

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.3 - С. 41 - 43

## **ОБЗОР НОВЕЙШИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К СТЕКУ ИНТЕРНЕТ-ПРОТОКОЛОВ**

*Накенова С.С.*

В настоящее время отрасль информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) представляет собой важный источник потребления энергии и выбросов парниковых газов. Учитывая, что стремительный рост сектора ИКТ будет продолжаться, чрезвычайно важно быстро принять меры предосторожности и начать внедрение новых протоколов для снижения энергопотребления. Для этого совершенствуется большинство существующих протоколов или разрабатываются новые для достижения этих целей на каждом уровне стека Интернет-протоколов. Большинство исследований экологически чистых коммуникаций на канальном уровне сосредоточено на подуровне MAC. В этой статье рассматриваются последние энергоэффективные протоколы MAC, а также решения Long-Term Evolution (LTE).

Протокол передачи данных MAC рассматривается как подуровень уровня канала данных. Протокол MAC определяет правила передачи кадра по каналу связи с помощью механизмов адресации и управления доступом к каналу. Когда несколько узлов совместно используют один канал, протокол MAC координирует доступ к каналу. Этот канал может предоставлять услуги одноадресной, многоадресной или широковещательной связи. В этом разделе обсуждаются недавние энергоэффективные подходы для подуровня MAC.

Для мобильных устройств наиболее энергоемким компонентом является радиointерфейс. Например, радиointерфейс потребляет примерно 70% всей энергии смартфона, когда экран выключен. Радиointерфейс может находиться в режиме передачи, приема, ожидания или ожидания, а наибольшая мощность используется в режиме передачи. В режиме ожидания узлу требуется обнаруживать среду, поэтому потребляемая мощность приблизительно равна режиму приема. Коллизии - еще одна причина высокого энергопотребления беспроводных устройств. Уменьшение количества столкновений может увеличить пропускную способность и снизить потребление энергии. Поскольку протоколы MAC назначают канал узлам в сети, они напрямую управляют работой радиointерфейса и играют важную роль в энергопотреблении беспроводных устройств [1].

Изучается новая энергоэффективная схема MAC. Предлагаемая схема планирует время активности и ожидания радиointерфейсов узла в

распределенном методе. Коллизии уменьшаются за счет использования временного узла координатора. Повышается пропускная способность сети и получается более низкая задержка пакетов по сравнению с существующими механизмами энергосбережения. Общая пропускная способность, энергопотребление, энергопотребление и задержка пакетов являются показателями измерения производительности. Анализ энергопотребления показывает, что WoPSM потребляет больше всего энергии, потому что все узлы все время находятся в активном состоянии. Общее энергопотребление сети увеличивается по мере увеличения нагрузки для всех схем. Очевидно, что предложенная схема превосходит PSM и WoPSM с точки зрения энергоэффективности, а также с точки зрения пропускной способности и задержки.

Популярный стандарт MAC для беспроводных сенсорных сетей и сетей исполнительных устройств, определяет два режима работы: режим без включения маяка, когда приемники всегда активны для получения кадра, и режим с включенным маяком, который описывает суперкадры, в которых узлы бодрствуют только в течение небольшой части суперкадра и спят довольно часто. Во втором режиме значительный трафик приводит к частым конфликтам и потерям пакетов, что приводит к увеличению энергопотребления и низкой пропускной способности. Для работы IEEE 802.15.4 с низкими рабочими циклами требуется настройка параметров MAC для достижения низкого энергопотребления. Поведение режима с включенным маяком анализируется, чтобы определить основные узкие места в производительности. Метод адаптации упоминается как ABE, где координатор наблюдает количество свободных интервалов перед началом передачи. Однако узел потребляет энергию для наблюдения за свободными слотами, потому что он должен быть активным. Эта проблема решается путем делегирования отслеживания свободных слотов координатору, которому всегда необходимо бодрствовать в течение активного периода. ABE сравнивается со стандартом IEEE 802.15.4, сконфигурированным со статической экспонентой отсрочки передачи, которая определяет размер значений окна конкуренции. Результаты показывают, что ABE обеспечивает оптимальную пропускную способность без учета количества узлов. Значение конкурентного окна, которое оптимизирует пропускную способность, определяется координатором в ABE [2].

Протоколы	Задержка	Пропускная способность	Энергоэффективность
P-MAC	Средняя	Средняя	Высокая
T-MAC	Высокая	Низкая	Высокая
S-MAC	Низкая	Низкая	Средняя
AEE-MAC	Низкая	Низкая	Средняя/ Высокая
BSC-MAC	Низкая	Средняя	Средняя/ Высокая

Таблица 2 Сравнение протоколов MAC

LTE (долгосрочное развитие)

Сети беспроводного доступа потребляют 80% всей энергии, потребляемой операторами сетей мобильной связи. Функции управления радиоресурсами и распределения для LTE стали важным предметом исследования, поскольку потребление энергии в базовых станциях и передачах по нисходящей линии связи, по-видимому, является основной областью, в которой может быть достигнута значительная экономия.

Вместо оптимизации для повышения спектральной эффективности сетей доступа представлена энергоэффективность некоторых известных принципиальных схем планирования. Представлены три соответствующих энергоэффективных планировщика: циклический (RR), лучший индикатор качества канала (BCQI) и пропорциональный справедливый (PF). RR - один из самых популярных основных планировщиков. Он назначает такое же количество блоков физических ресурсов (PRB). BCQI и PF - это схемы планирования с учетом канала. BCQI выбирает пользователя с наивысшим индексом качества канала (CQI), который измеряет качество канала беспроводной связи; другими словами, высокий CQI указывает на сигнал высокого качества в каждом временном интервале передачи (TTI) для каждого PRB. В PF пользователи выбираются на основе нормализованной достижимой скорости в каждом временном интервале. При исследовании модели энергопотребления рассматривается линейная модель энергопотребления. По возможности, пропускная способность идет в обмен на энергию. Согласно выводам, количество энергии, потребляемой в каждом TTI, уменьшается, так что это обеспечивает общее снижение энергии передачи. Наконец, каждому пользователю назначается максимум один PRB, и получаются три энергоэффективных планировщика: энергоэффективный циклический перебор (EERR), энергоэффективный пропорциональный справедливый (EEPF) и энергоэффективный индикатор лучшего качества канала (EEBCQI). При моделировании используется сеть с одной базовой станцией и несколькими пользователями. Производительность предлагаемых планировщиков (EERR, EEPF, EEBCQI) сравнивается с производительностью основных планировщиков (RR, PF, BCQI) с точки зрения энергоэффективности и QoS. Согласно результатам, когда в системе мало доступных ресурсов (PRB), Предлагаемые планировщики экономят значительно больше энергии, чем основные планировщики. При увеличении количества PRB этот выигрыш в энергии увеличивается, потому что все PRB не заняты, поскольку рассматривается источник трафика ВКЛ / ВЫКЛ. Таким образом, если все PRB назначены пользователям, выигрыш в энергии возрастет. В заключение, эта работа показывает, что выигрыш от экономии энергии в основном зависит от доступных ресурсов (PRB) и количества пользователей в каждом TTI.

3GPP Long-Term Evolution-Advanced (LTE-A) - одна из передовых технологий мобильной связи. В LTE-A несколько классов QoS были определены для различных характеристик скорости передачи данных, задержки пакетов и скорости потери пакетов. Чтобы снизить энергопотребление пользовательского оборудования (UE), в LTE-A был разработан механизм прерывистого приема (DRX). Этот механизм отключает радиointерфейсы UE, когда развитый узел В (eNB) не имеет данных для доставки в UE. Существующие исследования

показывают, что использование DRX может значительно снизить потребление энергии в UE. Хотя в этих исследованиях упоминалась проблема оптимизации DRX, они не учитывали требования QoS и были нацелены на управление длиной цикла DRX для UE с целью повышения энергоэффективности.

Хотя некоторые исследования были нацелены на снижение энергопотребления UE в мобильных сетях, потребление энергии UE составляет лишь небольшую часть потребления энергии в этих сетях. Большая часть принадлежит БС. Исследование разработано в рамках проекта EARTH, который направлен на повышение энергоэффективности сотовых сетей LTE при обеспечении более широкого покрытия и сокращении выбросов углекислого газа. Авторы стремятся улучшить методы радиопередачи, такие как формирование диаграммы направленности и методы антенн MIMO, чтобы способствовать достижению целей проекта EARTH. В частности, MIMO используется для повышения спектральной эффективности каналов связи. Следует отметить, что в макроячейках значительное снижение энергопотребления может быть получено при высоких нагрузках за счет использования реконфигурируемых антенн. Подходящий выбор режима MIMO и правильное предварительное кодирование и планирование могут обеспечить еще большую экономию энергии. Кроме того, в пикосотах достигается значительное снижение мощности за счет удобного выбора режима MIMO.

В сравнение конструкций LTE и LTE-A представлено с точки зрения энергоэффективности. LTE-A добавляет три новые функции: агрегация несущих, которая увеличивает скорость передачи данных, гетерогенные сети, которые включают комбинацию станций на основе макросот и фемтосот, и наличие нескольких антенн, другими словами, улучшенная поддержка MIMO для LTE. Энергоэффективность в сетях беспроводного доступа формулируется путем определения наиболее энергоэффективной БС. Исследуется влияние трех новых функций LTE-A на энергоэффективность. Результаты показывают, что особенно агрегация несущих LTE-A и усовершенствование MIMO обеспечивают значительное повышение энергоэффективности по сравнению с LTE. LTE-A также обеспечивает улучшенную поддержку ретрансляции, что также может еще больше повысить энергоэффективность.,

#### Список литературы

1. G Fettweis, E Zimmermann, in The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2008)
2. K Hinton, J Baliga, MZ Feng, RWA Ayre, R Tucker, Power consumption and energy efficiency in the internet. IEEE Network. 25(2), 6–12 (2011)
3. D DiTomaso, S Laha, S Kaya, D Matolak, A Kodi, in 10th IEEE International Conference on New Circuits (NEWCAS 2012)