

Исследование многопозиционной РЛС на основе системы связи WiMAX

Е.П. Великанова, Е.П. Ворошилин, А.А. Гельцер,
Е.В. Рогожников, П.С. Киселёв

Возможность использования систем связи для радиолокационных задач широко исследуется в настоящее время. Это, так называемые, гибридные системы, выполняющие одновременно как функцию системы связи, так и радара. В данной статье рассматривается гибридная система на основе универсальной сети беспроводной связи WiMAX, в частности, следующие вопросы: дальность действия системы, применение алгоритмов когерентного накопления импульсной характеристики канала распространения радиоволн с целью увеличения дальности действия системы, разрешающая способность по дальности и скорости.

Ключевые слова: бистатическая РЛС, система связи, дальность действия, накопление сигналов.

1. Введение

Многопозиционные радиолокационные системы (МПРЛС) получили широкое распространение в России. Одной из ключевых особенностей построения таких систем является пространственная разнесённость станций приёма-передачи и значительные объёмы передаваемой информации между ними. Системы обмена информацией в МПРЛС могут быть организованы различными способами, в том числе с использованием высокоскоростной передачи данных по радиоканалу.

Введём определение комбинированной системы. Комбинированной системой будем считать систему, полученную путём адаптации системы связи для сканирования окружающего пространства. Она обеспечивает пользователей связью и выполняет задачу радиолокационного обзора пространства.

Одними из наиболее перспективных сетей связи являются современные беспроводные сети передачи данных стандарта IEEE 802.16e. Именно на их основе предлагается исследовать возможность построения комбинированной МПРЛС системы.

Разработка гибридной системы приведёт к созданию комплекса, объединяющего в себе систему высокоскоростной беспроводной связи, аналогичную по характеристикам сетям 4-го поколения и выше, а также к созданию многопозиционной радиолокационной системы контроля воздушного пространства ближнего/среднего радиуса действия. Именно поэтому это является целесообразной и актуальной задачей.

2. Принцип построения гибридной системы и параметры зондирующего сигнала

Рассматривается многопозиционная система, представляющая собой сеть приёма-передающих связных устройств (рис. 1). В режиме радиолокационного обнаружения одно

из них функционирует как активное (излучает сигнал), а остальные являются пассивными (принимают сигнал, отражённый от цели).

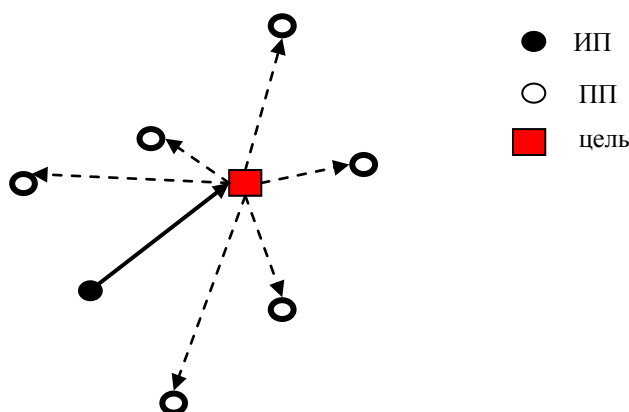


Рис. 1 – Конфигурация построения многопозиционной бистатической радиолокационной системы

На рис. 1 используются следующие обозначения: ИП – излучающий пункт, ПП – приёмный пункт.

Сформированные в каждом пункте первичные радиолокационные наблюдения (задержка и пеленг сигнала) передаются в центральный пункт обработки для формирования итоговых оценок текущих координат цели и параметров её движения.

В качестве зондирующего сигнала, используется сигнал стандарта WiMAX с параметрами:

- несущая частота: $f = 2.4$ ГГц;
- мощность: $P = 15$ Вт;
- длительность: $\tau = 100$ мкс;
- количество импульсов накопления: $n = 1$;
- полоса сигнала: $\Delta f = 20$ МГц.

Далее выполним расчёт дальности действия исследуемой системы.

2. Дальность действия радара, построенного на базе системы связи WiMax

Дальность действия радиолокатора в свободном пространстве определяется следующим выражением [1]:

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{изл}} \cdot G_{\text{пер}} \cdot S_a \cdot \sigma}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр_min}} \cdot L}}, \quad (1)$$

где: $S_a = \frac{G_{\text{пр}} \cdot \lambda^2}{4\pi}$ – эффективная площадь приёмной антенны;

$P_{\text{изл}}$ – мощность излучаемого сигнала;

G – коэффициент усиления антенной системы (приёмной $G_{\text{пр}}$ и передающей $G_{\text{пер}}$);

σ – эффективная поверхность рассеяния цели (ЭПР);

$P_{\text{пр_min}} = k_p \cdot P_u$ – минимальная принимаемая мощность для выполнения критерия обнаружения;

$P_{\sigma} = k_{\sigma} \cdot T_0 \cdot k \cdot \Delta f$ – мощность шума;

Δf – эффективная полоса приёмника;

τ – длительность сигнала;

T_0 – нормальная температура (290 °K);

$k_{ш}$ – коэффициент шума приёмного тракта;

$k_p = \frac{q_{\min}}{n}$ – коэффициент различимости;

$q_{\min}$ – минимальное отношение сигнал/шум (ОСШ), определяемое заданным значением вероятности правильного обнаружения D и ложной тревоги F ;

n – количество накапливаемых импульсов;

L – дополнительные потери в системе при передаче и обработке сигнала.

Для бистатической системы искомая дальность действия представляет собой среднее значение из дальностей от передатчика до цели R_t и от цели до приёмника R_r : $\sqrt{R_t R_r} = R_0$ [2].

При распространении радиоволн в атмосфере происходит искривление траектории радиоволн (рефракция) и рассеяние электромагнитной энергии атомами и молекулами воды и газа [3]. Поскольку базовые станции системы связи находятся между собой на расстоянии 500–3000 м, то явлением рефракции можно пренебречь.

Следующим параметром, важным с точки зрения расчёта дальности действия, является ЭПР цели. Пусть линии передатчик–цель и цель–приёмник образуют угол β . Если $\beta=0$, то система моностатическая, если $\beta>0$, система бистатическая. В зависимости от угла β бистатическая ЭПР цели может существенно превышать ЭПР обратного рассеяния (моностатическую). В частности, максимальное её значение имеет место при $\beta \approx 180^\circ$ (радар прямого рассеяния). [4].

В проводимых исследованиях ограничимся диапазоном ЭПР целей от 1 до 70 м².

Расчёт дальности действия будет выполнен с учётом затухания радиоволн в атмосфере (по формуле 1), но без учёта влияния подстилающей поверхности. Это обусловлено тем, что учёт дифракционного множителя можно легко сделать позднее для конкретных параметров системы (высота подъёма антенны, высота цели, степень компенсации провалов ДН и т.п).

Задаваясь удовлетворительными значениями вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги: $D=0.90$, $F=10^{-4}$, требуемое значение $q_{\min}$ можно определить графически, рис. 2 [5].

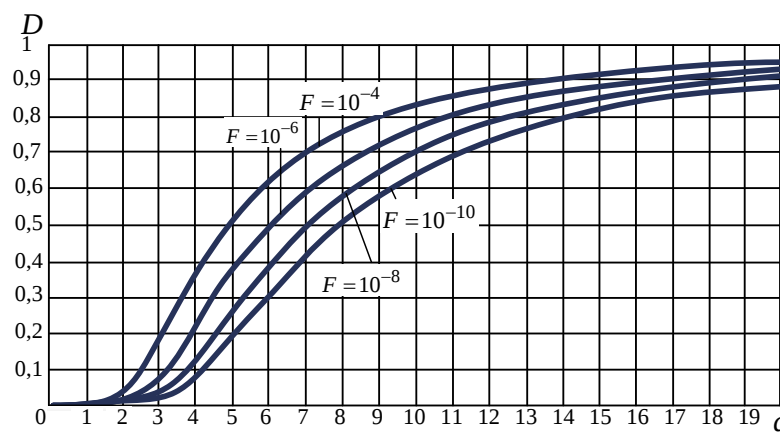


Рис. 2. Зависимость вероятности правильного обнаружения от параметра обнаружения q при заданной вероятности ложной тревоги

Коэффициент шума приёмника $k_{ш}$ зависит от соответствующих характеристик элементов приёмного тракта. Современные приёмники могут обеспечить величину $k_{ш}$ в 2 дБ. Суммарные дополнительные потери в системе составляют в среднем $L=6$ дБ [6]. В табл. 5 представлен общий перечень параметров, используемых при расчёте дальности действия системы.

Таблица 5. Перечень значений параметров приёмо-передающего тракта, используемых при расчёте дальности действия радара

$P_{\text{имп}}, \text{Вт}$	$G_{\text{пер}}, \text{дБ}$	$G_{\text{пр}}, \text{дБ}$	$\sigma, \text{м}^2$	$q_{\text{min}}, \text{дБ}$	$k_{ш}, \text{дБ}$	$L, \text{дБ}$
15	20	20	1–50	15	2	6

Результат расчёта дальности действия приведён на рис. 3. Рассматривался случай работы радара при длительности символа $\tau=300$ мкс.

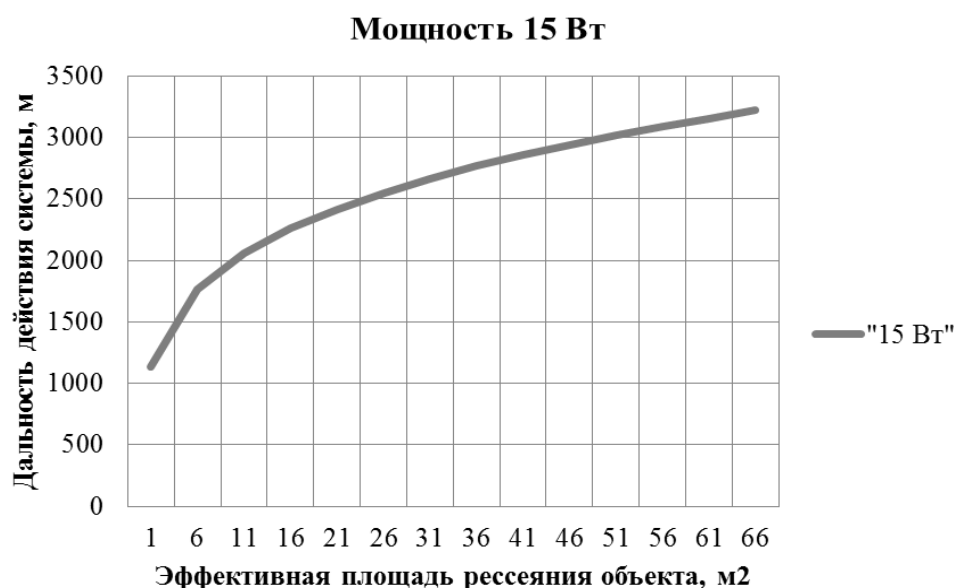


Рис. 3. Дальность действия радара при работе по преамбуле и двум информационным символам

На рис. 3 видно, что максимальная дальность действия комбинированной системы составляет 1.2 км (для ЭПР=1 м²). Поскольку станции располагаются на расстоянии 500 –

2000 м, а бистатическая ЭПР большинства наземных целей превышает 1 м^2 , то этой дальности достаточно для решения радиолокационной задачи при мониторинге наземных целей.

Исследуемая гибридная система может быть построена на основе систем связи других стандартов, а также систем цифрового телевидения; параметры этих систем описаны в работе [7]. Результаты расчёта дальности действия такой системы на основе системы связи LTE и цифрового телевидения по стандарту DVB-T2 описаны в работе [7] и приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчёта разрешающей способности и дальности действия системы

Сигнал	LTE	DVB-T2
Полоса сигнала (МГц)	1.4	8
Разрешающая способность (м)	107.14	18.7
Дальность действия системы (ЭПР цели 40 м^2) (м)	6000	19000

Построение гибридной системы на основе станций цифрового телевидения стандарта DVB-T2 предпочтительно при необходимости обеспечения максимальной дальности, поскольку сигналы DVB-T2 имеют наибольшую длительность символа (до 3.5 мс), а передатчики обладают мощностью от 50 Вт и более. Однако не всегда станции телевидения имеют несколько соседних станций, на основе которых можно построить многопозиционную систему. Сети мобильной связи строятся иначе, всегда имеется несколько станций, расположенных в пределах 1–6 км.

3. Повышение дальности действия МПРЛС, построенных на основе телекоммуникационных систем

Увеличение дальности действия гибридной системы возможно за счёт применения когерентного накопления зондирующего сигнала, применяющегося в классических радиолокационных системах.

Сигналы телекоммуникационных систем нельзя накапливать аналогично тому, как это происходит в радиолокационных системах, поскольку каждый следующий символ отличается от предыдущего, т.к. в системе связи производится передача информации пользователей. Поэтому накопление сигналов провести невозможно, однако можно накапливать оценки импульсной характеристики канала, получаемые по принимаемому эхо-сигналу и излучённому [8, 4]. Поясним механизм такого накопления.

Сигнал, излучаемый опорной базовой станцией (БС), может быть принят соседними станциями, зоны действия которых всегда имеют перекрытие. Таким образом, соседние БС способны принять сигнал опорной БС, восстановить и исправить ошибки в принятом сигнале и получить исходный сигнал, который излучался опорной БС. Это позволит произвести оценку импульсной характеристики (ИХ) канала распространения радиоволн, которая несёт информацию о задержке эхо-сигнала, отражённого от радиолокационной цели; накопление оценок ИХ можно производить по классическим принципам [1, 3].

На рис. 4 приведён график зависимости дальности действия МПРЛС на основе системы WiMax от количества n оценок ИХ, подлежащих когерентному накоплению.

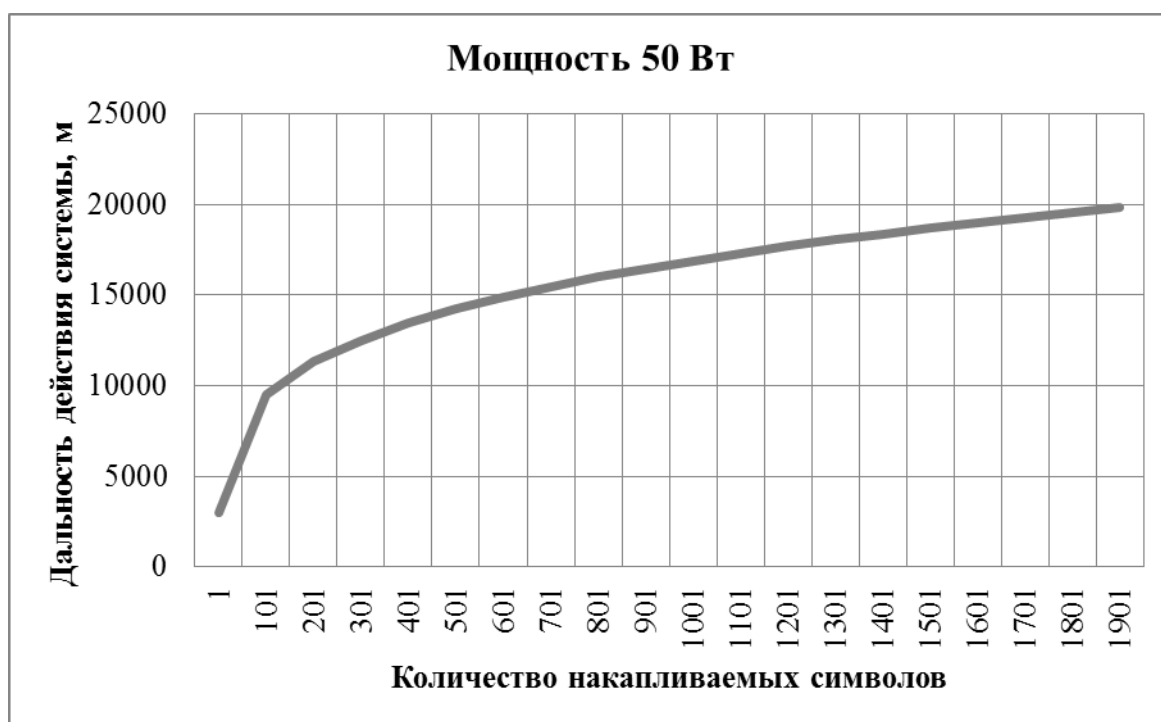


Рис. 4. Зависимость дальности действия от количества накапливаемых символов

4. Алгоритм работы системы.

Рассмотрим принцип работы системы на примере. Предположим, что у нас есть 4 базовых станции и одна цель (см. рис.5).

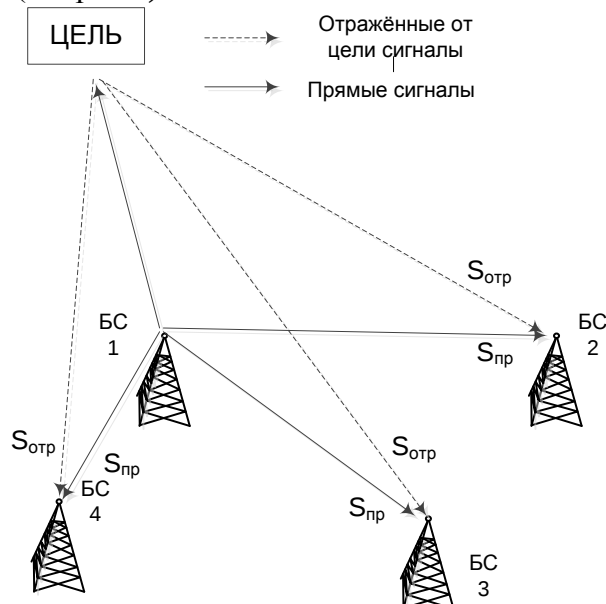


Рис. 5. Схема распространения сигналов в комбинированной системе

Базовая станция (БС) 1 излучает сигнал S . Этот сигнал проходит беспроводной канал распространения радиоволн, на вход БС 2, БС 3 и 4 поступают как прямые сигналы $S_{пр}$, так и сигналы, отраженные от радиолокационной цели $S_{отр}$. Сигнал S , излученный БС1, может быть демодулирован и восстановлен в остальных базовых станциях (2, 3 и 4), используя пилотные сигналы. Зная сигналы S и $S_{отр}$, производится оценка импульсной характеристики канала РРВ. Полученные оценки ИХ позволяют определить задержку сигнала, отраженного от радиолокационной цели, относительно прямого сигнала, поступившего от передатчика.

Пространственная локализация радиолокационной цели может быть произведена, например, при помощи разностно-дальномерного метода [9]. Для увеличения дальности действия полученные оценки ИХ накапливаются.

5. Заключение

В статье рассмотрены базовые подходы к построению МПРЛС на основе телекоммуникационных систем. Дальность действия подобной системы серьёзно ограничивается мощностью передатчика телекоммуникационных систем. Однако она может быть увеличена за счёт когерентного накопления оценок импульсных характеристик.

Литература

1. Сколник М., Горохов П.К. Введение в технику радиолокационных систем – М.: Мир, 1965. – 747 с.
2. Kostylev V.I., Stukalova I.V. Bistatic radar: maximum range and effective area // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. 2006. № 1. С. 46-50.
3. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. – 319 с.
4. Денисов В.П., Крутиков М.В., Гельцер А.А. Определение местоположения объектов, рассеивающих радиоволны на трассе распространения, по сигналам, принятым пассивной системой радиомониторинга // Труды XV международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж. 2009г. – 1935 стр., Том 3, стр. 1833-1841.
5. Денисов В.П., Дудко Б.П. Радиотехнические системы. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2006. – 253 с.
6. The Radar Range Equation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scitechpub.com/pomr/Ch%2002.pdf>, свободный (дата обращения: 21.12.2013).
7. Рогожников Е.В., Ушарова Д.Н., Убайчин А.В. Использование сигналов современных телекоммуникационных систем в пассивных радиолокационных системах // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323, № 5. С. 44–48.
8. Ворошилин Е.П., Рогожников Е.В., Вершинин А.С. Метод повышения точности оценки передаточной функции канала распространения радиоволн // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 5. С. 133-137.
9. Ворошилина Е.П., Тисленко В.И. Новый алгоритм оценки координат в разностно-дальномерной системе при наличии переотражений // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2007. – №2. – С. 146–150.

Статья поступила в редакцию 21.05.2014;
переработанный вариант — 24.06.2014

Великанова Елена Павловна, к.т.н., доцент кафедры радиотехнических систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Тел. (3822) 41-36-70, e-mail: raliens@mail.ru. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, системы широкополосного беспроводного доступа и радиолокации.

Гельцер Андрей Александрович, к.т.н., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел. (3822) 41-33-98, e-mail: gaa.pochta@gmail.com. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, системы широкополосного беспроводного доступа и радиолокации.

Ворошилин Евгений Павлович, к.т.н., проректор по научной работе Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ), тел. (495) 223-05-23 (доб. 1317), e-mail: voroshilin@mami.ru. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, системы широкополосного беспроводного доступа и радиолокации.

Рогожников Евгений Васильевич, аспирант кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел. 41-33-98, e-mail: udzhon@mail.ru. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, телекоммуникационные системы.

Киселёв Павел Сергеевич, техник кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, тел. 41-33-98, e-mail: kiselev.ps@gmail.com. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, телекоммуникационные системы.

Research of multiposition radar on the basis of WiMAX communication system

E.P. Velikanova, E.P. Voroshilin, A.A. Geltser, E.V. Rogozhnikov, P.S. Kiselev

The ability to use communication systems for radar tasks is being investigated extensively at the moment. This is so-called hybrid systems executing at the same time function of a communication system and a radar. In this article, the hybrid system based on universal wireless networks WiMAX in particular and the following issues : the range of the system, the use of algorithms of coherent accumulation of a pulse response of the channel of radio propagation in order to increase the range of the system, resolution capability of range and speed are considered.

Keywords: bistatic radar, communications system, range of system, signal accumulation.