

Гриняк Виктор Михайлович, Трофимов Максим Валерьевич

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток, Россия*

Визуализация информации в радиолокационных системах наблюдения

Статья посвящена проблеме графического отображения информации в системах наблюдения, образуемых на основе компьютеризированных двухкоординатных радиолокационных станций. Рассматривается ряд подходов к реализации такого отображения. Приводятся результаты исследования, подтверждающие конструктивность предлагаемых алгоритмов.

Ключевые слова и словосочетания: *двухкоординатный радар, обработка изображений, визуализация информации, изображение карт, отображение меток целей.*

Введение

Радиолокационные системы наблюдения являются важнейшим объектом приложения достижений современных информационных технологий и играют значительную роль в обеспечении навигации движущихся объектов различного типа. К основным функциям таких систем относят сбор информации об объектах, находящихся в зоне ответственности, и обеспечение внешнего регулирования движения в районах с его высокой интенсивностью.

Центральным звеном взаимодействия «объект – система» является оператор, который на основании поступающих к нему данных осуществляет контроль своего района ответственности с учётом правовых и технических норм. При этом действующие отечественные и международные правила регламентируют применение автоматизированных средств сбора, обработки и отображения анализируемой оператором информации.

Пользовательский интерфейс этих средств должен обеспечивать, по крайней мере, две основные функции:

- отображение первичной измерительной информации;
- автоматическое сопровождение объектов с оцениванием и отображением параметров их движения (отображение меток целей).

В настоящей работе рассматривается подход к графическому представлению и визуализации данных, получаемых и обрабатываемых системами наблюдения, образуемых на основе двухкоординатных (2D) радиолокационных станций (РЛС) кругового обзора. Указанный подход

был апробирован при разработке действующего макета цифровой 2D РЛС нового поколения.

Основные проблемные аспекты

В общем случае главной целью графического программного интерфейса системы наблюдения, образуемой на базе 2D РЛС, является формирование, последовательное наложение и отображение трёх растровых изображений:

- статического изображения карты и навигационных ориентиров;
- меняющегося по мере обзора радиолокационного образа, формируемого РЛС;
- меняющегося по мере обработки образа набора меток целей.

Формирование каждого из этих изображений имеет свои особенности. Так, изображение карты является фоновым и меняется только при изменении наблюдаемого оператором участка зоны ответственности и масштаба изображения. Следующий слой – изображение РЛС-образа – есть результат специального преобразования меняющейся во времени матрицы амплитуд отражённого эхосигнала. Частота его обновления определяется периодом обращения радара и требованиями к дружелюбности интерфейса. Наконец, изображение меток целей формируется по результатам вторичной обработки матрицы амплитуд и обновляется по мере эволюции координат наблюдаемых объектов. Смешивание этих трёх изображений состоит в данном случае в реализации известной последовательности операций, включающей в себя формирование в памяти ЭВМ текущих изображений карты, РЛС-образа и меток целей (HBitmap Map, Radar, Targets), создание их масок и инвертирование переменных с объединением операций и в нужном порядке [7].

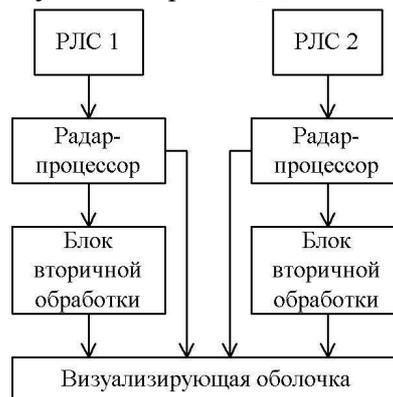


Рис. 1. Структурная схема системы наблюдения

С одной стороны, частота выполнения приведенной последовательности (ее результатом является полученное из карты, РЛС-образа и меток целей конечное изображение, которое видит оператор) не должна быть

меньше частоты обращения антенны радара; с другой – она существенно ограничивается вычислительными ресурсами ЭВМ и/или пропускной способностью каналов передачи данных, что определяется конфигурацией системы радиолокационного наблюдения.

Рассматривая принципиальную схему такой системы (рис. 1) сразу оговорим, что выделенные в ней составляющие вовсе не обязательно реализуются как отдельные блоки в аппаратной части или в программном обеспечении – данная схема просто являет собой особый язык для представления уровня и способа обработки информации и их обсуждения. Источниками информации в системах наблюдения, рассматриваемых настоящей работой, выступают сигналы, вырабатываемые антенно-фидерными устройствами РЛС и преобразуемые аналого-цифровыми схемами так называемых радар-процессоров. Результат работы связки «РЛС – радар-процессор» – матрица амплитуд отражённого эхосигнала, которая, собственно, и является основным информационным базисом системы. Цель работы блока вторичной обработки состоит в получении данных о навигационных характеристиках наблюдаемых объектов (координатах, скоростях и др.). Наконец, визуализирующая оболочка представляет собой, по сути, основное средство интерфейса «система – оператор». Если остановиться теперь только на функциях системы, относящихся к задаче визуализации (а именно этот контекст является основным в настоящей работе), то можно отметить, что формирование переменной Radar (изображения РЛС-образа) возможно начиная с уровня радар-процессора, формирование переменной Targets (изображения меток целей) – с блока вторичной обработки, а переменную Map (изображение карты) целесообразно формировать на самом последнем этапе. Такое естественное разделение оправдывает себя, когда аппаратная реализация системы наблюдения ориентирована на её работу в распределённом сетевом и/или многопроцессорном режиме [1].

Рассмотрим задачи создания самих переменных Map, Radar и Targets.



Рис. 2. Участок акватории, прилегающей к порту Владивосток

Формирование карты

Если, не теряя общности, иметь в виду систему радиолокационного наблюдения на море, то фоновое изображение, отождествляемое с картой видимого участка зоны ответственности включает в себя: собственно адаптированное изображение береговой линии, изображение границ водных районов и фарватеров, изображение навигационных ориентиров и некоторую вспомогательную информацию. С учётом сказанного выше наиболее выгодным способом представления этих данных в системе считается их векторизация в виде набора множеств:

$$A = \{a_{x_i}, a_{y_i}\}, \quad i = \overline{1, n_a},$$

$$B = \{b_{x_i}, b_{y_i}\}, \quad i = \overline{1, n_b},$$

$$C = \{c_{x_i}, c_{y_i}\}, \quad i = \overline{1, n_c},$$

где $a_{x_i}, a_{y_i}, b_{x_i}, b_{y_i}, c_{x_i}, c_{y_i}$ – относительные координаты узлов, по которым производится векторизация линий. Преимущество такого представления определяется сравнительно небольшим объёмом информации, описывающей даже достаточно сложную карту (например, для описания карты акватории порта Владивосток и прилегающей зоны залива Петра Великого (рис. 2) потребовалось всего около 30 КБ данных), а отрисовка карты при таком представлении может эффективно производиться стандартными функциями графического интерфейса операционной системы.

Формирование изображения РЛС-образа

При отображении измерительной информации, содержащейся в матрице амплитуд R , обычно применяется порогово-амплитудный принцип визуализации типа

$$\text{если } R_{ij} > p_{ij}, \text{ то дискрет } ij \text{ – отображается,}$$

где R_{ij} – элемент матрицы амплитуд отражённого эхо-сигнала, соответствующий i -му номеру линейки (дискрету по углу) и j -му дискрету по дальности $i = \overline{1, n_\alpha}, j = \overline{1, n_\beta}$,

p_{ij} – соответствующее ij -му дискрету значение порога визуализации.

Элементами, изображающими в переменной Radar тот или иной ij -дискрет, в зависимости от масштаба изображения могут выступать точки, четырёхугольники или окружности. Координаты $x(i, j), y(i, j)$ элемента изображения в переменной Radar связываются при этом со значениями i, j , например, следующими соотношениями:

$$x(i, j) = c_x - (j \cdot \delta\beta \cdot \sin(i \cdot \delta\alpha) / m),$$

$$y(i, j) = c_y - (j \cdot \delta\beta \cdot \cos(i \cdot \delta\alpha) / m),$$

где c_x, c_y – координаты в переменной Radar точки, отождествляемой с РЛС,

$\delta\alpha$ – величина дискрета по углу,

$\delta\beta$ – величина дискрета по дальности,

m – величина, характеризующая масштаб изображения.

Центральной проблемой при формировании РЛС-образа является вопрос о назначении порогов визуализации p_{ij} , являющийся, по сути, вопросом о выборе критерия выделения полезной составляющей радиолокационного эхо-сигнала на фоне помех. Задаваясь таким критерием, необходимо учитывать, что отражённый эхосигнал, поступающий на вход радар-процессора, представляет собой сложную композицию постоянных и случайных составляющих: сигналов, отражаемых от наблюдаемого объекта; сигналов, отражаемых от подстилающей поверхности (моря); шумов, обусловленных атмосферными помехами; тепловых шумов высокочастотного тракта РЛС и шумов в электрических сетях [3].

В настоящей работе с учётом физически ориентированных представлений [5] рассматриваются пороги визуализации двух видов:

- 1) постоянный порог $p_{ij} = c$ для всех i, j ;
- 2) адаптивный порог $p_{ij} = a/i^2 + b$.

Коэффициенты a , b и c могут при этом выбираться как оператором вручную, так и настраиваться автоматически посредством реализации оптимизирующей процедуры:

- для постоянного порога

$$\frac{\partial(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})^2} < 0 \quad (1)$$

- для адаптивного порога

$$\frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(b/b_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(b/b_{\max})^2} < 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})^2} < 0.$$

Здесь n_β – число дискретов на выбранной линейке,

u – число на этой линейке дискретов, для которых $R_{ij} < p_{ij}$,

a_{\max} , b_{\max} , c_{\max} – максимальные возможные значения коэффициентов a , b и c , в данном случае $b_{\max} = c_{\max} = \max_i(R_{ij})$,

$$a_{\max} = \max_i((R_{ij} - b) \cdot i^2).$$

Предлагаемая процедура позволяет находить значения визуализирующих коэффициентов a , b , c достаточно быстро и эффективно.

Формирование изображения меток целей

В качестве визуальной метки сопровождаемой цели в системах радиолокационного наблюдения на море обычно используется изображение «круга со стрелкой» (рис. 3), где центр круга характеризует оцененные координаты наблюдаемого объекта, а стрелка – его скорость и направление движения. Одновременно с меткой цели на монитор могут выводиться также дополнительные навигационные характеристики объекта и служебная информация, например, результат решения задачи прогнозирования опасных ситуаций при коллективном движении [2, 4, 6].

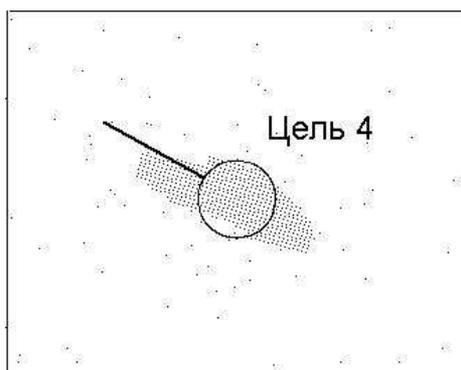


Рис. 3. Изображение радиолокационного образа объекта и его метки

Результаты натурных экспериментов

Рассмотренный в статье подход к интерпретации и визуализации навигационных данных был реализован в действующем макете компьютеризированной РЛС, имеющем следующие технические характеристики:

- ширина диаграммы направленности антенны РЛС 1.5° по азимуту и 35° по высоте;
- период обращения антенны РЛС 2.5 секунд;
- длина зондирующего импульса 50 метров;
- частота следования посылок 820 Гц;
- число посылок на оборот 2048;
- частота дискретизации АЦП до 50 МГц;
- ЭВМ с процессором Athlon 2000.

Рисунок 4 иллюстрирует одну из реализаций процедуры нахождения порогов визуализации отражённого эхосигнала p_{ij} для случаев постоянного (левая колонка) и адаптивного (правая колонка) порогов.

На рисунке 4а показаны значения амплитуд R отражённого эхосигнала на выбранной линейке в зависимости от номера дискрета по дальности j (сплошная линия) и рассчитанный согласно (1) постоянный порог (точки), соответствующий нужным значениям величины $u(c)/n_\beta$ (рис. 4с) и

сглаженным значениям производной $u' = \frac{\partial(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})}$ (рис. 4е). На рисунке 4б показаны амплитуды и рассчитанный для них согласно (2) адаптивный порог, соответствующий требуемым $u(a,b)/n_\beta$ при $b=c$ (рис. 4д) и $u' = \frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})}$ (рис. 4е).

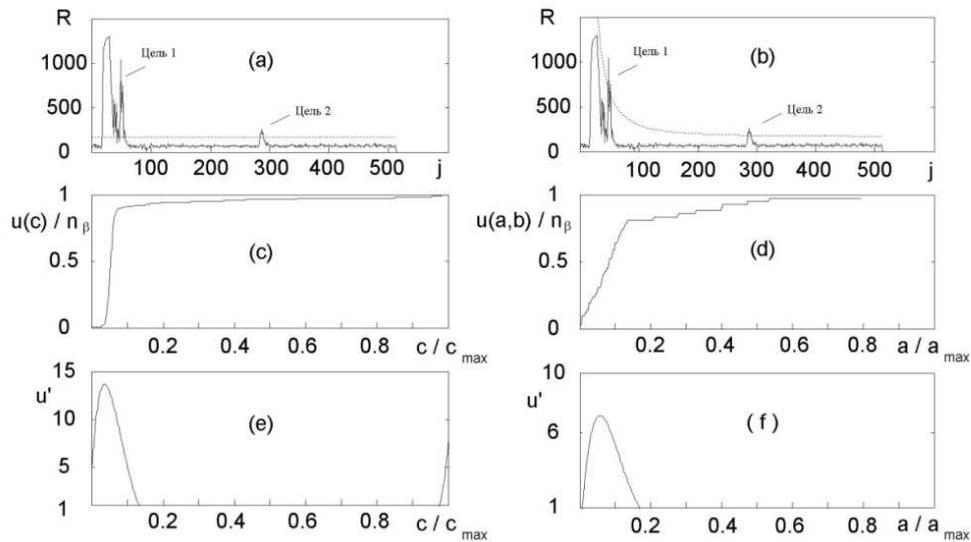


Рис. 4. Результаты натурального эксперимента

Видно, что предлагаемый способ для автоматизированного назначения порогов визуализации позволяет достаточно корректно выделять на фоне помех как удалённые (цель 2), так и близко лежащие (с помощью адаптивного порога, цель 1) цели. В целом, как свидетельствует наработанная практика, рассмотренный в настоящей работе подход к решению проблемы визуализации навигационных измерений вполне удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к дружелюбности и эргономичности пользовательского интерфейса.

Заключение

В заключение сформулируем основные полученные результаты. Рассмотрен принцип построения отображаемого образа пространства обзора двухкоординатной РЛС, связанный со смешиванием изображений карты, РЛС-образа и меток целей; обсужден механизм формирования этих изображений с ориентацией на работу системы в распределённом сетевом или многопроцессорном режиме; предложен подход к автоматизированной реализации порогово-амплитудного принципа визуализации РЛС-образа; приведены некоторые экспериментальные данные, иллюстри-

рующие конструктивность предлагаемых моделей и алгоритмов. Работа ориентирована на расширение применения достижений современных информационных технологий при разработке и создании систем радиолокационного наблюдения нового поколения.

1. Гриняк В.М. Алгоритм расчета адаптивного порога при визуализации информации в компьютеризированной РЛС кругового обзора / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов, В.Н. Малько, Б.С. Головченко // *Естественные и технические науки*. – 2012. – №1. – С. 346 – 352.

2. Гриняк В.М. Модели обеспечения безопасности на морских акваториях в условиях высокой интенсивности движения / В.М. Гриняк, В.М. Дорожко, Н.В. Лоскутов, О.В. Кириченко // *НТИ. Сер. 2: Информ. процессы и системы*. – 2004. – №9.

3. Девятисильный А.С. Технология компьютерного моделирования радиолокационного эхосигнала / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // *Информационные технологии*. – 2002. – №3. – С. 42 – 49.

4. Девятисильный А.С. Информационно-технологические аспекты обеспечения безопасности движения на морских акваториях / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // *НТИ. Сер. 2: Информационные процессы и системы*. – 2003. – №7.

5. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю.Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992.

6. Транзас представляет современный модуль трехмерной визуализации обстановки в зоне действия системы обзора акватории (3D СУДС) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.transas.ru/SiteNews/ShowNews/view.aspx?RecordID=17455>.

7. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL / Э. Эйнджел. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001.