

УДК 621.396.946

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Е.П. Ворошилин, Е.В. Рогожников, А.С. Вершинин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: nvi@sibmail.com; udzhon@sibmail.com; vershkoff@sibmail.com

Статья посвящена разработке метода оценки передаточной функции канала распространения радиоволн, использующего для увеличения точности априорные данные о параметрах канала. В основе работы лежат широко известные методы оценки передаточной функции канала: методы наименьших квадратов, фильтров Калмана и Винера. Проведено статистическое моделирование методов. Рассчитана среднеквадратическая ошибка оценки передаточной функции канала в зависимости от отношения сигнал/шум. Разработанный метод позволяет существенно повысить точность оценки передаточной функции канала распространения радиоволн за счет учета конечного числа отраженных сигналов на реальных трассах.

Ключевые слова:

Канал распространения радиоволн, импульсная характеристика, передаточная функция, метод наименьших квадратов, фильтр Калмана, фильтр Винера.

Key words:

Channel radio wave propagation, impulse response, transfer function, least-squares method, the method of Kalman filter, Winer filter method.

Введение

Канал распространения радиоволн (РРВ) существенно влияет на качество работы современных беспроводных систем связи. Для устранения влияния канала на практике используются алгоритмы эквалайзирования предполагающие оперативную оценку передаточной функции канала. Эффективность эквалайзирования напрямую определяется точностью оценки передаточной функции. Поскольку одним из ключевых требований к современным системам широкополосного беспроводного доступа является высокая скорость передачи данных, то алгоритмы оценки передаточной функции канала должны совмещать высокую точность оценки и простоту реализации. На практике наиболее часто для

оценки передаточной функции канала распространения радиоволн применяются: метод наименьших квадратов, метод фильтров Винера и Калмана, корреляционный метод. Данные методы позволяют получать оптимальные оценки передаточной функции канала РРВ при условии известного излученного сигнала (в системах связи для этой цели используют специальные сигналы – преамбулы).

В данной работе предполагается, что дополнительным резервом для повышения точности оценки является использование априорных данных о параметрах импульсной характеристики канала РРВ.

Таблица. Модели каналов для беспроводных систем связи

Модель	Параметры модели										
1	Задержка, нс	0	110	190	410						
	Ослабление, дБ	0	-9,7	-19,2	-22,8						
2	Задержка, нс	0	200	800	1200	2300	2700				
	Ослабление, дБ	0	-0,9	-8	-7,8	-18	-23,9				
3	Задержка, нс	0	310	710	1090	1730	2510				
	Ослабление, дБ	0	-1	-9	-10	-15	-20				
4	Задержка, нс	0	217	512	514	517	674	882	1230	1287	1311
	Ослабление, дБ	-5,7	-7,6	-10,1	-10,2	-10,2	-11,5	-13,4	-16,3	-16,9	-17,1
	Задержка, нс	1349	1533	1535	1622	1818	1836	1884	1943	2048	2140
	Ослабление, дБ	-17,4	-19	-19	-19,8	-21,5	-21,6	-22,1	-22,6	-23,5	-24,3
5	Задержка, нс	0	42	101	129	149	245	312	410	469	528
	Ослабление, дБ	-5,2	-6,4	-8,4	-9,3	-10	-13,1	-15,3	-18,5	-20,4	-22,4
6	Задержка, нс	0	30	70	90	110	190	410			
	Ослабление, дБ	0,0	-1,0	-2,0	-3,0	-8,0	-17,2	-20,8			
7	Задержка, нс	0	30	150	310	370	710	1090	1730	2510	
	Ослабление, дБ	0,0	-1,5	-1,4	-3,6	-0,6	-9,1	-7,0	-12,0	-16,9	

Модели канала РРВ для беспроводных систем связи

Для современных систем связи и широкополосного беспроводного доступа разработаны многочисленные модели каналов распространения радиоволн [1]. Обычно канал представляется многолучевым каналом с однократным рассеянием. В качестве параметров канала задаются задержки лучей и их мощности. Примеры стандартных каналов для ровной, пересеченной местности и в зоне городской застройки приведены в таблице [2, 3].

В результате аналитического обзора литературы [4, 5] было получено, что в подавляющем большинстве реальных случаев использования наземных систем связи количество лучей в моделях не превышает 20. Типовые значения от 3 (для сельской местности) до 12 (для городских условий). Это знание можно использовать для увеличения точности оценки передаточной функции канала РРВ и, как следствие, уменьшения вероятности битовой ошибки.

Способ дополнительной обработки импульсной характеристики

Импульсная характеристика оценивается с ошибкой, которую можно представить в виде аддитивного случайного процесса $n_{\hat{h}}(t_k)$.

$$\hat{h}(t_k) = h_{ideal}(t_k) + n_{\hat{h}}(t_k), k = 1..N,$$

где $\hat{h}(t_k)$ – оценка импульсной характеристики (ИХ) канала РРВ; $h_{ideal}(t_k)$ – импульсная характеристика канала; $n_{\hat{h}}(t_k)$ – ошибка оценки; t_k – дискретное время; N – длительность интервала времени на котором производится оценка.

Параметры процесса $n_{\hat{h}}(t_k)$ зависят от способа оценки импульсной характеристики, отношения сигнал/шум, вида зондирующего сигнала и параметров импульсной характеристики. Процесс $n_{\hat{h}}(t_k)$ определен во всех N отсчетах оценки импульсной характеристики $\hat{h}(t_k)$, а отсчеты $h_{ideal}(t_k)$ (для наземных систем связи), напротив, определены только в $N_{ИХ}$ (1–20) отсчетах. Таким образом, в $N - N_{ИХ}$ отсчетах определен только шум оценки. Следовательно, при оценке передаточной функции канала РРВ, можно исключить шумовые отсчеты из расчета.

Как отличить шумовые отсчеты от отсчетов импульсной характеристики? Известно, что вклад отсчетов импульсной характеристики с наибольшей мощностью в оценку передаточной функции наибольший. Отсчеты малого уровня, практически не сказываются на точности оценки, кроме того, они обычно сильно искажены за счет влияния шума. Таким образом, предлагается для оценки передаточной функции канала распространения радиоволн для наземных систем широкополосного беспроводного доступа использовать не более 20 отсчетов оценки импульсной характеристики с наибольшим уровнем, остальные отсчеты обнулять. Такой подход должен существенно повысить точность оценки передаточной функции, при минимальных вычислительных затратах на дополнительную обработку импульсной характеристики.

Известные методы оценки импульсной характеристики

Метод наименьших квадратов (МНК). Для оценки ИХ методом МНК используется выражение [6]:

$$\hat{\mathbf{h}}_{МНК} = (\mathbf{F}^T \mathbf{R} \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{R} \mathbf{s}_{ex},$$

где $\mathbf{s}_{ex}$ – m -мерный вектор-столбец наблюдений с координатами; $\mathbf{R}$ – положительно определенная и симметричная матрица весовых коэффициентов; $\mathbf{F}$ – матрица размера $(m \times r)$.

Откуда следует, что оптимальная по методу наименьших квадратов оценка ИХ находится в результате линейной операции над входными данными.

Метод фильтра Винера [7]. Получение оценки передаточной функции сводится к пропусканию принимаемого сигнала через фильтр с заданной передаточной функцией $H(j\omega)$.

$$H(j\omega) = \frac{S_{ex}^*(j\omega)}{|S_{ex}(j\omega)|^2 + \Phi_N(j\omega)},$$

где $S_{ex}(j\omega)$ – нормированный спектр излучаемого сигнала; $\Phi_N(j\omega)$ – энергетический спектр шума.

Оптимальная оценка передаточной функции канала распространения приобретает вид:

$$\hat{K}(j\omega) = H(j\omega) \cdot S_{вх}(j\omega),$$

где $S_{вх}(j\omega)$ – спектр принимаемого сигнала, $\hat{K}(j\omega)$ – передаточная функция канала РРВ.

Оценка ИХ находится путем вычисления обратного Фурье преобразования от передаточной функции канала РРВ $\hat{K}(j\omega)$.

Метод фильтра Калмана [8, 9]. Для получения оценки $\hat{h}(t_k)$ (в соответствии с критерием минимума среднеквадратической ошибки (СКО) и в предположении линейности оператора оценивания) необходимы лишь матрицы математических ожиданий и ковариаций процессов (состояний системы и шума наблюдений).

Статистическое моделирование

Требуется проверить на сколько повысится точность оценки передаточной функции при использовании модификации известных методов.

Проверку правильности высказанного предположения проведем путем численного моделирования. Для этого реализуем методы оценки импульсной характеристики канала РРВ (метод наименьших квадратов, фильтры Винера и Калмана). Зададим модели каналов, характерные для реальных систем связи, с числом лучей от 1 до 20. По известным сигналам на входах и выходах каналов РРВ оценим импульсные характеристики каждым из перечисленных выше методов. Проведем их дополнительную обработку (обнулим шумовые отсчеты). Вычислим оценки передаточной функции для каждого из способов. Многократно повторим расчеты для разных моделей канала РРВ и отношений сигнал/шум. Проведем статистическую обработку результатов. Сравним точность оценки пере-

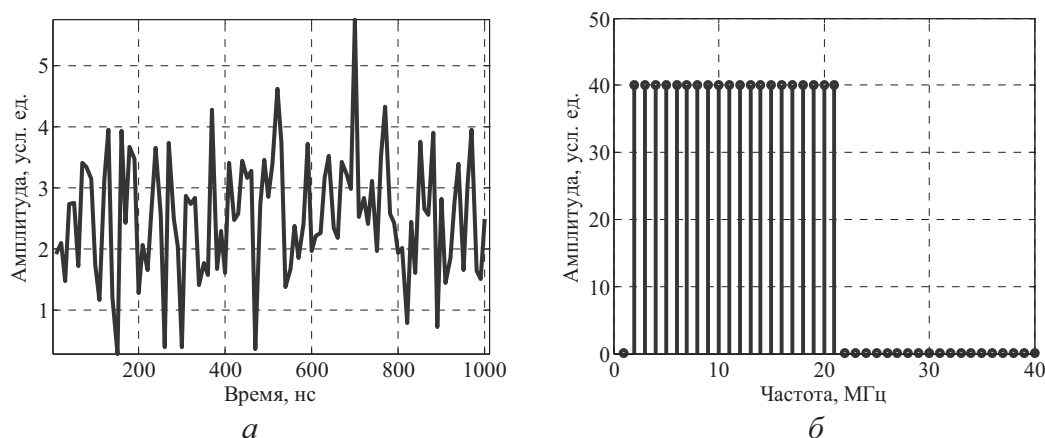


Рис. 1. Исходный сигнал во временной (а) и частотной (б) области

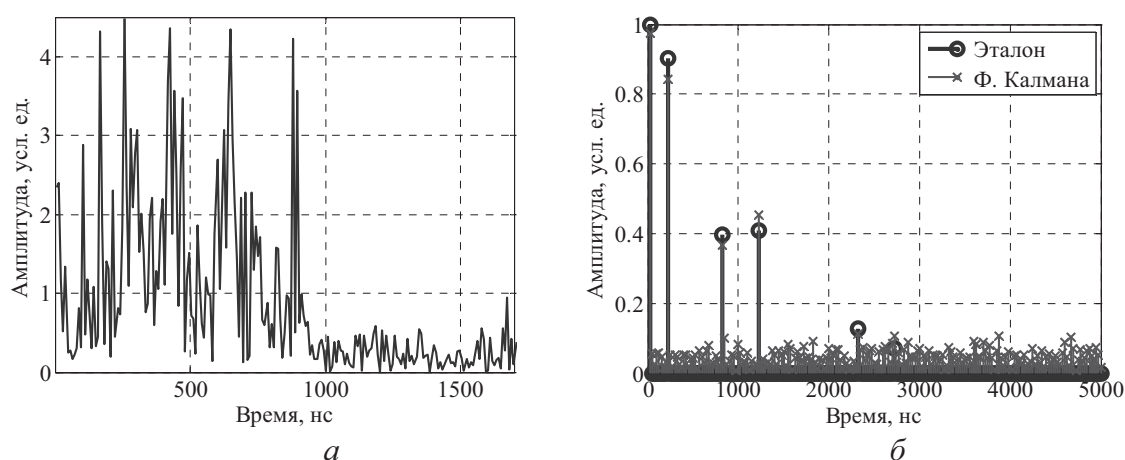


Рис. 2. Реализация сигнала на выходе канала (а) и истинная и оцененная ИХ канала по методу фильтра Калмана (б) при отношении сигнал/шум 13 дБ

даточно функции до применения предложенного способа и после.

В качестве исходного сигнала принят OFDM сигнал, длительностью 1000 нс. Сигнал во временной и частотной области приведен на рис. 1.

Для моделирования использовались семь различных моделей импульсной характеристики канала РРВ [2, 3] (см. таблицу). Максимальная задержка в модели 2700 нс. Реализация сигнала на выходе канала РРВ и оценка ИХ канала РРВ приведены на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что отраженные сигналы большого уровня выделяются на фоне шума. Известно, что максимальное число лучей для систем связи не превышает 20 [5, 6]. Обычно же для описания канала достаточно определить правильно параметры от 3 до 12 лучей. Исходя из этого, предлагается для определения передаточной функции канала РРВ использовать только лучи с максимальной амплитудой числом не более 20. Остальные отсчеты ИХ следует обнулять, как обусловленные ошибками оценки.

Таким образом, для систем связи с числом лучей не более 20 можно провести модификацию ме-

тодов оценки передаточной функции, которая заключается в предварительном «прореживании» оценки ИХ. Такая модификация может быть применена к любому из выше описанных методов (фильтров Калмана и Винера, МНК). Поскольку метод фильтра Калмана достаточно сложен в реализации, для получения оценки ИХ по методу фильтра Винера необходимо вычисление обратного преобразования Фурье. Поэтому для решения задачи предлагается использовать модификацию метода наименьших квадратов, рис. 3.

На рис. 4 приведены эталонная и оцененные передаточные функции канала при отношениях сигнал/шум 8 и 16 дБ.

Как видно из рис. 4, наиболее близко к эталонной передаточной функции лежит оценка, вычисленная модифицированным методом.

Обобщим полученные результаты для отношений сигнал/шум от 3 до 25 дБ для десяти различных каналов распространения радиоволн [2, 3], введя в качестве меры точности оценки передаточной функции канала РРВ СКО разности между оценкой и истинным значением передаточной функции:

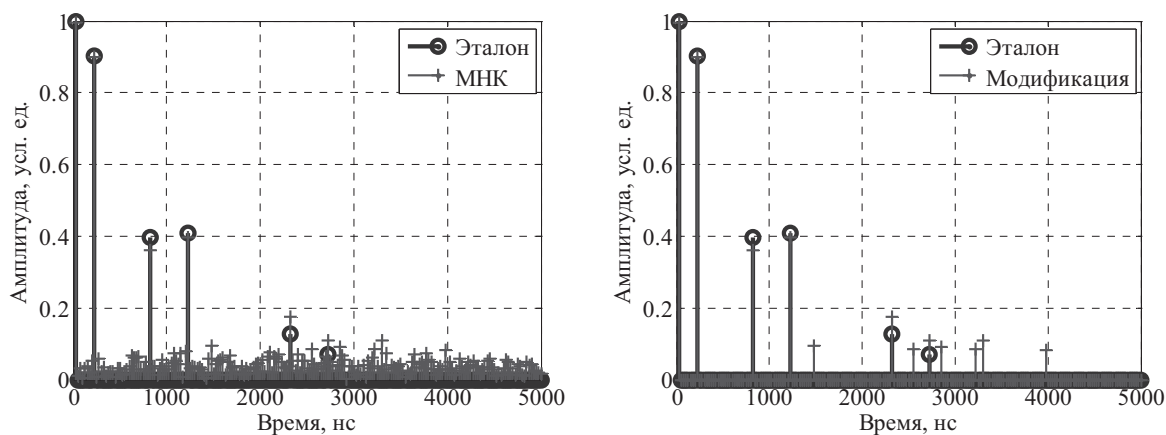


Рис. 3. Истинная и оцененные ИХ канала, по методу наименьших квадратов и модифицированному методу при отношении сигнал/шум 10 дБ

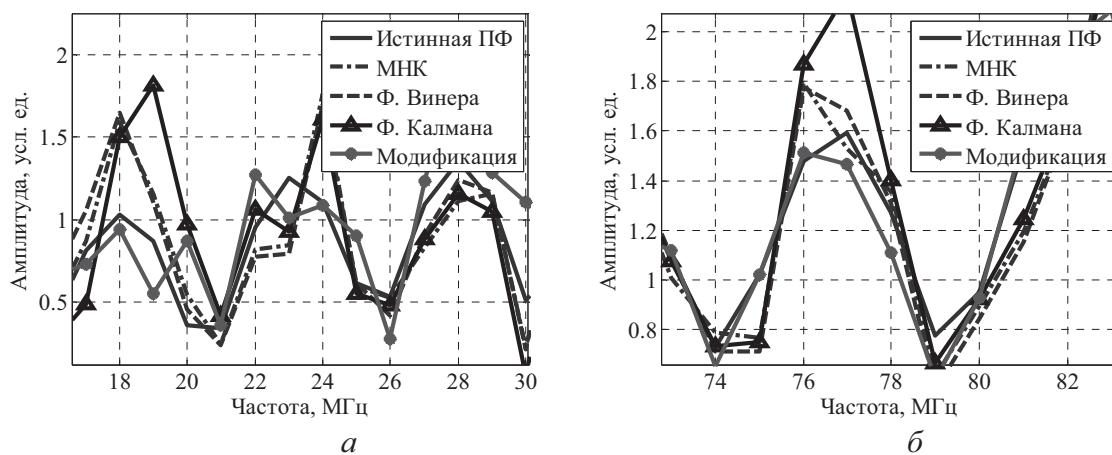


Рис. 4. Передаточные функции канала при отношениях сигнал/шум: а) 8 и б) 16 дБ

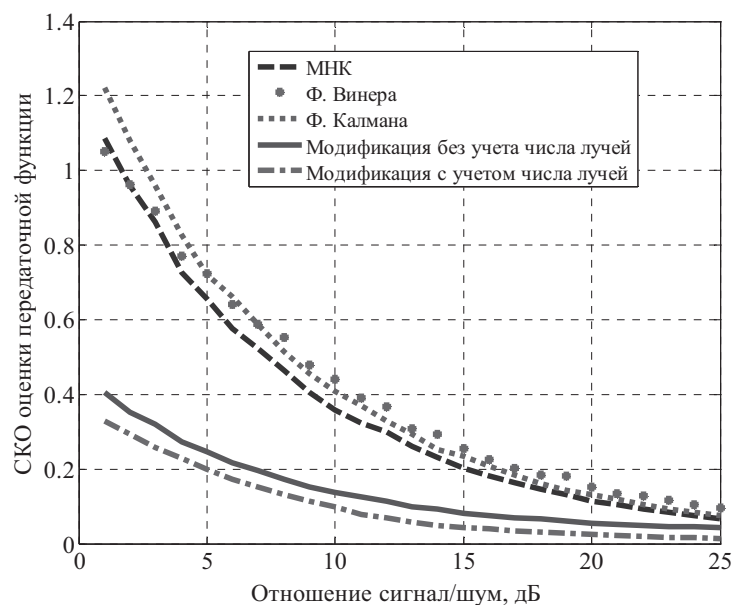


Рис. 5. Зависимость СКО оценки передаточной функции канала РРВ от отношения сигнал/шум: 1) с учетом числа лучей в канале; 2) ожидаемое число лучей (одинаково для различных каналов)

$$\text{СКО} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{S}_i - \text{Suct}_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

где $\hat{S}_i$ – оцененный отсчет ПФ; Suct_i – отсчет истинной ПФ; N – число отсчетов ПФ.

Результаты моделирования приведены на рис. 5.

Как следует из рис. 5, использование априорных сведений о количестве лучей в канале позволяет повысить точность оценки передаточной функции канала распространения радиоволн. Модификация методов может быть применена для решения задачи эквалайзирования в системах беспроводного широкополосного доступа, вычислительные зат-

раты на ее реализацию минимальны, а выигрыш от применения существенный.

Выводы

Показано, что модификация методов оценки импульсной характеристики канала распространения радиоволн ее прореживанием от шумовых отсчетов (оставляют 6–20 наиболее вероятных отсчетов максимальной амплитуды) приводит к уменьшению ошибки оценки передаточной функции до 3 раз при отношении сигнал/шум 3 дБ.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 13.G25.31.0011 от 07.09.2010 в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. Пер с англ. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
2. Summary of delay profiles for MBWA. 2011. URL: <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-03-77.pdf> (дата обращения: 08.05.2011).
3. Channel Models: A Tutorial. 2011. URL: http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel_model_tutorial.pdf (дата обращения: 08.05.2011).
4. Тисленко В.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 153 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2005. – 604 с.
6. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1989. – 439 с.
7. Оппенгейм Э. Применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1980. – 550 с.
8. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
9. Тисленко В.И., Савин А.А. Синтез квазиоптимального фильтра для оценки временного положения импульсного сигнала известной формы при многолучевом распространении радиоволн // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2006. – Т. 1. – № 6. – С. 56–62.

Поступила 10.05.2011 г.

УДК 519.688;004.92

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В.В. Парубец, О.Г. Берестнева

Томский политехнический университет
E-mail: VParubets.mail@gmail.com

Рассматривается математическая модель построения освещения в базе сферических функций для трёхмерной сцены. Предлагается вариант распараллеленного предварительного расчёта коэффициентов разложения точек сцены по базису с применением технологии nVidia CUDA. Приводится сравнение производительности при счёте на центральных и графических процессорах.

Ключевые слова:

Обобщённая двулучевая функция распределения света, nVidia CUDA.

Key words:

Bidirectional reflectance distribution function, nVidia CUDA.

Введение

Расчёт освещения в базе сферических функций является одним из хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов, применяющихся во множестве приложений компьютерной графики. Основной проблемой данного метода является длительный и ресурсоёмкий предварительный расчёт сфе-

рических гармоник для каждой точки трёхмерной сцены. Такая задача может быть распараллелена по данным. В описанном случае для наибольшей производительности решено применить технологию, позволяющую получить доступ к вычислительным ресурсам графических процессоров – CUDA от компании nVidia.