

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ДОСТУПНОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

В статье рассматриваются методы повышения доступности в беспроводных сетях системах стандарта IEEE 802.11 с использованием ускоряющей металлопластинчатой линзы (УМЛ). Кроме того, проведено обобщение предыдущих исследований и представлены средства для анализа состояния беспроводных сетей. Рассмотренные бюджетные анализаторы спектра и приведен их сравнительный анализ. Показано, как поляризация и многолучевое распространение сигналов повышает доступность беспроводных абонентов, расположенных внутри помещений.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, металлопластинчатая линза, ускоряющая линза, линзовая антенна, точка доступа, поляризация, ММО.

Системы беспроводного доступа к информационным ресурсам приобретает все более широкое распространение благодаря удобствам, которыми обладают и привлекают пользователей.

Растет степень покрытия территории, число точек доступа, число пользователей, плотность их размещения, особенно в городах, местах расположения организаций и учреждений, в зонах отдыха и т. п., что иллюстрирует статистика развития такой формы предоставления информационных услуг. Так широкое распространение беспроводных технологий приводит к постоянно росту количества пользователей и устройств. Но рост количества беспроводных пользователей в ограниченном частотном диапазоне приводит межканальной и пространственной интерференции, что в конечном итоге влияет на пропускную способность беспроводных каналов и даже на работоспособность в целом.

По результатам анализа статистических данных с 2001 по 2016 годы, собранных Wireless Geographic Logging Engine [1], по приросту количества беспроводных точек доступа в мире можно отследить динамику роста количества сетей и спрогнозировать их количество в ближайшем будущем. На рисунке 1 отображена статистика роста количества беспроводных точек доступа и ее модель.

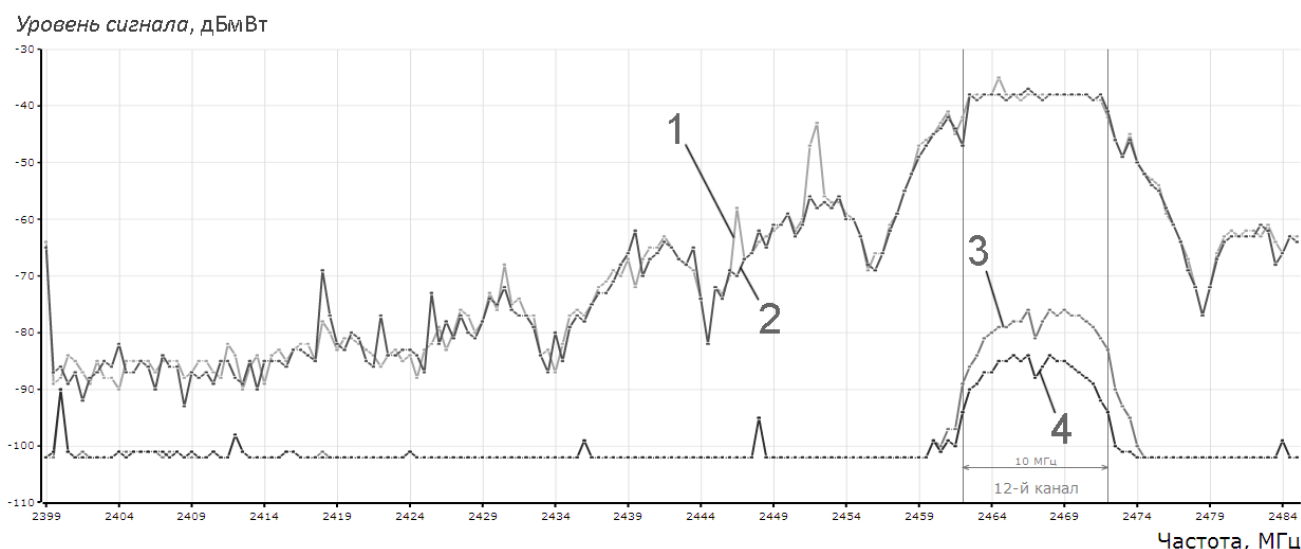


Рис. 1. Рост количества беспроводных точек доступа

Для моделирования используется степенная функция, так как она лучше всего описывает скорость роста количества точек на конец года:

$$N(\text{year}) = (\text{year} - 2000)^{4,54} + 3450,$$

где *year* — учетный год. Экстраполируя график, к началу 2018 года следует ожидать почти 400 млн точек доступа.

Отдельным показателем является период удвоения количества беспроводных сетей (только для стандарта IEEE 802.11). Из графика, показанного на рисунке 2, видно, что среднее время обновления составляет менее двух лет и хорошо согласуется с законом Мура. На графике на кризис 2008 года приходится задержка в практически три года, которая затем компенсируется ускоренным ростом количества точек доступа. Если усреднить скорость роста количества (на графике отмечено пунктирной линией), то видно, что процесс постепенно замедляется, но все же носит стремительный характер.

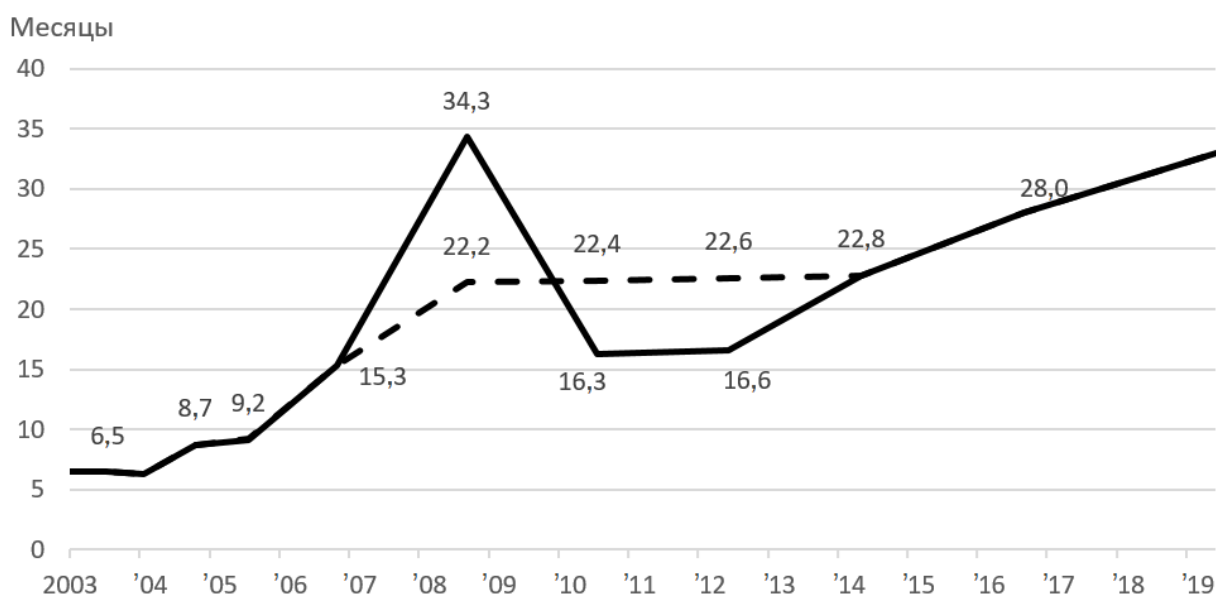


Рис. 2. Сроки удвоение количества беспроводных точек доступа

Из графика можно спрогнозировать, что следующее удвоение количества беспроводных сетей следует ожидать на начало 2020 года.

Вместе с тем, такой бурный рост популярности услуг таких систем неизбежно порождает свои проблемы и угрозы, в том числе и для безопасности информации (нарушение целостности, проблемы с доступностью и т. п.). К ним можно отнести как банальную непреднамеренную перегрузку системы доступа, так и более специфические и даже изощренные угрозы: несанкционированного доступа к сети; DoS атаки; подделка служебных пакетов; принудительная деаутентификация пользователей; всплески уровней непреднамеренных помех (в всем используемом диапазоне либо отдельных частотных каналов); угроза постановки преднамеренных активных помех в условия конкурентной борьбы либо террористических действий.

В указанных условиях заметную роль в обеспечении живучести информационной сети могут сыграть средства мониторинга и контроля состояния системы беспроводного доступа, обеспечивающие объективную оценку параметров системы и позволяющие выработать адекватные меры по устранению причин снижения доступности и целостности информации.

Такие средства представлены в линейках продуктов для беспроводного доступа у Cisco, Ubiquiti, HP и пр. Однако не все они обладают свойствами и функциями, позволяющими решать задачи по анализу показателей ряда усовершенствований, предлагаемых авторами для повышения доступность и целостности информации в системах беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11. Поэтому в ходе экспериментальных работ, упомянутых в указанных источниках, были разработаны, изготовлены и применен ряд датчиков контроля уровня излучения и программных средств анализа как характеристик сигнала, так и информационных потоков.

Рост количества беспроводных сетей (особенно в условиях плотной городской застройки) приводит к взаимному влиянию сетей друг на друга. Кроме того, увеличивается количество мобильных устройств и встраиваемых систем, которые могут быть использованы в качестве беспроводных точек доступа (например, модули семейства ESP8266, ESP32). Для решения задачи эффективного использования частотного ресурса можно задействовать разные методы:

1. Административные: централизованное планирование беспроводной инфраструктуры, законодательные ограничения на уровень сигнала или мощность излучателей и пр.

2. Регулярный мониторинг и адаптация систем вручную.

3. Введение адаптивных систем подстройки на уровне протоколов (IEEE 802.11f, IEEE 802.11k), мониторинг и автоподстройка на уровне приемного тракта у некоторых производителей (Atheros Spectral Scan mode), использование дополнительных устройств для сбора информации о состоянии беспроводной системы.

Данные методы часто не учитывают влияние других беспроводных технологий, которые работают в том же частотном диапазоне, например, по стандартам IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ZigBee, WirelessHART, MiWi, ISA100.11) и прочих нестандартных устройств, а также бытовых и промышленных помех.

В процессе выбора анализатора спектра были проанализированы по параметрам, а также было написано программное обеспечение MDRV (на языке программирования Java) для одновременной работы с несколькими анализаторам спектра. Недорогие анализаторы спектра могут быть построены на различных микросхемах, но способ анализа у всех них построен на быстром преобразовании Фурье, потому при сравнении (см. табл. 1) следует обращать внимание на производительность микроконтроллера и на разрешающую способность (количество уровней) измерений.

Таблица 1

Основные характеристики анализаторов спектра

Микроконтроллер	Частотный диапазон, МГц	Разрешающая способность по частоте, кГц	Диапазон измеряемой мощности, дБмВт	Разрешающая способность по мощности, дБмВт
Nordic nRF24L01	2400–2525	977	–(85÷42)	1,0
Cypress CYRF6934	2400–2483	1000	–(90÷40)	~4,1
Cypress CYRF6935	2400–2483	1000	–(95÷40)	~3,1
Cypress CYRF6936	2400–2497	1000	–(97÷47)	~1,3
Chipcon CC2500	2400–2483,5	58–812	–(104÷13)	0,8
Chipcon CC2511-F32	2400–2483,5	58–812	–(110÷6,5)	0,5

Первым на рынке появился анализатор спектра Metageek Wi-Spy 2.4i (Gen 1) на базе микроконтроллера Cypress CYRF6934 (рис. 3а). На микросборке CYWUSB6935, построенной на следующей версии микроконтроллера Cypress CYRF6935, через SPI возможно сделать переходник и подключаться к анализатору через LPT-порт (рис. 3б). На следующей версии микроконтроллера Cypress CYRF6936 собран Wi-detector, который доступен в двух версиях 2-й и 3-й (рис. 3в). Остальные анализаторы собраны или на отдельной сборке микроконтроллера и радиомодуля Chipcon CC2500 (TI eZ430-RF2500, см. рис. 3г) или на интегрированном в одном чипе Chipcon CC2511-F32 (Ubiquiti AirView2, см. рис. 3д; Metageek Wi-Spy 2.4x, см. рис. 3е; Pololu Wixel, см. рис. 3ж).

Большинство анализаторов спектра не позволяют изменять свои настройки сканирования (Metageek Wi-Spy 2.4i, Wi-detector, CYWUSB6935, Ubiquiti AirView2). Некоторые анализаторы имеют возможность менять настройки единожды при прошивке (TI eZ430-RF2500 и Pololu Wixel) или из проприетарного программного обеспечения (Metageek Wi-Spy 2.4x).

Но из всех анализаторов наиболее удобным оказался Pololu Wixel, так как он имеет хорошо продуманную архитектуру, доступ к изменению прошивки и SDK (на языке программирования C) с полной документацией. Доступная цена устройства позволяет одновременно запускать несколько датчиков, а данных с них собирать одновременно и параллельно анализировать.

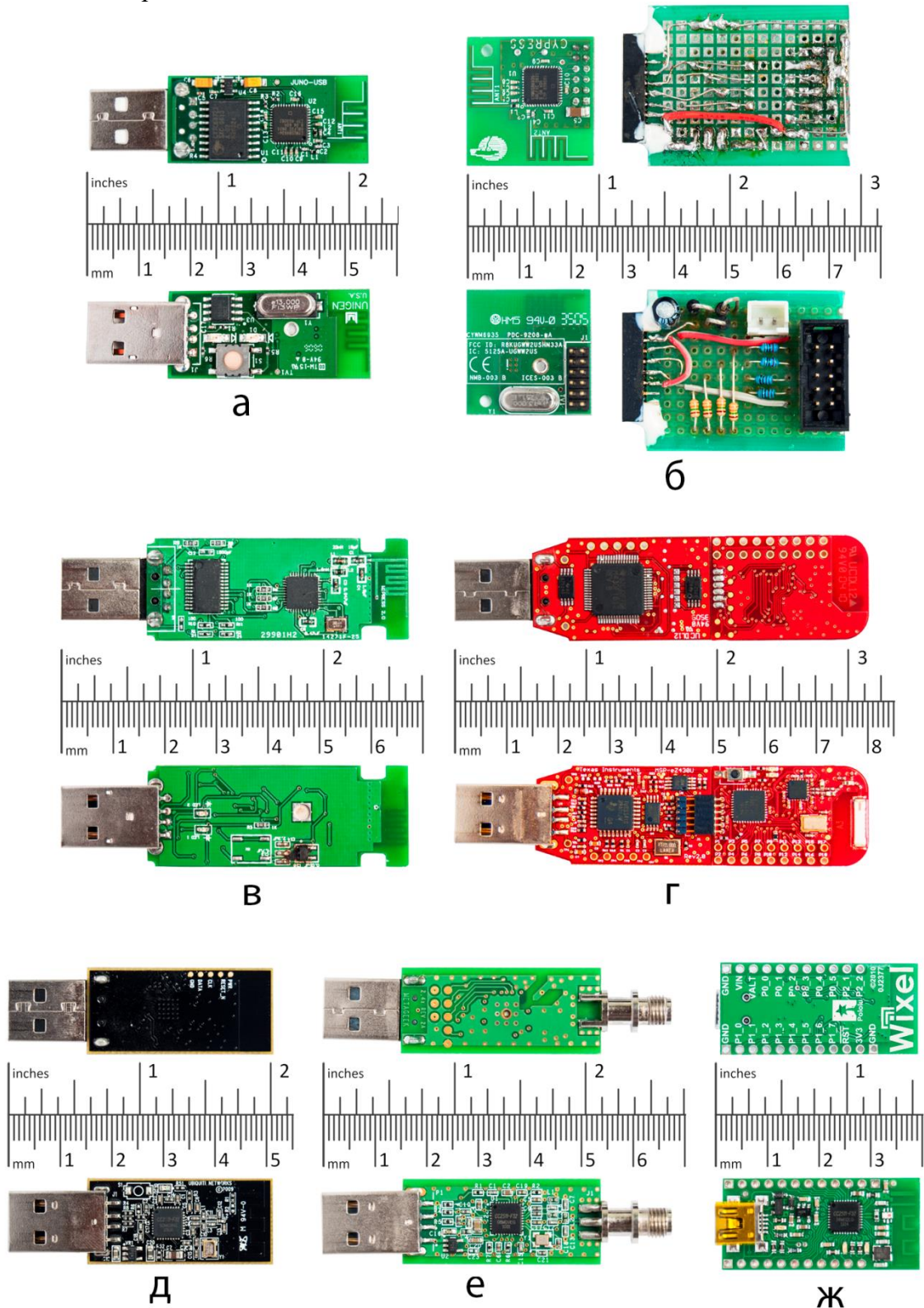


Рис. 3. Общий вид плат анализаторов спектра:  
 а — Metageek Wi-Spy 2.4i; б — CYWUSB6935 (LPT); в — Wi-detector; г — TI eZ430-RF2500;  
 д — Ubiquiti AirView2; е — Metageek Wi-Spy 2.4x и ж — Pololu Wixel

Многие производители беспроводного оборудования встраивают алгоритмы автоматического выбора каналов, но спектр сканируется лишь в области расположения точки доступа, таким образом, не учитываются особенности расположения клиентов. Точка доступа начинает работать на самом свободном канале в месте ее расположения, что в определенной мере улучшает работу всей сети, но не делает ее оптимальной (так как невозможно учесть все параметры в ad-hoc сети: поляризацию, высота расположения, экранирование и переотражения, а также перемещение пользователя). Потому кроме информации от точки доступа следует учитывать частотную обстановку в месте расположения пользователей (всех или выборочных) и, исходя из полученных данных, выбирать оптимальный частотный канал. Для сбора информации можно использовать уже существующие беспроводные карты, но область их видимости часто ограничена лишь сетями стандарта IEEE 802.11 (а некоторые карты даже не видят «скрытых» сетей). Потому универсальным методом следует считать использование дополнительных независимых устройств (анализаторов спектра).

На такие анализаторы спектра накладывается ряд ограничений:

1. Они могут стационарно располагаться в ключевых точках инфраструктуры в местах расположения пользователей.
2. Диаграмма направленности антенны должна приближаться к сферической (антенна ненаправленная).
3. Для передачи результатов должны использоваться беспроводные или проводные каналы связи, которые выходят за пределы сканируемого частотного диапазона.
4. Минимальное энергопотребление (для возможности автономного питания).

Для работы с металлопластинчатой линзой использовались различные аппаратное обеспечение как для организации беспроводных точек доступа, так и для анализаторов спектра.

Так при исследовании возможностей повышения доступности информации (и увеличения дальности доступа) в системах Wi-Fi на основе использования металлопластинчатой ускоряющей линзы [3, 4] был использован комплект в составе:

- точка беспроводного доступа (передатчик) Asus N16 (на базе микроконтроллера Broadcom 4718A, 533 МГц с прошивкой DD-WRT v24-sp2 mega) и ненаправленной антенной;
- внешний беспроводной адаптер (приемник) на базе микроконтроллера Realtek RTL8187L с ненаправленной антенной. Анализ спектра сигнала проводился с помощью анализатора спектра Ubiquiti AirView2 (см. рис. 3д).

Это позволило оценить повышения пропускной способностью с ускоряющей линзой по сравнению с промышленным роутером (при прочих равных условиях). Кроме того, исследовалась возможность использования поляризационного разнесения каналов либо с целью двухканальной по поляризации параллельной передачи данных, либо для увеличения числа обслуживаемых абонентов путем их поляризационного разделения.

Для выявления изменения уровней сигналов в зависимости от расположения приемной и передающей антенн передатчика и приемника был простроен экспериментальный канал связи:

- точка беспроводного доступа (передатчик) TP-LINK TL-WR340G (аппаратная версия 4 на микроконтроллере Atheros AR2317, 200 МГц со стандартной прошивкой Stock 4.18.19.110701);
- внешний беспроводной адаптер (приемник) Linksys WUSB54G (аппаратная версия 4 на микроконтроллере Ralink RT2500USB).

Обе стороны были оборудованы одинаковыми четвертьволновыми вибраторами с поворотным механизмом, анализ уровней сигналов проводился в программном анализаторе спектра NetStumbler версии 0.4.0 [5–7].

В работах [8–10] система контроля была усовершенствована за счет использования промышленного роутера со схемой MIMO 2×3:2 с использованием двух (из трех доступных)

антенн, которые были вынуты из корпуса и дополнительно разнесены, что позволило оценивать возможность применения ускоряющей линзы в системах ММО:

- точка беспроводного доступа (передатчик) Asus N16 (на базе микроконтроллера Broadcom 4718A, 533 МГц с прошивкой DD-WRT K2.6 Big Generic rev. 14896);
- сетевая карта (приемник) Atheros AR9287 (2×2:2 ММО);
- в роли датчиков поля использованы программируемые модули Popolu Wixel (на базе микроконтроллера TI CC2511F32), показанные на рис. 3ж.

Данные обрабатываются с помощью специального программного обеспечения MDRV, которое собирает данные с датчиков и в режиме реального времени отображает результат в сводной форме на общей диаграмме реального времени [8–10].

В работе [11] комплекс средств мониторинга доступности был выполнен на модулях Popolu Wixel, которая работает по стандарту IEEE 802.15.4 с MSK. В передающих и приемных модулях встроены планарные антенны. В этом случае количество точек контроля доведено до шести. Благодаря этому удалось количественно оценить область затенения, создаваемую ускоряющей линзой, обслуживающей одного из абонентов по отношению к другим абонентам.

Последний вариант построения комплекса для экспериментальных исследований и мониторинга параметров электромагнитного поля, пропускной способности, а в итоге — доступности и целостности информации предполагается дополнить в количественном отношении (датчиков) и путем усовершенствования программной составляющей прошивки датчиков для ускорения расчетов вычисления быстрого преобразования Фурье и Python-скриптов для анализа данных от нескольких датчиков в режиме реального времени. В перспективе это позволит исследовать более сложные варианты построения систем беспроводного доступа с управлением пространственного распределения доступности на основе применения направленных антенных систем.

Применение направленного излучения в сторону конкретного пользователя повышает его защищенность от несанкционированного подключения других пользователей. Если увеличивать направленность излучения средств самого пользователя, то уменьшается риск перехвата передаваемых им сообщений. В этом варианте можно использовать зеркальные антенны, линзовые и экраны с противоположной стороны направлению излучения.

Что же касается повышения направленности излучения в требуемых направлениях средств точки доступа, то для этого наиболее перспективным и дающим широкие возможности является применение много лучевых фазированных антенных решеток — ФАР. В простейшем варианте кольцевых, для чего существуют реальные предпосылки, например, разновидности роутеров набором расположенных по периметру антенн Linksys WRT1900AC (4 антенны), D-Link DIR-895L/R AC5300 (8 антенн), Asus RT-AC5300U (8 антенн) и другие. Фактически, остается один шаг по модификации их в ФАР, увеличив их количество и дополнив системой управления взаимными фазами. Это увеличит сложность и цену оборудования, его габариты. При переходе на более высокие рабочие частоты эта задача облегчается. Внедрение разновидностей ФАР в точках доступа открывает широкие возможности по использованию адаптивных методов как по управлению ориентацией и формой диаграммы направленности отдельных каналов (вплоть до сопровождения пользователя по угловым направлениям), так и по компенсации активных помех различного происхождения.

Менее функциональным, но более простым является применение упомянутых выше ускоряющих линзовых антенн, что обосновано теоретически [2, 3] и подтверждено экспериментально [4–10]. Однако этот способ позволяет улучшить условия доступа ограниченному числу удаленных абонентов (в силу затеняющего эффекта линзы) [11].

Еще один путь увеличения дальности доступа может быть основан на экранировании четных (в особенности второй) зон Френеля [12]. Это позволяет достичь повышения напряженности поля в точки приема примерно в полтора раза. Применительно к беспроводным системам этот способ повышения доступности требует дополнительных



теоретических и экспериментальных исследований. При небольшом числе и рассредоточенном по угловым направлениям расположению пользователей он вполне приемлем. Оценочные расчеты размеров экрана второй зоны Френеля для средств, работающих в диапазоне 2,4 ГГц показывают, что размеры таких экранов не будут превышать по внешнему диаметру 2,5 метров. При этом для абонента на расстоянии 50 метров угловой конус затенения остальных абонентов будет составлять примерно  $4^\circ$ . Приближение такого экрана уменьшает его диаметр и уменьшает угловой размер конуса затенения, что позволяет минимизировать затеняющий эффект такого экрана на соседних абонентов.

Экспериментальная оценка рассмотренных выше методов повышения доступности вполне реализуема с использованием приведенных выше средств мониторинга.

Проведенные экспериментальные исследования в [3] и [4] показали, что мощность электромагнитной волны в точке приема с использованием линзы увеличилась в среднем на 5–7 дБмВт, а пропускная способность — на 4%.

Наклон вперед принимающего вибратора (в плоскости распространения) приводит к незначительному повышению уровня сигнала (на 2 дБмВт) за счет приема сигнала, который отражается от подстилающей поверхности. С другой стороны, наклон в обратную сторону дает снижение за счет уменьшения коэффициента усиления.

Ортогонализация принимающих и передающих антенн может давать разделения по уровням до 15 дБмВт в помещениях с незначительным количеством отражающих элементов и лишь 4 дБмВт — с большим количеством металлических конструкций. Таким образом, для определенной категории сооружения (выставочные залы, стадионы, крытые спортивные сооружения и т. п.) возможно поляризационное разделение абонентов.

Для режима ММО видно, что в помещениях со сложной геометрией и большим количеством преград и экранов использование многолучевой передачи дает значительное улучшение качества связи за счет поляризационного разнесения антенн. Рост информационной скорости может увеличивать до трех раз [5–7].

Таким образом, применение УМЛ позволяет повысить доступность информации в системах беспроводного доступа, что экспериментально подтвердилось и проявляется в увеличении дальности связи в 1,8–2,2 раза при фиксированном качестве связи, либо в увеличении скорости передачи при фиксированной дальности. Применение УМЛ в системах ММО требует модификации профиля линзы [10].

### Список использованной литературы

1. WiFi Networks Over Time [Електронний ресурс] // — Режим доступу: <https://wigle.net/graph-large.html> (11.09.2017).
2. Соколов, В. Ю. Розрахунок прискорюючої лінзи для стандарту IEEE 802.11 / В. Ю. Соколов // Світ інформації і телекомунікацій — 2011. Матеріали VIII Міжнародної науко-во-технічної конференції студентства і молоді, 27,28 квітня 2011 р.: тези доповіді. — К.: ДУІКТ, 2011. — С. 70,71.
3. Соколов, В. Ю. Вплив прискорюючої лінзи на якість каналу зв'язку у безпроводових мережах стандарту IEEE 802.11b / В. Ю. Соколов, В. М. Астапеня // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології — COMINFO'2011. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, 10–14 жовтня 2011 р.: тези доповіді. — К.: ДУІКТ, 2011. — С. 212–215.
4. Астапеня, В. М. Використання прискорювальної лінзи для підвищення ефективності та завадозахищеності мереж IEEE 802.11b / В. М. Астапеня, В. Ю. Соколов // Науково-виробничий журнал адміністрації зв'язку та радіочастот України «Зв'язок». — №2 (98). — К.: ДУІКТ, 2012. — С. 33–37.
5. Астапеня, В. М. Підвищення пропускної здатності безпроводових каналів зв'язку на основі поляризаційних ефектів у мережах IEEE 802.11 / В. М. Астапеня, В. Ю. Соколов // Науково-виробничий журнал адміністрації зв'язку та радіочастот України «Зв'язок». — №3 (99). — К.: ДУІКТ, 2012. — С. 36–41.
6. Астапеня, В. М. Використання поляризації радіохвиль для підвищення пропускної здатності та завадостійкості безпроводових каналів зв'язку мереж стандарту IEEE 802.11 / В. М. Астапеня, В. Ю. Соколов // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології — COMINFO'2012. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції, 1–5 жовтня 2012 р.: тези доповіді. — К.: ДУІКТ, 2012. — С. 33–37.

7. Astapenya, V. M. Research Results of the Impact of Spatial and Polarization Value of the Antennas on Network Capacity of Wireless Channels Standard IEEE 802.11 / V. M. Astapenya, V. Yu. Sokolov // ICATT'2013. Proceedings of the IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, 16–20 September, 2013: abstracts. — Odessa, IEEE, 2013. — P. 172–174.

8. Astapenya, V. M. Modified Accelerating Lens as a Means of Increasing the Throughput, Range and Noise Immunity of IEEE 802.11 Systems / V. M. Astapenya, V. Yu. Sokolov // ICATT'2015. Proceedings of the X Anniversary International Conference on Antenna Theory and Techniques, 21–24 April, 2015: abstracts. — Kharkiv, IEEE, 2015. — P. 267–269.

9. Астапеня, В. М. Підвищення доступності інформації у бездротових системах на основі використання прискорюючої металопластинчастої лінзи / В. М. Астапеня, В. Ю. Соколов // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 17–20 листопада 2015 р. — Том IV. «Сучасні технології інформаційної безпеки». — К.: ДУТ, 2015. — С. 67–71.

10. Бурячок, В. Л. Способы повышения доступности информации в беспроводных системах стандарта IEEE 802.11 с ММО / В. Л. Астапеня, В. Л. Бурячок, В. Ю. Соколов // Сучасний захист інформації. — №2. — К.: ДУТ, 2016. — С. 60–68.

11. Astapenya, V. M. Experimental Evaluation of the Shading Effect of Accelerating Lens in Azimuth Plane / V. M. Astapenya, V. Yu. Sokolov // ICATT'2017. Proceedings of the XI Anniversary International Conference on Antenna Theory and Techniques, 24–27 May, 2017: abstracts. — Kyiv, IEEE, 2017. — P. 389–391.

12. Айзенберг, Г. З. Антенны УКВ : в 2 ч. Ч. 2 / Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терёшин ; под ред. Г. З. Айзенберга. — М. : Связь, 1977. — 288 с.

Надійшла 16.06.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Вишнівський В.В.