электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

 # 10, октябрь 2015

УДК 629.783

Вторичная обработка в системе пеленгации воздушного базирования

***Кузнецов В.Р.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные управляющие системы»

Научный руководитель: Жураковский В.Н., к.т.н.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные управляющие системы»
kafsm5@bmstu.ru

Бортовая система состоит из антенной системы (АС), высокочастотной части (ВЧ), блоков первичной и вторичной обработки. На первом этапе обработки выполняется оцифровка сигналов и шумов, обнаружение каждого принятого сигнала, вычисляются радиотехнические параметры (пеленг, среднюю частоту спектра, длительность импульса, период повторения, вид модуляции, амплитуду сигнала на входе АЦП, ширину спектра и т. д.) и формируется поимпульсный информационный формуляр [1]. Далее, на втором этапе, данные формуляры анализируются, и по ним происходит определение местоположения РТС.

Для определения местоположения РТС по принятому формуляру сигналов используется специально разработанный алгоритм. Данный алгоритм предназначен для программы реального времени встраиваемой системы, что требует правильного декомпозирования программного обеспечения, а так же, в силу сложности получения доступа к системе, предусмотрения отладочного интерфейса и отладочной информации в штатных обменах. Для успешной отладки рассматриваемого алгоритма во время разработки и поддержания работоспособности системы при внесении правок использовались программные имитаторы на разном уровне иерархической структуры программного обеспечения [2].

Как видно из рисунка 1, данный алгоритм состоит из двух основных блоков: блока инициализации и блока обработки одного пакета принятых сигналов.

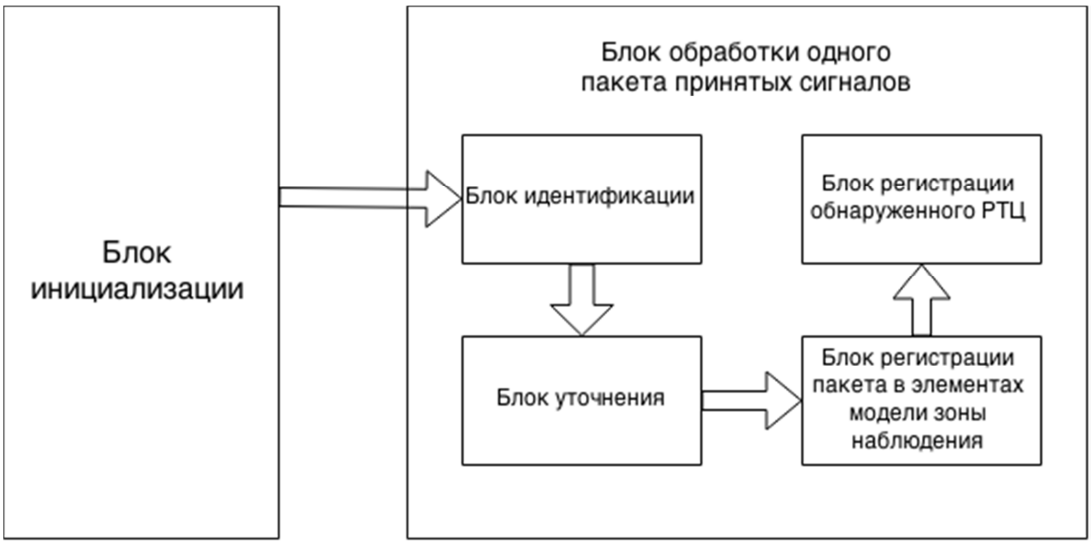


Рис. 1. Алгоритм определения местоположения РТС

Блок инициализации является подготовительным и выполняется один раз перед началом основной работы. Блок обработки одного пакета принятых сигналов выполняется в реальном времени в циклическом режиме - в темпе поступления на его вход формуляров принятых пакетов. Данный блок состоит блока идентификации, который определяет ближайшее по пеленгу РТС и соответствующее ему отклонение пеленга, блока уточнения, который уточняет в случае успешной идентификации характеристики идентифицированного РТС, блока регистрации РТС, который пополняет список обнаруженных РТС, а так же уточняет их координаты, блока регистрации пакета в элементах модели зоны наблюдения, где решается задача определения местоположения РТС.

Модель зоны наблюдения представляет собой декартову систему координат, касательную по отношению к земле (далее НТ-система, т.е. топоцентрическая), которая разбита на элементарные области, размером 1х1 км. Введена она по причине того, что по одной реализации входного сигнала определить направление его излучения невозможно [3]. При оценке положения по принятым пеленгам получается поверхность (конус), у которой ось совпадает с осью антенны, а пересечение конуса и земной поверхности на борту считается сложной задачей. Соответственно, каждая элементарная область имеет свой счетчик заполнения. Когда по одной реализации строится гипербола, лежащая ниже, чем ЛА на расстоянии $h_{ЛА}$ от него, то она условно пересекает НТ-систему в нескольких элементарных зонах. При этом в них происходит заполнение счетчиков. По нескольким же реализациям определяется та область, которую кривые пересекли больше всего раз.

Для построения последовательности точек гиперболы в НТ-плоскости выбирается вспомогательная система координат (НТА-система - неподвижная топоцентрическая, связанная с антенной) – с первой осью, перпендикулярной оси антенны, второй - так же как и в *НТ-системе* – вертикальной, а третьей – вдоль оси антенны. В этой системе гипербола имеет канонический вид, удобный для последовательного перебора ее точек:

$$\overrightarrow{ant}^{НТА} = C\,\overrightarrow{ant}^{НТ},$$

$$\vec{x}_{ЛА}^{НТА} = C\,\vec{x}_{ЛА}^{НТ}.$$

Перевод осуществляется с помощью матрицы поворота (1):

$$C = \begin{bmatrix} ant_3^{НТ} & 0 & -ant_1^{НТ} \\ 0 & 1 & 0 \\ ant_1^{НТ} & 0 & ant_3^{НТ} \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где ant – единичный вектор координаты антенны относительно самолета.

Далее в цикле перебираются значения координат ЛА в НТА-системе ($x_1^{НТА}$) по первой оси в направлении борта приема с шагом $H_c/2$. В каждом цикле решается уравнение относительно координат ЛА по третьей оси ($x_{ЛА_3}^{НТА}$), сводящееся к квадратному уравнению, имеющему одно приемлемое решение (2). В результате получается последовательность точек гиперболы $\vec{x}^{НТА}$ (3):

$$\frac{(\vec{x}^{НТА} - \vec{x}_{ЛА}^{НТА}, \overrightarrow{ant}^{НТА})}{|\vec{x}^{НТА} - \vec{x}_{ЛА}^{НТА}|} = \cos\tilde{\nu}, \qquad (2)$$

$$\vec{x}^{НТА} = \begin{bmatrix} x_1^{НТА} \\ x_{ЛА_2}^{НТА} - h_{ЛА} \\ x_3^{НТА} \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где $\cos\tilde{\nu}$ - пеленг, след которого строится. Переведя каждую из них обратно в *НТ-систему* $\vec{x}^{НТ} = C^{-1}\,\vec{x}^{НТА}$, спроектируем ее вдоль луча, идущего от движения ЛА ($\vec{x}_{ЛА}$), на земной эллипсоид, что также сводится к решению квадратного уравнения (4):

$$ak^2 + bk + c = 0, \qquad (4)$$

где $a = (1-e^2)\,|\vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}|^2 + e^2(\vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}, \vec{w}_{ось}^{НТ})$,

$b = 2(1-e^2)(\vec{x}_{ЛА}^{НТ} - \vec{v}_{ц}^{НТ}, \vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}) + e^2(\vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}, \vec{w}_{ось}^{НТ})(\vec{x}_{ЛА}^{НТ} - \vec{v}_{ц}^{НТ}, \vec{w}_{ось}^{НТ})$,

$c = (1-e^2)\,|\vec{x}_{ЛА}^{НТ} - \vec{v}_{ц}^{НТ}|^2 + e^2(\vec{x}_{ЛА}^{НТ} - \vec{v}_{ц}^{НТ}, \vec{w}_{ось}^{НТ})^2 - b_{Зем}^2$,

$b_{зем}$ - малая полуось Земли ($b_{зем}$ = 6356863), $\vec{w}_{ось}^{НТ}$ - единичный вектор оси Земли, $\vec{v}_{ц}^{НТ}$ - координаты центра Земли, е – эксцентриситет Земли. Решения уравнения k_1 и k_2 определяют *ближнюю* (5) и *дальнюю* (6) точки пересечения лучом поверхности Земли:

$$\vec{y}_1^{НТ} = \vec{x}_{ЛА}^{НТ} + k_1(\vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}), \quad (5)$$

$$\vec{y}_2^{НТ} = \vec{x}_{ЛА}^{НТ} + k_2(\vec{x}^{НТ} - \vec{x}_{ЛА}^{НТ}). \quad (6)$$

Следом луча считается *только ближняя точка*, находящаяся на видимой стороне Земли. Точка перпендикулярно проектируются на плоскость модели зоны наблюдения и получает там соответствующие координатные номера (u, v).

Далее анализируется расстояние между *дальней* и *ближней* точками ($\vec{y}_1^{НТ}$ и $\vec{y}_2^{НТ}$) и если это расстояние меньше, чем порог линейности гиперболы, который в настоящем алгоритме принимается равным 1000 км, то перебор последующих точек гиперболы заменяется перебором точек хорды [$\vec{y}_1^{НТ}, \vec{y}_2^{НТ}$]. По достижении дальности радиогоризонта перебор точек прекращается и процесс обработки гиперболы завершается [4].

Процесс накопления счетчиков в элементарных областях можно увидеть на рисунке 2.

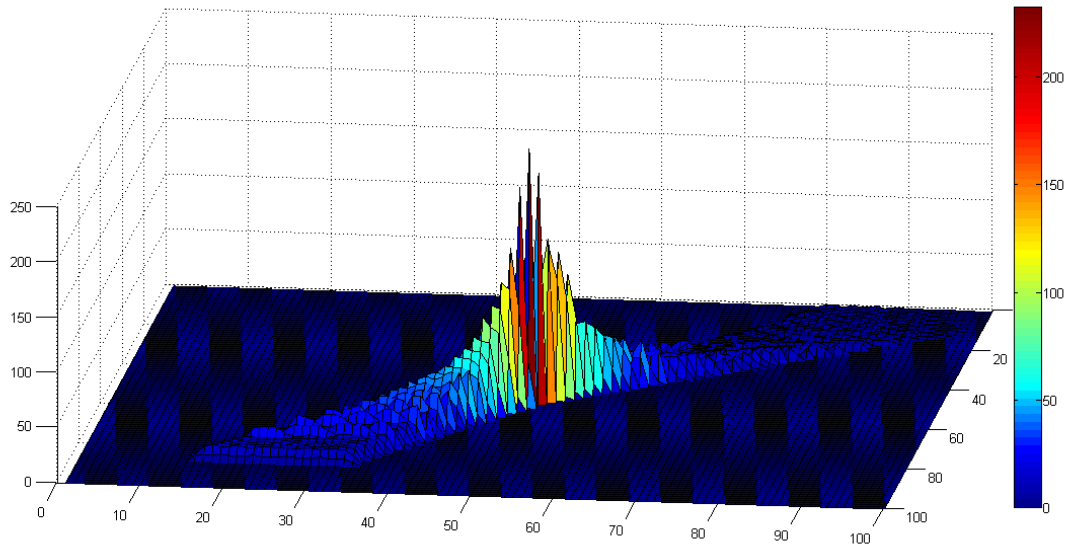


Рис. 2. Накопление счетчиков в элементарных областях

Ввиду того, что в каждой из обновленных элементарных областей в результате наращивания счетчика могут возникнуть основания для факта обнаружения РТС, в момент ее обновления производится проверка по критерию обнаружения, состоящему в одновременном выполнении двух условий (7), (8):

$$Qпак_{N\,чу,u,v} \geq Qпак_{порог}\ , \qquad (7)$$

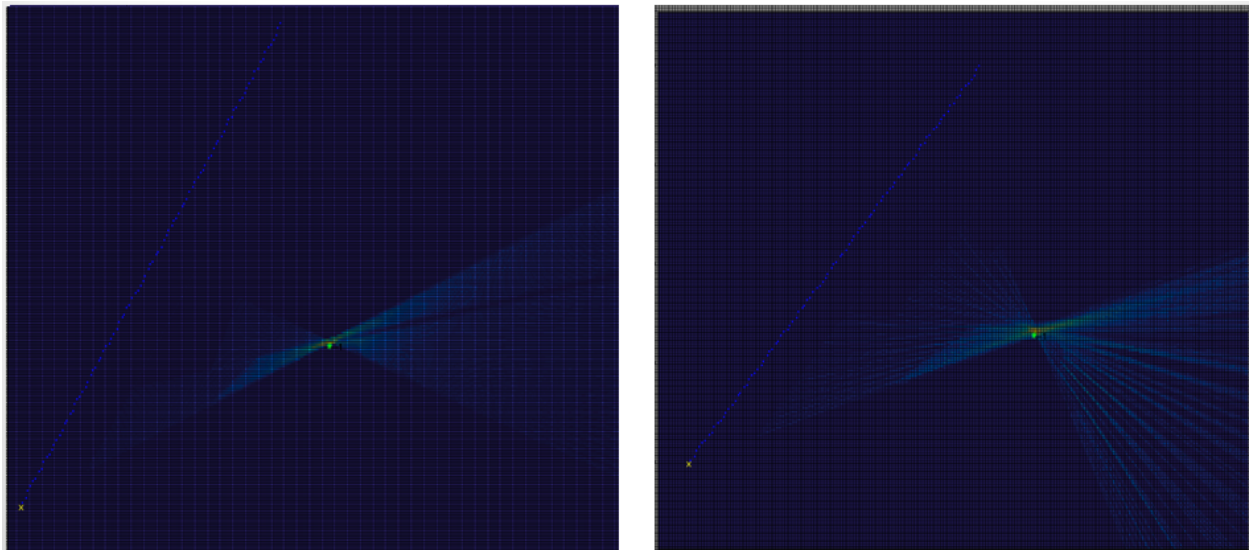
$$\sum_{i=1}^{32} D[i] \geq T(r(u,v,ЛА))/180^{o} * 32\,, \qquad (8)$$

где *D[i]* – направление, зависящее от номера частотного участка, $r(u,v,ЛА)$ - расстояние между элементарной областью и ЛА, а *T(r)* - функция, дифференцирующая условие «захвата» в зависимости от дальности.

Если в процессе обновления хотя бы для одной элементарной области выполнился критерий обнаружения, то по окончании процедуры занесения «следов» принятого пакета в модель зоны наблюдения производится процедура регистрации обнаруженной РТС, которая разделяется на три этапа:

1. пополнение списка обнаруженных (отслеживаемых) РТС;
2. уточнение координат обнаруженной РТС;
3. удаление из архива неопознанных пакетов записей, идентифицированных с обнаруженной РТС.

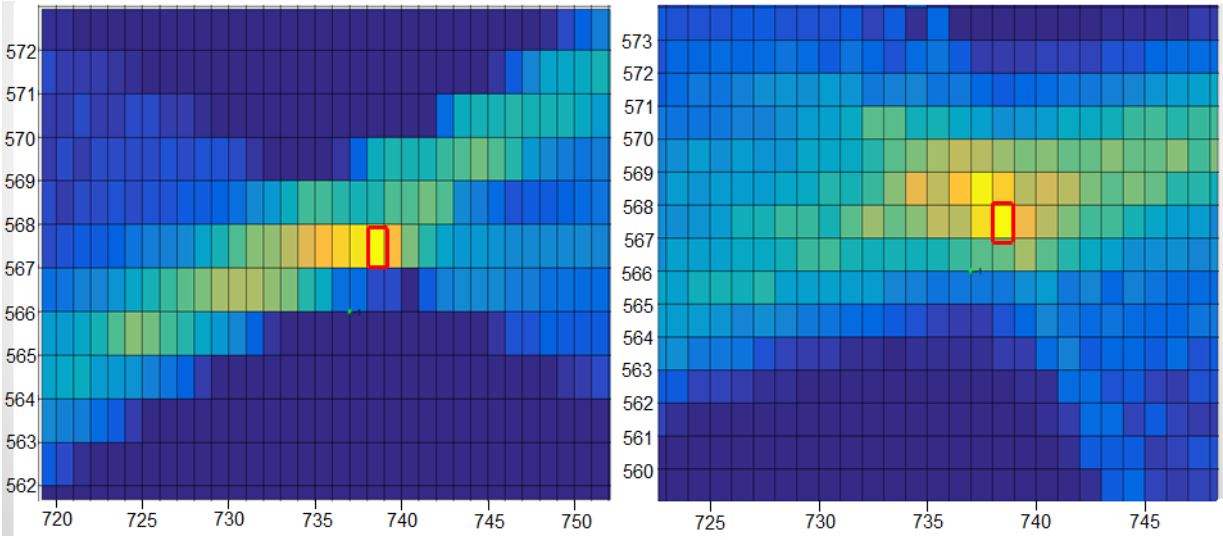
Результаты построения следов в алгоритме с плавающей и фиксированной точкой при прямолинейном движении ЛА представлены на рисунке 3. Как видно, следы строятся практически идентично, однако можно заметить, что в алгоритме, реализованном в числах с плавающей точкой, накопление счетчиков происходит быстрее.



а) б)

Рис. 3. Построение следов и обнаруженная станция в алгоритме, реализованном в числах с а) плавающей точкой б) фиксированной точкой

На рисунке 4 можно увидеть местоположение определенной радиотехнической станции (обведено красным цветом). Станция обнаружилась без погрешности.



а) б)

Рис. 4. Обнаруженная станция в алгоритме, реализованном в числах с а) плавающей точкой б) фиксированной точкой

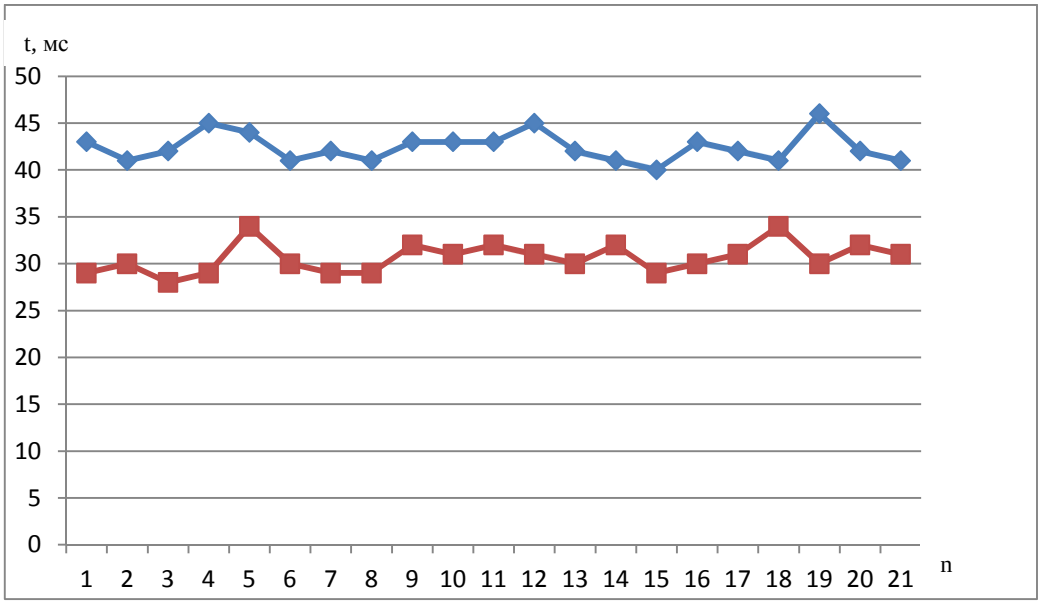


Рис. 5. Сравнение времени построения следов (синяя кривая – алгоритм с плавающей точкой, красная кривая – алгоритм с фиксированной точкой)

На рисунке 5 показано время построения следов. Здесь можно увидеть график зависимости выполнения n-ого раза работы процедуры построения следа от времени этого построения. Видно, что в алгоритме с фиксированной точкой оно меньше на 25 % относительно алгоритма с плавающей точкой, как и предполагалось.

Список литературы

1. Логвиненко А.С., Жураковский В.Н. Повышение точности измерения параметров сигналов в цифровом тракте // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №10. Режим доступа: http://engbul.bmstu.ru/doc/740571.html (дата обращения 10.02.2015).
2. Кондрашов К.С., Жураковский В.Н., Силин С.И. Принципы проектирования встраиваемых систем на основе программных средств // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №11. Режим доступа: http://engbul.bmstu.ru/doc/738 746.html (дата обращения 05.02.2015).
3. Жураковский В.Н., Кондрашов К.С. Алгоритм определения местоположения наземных объектов в условиях низкой точности входных данных // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 12. DOI: 10.7463/1213.0659353.
4. Жураковский В.Н., Кондрашов К.С. Алгоритм разделения подвижных и малоподвижных объектов в малогабаритной обзорной РЛС // Спецтехника и связь. 2015. №2. С. 53-59.