

УДК 621.396.96

Е. А. Колокольцев, А. В. Мякинков
Нижегородский государственный технический
университет им. Р. Е. Алексеева

Использование сверхширокополосного сигнала с повышенной частотой повторения в просветной многопозиционной радиолокационной системе

Рассмотрена структура многопозиционной сверхширокополосной просветной радиолокационной системы охраны периметра. Предложен способ формирования и обработки сверхширокополосного сигнала с повышенной частотой повторения, при котором обеспечивается расширение зоны обнаружения и однозначное измерение суммарной дальности на каждой приемной позиции. Получены оценки зон обнаружения, а также зависимости максимальной суммарной дальности и вероятности правильного обнаружения от мощности передатчика.

Сверхширокополосный сигнал, повышенная частота повторения, просветная радиолокационная система, зона обнаружения

Одной из наиболее сложных задач радиолокации является обнаружение медленно движущихся объектов в условиях лесистой или пересеченной местности. Для ее решения возможно применение принципа локации на просвет [1], [2], который позволяет повысить эффективность обнаружения целей по сравнению с совмещенной радиолокационной системой (РЛС) за счет резкого увеличения эффективной площади рассеяния (ЭПР) цели при нахождении ее в области между передатчиком и приемником (просветного эффекта) [3]. Использование в просветной РЛС узкополосного импульсного зондирующего сигнала не позволяет обеспечить требуемое разрешение по временной задержке сигнала [3], необходимое для обнаружения рассеянного целью сигнала на фоне мощного прямого сигнала передатчика. Альтернативными способами решения проблемы являются использование разрешения по частоте Доплера или применение сверхширокополосных (СШП) импульсных сигналов с высоким разрешением по задержке.

Разрешение по частоте Доплера весьма удобно использовать при обнаружении воздушных целей. При этом применяется узкополосный непрерывный зондирующий сигнал [3], что существенно упрощает систему его формирования и обработки. Однако при обнаружении медленно движущихся наземных целей на фоне отражений от растительности доплеровский сдвиг частоты оказывается сравним с шириной спектра пассивной помехи, что сильно усложняет селекцию целей [4].

Применение СШП-сигнала обеспечивает высокое разрешение по задержке. При распределен-

ном характере пассивной помехи это существенно снижает ее мощность в элементе разрешения. Однако относительно низкий уровень мощности излучения передатчика СШП-сигналов приводит к резкому снижению дальности действия по сравнению с использованием непрерывного сигнала. Повысить дальность действия можно за счет использования сигнала с повышенной частотой повторения (ПЧП) [5]. ПЧП импульсов – частота, при которой период излучения оказывается много меньше (в $N \gg 1$ раз) задержки сигнала, отраженного от цели, находящейся на максимальной дальности. При этом возникает неоднозначность измерения дальности. В настоящей статье предложен способ формирования и обработки СШП-сигнала с ПЧП, обеспечивающий однозначное измерение дальности до цели. Способ рассмотрен применительно к многозвенной просветной РЛС, предназначенной для обнаружения и определения местоположения объектов, проникающих на охраняемую территорию.

Структура просветной системы. Структурная схема СШП-просветной РЛС охраны периметра приведена на рис. 1. РЛС состоит из распределенной по периметру системы приемопередающих модулей Пд/Пр. Соседние модули находятся на расстояниях d_{ij} , где i, j – номера двух позиций, причем i -я позиция является соседом, расположенным против часовой стрелки относительно j -й позиции. Антенны приемопередающих позиций слаборазнесены, однако сигнал, излученный i -й

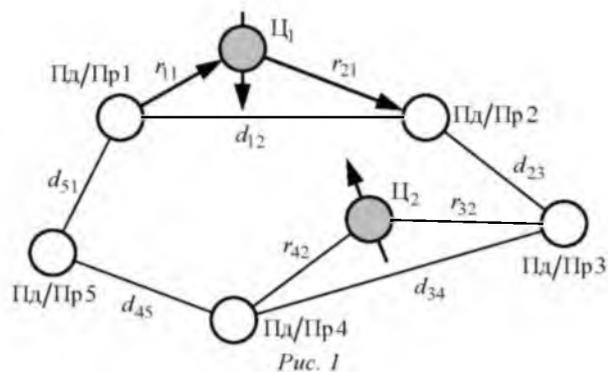


Рис. 1

позицией, выделяется только j -й позиция. Это достигается использованием для разных пар позиций ортогональных сигналов. Ортогональность обеспечивается фазовой модуляцией последовательностей импульсов по законам разных псевдослучайных последовательностей (ПСП). При этом на i -й позиции одновременно происходит излучение "своего" СШП-сигнала и прием и обработка СШП-сигналов, излученных j -й позицией.

При приближении цели ($Ц_k, k=1, 2$) к охраняемому периметру в окрестности линии базы d_{ij} происходит ее обнаружение в приемном канале j -й позиции и измерение суммарной дальности $l_k = r_{i,k} + r_{j,k}$.

Формирование сигнала. Рассмотрим формирование сигнала в отдельной позиции системы.

Процедуры формирования и приема импульсов в СШП-радиолокаторе имеют существенные особенности по сравнению с узкополосными и широкополосными системами [6]–[8]. Это связано, во-первых, с крайне малой энергией одиночного импульса. Во-вторых, для получения цифровых отсчетов СШП-сигнала необходимо применять аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с очень высокой скоростью преобразования (несколько гигагерц).

Для одновременного решения обеих указанных проблем используется следующий способ

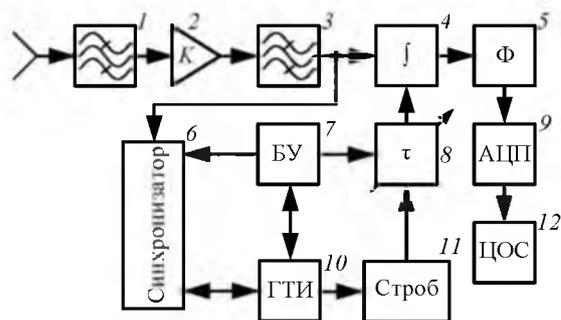


Рис. 2

получения цифровых отсчетов. При накоплении очередного отсчета по дальности обрабатывается пачка импульсов. Импульсы внутри пачки при излучении модулируются по фазе двоичной ПСП.

Схема формирования цифровых отсчетов сигнала в такой системе представлена на рис. 2 [6]. Отраженный сигнал после предварительного усиления 2 и фильтрации 1, 3 поступает на вход интегратора 4, который открывается лишь на короткое время, накапливая сигналы, пришедшие с определенной задержкой. Синхронизатор 6 подстраивает фазу генератора тактовых импульсов (ГТИ) 10 по прямому сигналу передатчика. По фронтам импульсов, вырабатываемых ГТИ, блоком 11 формируются импульсы стробирования интегратора. Временное положение стробирующих импульсов на управляющем входе интегратора 4 регулируется перестраиваемой линией задержки 8. Регулирование задержки производится по сигналам блока управления (БУ) 7, который привязывает начало периода зондирования к положению фронтов импульсов, вырабатываемых ГТИ.

Время накопления сигнала в интеграторе 4 (RC -цепи) много меньше времени разряда, поэтому накопление пачки СШП-импульсов, соответствующих одному импульсу последовательности $s_1(t)$ (рис. 3, а), происходит практически так же, как накопление прямоугольного импульса такой же длительности. При смещении строба по интервалу задержек отраженного сигнала формируются им-

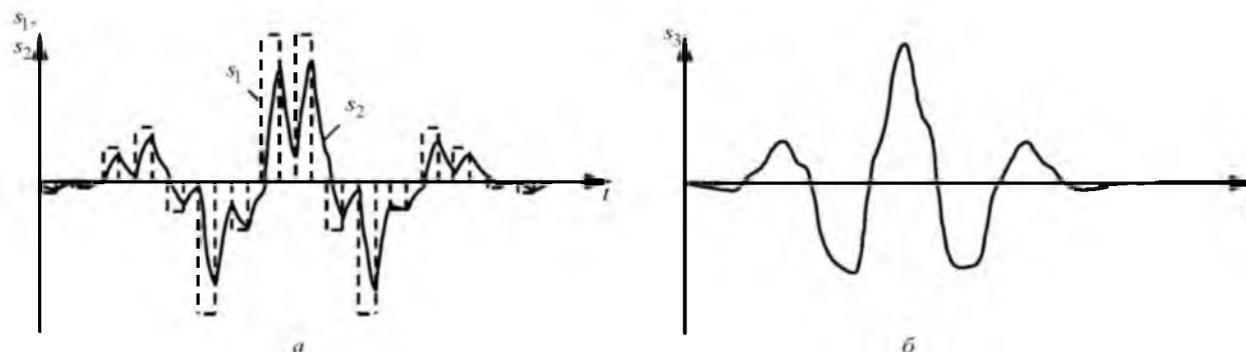


Рис. 3

пульсы $s_2(t)$, пропорциональные по амплитуде и соответствующие по знаку значениям отраженного СШП-сигнала, пришедшего с заданной задержкой. После сглаживающего фильтра (Ф) 5 (рис. 2) последовательность импульсов преобразуется в низкочастотный сигнал $s_3(t)$, форма которого соответствует форме отраженного от цели СШП-сигнала (рис. 3, б), преобразуемый АЦП 9 (рис. 2) в цифровые отсчеты, которые обрабатываются системой цифровой обработки сигналов (ЦОС) 12 (рис. 2).

Для увеличения энергии пачки импульсов частоту повторения предлагается увеличить в K раз. Такой сигнал можно сформировать за счет объединения K последовательностей с разным периодом повторения (рис. 4, а, в). Парциальные последовательности манипулируются по фазе разными ПСП (рис. 4, б, г). Затем они складываются, и результирующий сигнал излучается в пространство (рис. 4, д).

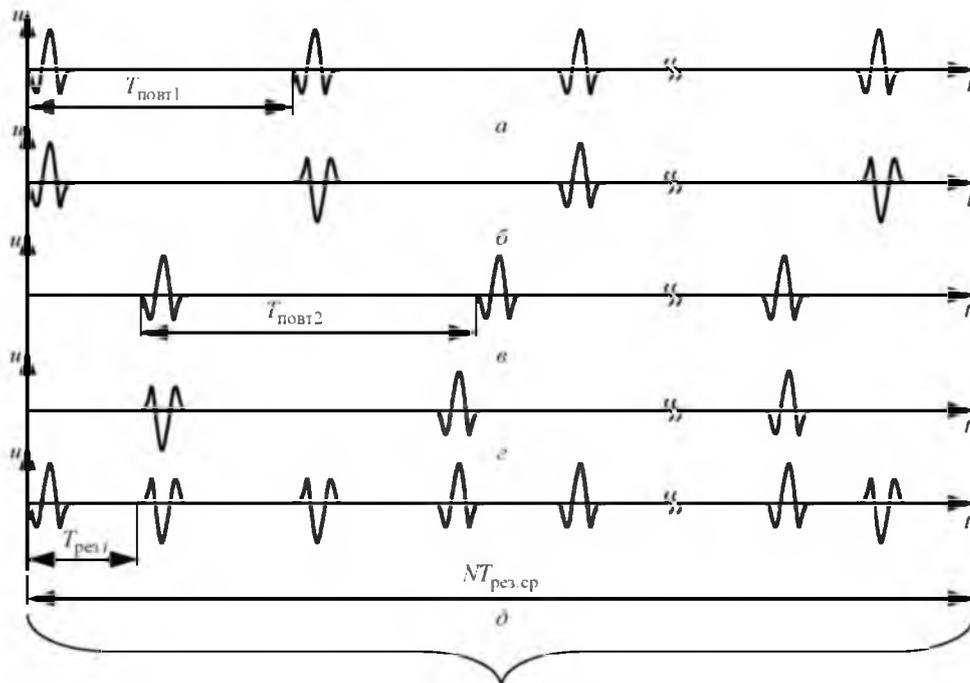
В результате сложения последовательностей с разными периодами повторения формируется пачка импульсов с повышенной частотой повторения. Период следования импульсов $T_{рез.ср}$ этой последовательности оказывается вобулированным, а средний период повторения пачки определяется как

$$T_{рез.ср} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{рез.и}$$

Функциональная схема накопления СШП-сигнала с повышенной частотой повторения пред-

ставлена на рис. 5. Отраженный сигнал, соответствующий каждой из последовательностей, накапливается в отдельных каналах, после чего результаты когерентно складываются. Для накопления в каждом канале принятый сигнал умножается на опорную импульсную последовательность с имеющей закон фазовой модуляцией, соответствующей требуемой ПСП. Эта последовательность формируется генератором ПСП (ГПСП), синхронизируемым по прямому сигналу передатчика (бистатический режим). Для этого используется согласованный фильтр для ПСП (СФ ПСП), соответствующей конкретному каналу. По положению максимума на выходе СФ ПСП подстраиваются фаза генератора ПСП и начальное положение строба. Выделенный сигнал накапливается схемой, аналогичной схеме, приведенной на рис. 2.

При использовании квазиортогональных ПСП с низким уровнем боковых лепестков взаимно корреляционной функции сигнал, соответствующий одной из ПСП, в каналах, настроенных на другие последовательности, будет иметь низкий уровень. Благодаря этому измерение дальности является однозначным. Когерентное сложение сигналов, модулированных разными ПСП, обеспечивается известными задержками между последовательностями. Для выравнивания задержек сигналов в разных каналах используются линии задержки τ_i (рис. 5). За счет когерентного накопления сигналов, соответствующих разным ПСП,



Пачка импульсов
Рис. 4

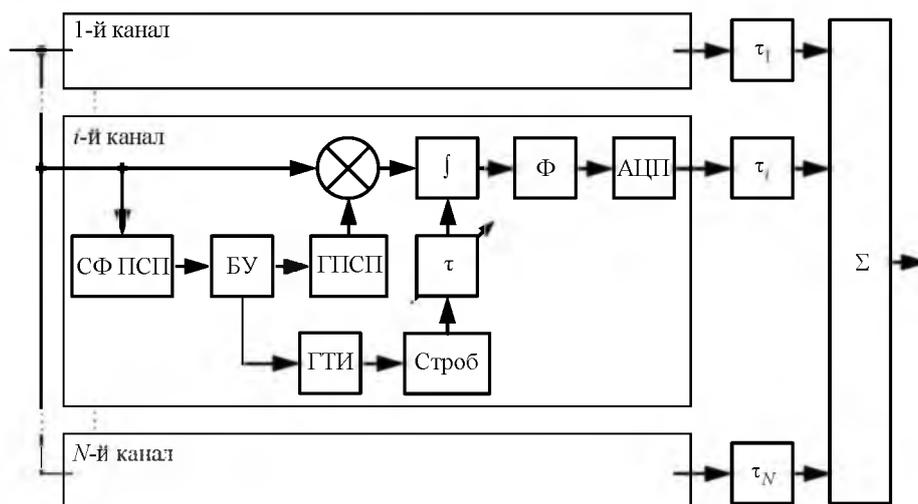


Рис. 5

увеличивается суммарная энергия полезного сигнала и, следовательно, дальность действия.

Временные диаграммы, иллюстрирующие результаты работы описанных алгоритмов, приведены на рис. 6–8. На рис. 6 показана реализация процесса на входе приемника. Отраженный от

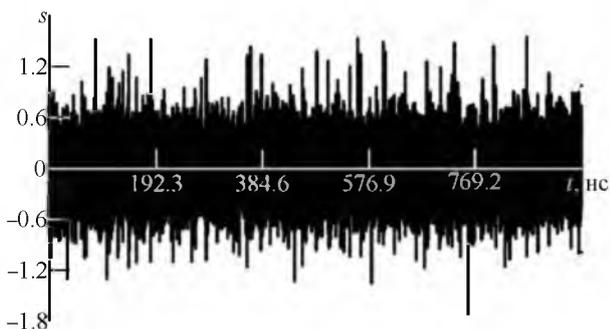


Рис. 6

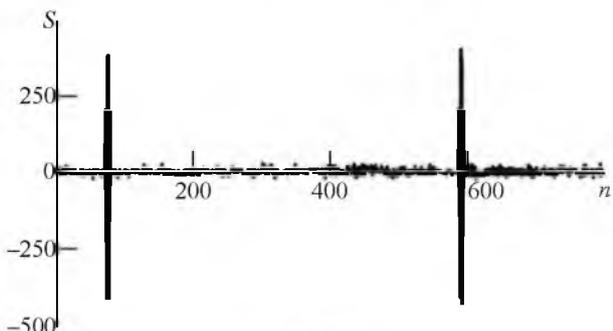


Рис. 7

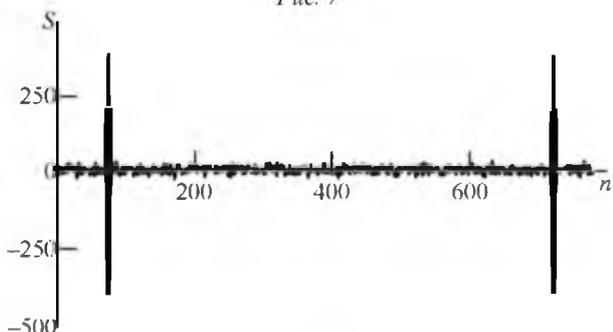


Рис. 8

цели сигнал на этой временной диаграмме визуально не наблюдается на фоне шума.

На рис. 7, 8 показаны дискретные отсчеты сигналов на выходах АЦП каналов накопления, соответствующих двум разным периодам повторения, сигналы которых модулируются двумя разными ПСП. После накопления сигналов в каналах наблюдаются импульсы с разными периодами повторения, причем в каждом из каналов только импульсы с тем периодом повторения, на который настроен данный канал.

Анализ возможностей расширения зоны обнаружения. Оценим зону обнаружения СШП-просветной РЛС при обнаружении человека. Мощность сигнала на входе приемника определим из основного уравнения радиолокации:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пд}} G_{\text{пр}} G_{\text{пд}} \sigma_{\text{ц}} \eta \lambda^2 A_{\text{пр}}^2 A_{\text{пд}}^2}{64 \pi^3 r_1^2 r_2^2} \quad (1)$$

где $P_{\text{пд}}$ – импульсная мощность передатчика; $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{пд}}$ – коэффициенты усиления приемной и передающей антенн соответственно; $\sigma_{\text{ц}}$ – просветная ЭПР цели; η – результирующий коэффициент полезного действия передающего и приемного трактов; λ – длина волны излучения передатчика; $A_{\text{пр}}$, $A_{\text{пд}}$ – нормированные диаграммы направленности приемника и передатчика соответственно; r_1 , r_2 – расстояния от цели до передающей и приемной позиций соответственно.

Для представленных далее результатов принято $P_{\text{пд}} = 100$ мВт, ЭПР человека $\sigma_{\text{ц}} = 1$ м². Антенны считаем слаборазнесенными $G_{\text{пр}} = G_{\text{пд}} = 2$ дБ, $A_{\text{пр}} = A_{\text{пд}} = 1$. Сигнал излучается в миллиметро-

вом диапазоне длин волн, средняя длина волны $\lambda = 44$ мм.

Положим, что на приемной стороне реализуется оптимальное накопление просветного сигнала. При таком накоплении рассеянного сигнала с неизвестной начальной фазой отношение "сигнал/шум" (ОСШ) определяется следующим выражением: $\rho = E/N_0$, где E – энергия просветного сигнала; N_0 – спектральная плотность мощности собственного шума приемника.

Энергия накопленного сигнала определяется как

$$E = P_{\text{пр}} N \tau_{\text{и}}, \quad (2)$$

где N – число импульсов; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса.

Для расчета требуемой энергии сигнала определим спектральную плотность мощности шума:

$$N_0 = k n_{\text{ш}} T_{\text{ш}},$$

где $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $n_{\text{ш}}$ – шум-фактор приемника; $T_{\text{ш}}$ – шумовая температура. Приняв $n_{\text{ш}} = 3$, $T_{\text{ш}} = 293$ К, получим $N_0 = 1213 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц.

Зону обнаружения (ЗО) на плоскости xOy определим как область, в пределах которой ОСШ q не меньше порогового значения, которое необходимо для обеспечения требуемой вероятности правильного обнаружения. Зададимся значениями вероятностей правильного обнаружения $D = 0.6$ и ложной тревоги $F = 10^{-6}$. При этом пороговое ОСШ составляет 14.2 дБ.

ЗО при указанных параметрах при периоде повторения, обеспечивающем однозначное измерение, представлена на рис. 9.

При увеличении числа импульсов увеличивается энергия, ОСШ и появляется возможность увеличить ЗО. Варианты расширения ЗО отдельного бистатистического звена многопозиционной системы изображены на рис. 10, где Пд и Пр – передающая и приемная позиции соответственно; b –

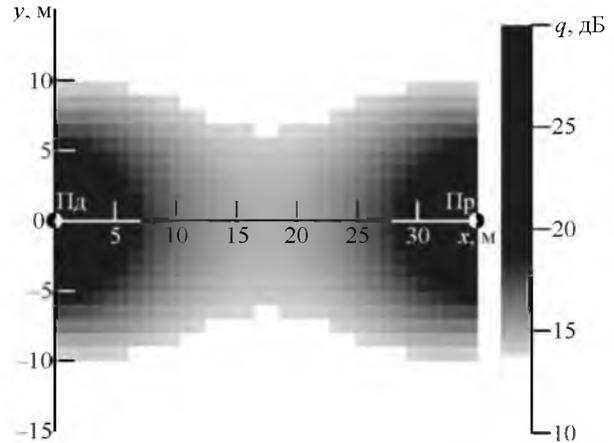


Рис. 9

база системы; r_{1m} и r_{2m} – дальности до передающей и приемной позиций, соответствующие максимальному удалению цели от линии базы в режиме зондирования с однозначным измерением дальности без использования ПЧП-сигнала; r'_{1m} и r'_{2m} – то же с использованием ПЧП-сигнала. На рис. 10, а представлено расширение ЗО при сохранении расстояния между передатчиком и приемником (длина линии базы b).

На рис. 10, б показан другой способ расширения ЗО, заключающийся в увеличении длины линии базы при сохранении ширины зоны обнаружения (Пр' – новая приемная позиция). Данный способ более эффективен для просветной системы охраны периметра. В этом случае при неизменном числе позиций увеличивается периметр либо при фиксированном периметре можно уменьшить число позиций.

На рис. 11 приведены оценки ЗО просветной системы как звена многопозиционной системы охраны периметра, построенные при тех же параметрах, что и для рис. 9, но с использованием восьми ортогональных ПСП, которым соответствует $N = 4088$ импульсов в пачке. Рис. 11, а соответствует расширению ЗО (рис. 10, а), рис. 11, б – увеличению длины базы (рис. 10, б). Как следует из рис. 11, в обоих случаях при использовании СШП-сигнала с ПЧП размеры ЗО увеличиваются

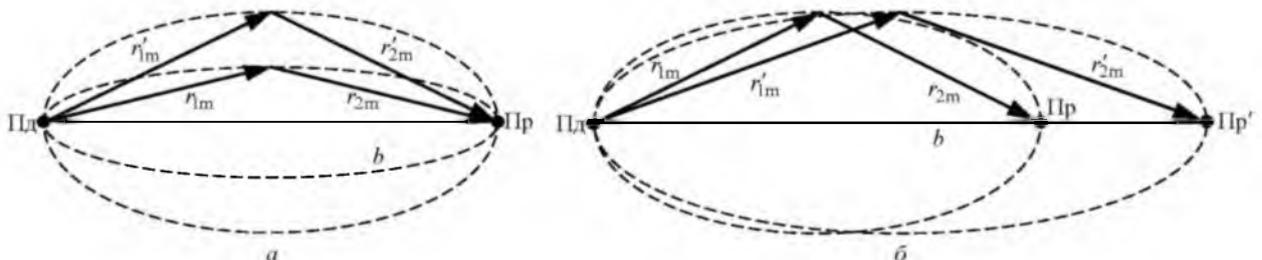


Рис. 10

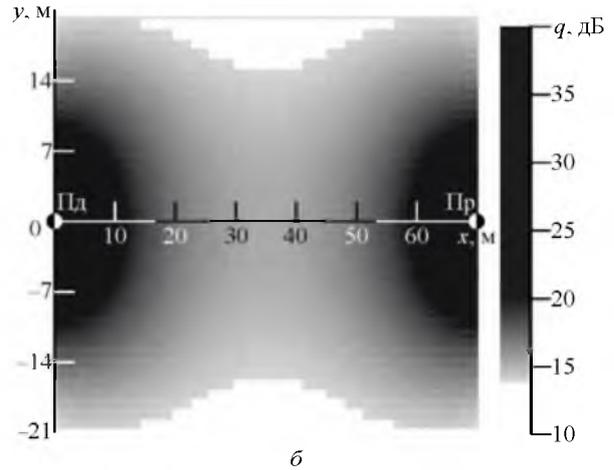
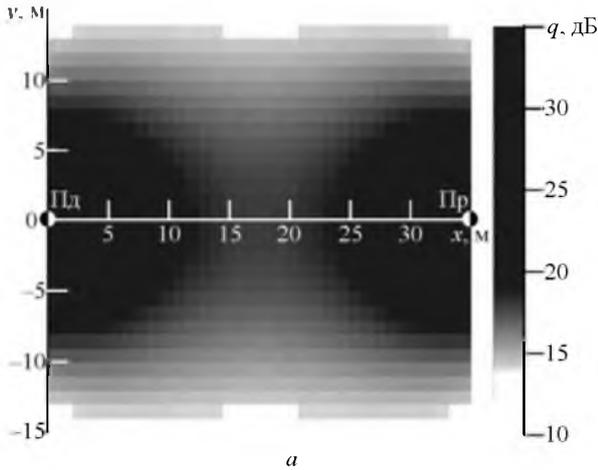


Рис. 11

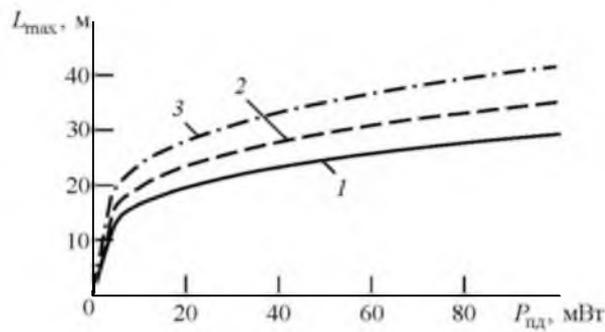


Рис. 12

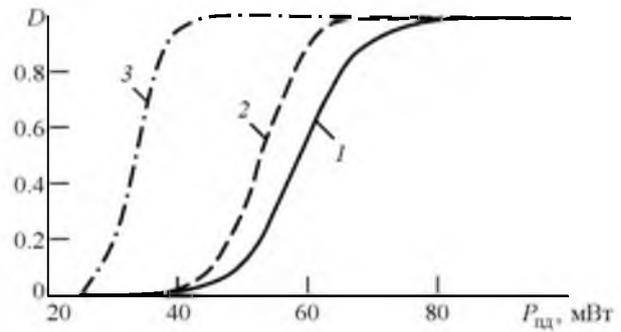


Рис. 13

по сравнению с использованием одной последовательности (см. рис. 9).

Математическим моделированием построены зависимости максимальной суммарной дальности обнаружения L_{\max} от мощности передатчика $P_{\text{пд}}$ (рис. 12) и вероятности правильного обнаружения от мощности передатчика при фиксированной вероятности ложной тревоги $F = 10^{-6}$ и максимальной суммарной дальности $L_{\max} = 22$ м (рис. 13). На приведенных графиках кривая 1 соответствует накоплению одной ПСП, кривая 2 – двух последовательностей, а кривая 3 – четырех.

Из приведенных графиков видно, что при фиксированной мощности передатчика применение режима локации с ПЧП обеспечивает увеличение максимальной суммарной дальности обнаружения цели, а при фиксированной суммарной дальности и мощности передатчика обеспечивается более надежное обнаружение.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод о том, что использование предложенных способов формирования и обра-

ботки сигнала с ПЧП при создании многопозиционных просветных РЛС охраны периметра позволяет расширить ЗО каждого бистатического звена системы при сохранении однозначного измерения суммарной дальности. Оптимальным способом расширения зоны обнаружения является увеличение длины линии базы. В соответствии с (1) и (2) потенциально достижимое увеличение длины базы (при пренебрежении влиянием земной поверхности) определяется корнем четвертой степени из числа ортогональных сигналов, составляющих суммарный результирующий сигнал. Как следует из зависимостей на рис. 12, при использовании четырех последовательностей вместо одной максимальная суммарная дальность увеличивается примерно в $\sqrt{2}$ раз. Это обеспечивает возможность увеличения периметра при сохранении числа позиций или уменьшения числа позиций при той же длине периметра. Так, использование суммарного сигнала, составленного из шестнадцати ортогональных ПСП, позволяет сократить общее число позиций в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blyakhman A. B., Runova I. A. Forward Scattering Radiolocation Bistatic RCS and Target Detection // Proc.

of the 1999 IEEE Radar Conf., Waltham, USA, Apr. 1999. Piskateway: IEEE, 1999. P. 203–208.

2. Чапурский В. В. Расчет спектров обращенных голограмм и ЭПР сложных объектов при рассеянии вперед // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1989. Т. 32, № 7. С. 75–77.

3. Bistatic Radar: Principles and Practice / ed. by M. Cherniakov. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2007. 518 p.

4. Мякинков А. В., Рындык А. Г., Смирнова Д. М. Многопозиционная просветная радиолокационная система обнаружения наземных целей // Вопр. радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2013. Вып. 1. С. 44–50.

5. Кошелев В. И. Метод повышения дальности действия РЛС с квазинепрерывным сигналом // Радиотехнические и измерительные системы. 2012. № 1. С. 31–35.

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2016 г.

Для цитирования: Колокольцев Е. А., Мякинков А. В. Использование сверхширокополосного сигнала с повышенной частотой повторения в просветной многопозиционной радиолокационной системе // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 2. С. 57–64.

Колокольцев Евгений Александрович – магистр техники и технологии по направлению "Радиотехника" (2015), аспирант кафедры информационных радиосистем Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. Сфера научных интересов – радиолокация; цифровая обработка сигналов. E-mail: jvs_91@mail.ru

Мякинков Александр Валерьевич – доктор технических наук (2013), доцент (2010), профессор кафедры информационных радиосистем Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. Автор 79 научных работ. Сфера научных интересов – радиолокация; цифровая обработка сигналов. E-mail: redvillage@mail.ru

E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev

Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System

Abstract. *The paper deals with the problem of detection of slow-moving ground targets in the multi-static ultra wideband forward-scatter radar. The existing methods of ground target detection cannot simultaneously provide high efficiency in conditions of clutter and required resolution. The author proposes algorithms of UWB signal forming and processing which provides the increase of the coverage when detecting ground targets and high range resolution. The considered approach is based on the use of ultra-wideband signal with high repetition rate. Such signal is generated by means of combination of a number of sequences with different repetition periods. Integration of target reflected signal at the receiving side is performed in separate channels for each sequence. After that, the results of integration are summed up coherently. This approach allows to disambiguate range measurements and increase total energy of the signal.*

The coverage of forward-scatter radar when using UWB probing signal is analyzed. The estimation of UWB FSR coverage is obtained for the case when different numbers of quasi-orthogonal sequences with different repetition periods are used for complex probing signal formation. It is shown that the increase of the number of sequences allows the reduction of the required number of positions when keeping the controlled perimeter or the increase of controlled perimeter with the same number of positions.

Key words: Ultra Wideband Signal, High Repetition Rate, Forward Scatter Radar, Detection Area

REFERENCES

1. Blyakhman A. B., Runova I. A. Forward Scattering Radiolocation Bistatic RCS and Target Detection. Proc. of the 1999 IEEE Radar Conference, Waltham, USA, Apr. 1999. Piscataway, IEEE, 1999, pp. 203–208.

2. Chapursky V. V. Calculation of Reversed Hologram Spectra and Complex Object RCS for Forward Scattering. *Izv. vuzov. Radioelektronika*, 1989, vol. 32, no. 7, pp. 75–77. (In Russian)

3. Bistatic Radar: Principles and Practice, ed. by M. Cherniakov. Chichester, England, John Wiley & Sons, Ltd, 2007, 518 p.

6. Пат. RU 2258942 С1. МПК G01S13/00 (2000.01). Способ стабилизации временного положения сверхширокополосного сигнала и локатор для мониторинга живых объектов, реализующий этот способ / А. В. Андриянов, Г. С. Икрамов, С. В. Курамшев; опубл. 20.08.2005. Бюл. № 23.

7. Скосырев В. Н., Ананенков А. Е. Применение сверхкороткоимпульсных сигналов в РЛС малой дальности. М.: Эдитус, 2015. 138 с.

8. Андриянов А. В., Икрамов Г. С. Приборы для обнаружения живых людей и контроля физиологической активности // Датчики и системы. 2013. № 7. С. 15–19.

9. Мякинков А. В., Рындык А. Г., Смирнова Д. М. Многопозиционная просветная радиолокационная система обнаружения наземных целей // Вопр. радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2013. Вып. 1. С. 44–50.

10. Кошелев В. И. Метод повышения дальности действия РЛС с квазинепрерывным сигналом // Радиотехнические и измерительные системы. 2012. № 1. С. 31–35.

11. Колокольцев Е. А., Мякинков А. В. Использование сверхширокополосного сигнала с повышенной частотой повторения в просветной многопозиционной радиолокационной системе // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 2. С. 57–64.

12. Мякинков Александр Валерьевич – доктор технических наук (2013), доцент (2010), профессор кафедры информационных радиосистем Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. Автор 79 научных работ. Сфера научных интересов – радиолокация; цифровая обработка сигналов. E-mail: redvillage@mail.ru

13. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

14. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

15. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

16. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

17. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

18. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

19. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

20. E. A. Kolokoltsev, A. V. Myakinkov. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Journal of Radio Electronics*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

ing the Temporal Position of Ultrawide-Band Signal and Living Object Monitoring Locator Used to Realize the Method]. Pat. RF, no. 2258942, 2005. (In Russian)

7. Skosyrev V. N., Ananenkov A. E. *Primenenie sverkh-korotkoimpul'snykh signalov v RLS maloi dal'nosti* [Applica-

tion of Super-Short Pulse Signals in a Short-Range Radar]. Moscow, Editus, 2015, 138 p. (In Russian)

8. Andriyanov A. V., Ikramov G. S. Devices for Detecting Living People and Controlling Physiological Activity. *Datchiki i sistemy*, 2013, no. 7, pp. 15–19. (In Russian)

Received November, 28, 2016

For citation: Kolokoltsev E. A., Myakinkov A. V. Application of Ultra Wideband Signal with High Repetition Rate in Forward Scatter Multi-Static Radar System. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2017, no. 2, pp. 57–64. (In Russian)

Evgeny A. Kolokoltsev – Master of Science in Radio engineering (2015), the postgraduate student of the department of Informational Radio Systems of Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev. Area of expertise: radiolocation, digital signal processing.

E-mail: jvs_91@mail.ru

Aleksandr V. Myakinkov – D.Sc. in engineering (2013), Associate Professor (2010), Professor of the department of Informational Radio Systems of Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev. The author of 79 scientific publications. Area of expertise: radiolocation; digital signal processing.

E-mail: redvillage@mail.ru