

УДК 004.722

Исследование влияния длины межсимвольного защитного интервала на качество связи в сети IEEE 802.11

Викулов А. С. ✉, Скоробогатова С. А.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Постановка задачи: Одним из новшеств дополнения стандарта IEEE 802.11n было введение возможности использования короткого межсимвольного защитного интервала, дающего возможность работать на несколько более высоких скоростях передачи данных. Тем не менее не всегда использование короткого межсимвольного интервала оправданно. Дело в том, что на некоторых типах объектов, где обеспечивается радиопокрытие, особенности распространения сигнала с коротким межсимвольным интервалом давали худший результат с точки зрения вероятности перепосылки кадра с данными. В современных сетях этот аспект остается как никогда значимым, и задача корректного задания допустимого значения для защитного интервала остается актуальной как для проектировщика, так и для администратора беспроводной сети передачи данных. С целью проведения сравнительного анализа результатов измерений с коротким и длинным защитным межсимвольным интервалом необходимо провести натурное радиообследование площадки, которую можно было бы по совокупности характеристик отнести к типовым площадкам с беспроводной локальной вычислительной сетью (БЛВС) промышленного назначения. В рамках эксперимента была исследована БЛВС на площадке в одной из промышленных зон Санкт-Петербурга. Главная **цель работы** – на примере распределенной беспроводной сети стандарта IEEE 802.11n/ac/ax экспериментально установить преимущества, которые можно получить от выбора схемы модуляции и кодирования с длинным межсимвольным защитным интервалом. Попутной целью является экспериментальная проверка потенциальной возможности снижения мощности излучения радиомодулей на точках доступа с целью улучшения работы сети. **Используемые методы:** проведение радиообследования беспроводной сети на типовой площадке промышленного назначения с последующим анализом его результатов. **Новизна:** элементами новизны представленного решения является натурное обследование реально эксплуатируемой сети промышленного назначения с одновременным контролем характеристик на различных уровнях модели OSI: физическом (анализ спектра), канальном (анализ протокола), прикладном (контроль работы приложения). **Результат:** анализ собранных данных показывает практически значимую разницу между значениями величины доли потерянных кадров для различных значений длительности межсимвольного защитного интервала и мощности излучения радиомодулей точек доступа. **Теоретическая/Практическая значимость:** количественно показано уменьшение доли потерянных кадров на 8–10 % в эксплуатируемой беспроводной сети, достижимое за счет корректного управления значением длины межсимвольного интервала для промышленной площадки.

Ключевые слова: Wi-Fi, IEEE 802.11, беспроводная сеть, защитный интервал, вероятность потерь, радиообследование, проектирование

Библиографическая ссылка на статью:

Викулов А. С., Скоробогатова С. А. Исследование влияния длины межсимвольного защитного интервала на работу сети IEEE 802.11 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 1. С. 39–49. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-1-39-49

Reference for citation:

Vikulov A., Skorobogatova S. Study of Guard Interval Duration Impact on the Operation of IEEE 802.11 Network. *Telecom IT*. 2023;11(1):39–49. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-1-39-49

Введение

Беспроводные локальные вычислительные сети (БЛВС) стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi) [1], в том числе и высокой плотности [2], в настоящее время имеют широчайшее применение в самых различных отраслях хозяйства. Особую роль среди них имеют БЛВС, используемые на промышленных площадках и логистических терминалах. Типовыми задачами, решаемыми с помощью БЛВС в таких случаях, обычно являются обеспечение связи для складских терминалов сбора данных, промышленных контроллеров, управляющих производством, беспроводных телефонных аппаратов с интерфейсом IEEE 802.11, бортовых компьютеров, устанавливаемых на складской технике, мобильных сканерах, портативных принтерах и других подобных устройств.

Кроме того, такие площадки обладают набором характерных особенностей [3]. Среди них необходимо отметить:

- 1) большие геометрические размеры пространства, где необходимо обеспечить покрытие;
- 2) сравнительно большую высоту установки точек доступа (ТД), достигающую 10 м и выше;
- 3) использование направленных антенн на ТД;
- 4) слабую или отсутствующую поддержку ММО на стороне клиентских устройств [4];
- 5) невысокие требования к пропускной способности;
- 6) сравнительно высокие требования к качеству передачи активной клиентской сессии между ТД (требования к хендоверу).

Межсимвольный защитный (или иначе – охранный) интервал (GI, *аббр. от англ. Guard Interval*) в сетях IEEE 802.11 необходим для обеспечения возможности временного разделения двух последовательно принимаемых приемником символов квадратурно-амплитудной модуляции (QAM, *аббр. от англ. Quadrature Amplitude Modulation*), передаваемых в рамках всего набора поднесущих, предусмотренных маской сигнала соответствующей версии IEEE 802.11. Защитный интервал представляет собой циклический повтор окончания предшествующего символа, передаваемый перед последующим, т. е. он является избыточным и в этом смысле снижает полезную скорость передачи. Наличие интервала создает временные паузы между отдельными символами, и, если длительность охранного интервала превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, то межсимвольной интерференции, т. е. наложения последовательных символов друг на друга, при приеме не возникает.

Версии стандарта IEEE 802.11a и IEEE 802.11g предусматривали возможность использования защитного межсимвольного интервала GI длиной 0,8 мкс. Дополнения IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac в числе прочих нововведений предусматривают возможность работы с коротким защитным интервалом (*от англ. Short GI*) длиной 0,4 мкс, что повышает скоростные характеристики схем модуляции и кодирования, сохраняя возможность работы схем модуляции и кодирования (MCS, *аббр. от англ. Modulation and Coding Scheme*) с длинным (*от англ. Long GI*) защитным интервалом. В сетях IEEE 802.11ax [5] используются более

длительные значения длины межсимвольного интервала, связанные с особенностями использования спектра в канале этого стандарта [6].

Сети IEEE 802.11 промышленного назначения ранее исследовались в работе [3] с позиции выбора антенных конфигураций. В данной статье рассматривается выбор оптимальной длины межсимвольного защитного интервала, с точки зрения вероятности перепосылки кадра в рамках используемых схем MCS. В таблице 1 приведены характеристики MCS, рассматриваемых в рамках анализа.

Таблица 1 – Характеристики MCS для канала HT20

Номер MCS	Скорость передачи данных (от англ. Data Rate), Мбит/с	
	Long GI (0,8 мкс)	Short GI (0,4 мкс)
0	6,5	7,2
1	13	14,4
2	19,5	21,7
3	26	28,9
4	39	43,3
5	52	57,8
6	58,5	65
7	65	72,2

Исследователями предлагаются как модификации стандарта с точки зрения выбора длины защитного интервала [7], так и имитационные модели. Среди последних интересен подход в работе [8], где выбор защитного интервала рассматривается с позиции влияния на показатели качества обслуживания. Некоторые производители сетевого оборудования рекомендуют [9] применять длинный защитный интервал на площадках, где множественные переотражения сигнала создают большую дисперсию времени приема для одного и того же QAM-символа, что вызывает межсимвольную интерференцию, и, как следствие, перепосылку кадра из-за вызванных этим ошибок демодуляции.

Защитный интервал должен в 2–4 раза превышать величину разброса задержки в приеме сигнала, т. е. разницу между временем получения первой и последней по порядку копий сигнала ввиду его переотражений при распространении. Разброс задержки в обычных условиях не должен превышать 200 нс, однако на промышленных объектах его величина может быть заметно больше. При меньшей величине защитного интервала могут расти негативные эффекты межсимвольной интерференции, тогда как при увеличенном – потери в пропускной способности канала (около 11 %) могут оказаться неоправданными [10].

Ниже на основе практических данных будет показано, что особенности крытых промышленных площадок делают их образцовыми для работы сетей IEEE 802.11 с применением длинного межсимвольного интервала. В данной работе на примере распределенной БЛВС стандарта IEEE 802.11n/ac установлены преимущества, которые может предоставить выбор схемы модуляции и кодирования с длинным межсимвольным интервалом.

Постановка эксперимента

С целью проведения сравнительного анализа результатов измерений с коротким и длинным защитным межсимвольным интервалом необходимо провести натурное радиообследование площадки, которую можно было бы по совокупности характеристик отнести к типовым площадкам с БЛВС промышленного назначения, чьи характерные признаки были перечислены выше.

В рамках эксперимента была исследована БЛВС на площадке в одной из промышленных зон Санкт-Петербурга. Площадка представляет собой сравнительно небольшое производственное помещение прямоугольной формы шириной 25 м и длиной 100 м. К ней по длинной стороне примыкает складская зона таких же размеров. В обоих помещениях ТД размещены на высоте порядка 10 м. Принимая во внимание размер зоны покрытия каждой из ТД, расстояния между клиентом и ТД находятся в диапазоне от 10 до 25 м. Параметры площадки и развернутой на ней БЛВС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры исследуемой БЛВС

Параметр	Значение
Общая площадь покрытия	5000 кв. м.
Общее число ТД	17
Высота монтажа ТД	10 м
Режим ММО для ТД	2:2×2
Частотный план (используемые номера каналов) в диапазоне 2,4 ГГц	1, 6, 11
Тип используемого в измерениях канала	HT20
Требования к уровню сигнала основной ТД	-60 дБм
Требования к уровню сигнала второй ТД	-72 дБм
Коэффициент усиления антенны ТД в диапазоне 2,4 ГГц	10 дБи
Мощность излучения радиомодуля ТД в диапазоне 2,4 ГГц	8 дБм (5 %), 11 дБм (12 %)
Разрешенные MCS	Все (0-7)

Отметим, что требования к уровню приема сигнала приведены для клиентского устройства с учетом измеренного значения смещения чувствительности его радиомодуля [11], составляющего порядка 10 дБ, что является сравнительно высоким значением.

Перед началом работ было проведено пассивное радиообследование БЛВС, по результатам которого отмечено следующее:

- 1) указанные в таблице 1 требования к уровню сигнала выполнены на всей зоне покрытия;
- 2) значимых помех посторонней (не Wi-Fi) природы на площади покрытия не фиксируется;
- 3) смежные (посторонние) сети Wi-Fi не создают значимой загрузки в среде передачи и систематического влияния на рассматриваемую БЛВС не оказывают.

На площадке покрытие обеспечено также и в диапазоне 5 ГГц, однако его изучение не является предметом исследования. Клиентским устройством, использованным при тестировании, является Wi-Fi телефон INCOM 1000G. Его характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры клиентского устройства

Параметр	Значение
Поддерживаемые дополнения стандарта	IEEE 802.11a/b/g/n
Частотные диапазоны	2,4 и 5 ГГц
Мощность излучения радиомодуля	17 dBm (802.11b), 15 dBm (802.11g), 13 dBm (802.11n)
Номинальная чувствительность	-95 dBm (1 Mbps)
Поддержка 802.11e	Да
Поддержка 802.11x	Да
Поддержка MIMO	Нет (1×1)
Поддерживаемые MCS	Все (0–7).

В рамках эксперимента применялись следующие программные и аппаратные средства:

- 1) Wi-Fi телефон INCOM 1000G (клиентское устройство);
- 2) USB Wi-Fi адаптеры Comfast CF-912 (3 шт.);
- 3) измерительная приставка Ekahau Sidekick-1;
- 4) ПК Dell Latitude 5590;
- 5) ПО Ekahau Pro;
- 6) программный анализатор протокола Metageek Eye P.A.;
- 7) ПО Wireshark с набором пресетов для анализа протокола IEEE 802.11.

При сборе данных применялась следующая последовательность действий:

1) выставляются настройки на точках доступа в БЛВС: мощность излучения радиомодулей и длина защитного межсимвольного интервала, клиентское устройство подключается к БЛВС в диапазоне 2,4 ГГц в режиме IEEE 802.11n;

2) устанавливается голосовое соединение между Wi-Fi телефоном и стационарным телефоном, расположенном в проводном сегменте инфраструктуры;

3) на ПК, к которому подключены три адаптера CF-912, запускается анализатор протокола. Захват трафика производится адаптерами в трех каналах одновременно (1, 6 и 11), соответствующих используемому на площадке частотному плану в диапазоне 2,4 ГГц;

4) пользователь с Wi-Fi телефоном, поддерживая постоянный голосовой контакт со своим собеседником, обходит площадку, стараясь двигаться равномерно с небольшой скоростью, характерной для обычного рабочего режима на площадке;

5) одновременно с перемещением пользователя рядом с ним в том же темпе на расстоянии не более 2–3 м движется инженер с ПК и осуществляет захват трафика между Wi-Fi телефоном и ТД, обеспечивающими работу БЛВС.

Длина маршрута, по которому осуществляется проход по зоне покрытия, составляет примерно 415 м. Время в движении составляет около 6 мин, что соответствует скорости движения немногим большей, чем 4 км/ч. Всего было выполнено четыре прохода (трека): для двух значений мощности излучения БЛВС и двух вариантов защитного интервала.

Выбор двух значений мощности излучения связан с тем, что расчетная мощность может на практике быть скорректирована в большую или меньшую сторону для нахождения баланса между достаточностью уровня принимаемой мощности для клиентского устройства с одной стороны, и минимизацией негативного взаимного влияния между точками доступа с другой. Расчетным значением, использованным в проекте, была величина в 11 дБм. Попутной задачей анализа являлась необходимость установить, не является ли такой уровень мощности излучения на радиомодулях ТД избыточным, а потому дополнительно исследовались условия работы со сниженной мощностью излучения равной 8 дБм.

Анализ результатов

При всех четырех проходах голосовое соединение абонента не обрывалось, что предварительно говорит о том, что в целом все четыре варианта настройки БЛВС работоспособны.

Собранные при измерениях данные в каждом из треков представляют собой .rsar файл, подлежащий последующему анализу. В дальнейшем была произведена фильтрация по MAC-адресам отправителя и получателя, а также исключен служебный (control и management) трафик, т. е. исследовались только кадры QoS Data.

Характеристики треков приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры треков

Трек	Long GI		Short GI	
	8 дБм	11 дБм	8 дБм	11 дБм
Длительность клиентской сессии, сек.	408,5	414,9	361,5	354,7
Общее число кадров в нисходящем потоке	14269	14151	13805	11031
Доля Long GI в нисходящем потоке, %	100	100	24,9	34,7
Общее число кадров в восходящем потоке	18064	16466	18278	16324
Доля Long GI в восходящем потоке, %	100	100	46,5	62,1
Размер кадра, байт / % от общего числа	286 / 90,1	286 / 74,0	286 / 86,4	286 / 77,6
Число хендоверов	11	13	13	14

Отметим, что размер кадра в случае однородного с точки зрения профиля работы приложения трафика является величиной практически постоянной, что минимизирует возможное влияние его дисперсии на результат измерений. Режим Short GI не запрещает работу режимов с длинным защитным интервалом. Поэтому фактически Short GI является смешанным с точки зрения защитного интервала режимом. Процент соответствующих кадров также приведен в таблице 3.

Хорошо видно, что при разрешенном режиме Short GI большинство кадров передается именно с коротким защитным интервалом.

В процессе движения имели место хендоверы, т. е. передачи клиентской сессии между различными ТД, управляемыми одним контроллером. Как уже было отмечено выше, ошибок переключений при хендоверах за все время измерений не было зафиксировано.

По итогам анализа получены значения процента перепосылки кадров (*от англ. Retry Rate*) для всей клиентской сессии, составляющей трек. На рисунке 1 приведены соответствующие гистограммы для восходящего (UL, *аббр. от англ. UpLink*) и нисходящего (DL, *аббр. от англ. DownLink*) потоков для четырех рассматриваемых треков.

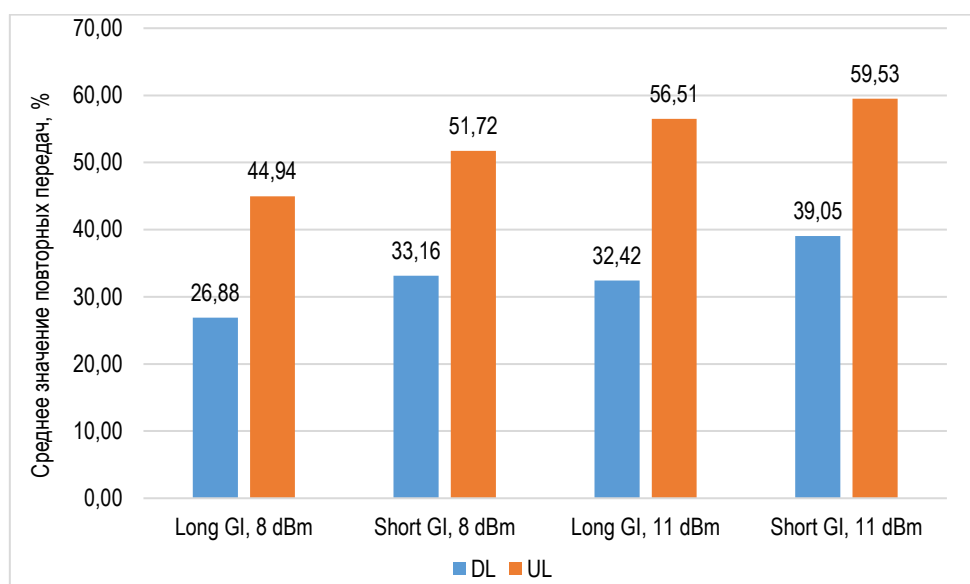


Рис. 1. Вероятности потери кадров в UL и DL для четырех треков

Из данных на рисунке 1 хорошо видно, что преимущество имеют режимы Long GI и сниженной мощностью излучения радиомодулей на ТД. При равной мощности излучения использование Long GI снижает вероятность потери кадров примерно на 8 %. Преимущество режима со сниженной мощностью передачи ожидаемо и связано с минимизацией межканальных и внутриканальных помех в рамках всей зоны покрытия. В целом при использовании направленных антенн с ТД, уровень мощности излучения обычно рекомендуется держать минимальным [12]. Интересно также отметить, что доля кадров с Long GI в смешанном режиме (Short GI) примерно вдвое выше в UL. Это связано с заметной разницей между числом повторных передач в UL и DL. Т. е. для клиентского устройства необходимость перепосылки кадра коррелирует с использованием длинного межсимвольного интервала.

Также собранные кадры были отсортированы по различным MCS с целью сравнить число повторных передач на различных скоростях передачи данных. Соответствующие зависимости от номера MCS приведены на рисунке 2.

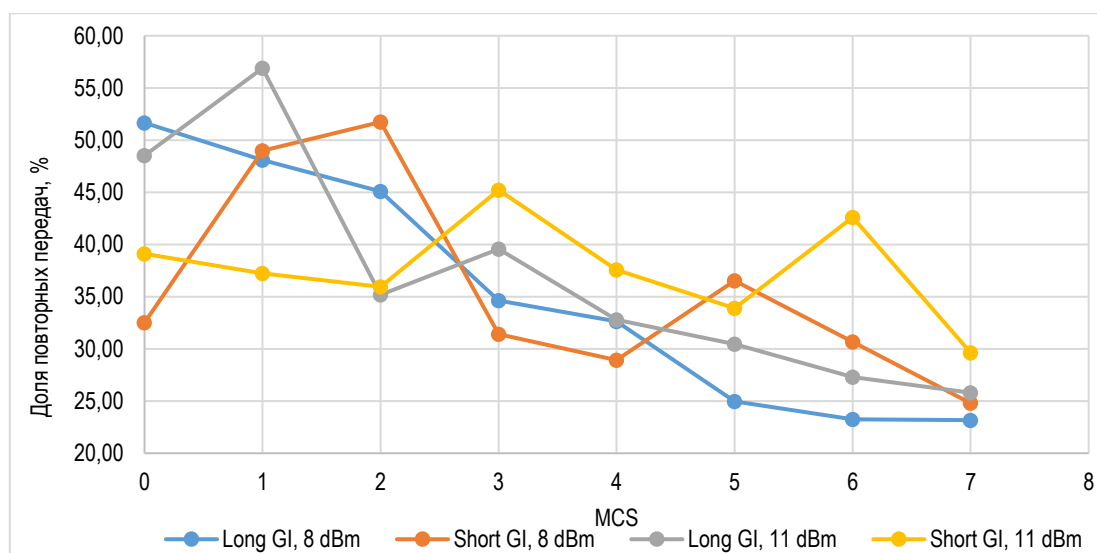


Рис. 2. Вероятности потери кадров в разрезе по различным MCS для четырех трексов

Из рисунка 2 следует, что в целом графики, соответствующие большей мощности излучения радиомодулей и меньшей длительности защитного интервала, лежат выше, т. е. имеют повышенную вероятность перепосылки кадра. Кроме того, наглядно видно, что более высокоскоростные MCS имеют заметно более низкие вероятности перепосылки кадров. Последнее связано с тем, что высокоскоростные MCS задействуются клиентским устройством и ТД в заведомо лучших условиях среды передачи данных, тогда как низкоскоростные чаще всего используются в неидеальных условиях (например, на границе зоны покрытия ТД). Наконец можно отметить, что для индексов MCS 5–7, т. е. самых высокоскоростных, выполняется зависимость от режима работы, характерная для общих данных, собранных за проход. Это связано с тем, что пользовательские данные передавались именно на самых скоростных MCS ввиду высокого качества покрытия с точки зрения уровня приема сигнала от ТД.

Выводы

Во-первых, данные измерений показывают, что режим с длинным защитным интервалом является предпочтительным для промышленных объектов, поскольку сводит к возможному минимуму негативные эффекты от множественных переотражений лучей с большой разностью хода, а исследованная промышленная площадка является образцовой в этом смысле. Это экспериментально подтверждает рекомендацию о возможной предпочтительности выбора такого режима для промышленных площадок.

Во-вторых, мощность излучения радиомодулей в данном конкретном случае может быть выбрана из двух значений в пользу меньшего, т. к. минимизирует негативные эффекты взаимных помех между ячейками, формируемыми точками доступа, работающими на площадке, тогда как уровень принимаемой мощности на стороне клиентских устройств является достаточным для выполнения заданных требований по характеристикам покрытия.

В-третьих, вероятность перепосылки кадров снижается с ростом индекса MCS, т. е. с ростом скорости передачи данных. Это связано с тем, что высокоскоростные MCS выбираются в наилучших условиях среды передачи.

Пользовательские данные передаются преимущественно на высокоскоростных MCS (с 5 по 7) и именно они определяют основной вклад в сравнение параметров сети при различных рассматриваемых режимах работы.

Литература

1. IEEE Std 802.11-2020. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems. Local and Metropolitan Area Networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/IEEESTD.2021.9363693

2. Дунайцев Р. А., Парамонов А. И. Учебный стенд для мониторинга трафика в сети высокой плотности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Т. 9. № 3. С. 22–33. DOI: 10.31854/2307-1303-2021-9-3-22-33

3. Викулов А. С., Парамонов А. И. Оценка эффектов межканальных помех в сетях IEEE 802.11 для различных антенных конфигураций в задаче радиопокрытия промышленных объектов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 3(39). С. 15–36.

4. Vikulov A., Paramonov A. Practical retrospective of 5-year evolution of the IEEE 802.11 client device capabilities // Proceedings of the 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT, Brno, 05-07 October 2020). IEEE, 2020. PP. 296–300. DOI: 10.1109/ICUMT51630.2020.9222427

5. Дунайцев Р. А., Светова А. В. Обзор рынка клиентских устройств с поддержкой технологии Wi-Fi 6 // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник XI Международной научно-технической и научно-методической конференции (АПИНО 2022, Санкт-Петербург, 15–16 февраля 2022). СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 434–437.

6. IEEE Std 802.11ax-2021. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN. IEEE, 2021. DOI: 10.1109/IEEESTD.2021.9442429

7. Pravinkumar P., Meenakshi P., Santosh I., Uttam B. IEEE 802.11n: Joint modulation-coding and guard interval adaptation scheme for throughput enhancement // International Journal of Communication Systems. 2020. Vol. 33. Iss. 8. DOI: 10.1002/dac.4347

8. Симонина О. А., Цанк В. В. Исследование влияния защитного интервала на показатели качества в сетях Wi-Fi // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 71–77. DOI: 10.31854/1813-324X-2019-5-1-71-77

9. von Nagy A. Aerohive Design and Configuration Guide. High Density Wi-Fi. Aerohive Networks, 2012. 113 p.

10. 802.11n Guard Intervals (GI) // Certified Wireless Network Professionals. 2007. URL: <https://www.cwnp.com/802-11n-guard-intervals-gi> (дата обращения 01.09.2023)

11. Викулов А. С., Парамонов А. И. Формализация требований к характеристикам сети IEEE 802.11 на основе предварительного обследования // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2. № 1. С. 43–53. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-1-43-53

12. Викулов А. С., Парамонов А. И. Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 1. С. 21–31.

**Статья поступила 23 сентября 2023 г.
Одобрена после рецензирования 02 октября 2023 г.
Принята к публикации 17 октября 2023 г.**

Информация об авторах

Викулов Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

E-mail: vikulov.as@sut.ru

Скоробогатова Светлана Алексеевна – магистрант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

E-mail: skorobogatova_sa@mail.ru

Study of Guard Interval Duration on the Operation Impact of IEEE 802.11 Network

A. Vikulov , S. Skorobogatova

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Purpose. One of the new additions in the IEEE 802.11n standard amendment was the introduction of the short inter-symbol guard interval, which makes it possible to operate at slightly higher data rates. However, using a short guard interval is not always recommended. The fact is that on some types of sites where radio coverage is provided, the peculiarities of signal propagation with a short guard interval may give worse frame retry rate. In modern networks, this aspect remains more relevant than ever, and the task of correct guard interval configuration remains relevant for both the designer and the administrator of a wireless network. In order to conduct a comparative analysis of the measurement results with a short and long guard inter-symbol interval, it is necessary to conduct a full-scale radio site-survey of industrial WLAN site. As part of the present experiment, a WLAN was investigated at a site in one of the industrial zones of St. Petersburg. The main goal of the work is to experimentally determine the benefits that can be obtained from choosing a modulation and coding scheme with a long inter-symbol guard interval using the example of a distributed wireless network of the IEEE 802.11n/ac/ax standard. A related goal is to experimentally test the potential for reducing the radiation power of access points radios in order to improve network performance. **Methods.** Conducting a radio survey of a wireless network at a typical industrial site with subsequent analysis of its results. **Novelty.** The novelty of the presented solution includes a full-scale examination of an actually operated industrial network with simultaneous monitoring of characteristics at various levels of the OSI model: physical (spectrum analysis), channel (protocol analysis), application (control of application operation). **Results.** Analysis of the collected data shows a practically significant difference between the values of the frame retry rate for different values of the duration of the inter-symbol guard interval and the radiation power of the radio modules of the access points. **Practical relevance.** It is quantitatively shown that there is a reduction in frame retry rate by 8-10% in an production wireless network, achievable through correct control of the inter-symbol interval length for an industrial site.

Key words: Wi-Fi, IEEE 802.11, wireless network, guard interval, error rate, site-survey, wireless design

Information about Authors

Anton Vikulov – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of Communication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: vikulov.as@sut.ru

Svetlana Skorobogatova – Student (The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: skorobogatova_sa@mail.ru