

**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 КВАЗИЗАГОРИЗОНТНОЙ 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, программно-определяемая радиосистема, SDR, фазированная антенная решётка, ФАР.

Рассмотрим причины ограничения дальности систем классической радиолокации, см. рис. 1. Пусть радиолокационная станция (РЛС) расположена в точке А. 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

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

и, таким образом, длина дуги до горизонта определится соотношением

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

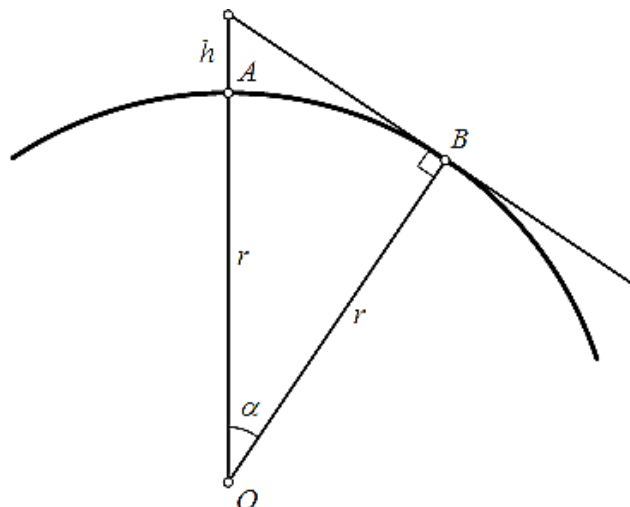


Рис. 1. Оценка длины дуги до горизонта

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 псевдослучайного зондирующего 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 зондирующий 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  $\mathcal{X}$  в этом случае является криволинейный четырехугольник  $X_1 X_2 X_3 X_4$ .

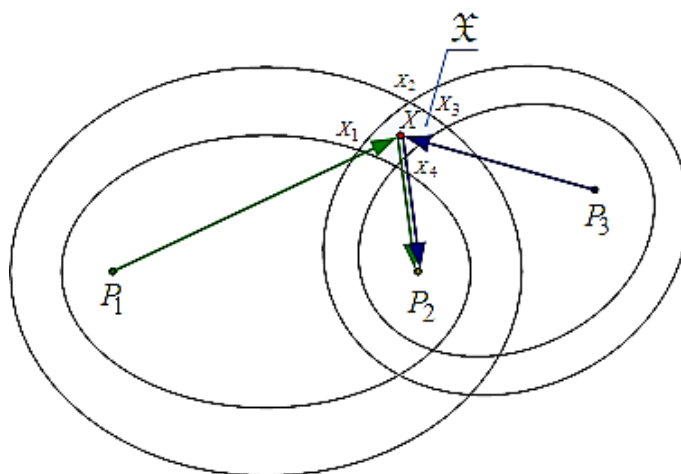


Рис. 2. Плоская модель локализация цели

Чем меньше область  $\mathcal{X}$ , 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  $\mathcal{X}$ . Для этого рассмотрим предельный случай, когда и передача, и прием зондирующего сигнала происходит в лишь одном БПЛА. В этом случае область  $\mathcal{X}$  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 «Cygnum», 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.