

Исследование эффекта скрытых станций в сетях Wi-Fi с учетом захвата канала

Глинский К., Куреев А.

{kglinsk}@yandex.ru, {kureev}@iitp.ru

ИППИ РАН

Аннотация В сетях стандарта 802.11 реализован алгоритм случайного доступа, требующий обеспечивать равномерное распределение ресурсов по участникам сети. При пересечении двух кадров от разных источников приемник может просигнализировать о коллизии и не принять ни один из кадров. Тем не менее, если существенно более слабый сигнал поступил раньше, то существует возможность произвести пересинхронизацию и принять более сильный при достаточном соотношении мощностей. Данный эффект называется эффектом захвата канала. В данной работе для экспериментального изучения эффекта используется программно-определяемое радио NI USRP 2944 RIO, на котором в рамках исследования был имплементирован эффект захвата канала.

Keywords: Эффект захвата канала, USRP, скрытые станции, IEEE 802.11

1 Введение

В настоящее время технология беспроводных сетей стандарта 802.11 широко распространена¹, и прогнозируется дальнейший рост как количества подключенных устройств, так и объемов передаваемых по сети данных. Таким образом, актуальными становятся исследования механизмов, позволяющих повысить пропускную способность и снизить задержки в условиях плотных сетей и высоких показателей загрузки каналов сети, а также снизить влияние соседствующих и интерферирующих станций. Одним из таких механизмов является эффект захвата канала, который способен существенно повысить пропускную способность сети в некоторых сценариях использования сети². Данный эффект заключается в возможности декодировать более сильный сигнал при пересечении кадров при передаче в одном диапазоне частот. Эффект захвата канала изучен методами математического моделирования при различных предположениях о параметрах сети³. Проводилось и имитационное моделирование данного эффекта. Тем не менее, проведенные экспериментальные исследования требовали либо сложной архитектуры и методологии проведения эксперимента⁴, либо могли проводиться на основе off-the-shelf сетевых устройств с изменением работы только на уровне драйверов оборудования⁵. Новизна данной статьи состоит в том, что устройство

с эффектом реализовано на программно-конфигурируемом оборудовании, что позволяет осуществлять гибкую настройку параметров приемника.

2 Эффект захвата канала в сетях 802.11

Стандарты 802.11 определяют структуру кадра и распределение ресурсов между участниками сети. В качестве алгоритма случайного доступа используется метод CSMA/CA, регламентирующий доступ к каналу и механизм разрешения коллизий. В отсутствие эффекта захвата, оба пакета будут считаться недействительными. Однако, если эффект захвата канала реализован, то возможно принять более сильный кадр, если разница мощностей между ними ΔW превосходит необходимое для используемой сигнально-кодовой конструкции соотношение сигнал-шум. В таком случае можно выделить два варианта.

1. Более мощный пакет приходит первым, успешно проходит синхронизация и прием данных, слабый же пакет теряется. Данный вариант изображен на рис



Рис. 1: Сценарий приема 1

2. Более мощный пакет приходит вторым, и приемник уже синхронизировался на первый слабый пакет. В таком случае второй пришедший пакет приводит к потере обоих пакетов в отсутствие эффекта, и приему сильного в случае пересинхронизации на него.



Рис. 2: Сценарий приема 2

3 Имплементация алгоритма в USRP

3.1 Формулировка требований к алгоритму

К алгоритму, реализованному в USRP для наблюдения эффекта захвата канала, предъявляются следующие требования

1. Обладать обратной совместимостью с оборудованием не поддерживающим данный эффект, и соответствовать основным требованиям различных редакций стандарта 802.11
2. Иметь возможность регулировать предельные параметры сигналов, при которых начинает происходить пересинхронизация приемника.
3. Обеспечивать корректное начало приема более сильного сигнала вместе с освобождением всех данных слабого пакета из памяти и буферов обмена, разделяя обработку данных принятых из двух пакетов вне зависимости от сдвига по времени двух пакетов между собой.
4. Минимизировать количество ложных срабатываний эффекта при различных сценариях использования устройства.

В качестве основного признака, на основании которого можно предполагать коллизию двух пакетов с различными параметрами, было выбрано изменение значение мощности входящего сигнала во время приема пакета на величину выше определенного порога. Данный признак был выбран в силу следующих предположений

1. Мощность сигнала от одной станции слабо меняется в течении передачи одного кадра.
2. Характеристики канала также не изменяются за время порядка одного пакета.
3. Детектирование эффекта должно быть произведено и обработано за минимально возможное время.

Условие срабатывания эффекта по превышению порога мощности удовлетворяет поставленным условиям, так как вычисление мощности входного радиосигнала выполняется за 64 элементарных отсчета, каждый из которых составляет 12,5 нс, а изменение мощности приемника за характерное время передачи мало.

3.2 Алгоритм реализованного эффекта

После обнаружения скачка входной мощности логическая защелка устанавливается в новое состояние, не допуская дальнейшие избыточные попытки пересинхронизации до прихода сигнала сброса защелки. Сигналом сброса выступает падение входной мощности на величину выше порога, сигнализирующая о завершении кадра и готовности к принятию следующих.

После срабатывания данного эффекта происходит переключение машины состояний, реализованной внутри FPGA USRP в состояние поиска синхронизации (детектирование преамбулы). Одновременно происходит перенастройка модулей AGC (automatic gain control), вычисляющий коэффициент усиления для входного сигнала, и модуля CFO (Central frequency offset), устанавливающий величину сдвига частоты относительно эталонной.

На следующем этапе происходит обработка IQ, состоящая из преобразования Фурье, который сбрасывается в исходное состояние на время от детектирования подъема мощности до сигнала о начале пакета, оценки канала и коррекции фазы (перерасчитываемой при подъеме мощности) и выделения пилотных поднесущих сигнала.

В дальнейшем поднесущие поступают в модуль обработки битов, состоящий из сериализатора битов, демалпера, декодера Витерби, которые приводятся к исходному состоянию. Также сбрасываются очереди данных и счетчики на все время действия защелки 1. Помимо этого все биты пришедшие во время защелки, обозначаются как не валидные и не передаются на дальнейшую обработку. Еще одна очистка происходит на этапе перевода массива битов в байты PSDU, при которой биты и индекс бита в массиве перезаписываются нулями.

Изменения были внесены и в машину состояний, отвечающую за управление приемом пакетов. Добавленные функции позволяют переключиться в режим окончания приема и корректно его завершить из любого исходного состояния.

Модули, обрабатывающие пакеты на MAC уровне также были переработаны. Был реализован сброс дизассемблера пакета, расчета контрольной суммы, а также машины состояний MAC.

Вышеописанные изменения позволяют обработать и принять данные более сильного пакета до завершения приема и сигнала о принятии последнего сэмпла, после чего происходит сброс защелки (вследствие падения мощности радиосигнала) и станция становится готова к приему следующего пакета.

4 Экспериментальная проверка эффекта

Для экспериментальной проверки работоспособности установки использовался сценарий эффекта захвата с двумя станциями-передатчиками, отправляющими пакеты с заданными разностью мощностей сигналов и сдвигом по времени (меньше длины пакета). Схема данного эксперимента приведена на рисунке ниже.

При проверке работоспособности реализованного эффекта захвата канала были произведены 2 эксперимента

1. Замер FRR (отношение принятых пакетов к количеству отправленных) в зависимости от временного сдвига между двумя пакетами.
2. Замер FRR для различных MCS и варьируемой разности мощности между пакетами.

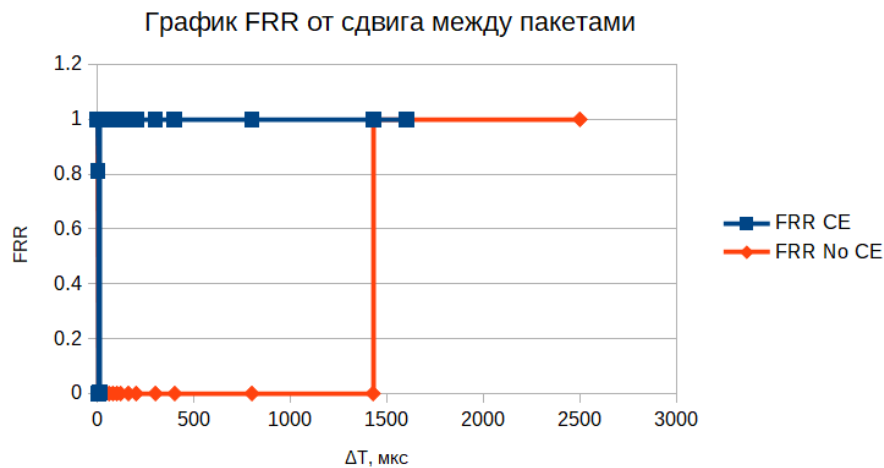


Рис. 3: Зависимость FRR от сдвига между пакетами.

Приложенный график демонстрирует, что данная установка позволяет обеспечить близкий к 1 FRR при пересечении пакетов на более чем 12 мкс, то есть после синхронизации на первый пакет, в отличие от стандартного режима работы, при котором FRR равен 0, если первый пакет успел синхронизоваться.

Второй график показывает связь между FRR и разности мощностей между пакетами для различных MCS при фиксированном пороге детектирования второго пакета, равным $\Delta W_{detect}=8$ dB.

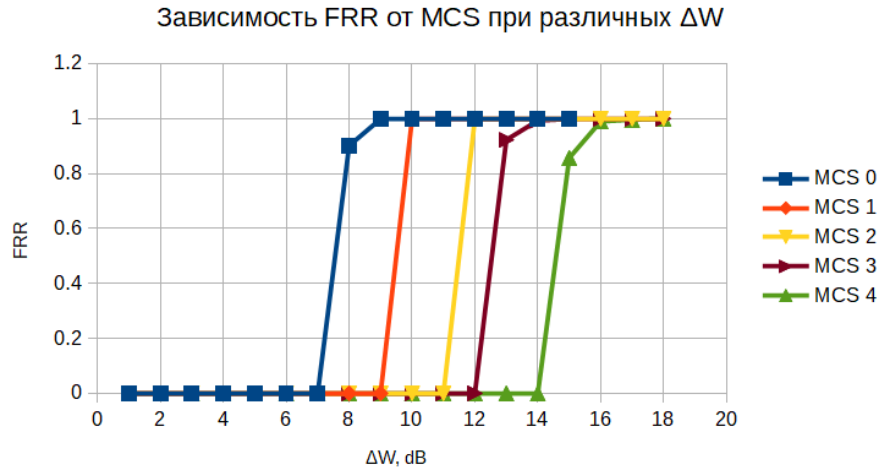


Рис. 4: Зависимость FRR от соотношения ΔW .

5 Заключение

Сети стандарта 802.11 подвержены влиянию эффекта захвата канала, способному существенно улучшить параметры сети в условиях высокой плотности соединений. Задачей данной работы было создать установку, способную производить прием пакетов с учетом эффекта захвата канала. В рамках данной работы был реализован программно-аппаратный комплекс на базе USRP NI 2944 RIO для исследования эффекта захвата канала с возможностью настройки параметров детектирования эффекта. Созданный программно-аппаратный комплекс был протестирован в сценарии со скрытыми станциями и его работоспособность была экспериментально подтверждена.

6 Список литературы

- 1.[Электронный ресурс] URL:<https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-device-shipments-to-surpass-15-billion-by-end-of-2016>
- 2.Jeongkeun Lee, Wonho Kim, Sung-Ju Lee, Daehyung Jo, Jiho Ryu, Taekyoung Kwon, and Yanghee Choi. 2007. An experimental study on the capture effect in 802.11a networks. In Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization (WinTECH '07). ACM, New York, NY, USA, 19-26.
3. Xiaohu Ge, Yaoting Zhu and Rong Weijiang, "Throughput analysis considering capture effect in 802.11 networks,"2007 Second International Conference on Access Networks and Workshops, Ottawa, Ont., 2007, pp. 1-6.

4. P. Patras, H. Qi and D. Malone, "Exploiting the capture effect to improve WLAN throughput," 2012 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), San Francisco, CA, 2012, pp. 1-9.
5. Evgeny Khorov, Aleksei Kureev, Andrey Lyakhov, Ilya Levitsky. Testbed to Study the Capture Effect: Can We Rely on This Effect in Modern Wi-Fi Networks. In proc. of IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking, Batumi, Georgia, 2018.