

10. Technical characteristics of UltraLink. Available at: http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/UltraLinks_rus_winncom.pdf (accessed 6.07.2017) (in Russ.)
11. E-band radio-relay lines. Available at: <http://www.nateks.ru/publication/radioreleynye-linii-e-diapazona>. (accessed 6.07.2017) (in Russ.)
12. iPasolink EX. Equipment of the package radio communication by 71-76/ 81-86 GHz. Available at: [http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX_\(radio-2.ru\).pdf](http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX_(radio-2.ru).pdf). (accessed 6.07.2017) (in Russ.)

Received 07.07.2017

УДК 621.391.8

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КООПЕРАТИВНОЙ АНАЛОГОВОЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ В СЕТИ VANET

Елисеев С.Н., Шантуров Е.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: eliseev-sn@psuti.ru

В статье рассматриваются проблемы помехоустойчивости сети беспроводной связи при передаче сигналов между высокоскоростными подвижными объектами. В качестве метода решения обозначенных проблем предлагается кооперативное разнесение при аналоговой ретрансляции с двумя подвижными объектами. Для рассмотрения и анализа характеристик аналоговой ретрансляции используется обобщенная схема мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов с разнесенным приемом по методу комбинирования максимального отношения. Оценивается помехоустойчивость по средней величине символьной вероятности ошибок, определяемой при достаточно больших значениях отношения сигнала к шуму, дается оценка мощности межканальных переходных помех, вызванных доплеровским рассеянием. Показана эффективность применения аналоговой ретрансляции между подвижными объектами.

Ключевые слова: кооперативное разнесение, аналоговая (AF) ретрансляция, замирения Релея, доплеровский спектр рассеяния, символьная вероятность ошибки

Введение

В последнее время среди сетей связи с подвижными объектами (ССПО) активно развивается направление интеллектуальных транспортных систем (ITS), обеспечивающих многоцелевую поддержку участников движения по безопасности, информированности и т.д. Ключевой элемент ITS – это VANET (ad-hoc, то есть децентрализованная сеть ПО – подвижных объектов), гибридная беспроводная сеть, в которой ПО связываются друг с другом многоскачковым ad-hoc образом (V2V). Кроме того, ПО могут получать навигационную и другую информацию, доступ в интернет, связываясь с объектами придорожной инфраструктуры (V2I), такими как базовые станции или точки доступа [1-3]. Широкое распространение в таких условиях должно получить кооперативное разнесение, являющееся формой пространственного разнесения, которое достигается кооперацией между ПО сети [4–6]. В основу практически всех модификаций сетей подобных VANET, так же, как и множества других ССПО, положена технология OFDM (стандарт IEEE 802.11p), подверженная в условиях высоких скоростей движения ПО влиянию межканальных переходных помех (МКП).

МКП возникают между отдельными субканалами OFDM поднесущих из-за проявления эффекта доплеровского рассеяния и вызываемого им нарушения взаимной ортогональности поднесущих [7-8]. В статье рассмотрено влияние МКП на помехоустойчивость OFDM системы с кооперативным разнесением при аналоговой (AF) ретрансляции с участием двух ПО. Замирения низкочастотных эквивалентов огибающих отдельных поднесущих обладают релеевской статистикой. Модель доплеровского рассеяния соответствует изотропному рассеянию Кларка [1].

Анализ помехоустойчивости кооперативной AF-ретрансляции в канале с медленными замирениями

Для рассмотрения и анализа характеристик AF-ретрансляции используем обобщенную схему OFDM системы с разнесенным приемом по методу комбинирования максимального отношения (КМО) (см. рис. 1), по которой получатель сообщения (П) принимает две независимые копии передаваемого сигнала источника (И):

$$y_{П1} = \mu x + n_{П1}, \quad y_{П2} = \beta A(\alpha x + n_1) + n_2. \quad (1)$$

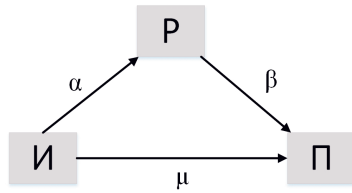


Рис. 1. Схема AF-ретрансляции

В формулах (1) $y_{п1}, y_{п2}$ – принимаемый сигнал от источника и ретранслятора соответственно; x – передаваемый сигнал; A – коэффициент усиления сигнала на ретрансляторе; α, β, μ – коэффициенты передачи соответствующих каналов, постоянные на интервале длительности символа OFDM, которые можно интерпретировать как субканалы отдельных поднесущих OFDM (см. рис. 1); $n_{п1}, n_1, n_2$ – компоненты аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) с одинаковой мощностью N_0 в каналах И-П, И-Р и Р-П соответственно.

Далее будем использовать методологию определения помехоустойчивости системы, описываемой (1) и рис. 1, которая была предложена в [4]. Поскольку шум в схеме с двухпролетной линией согласно (1) содержит компоненту, преобразованную ретранслятором (Р) $\beta A n_1$, то перед КМО должна выполняться нормализация шума путем взвешивания этой комбинации с соответствующими мощностями.

Результирующее выражение комбинации принимает вид:

$$\gamma_z = |\mu|^2 \frac{P_1}{\sigma_{п1}^2} + |A\alpha\beta|^2 \frac{P_1}{\sigma_{п2}^2} = \gamma_{п1} + \gamma_{п2}, \quad (2)$$

где $\gamma_z, \gamma_{п1}, \gamma_{п2}$ – отношение «сигнал/шум» после применения КМО в каналах И-П, И-Р-П соответственно; P_1 – мощность передаваемого сигнала; $\sigma_{п1}^2$ – мощность шума в канале на линии прямой передачи И-П; $\sigma_{п2}^2$ – мощность шума в двухпролетной линии. Следовательно, $\gamma_{п1} = |\mu|^2 \frac{P_1}{N_0}, \gamma_{п2} = |A\alpha\beta|^2 \frac{P_1}{(1 + |A\beta|^2)N_0}$.

Выберем значение

$$A = 1/|\alpha|, \quad (3)$$

которое можно определить как верхнюю границу для значения $A^2 = P_1 / (P_1|\alpha|^2 + N_0)$, поддерживающее постоянную среднюю передаваемую мощность на ретрансляторе.

Далее, вводя в рассмотрение отношения «сигнал/шум» (SNR) на отдельных пролетах α и β ,

равные $\gamma_\alpha = |\alpha|^2 P_1 / N_0, \gamma_\beta = |\beta|^2 P_1 / N_0$, получаем (2) для значения A из (3) в виде

$$\gamma_z = \gamma_{п1} + \gamma_\alpha \gamma_\beta / (\gamma_\alpha + \gamma_\beta). \quad (4)$$

Второе слагаемое в (4) есть $0,5H_G$, где H_G – среднее гармоническое неотрицательно определенных случайных величин γ_α и γ_β ; причем $\min(\gamma_\alpha, \gamma_\beta) < H_G < \max(\gamma_\alpha, \gamma_\beta)$, то есть усредняет SNR отдельных пролетов, откуда, в частности, следует, что максимальное значение $\gamma_{п2}$ достигается при равенстве $\gamma_\alpha = \gamma_\beta$.

Анализ символьной вероятности ошибок

Следуя методу «параметризации» [4], будем оценивать помехоустойчивость по средней величине SEP (символьной вероятности ошибок), определяемой при достаточно больших значениях SNR. Идея этого метода заключается в том, что в радиоканале с замираниями основная масса ошибок возникает при глубоких замираниях, которые в $f(\cdot)$ – характеристике плотности вероятности (ПВ) SNR означают поведение этой функции в окрестности точки SNR = 0. Введение в рассмотрение величины $\gamma^{\wedge} = \gamma / \bar{\gamma}$, где $\bar{\gamma}$ – среднее значение SNR, устраняет влияние величины передаваемой мощности.

В результате применения «параметризации» получаем для ПВ случайной величины $w = 0,5H_G$ в точке 0:

$$f_w(0) = f_{\gamma_\alpha}(0) + f_{\gamma_\beta}(0). \quad (5)$$

Асимптотическое среднее значение SEP в соответствии с [4] имеет вид:

$$P_e \rightarrow \frac{3}{4k^2} [f_{\gamma_\alpha}(0) + f_{\gamma_\beta}(0)] f_{\gamma_{п1}}(0), \quad (6)$$

где $k=2$ – постоянная вида модуляции для ФМ; $f_{\gamma_{п1}}(0)$ – значение ПВ случайной величины $\gamma_{п1}$ в точке 0. Огибающие случайных величин α, β, μ имеют ПВ Релея; ПВ соответствующих SNR имеет экспоненциальный характер [1]:

$$f_\gamma(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}} e^{-\gamma/\bar{\gamma}}, \text{ для } \gamma \geq 0. \quad (7)$$

С учетом (7) выражение (6) принимает вид

$$P_e \rightarrow \frac{3}{4k^2} \left[\frac{1}{\bar{\gamma}_\alpha} + \frac{1}{\bar{\gamma}_\beta} \right] \frac{1}{\bar{\gamma}_{п1}}, \quad (8)$$

где $\bar{\gamma}_\alpha = \sigma_\alpha^2 \frac{P_1}{N_0}; \bar{\gamma}_\beta = \sigma_\beta^2 \frac{P_1}{N_0}; \bar{\gamma}_{п1} = \sigma_\mu^2 \frac{P_1}{N_0}$.

Графики зависимости SEP от значения SNR с различными соотношениями на участках И-П, И-Р-П представлены на рис. 2, где $k = 2$, а $\bar{\gamma}_\alpha$ принимает значение на интервале 5 ... 20 дБ.

Анализ выражений (6); (8) и графиков на рис. 2 показывает, что в двухпролетной линии с замираниями Релея кооперативный разнесенный прием с КМО обеспечивает повышение помехоустойчивости, измеряемое уменьшением средней величины SEP, пропорционально среднему значению SNR на прямой линии И-П.

Ухудшение качества канала И-П (значение $\gamma_{\bar{\Pi}} < \gamma_\alpha^-$) можно скомпенсировать каналом Р-П ($\gamma_\beta^- > \gamma_\alpha^-$) при выборе ретранслятора, находящегося в «удачном» территориальном расположении между И и П. В случае ухудшения без КМО скомпенсировать потери за счет схемы модуляции или мощности передачи не всегда возможно, что говорит о преимуществах использования КМО в совокупности с кооперативной аналоговой ретрансляцией.

Оценка мощности кооперативной АФ-ретрансляции в канале с быстрыми замираниями

Категория «быстрых» замираний в контексте данной статьи означает, что α, β, μ – коэффициенты передачи соответствующих каналов из (1) проявляют себя как функции времени на интервале длительности OFDM символа.

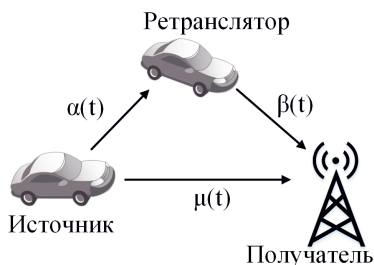


Рис. 3. Радиоканалы системы кооперативного разнесения с мобильными терминалами отправителя и ретранслятора сообщений

Следуя обозначениям на рис. 3, в системе можно выделить три вида радиоканалов:

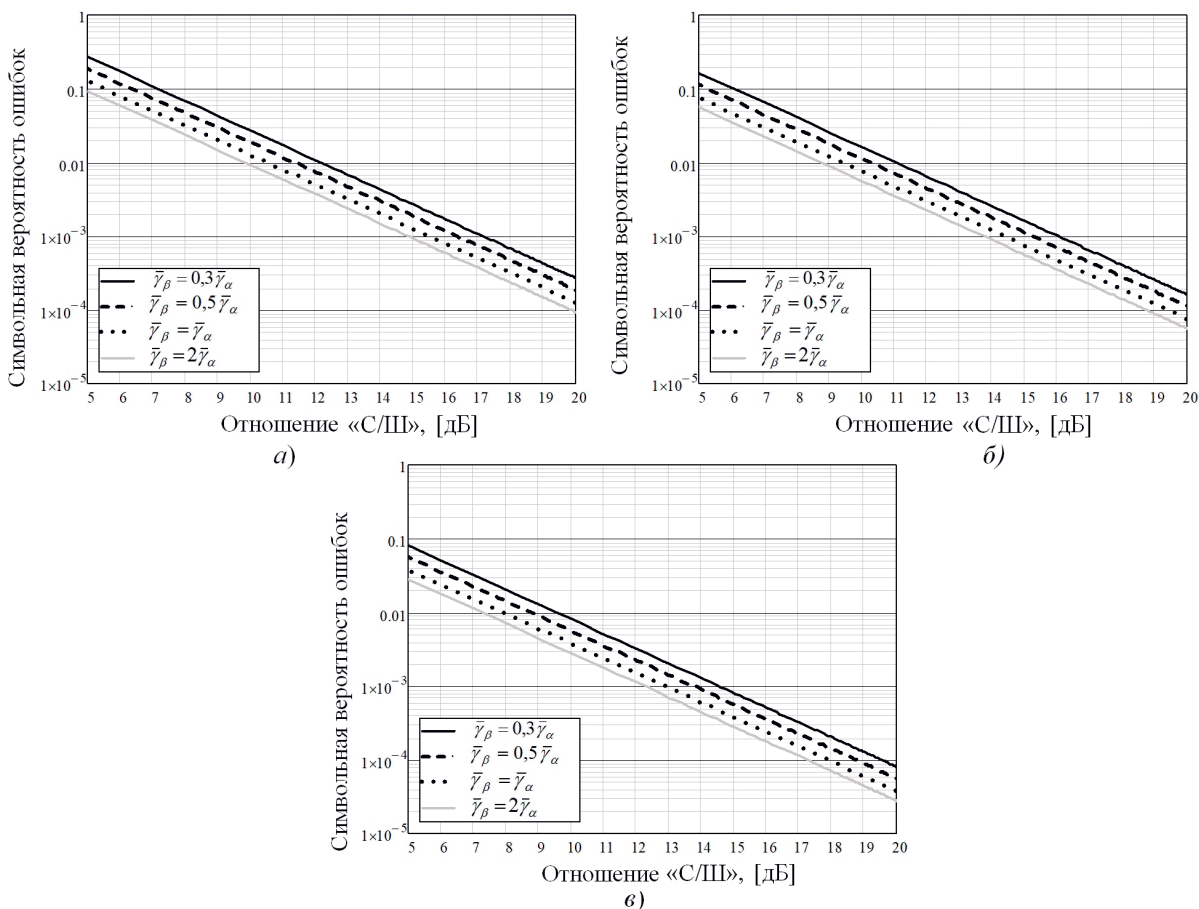


Рис. 2. Графики символьной вероятности ошибок системы с КМО при: а) $\gamma_{\bar{\Pi}} = 0,3\gamma_\alpha^-$; б) $\gamma_{\bar{\Pi}} = 0,5\gamma_\alpha^-$; в) $\gamma_{\bar{\Pi}} = \gamma_\alpha^-$

- прямой канал $\mu(t)$ подвижный объект (ПО) – фиксированный объект (ФО): источник (И) – получатель (П);
- канал ПО-ПО $\alpha(t)$: на участке источник (И) – ретранслятор (Р);
- канал ПО-ФО $\beta(t)$: ретранслятор (Р) – получатель (П).

В АФ-ретрансляторе сигнал OFDM просто усиливается без демодуляции, $S_\alpha(\omega)$ – приобретенное за счет доплеровского рассеяния на первом пролете с расширением спектральной плотности мощности (СПМ) сигналов, проявляется у получателя (П) в форме свертки с СПМ расширения $S_\beta(\omega)$ на втором пролете:

$$S_\Pi(\omega) = S_\alpha(\omega) * S_\beta(\omega). \quad (9)$$

Даже при изотропном рассеянии СПМ-канала «мобильный – мобильный» выражается через полный эллиптический интеграл 1-го рода, поэтому нельзя получить аналитическое выражение $S_\Pi(\omega)$, подходящее для определения мощности МКП. Эту проблему можно обойти, учитывая статистическую независимость замираний каждого из каналов рассматриваемой системы, означающую получение автокорреляционной функции (АКФ) составного двухпролетного канала в факторизованном виде: как произведение АКФ отдельных пролетов. В рассматриваемой системе $R_\alpha(\tau)$ – это АКФ канала «мобильный – мобильный» также представляется в факторизованном виде:

$$R_\alpha(\tau) = \frac{1}{2} \sigma_\alpha^2 J_0(2\pi f_{d1}\tau) J_0(2\pi f_{d2}\tau), \quad (10)$$

где $J_0(\cdot)$ – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка; f_{d1}, f_{d2} – максимальные частоты доплеровского сдвига, вызванного движением, соответственно, источника (передатчика) и ретранслятора (приемника); σ_α^2 – мощность шума. В результате $R_{\alpha\beta}(\tau)$ АКФ двухпролетного канала принимает вид (11) – см. далее, где f_{d3} – максимальная частота доплеровского сдвига, вызванного движением ретранслятора (передатчика) в направлении получателя (приемника). Обозначив f_{d4} как максимальную частоту доплеровского сдвига, вызванного движением передатчика в направлении приемника, получаем для $R_\mu(\tau)$, АКФ прямого канала

$$R_\mu(\tau) = \frac{\sigma_\mu^2}{2} J_0(2\pi f_{d4}\tau). \quad (12)$$

Обозначим $a = f_{d2}/f_{d1}; b = f_{d3}/f_{d1}; c = f_{d4}/f_{d1}$. По теореме Винера-Хинчина [9]

$$R_\alpha(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_\alpha(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega, \quad (13)$$

где $S_\alpha(\omega)$ – СПМ доплеровского рассеяния; $R_\alpha(\tau)$ – АКФ процесса доплеровского рассеяния; $\alpha_k(t)$ – комплексный гауссовский процесс, $t_0 = T/2, T = 1/\Delta f$; $\alpha'_k(t)$ – первая производная процесса $\alpha_k(t)$.

Тогда, учитывая, что $R_{\alpha'_k\alpha''_k}(\tau)$ – АКФ производной процесса доплеровского рассеяния связана АКФ процесса соотношением

$$R_{\alpha'_k\alpha''_k}(\tau) = -d^2 R_\alpha(\tau) / d\tau^2, \quad (14)$$

получаем из (13)-(14)

$$R_{\alpha'_k\alpha''_k}(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_\alpha(\omega) d\omega. \quad (15)$$

Формула (15) является выражением для мощности МКП отдельного субканала системы OFDM в случае представления $\alpha(t)$ двумя первыми слагаемыми ряда Тейлора [10]:

$$\alpha = \alpha_k(t, \tau) = \alpha_k(t) \delta(\tau) = [\alpha_k(t_0) + \alpha'_k(t_0)(t - t_0)] \delta(\tau).$$

Суммарная мощность МКП в системе OFDM с N поднесущими для (15) есть

$$P_{МКП} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 R_{\alpha'\alpha''}(0) \sum_{k=1, k \neq i}^N \frac{1}{(k-i)^2}, \quad (16)$$

где $T = 1/\Delta f$ – разнос между поднесущими субканалов OFDM. АКФ такого канала равна

$$R_\alpha(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_\alpha(\omega) d\omega. \quad (17)$$

Определяя (14) для АКФ в (11), последовательно вычисляя производные, в итоге получаем

$$R_{(\alpha\beta)\gamma(\alpha\beta)\gamma}(0) = \frac{\sigma_\beta^2 \sigma_\alpha^2}{2} 4\pi^2 f_{d1}^2 (1 + a^2 + b^2), \quad (18)$$

$$R_{\mu''}(0) = \frac{\sigma_\mu^2}{2} 4\pi^2 f_{d1}^2 c^2. \quad (19)$$

Помехоустойчивость кооперативной АФ-ретрансляции в канале с быстрыми замираниями

При анализе помехоустойчивости кооперативной АФ-ретрансляции в случае быстрых замираний, вызванных доплеровским рассеянием, требуется в формулах (1) добавить слагаемое, определяющее мощность МКП – см. далее (20), а также добавить слагаемое, определяющее мощность МКП двухпролетной линии, – см. (21).

$$R_{\alpha\beta}(\tau) = R_{\alpha}(\tau) \times R_{\beta}(\tau) = \frac{\sigma_{\beta}^2 \sigma_{\alpha}^2}{2} J_0(2\pi f_{d1}\tau) \times J_0(2\pi f_{d2}\tau) \times J_0(2\pi f_{d3}\tau). \quad (11)$$

$$P_{\Pi} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \times \frac{\sigma_{\mu}^2}{2} 4\pi^2 f_{d1}^2 c^2 \times \sum_{k=1, k \neq i}^N \frac{1}{(k-i)^2}; \quad (20)$$

$$P_{\alpha\beta} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \times \frac{\sigma_{\beta}^2 \sigma_{\alpha}^2}{2} 4\pi^2 f_{d1}^2 (1+a^2+b^2) \times \sum_{k=1, k \neq i}^N \frac{1}{(k-i)^2}. \quad (21)$$

Обозначим

$$k_1 = P_{\Pi}/N_0; \quad k_2 = P_{\alpha\beta}/N_0 \quad (22)$$

и после алгебраических преобразований с учетом (20)-(22) из (4) получаем

$$\gamma_z = \gamma_{\Pi} \frac{1}{(1+k_1)} + \frac{\gamma_{\alpha 2} \gamma_{\beta}}{\gamma_{\alpha 2} + \gamma_{\beta}} \frac{1}{(1+k_2)}, \quad (23)$$

где $\gamma_{\alpha 2} = \gamma_{\alpha}(1+k_2)$. Выражение SEP (8) при этом трансформируется как

$$P_e \rightarrow \frac{3}{4k^2} \left[\frac{1}{\bar{\gamma}_{\alpha 2}} + \frac{1}{\bar{\gamma}_{\beta}} \right] \frac{1}{\bar{\gamma}_{\Pi}} (1+k_1)(1+k_2). \quad (24)$$

Вычисление мощности МКП проводилось для системы OFDM с $N = 256$ поднесущими согласно (20)-(21), где $\sigma_{\beta}^2 \sigma_{\alpha}^2 / 2 = \sigma_{\mu}^2 / 2 = 1$; $i = 127, 63$. Расчеты выполнялись при изменении параметров $f_{d1}^2 T^2 = 0,01 \dots 0,2$ и разных сочетаниях $a, b, c \in (0,5; 1; 1,5)$.

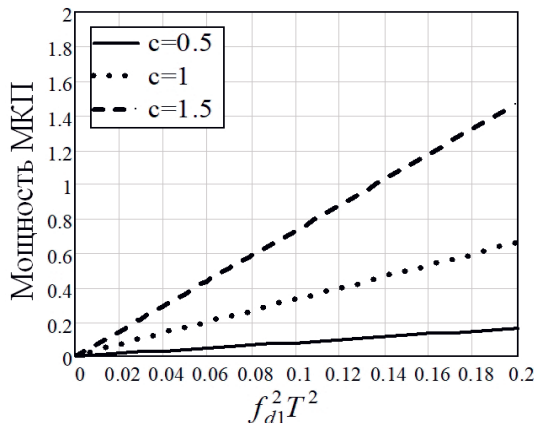


Рис. 4. Мощность МКП на линии И-П

Мощность МКП на линии И-П иллюстрируется графиком на рис. 4, мощность МКП в двухпролетной линии – на рис. 5. При сравнении результатов расчетов подтверждается, что с ростом $f_{d1}^2 T^2$ мощность МКП на линии И-Р-П изменяется значительно сильнее по сравнению с каналом И-П.

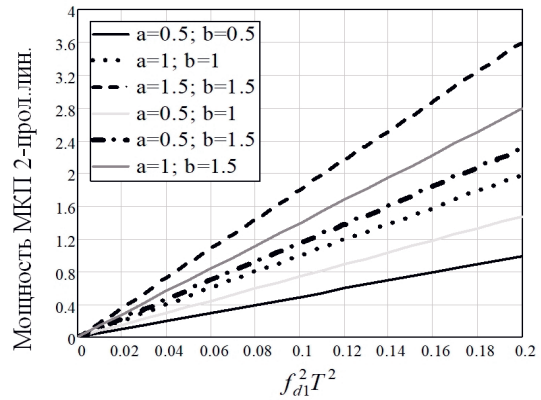


Рис. 5. Мощность МКП в двухпролетной линии

При самом малом значении $a = b = 0,5$ мощность МКП превышает большую часть графика мощности МКП в канале И-П, следовательно, при выборе ретранслятора необходимо учитывать скорость, направление движения источника и ретранслятора относительно друг друга, а также относительно приемника.

Результаты расчета SEP по выражению (24) с применением КМО и учетом МКП представлены на графике рис. 6. За основу была выбрана система с различными значениями k_1, k_2 и параметрами $\bar{\gamma}_{\Pi} = 0,5\gamma_{\alpha}^-$; $\bar{\gamma}_{\beta} = 1,5\gamma_{\alpha}^-$, где $\bar{\gamma}_{\alpha}$ принимает значение на интервале 5-20 дБ. Постоянная вида модуляции $k = 2$.

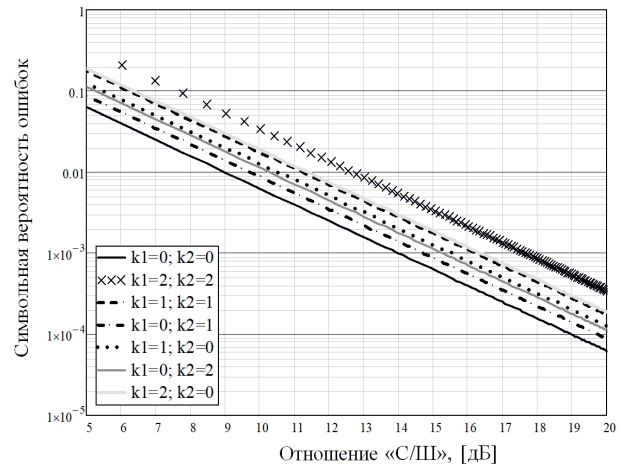


Рис. 6. График символической вероятности ошибок при $\bar{\gamma}_{\Pi} = 0,5\gamma_{\alpha}^-$; $\bar{\gamma}_{\beta} = 1,5\gamma_{\alpha}^-$ с учетом МКП и различных значений k_1, k_2

Появление МКП приводит к ухудшению характеристики достоверности приема сообщений. На графике черной сплошной линией показана характеристика без МКП ($k_1 = k_2 = 0$), которая соответствует рис. 2б.

Характеристики выше черной сплошной линии на графике рис. 6 отображают влияние МКП на помехоустойчивость системы. По графику видно, что наибольшее смещение характеристики вверх проявляется при одинаковом увеличении значений k_1 и k_2 . Однако мощность МКП в прямом канале И-П влияет сильнее, чем МКП двухпролетной линии.

Заключение

Как показывают расчеты, высокая скорость ПО влияет на величину МКП вследствие проявления эффекта доплеровского рассеяния. Рассмотренная система OFDM с кооперативным разнесением при аналоговой АФ-ретрансляции более помехоустойчива, чем система без ретрансляции. В отличие от системы без кооперативной ретрансляции ухудшение характеристик канала И-П можно скомпенсировать, используя алгоритм МКО. При заданной вероятности ошибки выигрыш достигает 2,55 дБ. Важно выбрать подвижный ретранслятор, территориально находящийся между И и П.

Так как источник и ретранслятор являются ПО, необходимо учитывать МКП в двухпролетном канале. При расчете SEP с учетом МКП (см. рис. 6) из-за скоростного движения ПО характеристика может ухудшиться более чем на 1,5 дБ. Как результат, при «удачном» выборе подвижного ретранслятора (с учетом его территориального расположения, скорости и направления движения) метод с кооперативной аналоговой ретрансляцией может дать выигрыш, несмотря на дополнительную МКП в системе на участке И-Р-П. Перспективным представляется исследование системы с другими схемами кооперативной ретрансляции или с большим числом ПО.

Литература

1. Patel C.S. Wireless Channel Modeling, Simulation, and Estimation // URL: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10480/patel_chirag_s_200605_phd.pdf (д.о. 27.07.2017).
2. Sivasakthi M., Suresh S. Research on Vehicular ad hoc Networks (VANETs) // Journal of Applied Sciences and Engineering Research. Vol.2, No.1, 2013. – P. 23-27.
3. Ajmal S., Rasheed A., Qayyum A. e.a. Classification of VANET MAC, routing and approaches a detailed survey // Journal of Universal Computer Science. Vol.20, No.4, 2014. – P. 462-487.
4. Ribeiro A., Cai X., Giannakis G. Symbol Error Probabilities for General Cooperative Links // IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol.4, No.3, 2005. – P. 1264-1273.
5. Dohler M., Li Y. Cooperative Communications: Hardware, Channel & Phy. NY.: Wiley & Sons, 2010. – 464 p.
6. Hong P.Y.-W., Huang W.J., Kuo C.C. Cooperative Communications and Networking: Technologies and System Design. NY.: Springer, 2010. – 421 p.
7. Елисеев С.Н. Оценка величины мощности межканальной помехи OFDM сигнала в канале с быстрыми замираниями // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. Т.11, №4, 2017. – С. 59-63.
8. Mostofi Y., Cox D. ICI mitigation for Pilot-Aided OFDM Mobile Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol.4. No.2, 2005. – P. 765-774.
9. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
10. Wang T., Proakis J.G., Masry E. e.a. Performance Degradation of OFDM Systems due to Doppler Spreading // IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol.5, No.6, 2006. – P. 1422-1432.

Получено 08.08.2017

Елисеев Сергей Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой радиосвязи, радиовещания и телевидения (РРТ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 339-11-06. E-mail: eliseev-sn@psuti.ru.

Шантуров Евгений Михайлович, аспирант кафедры РРТ ПГУТИ. Тел. 8-927-605-12-90. E-mail: shanturov-em@yandex.ru.

NOISE IMMUNITY CHARACTERISTICS OF COOPERATIVE ANALOG RELAY IN A VANET NETWORK

Eliseev S.N., Shanturov E.M.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: eliseev-sn@psuti.ru

Today the capabilities of intelligent transport systems are largely determined by the characteristics of the hybrid wireless vehicular ad hoc networks (VANET). These networks use orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) technique for direct communications between vehicles as well as communications between vehicles and stationary infrastructure devices. Connections can be direct or they can be relayed by means of cooperative diversity when it is needed to improve noise immunity. One of the specifics of the vehicular ad hoc networks is the presence of high-speed vehicles, for which the Doppler spread results in the lost orthogonality of the OFDM signal and interchannel interference which decreases the noise immunity. The article considers the impact of the interchannel interference on the noise immunity of OFDM system using analog relay based cooperative diversity with two vehicles. Fading is modelled individually for each of the OFDM signal subcarriers using baseband equivalents and Rayleigh statistics. Doppler spread model corresponds to isotropic scattering.

Keywords: diversity, AF relay, Rayleigh fading, spectral Doppler spreading, SEP

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.4.13

Eliseev Sergey Nikolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; the Head of Department of Radio Communication, Radio Broadcasting and Television; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +78463391106. E-mail: eliseev-sn@psuti.ru.

Shanturov Evgeniy Mikhailovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; PhD-student of the Department of Radio Communication, Radio Broadcasting and Television. Tel.: +79276051290. E-mail: shanturov-em@yandex.ru.

References

1. Patel C.S. *Wireless Channel Modeling, Simulation, and Estimation*. Available at: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10480/patel_chirag_s_200605_phd.pdf (accessed: 27.07.2017).
2. Sivasakthi M., Suresh S. Research on vehicular ad hoc networks (vanets): An overview. *Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 23–27. doi: 10.6080/ijaser.020100003.
3. Ajmal S., Rasheed A., Qayyum A., Hasan A. Classification of VANET MAC, routing and approaches a detailed survey. *Journal of Universal Computer Science*, 2014, vol. 20, no. 4, pp. 462–487.
4. Ribeiro A., Cai X., Giannakis G.B. Symbol error probabilities for general cooperative links. *IEEE Transactions on wireless communications*, 2005, vol. 4, no. 3, pp. 1264–1273. doi: 10.1109/TWC.2005.846989.
5. Dohler M., Y. Li. *Cooperative communications: hardware, channel & phy*. Wiley & Sons, 2010. 464 p.
6. Hong P.Y.-W. et al. *Cooperative Communications and Networking: Technologies and System Design*. NY, Springer, 2010. 421 p.
7. Eliseev S.N. Ocenka velichiny moshchnosti mezhkanal'noj pomekhi OFDM signala v kanale s bystryimi zamiraniyami [Estimation of power interchannel interference of OFDM signal in fast fading channel]. *T-Comm*, 2017, vol. 11, no. 4, pp. 59–63.
8. Mostofi Y., Cox D. ICI mitigation for Pilot-Aided OFDM Mobile Systems. *IEEE Transactions on wireless communications*, 2005, vol. 4, no. 2, pp. 765–774. doi: 10.1109/TWC.2004.840235.
9. Levin B.R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1989. 656 p. (In Russian)
10. Wang T., Proakis J.G., Masry E., Zeidler J.R. Performance degradation of OFDM systems due to Doppler spreading. *IEEE Transactions on wireless communications*, 2006, vol. 5, no. 6, pp. 1422–1432. doi: 10.1109/TWC.2006.1638663.

Received 08.08.2017