

природного середовища повинна сприяти переходу на шлях сталого розвитку. Тому вважаємо, що досвід НТУУ «КПІ» у реалізуванні принципів сталого розвитку суспільства у вищій освіті може бути корисним для інших навчальних закладів.

Список літератури: 1. Science and Technology for Development: the 20th week (23-28/01/2006) of the 60th anniversary of UNESCO [Electron. resource] // UNESCO's Bureau of Public Information. – Access link: http://portal.unesco.org/science/en/files/4876/11380996829_Science_and_Technology_for_Development_-_presentation.doc/Science+and+Technology+for+Development+-+presentation.doc. 2. Education for Sustainable Development | Education | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [Electron. resource]. – Access link: <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/> 3. Згуровський М.З. Досвід освіти зі сталого розвитку в НТУУ «КПІ» [Текст] / М.З. Згуровський, Г.О. Статюха // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – Випуск N 36. – С. 169–178. 4. Elkington, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development [Text] / J. Elkington // California Management Review. – 1994. – Vol. 36. – No. 2. – PP. 90–100. 5. Oskarsson, K. Integrated Management Systems as a Corporate Response to Sustainable Development [Text] / K. Oskarsson and F. von Malmborg // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. – 2005. – No. 12. – PP. 121–128. 6. Central East European Institute for Sustainable Development [Electron. resource]. – Access link: <http://ceeisd.org.ua/> 7. Статюха, Г.О. Сталий розвиток як складова вищої технічної освіти в НТУУ «КПІ» [Текст] / Г.О. Статюха, Т.В. Бойко, І.М. Джигирей // Матеріали III Всеукр. з'їзду екологів з міжн. участю (Екологія / Ecology-2011), Вінниця, 21-24 вер. 2011 р.: зб. наук. статей. – Т. 2. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 651-654. 8. ДСТУ ISO 14040:2004. Екологічне керування; Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура [Текст]: офіц. вид. / В. Лозанський (пер. і наук.-техн. ред.). – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – IV, 10 с.

Поступила в редколегію 23.11.2011

УДК 681.307

В.В. ПОПОВСКИЙ, докт. техн. наук, проф., зав. каф., ХНУРЭ, Харків
Б.С. ТУР, асп., ХНУРЭ, Харків
Я.Т. ХУССЕЙН, асп., ХНУРЭ, Харків

МЕТОДЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ В ДРЕВОВИДНЫХ АЛГОРИТМАХ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

Дана робота присвячена аналізу метода послідовної компенсації викривлень, який відноситься до випадкових методів багато станційного доступу. В даній статті розкрито загальне функціонування древовидних алгоритмів. Також представлена модель каналу, описана поліномом Вольтерра.

Ключові слова: SIC, послідовна компенсація викривлень, поліном Вольтерра

Данная статья посвящена анализу метода последовательной компенсации искажений, который относится к случайным методам множественного доступа. В данной статье представлено общее функционирование древовидных алгоритмов. Также представлена модель канала, описанная с помощью полинома Вольтерра.

Ключевые слова: SIC, последовательная компенсация искажений, полином Вольтерра

The given work is devoted to analysis of Random Multiple Access method called Successive Interference Cancellation (SIC). This article represents common functionality of multiple random access tree algorithms. Also in this work are presented the new channel model described with help of Volterra polynomial.

Key words: SIC, Successive Interference Cancellation, Volterra polynomial

1. Введение

Исследования о которых идет речь в статье относятся к сфере телекоммуникаций. Одним из актуальных вопросов в телекоммуникациях является совершенствование методов множественного доступа. Данный вопрос исследовался многими отечественными и зарубежными учеными, однако и до сегодняшнего дня его актуальность велика.

2. Общие сведения

Среди различных методов множественного (многостанционного) доступа в беспроводных системах связи наибольшую популярность приобрели методы случайного множественного доступа (СМД). К числу таких относятся алгоритмы АЛОХА, методы двойного экспоненциального отката (Binary Exponential Backoff), древовидные алгоритмы [1]. Наиболее важной характеристикой этих методов является время разрешения конфликта, наступающего вследствие того, что два или более абонента одновременно претендуют на предоставление ресурса ретранслятора или базовой станции (БС). Показателем скорости разрешения конфликта является отношение [2]:

$$V = \frac{k}{T_k},$$

где k - кратность конфликта, T_k - время разрешения конфликта.

Исторически первым был предложен алгоритм АЛОХА, который с различными модификациями используется до настоящего времени. У этого алгоритма из-за включения механизма выбора случайной задержки при повторной передаче время достаточно велико и в современных широкополосных беспроводных системах типа WiMax, LTE вместо этих алгоритмов рекомендуется использовать ВЕВ или древовидные алгоритмы, где указанное время в значительной мере детерминируется, а скорость достигает значений 0,3-0,4. При дополнительных мерах, при использовании последовательной компенсации помех (Successive Interference Cancellation - SIC) эта скорость может достичь 0,6 и более [2]. Рассмотрим более подробно процедуру древовидного алгоритма и оценим возможность ее эффективного использования.

3. Функционирование древовидных алгоритмов

Для успешной работы методов СМД типа ВЕВ и древовидных алгоритмов в системе беспроводной связи требуется жесткая синхронизация работы всех абонентских станций (АС) и БС. Другим важным ограничением является то, что к концу передачи абонентом информационного пакета, от БС поступают данные об успешном или неуспешном приеме этого пакета. Все дальнейшие действия в системе зависят от выбранного метода СМД.

При использовании традиционных древовидных алгоритмов и при наличии конфликтной ситуации на БС происходит идентификация конфликтующих АС. После обнаружения конфликта БС дает разрешение одной из АС передать в

следующем слоте свой пакет. Остальные конфликтующие пакеты (или пакет) передаются уже в третьем слоте (рис.1).

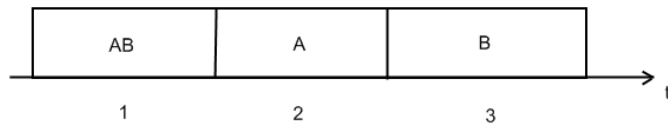


Рис.1. Структура передачи пакетов А и В при возникновении конфликтов в первом слоте

Особенностью алгоритма SIC является то, применительно к ситуации на рис.1, что в третьем слоте отсутствует необходимость в передаче пакета. Этот пакет может быть получен (вычислен) из сигналов конфликтующих пакетов А+В, путем вычитания (компенсации) из этой суммы сигнала, относящегося к пакету А, принятого во втором слоте. Очевидно, что для выполнения данных операций необходимо выполнить ряд условий:

1) вся информация, принятая в 1-м слоте должна быть сохранена в памяти до завершения конфликта;

2) шумы, всегда присутствующие в канале приема не должны существенно исказить структуру принимаемых сигналов, то есть отношение С/Ш должно обеспечивать уверенный прием с вероятностью ошибки $P_{io} \leq 10^{-5} - 10^{-6}$;

3) амплитудно-фазовая структура сигналов А, принятых в 1-м и 2-м слотах должна быть идентична.

Первое требование может быть выполнено с помощью соответствующей элементной базы. Второе ограничение связано с наличием внешних и внутренних тепловых шумов. Имеется ряд методов, например, на основе криогеники, способных решить задачу минимизации внутренних шумов. Предметом более детального обсуждения третьего ограничения посвящены дальнейшие материалы.

4. Методы обеспечения идентичности структуры сигналов на соседних слотах

Различие структур сигналов на соседних слотах происходит за счет влияния случайности параметров среды и многолучевости распространения радиоволн. При наличии гауссового характера случайных изменений параметров в канале распространения эти различия обратно пропорциональны уровням коррелированности процессов на этих соседних слотах. Вместе с тем, в реальных радиоприемах указанные различия всегда имеют место, и они соответственно снижают качество компенсации в алгоритмах SIC. В данном случае для выравнивания структур сигналов представляется конструктивным подход, когда на каждом очередном слоте эта структура будет сопоставляться и корректироваться по некоторому эталонному сигналу $y_f(t)$, передаваемому вместе с информационным сигналом.

5. Модель канала распространения радиоволн

Во многих прикладных задачах возникает необходимость получения на выходе некоего радиоэлектронного устройства сигнала заданной структуры $y_f(t)$. Отклонение реального принятого сигнала $y(t)$ от заданной структуры может происходить, например, в силу искажений, наличия аддитивных или мультипликативных помех в линии связи. Так, в условиях многолучевого распространения сигналов в линии радиосвязи форма информационного

импульса расплывается, амплитуда и фаза искажаются. Модель искаженного сигнала в общем случае можно представить в виде интегро-степенного полинома Вольтерра 1-го рода [3]:

$$y(t) = \sum_{m=1}^N \int_0^t \dots \int_0^t K_m(S_1, S_2, \dots, S_m) \prod_{i=1}^m x(t - S_i) dS_i, t \in [0, T], \quad (2)$$

где K_m - ядра Вольтерра, для стационарного случая симметричны по всем переменным. Структурная схема, реализующая процедуру (1) представлена на рис.2.



Рис.2. Эквивалентная структура системы передачи сигнала $x(t)$ через многолучевой канал связи (2)

Компоненты многолучевого сигнала $y_i(t)$ представляются в виде:

$$y_i(t) = \int_0^t K_i(t, S_i) x(S_i) dS_i, i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

где $K_i(t, S_i)$ - в общем случае комплексные функции. Таким образом, каждое из ядер $K_i(t)$ обеспечивает соответствующие изменения амплитуды и фазы парциального сигнала $x_i(t)$. От диапазона изменений амплитуды и фазы результирующего сигнала $y(t)$ зависит та или иная модель канала связи. Так, в теории связи часто используется представление сигнала через квадратурные компоненты

$$y(t) = \sum_{i=1}^N y_i(t) = A(t) \cos(\omega t + \varphi(t)) = A(t) \sin(\varphi) \sin(\omega t) - A(t) \cos(\varphi) \cos(\omega t) A_s(t) \sin(\omega t) + A_c(t) \cos(\omega t), \quad (4)$$

где $A_s(t)$ и $A_c(t)$ - соответственно синусная и косинусная квадратуры.

Так, распределения Релея соответствует случаю, когда средние значения квадратур $A_s(t)$ и $A_c(t)$ - равны нулю, дисперсии одинаковы ($\sigma_s^2 = \sigma_c^2$), а сами квадратуры – независимые. Фаза такого сигнала

$$\varphi(t) = \arctg \frac{A_s(t)}{A_c(t)}$$

распределена равномерно на интервале $t \in [0, T]$.

Для коррекции приобретенных в канале связи искажений необходимо выполнять процедуры, обратные преобразованиям (3). Такое преобразование возможно в силу симметричности ядер $K_i(t)$. Данную задачу можно решать, если обеспечить условия наблюдаемости результатов воздействия самих искажений. Для этого обычно используют периодическую передачу испытательных тестовых сигналов, структура которых заранее известна. В этом случае по разнице этого сигнала с эталонным

$$\Delta y(t) = y(t) - y_{\bar{y}}(t) \quad (5)$$

можно решать задачу управления соответствующими коэффициентами $K_i(t)$ с целью минимизации разницы (5). Возникает задача управления наблюдением [4] по результатам невязки.

6. Обоснование выбора структуры устройства коррекции принятых сигналов

При выборе структуры устройства коррекции возникает вопрос об ограничениях, в рамках которых может быть решена оптимизационная задача минимизации уровня искажений $\Delta y(t)$. Важным фактором является выбор необходимого числа ветвей корреляции N . Очевидно, должно выполняться условие: $N \geq 2$, что при соответствующем выборе амплитуд и фаз весовых коэффициентов в ветвях коррекции позволит получить взаимную компенсацию искажений. При $N=2$ искажения отображают ситуацию с плоским фазовым фронтом в элементах пространственного сигнала $x_i(t)$. При $N=3$ может отображаться нелинейная параболическая форма фазового фронта. Если же приемное устройство реализуется в виде N -элементной антенной решетки, то размер апертуры D необходимо сопоставлять с радиусом пространственной корреляции ρ . Очевидно, если $D \ll \rho$, то при любой пространственной структуре сигнала $x_i(t)$ фазовый фронт будет восприниматься как плоский. Вместе с тем и при использовании лишь одной приемной антенны, модель статистической структуры многолучевого сигнала должна выбираться исходя из рассмотренных представлений.

Другим ограничением, подлежащим выбору, является период следования тест-сигналов T_T . Данный параметр следует сопоставлять с интервалом корреляции или τ_K случайных изменений сигнала $y(t)$. Очевидно для того, чтобы устройство корреляции успевало компенсировать случайные изменения искажений, период следования T_T должен быть таким, чтобы за это время не произошло заметных изменений ядерных функций $K_i(t)$. Опыт практического использования аналогичных алгоритмов показывает, что допустимые результаты получаются, если этот период выбирать из условий

$$T_T = \frac{\tau_K}{10}, \quad (6)$$

Если же на интервале корреляции τ_k укладывается порядка 100 отсчетных значений, то результаты являются достаточно хорошими, некомпенсированными остаются менее 1% искажений.

Диапазоны изменений управлений для амплитуд и фаз компенсационных сигналов обычно согласовывают со статистикой канала (Релей, Райс и др.), а сами регуляторы выполняют с использованием квадратурных разложений, что позволяет оставаться в рамках линейных процедур управляющих алгоритмов.

7. Синтез устройства компенсации искажений сигналов, принятых в многолучевом канале

Весовые коэффициенты, обеспечивающие компенсацию указанных искажений, созданных ядерными функциями $K_i(t)$ - образуют вектор $w(t)$ и представляют собой случайные процессы. В качестве математических моделей этих процессов можно использовать дифференциальные уравнения состояния [4]:

$$\frac{dw(t)}{dt} = F(t)w(t) + G(t)\xi(t), \quad (7)$$

где $F(t)$ и $G(t)$ - соответственно: матрицы состояния и генерации, элементы матрицы $F(t)$ суть величины α_{ij} - обратные значения интервалов корреляции многомерного процесса $w(t)$, $\xi(t)$ - порождающий гауссов белый шум (ГБШ), со спектральной плотностью мощности $N_\xi(t)$.

Для обычно используемой цифровой реализации процедур оценки и управления (7) принимает вид:

$$w(k+1) = \Phi(k+1, k)w(k) + G(k)\xi(k), \quad (8)$$

где $\Phi(k+1, k) = \exp\{-\alpha\Delta t\}$, $\alpha = \frac{1}{\tau_k}$, $\Delta t = T_T$ - шаг дискретизации рекурсивной

процедуры (8), $G(k) = \sqrt{\sigma_w^2(1 - \exp\{-\alpha\Delta t\})}$.

Для получения оценки оптимального вектора весовых коэффициентов (ВВК) $\hat{w}(k)$ воспользуемся процедурой Калмана – Бьюси (ФКБ) [4]:

$$\hat{w}(k+1) = \Phi(k+1, k)\hat{w}(k) + M(k)[y(k) - y_{\hat{y}}(k)], \quad (9)$$

где $y(k) = \hat{w}(k)x(k) + v(k)$, -

уравнение наблюдения полезного сигнала на фоне ГБШ $v(k)$ со спектральной плотностью мощности N_v . На рис.3 представлена структурная схема устройства коррекции приемных сигналов.

Коэффициент $M(k)$ - является аналогом шаговой постоянной в процедурах Уидроу–Хоффа, которая является оптимальной для ситуации, когда $K_i(k)$ - случайные процессы, в соответствии с ФКБ:

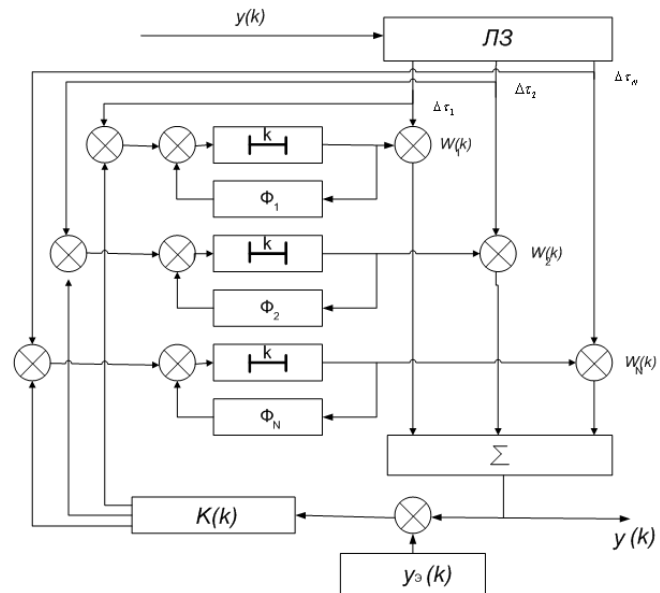


Рис.3. Структурная схема устройства коррекции принятых сигналов

$$K(k) = P(k)Y^T(k)N_0^{-1}, \quad (10)$$

где $Y(k)$ - вектор принятых сигналов на выходе линии задержки (ЛЗ), где выводы следуют через временные интервалы $\tau_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$. При этом $\sum_{i=1}^N \Delta\tau_i = \tau_k$ - интервал когерентности принятого многолучевого сигнала.

8. Заключение

1. Среди различных методов случайного множественного доступа наибольшим потенциалом по скорости разрешения конфликтов обладают древовидные алгоритмы с использованием последовательной компенсации помех SIC. Потенциальные возможности алгоритмов SIC могут быть реализованы при условии получения идентичности структур сигналов на соседних слотах, что достигается выбором амплитудно-фазовых выравнивателей.

2. Эффективный алгоритм амплитудно-фазового выравнивателя может быть получен, если учтена статистическая структура принимаемых сигналов, с учетом

корреляции этих сигналов на соседних слотах, степень когерентности принимаемых сигналов, что непосредственно определяет величину шага дискретизации для передачи эталонного сигнала и число отводов от линии задержки.

3. Удачной математической моделью многолучевого канала распространения радиосигнала может служить интегро-степенной полином Вольтерра 1-го рода с помощью которого можно адекватно отображать как линейные, так и нелинейные ситуации.

4. Оптимальной процедурой для реализации алгоритма амплитудно-фазового выравнителя является фильтр Калмана-Бьюси.

Список литературы: 1. *Yu, Y.* High-throughput random access using successive interference cancellation in a tree algorithm [Текст]/ Yu. Y., Giannakis G.B. // IEEE Transactions Inform. Theory. 2007. V.53, № 12, p. 4628-4639. 2. *Андреев, С.Д.* Древоподобный алгоритм разрешения конфликта, устойчивый к неполному погашению интерференции [Текст]/ Андреев С.Д., Пустовалов Е.В., Тюрликов А.М. // Автоматика и телемеханика. 2009, №3, стр. 78-96. 3. *Апарцин, А.С.* К исследованию устойчивости решений полиномиального уравнения Вольтерра 1 рода. [Текст]/ Апарцин А.С. // Автоматика и телемеханика 2011, №6, стр. 95-114. 4. *Поповский, В.В.* Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах. [Текст]/ Поповский В.В., Олейник В.Ф. // Х. СМІТ, 2011- 362с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.746.3:65.015.1

И.Ш. НЕВЛЮДОВ, докт. техн. наук, проф., зав. каф., ХНУРЭ, Харьков
А.А. АНДРУСЕВИЧ, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков
Е.П. ВТОРОВ, канд. техн. наук, проф., ХНУРЭ, Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЭС

Рассмотрены вопросы мониторинга ЖЦ РЭС на этапе производства. На основе решения задач теории флуктуаций приводится обоснование связи между процессами формирования соединения, качеством соединения и наблюдаемой поверхностью монтажных соединений.

Ключевые слова: жизненный цикл, мониторинг, монтажные соединения, контроль процесса монтажа, радиоэлектронные средства

Розглянуті питання моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапі виробництва. На основі вирішення завдань теорії флуктуацій приводиться обґрунтування зв'язку між процесами формування з'єднання, якістю з'єднання і спостережуваної поверхні монтажних з'єднань.

Ключові слова: життєвий цикл, моніторинг, монтажні з'єднання, контроль процесу монтажу, радіоелектронні засоби

The questions of LC REF monitoring are considered on the stage of production. On the basis of tasks decision the fluctuations theory a ground over of connection is brought between the processes of connection forming, quality of connection and looked after surface of assembling connections.

Keywords: life cycle, monitoring, assembling connections, control of editing process, radioelectronical facilities