

УДК 621.396.96

А.В. Просов, В.П. Квиткин

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## **АЛГОРИТМЫ МЕЖПОЗИЦИОННОГО ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Одновременное наблюдение нескольких целей системой разнесенных радиолокационных станций вызывает необходимость решения задачи определения принадлежности полученных в разных позициях замеров тем или иным целям. В данном обзоре дана классификация современных алгоритмов отождествления, а также изложены состояние и основные направления построения и функционирования алгоритмов межпозиционного отождествления результатов радиолокационных измерений воздушных целей. Определены перспективные направления для разработки алгоритмов отождествления для системы разнесенных РЛС в сложной многоцелевой обстановке.*

**Ключевые слова:** радиолокационное измерение, отождествление, радиолокационная станция.

### **Постановка проблемы**

При одновременном наблюдении нескольких целей в многопозиционной системе разнесенных радиолокационных станций (РЛС) возникает задача определения принадлежности полученных в разных позициях замеров тем или иным целям. Перепутывание данных в процессе их объединения приводит к грубым ошибкам. Чтобы избежать этого, необходима операция межпозиционного отождествления данных [1, 2]. Алгоритмы межпозиционного отождествления результатов радиолокационных измерений давно применяются в системах различного назначения и имеют достаточно сложившуюся структуру этапов и процедур обработки информации. Однако появление нового класса сверхманевренных самолетов, увеличение количества летательных аппаратов, расширение номенклатуры воздушных объектов требуют новых подходов к формированию алгоритмов межпозиционного отождествления и предъявляют существенно более высокие требования к их точности, устойчивости и быстродействию.

С другой стороны, активное внедрение фазированных антенных решеток, количественное улучшение показателей быстродействия и объемов памяти

цифровых вычислительных машин, дают возможность на практике применять существенно более сложные, но и более эффективные процедуры обработки сигналов и информации с использованием аппарата стохастической теории оптимального управления, идентификации, нейросетей и т.д.

**Цель статьи** – рассмотреть современное состояние и некоторые направления развития алгоритмов межпозиционного отождествления результатов радиолокационных измерений.

### **Изложение основного материала**

В настоящее время по совокупности наиболее часто встречающихся сочетаний процедур обработки сигналов можно выделить следующие разновидности алгоритмов отождествления:

1. Алгоритмы, основанные на статистических свойствах оценок координат и параметров целей, т.е. алгоритмы пространственно-временного отождествления [1, 3 – 9].

2. Алгоритмы вероятностного сличения данных в сочетании с многоальтернативными алгоритмами сопровождения [10 – 14].

3. Алгоритмы, основанные на использовании дополнительных источников информации [15].

4. Алгоритмы отождествления, основанные на использовании нейросетей [16].

Как правило, для большинства указанных алгоритмов отождествление проводится в два этапа: на первом – пространственно-временное отождествление (межпозиционное) отождествление данных, соответствующих приблизительно одному и тому же моменту времени; на втором этапе: полученные группы данных отождествляются с уже имеющимися траекториями целей, на основе различных свойств полученных данных.

Общий подход к решению задачи пространственно-временного отождествления основан на использовании статистических свойств оценок координат и параметров целей [1]. Для алгоритмов пространственного отождествления характерно вычисление квадратичной формы [1]:

$$S_{pg}^{(qf)} = (\hat{\alpha}_{pq} - \hat{\alpha}_{gf})^T (C_{\alpha pq}^{-1} + C_{\alpha gf}^{-1})^{-1} (\hat{\alpha}_{pq} - \hat{\alpha}_{gf}),$$

где  $\hat{\alpha}_{pq}$ ,  $\hat{\alpha}_{gf}$  – оценки векторов состояния целей полученных по результатам радиолокационных измерений, соответствующих q-й отметке в p-й позиции и f-й отметке в g-й позиции;  $C_{\alpha pq}^{-1}$ ,  $C_{\alpha gf}^{-1}$  – корреляционные матрицы ошибок соответствующих результатов обработки данных. Если  $\hat{\alpha}_{pq}$  и  $\hat{\alpha}_{gf}$

относятся к одной цели, то  $S_{pg}^{(qf)}$  подчиняется центральному хи-квадрат распределению с числом степеней свободы, равным размерности этих векторов. Задавшись малой вероятностью отбрасывания истинной гипотезы, можно найти порог, с которым следует сравнить значение  $S_{pg}^{(qf)}$  для различных гипотез. При превышении порога соответствующая гипотеза считается ложной. Если  $\hat{\alpha}_{pq}$  и  $\hat{\alpha}_{gf}$  относятся к разным целям, распределение становится нецентральным и вероятность превышения порога возрастает.

На втором этапе пространственно-временного отождествления достаточно широкое распространение нашел подход, основанный на решении задачи о назначениях, при котором наборы предыдущих измерений сравниваются с имеющимися траекториями [3, 4, 7]. На основе применения различных функций стоимости принимается решение об отождествлении данных.

Так в работе [3], предложено осуществлять отождествление на основе распределенной априорной функции правдоподобия, которая представляет собой набор взаимосвязанных функций правдоподобия, полученных в предположении, что пространство вектора состояния намного больше пространства неопределенности траекторных ошибок. Путем попарного сравнения всех имеющихся траекторий, определяется максимальное значение функции правдоподобия, на основании чего делается вывод об отождествлении тех или иных данных.

В работе [4] описан алгоритм отождествления, который получил название m-наилучший, который определяет m-наилучших решений для S-D задачи распределения данных, где S – набор измерений, а D – мерность вектора состояния. Указанный алгоритм применим для синхронизированных РЛС или для случая медленно движущихся целей. Особенностью работы является, то, что алгоритм (в режиме скользящего окна) может обеспечить эффективную реализацию субоптимального многогипотезного алгоритма сопровождения за счет устранения необходимости прямого вычисления большего числа совместных гипотез.

В работе [6] представлен многомерный алгоритм отождествления для РЛС с электронным сканированием луча при многоцелевом сопровождении. Так, с каждой траекторией отождествляется набор S-1 наборов измерений ( $S \geq 3$ ), применяя метод скользящего окна. Таким образом, анализируются данные по «времени развития» по каждому набору измерений и траекторий. Представленные результаты моделирования для 120 целей и четырех источников информации подтверждают достаточную эффективность отождествления.

В работе [7] представлен быстрый алгоритм отождествления, основанный на кластеризации и решении многомерной задачи о назначениях для многоцелевого и многопозиционного случая. Многомерная задача о назначениях решена как комбинаторная задача с нелинейной полиномиальной оценкой числа итераций и различными субоптимальными модификациями. При решении обычной многомерной задачи 95% времени идет на построение возможных деревьев распределения, тогда как в работе [7] на основе метода кластеризации предлагается разбить решение задачи на подзадачи. С помощью кластеризации удаляются из списка возможных решений маловероятные варианты.

В работе [8] предложен полиномиальный временной алгоритм. Алгоритм является полупоглощающим, поэтому вначале процедуры генерируется ряд различных решений, используя полиномиальное количество операций, а затем выбирается наилучшее на основе анализа функции правдоподобия. Указано, что вычислительные затраты при выборе размера скользящего окна вполне приемлемые.

Ко второй, достаточно большой, группе относятся алгоритмы вероятностного сличения данных (probabilistic data association) в сочетании с многоальтернативными алгоритмами сопровождения [10-14]. В алгоритмах такого рода вычисляется достоверность каждой ветви (гипотезы), а затем все полученные для каждой ветви парциальные оценки объединяются. Алгоритмы вероятностного сличения данных являются одними из перспективных и достаточно полно описаны в работах Бар-Шалом [10, 12, 14], однако, при хороших показателях качества, их недостатком является высокие требования к вычислительным средствам. Можно предположить, что мере решения

указанной проблемы они найдут более широкое практическое применение в современных РЛС.

К третьей группе алгоритмов отождествления можно отнести процедуры, основанные на использовании информации не только о кинематических параметрах движения цели. Так, в работе [15] предложено использовать данные о типе цели, полученные с помощью дополнительных источников информации (сонаров, электронно-оптических датчиков) для решения задачи отождествления.

Относительно новым и перспективным подходом к отождествлению является алгоритм, основанный на использовании свойств нейросетей представлен в работе [16]. Встроенный в конкурентную нейросеть Хопфилда обучающийся алгоритм находит соответствие между данными РЛС и существующими траекториями на основе решения случайных иррациональных решений в традиционной нейросети Хопфилда. Приведенные результаты моделирования подтверждают успешность работы такого рода алгоритма.

### Выводы

1. Проанализировано современное состояние и некоторые направления развития алгоритмов межпозиционного отождествления результатов радиолокационных измерений.

2. Наиболее перспективными направлениями для разработки алгоритмов отождествления для системы разнесенных РЛС в сложной многоцелевой обстановке является сочетание алгоритмов пространственно-временного отождествления и вероятностного сличения данных.

### Список литературы

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Kaplan L.M., Bar-Shalom Y., Blair W.D. Assignment Costs for Multiple Sensor Track-to-Track Association // *IEEE Transactions on AES*. – April 2008. – Vol. 44, No. 2. – P. 655-677.

4. Popp R., Pattipati K., Bar-Shalom Y. *m*-Best S-D Assignment Algorithm with Application to Multitarget Tracking // *IEEE Transactions on AES*. – January 2001. – Vol. 37, No. 1. – P. 22-39.

5. Avitzour D. A Maximum Likelihood Approach to Data Association // *IEEE Transactions on AES*. – April 1992. – Vol. 28, No. 2. – P. 560-566.

6. Kirubarajan T., Wang H., Bar-Shalom Y., Pattipati K. Efficient Multisensor Fusion Using Multidimensional Data Association // *IEEE Transactions on AES*. – April 2001. – Vol. 37, No. 2. – P. 386-396.

7. Chummun M. R., Kirubarajan T., Pattipati R., Bar-Shalom Y. Fast Data Association Using Multidimensional Assignment With Clustering // *IEEE Transactions on AES*. – July 2001. – Vol. 37, No. 3. – P. 898-913.

8. Capponi A. Polynomial Time Algorithm for Data Association Problem in Multitarget Tracking // *IEEE Transactions on AES*. – Oct 2004. – Vol. 40, No. 4. – P. 1398-1410.

9. Bar-Shalom Y., Blackman S., Fitzgerald R. Dimensionless Score Function for Multiple Hypothesis Tracking // *IEEE Transactions on AES*. – Jan 2007. – Vol. 43, No. 1. – P. 392-400.

10. Wang H., Kirubarajan T., Bar-Shalom Y. Precision Large Scale Air Traffic Surveillance Using IMM/Assignment Estimators // *IEEE Transactions on AES*. – Jan 1999. – Vol. 35, No. 1. – P. 255-266.

11. Roecker J. A. Multiple Scan Joint Probabilistic Data Association // *IEEE Transactions on AES*. – July 1995. – Vol. 31, No. 3. – P. 1204-1210.

12. Houles A., Bar-Shalom Y. Multisensor Tracking of a Maneuvering Target in Clutter // *IEEE Transactions on AES*. – March 1989. – Vol. 25, No. 2. – P. 176-189.

13. Puranik S., Tugnait J. Tracking of Multiple Maneuvering Targets using Multiscan JPDA and IMM Filtering // *IEEE Transactions on AES*. – Jan 2007. – Vol. 43, No. 1. – P. 23-35.

14. Dezert J., Bar-Shalom Y. Joint Probabilistic Data Association for Autonomous Navigation // *IEEE Transactions on AES*. – Oct 1993. – Vol. 29, No. 4. – P. 1275..1286.

15. Bar-Shalom Y., Kirubarajan T., Gokberk C. Tracking with Classification-Aided Multiframe Data Association // *IEEE Transactions on AES*. – July 2005. – Vol. 41, No. 3. – P. 868-878.

16. Chung Y., Chou P., Yang M., Chen H. Multiple-Target Tracking with Competitive Hopfield Neural Network Based Data Association // *IEEE Transactions on AES*. – July 2007. – Vol. 43, No. 3. – P. 1180-1188.

Поступила в редколлегию 16.07.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил, им. И. Кожедуба, Харьков.

### АЛГОРИТМИ МЕЖПОЗИЦІЙНОГО ОТОЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ

А.В. Просов, В.П. Квіткін

Одночасне спостереження декількох цілей системою рознесених радіолокаційних станцій викликає необхідність рішення задачі визначення приналежності отриманих в різних позиціях вимірів тим або іншим цілям. У даному огляді надана класифікація сучасних алгоритмів ототожнення, а також викладені стан та основні напрями побудови та функціонування алгоритмів меж позиційного ототожнення результатів радіолокаційних вимірювань. Визначені перспективні напрями для розробки алгоритмів ототожнення для системи рознесених РЛС в складній багаточільовій обстановці.

**Ключові слова:** радіолокаційне вимірювання, ототожнення, радіолокаційна станція.

### ALGORITHMS OF MULTISENSOR DATA ASSOCIATION OF RADAR MEASUREMENTS

A.V. Prosov, V.P. Kvitkin

Simultaneous observation of several targets by a system of spatial radars causes of necessity to solve the problem of determination of data association received in different positions. In the given review the classification of up-to-date data association algorithms is presented, and also the state and main tendencies of creation and performance of multisensor data association algorithms of radar measurements are offered. It is defined the perspective directions of creation of multisensor data association algorithms at the tense multitarget environment.

**Keywords:** radar measuring, equation, radar station.