

В. М. Гриняк¹, М. В. Трофимов²

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: *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. Основными функциями таких систем являются 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;

¹ © Виктор Михайлович Гриняк, зав. кафедрой информационных систем и прикладной информатики Института информатики, инноваций и бизнес-систем Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, 690014, Россия, E-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru.

² © Максим Валерьевич Трофимов, ассистент кафедры информационных систем и прикладной информатики Института информатики, инноваций и бизнес-систем Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, 690014, Россия, E-mail: budzex@yandex.ru.

– 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, являются 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 – это результат специального преобразования меняющейся во времени матрицы амплитуд отражённого эхо-сигнала. 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: формирование в памяти ЭВМ текущих изображений карты, РЛС-образа и меток целей (HBitmap Map, Radar, Targets;), создание их масок и инвертирование переменных с объединением операцией and в нужном порядке [7].

Частота выполнения этой последовательности (результатом которой является полученное из карты, РЛС-образа и меток целей конечное изображение, его-то и видит оператор) не должна быть меньше частоты обращения антенны радара; с другой стороны, она существенно ограничивается вычислительными ресурсами ЭВМ и/или пропускной способностью каналов передачи данных, что определяется конфигурацией системы радиолокационного наблюдения.

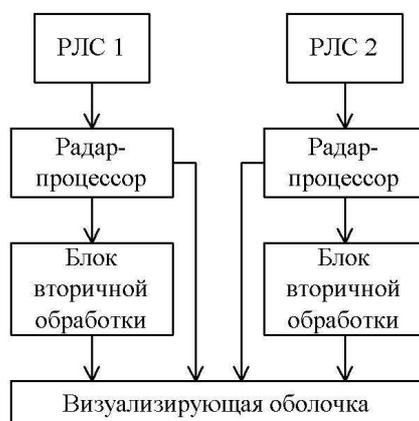


Рис. 1. Структурная схема системы наблюдения

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, приведённая схема просто представляет собой особый язык для представления уровня и способа обработки информации и их обсуждения. Источниками информации в системах наблюдения, рассматриваемых настоящей работой, являются сигналы, вырабатываемые антенно-фидерными устройствами РЛС и преобразуемые аналого-цифровыми схемами так называемых радар-процессоров. Результатом работы связки «РЛС – радар-процессор» является 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, но 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 (рис. 2), то фоновое изображение, отождествляемое с картой видимого участка зоны ответственности, включает в себя: собственно адаптированное изображение береговой линии, изображения границ водных районов и фарватеров, изображения навигационных ориентиров и некоторую вспомогательную информацию. С учётом сказанного выше наиболее выгодным способом представления этих данных в системе является 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 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

если $R_{ij} > P_{ij}$, то дискрет ij – отображается, где R_{ij} – элемент матрицы амплитуд отражённого эхо-сигнала, соответствующий i -му номеру линии (дискрету по углу) и j -му дискрету по дальности $i = \overline{1, n_\alpha}$, $j = \overline{1, n_\beta}$, а 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:

$$\begin{aligned} x(i, j) &= c_x - (j \cdot \delta\beta \cdot \sin(i \cdot \delta\alpha) / m), \\ y(i, j) &= c_y - (j \cdot \delta\beta \cdot \cos(i \cdot \delta\alpha) / m), \end{aligned}$$

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 эхо-сигнал, поступающий на вход радар-процессора, представляет собой сложную композицию постоянных и случайных составляющих [3]: 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. В настоящей работе с учётом физически ориентированных представлений [5] рассматриваются пороги визуализации двух видов:

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

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

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

– для постоянного порога

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

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

– для адаптивного порога. 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.

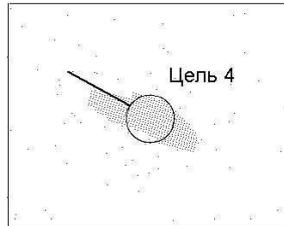


Рис. 3. Изображение радиолокационного образа объекта и его метки

Формирование изображения меток целей

В качестве визуальной метки сопровождаемой цели в системах радиолокационного наблюдения на море обычно используется изображение «кружка 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].

Результаты натуральных экспериментов

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

I. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

- 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 демонстрирует одну из реализаций процедуры нахождения порогов визуализации отражённого эхо-сигнала P_{ij} для случаев постоянного (левая колонка) и адаптивного (правая колонка) порогов.

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

$$u' = \frac{\partial(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})}$$

(рис. 4с) и сглаженным значениям производной (рис. 4е). Аналогично на рис. 4б показаны амплитуды и рассчитанный для них согласно (2) адаптивный порог, соответствующий требуемым

значениям $u(a,b)/n_\beta$ при $b=c$ (рис. 4д) и $u' = \frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})}$ (рис. 4е).

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.

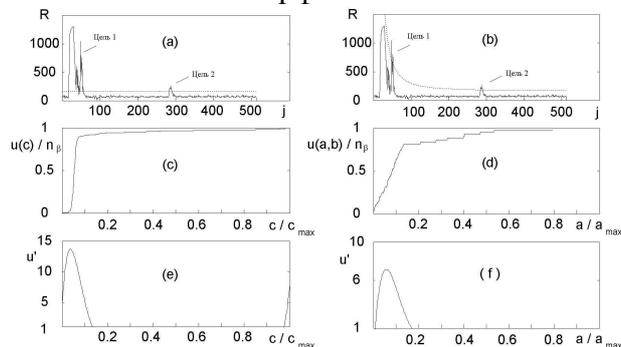


Рис. 4. Результаты натурального эксперимента

Заключение

Итак, сформулируем основные результаты статьи. Рассмотрен принцип построения отображаемого образа пространства обзора двухкоординатной РЛС, связанный со смешиванием изображений карты, РЛС-образа и меток целей; обсуждается механизм формирования этих изображений с ориентацией на работу системы в распределённом сетевом или многопроцессорном режиме; предлагается подход к автоматизированной реализации порогово-амплитудного принципа визуализации РЛС-образа; приводятся некоторые экспериментальные данные, иллюстрирующие 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., Девятисильный А.С., Дорожко В.М. Некоторые информационные аспекты создания систем управления движением на базе двухкоординатных радиолокаторов кругового обзора // Юбилейный сборник. К 30-ти летию ИАПУ ДВО РАН / Институт автоматики и процессов управления. – Владивосток, 2001.
2. Гриняк В.М., Дорожко В.М., Лоскутов Н.В., Кириченко О.В. Модели обеспечения безопасности на морских акваториях в условиях высокой интенсивности движения // НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы. – 2004. – №9.
3. Девятисильный А.С., Дорожко В.М., Гриняк В.М. Технология компьютерного моделирования радиолокационного эхо-сигнала // Информационные технологии. – 2002. – №3. – С. 42 – 49.
4. Девятисильный А.С., Дорожко В.М., Гриняк В.М. Информационно-технологические аспекты обеспечения безопасности движения на морских акваториях // НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы. – 2003. – №7.
5. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. 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. М.: Изд. дом «Вильямс», 2001.