

УДК 621.391

К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.Н. Ковалевский

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

ММО РЛС, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПВО

В работе синтезирована структурная схема ММО РЛС на основе ортогональных хаотических сигналов, отличающихся начальными значениями формирования. Отличие в начальных значениях формирования хаотических несущих позволяет применить традиционную корреляционно-фильтровую обработку сигналов и реализовать многоканальный обзор пространства. Показано, что объединение принципов построения многопозиционных и многоканальных ММО РЛС с применением ортогональных хаотических сигналов позволяет одновременно обеспечить оценку координат цели, скрытность функционирования, многоканальность и электромагнитную совместимость РЛС в сетевидной системе ПВО.

Ключевые слова: ММО РЛС, хаотический сигнал, сетевидная система.

Введение

Особенностью современных локальных конфликтов является их скоротечность, насыщенность различными формами и способами применения высокоточного оружия. Как правило, наземной операции предшествует масштабная воздушно-космическая, следовательно, возрастает роль систем ПВО. Современные системы ПВО основываются на сетевидных (звездчатых) принципах построения и взаимодействия в едином информационно-коммуникационном пространстве, что подразумевает применение многопозиционных и многоканальных радиолокационных систем, замкнутых в единую систему (сеть) ПВО [1 – 3].

Многопозиционная (МП) радиолокация в такой системе (сети) позволяет [2]: получить возможность формирования сложных пространственных зон обзора; улучшить использование энергии в системе; повысить точность измерения местоположения целей в пространстве; измерять полный вектор скорости целей; повысить помехозащищенности по отношению к активным и пассивным помехам, а также увеличить надежности выполнения тактических задач.

В то же время, это выдвигает более жесткие требования к РЛС, включенным в такую систему. Во-первых, необходимо извлечь из радиолокационного объема максимально возможное количество информации, во-вторых, необходимо получить как можно более “тонкий” инструмент для его анализа, обеспечивая при этом высокую помехозащищенность (скрытность) системы. Одним из решений указанных проблем является применение ортогональных хаотических сигналов в многоканальных ММО (multiple input - multiple output) РЛС [3, 4]. Такие РЛС обладают важными преимуществами: большое число степеней свободы и большая гиб-

кость в изменении характеристик, особенно при использовании цифровых антенных решеток. Хаотические сигналы обладают высокой чувствительностью к начальным значениям формирования x_0 , что дает возможность реализовать многоканальность по виду сигнала (для различных x_0).

Целью работы является синтез многоканальной ММО РЛС, основанной на применении ортогональных хаотических сигналов и обладающей избирательностью по виду сигнала.

Изложение основного материала

В радиолокации при зондировании пространства, приеме и обработке радиолокационных сигналов, как правило, используются временные, пространственные и частотные различия полезных сигналов и помех. То есть три степени свободы: время, частота и пространственные различия. Применение хаотических сигналов позволяет дополнительно расширить возможности радиолокации (измерительных систем) – ввести еще одну степень свободы. Использование различных значений x_0 позволяет сформировать множество возможных вариантов ортогональных хаотических сигналов. Например, с помощью полинома Чебышева 1-го рода 3-го порядка можно сформировать множество хаотических радиоимпульсов, которые будут отличаться начальным значением $x_0 \in (0...1)$. Численное моделирование показало, что два хаотических сигнала, сформированные с начальными значениями x_0 , отличающимися даже на 10^{-12} , являются не коррелированными. На рис. 1, а, б приведены временные реализации выборки хаотических сигналов с различными начальными значениями: $X_1(t)$ с начальным значением $x_0^{(1)} = 0.365554425731$ (рис. 1, а),

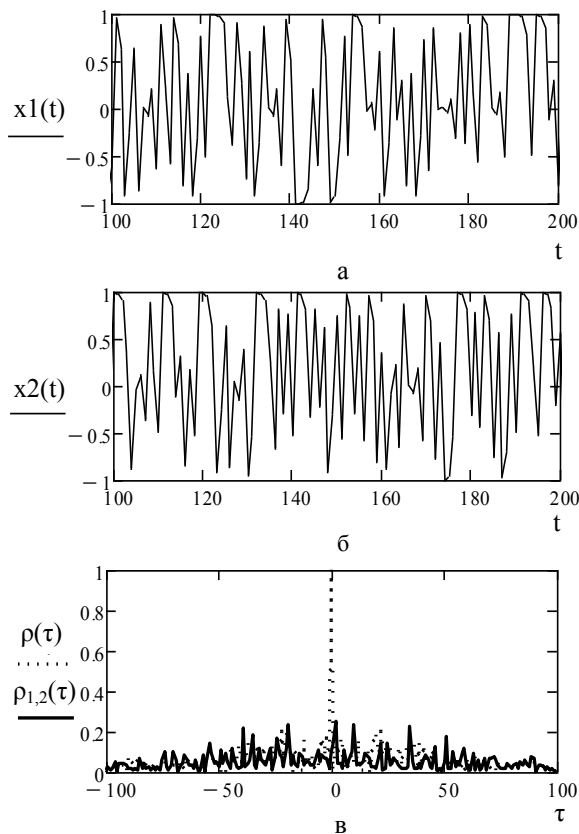


Рис. 1. Хаотические сигналы с различными x_0 :
 а, б – их временные реализации;
 в – их корреляционные функции

$X_2(t)$ с начальным значением (рис. 1, б) $x_0^{(2)} = 0.365554425732$. На рис. 1, в представлена зависимость взаимно-корреляционной функции $\rho_{1,2}(\tau)$ (сплошная линия) рассматриваемых радиоимпульсов от временного рассогласования τ .

Для сравнения пунктиром представлены автокорреляционные функции $\rho(\tau)$ сигналов $X_1(t)$, $X_2(t)$ – они идентичны. Из анализа рис. 1, в следует не коррелированность рассматриваемых сигналов. Следовательно, такие радиолокационные сигналы могут различаться (селектироваться) при применении традиционной корреляционной (когерентной) обработки [5].

Таким образом, появляется потенциальная возможность реализации нового варианта обзора пространства путем формирования множества лучей с помощью фазированной антенной решетки (ФАР), в каждом из которых излучается и принимается ортогональный хаотический сигнал со своим начальным значением $x_0^{(k,l)} \in (0...1)$, $k, l \in 1...L$, где L – количество лучей. Такое решение развивает возможности ММО радиолокации.

Опираясь на рассмотренное свойство ортогональности хаотических сигналов, авторами синтезирована общая структура такой ММО РЛС, схема которой приведена на рис. 2. Для формирования множества хаотических радиоимпульсов $X(x_0^{(k,l)})$ с различными начальными значениями $x_0^{(k,l)}$ служит задающее устройство (сигнальный процессор). Усиленные до необходимой мощности сформированные сигналы с задающего устройства поступают на диаграммообразующую схему (ДОС) в качестве зондирующих сигналов и на многоканальную схему обработки информации (СОИ) в качестве ожидаемых сигналов. ДОС реализует необходимый вариант обзора пространства. Обработка сигналов в каждом луче осуществляется многоканальной корреляционно-фильтровой СОИ.

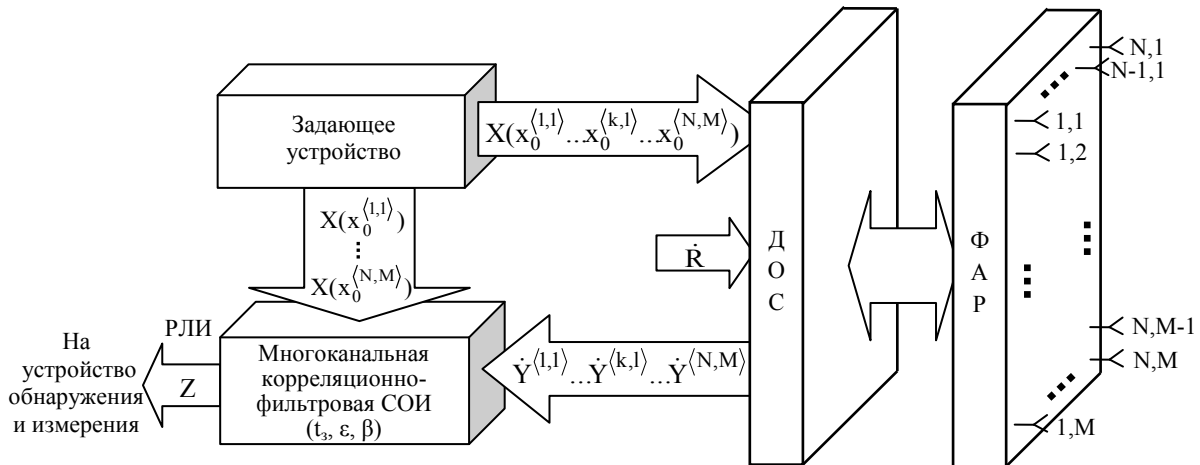


Рис. 2. Структурная схема ММО РЛС с применением ортогональных хаотических несущих

Синтезируем алгоритм обработки РЛИ в одном канале, соответствующем заданному направлению по азимуту и углу места. В общем случае будем рассматривать сигналы на входе NM – элементной

плоской, эквидистантной ФАР (N – количество элементарных излучателей по горизонтали, M – количество элементарных излучателей по вертикали), рис. 2. Пусть сигнал $u_{n,m}$, принятый элементарным излу-

чателем ($n \in 1 \dots N$ – номер излучателя в строке, $m \in 1 \dots M$ – номер излучателя в столбце), представляет собой дискретные значения непрерывного сигнала, взятые через интервал дискретизации

$$\Delta t = \frac{1}{2f_{\max}}, \text{ где } f_{\max} \text{ – максимальная частота в спектре сигнала.}$$

Комплексные амплитуды колебаний $\dot{y}_{n,m}$ – принятых n, m – элементом ФАР подвергаются взвешенному суммированию в ДОС, на выходе которой формируются комплексные амплитуды колебаний $\dot{Y}^{(k,l)}$ в k, l -м пространственном канале (парциальном луче) в общем случае $k \in 1 \dots N, l \in 1 \dots M$.

$$\dot{Y}^{(k,l)} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \dot{y}_{n,m} \dot{R}^{(k,l)}, \quad (1)$$

где $\dot{R}^{(k,l)}$ – k, l элемент весовой матрицы \dot{R} . Конкретные значения весовой матрицы \dot{R} определяются, исходя из заданной ширины диаграммы направленности парциальных лучей и их ориентации в пространстве с допустимым уровнем боковых лепестков. Таким образом, пространственная обработка сигнала осуществляется в ДОС, которая строится на основе известных ортогональных преобразований Адамара, Фурье и т.д. [6]. На выходе каждого луча имеем набор временных отсчетов $\dot{X}^{(k,l)}$ (1).

Далее, обработка в каждом приемном канале идентична и отличается только видом ожидаемого сигнала $\dot{X}(x_0^{(k,l)}, t_3, F_D)$. То есть двунаправленная ФАР излучает и принимает в заданном направлении ортогональный хаотический сигнал со своим начальным значением $x_0^{(k,l)}$.

Для простоты рассмотрения, индексы k, l – определяющие номер пространственного канала опустим ($\dot{Y}^{(k,l)} \rightarrow \dot{Y}$). Таким образом, дальнейшая обработка не отличается от традиционной корреляционной обработки хаотического сигнала рассмотренной в [3] при приеме на фоне белого шума

$$Z(t_3, F_D) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Y}(t) \dot{X}^*(x_0, t - t_3, F_D) dt \right|. \quad (2)$$

Для дискретных значений комплексных амплитуд колебания \dot{Y} на выходе ДОС полагая, что количество дискретных значений I , а $t = i\Delta t, t_3 = j\Delta t$ и заменяя в (2) интеграл суммой получим

$$Z_j(F_D) = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^I \dot{Y}_i \dot{X}_{i-j}^*(x_0, F_D) \right|. \quad (3)$$

Далее, сформированные значения модуля весовой суммы (3) на устройство обнаружения (сравнения с порогом) и измерения (рис. 2).

Так как плоская ФАР позволяют обеспечить параллельный обзор пространства только в определенном секторе по азимуту, то для одновременного обзора пространства во всех азимутальных направлениях необходимо применять несколько таких ФАР или же одну цилиндрическую.

Вариант обзора пространства с использованием цилиндрической ФАР приведен на рис. 3. На рис. 3, а приведена диаграмма направленности антенны (ДНА) $F(\beta)$ в азимутальной (β) плоскости, а на рис. 3, б приведена ДНА $F(\varepsilon)$ в угломестной (ε) плоскости. Здесь в соответствующих направлениях излучается хаотический сигнал со своим $x_0^{(k,l)}$. Такой подход позволяет реализовать одновременный многоканальный обзор пространства.

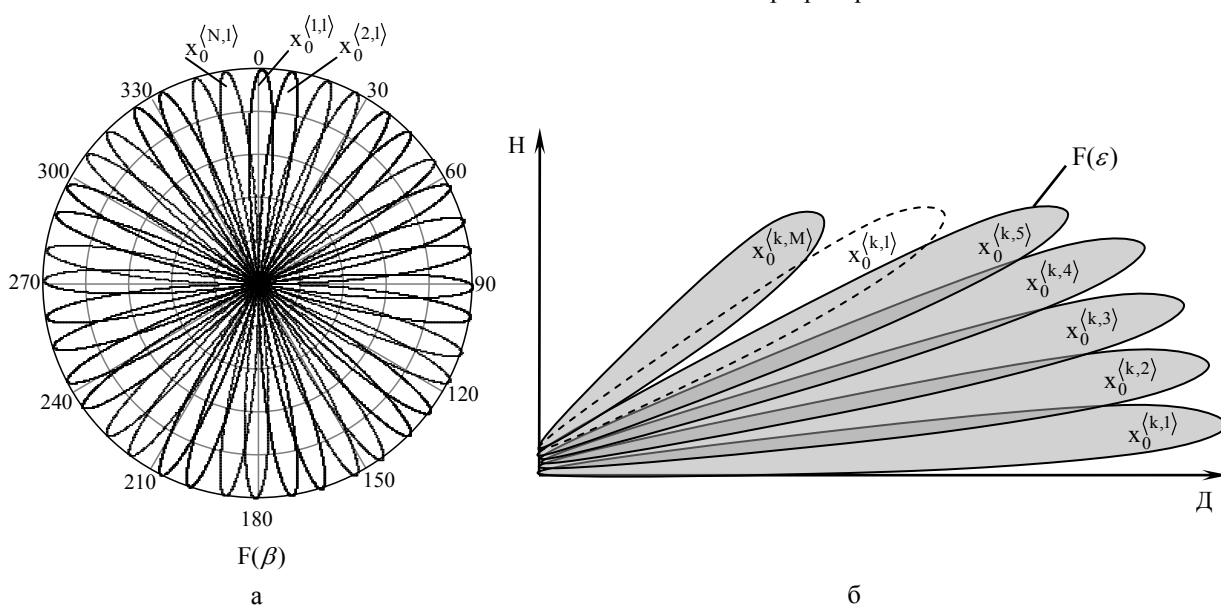


Рис. 3. Диаграмма направленности цилиндрической ФАР: а – в азимутальной плоскости, б – в угломестной плоскости

Предложенный вариант обзора пространства и обработки хаотических сигналов можно реализовать при построении новых ММО РЛС. Применение ортогональных хаотических сигналов в ММО РЛС, кроме известных преимуществ [2], позволяет: улучшить электромагнитную совместимость системы за счет разделения каналов по x_0 ; обеспечить высокую скрытность работы (помехозащищенность от активных помех) по сравнению с группировкой традиционных РЛС; повысить разрешающую способность по дальности [7]. Такие РЛС целесообразно применять в качестве высокоподвижных или необслуживаемых радиолокационных постов в сетевой системе (СЦС).

На рис. 4 иллюстрируется вариант построения СЦС ПВО с применением ММО РЛС.

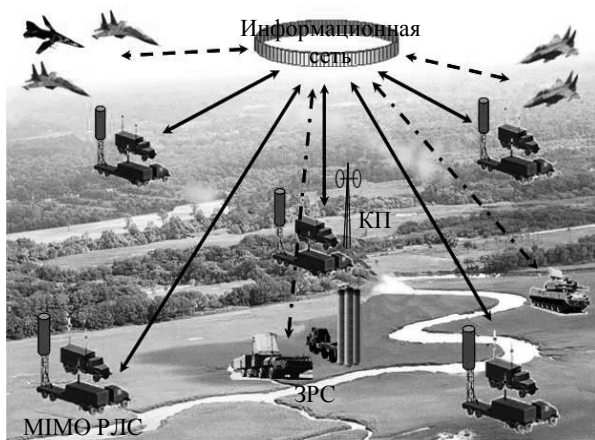


Рис. 4. Вариант построения сетевой системы ПВО с применением ММО РЛС

Выводы

Таким образом, объединение принципов построения многопозиционных и многоканальных

ММО РЛС с применением ортогональных хаотических сигналов позволяет одновременно обеспечить скрытность, многоканальность и электромагнитную совместимость РЛС в сетевой системе ПВО.

Изложенный подход позволяет в реальном масштабе времени оценивать дальность, азимут, угол места (высоту) цели и одновременно значительно повысить живучесть и качество функционирования системы ПВО.

Список литературы

1. Куликов А. Война в едином информационном пространстве / А. Куликов // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 2 (39). – С. 54-60.
2. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Сов. радио, 1993. – 416 с.
3. Li J. MIMO Radar Signal Processing / J. Li, P. Stoica. – Wiley-IEEE Press, 2008. – 448 p.
4. Черняк В.С. О новом направлении в радиолокации: ММО РЛС / В.С. Черняк // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 477-489.
5. Васюта К.С. Корреляционная обработка хаотических сигналов / К.С. Васюта, А.А. Грызо, Ф.Ф. Зоц // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2(31). – С. 62-64.
6. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для курсантов / В.Б. Алмазов, А.А. Белов, В.Н. Кокин, В.П. Рябуха. – Ч. 2. – Х.: ХВУ, 1996. – 466 с.
7. Васюта К.С. Анализ корреляционных свойств хаотических радиоимпульсов / К.С. Васюта, А.А. Мальшев, Ф.Ф. Зоц // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 3(101), т.2. – С. 22-25.

Поступила в редколлегию 15.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ММО РЛС ЗАСНОВАНА НА ЗАСТОСУВАННІ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ В МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНІЙ СИСТЕМІ ППО

К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.М. Ковалевський

У роботі синтезована структурна схема ММО РЛС на основі ортогональних хаотичних сигналів, що відрізняються початковими значеннями формування. Відмінність в початкових значеннях формування хаотичних несучих дозволить застосувати традиційну кореляційно-фільтрову обробку сигналів і реалізувати багатоканальний огляд простору. Показано, що поєднання принципів побудови багатопозиційних і багатоканальних ММО РЛС із застосуванням ортогональних хаотичних сигналів дозволяє забезпечити одночасно оцінку координат цілі, скритність функціонування, багатоканальність і електромагнітну сумісність РЛС в мережецентричній системі ППО.

Ключові слова: ММО РЛС, хаотичний сигнал, мережецентрична система.

MIMO RADAR BASED ON APPLICATION CHAOTIC SIGNALS IN NETWORK-CENTRIC AIR DEFENSE SYSTEM

C.S. Vasuta, F.F. Zots, S.N. Kovalevsky

Block diagram of MIMO radar based on orthogonal chaotic signals with different initial values formation is synthesized in this work. The difference in the initial values of the formation chaotic carrier will apply the traditional correlation-filtered signal processing and realize multichannel review space. It is shown that combining principles of multi-position and multi-channel MIMO radar using orthogonal chaotic signals allows for simultaneous evaluation target coordinates, stealth operation, multi-channel and electromagnetic compatibility radar in network-centric air defense system.

Keywords: MIMO radar, chaotic signal, network-centric system.