

Институт Радиотехники и Электроники РАН  
101999, Москва, Моховая 11, стр. 7,  
тел.(095)202-1591, факс: (095)203-8414, E-mail: [andreyev@mail.cplire.ru](mailto:andreyev@mail.cplire.ru)

При передаче речевой информации в цифровом виде по радиоканалу в миллиметровом диапазоне волн (ММВ) возможны воздействия на передаваемый поток информации аддитивных (дельта-коррелированный шум)[1] и мультипликативных (замирания сигнала)[2] помех. Помехи снижают качество принимаемой информации, оцениваемое зависимостью вероятности ошибки  $P_e$  от отношения сигнал-шум  $q_0^2$  [1].

Известны различные[2,3,4] способы уменьшения вероятности ошибки. Основными являются:

- Использование шумоподобных сигналов (ШПС);
- Кодирование.

Преимуществом первого способа[1,5] является возможность снижения вероятности ошибки во всем диапазоне отношений сигнал-шум, даже когда уровень сигнала меньше уровня шума. Недостатком его является многократное расширение спектра сигнала при неизменной информационной скорости, сложность обработки сигнала.

Различные методы кодирования[3,4] позволяют снизить вероятность ошибки без существенного расширения спектра, однако снижение происходит лишь при высоких значениях  $q$ , тогда как при малых  $q$  происходит наоборот увеличение вероятности ошибки (порождение ошибок).

Одним из оптимальных методов кодирования[3] является сверточное кодирование с последующим декодированием по алгоритму Витерби. При относительно малой длине кодового ограничения данный метод позволяет исправлять большее количество ошибок, чем, например, блочное кодирование[3].

Задача состояла в оценке вероятности ошибки при произвольном отношении сигнал-шум и решалась компьютерным моделированием.

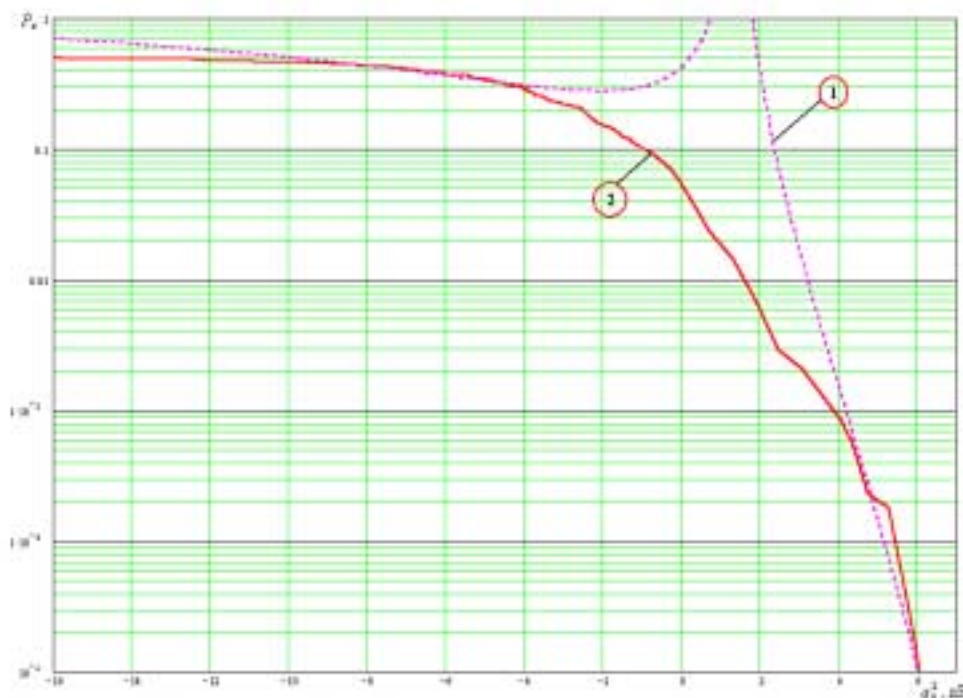


Рис.1. Результаты моделирования в сравнении с теоретической оценкой[8] для сигналов ФМ-2 с кодированием (1 – теоретическая оценка, 2 – результаты моделирования).

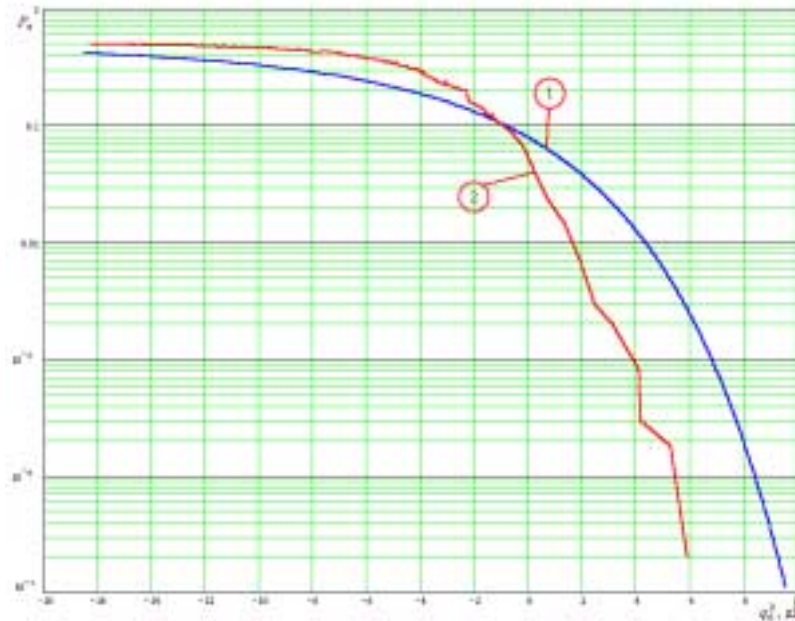


Рис. 2. Сравнение теоретической зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал-шум для ФМ-2 без кодирования (кривая 1) и зависимости, полученной в ходе моделирования, для сигналов ФМ-2 с кодированием (кривая 2).

Для отработки программ и возможности сопоставления с точным аналитическим выражением зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал-шум  $P_e = P_e(q_0^2)$  [6] моделировался сигнал ФМ-2 в системе LabVIEW [7].

Были исследованы зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал-шум для сигнала ФМ-2 без сверточного кодирования и со сверточным кодированием.

Минимальная вероятность ошибки достигается при когерентном детектировании сигналов ФМ-2 с фазами 0 и  $\pi$ . Однако, при этом, недостатком данного типа обработки сигнала является относительная сложность применяемой аппаратуры.

При моделировании сигнала ФМ-2 со сверточным кодированием использовалась модель кодера со скоростью кодирования  $\frac{1}{2}$  и формулой 7,5. В приемной части модели сигнал подвергался когерентной оптимальной обработке и декодированию по алгоритму Витерби.

На рис. 1 представлены теоретическая оценка [8] вероятности ошибки кодированного ФМ сигнала и результаты моделирования.

Как следует из анализа кривых на рис.1, оценка вероятности ошибки при применении сверточного кодирования для сигнала ФМ-2 в диапазоне  $\pm 4$  дБ существенно отличается от результатов моделирования.

На рис.2 приведены теоретическая зависимость для некодированного сигнала ФМ-2 [6] и результаты моделирования.

На рис.3 приведены – теоретическая зависимость  $P_e = P_e(q_0^2)$  (сплошная линия) для некодированного сигнала СФМ-4 и результаты моделирования (точки) для СФМ-4 кодированного. Моделирование проводилось в пакете MathCAD.

Основные результаты:

- Компьютерным моделированием показано, что аналитическая оценка верхней границы вероятности ошибки при сверточном кодировании и декодировании по Витерби справедлива при  $q_0^2$  более 4 дБ. Выигрыш от применения кодирования и последующего декодирования по Витерби сигнала ФМ-2 при  $q_0^2 = 4$  дБ снижает более чем на порядок вероятность ошибки.

- Моделирование в среде LabVIEW представляется более целесообразным, чем, например, в пакете MathCAD, так как в среде LabVIEW моделирование адекватнее реальности, потому что по существу оно близко к физическому.

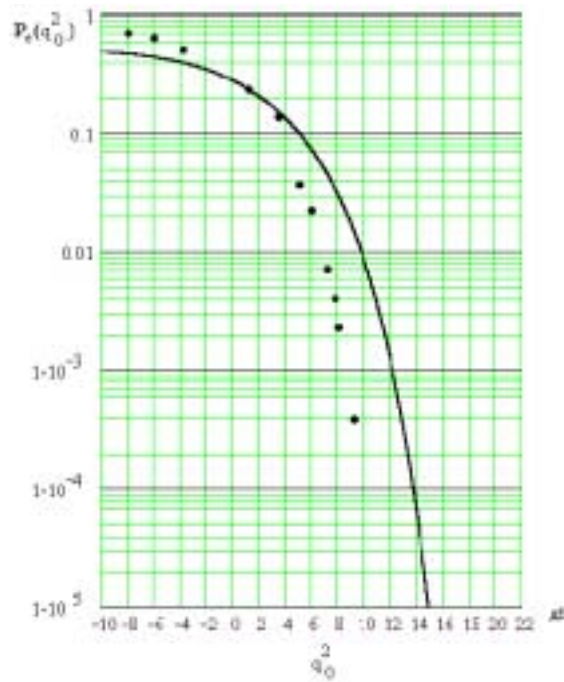


Рис. 3. Вероятность ошибки сигнала СФМ-4 со сверхточным кодированием и декодированием по Витерби в сравнении теоретической оценкой для некодированного сигнала.

#### Литература.

1. Прокис Дж. Цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000г.
2. Частотные характеристики в миллиметровом диапазоне волн турбулентного тропосферного радиоканала над хаотичной подстилающей поверхностью. Андреев Г.А., Огарев С.А., Хохлов Г.И. Радиотехника и электроника. 1994г, №11.
3. Дж. Кларк,мл., Дж. Кейн. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. - М.: Радио и связь, 1987г.
4. Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. - М.: Радио и связь, 1988г.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами.
6. Окунев Ю.Б. Цифровые методы передачи информации фазоманипулированными сигналами. - М.: Радио и связь, 1991г.
7. Жарков В.П., Каратаев В.В., Никифоров В.Ф., Панов В.С. Использование виртуальных инструментов LabVIEW. М.: Радио и связь, 1999г.
8. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. – М.: Связь, 1978 г.
9. Дьяконов В.П. MathCAD 7 PRO. Руководство пользователя. М.: СК Пресс. 1999г.



MODELLING OF MISTAKES PROBABILITY CODED QPSK SIGNALS MILLIMETERS RANGE

Andreev G., Andrianov M., Solovjev A.V.

Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Science,  
7 building, 11 Mokhovaya Str., Moscow 101999, RUSSIA  
fax: (095) 203-8414, ph.: 202-1591, E-mail: [andreyev@mail.cplire.ru](mailto:andreyev@mail.cplire.ru)

By transmitter of the speech information to a digital millimeter radiochannel possible influences on a transmitted additive (delta-correlated noise) [1] and multiplicate (signal fading) [2] noises. Noise reduce the quality of the received information, which estimated by dependence of mistake probability  $P_e$  from the signal - noise relation  $q_0^2$  [1].

Known different ways [2,3,4] of reducing probability of mistake:

- Using the pseudo-noise signals (PNS);
- Coding.

Advantage of first way [1,5] is a possibility of reducing mistake probability in all range of a signal-noise relation, even when the level of a signal is less than noise level. Disadvantage of this method is repeated expansion of a signal spectrum at constant information speed, difficulty of processing of a signal.

Different methods of coding [3,4] allow to reduce mistake probability without essential increase of a spectrum, however decrease occurs only at high values  $q_0^2$ , at small  $q_0^2$  occurs increasing probability of a mistake (generation of mistakes).

One of the optimum coding methods [3] is convolutional coding and decoding by algorithm Viterbi. At rather small length of code restriction the given method allows to correct a lot of mistakes, than, for example, block coding [3].

The task consist in an estimation of probability of a mistake at the any relation signal-noise and was solved computer modelling.

For comparison to exact analytical expression of dependence mistake probability from the relation signal-noise  $P_e = P_e(q_0^2)$  [6] was modelled BPSK signal in LabVIEW and QPSK signal in MathCAD [8].

By computer modelling it is shown, that the analytical estimation of the top border of mistake probability at convolutional coding and decoding by algorithm Viterbi on is fair at more 4 dB. Advantage from application of coding and decoding by Viterbi signal BPSK at  $q_0^2 = 4$  dB reduces more than on the order mistake probability.

Modelling in LabVIEW is more adequate than a reality, than modeling in MathCAD.

References

1. Digital communication. Proakis J.– M.: Radio and communication, 2000.
2. Frequency characteristics in a millimetric wave band of the turbulent tropospheric radiochannel above a chaotic spreading surface. Andreyev G., Ogarov S., Hohlov G. Radio engineering and electronics. 1994, №11.
3. Coding with correction of mistakes in systems of digital communication. J. Clark, J. Keyn.– M.: Radio and communication, 1987.
4. Banket V.L., Dorofeev V.M. Digital methods in a satellite communication. – M.: Radio and communication, 1988.
5. Varakin L.E. Communication networks with pseudo-noise signals.
6. Okunev U.B. Digital methods of transmitter of the information PM signals. - M.: Radio and communication, 1991.
7. Zharkov V.P., Karataev V.V., Nikiforov V.F., Panov V.S.. Use the virtual instruments LabVIEW.– M.: Radio and communication, 1999.
8. Deakonov V.P. MathCAD 7 PRO.Users manual. M.: СК Пресс. 1999г.