks (SON); Self-healing concepts and requirements.
6. INFSO-ICT-216284 SOCRATES, Document D2.2 Requirements for Self-Organising Networks, 2008.
7. Gandalf Project. Monitoring and self-tuning of RRM parameters in a multisystem network. [Online]. Available: <http://www.celtic-initiative.org>

8. SELFNET. Framework for Self-Organised Network Management in Virtualised and Software Defined Networks. [Online]. Available: <http://www.cognet.5g-ppp.eu/cognet-in-5gpp/>
9. Jessica Moysen, Lorenza Giupponi From 4G to 5G: Self-organized Network Management meets Machine Learning // Computer Communications. July 2017.
10. TS 32.511:Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR) management; Concepts and Requirements.
11. 3GPP TR 36.902, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Self-configuring and Self-optimizing Network (SON) Uses Case and Solutions (Release 9).
12. 3GPP TS 36.423, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP) (Release 11), 2013.
13. 3GPP, TS 36.213, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures.
14. 3GPP TS 36.300, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2.
15. 3GPP, TR 32.826 Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Study on Energy Savings Management (ESM) (Release 10)
16. 3GPP, TS 32.541 Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Self-healing concepts and requirements (Release 12).

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"

Цена 975 руб.

ГИПЕРФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ — ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В ГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

М.А.Быховский

Монография посвящена актуальным вопросам, связанным с выбором для проектируемых систем связи многомерных ансамблей сигналов, позволяющих передавать сообщения по каналам связи с максимально возможной скоростью (максимальной спектральной эффективностью), а также максимальной энергетической эффективностью, теоретический предел которых был установлен создателем теории информации Клодом Шенноном.

В ней дан аналитический обзор основных современных методов построения помехоустойчивых кодов, предназначенных для передачи сообщений в дискретных каналах связи, и двумерных и многомерных ансамблей сигналов, с помощью которых сообщения передаются в непрерывных каналах связи.

В монографии представлен ряд новых результатов. В ней изложены новые методы определения вероятности ошибки при приеме многомерных сигналов, позволившие обобщить теорему Шеннона о пропускной способности непрерывного канала связи на случай, когда сигналы имеют ограниченную длительность и известна требуемая вероятность ошибки, возникающей при их демодуляции принятых сигналов. В книге развиты конструктивные методы построения многомерных ансамблей объемно- и поверхностно-сферических сигналов, которые, как было показано Шенноном, являются оптимальными для передачи сообщений в канале связи с белым гауссовым шумом. Предложен метод оценки энергетической эффективности систем связи, использующийся для сравнения систем связи, в которых применяются разные методы модуляции и разные помехоустойчивые коды. Показано, что в системах связи, в которых используются многомерные ансамбли сигналов, применение помехоустойчивых кодов нецелесообразно.

Книга адресована научным работникам и инженерам — специалистам в области разработки и проектирования новых наземных и спутниковых телекоммуникационных систем связи, цифрового вещания, а также для аспирантов и студентов инфокоммуникационных и радиотехнических специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. — 310 с.
ISBN 978-5-94836-478-0

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru

17. Seppo Hamalainen, Henning Sanneck, Cinzia Sartori. LTE Self-Organising Networks (SON): Network Management Automation for Operational Efficiency. – John Wiley and Sons, 2012.
18. 3GPP TS 36.902: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions.
19. INFISO-ICT-216284 SOCRATES, Document D2.3 Assessment criteria for self-organising networks, 2008
20. Яшин С.Н., Боронин О.С. Многокритериальная оценка экономической эффективности инновационных проектов // Экономические науки. Математические и инструментальные методы экономики. 2010. № 11. С. 253–256.

Первый российский BPSK-модулятор 40 Гбит/с

На состоявшейся в Москве выставке "Фотоника. Мир лазеров и оптики-2019" компания "Т8" впервые продемонстрировала электрооптический модулятор 40 Гбит/с для волоконно-оптических систем связи. Устройство разработано и произведено в лаборатории "Т8" в рамках государственной программы "Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы". Опытный образец оптоэлектронного модулятора показал лучшие характеристики, чем изначально были заложены, и по ряду показателей превзошел зарубежные аналоги.

Оптоэлектронные модуляторы применяются в телекоммуникационных и радиодетонных оптических системах для передачи данных и амплитудно-фазового преобразования несущего оптического сигнала за счет электрооптического эффекта. До настоящего времени на территории России не существовало собственных технологий по производству электрооптических модуляторов с поло-

сой свыше 25 ГГц. Устройство на основе волоконного интерферометра Маха-Цендера позволяет решать задачи, в которых требуется динамический диапазон свыше 30 дБ, в том числе для передачи аналогового ВЧ-сигнала по оптическому волокну.

Модулятор является важным компонентом во многих оптических системах, и российская разработка позволяет говорить об уверенном шаге в развитии отечественного телекоммуникационного оборудования. Устройство будет применяться в приемно-передающих устройствах DWDM-платформы "Волга". Новинкой заинтересовались и другие отечественные производители оптических систем, в том числе не из области телекоммуникаций. Компания "Т8" планирует запустить опытное производство и произвести первые отгрузки образцов в 2019–2020 годах.

"Собственный оптический модулятор позволит повысить степень локализации нашего оборудо-

вания, – говорит Владимир Трещиков, генеральный директор ООО "Т8". – Помимо использования в платформе "Волга", мы готовы предложить модулятор и другие наши компоненты, над которыми ведем работу, другим производителям оптических систем. Испытания опытного образца показали очень хорошие результаты, и мы уверены, что предлагаем достойный продукт мирового уровня. Без помощи государства и программы Минпромторга нам было бы сложно достигнуть таких успехов, это длинный, сложный и затратный путь. Тем не менее наши результаты говорят о том, что российская продукция, даже высокотехнологичная, может состоять из российских компонентов. Мы медленно, но идем к этому, для чего нужна честная игра и желание всех участников процесса, включая заказчиков".

По информации ООО "Т8"

LTE-450 на службе оповещения

Оператор мобильной связи Tele2 (ООО "Т2 Мобайл") обеспечил подключение свыше 640 точек оповещения о чрезвычайных ситуациях в Москве. Компания реализовала проект на базе сети LTE-450, заказчиком выступил столичный департамент по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности.

Оператор подключил более трети точек информирования о чрезвычайных ситуациях в Москве в 2018 году. Он установил оборудование, поддерживающее различные стандарты связи четвертого поколения, включая уникальный диапазон 450 МГц. Tele2 обладает эксклюзивными правами на использование данного частотного диапазона. Работа в стандарте LTE-450 позволяет сократить сроки подключения точек оповещения и обеспечивает беспроводное соединение, освобождая город от проводных линий связи.

Tele2 продолжает развивать проекты с использованием сети LTE-450. По итогам 2018 года оператор подключил еще 50 фельдшерско-акушерских пунктов в Московской области в дополнение к 250, которые получили доступ к современной связи ранее. Еще одним значимым проектом оператора стала работа во время главного спортивного события 2018 года. Тогда Tele2 обеспечил связь в сети LTE-450 для бригад оперативных служб. Технология позволяет установить приоритет для устройств экстренных служб и работать в условиях перегруженной мобильной сети в других частотных диапазонах. Во время игр Лиги Европы по футболу осенью 2018 года при помощи LTE-450 была успешно протестирована система распознавания лиц. Востребованность технологии подтверждает статистика. По итогам 2018 года потребление трафика в сети LTE-450 в Московском регионе увеличилось в 3,5 раза, абонентская база в B2B-

сегменте выросла в 2,7 раза, а выручка – в 2,5 раза. Игорь Жижикин, директор макрорегиона "Москва" Tele2, комментирует: "Tele2 планомерно развивает технологии умного города. Мы создаем цифровую экосистему, отвечающую всем потребностям жителей: от комфортного проезда на общественном транспорте до информационной безопасности. Стандарт LTE-450 является драйвером развития таких проектов. Особенности этой сети – высокая степень распространения сигнала. Это обеспечивает качественное соединение на большом расстоянии от базовой станции и в зданиях со сложными архитектурными особенностями. Высокая пропускная способность сети позволяет избежать перегрузок даже в местах массового скопления пользователей, что делает ее наиболее привлекательной для спецпользователей".

По информации ООО "Т2 Мобайл"