

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НА СКРЫТНОСТЬ Wi-Fi КАНАЛОВ СВЯЗИ ИХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Стрельницкий А.А., Шокало В.М., Ягудина Е.В., Абдул-Хуссейн М.К.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. основ радиотехники, тел. (057) 702-14-30
E-mail: stal.sivan@gmail.com

The safety of Wi-Fi channels is usually characterize by the probability of detection $P_{об}$, which depends on wave propagation (WP). The article sets out options for models of WP, which take into account the peculiarities of the Wi-Fi radio. These models are then used for numerical analysis of the safety of a local wireless radio link according to the criterion $P_{об} \leq 0,7$.

A relation connecting the probability to detected the operation of wireless digital communication systems (DCS) depending on the size of the aperture and diverting legitimate channels and their mutual arrangement has been obtained. It has been displayed, that the main factors affecting the efficiency of detection is removal of the legitimate and side channel receiving aperture from the aperture of the emitters and scatterers source of information, as well as the value of the secret speed.

Введение

Проникновение Wi-Fi технологий в область конфиденциальной связи вызывает необходимость исследования скрытности Wi-Fi каналов передачи информации. Известным параметром, характеризующим скрытность, является вероятность обнаружения $P_{об}$ легитимного канала с помощью созданного злоумышленником отводного канала [1], при этом критерием безопасной работы легитимного канала считается величина $P_{об} \leq 0,7$.

В [1] получено выражение, позволяющее определить значение $P_{об}$ от соотношений сигнал/шум в отводном $(S/N)_о$ и легитимном $(S/N)_л$ каналах, а также от величины секретной скорости R_s , при которой канал связи не обнаруживается.

Однако пока не получены соотношения для $P_{об}$, учитывающие влияние размеров апертур антенн легитимного и отводного каналов, а также специфику работы Wi-Fi канала – возможность взаимного расположения антенн легитимного и отводного каналов не только в дальней, но и в ближней и промежуточной зонах.

Цель данной работы состоит в разработке модели анализа величины $P_{об}$, учитывающей указанную специфику функционирования Wi-Fi канала связи.

Вывод основных соотношений

Представим цифровую систему передачи информации (ЦСПИ) с отводным каналом по аналогии с [2] в виде трех взаимодействующих апертур (рис. 1). Две из них образуют легитимный канал. Передающая апертура является сферой с диаметром a , внутри которой находятся как излучатели, так и рассеиватели. Наличие рассеивателей позволяет увеличить, как известно из [2], число каналов передачи информации в MIMO системах. Приемная апертура легитимного канала имеет размер a_l . Отводной канал располагается по отношению к оси легитимного канала под углом γ и имеет приемную апертуру с размером a_o . В легитимном канале апертуры удалены на расстояние r_l , а в отводном – на расстояние r_o .

Получим для такой системы формулу, определяющую вероятность обнаружения $P_{об}$, взяв за основу выражение известное из [1]

$$P_{об} = 1 - \frac{(S/N)_л}{(S/N)_л + 2^{R_s} (S/N)_о} \cdot e^{\left[\frac{2^{R_s} - 1}{(S/N)_л} \right]} = 1 - \frac{1}{1 + 2^{R_s} \frac{(S/N)_о}{(S/N)_л}} \cdot e^{\left[\frac{2^{R_s} - 1}{(S/N)_л} \right]} \quad (1)$$

Используя теоремы Найквиста и Шеннона [3], а также результаты работы [2] из формулы (1) получим:

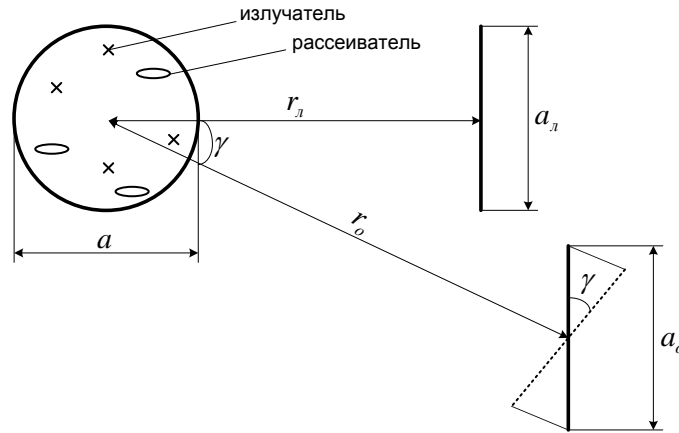


Рис. 1

$$P_{об} = 1 - \frac{1}{1 + 2^{R_s} \frac{(a \cdot a_о \cdot \cos \gamma / r_о \cdot \lambda)^2 - 1}{(a \cdot a_л / r_л \cdot \lambda)^2 - 1}} \cdot e^{\left[\frac{2^{R_s} - 1}{(a \cdot a_л / r_л \cdot \lambda)^2 - 1} \right]} \quad (2)$$

Формула (2) в явном виде отражают зависимость параметров S/N и $P_{об}$ от геометрических размеров апертур ЦСПИ a , $a_л$ и отводного канала $a_о$, а также их взаимного расположения (размеры $r_л$, $r_о$ и угол γ). Анализируя выражение (2) нетрудно сделать такие рекомендации. Требуемое соотношение сигнал/шум в легитимном канале обеспечивается выбором соответствующих размеров приемной апертуры $a_л/\lambda$ и величины заполнения трассы радиоканала рассеивателями, т.е. зависит от отношения $a/r_л$. С точки зрения злоумышленника (см. выражение (2)) эффективная работа отводного канала также обеспечивается наличием большого числа рассеивателей вдоль трассы длиной $r_о$ и значительными размерами апертуры отводного канала $a_о/\lambda$.

В приближении равенства температуры шума в легитимном и отводном каналах выражение (1) можно представить в виде

$$P_{об} = 1 - \frac{\exp\left[-\left(2^{R_s} - 1 / (S/N)_л\right)\right]}{1 + 2^{R_s} \alpha_о / \alpha_л} \quad (3)$$

где $\alpha_о$, $\alpha_л$ – величины затуханий в отводном и легитимном каналах соответственно.

Результаты расчетов и их анализ

Из анализа формулы (2) следует, что величина заполняемости рассеивателями трассы вдоль легитимного канала $a/r_л$ практически не сказывается на значениях $P_{об}$ и одним из основных факторов, определяющим величину вероятности обнаружения, является отношение $r_л/r_о$. Этот вывод подтвержден результатами расчетов (рис. 2, а: две нижние кривые при $a/r_л = 0,5$ и $a/r_л = 1,5$). Второй важный фактор – секретная скорость

R_s . При ее росте увеличивается и вероятность обнаружения. Это также видно из рис. 2, а. Другие данные численных экспериментов по формуле (2) приведены на рис. 2 б, в. Они имеют ясный физический смысл. Так, с увеличением размера апертуры отводного канала a_o/λ растет и величина $P_{об}$ (рис. 2, б), что обусловлено увеличением $(S/N)_o$ (см. формулу (2)).

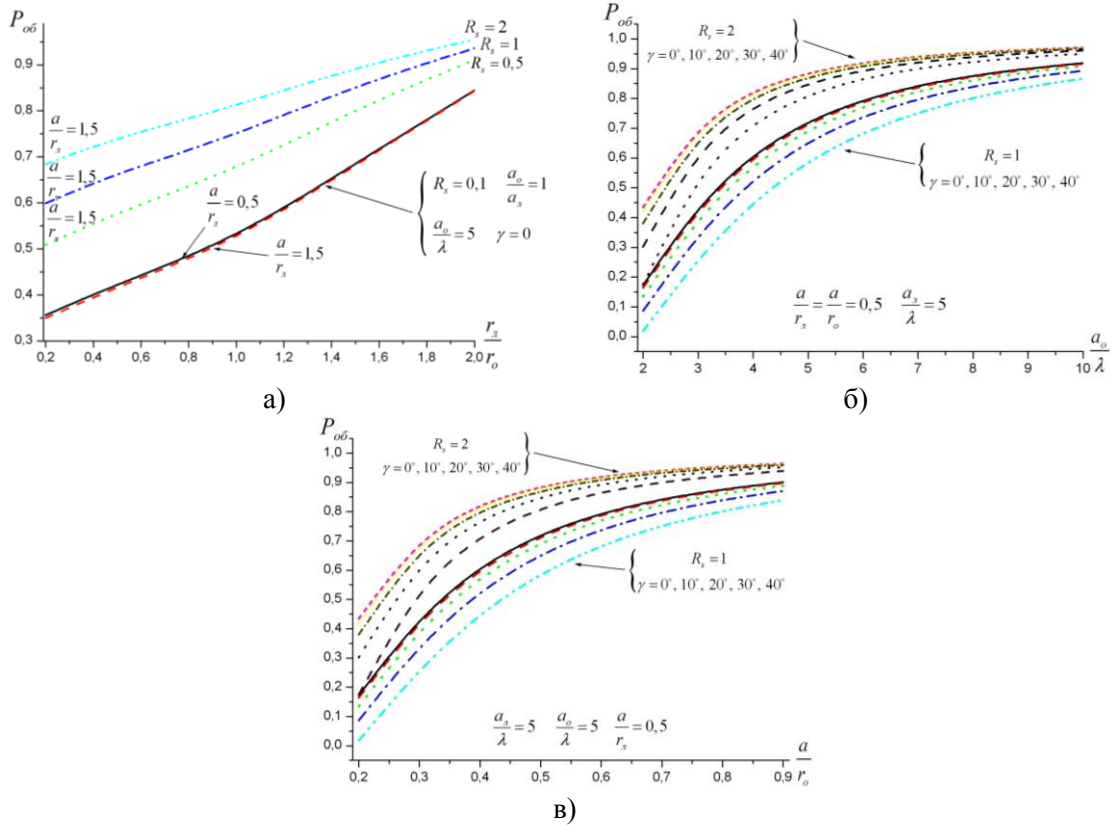


Рис. 2

При размещении апертуры a_o под некоторым углом γ к оси легитимного канала вероятность обнаружения падает, т.к. размер апертуры a_o уменьшается на значение $\cos \gamma$ (рис. 2, б).

Аналогичный характер имеют зависимости $P_{об}(a/r_o)$, приведенные на рис. 2, в. При изменении a/r_o от 0,2 до 0,5 происходит резкое увеличение вероятности обнаружения за счет роста значения $(S/N)_o$. В области, где $a/r_o > a/r_l = 0,5$ параметр $P_{об}$ слабо зависит от величины заполнения рассеивателями трассы отводного канала при больших значениях R_s и достигает максимума при $\gamma = 0^\circ$ (см., например, кривые при $R_s = 2$ бит/с).

Если принять, что уверенное обнаружение сигналов ЦСПИ возможно при $P_{об} \geq 0,7$, то можно провести такой анализ полученных результатов. Из рис. 2 следует, что сигналы ЦСПИ могут быть обнаружены при секретной скорости $R_s \geq 2$ практически при любых соотношениях r_l/r_o . При этом размеры апертуры излучателя отводного канала a_o должны быть не менее 4λ , а соотношение $a/r_o > 0,35$.

Рассмотрим теперь влияние условий распространения радиоволн (РРВ) на величину $P_{об}$. Формула (3) позволяет исследовать зависимость величины $P_{об}$ от значений α_o и α_l , т.е. и от условий РРВ в легитимном и отводном каналах. С ее помощью были проведены расчеты, результаты которых представлены на рис. 3. Здесь показаны зависимости

$P_{об}(R_s)$ при $(S/N)_л = 20\text{дБ}$ и различных значениях $r_л/r_o$ для открытого пространства (рис. 3, а – ближняя зона, рис. 3, б – промежуточная зона, рис. 3, в – дальняя зона) и помещения (рис. 3, г).

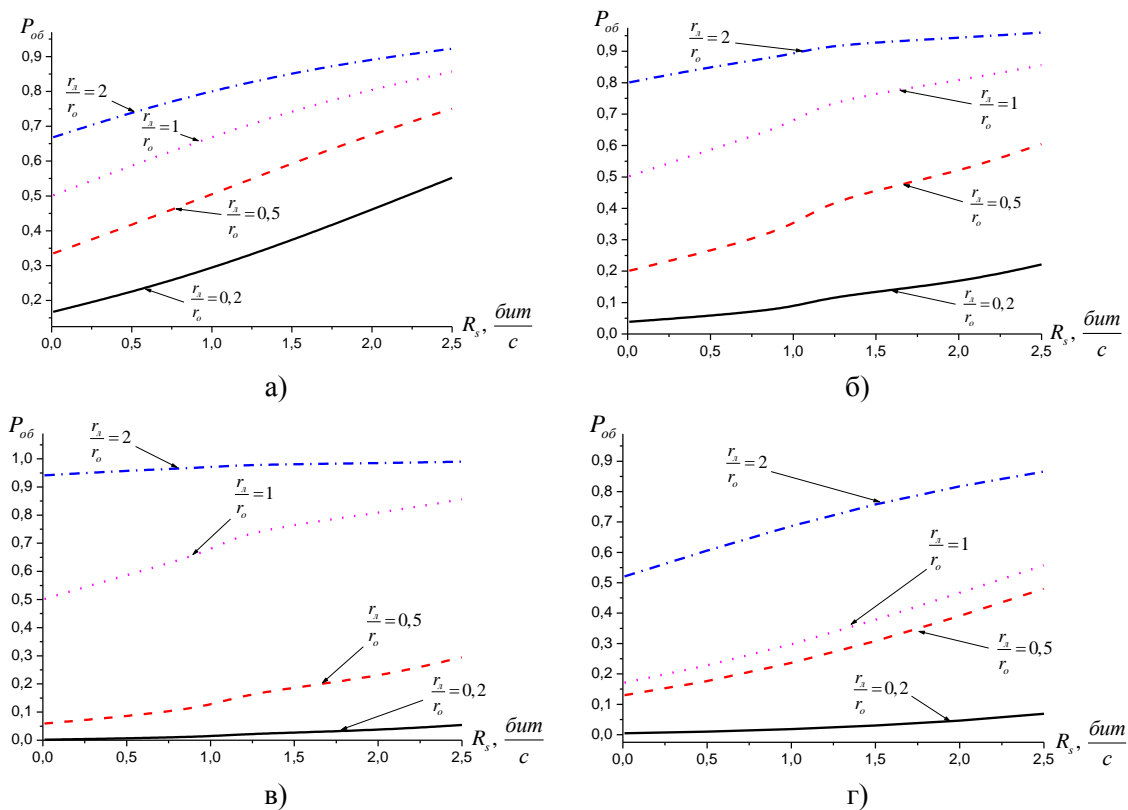


Рис. 3

При расчетах величин α_o и $\alpha_л$ для случаев открытого пространства и помещения вычислялись по формулам приведенным в [4].

Из приведенных данных следует, что в случае открытого пространства при размещении приемника легитимного канала сначала в ближней зоне передающей антенны, а затем в промежуточной и дальней зонах, вероятность обнаружений растет при $r_л < r_o$. Т.е. в ближней зоне условия обнаружения легитимного Wi-Fi канала более благоприятны.

В помещении условия обнаружения ухудшаются и критерий $P_{об} > 0,7$ реализуется при больших значениях $r_л/r_o$, чем в дальней зоне, при одних и тех же величинах R_s .

Литература:

1. Chryssikos T., Dagiuklas T., Kotsopoulos S. A Closed-Form Expression for Outage Secrecy Capacity in Wireless Information-Theoretic Security // Proceedings of Security in Emerging Wireless Communication and Networking Systems (SEWCN'09). – Springer, 2010. – Vol. 42 of Lecture Notes in Computer Science. – pp. 3–12.
2. Chakraborty K., Franceschetti M. Maxwell meets Shannon: space-time duality in multiple antenna channels // Proc. 44-th Allerton Conf. Communication, Control and Computing. – Monticello, 2006. – pp. 761–770.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – С. 1104.
4. Shokalo V.M., Strelnitskiy O.O., Tsopa O.I. Approximate Model for Estimation of Efficiency and Noise Immunity of Branched Street and Corridor Wi-Fi and WiMAX Communication Channels // International journal «Telecommunication and Radio Engineering». – Begell House, 2009. – Vol. 68(17). – pp. 1511–1528.