

**Бородин Андрей Викторович**

канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный

технологический университет»

г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл

**Уразаева Полина Сергеевна**

соискатель

МОУ «Лицей №11 им. Т.И. Александровой

г. Йошкар-Олы»

г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл

DOI 10.21661/r-118392

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ КВАЗИАГОРИЗОНТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация:* настоящая статья представляет попытку футурологического прогноза развития перспективных систем радиолокации на основе синтеза современных достижений информационных технологий, электроники и мобильной энергетики. Предложена идея новой экономической модели для рынка услуг радиолокации.

*Ключевые слова:* апертурный синтез, беспилотный летательный аппарат, загоризонтный радиолокатор, крест Миллса, программируемая радиосистема, SDR, фазированная антенная решётка, ФАР.

Рассмотрим причины ограничения дальности систем классической радиолокации, см. рис. 1. Пусть радиолокационная станция (РЛС) расположена в точке A. Антенна РЛС расположена на высоте  $h$ . Предположим, далее, что Земля представляет из себя идеальный шар с радиусом  $r = 6371$  км. Пользуясь данным предположением можно записать

$$(r + h) \cos \alpha = r \Rightarrow \cos \alpha = \frac{r}{r + h}, \quad \alpha \in (0, \pi/2) \Rightarrow \alpha = \arccos \frac{r}{r + h},$$

и, таким образом, длина дуги до горизонта определится соотношением

$$l = |AB| = \alpha r = r \arccos \frac{r}{r+h}.$$

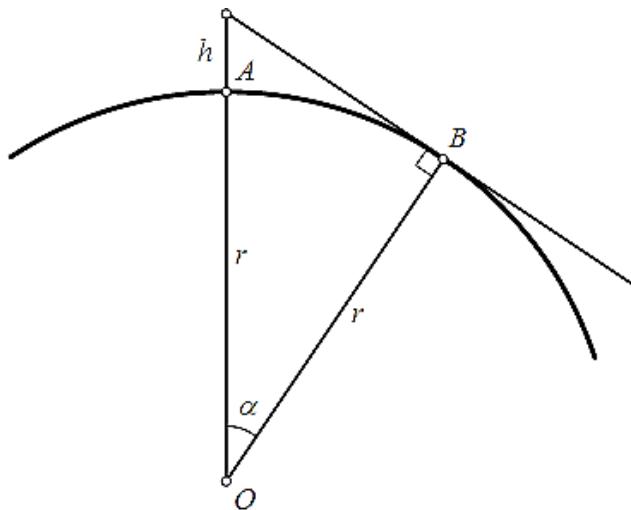


Рис. 1. Оценка длины дуги до горизонта

В таблице 1 представлены расчетные значения дальности действия классической РЛС в зависимости от высоты размещения антенны. Кроме того, с целью демонстрации перспектив военного применения классической радиолокации, в третьем столбце этой таблицы приведена оценка подлетного времени перспективной крылатой ракеты Boeing X-51A Waverider, разрабатываемой в США и способной развить скорость до 6 ... 7 М [1]. Приведенные цифры показывают практическую неуязвимость ракеты X-51A при использовании РЛС наземного базирования. Для раннего обнаружения запуска баллистических и крылатых ракет с 60-х годов прошлого столетия ведутся работы по созданию систем загоризонтной радиолокации (ЗГРЛС) [6]. Однако на этом пути возникает множество проблем: гигантские мощности передатчиков и огромные размеры антенн, низкая точность и нестабильность локализации целей, и т. д., и т. п.

Таблица 1

Расстояние до горизонта и подлетное время крылатой ракеты Boeing X-51A от горизонта в зависимости от высоты размещения антенны

$h$ , м	$l$ , км	$\tau$
10	11.3	6 ... 10 сек.

100	35.7	20 ... 40 сек.
1 000	112.9	1 ... 2 мин.
5 000	252.3	2 ... 4 мин.
10 000	356.7	3 ... 5 мин.
15 000	436.8	4 ... 7 мин.

В то же время, современный этап развития вычислительной техники и электроники обеспечил огромный рост вычислительной мощности компьютеров при значительной степени их микроминиатюризации, возможность прямого синтеза СВЧ сигналов и высокую энергетическую плотность источников энергии при низкой массе. Все это вызвало появление технологий фазированных решеток (ФАР) и, в частности, технологии активных ФАР (АФАР), программно определяемого радио (SDR), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и т. п.

В рамках данной работы предлагается подход к созданию принципиально новой системы радиолокации на основе синтеза всех названных технологий. Так на БПЛА можно разместить ФАР в виде двух полусфер, обеспечивающих излучение и прием сигнала в любом направлении соответственно в двух полупространствах условно разделенных плоскостью БПЛА. Направленная передача и прием широкополосного СВЧ сигнала осуществляется на основе сочетания технологий АФАР и SDR. Требования к мощности передатчика можно снизить, одновременно повысив точность локализации цели, за счет использования псевдо случайногозондирующего сигнала, порождаемого криптографически стойким датчиком псевдослучайных чисел (ДПСЧ) со сверхдлинным периодом, и корреляционного дискриминатора принимаемого сигнала. При этом РЛС изначально рассматривается как распределенная, состоящая из множества скоординированных независимых БПЛА, излучающих зондирующй сигнал по псевдослучайному расписанию (формируемому тем же ДПСЧ), в то время как отклик от этого сигнала пытаются принять все участники дивизиона БПЛА. При наличии синхронизации времени на БПЛА возможна локализация цели в криволинейном многограннике, являющимся пересечением эллипсоидальных слоев, толщина которых определяется в основном точностью синхронизации времени. Каждый такой слой формируется двумя софокусными эллипсоидами вращения (вокруг главной оси), в одном из фокусов которых находится передающий БПЛА, а в

другом – принимающий зондирующий сигнал, переданный первым. Упрощенная модель локализации цели приведена на рис. 2. На рисунке приведен случай, когда цель  $X$ , передающие БПЛА  $P_1$  и  $P_3$ , а также принимающий борт  $P_2$  расположены в одной плоскости. В этой ситуации вместо эллипсоидов можно рассмотреть их сечения этой плоскостью – эллипсы. Соответственно областью локализации  $\mathfrak{X}$  в этом случае является криволинейный четырехугольник  $X_1 X_2 X_3 X_4$ .

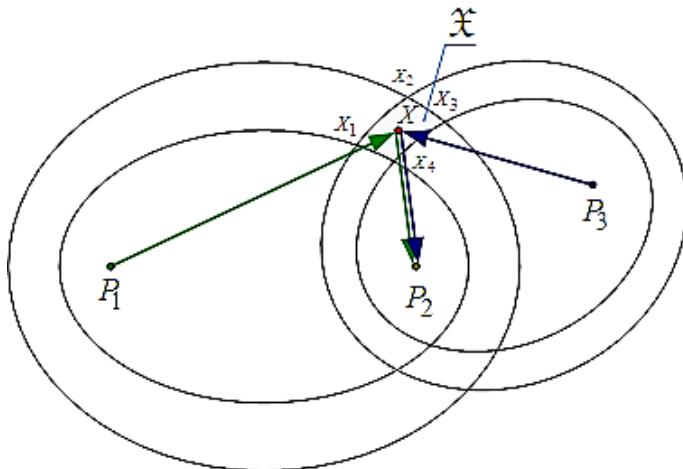


Рис. 2. Плоская модель локализация цели

Чем меньше область  $\mathfrak{X}$ , тем точнее целеуказание. Размер этой области тем меньше, чем точнее синхронизация времени БПЛА [4]. На современном уровне развития технологий относительно легко может быть достигнута точность синхронизации  $\Delta t = 10$  нс [2]. Оценим минимальную протяженность области  $\mathfrak{X}$ . Для этого рассмотрим предельный случай, когда и передача, и прием зондирующего сигнала происходит в лишь одном БПЛА. В этом случае область  $\mathfrak{X}$  будет представлять из себя слой шара, а толщину этого слоя (точность по дальности) можно оценить по формуле

$$\Delta x = c \Delta t / 2,$$

где  $c$  – скорость света. Таким образом, получается, что  $\Delta x = 1.5$  м. Это является очень неплохим результатом.

Предложенный способ радиолокации в принципе не является загоризонтным. Однако, большой дивизион БПЛА, базирующийся на большой

площади, на высоте в несколько километров, для координатора, расположенного в точке *A* на рис. 1, будет обеспечивать как бы загоризонтную радиолокацию, чем объясняется термин «квазизагоризонтная», вынесенный в заголовок работы.

Описанный принцип радиолокации имеет целый ряд преимуществ по отношению к современным РЛС. Перечислим их.

1. По сравнению с традиционными активными РЛС, гарантируется повышенная защищенность системы от специальных антирадарных ракет. Это обеспечивается за счет излучения зондирующих сигналов всеми БПЛА по непредсказуемому расписанию на фоне постоянного перемещения последних в пространстве. Траектория перемещения также может быть псевдослучайной. К тому же количество БПЛА может быть достаточно большим, что повышает надежность системы в целом в смысле резервирования [3].

2. По отношению к ЗГРЛС предлагаемое решение оказывается «энергосберегающим». Также в этом отношении предлагаемая система оказывается менее уязвимой ввиду отсутствия антенных систем огромного размера.

3. Если БПЛА сформируют конфигурацию типа креста Миллса [7], то параллельный апертурный синтез [5] для низкоскоростных целей способен сформировать радиоизображение объекта.

Можно ожидать, что на начальном этапе, до запуска компонентов системы в крупносерийное производство, стоимость предлагаемой системы будет весьма значительной. Однако эффективность проекта по эксплуатации такой системы можно будет повысить за счет технологии «виртуализации» и лизинга продуктов этой технологии. Технология ФАР позволяет почти мгновенно менять диаграмму направленности антенной системы при работе на прием и на передачу в пределах  $360^\circ$  по горизонтали и по вертикали. Благодаря этому, и работе бортовых радиолокационных средств БПЛА по расписанию, время работы системы можно разбить на таймслоты и выделять их по очереди на решение различных задач. Тем самым одна реальная радиолокационная система может предоставить сервис нескольких виртуальных. Стратегия выделения таймслотов будет, в данном случае, определять систему приоритетов и, соответственно, стоимость аренды той или иной виртуальной системы. Современное состояние технологий

позволяет представить даже такую ситуацию, когда одна технологически развитая держава сдает в аренду нескольким воюющим сторонам виртуальные системы радиолокации, полностью независимые и обеспечивающие качество обнаружения и сопровождения целей пропорционально оплаченному количеству таймслотов.

### ***Список литературы***

1. Boeing X-51 // Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_X-51](https://ru.wikipedia.org/wiki/Boeing_X-51) (дата обращения: 10.02.2017).
2. Бородин А.В. Об импортозамещении при создании систем дистрибуции точного времени в мультисервисных сетях передачи данных / А.В. Бородин // Кибернетика и программирование. – 2015. – №2. – С. 78–97.
3. Бородин А.В. Стохастическое моделирование в задачах синтеза оптимальных топологий сетей дистрибуции точного времени / А.В. Бородин, Д.Р. Зубьяк // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – №34. – С. 7–15.
4. Грязин Н.Л. Совокупная стоимость владения как критерий оптимальности архитектуры службы дистрибуции точного времени в системах SDR-связи на базе оборудования компании Symmetricom / Н.Л. Грязин, А.В. Бородин // Информационные технологии в экономике, образовании и бизнесе: материалы V международной научно-практической конференции (23 декабря 2013 г.). – Саратов: Издательство ЦПМ «Академия Бизнеса», 2013. – С. 39–41.
5. Конникова В.К. Конспект лекций по практической радиоастрономии / В.К. Конникова. – Нижний Архыз: Компьютерный информационно-издательский центр «Cygnus», 1999. – 84 с.
6. Основы загоризонтной радиолокации / В.А. Алебастров, Э.Ш. Гойхман, И.М. Заморин [и др.]; под ред. А.А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
7. Rahman H. Digital baseband processing of a Mills' cross array antenna / H. Rahman. – Hamilton: McMaster University, 1979. – 101 p.