

Т Р У Д Ы

ДЕВЯТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
**СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

19—23 мая 2008 г.
г. Одесса, Украина

Том

I

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ В БАЗИСЕ ФУНКЦИЙ ХАРТЛИ ПРИ ИХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ СТРОБИРОВАНИИ

Д. т. н. В. И. Слюсар¹, К. А. Васильев²

¹ Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники
Вооруженных сил Украины, г. Киев;

² Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ „КПИ”, г. Полтава
Украина

¹ swadim@inbox.ru; ² kostya_vas@rambler.ru

Метод неортогональной частотной дискретной модуляции (N-OFDM) на основе преобразования Хартли (ПХ) [1], основанный на уплотнении частотных каналов за счет передачи несущих на неортогональных частотах, позволяет повысить пропускную способность каналов связи и достичь более эффективного использования частотного ресурса. Применение ПХ в качестве базового преобразования упрощает аппаратную реализацию метода N-OFDM, снижает вычислительные затраты.

Целью доклада является рассмотрение результатов исследования оценки потенциальной точности определения амплитуд сигналов, сформированных по методу N-OFDM на основе ПХ с использованием дополнительного стробирования. Данный метод недостаточно проработан как в теоретическом, так и в практическом плане, поэтому задача исследования его точностных свойств является актуальной.

Дополнительному стробированию подвергаются временные отсчеты напряжений сигнала N-OFDM в приемном тракте на выходе аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Осуществление данной процедуры приводит к снижению скорости информационного потока, а значит и уменьшению вычислительных операций при последующей демодуляции сигнала N-OFDM. Для восстановления амплитуд несущих сигнала N-OFDM на основе ПХ при дополнительном стробировании, как и в [1], целесообразно воспользоваться матричной записью метода наименьших квадратов.

Оценка потенциальной точности демодуляции сигналов N-OFDM на основе базисных функций Хартли при дополнительном стробировании отсчетов АЦП проводится путем сравнения с нижней границей Крамера-Рао (НГКР) для оценок среднеквадратического отклонения (СКО) амплитуд сигналов [2]. Для определения НГКР необходим расчет обратной матрицы Фишера [3], значения диагонали которой соответствуют значениям дисперсии несмещенных оценок амплитуд сигналов.

Результаты расчетов показали, что значения СКО амплитуд несущих принятого сигнала N-OFDM на основе базисных функций Хартли при их дополнительном стробировании не выходят за пределы доверительного интервала НГКР и приближаются к значениям НГКР. Таким образом, полученные результаты демодуляции сигналов N-OFDM в базисе функций Хартли при их дополнительном стробировании являются потенциально точными.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Слюсар В.И., Васильев К.А. Метод неортогональной частотной дискретной модуляции сигналов на основе базисных функций Хартли. //Сб. материалов 2-ого Международного радиоэлектронного форума. Том 4. – Харьков: ХНУРЭ. – 2005. – С. 224 – 226.

2. Бакут П.А., Логинов В.П., Шумилов Ю.П. Методы определения границ точности в задачах оценивания неизвестных параметров // Зарубежная радиоэлектроника. – 1978. – № 5. – С. 3 – 36.

3. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. - 2004. – № 4. – С. 53 – 59.

КОРРЕКЦИЯ КВАДРАТУРНОГО РАЗБАЛАНСА ОТСЧЕТОВ АЦП ПОСЛЕ ИХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СТРОБИРОВАНИЯ

Д. т. н. В. И. Слюсар¹, Н. А. Масесов²

¹ Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных сил Украины; ² Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ „КПИ”

Украина, г. Киев, г. Полтава

¹ swadim@inbox.ru; ² masesov@rambler.ru

Одним из подходов к решению задачи минимизации аппаратурных погрешностей, сопутствующих обработке сигналов в технологии цифрового диаграммообразования, является применение специальных процедур коррекции характеристик приемных каналов [1]. В отличие от типичных корректирующих операций, которые ограничиваются компенсацией межканальных различий в амплитудных и фазочастотных характеристиках, в докладе излагается метод коррекции неидентичностей квадратурных подканалов при аналоговой ортогонализации сигналов в приемном тракте цифровых антенных решеток (ЦАР), отличающийся использованием дополнительного стробирования отсчетов АЦП.

При разработке метода учитывались погрешности неидентичности коэффициентов усиления квадратурных сигналов и фазового сдвига, проявляющегося при вводе отклонения фазы на $\pi/2$ в один из аналоговых „ортогональных” подканалов. Фазовая погрешность может учитывать также различие группового времени запаздывания сигналов.

Важным этапом в реализации предлагаемого метода коррекции разбаланса квадратур является расчет фактической амплитудной и фазовой погрешностей по временным выборкам АЦП, аналогично [2]. Учет влияния внутриканальных погрешностей на ортогональные составляющие комплексных амплитуд пространственных каналов осуществляется с их цифровой фильтрацией по методу дополнительного стробирования отсчетов АЦП [3], что особенно важно при высоких темпах аналого-цифрового преобразования сигналов и возникающих вследствие этого сложностей реализации метода на практике в реальном масштабе времени. Дополнительное стробирование проводится путем периодического накопления отсчетов АЦП в жестко отведенных временных интервалах (стробах). При этом удается снизить объемы подлежащей обработке информации. Для усреднения оценок квадратурных неидентичностей по совокупности серии из определенного числа выборок используется метод наименьших квадратов.

Проверка предложенного метода коррекции проводилась расчетным путем в пакете Mathcad с помощью оговоренных выше процедур обработки сигналов. Результаты свидетельствуют об эффективности предложенного алгоритма коррекции квадратурного разбаланса каналов.

Таким образом, предложенный метод коррекции позволяет снизить требования к идентичности квадратурных подканалов и точности доворота фазы на $\pi/2$ при аналоговой ортогонализации сигналов в приемных каналах ЦАР. Следует отметить, что интеграция процедуры дополнительного стробирования отсчетов АЦП в совокупности с коррекцией квадратурного разбаланса является новой идеей и позволяет обобщить такой подход на случай ММО-антенн, выполненных по технологии ЦАР.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Слюсар В.И. Коррекция характеристик приемных каналов цифровой антенной решетки по контрольному источнику в ближней зоне // Радиоэлектроника. – 2003. - № 1. – С. 44-52. (Изв. вузов).
2. Слюсар В.И., Солощев О.Н., Титов И.В. Метод коррекции квадратурного разбаланса приемных каналов цифровой антенной решетки // Радиоэлектроника. – 2004. – № 2. – С. 42 - 50. (Изв. вузов).
3. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиоэлектроника. – 1996. - № 5. – С. 55-62. (Изв. вузов).

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ СВЯЗИ С ЦИФРОВЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ЛУЧА

Д. т. н. В. И. Слюсар¹, С. В. Волошко²

¹ ЦНИИ вооружения и военной техники Вооруженных сил Украины,

² Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ „КПИ”

Украина, г. Киев

¹ swadim@inbox.ru; ² woloshko@mail.ru

Адаптивное цифровое диаграммообразование является ключевой технологией современных телекоммуникационных систем [1], позволяющей осуществлять поляризационно-пространственное разделение сигналов. Ключевую роль в решении задачи синтеза соответствующих методов разделения играет аналитическое описание модели отклика приемной цифровой антенной решетки (ЦАР). Представление плоской ЦАР в составе MIMO-N-OFDM-системы с R×D идентичными элементами и факторизуемыми характеристиками направленности для сигналов двойной поляризации может быть выражено через матричное произведение Хатри-Рао (без учета шума) в виде:

$$U = \begin{bmatrix} U_H \\ U_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (Q_H \blacksquare V_H) \blacksquare F_H & (q_{HV} Q_V \blacksquare d_{HV} V_V) \blacksquare F_V \\ (q_{VH} Q_H \blacksquare d_{VH} V_H) \blacksquare F_H & (Q_V \blacksquare V_V) \blacksquare F_V \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_H \\ A_V \end{bmatrix},$$

где “ \blacksquare ” — символ произведения Хатри-Рао; $\begin{bmatrix} A_H \\ A_V \end{bmatrix}$ — вектор комплексных амплитуд N-OFDM сигналов горизонтальной (H) и вертикальной (V) поляризаций;

$$Q_H = \begin{bmatrix} Q_{H1}(x_1) & Q_{H1}(x_2) & \dots & Q_{H1}(x_M) \\ Q_{H2}(x_1) & Q_{H2}(x_2) & \dots & Q_{H2}(x_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{HR}(x_1) & Q_{HR}(x_2) & \dots & Q_{HR}(x_M) \end{bmatrix}, \quad Q_V = \begin{bmatrix} Q_{V1}(x_1) & Q_{V1}(x_2) & \dots & Q_{V1}(x_M) \\ Q_{V2}(x_1) & Q_{V2}(x_2) & \dots & Q_{V2}(x_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{VR}(x_1) & Q_{VR}(x_2) & \dots & Q_{VR}(x_M) \end{bmatrix} \quad \text{— матрицы характеристик направ-}$$

ленности первичных или вторичных (после цифрового диаграммообразования) приемных каналов ЦАР в азимутальной плоскости на H и V поляризациях;

$$V_H = \begin{bmatrix} V_{H1}(y_1) & V_{H1}(y_2) & \dots & V_{H1}(y_M) \\ V_{H2}(y_1) & V_{H2}(y_2) & \dots & V_{H2}(y_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{HD}(y_1) & V_{HD}(y_2) & \dots & V_{HD}(y_M) \end{bmatrix}, \quad V_V = \begin{bmatrix} V_{V1}(y_1) & V_{V1}(y_2) & \dots & V_{V1}(y_M) \\ V_{V2}(y_1) & V_{V2}(y_2) & \dots & V_{V2}(y_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{VD}(y_1) & V_{VD}(y_2) & \dots & V_{VD}(y_M) \end{bmatrix} \quad \text{— матрицы характеристик направ-}$$

ленности первичных (вторичных) приемных каналов ЦАР в угломестной плоскости для H (V)-поляризаций;

$$F_H = \begin{bmatrix} \dot{F}_{H1}(\omega_{H11}) & \dots & \dot{F}_{H1}(\omega_{HT1}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \dot{F}_{HG}(\omega_{H11}) & \dots & \dot{F}_{HG}(\omega_{HT1}) \end{bmatrix}, \quad F_V = \begin{bmatrix} \dot{F}_{V1}(\omega_{V11}) & \dots & \dot{F}_{V1}(\omega_{VT1}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \dot{F}_{VG}(\omega_{V11}) & \dots & \dot{F}_{VG}(\omega_{VT1}) \end{bmatrix} \quad \text{— матрицы амплитудно-частотных}$$

характеристик $\dot{F}_{H(V)g}(\omega_{H(V)im})$ БПФ-фильтров для R×D идентичных каналов приема;

U — блок-матрица выходных напряжений каналов в горизонтальной и вертикальной поляризациях, q_{HV} (q_{VH}), d_{HV} (d_{VH}) — кроссполяризационная развязка в азимутальной и угломестной плоскостях, M — количество MIMO-передатчиков, T — количество частот N-OFDM пакета для одного MIMO-передатчика.

Опираясь на рассмотренную модель, процесс разделения сигналов можно свести к оцениванию их амплитуд, например, по методу максимального правдоподобия. При этом интерес представляет исследование предельных возможностей поляризационно-пространственного уплотнения сигналов на основе анализа нижней границы Крамера-Рао для дисперсий оценок амплитуд.

Т Р У Д Ы
ДЕВЯТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
("СИЭТ-2008")
19—23 мая 2008 г.
г. Одесса, Украина
Том I

Подписано к печати 15.04 2008 г. Формат 84×108 1/16. Печ. л. 15,75. Тираж 320 экз.
Оригинал-макет изготовлен в ЧП «Политехпериодика» (65044, г. Одесса, а/я 17).
Отпечатано в тилографии «ART-V» (65091, г. Одесса, ул. Комитетская, 24а).