

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ В МОНОСТАТИЧЕСКИХ И БИСТАТИЧЕСКИХ РЛС

к.т.н. А.В. Ксендзук, И.А. Евсеев, к.т.н. С.И. Клевец
(представил д.т.н., проф. В.К. Волосюк)

Рассмотрены особенности применения шумоподобных сигналов в моно-статических и бистатических РЛС. Результаты моделирования показывают, что использование шумоподобных сигналов в бистатических системах не приводит к ухудшению характеристик оценок и качества интерпретации полученных радиолокационных изображений.

Постановка проблемы и анализ литературы. Известные достоинства шумоподобных сигналов (ШПС), такие как высокая помехозащищенность, возможность разделения каналов передачи данных по кодовому признаку, высокая устойчивость к многолучевому распространению, а также высокая разрешающая способность при радиолокационных и навигационных измерениях, предопределили их использование в различных системах связи и навигации. Из анализа литературы [1 – 5] видно, что широкое развитие получают методы фазовой манипуляции, обеспечивающие возможность сравнительно простого контроля изменения фазы сигнала. Однако широкого применения в радиолокационных системах эти сигналы пока не нашли.

Одной из причин является сложность обеспечения необходимой «развязки» приемного и передающего трактов. Для многопозиционных систем данная проблема решается естественным образом.

Целью работы является рассмотрение особенностей применения шумоподобных сигналов в бистатической РЛС, как основной составляющей многопозиционной системы.

Особенности применения шумоподобных сигналов в обзорных радиолокационных системах. Рассмотрим одиночную РЛС, облучающую участок некоторой поверхности сигналом, представляющим собой последовательность немодулированных импульсов с прямоугольными огибающими длительностью τ и периодом повторения T_R (далее простой импульсный сигнал), рис. 1. Будем полагать, что условие однозначности отсчетов выполнено: $t_{d \max} + \tau - t_{d \min} \leq T_R$, где $t_{d \max}$, $t_{d \min}$ –

максимальное и минимальное время задержки. Корреляционные функции исследуемых сигналов (для случая обработки путем согласованной фильтрации) показаны на рис. 2.

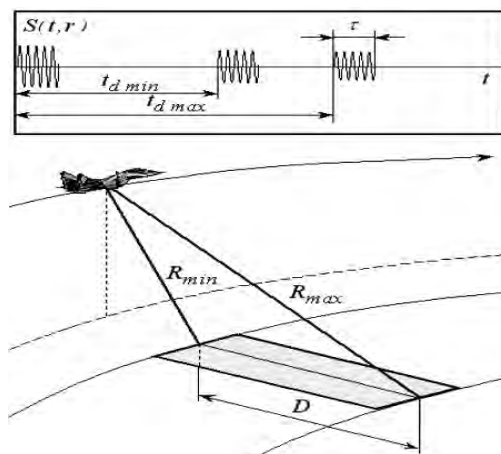


Рис. 1. Исследуемая РЛС

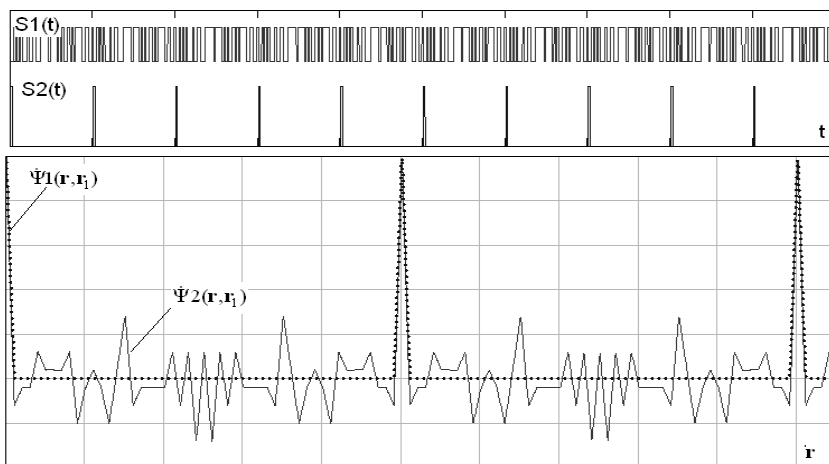


Рис. 2. Функции неопределенности сигналов в рассматриваемой системе

Выполним сравнение результатов обработки при использовании различных сигналов – периодического импульсного и периодического фазоманипулированного. Формирование ПСП последовательности осуществлялось таким образом, чтобы длительность одиночного бита была равна длительности импульса, показанного на рис. 1.

В результате обработки шумоподобного или импульсного сигналов получим следующий выходной эффект оптимальной системы [1]:

$$\langle \hat{F}_{ik}[\bar{r}, \bar{\lambda}(\bar{r})] \rangle = \int_D \langle \dot{F}_{ik}[\bar{r}, \bar{\lambda}(\bar{r})] \rangle \dot{\Psi}_{ik}(\bar{r}, \bar{r}_1) d\bar{r}_1. \quad (1)$$

Из (1) видно, что смещение оценки для функционально-детерминированной модели сигнала определяется характером поведения боковых лепестков функции неопределенности и комплексного коэффициента отражения. Для большинства практически важных случаев можно полагать, что оценка является несмещенной. Однако если комплексный коэффициент отражения в пределах области обзора является медленно изменяющейся функцией, для несмещенности оценки необходимо обеспечить равенство нулю среднего значения боковых лепестков пространственной функции неопределенности (ПФН).

Оценим изменение отношения сигнал/помеха $\mu(\bar{r})$ при использовании ШПС в рассматриваемой РЛС. Для простого радиоимпульса $\mu(\bar{r})$

определяется выражением $\frac{\langle |Y_S(\bar{r})|^2 \rangle}{\langle |Y_N(\bar{r})|^2 \rangle}$ [2], которое может быть записано в виде

$$\mu(\bar{r}_1) = \frac{K^2 E_S}{N_0} \int_D \sigma^0(\bar{r}) |\tilde{\Psi}(\bar{r}, \bar{r}_1)|^2 d\bar{r} \cong K^2 \frac{E_S}{N_0} \sigma_A^0(\bar{r}_1) \Delta Y, \quad (2)$$

где $\tilde{\Psi}(\bar{r}, \bar{r}_1)$ – нормированная функция неопределенности; E_S , E_R – энергии принимаемого и опорного сигналов; K – коэффициент затухания; $\sigma^0(\bar{r})$ – удельная эффективная поверхность рассеяния (УЭПР), равная произведению среднего значения удельной эффективной поверхности рассеяния σ_A^0 и размера элемента разрешения ΔY .

Для случая использования шумоподобного сигнала отношение сигнал/помеха можно представить в виде

$$\mu(\bar{r}_1) = K^2 \frac{E_S}{N_0} \sigma_A^0(\bar{r}_1) \Delta Y \frac{1}{1 + \frac{E_S}{N_0} K^2 \int_{D''} \sigma^0(\bar{r}) |\tilde{\Psi}(\bar{r}, \bar{r}_1)|^2 d\bar{r}}, \quad (3)$$

где выделена область боковых лепестков АКФ – D'' .

Если обозначить $\mu_0(\bar{r}_1)$ отношение сигнал/помеха в обзорной РЛС для простого импульсного сигнала, при этом (3) можно записать так

$$\begin{aligned} \mu(\bar{r}_1) &= K^2 \frac{E_S}{N_0} \sigma_A^0(\bar{r}_1) \Delta Y \frac{1}{1 + K^2 \frac{E_S}{N_0} \sigma_A^0(\bar{r}_1) \Delta Y} = \\ &= \mu_0(\bar{r}_1) \left[\frac{1}{1 + \mu_0(\bar{r}_1) \xi(\bar{r}_1)} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

где величина $\xi(\bar{r}_1)$ определяется выражением

$$\xi(\bar{r}_1) = \frac{\int_{D'} \sigma^0(\bar{r}) |\tilde{\Psi}(\bar{r}, \bar{r}_1)|^2 d\bar{r}}{\int_{D'} \sigma^0(\bar{r}) |\tilde{\Psi}(\bar{r}, \bar{r}_1)|^2 d\bar{r}} = \frac{\chi(D - 2\Delta Y)}{\Delta Y}, \quad (5)$$

зависящим от величины χ – уровня боковых лепестков автокорреляционной функции шумоподобного сигнала.

Исследование целесообразности применения шумоподобных сигналов в бистатических РСА. В отличие от неподвижной обзорной РЛС, в системе с синтезированием апертуры разрешение по пространственным координатам соответствует разрешению в плоскости (τ, F) , где τ – время запаздывания, F – доплеровский сдвиг частоты [3, 4]. Рассмотрим бистатическую радиолокационную станцию с синтезированной апертурой антенны (РСА) (рис. 3).

Для дальнейшего исследования отметим тот факт, что основной

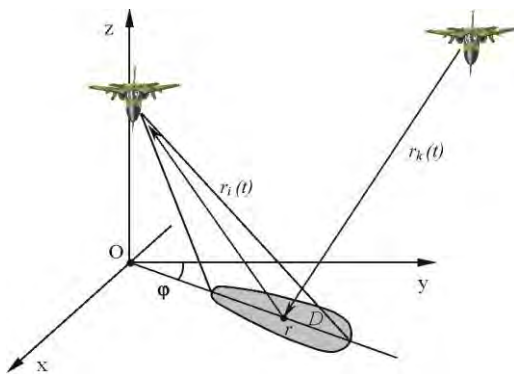


Рис. 3. Исследуемая бистатическая РСА

принцип неопределенности в радиолокации $\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\tilde{\Psi}(\tau, F)|^2 d\tau dF = \text{const}$ [5]

для РСА, как системы с пространственно-временной обработкой, может быть представлен в виде $\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\tilde{\Psi}(x, y)|^2 dx dy = \text{const}$. Это означает, что по-

грешность оценки, вносимая «просачиванием» отражений от поверхности и целей вне главного максимума (то есть по боковым лепесткам) практически не зависит от вида сигнала.

Для проверки этого факта было выполнено моделирование алгоритмов формирования радиолокационных изображений поверхности путем первичной обработки в системе, изображенной на рис. 3 для импульсного и шумоподобного сигналов. В рамках этого моделирования полагалось, что энергии простого импульсного сигнала и ШПС равны, шумоподобный сигнал представляет собой фазоманипулированную периодическую последовательность, период повторения равен периоду повторения простого импульсного сигнала, длительности одиночного символа ПСП и одиночного радиоимпульса совпадают, условия однозначного отсчета выполняются.

Результаты оценки УЭПР для обзорной РЛС в виде их пространственной зависимости от дальности показаны на рис. 4.

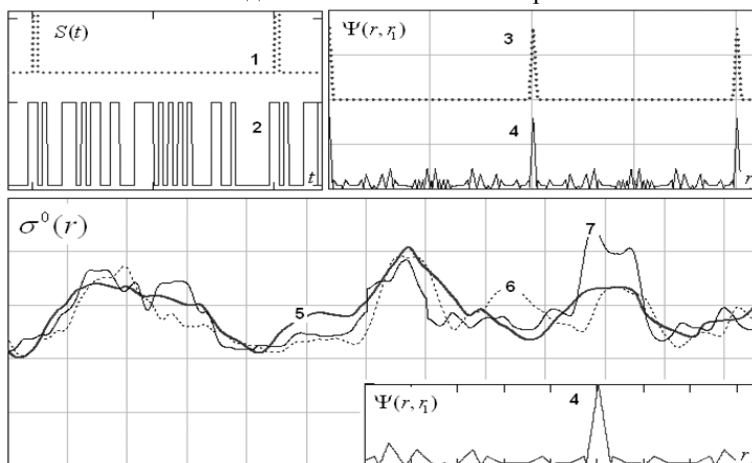


Рис. 4. Результаты оценки УЭПР в обзорной РЛС:

- 1 – импульсный сигнал; 2 – шумоподобный сигнал; 3 – ПФН импульсного сигнала; 4 – ПФН шумоподобного сигнала; 5 – исходное распределение $\sigma^0(\vec{r})$; 6 – оценка УЭПР при использовании импульсного сигнала; 7 – оценка УЭПР при использовании шумоподобного сигнала

Из результатов моделирования видно, что при использовании ПСП в обзорной РЛС возможно существенное искажение результатов оценки, вызванное накоплением отражений по боковым лепесткам.

Аналогичное моделирование было выполнено для бистатистической РСА. Функции неопределенности для импульсного и шумоподобного сигналов представлены на рис. 5, а результаты построения радиолокаци-

онного изображения (РЛИ) – на рис. 6.

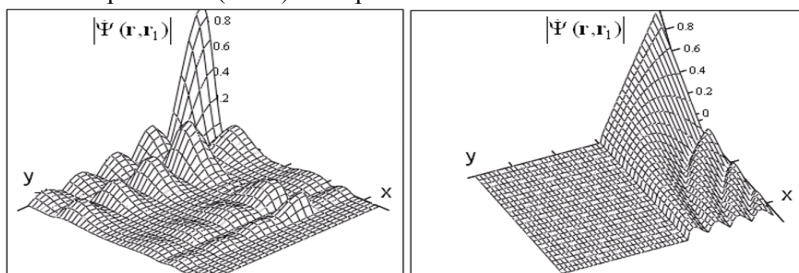


Рис. 5. Пространственные функции неопределенности шумоподобного (справа) и импульсного (слева) сигналов

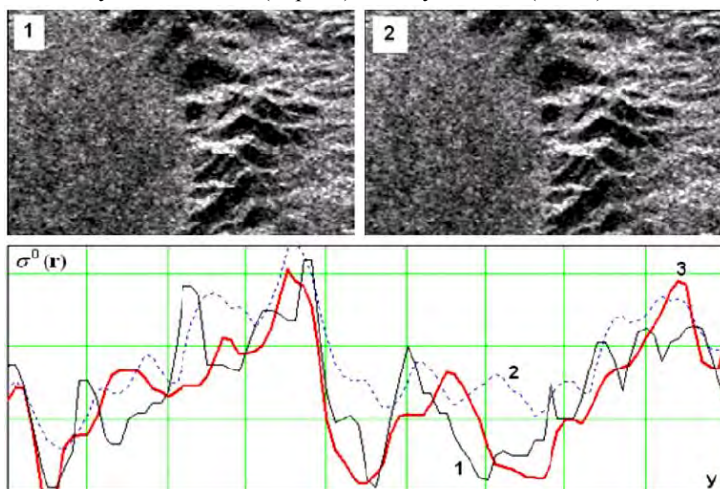


Рис. 6. Результаты формирования РЛИ в PCA:

1 – поведение УЭПР; 2 – результат обработки в PCA с использованием простого импульсного сигнала; 3 – результат обработки в PCA с использованием шумоподобного сигнала

Выводы. В моностатических и бистатических системах с синтезированием апертуры антенны применение шумоподобных сигналов не приводит к ухудшению характеристик оценок и качеству интерпретации полученных радиолокационных изображений.

В обзорных РЛС использование шумоподобных сигналов в общем случае нецелесообразно вследствие высокого уровня помех, вызванных наличием боковых лепестков в автокорреляционной функции.

Для многопозиционных систем дистанционного зондирования существенное влияние на качество получаемых оценок имеет степень ортогональности сигналов, излучаемых различными передающими элемен-

тами. Степень ортогональности необходимо измерять по значению среднеквадратического уровня взаимокорреляционных функций в пространственных или частотно-временных координатах.

Если сигналы являются квазиортогональными, необходимо использовать модифицированные алгоритмы обработки, полученные с учетом характера взаимной корреляции между различными элементами МПРСА. Так, например, можно использовать оптимизацию по максимальному значению отношения сигнал/помеха для каждой бистатистической пары i -й приемник k -й передатчик

$$N_{t,r} \{u_{ik}(t)\} \rightarrow \text{Max}_H \frac{\langle N \left\{ \text{Re} \int_D \dot{F}_{ik}(\bar{r}) \dot{S}_{ik}(t, \bar{r}) d\bar{r} \right\}^2 \rangle}{\langle N \left\{ \text{Re} \sum_{j \neq k} \int_D \dot{F}_{ij}(\bar{r}) \dot{S}_{ij}(t, \bar{r}) d\bar{r} \right\}^2 \rangle + \langle N \{n_{ik}(t)\}^2 \rangle},$$

где $N\{\cdot\}$ – некоторый оператор обработки входного процесса. Для всей многопозиционной группировки необходимо решить интегрально-матричное уравнение, приводящее к оптимальным операторам комплексирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фалькович С.Е., Волосяк В.К., Горбуненко О.А. Радиотехнические системы дистанционного зондирования. – Х.: ХАИ, 2000. – 156 с.
2. Ксендзук А.В. Пространственные функции неопределенности многопозиционных систем дистанционного зондирования, основанных на использовании спутников GPS // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Х.: ХАИ. – 2003. – Вып. 1. – С. 26 – 32.
3. Радиолокационные станции с синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др.; Под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
4. Реутов А.П., Михайлов Б.А., Кондратенков Г.С. Бойко Б.В. Радиолокационные станции бокового обзора. – М.: Сов. радио, 1970. – 360 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. радио, 1974. – Кн. 1. – 552 с.

Поступила 24.11.2004

КСЕНДЗУК Александр Владимирович, канд. техн. наук, докторант Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Область научных интересов – дистанционные системы зондирования поверхности, статистическая обработка.

ВВСЕВ Игорь Анатольевич, адъюнкт ХУ ПС. В 1998 году окончил КИ ВВС. Область научных интересов – дистанционные системы зондирования поверхности, статистическая обработка.

КЛЕВЕЦ Сергей Иванович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ХУ ПС.

В 1994 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.