

02, февраль 2016

УДК 621.396.621

Алгоритм местоопределения в пассивном радиолокаторе

Санников А.С., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»*

Научный руководитель: Силин С.И., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»*

kafsm5@sm.bmstu.ru

1. Введение

В данном докладе рассматривается система пассивной радиолокации, предназначенная для установки на борт летательного аппарата. Система предназначена для обнаружения и измерения радиотехнических параметров сигналов, пеленгования источников сигналов, а также определения местоположения излучающих станций по принятым пеленгационным данным.

Проведен анализ алгоритмов определения местоположения излучающих станций, на основе которого был разработан алгоритм, устраняющий недостатки применяемых ранее алгоритмов. Разработана модель алгоритма местоопределения для дальнейшего улучшения характеристик алгоритма.

2. Состав бортовой системы

Бортовая система (рис. 1) состоит из антенной системы (АС), высокочастотного тракта (ВЧ), блока цифровой обработки сигнала (БЦОС) и системы автоматизированного управления (САУ).



Рис. 1. Структурная схема системы

Радиосигнал, создаваемый радиолокационными станциями, попадает на шесть антенн антенной системы, находящихся на борту летательного аппарата. На антеннах происходит преобразование падающей электромагнитной волны в соответствующее осциллирующее высокочастотное напряжение с частотой f_0 .

В высокочастотном тракте спектр полученных на АС сигналов переносится в область низких частот. И оцифрованные сигналы на частоте $f_{пч}$ (промежуточная частота) поступают в блок цифровой обработки сигнала.

В блоке цифровой обработки (рис. 2) ПЛИС на основании принятых сигналов формирует пеленгационные пакеты, которые впоследствии отправляются в сигнальный процессор TMS посредством интерфейса NPI. Алгоритм определения положения станций выполняется сигнальным процессором, результаты работы которого ПЛИС может считать посредством того же интерфейса.



Рис. 2. Структурная схема БЦОС

3. Определение местоположения излучающих станций

Существует большое число алгоритмов определения координат целей, используемых в радиолокации.

Классические алгоритмы определения координат (триангуляционный, кинематический) методами пассивной радиолокации приведены в работах [1], [3]. Применение алгоритмов определения координат с особенностями локации с воздушного судна также представлено в работе [1], [5].

Алгоритмы, описанные в [1], [3] представлены для местоопределения на плоскости, что является существенным недостатком при их использовании на больших расстояниях.

Алгоритмы множественной пеленгации, представленные в [1], [5] позволяют достаточно точно определять местоположение станций в условиях малого количества станций и несущественного фоновых шума. В условиях большого количества станций или существенных помех алгоритмы множественной пеленгации обладают проблемами точности обнаружения станций[5].

Применение алгоритма, описанного ниже в данном докладе, позволяет определить местоположение излучающих станций с точностью до размера координатной сетки, в которой производится накопление пересечений принятых пеленгов. Для увеличения точности к результатам работы целесообразно применить какой-либо алгоритм уточнения местоположения.

В системе, описываемой в данном докладе, в качестве антенной системы применяется одномерная фазированная антенная решетка, вследствие чего формируется пеленгационный конус. Для определения местоположения станции на земной поверхности необходимо решить задачу пересечения земного эллипсоида пеленгационным конусом. Однако прямой метод решения данной задачи требует существенных вычислительных затрат, что недопустимо в рамках бортовой системы. Так как кривые однозначно пересекаются, то точки проекций пересечений будут соответствовать проекции точки пересечения. Это позволяет производить перебор точек проекций на вспомогательной плоскости.

Модель зоны наблюдения, используемая алгоритмом на этапе обнаружения РТС, представляет собой внутренность прямоугольника произвольной ориентации, касающегося своим центром поверхности Земли в некоторой точке – Центре зоны наблюдения (рис. 3). Проекция прямоугольника на поверхность Земли задает границы Зоны наблюдения, в пределах которой производится поиск РТС. Каждой точке прямоугольной Модели зоны наблюдения соответствует точка Зоны наблюдения на

поверхности Земли, в которую попадает соответствующий перпендикуляр, опущенный с плоскости прямоугольника.

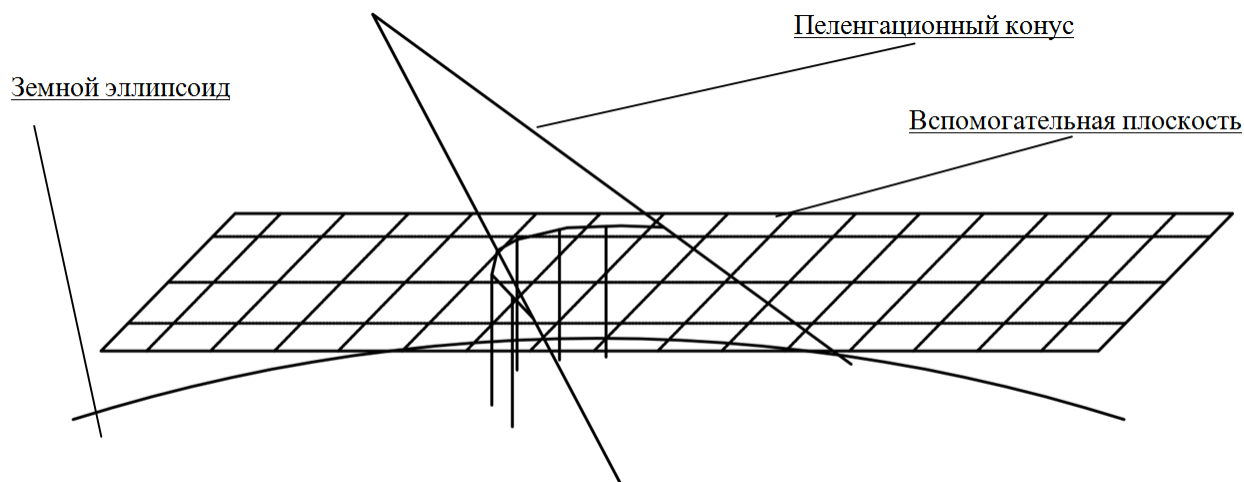


Рис. 3. Модель зоны наблюдения

Прямоугольник разбит на квадратные элементарные области со стороной $H_{\text{сетка}}$ (принятый размер $H_{\text{сетка}} = 1 \text{ км}$). Каждая элементарная область имеет пару индексов (u, v) - порядковых номеров вдоль каждой из сторон прямоугольника.

В каждой элементарной области ведется статистика наблюдаемости - учитываются все случаи приема на борту ЛА пакетов сигналов, которые, согласно измеренному пеленгу, могли бы быть выпущены источником, расположенным в этой области. Результаты наблюдения записываются в массив. Каждый элемент массива соответствует одной элементарной области. Элемент с условным номером $N_{\text{чу}, u, v}$ содержит следующие реквизиты:

$Q_{\text{пак}_{u, v}}$ - количество принятых пакетов сигналов, идентифицированных с областью;

$\text{Напр}_{u, v}$ - битовый массив «направлений приема»; каждому элементу массива соответствует один азимутальный сектор шириной $180^\circ / 32$ (первому элементу соответствует направление на север); заполненность элемента массива означает факт приема (хотя бы однократного) на борту ЛА сигнала, выпущенного из элементарной области в соответствующем направлении.

Все основные расчеты производятся в неподвижной топоцентрической системе координат с центром в точке (ϕ_0, λ_0) , совпадающей с Центром зоны наблюдения.

В связи с тем, что непосредственное размещение в оперативной памяти массива требует значительного места, а также с тем, что подавляющее количество элементов

массива остаются незаполненными, используется модель экономного использования памяти, когда в памяти хранятся данные только о засвеченных областях, а для быстрого поиска они сгруппированы в цепочки, каждая из которых соответствует одной элементарной области (независимо от частотного участка).

4. Моделирование работы алгоритма местоопределения

Для исследования особенностей алгоритма была реализована модель для платформы x86. В процессе моделирования летательный аппарат пролетает по модели зоны наблюдения, принимая формуляры, содержащие пеленгационные данные. Алгоритм, используя эти формуляры, определяет местоположение излучающих станций. Структурная схема модели представлена на рисунке 4.

В качестве пеленгационных формуляров могут быть использованы как сигналы от модельно заданных станций, так и тестовые формуляры, полученные во время реальных экспериментальных полетов.

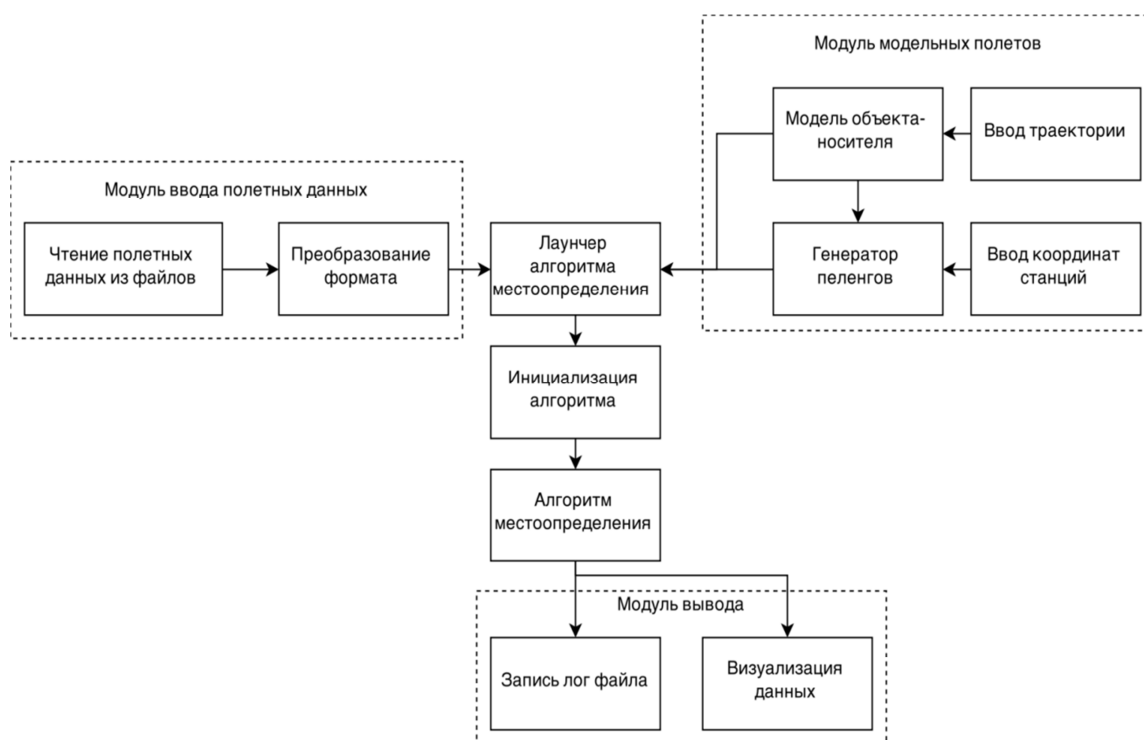


Рис. 4. Структурная схема модели алгоритма местоопределения

На основе этой модели была определена одна из ключевых особенностей алгоритма – важность выбора верного порога срабатывания. Этот порог является одним из критериев обнаружения излучающей станции на конкретном участке модели зоны наблюдения.

При обновлении модели зоны наблюдения происходит постоянное увеличение счетчиков количества принятых сигналов с каждого участка зоны наблюдения. Критерием обнаружения станции является выполнение одновременно двух условий:

$$Q_{\text{пак}}_{N_{\text{чу}},u,v} \geq Q_{\text{пак}}_{\text{порог}} \quad \text{и}$$

$$\sum_{i=1}^{32} H_{\text{анп}}_{N_{\text{чу}},u,v}[i] \geq \text{ПорогСектораЗахвата}(r(u,v, \text{ЛА})) / 180^\circ * 32,$$

где $r(u,v, \text{ЛА})$ - расстояние между элементарной областью и ЛА, а $\text{ПорогСектораЗахвата}(r)$ - функция, дифференцирующая условие «захвата» в зависимости от дальности:

$$\text{ПорогСектораЗахвата}(r) = \begin{cases} \frac{100\text{км}}{r} \text{СекторЗахватаДля100км} - \text{если } r \text{ больше порога видимости} \\ 1000^\circ & - \text{иначе} \end{cases}$$

где $\text{СекторЗахватаДля100км} = 40^\circ$.

При выборе $Q_{\text{пак}}_{\text{порог}}$ слишком большим может произойти пропуск излучающей станции. При выборе $Q_{\text{пак}}_{\text{порог}}$ слишком малым будет происходить избыточное обнаружение станций в местах пересечения большого количества пеленгационных сигналов от других станций (рис. 5).

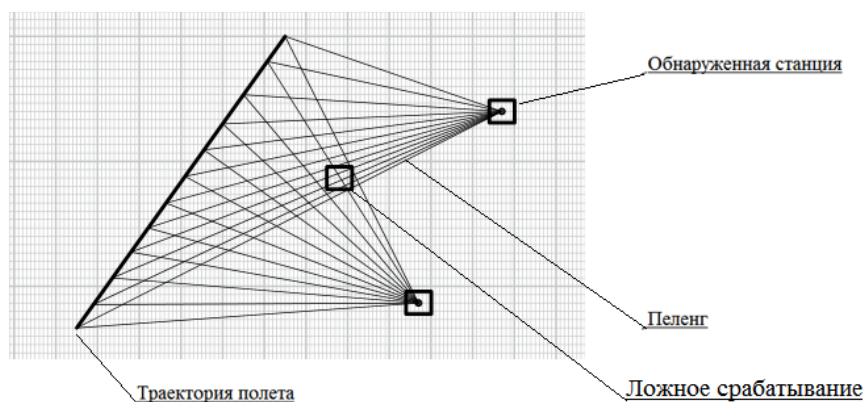


Рис. 5. Ложное срабатывание алгоритма

Заключение

На основе анализа литературы сформулирован алгоритм определения местоположения станций, устраняющий недостатки ранее применяемых алгоритмов. Реализована модель алгоритма для платформы x86, на основе которой планируется производить его дальнейшую модернизацию.

Список литературы

- [1]. Мельников Ю.П., Попов С.В. Радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения. М.: Радиотехника, 2005. 432 с.
- [2]. Быстров Р.П., Соколов А.В. Пассивная радиолокация и методы обнаружения объектов. М.: Радиотехника, 2008. 320 с.
- [3]. Канащенков А.И., Меркулов В.И. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
- [4]. Муратов И.В., Лихоеденко К.П., Хохлов В.К. Моделирование бортового радиолокационного координатора миллиметрового диапазона радиоволн // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014 Т.19, № 11. С.18 – 22.
- [5]. Дубровин А.В. Одноэтапные процедуры и пассивные системы определения координат источников радиоизлучений: дис. ... доктор. техн. наук. М., 2007. 151 с.
- [6]. Лихоеденко К.П., Хохлов В.К. Специфика синтеза алгоритмов принятия решений в автономных информационных системах ближней локации // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013 Т.18, № 12. С. 16 – 24.