

Изучение необязательной энергопередачи в сетях WLAN: проблемы и последние достижения

к. т. н. Мохаммед Шакер Махмуд

Министерство высшего образования и научных
исследований
Багдад, Ирак

канд. техн. наук Халил Маад Модхер

Университет Диялы,
Баакуба, Ирак

Аннотация. В статье рассматривается проблема необязательной передачи данных в сетях WLAN и представлен обзор работ, посвященных процессам передачи активного соединения с одного устройства связи на другое без прерывания сеанса связи, обозначаемых термином «handoff». Рассматриваются основные аспекты архитектуры WLAN, включая станции WLAN, точки доступа, базовые наборы услуг и систему распределения. Основное внимание уделяется методам оптимизации передачи данных, включая активное и пассивное сканирование, аутентификацию и повторную ассоциацию. Приводятся результаты предыдущих исследований, а также обсуждаются преимущества и недостатки различных методов оптимизации передачи данных в сетях WLAN.

Ключевые слова: WLAN, handoff, станции WLAN, точки доступа, базовые наборы услуг, активное сканирование, пассивное сканирование, аутентификация, повторная ассоциация.

Для цитирования: Махмуд Мохаммед Шакер, Модхер Халил Маад. Оптимизация передачи данных в сетях WLAN: анализ проблемы ненужной передачи и последние достижения // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 84–92. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-84-92

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network) стали неотъемлемой частью современных информационных технологий. Однако проблема ненужной передачи данных в сетях WLAN остается актуальной и требует дальнейших исследований. В данной статье проводится анализ архитектуры WLAN, методов оптимизации передачи данных и последних достижений в области решения проблемы ненужной передачи.

Беспроводная локальная сеть — это метод беспроводного распространения данных для двух или более устройств, использующих высокочастотные радиоволны и часто включающих в себя точку доступа к Интернету [1]. WLAN позволяет пользователям перемещаться по зоне покрытия, часто по дому или небольшому офису, сохраняя при этом

сетевое соединение [2]. Каждый компонент, подключающийся к WLAN, считается станцией и относится к одной из двух категорий: точки доступа и клиенты. WLAN: обеспечивает беспроводное сетевое взаимодействие на небольших расстояниях, используя радио- или инфракрасные сигналы вместо старых сетевых кабелей. Благодаря простоте установки и растущей популярности портативных компьютеров, сети WLAN получили широкое распространение в последние два десятилетия [2].

Архитектура WLAN

Архитектура 802.11 включает в себя несколько факторов и сервисов, которые взаимодействуют между собой, обеспечивая станцию связью и мобильностью. Многие оборудование относится к среде WLAN. WLAN станция (STA) или мобильная станция MS (Mobile Station) на этом устройстве. Также точка доступа использует для передачи цифрового сигнала и позволяет MS подключаться и пользоваться услугами WLAN [3]. Существует множество точек доступа, охватывающих область подключения, эта расширенная коллекция получила название Basic Service Set (BSS) [4]. Все эти устройства должны подключаться к расширенному набору услуг из разных BSS, соединяясь с одной магистралью.

Станция WLAN

Станция WLAN (WLAN STA или просто STA) — это устройство, способное использовать протоколы 802.11. Например, станция может быть ноутбуком, настольным устройством или Wi-Fi телефоном. Обычно в беспроводной среде станции, беспроводные клиенты и узлы используются взаимозаменяемо, поэтому они считаются основной частью оборудования беспроводной сети. STA — это устройство, которое может предложить функциональность 802.11. Также реализует управление доступом к среде (MAC) и физический уровень (PHY) стандарта 802.11 [5].

Точка доступа WLAN

Точка доступа WLAN — это, по сути, станция WLAN, но с дополнительными частями для поддержки мостового

соединения (то есть пересылки на втором уровне) и управления 802.11 [6]. В результате точки доступа работают для поддержки доминанты передатчика и приемника беспроводных радиосигналов, считая Wi-Fi. Точки доступа всегда используются для поддержки публичного Интернета, например хот-спотов.

Базовый набор услуг (BSS)

Инфраструктурный базовый набор услуг — это группа станций IEEE 802.11, закрепленных за точкой доступа и организованных для связи друг с другом по воздушной линии. Обычно это называется BSS, как показано на рисунке 1. Механизм BSS контролирует доступ к ресурсам и услугам точки доступа. Кроме того, он позволяет радиостанции отсеивать транспорт от других не связанных с ней радиостанций, находящихся поблизости. Сначала портативное устройство прослушивает кадр маяка от точки доступа, а затем разделяет BSS через ряд взаимодействующих шагов, которые включают аутентификацию и ассоциацию. Как показано на рис. 1, стандарт IEEE позволяет администратору логически объединить набор из одной или нескольких взаимосвязанных BSS в один ESS (Extended Service Set). ESS представляется сигнальной BSS на уровне LLC (Logical Link Control) для любой станции, связанной с одной из этих BSS.

Система распределения (DS)

Назначение системы распределения DS (Distribution System) можно характеризовать так. В классическом случае большие площади или все помещения здания должны быть покрыты WLAN для обеспечения доступа в каждой точке требуемой зоны. Чтобы достичь этого, необходимо использовать более одной точки доступа для покрытия всей территории, а также обеспечить возможность роуминга между несколькими точками доступа и подключения к ресурсам проводной сети, стандарт 802.11 определяет DS, которая обеспечивает проводное соединение между точками доступа. DS соединяет точки доступа, пересылает трафик и облегчает перемещение MS в пределах большой территории [7].

Расширенный набор услуг (ESS)

Расширенный набор услуг [8] — это часть взаимосвязанных базовых наборов услуг и прикрепленных к ним локальных сетей. Каждый базовый набор услуг состоит из одной точки доступа, объединенной со всеми станциями беспроводных клиентских устройств, также называемыми STA, создающими локальную или корпоративную беспроводную сеть 802.11 (WLAN), как показано на рис. 2. Для целей уровня управления логическим каналом (часть уровня 2 7-уровневой эталонной модели OSI) ESS выступает в качестве одинокой BSS для любой из STA [9].

ВЕРТИКАЛЬНАЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА

Вертикальная передача

При вертикальной передаче мобильный узел MN (Mobile Node) перемещается между различными типами сетевых технологий, например между IEEE 802.11 WLAN

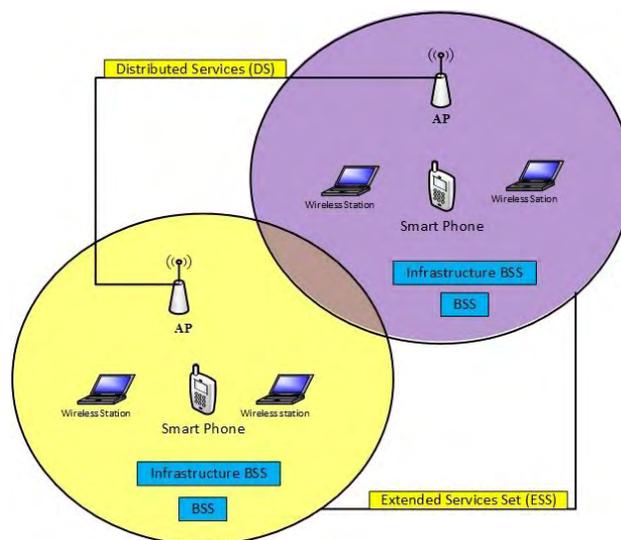


Рис. 1. Расширенный набор услуг — ESS

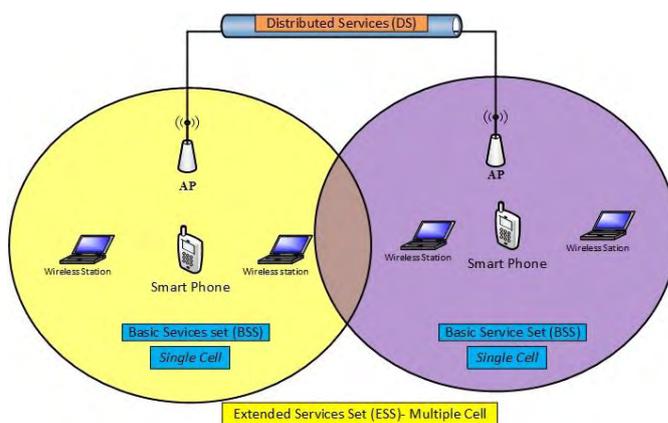


Рис. 2. Типовая архитектура сети WLAN

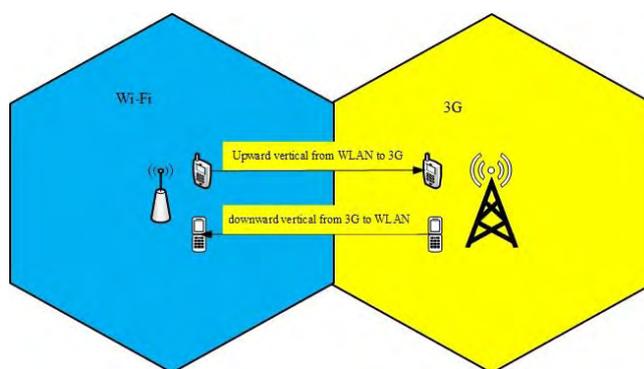


Рис. 3. Вертикальная передача

и сотовой сетью 3G [10, 11], как показано на рис. 2.1. Вертикальная передача делится на две категории: нисходящая вертикальная передача и восходящая вертикальная передача. Нисходящая вертикальная передача включает в себя то, что MN переключает свое соединение с большой соты на малые соты. С другой стороны, восходящая вертикальная передача заключается в том, что MN переключает свое

соединение с малой ячейки на большую. Например, в сети WLAN/4G нисходящая вертикальная передача — это передача от 4G к WLAN, а восходящая вертикальная передача — это передача от WLAN к 4G.

Горизонтальная передача

При горизонтальной передаче MN передается между сетями одного типа, технологиями, такими как WLAN к WLAN, или сеть 4G к сети 4G [12], как показано на рис. 4. При горизонтальной передаче существует несколько критериев (например, соотношение сигнал/шум (SNR), доступность канала и коэффициент битовых ошибок [13]. Горизонтальная передача делится на две категории: внутрисотовые и межсотовые передачи. При внутрисотовом хэндовере изменения происходят только в радиоканалах внутри соты, чтобы минимизировать межканальную интерференцию. При межсотовом хэндовере изменяется все соединение от исходной точки доступа к целевой точке доступа, когда MN переходит между двумя соседними сотами.

ПРОЦЕСС ПЕРЕДАЧИ

Обработка передачи делится на три фазы: сканирование, аутентификация и повторная ассоциация. Фаза сканирования может быть выполнена двумя способами: пассивным и активным в соответствии со стандартом IEEE 802.11. В процессе аутентификации происходит обмен кадрами аутентификации для выбора учетных данных станции с целью получения разрешения на соединение с новой точкой доступа. С другой стороны, аутентификация открытой системы — это процесс нулевой аутентификации, при котором MN, или клиент, всегда успешно аутентифицируется с точкой доступа, то есть точка доступа разрешает всем успешно аутентифицироваться. Процесс повторного подключения позволяет точке доступа выделять ресурсы и синхронизироваться с MN. Таким образом, процесс передачи состоит из трех фаз (сканирование, аутентификация и повторная ассоциация).

Задержка сканирования

Задержка сканирования занимает время, в течение которого мобильный узел сканирует канал в поисках лучшего сигнала. Сканирование всех каналов в области базового набора услуг (BSS) сделает передачу и время задержки, пока MS настроит, чтобы подключиться к AP. Сканирование делится на части, пассивное сканирование и активное сканирование. Пассивное сканирование — это отправка запроса маяка каждые 100 мс точкой доступа [14]. С другой стороны, активное сканирование отправляет запрос на AP через MS и ждет, пока не будет получен ответ зонда. В результате существует два типа фаз сканирования для обнаружения сигнальной точки доступа и установления с ней связи: пассивное и активное сканирование.

Пассивное сканирование

На рис. 5 показано, что MN прослушивает сообщения маяка, периодически передаваемые точками доступа. Сообщение маяка содержит необходимую информацию, та-

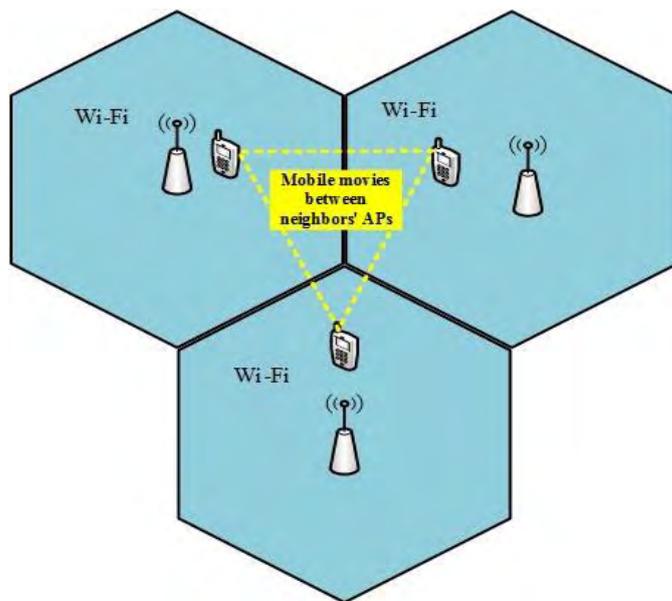


Рис. 4. Горизонтальная передача

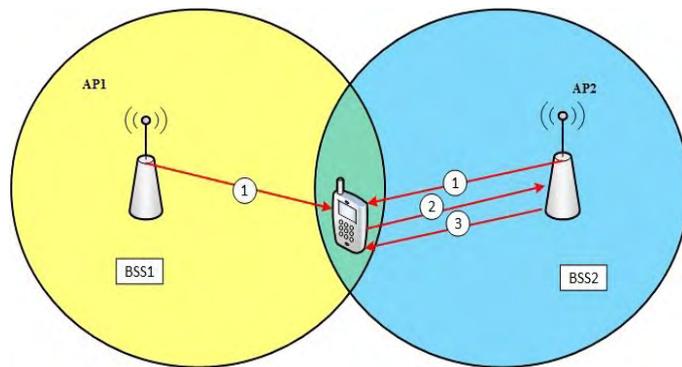


Рис. 5. Пассивное сканирование

кую как BSSID, интервал маяка, скорость поддержки и т. д. Эта информация используется MN для выбора наилучшей доступной точки доступа. Кроме того, MS, использующий пассивное сканирование, должен ждать в течение времени, называемого максимальным временем канала, на каждом канале, чтобы собрать все сообщения маяка, отправленные различными точками доступа. После сканирования всех каналов маяки будут обработаны и будет выбрана лучшая точка доступа. Пассивное сканирование увеличивает время задержки передачи, поскольку MS приходится сканировать все доступные каналы. С другой стороны, использование пассивного сканирования снижает потребление энергии и пропускной способности.

Таким образом, активную фазу сканирования можно объяснить следующими шагами:

1. Кадры маяка посылаются от точки доступа, MN сканирует все каналы, чтобы найти все возможные кадры маяка от точек доступа в данном месте.
2. Кадр запроса ассоциации отправляется от MN для выбора точки доступа.
3. Кадр ответа ассоциации отправляется от выбранной точки доступа к MN.

Активное сканирование

Активное сканирование означает, что мобильный узел будет отправлять широковещательные запросы-зонды на точки доступа и ждать, пока ответ-зонд не поступит от всех достижимых точек доступа, в сообщении активно-го сканирования включаются BSSID, SSID и т. д., как показано на рис. 6, в течение определенного периода времени, если мобильный узел не может обнаружить никакого ответа от любой точки доступа. Таким образом, он переключится на другой канал. С другой стороны, если MN получит ответ зонда, MS выберет новую точку доступа в зависимости от информации, полученной от соответствующей точки доступа и лучшего качества канала. Активное сканирование может уменьшить время ожидания мобильного узла. Однако при этом увеличивается потребление энергии и пропускной способности.

Таким образом, фаза активного сканирования может быть объяснена следующими шагами:

- 2.5 Кадр запроса зонда, передаваемый из MN.
- 2.6 Кадр ответа зонда, отправленный от точек доступа.
- 2.7 Запрос ассоциации, отправленный от MN к выбранной точке доступа.
- 2.8 Кадр ответа ассоциации, отправленный от выбранной точки доступа к MN.

Повторная аутентификация

Одна из причин, по которой происходит передача, — повторная аутентификация. Мобильный узел должен пройти повторную аутентификацию, когда он переходит от старой точки доступа к новой. Повторная аутентификация позволяет установить соединение между мобильным узлом и новой точкой доступа и разрешить доступ к услугам, установленным на точке доступа. Существует два типа аутентификации: открытая аутентификация и аутентификация с общим ключом.

Повторная ассоциация

Процесс повторной ассоциации происходит, когда мобильный узел устанавливает новое соединение с новой точкой доступа. В этом процессе мобильный узел отправляет ассоциацию с новой точкой доступа. Новая точка доступа получит ассоциацию от мобильного узла и повторно отправит его старой точке доступа, чтобы получить контекст безопасности, такой как (ключ шифрования, номер последовательности, качество обслуживания (QoS). В течение этого времени мобильному узлу придется ждать ответного сообщения от точки доступа, что приведет к задержке передачи. На рис. 7 показаны все фазы процесса передачи.

КРИТЕРИИ ПЕРЕДАЧИ

Мощность принимаемого сигнала

Этот параметр является простым, прямым и общепринятым. Существует тесная связь между RSS и расстоянием между точкой доступа и MN. Недостатком этих параметров является неспособность учитывать ко-канальные помехи. Многие факторы (например, топографические изменения, затенение из-за зданий и многолучевые замирания) могут вызывать отклонения услуг зоны покрытия точки доступа от запланированных услуг зоны покрытия. Таким образом,

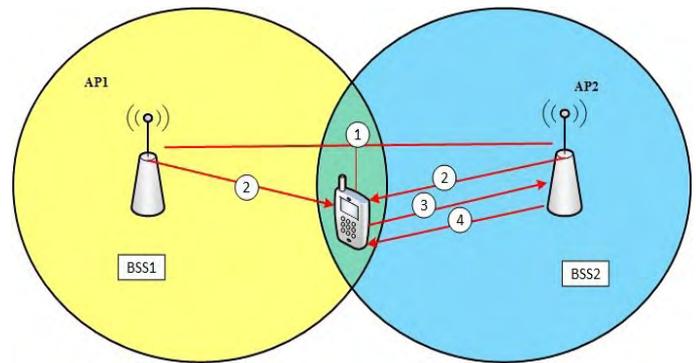


Рис. 6. Активное сканирование

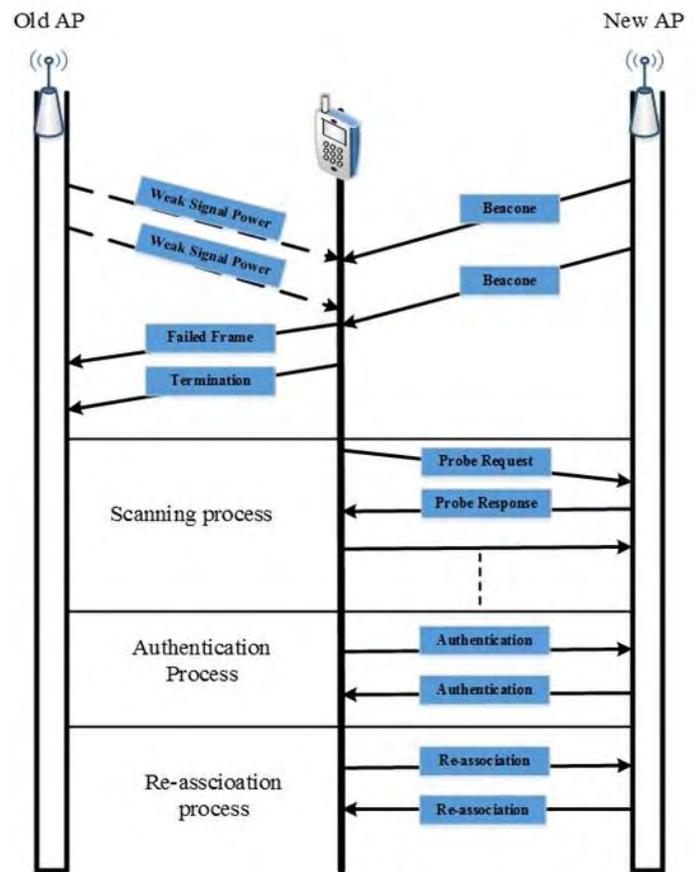


Рис. 7. Шаги по установлению связи с новой точкой доступа

колебания RSS также могут привести к увеличению количества ненужных передач.

Расстояние

Этот критерий позволяет определить расстояние от точки доступа до MN. Оценка расстояния может основываться на измерениях RSS или задержке между RSS, полученными от разных точек доступа. Измерение расстояния может улучшить производительность передачи. Кроме того, оценка расстояния может помочь алгоритму передачи определить MN и избежать ненужной передачи при колебаниях RSS. Таким образом, поскольку будущая система должна будет определять информацию о поло-

жении MN, измерение расстояния будет использоваться в качестве критерия передачи.

Скорость

Скорость считается важным параметром в алгоритме передачи, особенно для систем пересечения и алгоритмов, адаптирующихся к скорости. Алгоритм передачи использует критерий скорости для изменения параметра передачи. Адаптивный метод изменения среднего интервала в алгоритме передачи для малых и больших ячеек представлен в [4]. Изменение скорости MN может повлиять на решение о передаче, что приведет к ошибкам при инициации передачи. Таким образом, многие исследователи изучали и анализировали влияние изменения скорости на решение о передаче.

ПРЕДЫДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Важность предотвращения ненужной передачи заставляет многих исследователей проводить исследования в этой области, чтобы улучшить, создать или усовершенствовать алгоритмы и механизмы для решения различных проблем, связанных с этой областью. Ненужная передача считается основной проблемой в WLAN, которая происходит между MN и точками доступа. Эта ненужная передача влияет на производительность WLAN, поскольку она расходует ресурсы сети и сервисов, и другие связанные с этим проблемы. Поэтому в данном обзоре литературы многие исследователи изучали проблему ненужной передачи и способы ее решения, в этих исследованиях использовалось множество способов и методов для решения проблемы ненужной передачи и ее влияния на WLAN.

В работе [15] представлена схема оценки начального пути передачи для MN, перемещающегося от точки доступа к другой точке. Геометрическая модель основана на угле прибытия и угле отхода. Предлагая совершенно разные между углом прибытия и углом отправления в $[0, 2\pi]$ WLAN расстояние обхода, оценивается и пороговое значение расстояния, которое получает, что контроль вероятности неудачи и ненужных передачи. MN передается в целевую ячейку WLAN только в том случае, если расстояние прохождения больше порогового значения. Пороговое значение зависит от, например, скорости, радиуса покрытия и заранее рассчитанного значения вероятности ненужной и неудачной передачи.

В методе [16] расстояние перемещения MN определяется последовательным измерением RSS, а скорость перемещения (v) определяется с помощью акселерометра, встроенного в MN. Это расчетное расстояние затем сравнивается с L1, которое представлено (порог расстояния для минимизации отказов передачи), и L2, которое описано (порог расстояния для минимизации ненужных передач) для принятия решения о передаче. Несмотря на то что этот метод уменьшает количество ненужных передач, расчетное расстояние от MN до AP, которое оценивается по RSS, не очень точно, а скорость MN, которая принимается постоянной, не очень реалистична. Предлагается схема уменьшения ненужной передачи путем минимизации списка соседей для уменьшения числа приемлемых ближайших соседей базовой станции (БС) для объединения БС. В зависимости от предикатного положения

Таблица

Обобщенные результаты смежных работ

Год	Преимущество	Недостаток
Yan, et al., 2008a	<ul style="list-style-type: none"> Сведение к минимуму вероятности отказа при передаче, ненужной передаче и поломке соединения. 	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительная задержка передачи.
Yan, et al., 2008b	<ul style="list-style-type: none"> Уменьшение вероятности возникновения ложной передачи и неудачи передачи. 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная сложность системы.
Chen, et al., 2019	<ul style="list-style-type: none"> Снижение вероятности передачи без необходимости; баланс между транспортными нагрузками. 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная вероятность разрушения соединения без учета RSS.
Mahmood, et al., 2015	<ul style="list-style-type: none"> Повышение степени удовлетворенности пользователей; небольшой объем не является необходимым; вероятность передачи; уменьшение числа поломок соединения. 	<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие подробной информации, такой как метод нормализации и присвоение весов, для обеспечения реалистичности алгоритма; алгоритм флажка; сложность.
Hussain, et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> Сводит к минимуму случаи передачи, ненужные передачи; уменьшение числа поломок соединения. 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная сложность системы; увеличение задержки с передачей.
Sung, et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> Низкий коэффициент отказов при передаче в связи с распределением расчетов решения; высокая пропускная способность; сохранить ресурсы канала. 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная сложность системы; таблица дополнительного поиска.

MN, области перемещения и «времени пребывания» (TTS), которые были определены для того, чтобы обслуживающая базовая станция (SBS) могла решить, является ли BS подходящей соседней BS или нет. Соответствующие соседние базовые станции включаются в список соседей, который используется MN для выбора целевой базовой станции. Таким образом, каждый MN самостоятельно выбирает мощность передачи и связь с БС с помощью сложной функции стоимости, чтобы максимизировать пропускную способность и уменьшить количество ненужных переключений.

В работе [17] предложен алгоритм передачи данных для сокращения ненужных и неудачных передач. Он основан на оценке времени пребывания и вычислении порогового значения для MN, когда он перемещается от точки к точке

в WLAN. Кроме того, он оказался неэффективным для скоростей выше 30 км/ч.

В работе [18] предложена схема запуска на основе множественных порогов, названная МТТ, чтобы уменьшить количество отказов и ненужных переключений. Концепция алгоритма передачи зависит от принятия ряда параметров сети, таких как требования к производительности системы, радиус покрытия WLAN, мобильность пользователей и задержки передачи, МТТ вычисляет три значения и сравнивает их с прогнозируемым временем пребывания пользователя и оценкой времени удержания канала внутри зоны покрытия WLAN.

Служебные передачи, которые не удовлетворяют требованиям трех пороговых значений, будут отклонены МТТ, чтобы быть принятыми в WLAN, когда они могут столкнуться с прерыванием связи во время процесса передачи, или окажутся необязательными из-за ограниченного времени обслуживания. Метод МТТ успешно снижает количество отказов и необязательного трафика ниже желаемого уровня.

В работе [19] предложен механизм оптимизации метода оценки необходимости хэндоффа, состоящий из двух частей, первая часть измеряет «время в пути», которое зависит от последовательных измерений RSS и скорости MN. Алгоритм второй части оценивает «порог времени», который зависит от радиуса ячейки WLAN, допустимой вероятности отказа передачи и допустимой вероятности ненужной передачи. В табл. 1 обобщены работы, связанные с этой темой. Рассматривая эту таблицу, можно увидеть, что в сравнении шести исследовательских работ обсуждалось, какие методы используются для решения проблемы ненужного хэндовера. Также в таблице перечислены преимущества и недостатки каждого метода.

Наконец, в результате применения вышеперечисленных методов можно сказать, что лучшим методом, используемым для решения проблемы ненужной передачи, является метод, предложенный в [18], где использован новый метод Multiple-Threshold based Triggering (МТТ), который включает три пороговых значения, одно для минимизации отказов при передаче, другое для ненужной передачи и последний порог минимального удержания канала. Таким образом, каждый порог в алгоритме передачи имеет свою функцию и делает алгоритм более реалистичным. Однако в данном алгоритме передачи используется фиксированная скорость ведьмы, что снижает надежность алгоритма передачи. Кроме того, увеличивается сложность алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечено выше, неудача и успех зависят от выбора требований и техники, которая используется в работе. Таким образом, существует множество различных методов и идей, которые применялись, и каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Но все эти способы сосредоточены на одной стороне проблемы, как уменьшить необязательную передачу данных и энергии. В результате, сформулированное в статье предложение направлено на разработку и реализацию способа уменьшения необязательной передачи и экономии ресурсов сети и сервисов.

Исследование проблемы ненужной передачи данных в сетях WLAN позволяет выявить основные проблемы и недостатки существующих методов оптимизации передачи данных. На основе обзора предыдущих исследований можно сделать вывод о необходимости разработки более эффективных методов оптимизации передачи данных в сетях WLAN. Дальнейшие исследования в этой области позволят улучшить производительность и надежность сетей WLAN, а также снизить нагрузку на ресурсы сети и сервисов.

ЛИТЕРАТУРА

1. A Sensor-Based Seamless Handover Solution for Express Train Access Networks (ETANs) / G. Hu, A. Huang, T. Chang, [et al.] // IEEE Communications Letters. 2012. Vol. 16, Is. 4. Pp. 470–472. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.030512.112580.
2. Sabrie, O. H. Fast Handoff for 802.11 Wireless Network / O. H. Sabrie, H. S. Hasan, R. Salleh // Communications and Network. 2011. Vol. 3, No. 4. Pp. 250–256. DOI: 10.4236/cn.2011.34029.
3. Fast Handoff Implementation Using Distance Measurements Between Mobile Station and Aps / D. Sarddar, J. Banerjee, T. Chakraborti, [et al.] // Proceedings of the IEEE Students' Technology Symposium (TechSym), (Kharagpur, India, 14–16 January 2011). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. — Pp. 81–86. DOI: 10.1109/TECHSYM.2011.5783806.
4. Per-Node Throughput Enhancement in Wi-Fi Densets / K. Shin, I. Park, J. Hong, [et al.] // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53, Is. 1. Pp. 118–125. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7010524.
5. Larroca, F. An Overview of WLAN Performance, Some Important Case-Scenarios and Their Associated Models / F. Larroca, F. Rodríguez // Wireless Personal Communications. 2014. Vol. 79, Is. 1. Pp. 131–184. DOI: 10.1007/s11277-014-1846-4.
6. Jiang, D. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments / D. Jiang, L. Delgrossi // VTC Spring 2008: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (Marina Bay, Singapore, 11–14 May 2008). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008. — Pp. 2036–2040. DOI: 10.1109/VETECS.2008.458.
7. Tran, N. H. Cross-Layer Design of Congestion Control and Power Control in Fast-Fading Wireless Networks / N. H. Tran, C. S. Hong, S. Lee // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2013. Vol. 24, Is. 2. Pp. 260–274. DOI: 10.1109/TPDS.2012.118.
8. Camp, J. D. The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard / J. D. Camp, E. W. Knightly // IEEE Communications Magazine. 2008. Vol. 46, Is. 8. Pp. 120–126. DOI: 10.1109/MCOM.2008.4597114.
9. Sudarev, J. V. 802.11 Wireless Network Extended Service Set Model / J. V. Sudarev, L. B. White // Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks (Oulu, Finland, 31 May-03 June 2004). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004. — Pp. 156–160. DOI: 10.1109/IWWAN.2004.1525561.

10. Zhou, Y. Handover Schemes and Algorithms of High-Speed Mobile Environment: A Survey / Y. Zhou, B. Ai // Computer Communications. 2014. Vol. 47. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.

11. Alsamhi, S.H. An Intelligent Hand-off Algorithm to Enhance Quality of Service in High Altitude Platforms Using Neural Network / S.H. Alsamhi, N.S. Rajput // Wireless Personal Communications. 2015. Vol. 82, Is. 4. Pp. 2059–2073. DOI: 10.1007/s11277-015-2333-2.

12. Bringing 4G LTE Closer to Students: A Low-Cost Testbed for Practical Teaching and Experimentation / E. de Brito e Silva, N. Slamnik-Kriještorac, S.A. Hadiwardoyo, J.M. Marquez-Barja // GoodTechs '20: Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good (Antwerp, Belgium, 14–16 September 2020). — Association for Computing Machinery, 2020. — Pp. 126–131. DOI: 10.1145/3411170.3411231.

13. Implementation of Non-periodic Sampling True Random Number Generator on FPGA / T. Tuncer, E. Avaroglu, M. Türk, A.B. Ozer // Informacije MIDEM— Journal of Microelectronics Electronic Components and Materials. 2014. Vol. 44, No. 4. Pp. 296–302.

14. Improving the Performance of WLANs by Reducing Unnecessary Active Scans / D. Jaisinghani, V. Naik, S.K. Kaul, [et al.] // ArXiv. 2018. Vol. 1807.05523, 14 p. DOI: 10.48550/arXiv.1807.05523.

15. Yan, X. A Traveling Distance Prediction Based Method to Minimize Unnecessary Handovers from Cellular Networks to WLANs / X. Yan, N. Mani, Y.A. Sekercioglu // IEEE Communications Letters. 2008. Vol. 12, Is. 1. Pp. 14–16. DOI: 10.1109/LCOMM.2008.071430.

16. Speed-Based Probability-Driven Seamless Handover Scheme Between WLAN and UMTS / Z. Yan, H. Zhou, H. Zhang, S. Zhang // Proceedings of the 4th International

Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (Wuhan, China, 10–12 December 2008). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008. — Pp.110–115. DOI: 10.1109/MSN.2008.26.

17. Energy Efficiency in Cognitive Radio Network Using Cooperative Spectrum Sensing Based on Hybrid Spectrum Handoff / K. Arshid, Z. Jianbiao, I. Hussain, [et al.] // Egyptian Informatics Journal. 2022. Vol. 23, Is. 4. Pp. 77–88. DOI: 10.1016/j.eij.2022.06.008.

18. Chen, J. Coverage and Handoff Analysis of 5G Fractal Small Cell Networks / J. Chen, X. Ge, Q. Ni // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2019. Vol. 18, Is. 2. Pp. 1263–1276. DOI: 10.1109/TWC.2018.2890662.

19. An Optimized Travelling Time Estimation Mechanism for Minimizing Handover Failures from Cellular Networks to WLANs / A. Mahmood, H. Zen, A. K. Othman, S.A. Siddiqui // Proceedings of the 2015 International Conference on Estimation, Detection and Information Fusion (ICEDIF), (Harbin, China, 10–11 January 2015). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015. — Pp. 28–33. DOI: 10.1109/ICEDIF.2015.7280152.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Махмуд Мохаммед Шакер — кандидат технических наук. Управление по связям со стипендиями и культурой. Министерство высшего образования и научных исследований Ирака, Багдад, Ирак; mohammedshakir@scrdiraq.gov.iq

Халил Маад Модер — кандидат технических наук. Факультет компьютерных наук, Университет Диялы, Баакуба, Ирак; Maad.khalil@uodiyala.edu.iq

Статья поступила в редакцию 17.02.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

Investigating Unnecessary Handoff in WLAN Networks: Challenges and Recent Advances

PhD Mahmood Mohammed Shakir

Ministry of Higher Education and Scientific Research.
Baghdad, Iraq

PhD Khalil Maad Modher

University of Diyala.
Baquba, Iraq

Abstract. Recently, the issue of unnecessary handoff in WLAN networks has been the subject of recent research efforts. WLANs are designed to provide high-speed connectivity in a limited area, similar to their wired counterparts. The IEEE 802.11 Standard has become widely adopted for wireless LANs. The handoff algorithm allows mobile nodes to switch between access points (APs) as they move between areas serviced by different APs. However, determining when to initiate a handoff poses challenges, particularly concerning unnecessary handoffs. Many researchers have investigated this issue and have proposed mechanisms to address it. Thus, this study focuses on reviewing the related works about handoff and discusses the challenges and recent advances.

Keywords: WLAN, Handoff, 3G, 4G, access points, networks.

For citation: Mahmood Mohammed Shaker, Khalil Maad Modher. Investigating Unnecessary Handoff In Wlan Networks: Challenges And Recent Advances // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 84–92 (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-84-92

REFERENCES

1. Hu G., Huang A., Chang T., et al. A Sensor-Based Seamless Handover Solution for Express Train Access Networks (ETANs), *IEEE Communications Letters*, 2012, Vol. 16, Is. 4, Pp. 470–472. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.030512.112580.
2. Sabrie O.H., Hasan H.S., Salleh R. Fast Handoff for 802.11 Wireless Network, *Communications and Network*, 2011, Vol. 3, No. 4, Pp. 250–256. DOI: 10.4236/cn.2011.34029.
3. Sarddar D., Banerjee J., Chakraborti T., et al. Fast Hand-off Implementation Using Distance Measurements Between Mobile Station and Aps, *Proceedings of the IEEE Students' Technology Symposium (TechSym), Kharagpur, India, January 14–16, 2011*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, Pp. 81–86. DOI: 10.1109/TECHSYM.2011.5783806.
4. Shin K., Park I., Hong J., et al. Per-Node Throughput Enhancement in Wi-Fi Densenets, *IEEE Communications Magazine*, 2015, Vol. 53, Is. 1, Pp. 118–125. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7010524.
5. Larroca F., Rodríguez F. An Overview of WLAN Performance, Some Important Case-Scenarios and Their Associated Models, *Wireless Personal Communications*, 2014, Vol. 79, Is. 1, Pp. 131–184. DOI: 10.1007/s11277-014-1846-4.
6. Jiang D., Delgrossi L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments, *VTC Spring 2008: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, May 11–14, 2008*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, Pp. 2036–2040. DOI: 10.1109/VETECS.2008.458.
7. Tran N.H., Hong C.S., Lee S. Cross-Layer Design of Congestion Control and Power Control in Fast-Fading Wireless Networks, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2013, Vol. 24, Is. 2, Pp. 260–274. DOI: 10.1109/TPDS.2012.118.
8. Camp J.D., Kightly E.W. The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard, *IEEE Communications Magazine*, 2008, Vol. 46, Is. 8, Pp. 120–126. DOI: 10.1109/MCOM.2008.4597114.
9. Sudarev J.V., White L.B. 802.11 Wireless Network Extended Service Set Model, *Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, Oulu, Finland, May 31–June 03, 2004*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004, Pp. 156–160. DOI: 10.1109/IWWAN.2004.1525561.
10. Zhou Y., Ai B. Handover Schemes and Algorithms of High-Speed Mobile Environment: A Survey, *Computer Communications*, 2014, Vol. 47, Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.
11. Alsamhi S.H., Rajput N.S. An Intelligent Hand-off Algorithm to Enhance Quality of Service in High Altitude Platforms Using Neural Network, *Wireless Personal Communications*, 2015, Vol. 82, Is. 4, Pp. 2059–2073. DOI: 10.1007/s11277-015-2333-2.
12. de Britto e Silva E., Slamnik-Kriještorac N., Hadiwardoyo S.A., Marquez-Barja J.M. Bringing 4G LTE Closer to Students: A Low-Cost Testbed for Practical Teaching and Experimentation, *GoodTechs '20: Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good, Antwerp, Belgium, September 14–16, 2020*. Association for Computing Machinery, 2020, Pp. 126–131. DOI: 10.1145/3411170.3411231.
13. Tuncer T., Avaroglu E., Türk M., Ozer A.B. Implementation of Non-periodic Sampling True Random Number Genera-

tor on FPGA, *Informacije MIDE M — Journal of Microelectronics Electronic Components and Materials*, 2014, Vol. 44, No. 4, Pp. 296–302.

14. Jaisinghani D., Naik V., Kaul S.K., et al. Improving the Performance of WLANs by Reducing Unnecessary Active Scans, *ArXiv*, 2018, Vol. 1807.05523, 14 p. DOI: 10.48550/arXiv.1807.05523.

15. Yan X., Mani N., Sekercioglu Y.A. A Traveling Distance Prediction Based Method to Minimize Unnecessary Handovers from Cellular Networks to WLANs, *IEEE Communications Letters*, 2008, Vol. 12, Is. 1, Pp. 14–16. DOI: 10.1109/LCOMM.2008.071430.

16. Yan Z., Zhou H., Zhang H., Zhang S. Speed-Based Probability-Driven Seamless Handover Scheme Between WLAN and UMTS, *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, Wuhan, China, December 10–12, 2008*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, Pp.110–115. DOI: 10.1109/MSN.2008.26.

17. Arshid K., Jianbiao Z., Hussain I., et al. Energy Efficiency in Cognitive Radio Network Using Cooperative Spectrum Sensing Based on Hybrid Spectrum Handoff, *Egyptian Informatics Journal*, 2022, Vol. 23, Is. 4, Pp. 77–88. DOI: 10.1016/j.eij.2022.06.008.

18. Chen J., Ge X., Ni Q. Coverage and Handoff Analysis of 5G Fractal Small Cell Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2019, Vol. 18, Is. 2, Pp. 1263–1276. DOI: 10.1109/TWC.2018.2890662.

19. Mahmood A., Zen H., Othman A.K., Siddiqui S.A. An Optimized Travelling Time Estimation Mechanism for Minimizing Handover Failures from Cellular Networks to WLANs, *Proceedings of the 2015 International Conference on Estimation, Detection and Information Fusion (ICEDIF), Harbin, China, January 10–11, 2015*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015, Pp. 28–33. DOI: 10.1109/ICEDIF.2015.7280152.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Mahmood Mohammed Shakir — PhD in Engineering. Scholarship and Culture Relations Directorate, Ministry of Higher Education and Scientific Research. Baghdad, Iraq; mohammedshakir@scdiraq.gov.iq

Khalil Maad Modher — PhD in Engineering. Computer Science Department, University of Diyala. Baquba, Iraq; Maad.khalil@uodiyala.edu.iq

The article was submitted 17.02.2024; approved after reviewing 17.03.2024.