

УДК 681

З. Джорджевич¹, Н. Гачеша², А.В. Дорохов³¹ Университет Белграда, Белград, Сербия² Министерство обороны Республики Сербии, Белград, Сербия³ Харьковский национальный экономический университет, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РАДАРНОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Исследуется моделирование интеллектуальной радарной системы наблюдения в сфере морского транспорта. Рассматриваются методы обнаружения местонахождения различных объектов и определения элементов их движения. Суть работы состоит в применении специальных методов обработки изображений при анализе результатов ряда радиолокационных съемок, а также материалов видео съемок, полученных путем применения пиксельной графики с оттенками серого цвета при использовании и обработке съемки с телевизионных камер.

Ключевые слова: обработка видео съемки, анализ радиолокационной съемки, автоматическое морское видеонаблюдение, радиолокационный сенсор.

Вступление

Постановка проблемы и состояние вопроса.

Общепризнанным является утверждение о том, что любая техническая, компьютерная система является интеллектуальной, если она содержит соответствующие элементы интеллектуализации и их взаимоотношения, как это описано в [3].

При этом ключевыми элементами интеллектуальной системы являются: обработка сигналов, полученных через сенсоры (sensory processing), модель внешнего мира (world model), генерирование режима работы (behaviour generation), оценка стоимости (value judgement).

При этом под сенсором подразумевается классическая навигационная импульсная радиолокационная станция для судов, работающая по принципу импульсной последовательности.

Радиолокационная съемка для станций такого типа содержит (кроме информации о движущихся и неподвижных объектах, отраженных в форме точек) информацию о контуре берега, помехах, вызванных волнами, дождем и тучами. Существует ряд моделей автоматического наблюдения за объектами на море путем различных типов радиолокационной съемки.

Однако коммерческие морские радиолокационные системы работают, чаще всего, в полуавтоматическом режиме [1]. Оператор системы обнаруживает интересный объект, маркирует его курсором, в результате чего начинается автоматическое наблюдение за объектом. При обнаружении оператором системы до 10 объектов, это не вызывает проблем, он с этим справляется. Но если количество объектов превышает 10, то возникают трудности.

Есть много работ, в которых исследуются эти вопросы с точки зрения улучшения алгоритмов и математических моделей обработки данных. Однако

достаточно приемлемые решения до сих пор не получены.

Цель исследования. Учитывая вышеизложенное, задачей исследования был анализ имеющихся подходов к описанной проблеме и выработка математически обоснованного метода ее решения с использованием пиксельной графики.

Основная часть

Методологический поход. Как известно, в настоящее время в судоходстве введена в эксплуатацию автоматическая идентификационная система (АИС), служащая для идентификации судов, их габаритов, курса и других данных с помощью специального передатчика. Но не все участники морского транспорта имеют возможность установить и пользоваться АИС (катера, мотолодки), а многие из них по разным причинам этого и не желают (военные судна, пираты, контрабандисты).

Для решения вопроса мы рассмотрим модель с использованием пиксельной графики (рис. 1).

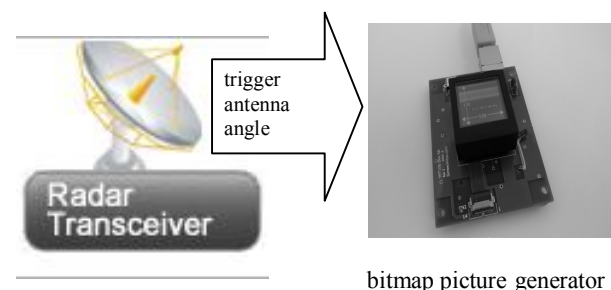


Рис. 1. Модель радиолокационной станции для съемки с применением пиксельной графики

Предположим, что морской радар подключен (рис. 1) к системе, оформляющей съемку путем применения пиксельной графики, 2048x2048 пикселей,

256 оттенков серого цвета [1]. Пиксельная съемка повторяется не менее 1 раза в течение одного цикла ротации, а период ротации антенны составляет 5 секунд. Алгоритм обработки повторяется каждые 5 секунд синхронно угловому движению антенны. Описанная пиксельная съемка является информацией, получаемой с сенсора.

Вначале детектируются характеристические точки, полученные на радиолокационной съемке (цикл детектирования). Имеется много классических приборов для детектирования объектов [1 – 10], называемых интеграторами. Они работают по принципу суммы стоимости сигнала по каждой единице расстояния. Если радиолокационный сигнал измеряется N раз, формируется банк N интеграторов вида (1).

$$S_i = S_{i-1} + x_i - x_{i-n} . \quad (1)$$

Величина S_i представляет сумму показателей на импульсе и после n импульса, величина x_i представляет показатель расстояния в момент i .

На практике оказалось, что лучше всего пользоваться бинарным интегратором, полученным в результате специальной обработки сигнала [12, 13]. Но, несмотря на хорошее теоретическое обоснование этой модели, при ее применении на практике возникает немало проблем, в частности, связанных с нестационарными шумами. Альтернативой вышеизложенному подходу является попытка использовать нейронную сеть типа радиальной базовой функции, как это предлагается в [8] или сеть типа многослойного персептрона [14].

Рассмотрим альтернативный подход, базирующийся на методиках детектирования на съемках пиксельной графики (соответствующие рисунки будут представлены ниже).

Следует отметить, что на практике оператор радиолокационной станции часто отключает режим полной автоматической работы, чтобы избежать перегрузки процессора, с помощью которого выполняется обработка сигналов. При этом основным является уточнение оператором радиолокационной системы вопроса: что является движущимся объектом, а что помехой. Одним из современных подходов здесь является процессинг видео сигналов с теле (видео) камер [4, 5]. В данном случае оператору не знакома теоретическая модель окружающей обстановки в целом, но он успешно осуществляет наблюдение за контролируруемыми объектами.

Рассматривая этот вопрос следует упомянуть открытую программную библиотеку фирмы Intel – OPEN CV (Open Computer Vision) и пример, реализованный в „lkdemo.c“. В работе [5] описан порядок такого эксперимента, показывающий природу обнаружения объекта, который двигается на видеосъемке между двумя радиолокационными съемкам A и B . В исследованиях [4, 9] также показано, что можно

детектировать движущийся объект путем анализа только одной (первой) пиксельной съемки.

Математическое решение. Предположим, что съемка A является матрицей с оттенком серого цвета (0...255). По каждому показателю (пикселю) строим матрицу G (2) и ее собственные числа (3).

$$I_x = I_x(x, y) = \frac{\partial A(x, y)}{\partial x} = \frac{A(x+1, y) - A(x-1, y)}{2};$$

$$I_y = I_y(x, y) = \frac{\partial A(x, y)}{\partial y} = \frac{A(x, y+1) - A(x, y-1)}{2};$$

$$G = \sum_{x=p_x - \omega_x}^{p_x + \omega_x} \sum_{y=p_y - \omega_y}^{p_y + \omega_y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Данную матрицу можно представить в форме:

$$G = \begin{bmatrix} ab \\ cd \end{bmatrix}$$

с соответствующими собственными числами:

$$\lambda_{1,2} = \frac{a+d}{2} \pm \frac{\sqrt{4bc + (a-d)^2}}{2}; \quad \min(\lambda_1, \lambda_2) > \lambda.$$

Фрагменты с показателями, размеры которых превышают некие лимиты являются хорошо наблюдаемыми. При этом выбираются локальные максимумы не превышающие 5×5 или 10×10 пикселей.

Результатом первичной обработки является получение отражения в форме точек. Затем полученные отражения (по каждому циклу детектирования) мы пытаемся соединить с отражениями из предыдущего цикла, и таким способом оформляем обработанные пары по методу ближайшего соседа.

При этом используется метод оптимального соединения отображений в пару по принципу минимизации показателя совокупного нормализованного расстояния между предыдущим и новым измерениями согласно [1, 2, 7], а именно:

$$A \equiv \{a_1, a_2, \dots, a_{N_A}\}; \quad B \equiv \{b_1, b_2, \dots, b_{N_B}\};$$

$$d_{i,j} \equiv d[a_i, b_j] \geq 0, a_i \in A, b_j \in B; \quad N_A \leq N_B;$$

$$i \rightarrow \prod(i), 1 \leq i \leq N_A, 1 \leq \prod(i) \leq N_B;$$

$$i \neq j \Rightarrow \prod(i) \neq \prod(j).$$

Задачей является минимизировать полученный

$$\text{результат: } S_{\text{TOT}} \equiv \sum_{i=1}^{N_A} d[i, \prod(i)].$$

При этом стандартная сложность расчета составляет: $N_A \leq N_B O[N_B! / (N_B - N_A)!]$, а лучшие алгоритмы имеют сложность порядка $O[N_A^2 N_B]$.

Полученные пары обрабатываются применением метода Кальмановской фильтрации [1, 2] по следующему алгоритму (циклу):

$$x(k+1) = \Phi x(k) + q(k) + f(k+1|k),$$

где $\text{cov}(q(k)) = Q$ – ковариации процесса шума;

$$y(k) = Hx(k) + v(k),$$

где $\text{cov}(v(k)) = R_c$ – ковариации измерений шума;

$$x^E(k) = x^E(k|k-1) + K(k)[y(k) - Hx^E(k|k-1)];$$

$$K(k) = P(k|k-1)H^T[HP(k|k-1)H^T + R_c]^{-1};$$

$$P(k|k) = (I - K(k)H)P(k|k-1);$$

$$\tilde{x}(k+1|k) = \Phi\tilde{x}(k|k);$$

$$P(k+1|k) = \Phi P(k|k)\Phi^T + Q;$$

$$P = E\left\{\left[x(k) - x^E(k)\right]\left[x(k) - x^E(k)\right]^T\right\};$$

$$\tilde{y}(k) = y(k) - x^E(k|k-1); S = HP^T + R_c.$$

Решение с применением одношагового прогноза имеет вид:

$$x^E(k+1|1) = \Phi x^E(k|k-1) + K_p(k)[y(k) - Hx^E(k|k-1)];$$

$$K_p(k) = \Phi P(k|k-1)H^T[HP(k|k-1)H^T + R_c]^{-1},$$

$$P(k+1|k) = [\Phi - K_p(k)H]P(k|k-1)\Phi^T + Q.$$

Полученные результаты интересно сравнить с данными полученными с использованием системы АИС [1, 11 – 17], если речь идет о реально функционирующей системе; или с реальным поведением движущихся объектов, если речь идет компьютерном моделировании (имитации).

Обсуждение практических результатов. В этом разделе приведено несколько примеров матричных изображений, которые получены на входе из радарного сенсора и обработаны с использованием пиксельной графики.

Представлен берег и часть порта Триполи (Ливия) в виде нескольких результирующих съемок с детектированными отображениями в форме точек (после их обработки и фильтрации). Во всех случаях приведен сегмент пиксельной графики полученной на расстоянии около 18 км. От радарного сенсора под углом 60 градусов по отношению к северу.

На рис. 1 – 3 представлена видеoinформация, являющаяся входом для описываемой интеллектуальной системы. Здесь представлены три случайно выбранные изображения из полученных в течение пяти минут наблюдений (в течение 5 минут системой было получено всего $5 \cdot 60 / 5 = 60$ картинок). Как видно, имеется флуктуация изображения. Можно предположить, что наблюдаются как движущиеся, так и неподвижные суда, а также иные стационар-

ные естественные и искусственные объекты. Однако сложно распознать, что чем является, и обнаружены ли движущиеся объекты АИС системой.

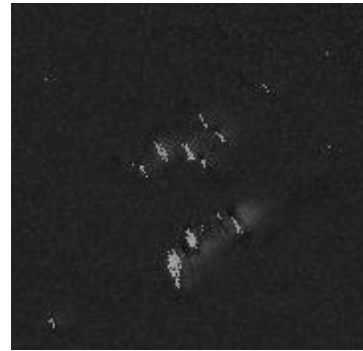


Рис. 1. Первое изображение на входе системы

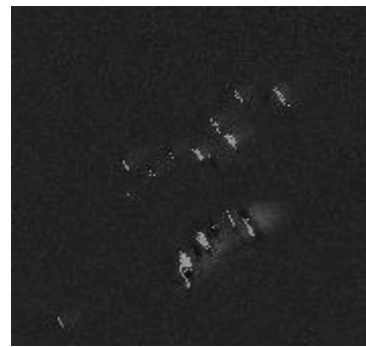


Рис. 2. Второе изображение на входе системы



Рис. 3. Третье изображение на входе системы

На рис. 4 наблюдается также береговая линия городского порта.

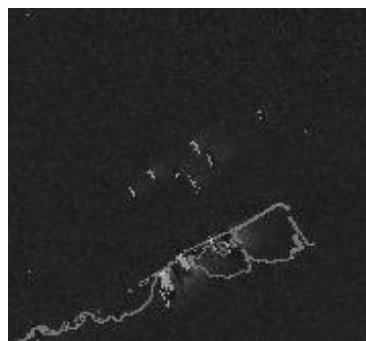


Рис. 4. Изображение береговой линии

Эту линию можно получить путем запроса из базы данных географической информационной системы.

Можно заметить, что два отображения расположенные внизу по отношению к имеющейся линии, представляют объекты, находящиеся на берегу. Фактическое наличие судов и их расположение представлены на рис. 5. Два судна в порту находятся в так называемой радарной тени и могут быть не видны, хотя их иногда и можно обнаружить.

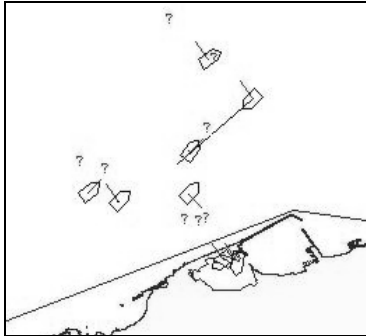


Рис. 5. Фактическое положение объектов

В течение следующих нескольких минут проведены новые съемки и выбраны три отображения (представленные на рис. 6 – 8), которые обрабатывались согласно [4, 5, 9]. Результатами обработки являются окружности, в центре которых находится пиксели, детектированные в качестве хороших для наблюдений; при этом очевидна выраженная стохастическая природа сигналов.

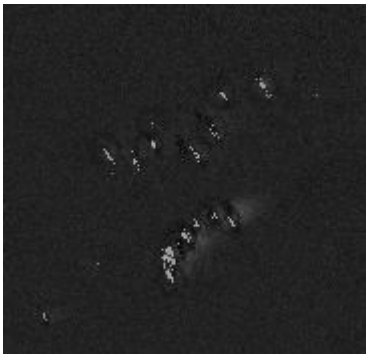


Рис. 6. Первое изображение обработанного сигнала



Рис. 7. Второе изображение обработанного сигнала

Наконец, на рис. 9 и 10 представлены результаты применения метода Мункерса и Кальмановской фильтрации. Хотя речь идет об объектах, которые не движутся, можно сказать, что полученные результаты не так стабильны.

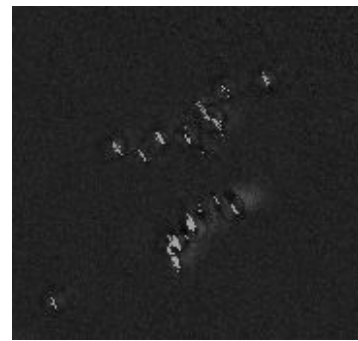


Рис. 8. Третье изображение обработанного сигнала

В то же время, отличные результаты получают при применении имитации, при которой не учтены шумы измерений, детектирования и флюктуации отображения. Однако, в реальных измерениях результаты более хаотичны.

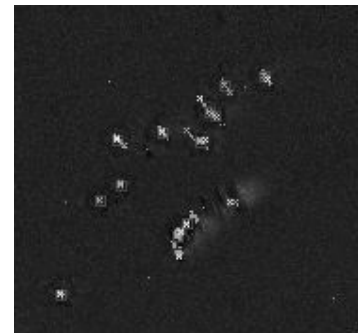


Рис. 9. Результат применения метода Мункерса

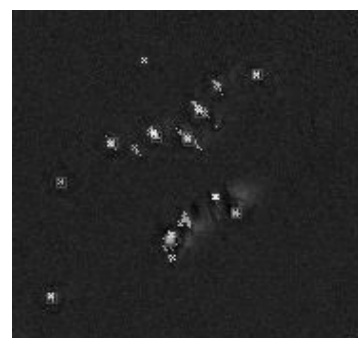


Рис. 10. Результат фильтрации по Кальману

Как уже подчеркивалось, подобную информацию можно получить и через систему АИС, но вопрос в том оснащены ли все объекты такой системой.

Выводы

В работе предложена оригинальная модель интеллектуальной распознающей системы, позволяю-

щей детектировать и наблюдать за необходимыми объектами, представленными характеристическими отображениями в форме точек.

При этом вместо радарных сигналов (или наряду с ними) можно применять другие технические типы сенсоров, которые создают (генерируют) входные сигналы для последующей обработки в форме пиксельной графики.

В дальнейшем предполагается исследовать возможности применения искусственных нейронных сетей в процессе детектирования объекта.

В идеальном случае целесообразно получать данные одновременно и параллельно через радарные (или иные) сенсоры и системы АИС.

Ведь в реальном окружении не все движущиеся объекты могут быть успешно идентифицированы через систему АИС. Многие из них могут быть обнаружены только определенными видами сенсоров.

Анализ результатов, полученных с применением иных методов также будет предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Skolnik M. *Introduction to Radar Systems*. – McGraw-Hill Book Companies, 2008. – 581 p.
2. Blackman S.S. *Multiple-Target Tracking with Radar Applications*. – Artech House, 1986. – 463 p.
3. Albus J.S. *Outline for a Theory of Intelligence* // *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*. – 1991. – № 3. – Pp. 473-509.
4. Shi J., Tomasi C. *Good Features to Track* // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR94)*. – Seattle, 1994. – Pp. 593-600.
5. Bouguet J.-Y. *Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm*, Intel Corporation Microprocessor Research Labs, *OpenCV Documents*. – 1999. – Pp. 1074-1082.

6. Allen P.K., Yoshimi B., Timcenko A. *Real-Time Visual Servoing*. – New York, 2007. – Pp. 101-120.

7. Bar-Shalom Y. *Multitarget Multisensor Tracking: Applications and Advantages*. – Artech House, 1996.

8. McDonald M. K. *Chaotic Sea Cluter Returns, Curent Status and Application to Airborne Radar Systems, Defence R&D Canada, Technical Report DREO TR 2001-114*. – 2001. – 70 p.

9. Tomasi C., Kanade T. *Detection and Tracking of Point Features, Technical report CMU-CS-91-132*. – 1991. – 21 p.

10. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://en.wikipedia.org/wiki/AutomaticIdentificationSystem>.

11. Finn H. M., Johnson R.S. *Adaptive detection mode with threshold control as a function of specially sampled clutter-level estimates* // *RCA Rev.* – 1968. – Vol 29. – Pp. 141-464.

12. Finn H.M. *A CFAR design for a window spanning two clutter fields* // *IEEE Trans.* – 1986. – Vol 22. – Pp. 155-168.

13. Principe J.C., Kim M., Fisher J.W. *Target Discrimination in Syntetic Aperture Radar using Artificial Neural Networks*. – Florida. – 1998. – Pp. 1136-49.

14. Moes S., Moes R. *CFAR Target Detection in Tree Scattering Interference*. – Columbus. – 1996.

15. Jovanovic A., Djordjević Z., Maric F., Maric M., Perisic D. *CCD microscopy – image analysis by Group for Intelligent Systems GIS* // *Archive of Oncology*. – 2003, № 11.

16. Djordjević Z. *Modeling Intelligent Radar echo classificatory system* // *ETRAN*. – 2011.

17. Gačeša N. *Model for simulating the flight control systems of a antiship missile* // *Military Technical Courier*. – 2007. – № 2. – Pp. 161-177.

Поступила в редколлегию 1.11.2011

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр. А.А. Можаяев, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РАДАРНОЇ СИСТЕМИ МОРСЬКОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

З. Джорджевич, Н. Гачеша, О.В. Дорохов

Досліджується моделювання інтелектуальної радарної системи спостереження в галузі морського транспорту. Розглядаються методи виявлення місця знаходження різноманітних об'єктів та визначення елементів їх руху. Суть роботи полягає в застосуванні спеціальних методів обробки зображень при аналізі результатів ряду радіолокаційних спостережень, а також матеріалів відео спостережень, отриманих шляхом застосування пиксельної графіки з відтінками сірого кольору при використанні й обробці кадрів з телевізійних камер.

Ключові слова: обробка відео кадрів, аналіз радіолокаційного зображення, автоматичне морське відеоспостереження, радіолокаційний сенсор.

MODELING OF INTELLECTUAL RADAR SYSTEM FOR MARITIME SURVEILLANCE

Z. Djordjević, N. Gačeša, O.V. Dorokhov

The modeling of the intellectual radar surveillance system in the field of maritime transport is investigated. The methods of detecting the location of various objects and the determination of the elements of their movement are considered. The essence of the work involves the application of special methods for processing of maps in the analysis of a series of radar surveys, as well as video shooting material obtained through the use of pixel graphics with shades of gray in the use and formation-processing taken from the television cameras.

Keywords: processing of video recording, analysis of radar imaging, automated maritime surveillance, radar sensor.