

Анализ алгоритмов пропуска полос для сетей IEEE 802.11be

И.А. Левицкий^{1,2}, А. А. Третьяков^{1,2}
{levitsky,tretiakov}@wireless.iitp.ru

¹ Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук

² Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет)

С развитием беспроводных сетей Wi-Fi количество устройств и плотность их размещения непрерывно возрастает. Вместе с тем возрастает необходимая пропускная способность беспроводных сетей, и эффективность использования канальных ресурсов становится критически важной. В стандарте 802.11 для большей пропускной способности можно использовать агрегацию каналов (англ. channel bonding) для передачи в непрерывном широком канале. Однако этот метод неэффективен при высоком уровне интерференции в одном из узких подканалов внутри канала.

Для улучшения эффективности использования канальных ресурсов в плотных сетях в стандарте 802.11ax был внедрен механизм пропуска полос (англ. preamble puncturing, PP), позволяющий не задействовать при передаче части спектра внутри широкого канала. В стандарте 802.11be добавлена возможность использования механизма PP для однопользовательских передач. Для принятия решений о выборе используемой ширины канала и схемы пропуска полос требуется некоторый алгоритм. В данной работе исследуется метод пропуска полос в 802.11be, описываются и сравниваются алгоритмы для управления им.

Рассматривается сценарий с двумя близко расположенными сетями (BSS1 и BSS2), в каждой из которых точка доступа (AP1 и AP2) передает данные одной станции (STA1 и STA2) в режиме насыщения. BSS1 работает по стандарту 802.11be, поддерживает максимальную ширину канала 160 МГц и PP, BSS2 поддерживает максимальную ширину канала 40 МГц. При этом канал, в котором работает BSS2, расположен в канале secondary 40 BSS1. Для управления методом пропуска полос AP1 доступа может использовать один из следующих предложенных алгоритмов:

1. Constant bandwidth (CB): использование полосы постоянной максимальной ширины (160 МГц), если передача не запрещена правилами детектирования незанятости среды в 802.11.

2. Simple bonding (SB): классический алгоритм агрегации каналов 802.11ac, присоединяющий соседний вторичный канал в случае, если мощность интерференции в нем не превышает порог занятости канала -72 дБм.
3. Max bandwidth (MB): использование схемы с максимальной суммарной шириной канала среди тех, где интерференция не превышает порог занятости -75 дБм. Этот алгоритм, предполагается, используется в сетях 802.11be по умолчанию.
4. Max throughput (MT): использование схемы с наилучшей потенциальной пропускной способностью, выбираемой с помощью определения высшей СКК, обеспечивающей не более 10% ошибок согласно модели ошибок NIST, по эффективному отношению SINR, вычисляемому по формуле [5]

$$SINR_{eff} = -\ln\left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^N \exp(-SINR_k)\right),$$

где, используемый канал разбит на N подканалов равной ширины, $SINR_k$ — это значение SINR k -том подканале.

Анализ эффективности алгоритмов проводится в среде имитационного моделирования NS-3, доработанной для поддержки механизма PP. В сценарии точки доступа передают данные с мощностью 21 дБм присоединенным станциям, расположенным на расстоянии 15 м от своих точек доступа. Для передачи всегда используется одинаковая суммарная мощность, вне зависимости от используемой ширины канала или схемы пропуска полос. Расстояние между точками доступа варьируется для получения уровней интерференции от -60 дБм до -96 дБм в расчете на подканал шириной 20 МГц. Для передачи полезной нагрузки используются A-MPDU, состоящие из 64 MPDU. Размер одного MPDU составляет 1508 байт.

На графике рис. 1 изображена зависимость пропускной способности в обеих сетях от уровня интерференции, исходящей от BSS2, при использовании различных алгоритмов. При использовании алгоритма SB при близком расположении сетей AP1 создает существенные помехи для AP2, поэтому последняя редко получает доступ к каналу, а BSS1 — чаще. При интерференции на уровне от -63 дБм до -72 дБм обе сети осуществляют передачу, несмотря на сильную интерференцию, поэтому пропускные способности в обеих сетях самые низкие. При уменьшении интерференции пропускные способности BSS1 и BSS2 монотонно растут, пока не достигают предела своей пропускной способности в 650 Мбит/с и 200 Мбит/с, соответственно.

При использовании алгоритма MB и уровне интерференции более -75 дБм, AP1 почти всегда использует канал primary 40, поэтому обе сети большую часть времени работают в каналах шириной 40 МГц. Периодически AP1 определяет канал свободным и инициирует передачу в канале шириной 160 МГц. Однако AP2 может начать передачу в это же время, в таком случае происходит коллизия. В результате таких коллизий пропускная способность в BSS2 находится на уровне 170 Мбит/с, а первая сеть обеспечивает немногим более 200 Мбит/с за счет успешных передач в канале полной ширины.

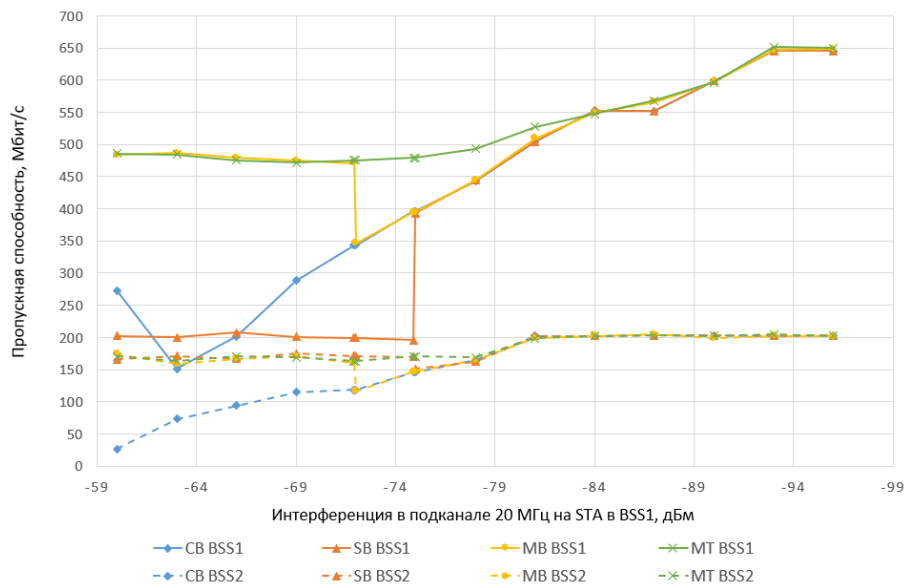


Рис. 1. Зависимость пропускной способности сетей от мощности интерференции для алгоритмов пропуска полос.

При интерференции меньше порога -75 дБм AP1 всегда использует для передачи данных канал шириной 160 МГц, и результаты SB совпадают с СВ. При этом переключении пропускная способность BSS2 падает на 15%, из-за того, что интерференция становится постоянной.

Алгоритм MB, использующий механизм PP, обеспечивает существенный прирост пропускной способности BSS1 по сравнению с двумя предыдущими. При уровнях интерференции больших порога -72 дБм она составляет до 480 Мбит/с. При меньшей интерференции AP1 использует канала шириной 160 МГц, и поведение MB в этих условиях совпадает с СВ. Это приводит к резкому снижению пропускных способностей в обеих сетях примерно на 30%, поскольку мощность интерференции в узком канале остается значимой.

Алгоритм MT показывает преимущество перед остальными алгоритмами, так как не переключается на использование полной ширины канала до тех пор, пока это, согласно метрике R , приводит к потере пропускной способности. Алгоритм продолжает пропускать канал с интерференцией мощностью до -84 дБм. Начиная с этого уровня все алгоритмы всегда используют полную ширину канала, и поэтому их поведение совпадает.

Полученные результаты демонстрируют эффективность механизма пропуска полос, а также возможность его улучшения за счет внедрения новых алгоритмов.

Список литературы

1. S. Barrachina-Munoz, F. Wilhelmi, B. Bellalta, "Performance Analysis of Dynamic Channel Bonding in Spatially Distributed High Density WLANs," in IEEE Transactions on Mobile Computing.
2. S. Barrachina-Munoz, F. Wilhelmi, B. Bellalta, "Dynamic Channel Bonding in Spatially Distributed High-Density WLANs," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 19, no. 4, pp. 821-835, 1 April 2020
3. D. Deng et al., "IEEE 802.11ax: Highly Efficient WLANs for Intelligent Information Infrastructure," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 12, pp. 52-59, Dec. 2017.
4. E. Khorov, I. Levitsky, I. F. Akyildiz, "Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7," in IEEE Access, vol. 8, pp. 88664-88688, 2020
5. K. Brueninghaus et al., "Link performance models for system level simulations of broadband radio access systems," 2005 IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005, pp. 2306-2311 Vol. 4