

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕМА РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Косолапов В. В.¹, Миллер А. И.², Хлусов В. А.²

¹ГОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
пр. Ленина, 40, г. Томск, 634050, Россия

²ЗАО «НПФ «Микран»,
ул. Вершинина, 47, г. Томск, 634045, Россия
тел.: +7 (3822) 413-562, e-mail: vitol@sibmail.com

Аннотация — Приводится обоснование принципов оптимизации параметров модема радиорелейной линии связи на стадии разработки. В качестве исходных данных использованы экспериментально полученные импульсные характеристики закрытой трассы, протяженностью 7,8 км. По результатам обработки полученных данных рассчитаны значения среднеквадратического разброса задержек и полосы когерентности радиоканала, на основании которых сформированы первоначальные требования к виду и параметрам модуляции, а также к эквалайзеру модема.

I. Введение

Как правило, беспроводные устройства связи работают в условиях многолучевого распространения радиоволн. Это вызывает появление межсимвольной интерференции (МСИ), что негативно сказывается на качестве канала связи. Если величина временного рассеяния в канале больше длительности одного символа передачи, то для устойчивой работы модема в схему приемника добавляется адаптивный фильтр для компенсации частотной характеристики или используются устойчивые к МСИ схемы модуляции: OFDM, DSSS и др. Таким образом, для оптимизации структуры модема, требуется знать характер многолучевости трассы, в условиях которой он будет работать.

Основной характеристикой многолучевости является импульсная характеристика (ИХ), знание которой позволяет рассчитать полосу когерентности в радиоканале. Исходя из значения полосы когерентности и полосы частот, в которой работает модем, можно сформировать оптимальные требования для модема, такие, как необходимость адаптивной фильтрации в приемнике и тип модуляции, с последующей оптимизацией их параметров.

Согласно [1], полоса когерентности с коэффициентом корреляции не менее 0,9 определяется следующим выражением:

$$f_k \approx 1 / (50 \cdot \sigma_\tau),$$

где σ_τ — среднеквадратический разброс задержек (СРЗ). В свою очередь, СРЗ является наиболее важным параметром ИХ радиоканала, характеризующим временное рассеяние. В соответствии с [2] СРЗ определяется по формуле:

$$\sigma_\tau = \sqrt{M[\tau^2] - (\tau_{avg})^2},$$

где $M[\tau^2]$ — второй момент, τ_{avg} — среднее время задержки. Второй момент и среднее время задержки определяются по следующим выражениям:

$$M[\tau^2] = \frac{\sum_i P(\tau_i) \cdot \tau_i^2}{\sum_i P(\tau_i)}, \quad \tau_{avg} = \frac{\sum_i P(\tau_i) \cdot \tau_i}{\sum_i P(\tau_i)},$$

где $P(\tau_i)$ — мощность i -го луча в момент времени $T = \tau_i$.

II. Экспериментальная часть

Для экспериментальной оценки ИХ радиоканала был разработан программно-аппаратный комплекс, основанный на базе стандартного приемопередающего оборудования фирмы «Микран». Принцип работы основан на передаче известного зондирующего сигнала ЛЧМ и его гомодинной обработке на приемном конце.

Измерительный комплекс состоит из комплекта приемно-передающей аппаратуры, набора антенн и 2-х комплектов ЭВМ. В табл. 1 представлены основные технические характеристики системы.

Табл. 1. Основные технические характеристики

Table 1. General technical characteristics

Параметр	Значение
Период зондирующего сигнала, мс	10
Полоса зондирующего сигнала, МГц	12
Разрешение ИХ по времени, нс	100
Мощность передатчика, Вт	до 1
Диапазон частот, МГц	400 ÷ 600

Измерения проводились на закрытой трассе в Томской обл., протяженностью 7,8 км в течении 2-х недель. Профиль трассы представлен на рис. 1 и построен в программе *Radio Mobile* [3].

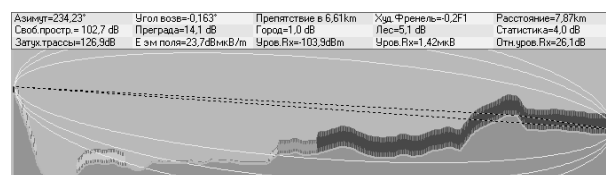


Рис. 1. Профиль трассы.

Fig. 1. Path trace profile

Передача зондирующего сигнала велась периодически каждый час в течение 3-х мин. За каждое измерение фиксировалось около 11000 оценок ИХ.

III. Полученные результаты

Расчет СРЗ проводился по усредненной ИХ, построенной по 100 реализациям. Интервал интегрирования ИХ выбирался исходя из порогового значения мощности $P_{пор}$, которую должен превышать принимаемый сигнал. На рис. 2 представлена одна из полученных усредненных нормированных ИХ.

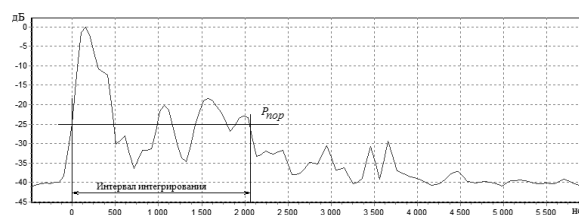


Рис. 2. Усредненная нормированная ИХ.

Fig. 2. Average normalized IR

По результатам обработки совокупности измерений, были рассчитаны значения СРЗ и полосы когерентности с корреляцией 0,9 для следующих значений порогового значения мощности: -15, -20 и -25 дБ. Соответствующие данные представлены в табл. 2, 3.

Табл. 2. СРЗ

Table 2. RMS Delay Spread

$P_{\text{пор}}, \text{дБ}$	$\sigma_{\text{т ср.}}, \text{нс}$	$\sigma_{\text{т мин.}}, \text{нс}$	$\sigma_{\text{т макс.}}, \text{нс}$
-15	70	38	441
-20	156	50	444
-25	272	131	449

Табл. 3. Полоса когерентности

Table 3. Coherence bandwidth

$P_{\text{пор}}, \text{дБ}$	$f_{\text{к ср.}}, \text{кГц}$	$f_{\text{к мин.}}, \text{кГц}$	$f_{\text{к макс.}}, \text{кГц}$
-15	286	45,5	526
-20	128	45	400
-25	74	44,5	153

На основе полученных результатов можно сформулировать следующие требования к параметрам модема, работающего в полосе частот $\Delta f = 8 \text{ МГц}$. Выбор такой полосы частот обусловлен работой модема на частотах, не занятых телевизионными каналами.

Из условия $\Delta f > f_k$ следует, что модем должен быть построен с использованием адаптивной фильтрации или устойчивой к МСИ модуляции.

В случае использования вида модуляции, устойчивой к МСИ, знание f_k и σ_t позволяет оптимально задать ее параметрами. Например, для модуляции OFDM это определение минимальной базы преобразования Фурье и выбор длины префикса. В данном случае при модуляции данных QAM64 ($P_{\text{пор}} < -25 \text{ дБ}$) требуется база не менее 128 ($\Delta f/f_k \approx 108$, где 128 — ближайшее число, кратное степени 2) и длина префикса не менее $1/32$ от общей длины пакета ($(\sigma_{\text{т макс.}} \cdot \Delta f)/128 \approx 0,028$, где $1/32$ ближайшая дробь, где знаменатель кратен степени 2).

В случае использования видов модуляции, неустойчивых к МСИ, в приемнике потребуется адаптивный фильтр, порядок которого должен быть не менее 28 ($\Delta f/f_k \approx 28$) при модуляции данных, например, QPSK ($P_{\text{пор}} < -13 \text{ дБ}$).

IV. Заключение

Описанный в статье подход оптимизации параметров модема позволяет обосновать требования к выбору вида модуляции, а также определить ее оптимальные параметры. Для приемника с адаптивной фильтрацией отношение полосы когерентности к полосе частот, в которой работает модем, дает прямую оценку требуемого минимального порядка адаптивного фильтра.

V. Список литературы

- [1] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Издание 2-е, исправленное: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 978 с.

- [2] Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики. Учеб. Пособие. М.: Эко-Трендз, 2005. 250 с.
[3] Radio Mobile WEB Site. URL: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> (дата обращения: 23.04.2012).

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MODEM RADIO-RELAY COMMUNICATION LINE

Kosolapov V. V.¹, Miller A. I.², Hlusov V. A.²
¹Tomsk State University of the

Control Systems and Radioelectronics
40, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia
²MICRAN Co

47, Vershinina Str., Tomsk, 634045, Russia
Ph.: +7 (3822) 413-562, e-mail: vitol@sibmail.com

Abstract — The paper describes the principle of optimizing parameters of a modem on the basis of experimentally measured impulse response of the trace.

I. Introduction

As a rule, the wireless devices work in conditions of multipath propagation. This causes the appearance of intersymbol interference (ISI), which negatively affects the quality of the communication channel. For stable operation under these conditions the modem is added to the adaptive filter to compensate the frequency response or use the modulation schemes stable to ISI.

The main characteristic of a multipath channel is impulse response (IR), which its value attainment allows calculating the coherence bandwidth in the channel. Based on the values of coherence bandwidth and the bandwidth of the modem, one can create the optimal requirements for the modem in the design phase.

II, III. Main Part

As a result of processing of experimentally obtained impulse responses RMS delay spread and coherence bandwidths are calculated (table 2-3). Taking into account these results we can establish the following requirements to the parameters of the modem operating in the frequency band $\Delta f = 8 \text{ MHz}$. The choice of a frequency band is made due to the operation of the modem at frequencies not occupied by TV channels.

From the condition $\Delta f > f_k$ it follows that the modem should be built using adaptive filtering or being stable to ISI modulation.

In the case of modulation type, stable to ISI, the knowledge of f_k and σ_t allows setting the parameters in the optimal way. For example, for the OFDM modulation it is the determination of a minimal basis of the Fourier transform and the choice of the prefix length. In this case, the data modulation of QAM64 ($P_{\text{пор}} < -25 \text{ dB}$) requires the base of FFT not less than 128 and the prefix length of at least $1/32$ of a total length of the packet. If one uses an equalizer in the receiver, it will require an adaptive filter, whose order must be at least 28, with data modulation QPSK ($P_{\text{пор}} < -13 \text{ dB}$).

IV. Conclusion

The approach described in the paper allows justifying the requirements to the choice of modulation types, as well as to determining its optimal parameters.