

УДК 621.391

В.И. СЛЮСАР, Ю.В. СТОЛЯРЧУК*Полтавский военный институт связи, Украина***АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ МЕТОДА
ВРЕМЕННОГО УПЛОТНЕНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ
СТРОБИРОВАНИИ ОТСЧЕТОВ АЦП**

В работе представлены результаты исследований граничных возможностей временного уплотнения линий связи в телекоммуникационных системах на основе сверхрелеевого разрешения импульсных сигналов по времени прихода при дополнительном стробировании отсчетов АЦП.

цифровая обработка сигналов, сверхрелеевское разрешение, нижняя граница Крамера-Рао

На сегодняшний день, методы цифровой обработки сигналов получили широкое применение в телекоммуникационных системах [1 – 3]. Однако, по-прежнему весьма актуальной остается задача обеспечения заданных объемов передаваемой информации за счет требуемой пропускной способности линий связи. Это обусловлено сильной загруженностью радиочастотного спектра уже существующими средствами связи, что затрудняет повышение пропускной способности за счет расширения полосы частот. Именно по этой причине большинство ведущих стран-разработчиков пересмотрело свои подходы к распределению радиочастотного спектра, определив его как ограниченный природный ресурс государства.

В качестве альтернативы, следует указать решение на использование эффективных методов обработки сигналов, которые обеспечивают оптимальное использование полосы частот. При этом, предпочтение следует отдать временному уплотнению линий связи, нуждающееся в отличие от частотного уплотнения в меньшей эффективной ширине спектра сигналов [4].

Как известно, повышение пропускной способности узкополосных линий связи с временным уплотнением каналов достигается на основе использования сверхрелеевого разрешения импульсных сигналов по времени прихода [4]. Данный подход позволяет многократно повысить

пропускную способность узкополосных коммуникаций и увеличить объемы трафика за счет использования информационных пакетов в виде совокупности следующих со взаимным перекрытием импульсов.

Однако при высоких темпах аналого-цифрового преобразования возникают сложности с реализацией такой обработки в реальном времени из-за больших объемов получаемых данных. В общем случае, применение цифровой обработки сигналов требует от разработчиков определенных усилий по выбору частоты дискретизации АЦП: весьма низкие темпы оцифровки сигналов приводят к энергетическим потерям, тогда как чрезмерно высокая частота дискретизации выдвигает довольно жесткие требования к быстродействию аппаратуры обработки. Для компромиссного решения указанной задачи имеет смысл соединить высокоскоростное аналого-цифровое преобразование в приемнике телекоммуникационной системы с процедурой дополнительного стробирования отсчетов АЦП, которое сводится к их частичному суммированию в неперекрывающихся временных интервалах, то есть осуществляется прореживание информационного потока и декорреляция сигнальных отсчетов по шумовым компонентам.

С точки зрения практической реализации методов временного уплотнения линий связи совместно с операциями дополнительного

стробирования отсчетов АЦП представляет интерес анализ их возможностей. Поэтому **целью данной статьи** является определение потенциальной точности метода временного уплотнения сигналов при дополнительном стробировании отсчетов АЦП.

Анализ граничных возможностей временного уплотнения может осуществляться на основе расчета дисперсии ошибок измерения амплитудных составляющих по нижней границе Крамера-Рао (НКГР). Следует отметить, что применение нижней границы Крамера-Рао (НКГР) для дисперсии несмещенной оценки [5] в задачах обработки сигналов является наиболее популярным при анализе потенциальной точности измерительных процедур. При этом предполагается, что ошибки измерений случайны и распределены по нормальному закону [6]. Поскольку в большинстве случаев формализованная запись разработанных методов имеет матричный вид, то искомая оценка дисперсии, соответствующая НКГР, находится путем обращения информационной матрицы Фишера [7]:

$$I = \frac{1}{\sigma_{ш}^2} \cdot F^T F, \quad (1)$$

где $\sigma_{ш}^2$ – дисперсия шума в квадратурной составляющей, пересчитанная с учетом дополнительного стробирования по выходу АЦП; F – матрица нормированных значений дискретных огибающих импульсных сигналов в задействованных в обработку отсчетах АЦП, которая определяется в соответствии с [7].

Граничные возможности предложенного метода измерения амплитуд импульсов исследовались путем анализа диагональных элементов обратной матрицы Фишера (1) для случая 4, 8, 16 видеосигналов. Эти диагональные элементы представляют НКГР для дисперсий несмещенных оценок максимального правдоподобия. За начальные условия при расчете НКГР была принята единичная дисперсия шума в отсчете АЦП.

Для надежного декодирования информационного сообщения интервал между соседними уровнями

амплитуд сигналов должен превышать 6 СКО их оценок (σ_{a_m}) [8], исходя из правила "трех сигм", в предположении, что ошибки измерения гауссовы. При заданном отношении сигнал-шум предельно допустимое для надежной передачи сообщений уплотнение импульсов по времени прихода определялось путем перебора возможных временных сдвигов между ними до момента нарушения хотя бы по одному из сигналов условия [9]:

$$\Delta_{a_m} \geq 6 \cdot \sigma_{a_m}. \quad (2)$$

Для случая равномерного расположения импульсов в пакете определяющим при этом, как и в случае обработки непосредственно отсчетов АЦП, будет СКО оценок амплитуд внутренней группы сигналов, условия измерения которых при большом числе наложений и достаточно протяженных импульсах наихудшие.

Полученные путем обращения матрицы (1) результаты расчетов позволяют говорить о возможности многократного увеличения пропускной способности узкополосных каналов связи и в случае дополнительного стробирования отсчетов АЦП.

Проверка достоверности аналитических выражений НКГР проводилась путем статистического моделирования по 100 реализациям. Расчет доверительных интервалов для СКО оценок амплитуд осуществлялся с коэффициентом доверия 0,999 [8], которому соответствуют множители для определения доверительных пределов СКО, равные 0,808 и 1,29.

В качестве примера, в табл. 1, 2 представлены полученные аналитическим путем нижняя и верхняя границы доверительных интервалов, соответствующие НКГР (сплошные линии рис. 1 и 2), а также статистические данные (пунктирные линии рис. 1 и 2), для случая 4-импульсного пакета с длительностью каждого импульса по 512 отсчетов, протяженностью строка 32 отсчета АЦП и амплитудой равной 100 квантам АЦП.

Таблица 1

СКО оценок амплитуд внешних сигналов.

Сдвиг между сигналами									
в отсчетах АЦП	64	56	48	40	32	24	16	8	4
в долях длительности сигнала	0,125	0,10937	0,09375	0,07812	0,0652	0,04687	0,03125	0,01563	0,00781
НГКР	0,44559209	0,603955480	0,865240168	1,334871636	2,288499464	4,625057743	12,58464086	70,48245647	397,1546359
Нижняя граница доверительного интервала по НГКР	0,3600384	0,4879961	0,6991140	1,0785762	1,849175	3,7374660	10,168389	56,949794	320,90094
Верхняя граница доверительного интервала по НГКР	0,574813800	0,787996028	1,116159817	1,721984411	2,952164309	5,966324484	16,23418671	90,92232120	512,3294804
Измеренное СКО оценок амплитуд	0,452883511	0,779102569	0,870409256	1,319985700	2,222474513	4,574922126	12,19511378	68,60078660	479,0508953
Измерение после дополнительного стробирования									
НГКР	0,4535627637	0,6187868965	0,8929257823	1,3992096947	2,3982290736	5,4087985451	16,07680019	150,79366504	1245,2499250
Нижняя граница доверительного интервала по НГКР	0,3664787132	0,4999798123	0,7214840321	1,1305614333	1,9377690915	4,3703092245	12,990102895	121,84127650	1006,1619394
Верхняя граница доверительного интервала по НГКР	0,58509959654	0,7982350965	1,1518742592	1,8049805062	3,0937155049	6,9773501232	20,739149425	194,52382016	1606,3724033
Измеренное СКО оценок амплитуд	0,45490600150	0,6146735792	0,8916903887	1,3977692648	2,3445564354	5,3339027841	17,315478883	150,88633483	1278,7946821

Таблица 2

СКО оценок амплитуд внутренних сигналов.

Сдвиг между сигналами									
в отсчетах АЦП	64	56	48	40	32	24	16	8	4
в долях длительности сигнала	0,125	0,10937	0,09375	0,07812	0,0652	0,04687	0,03125	0,01563	0,00781
НГКР	1,052996092	1,498344307	2,242921728	3,597232063	6,376336661	13,24798083	36,83821195	209,5423918	1187,063819
Нижняя граница доверительного интервала по НГКР	0,8508208	1,4872601	1,8122807	2,9065635	5,1520800	10,704368	29,765275	169,31025	959,14756
Верхняя граница доверительного интервала по НГКР	1,358364959	1,210662200	2,893369029	4,640429362	8,225474293	17,08989527	47,52129342	270,3096854	531,312326
Измеренное СКО оценок амплитуд	1,052178726	1,932864156	2,210442259	3,494082101	6,100504664	12,97537209	35,88297601	204,8426572	1424,068137
Измерение после дополнительного стробирования									
НГКР	1,0745133963	1,5395541436	2,3207296342	3,7836274231	6,6978190820	15,598265064	46,983946328	455,28106307	3756,8436619
Нижняя граница доверительного интервала по НГКР	0,8682068242	1,2439597480	1,8751495444	3,0571709579	5,4118378182	12,603398171	37,963028633	367,86709896	3035,5296788
Верхняя граница доверительного интервала по НГКР	1,3861222812	1,9860248452	2,9937412281	4,8808793758	8,6401866157	20,121761932	60,609290763	587,31257137	4846,3283239
Измеренное СКО оценок амплитуд	1,05344460727	1,4991723624	2,2756253802	3,7129716473	6,4316006585	15,312869136	50,652251095	459,45071266	3874,9070541

Полученные результаты статистического моделирования свидетельствуют об их хорошем

совпадении с расчетными значениями СКО оценок амплитуд, соответствующими НГКР. Это подтверждает достоверность полученных результатов и работоспособность предложенных методов цифровой обработки сигналов в условиях дополнительного стробирования отсчетов АЦП.

Выводы. Представленные результаты свидетельствуют о возможности многократного увеличения пропускной способности телекоммуникационных систем на основе использования метода дополнительного стробирования в цифровой обработке сигналов.

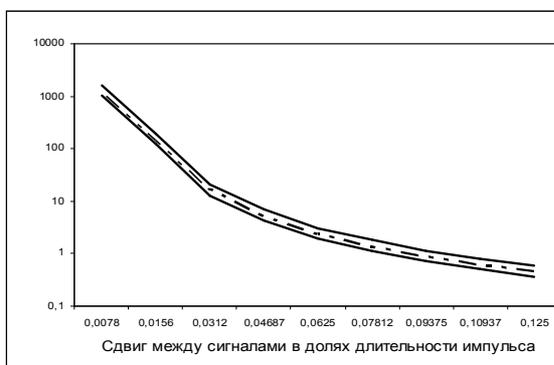


Рис. 1. Логарифмическая зависимость СКО оценок амплитуд внешних сигналов после стробирования отсчетов АЦП для 4-сигнального пакета

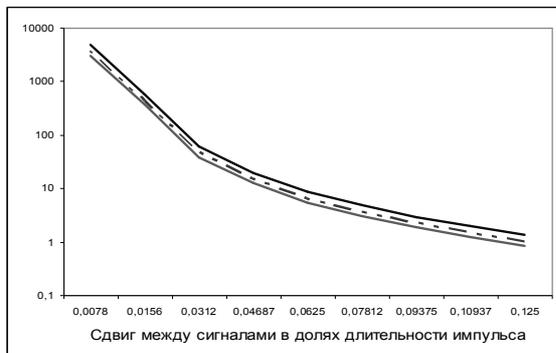


Рис. 2. Логарифмическая зависимость СКО оценок амплитуд внутренних сигналов после стробирования отсчетов АЦП для 4-сигнального пакета

В дальнейшем предполагается исследовать граничные возможности временного уплотнения для других ситуаций приема, сравнить их с результатами обработки непосредственно отсчетов АЦП.

Литература

1. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58-59.
2. Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – № 1. – С. 6-12.
3. Overview of UCLA MinuteMan - Project. [Электронный ресурс]. – <http://www.icsl.ucla.edu/minuteman/>.
4. Слюсар В.И., Уткин Ю.В. Уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов по времени прихода // Радиоэлектроника. (Изв. высш. учеб. завед.). – 2003. – № 5. – С. 40-48.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Радио и связь, 1985. – С. 578-579.
6. Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
7. Слюсар В. И., Слюсар Д.В., Столярчук Ю.В. Временное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 2004. – № 11. – С. 30-38.
8. Гурьев М.А. Теория вероятностей и элементы математической статистики. – М.: Воениздат МО СССР, 1980. – 399 с.
9. Патент України на винахід № 74447. МПК⁷ Н04J3/00, Н04L5/22. Спосіб часового ущільнення каналів зв'язку / В.І.Слюсар, Ю.В. Столярчук, Ю.В. Уткін. – Опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12.
10. Большев В.Н., Смирнов В.Н. Таблицы математической статистики. – М.: Вычислительный центр АН СССР, 1968. – 474 с.

Поступила в редакцию 13.02.2006

Рецензент: канд. техн. наук Ю.В. Уткин, Полтавский военный институт связи, Полтава.