

УДК 681.39

Ю.И. Лосев, З.З. Закиров

*Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков*

## ДИСЦИПЛИНА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТОКА СООБЩЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИРАДАРНОЙ ОБРАБОТКЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

*В статье рассматриваются выбор дисциплины обслуживания потока сообщений от различных источников при совместной мультирадарной обработке с учетом потерь и искажений в процессе передачи радиолокационной информации, а также ее ценности.*

***мультирадарная обработка, дисциплина обслуживания, ценность информации***

### Введение

**Постановка проблемы.** В Украине создана и функционирует объединенная военно-гражданская система организации воздушного движения (ОВГС ОВД) [1]. Одним из наиболее эффективных направлений совершенствования системы контроля за использованием воздушного пространства является информационная интеграция элементов системы ОВГС ОВД с комплексами средств автоматизации перспективной автоматизированной системы управления авиацией и противовоздушной обороны Вооруженных Сил (АСУ А и ПВО ВС).

Идея интеграции систем тесно связана с принятой в 2003 г. "Концепцией создания Государственной интегрированной информационной системы обеспечения управления подвижными объектами: Связь / Навигация / Наблюдение" [2]. В процессе объединения информации о воздушной обстановке полученной от независимых разнотип-

ных радиолокационных источников, а также пунктов сбора и обработки радиолокационной информации (РЛИ), целесообразно использовать метод совместной мультирадарной обработки. Сущность, которого заключается в реализации решения задач завязки, выявления и сопровождения траекторий воздушных объектов по данным (отметкам) всех радиолокационных источников, которые наблюдают объекты в конкретный промежуток времени.

На пункт обработки радиолокационной информации по каналам связи поступает поток сообщений различных приоритетов и ценности информации от разнотипных радиолокационных средств. Для того чтобы обеспечить минимум потери ценной информации как за счет отказа в обработке сообщений, так и за счет старения информации с учетом дополнительной задержки при обработке, принципиальное значение имеет дисциплина их обслуживания.

**Анализ литературы.** Вопросам объединения радиолокационной информации от множества раз-

нотипных источников уделяется большое внимание. Однако большая часть работ посвящена оптимизации объединения РЛИ. Так, в работах [3,4] рассмотрены методы и алгоритмы объединения информации что реализуют принцип совместной обработки оцененных значений координат воздушных объектов от неравноточных источников. В [5] приводится метод совместного объединения координатной и признаковой информации в системах обработки с учетом времени поступления данных от источников, который сводится в приведении параметров к моменту последней по времени оценки частичных траекторий и усовершенствованию решающих правил отождествления измерений от разнотипных источников.

В [6] рассмотрена целесообразность и предложен показатель эффективности использования данных единого радиолокационного поля при мультирадарной обработке с учетом ценности РЛИ и оценки влияния на этот показатель основных характеристик системы передачи РЛИ.

Вопрос повышения качества информации о воздушной обстановке не рассмотрен в разрезе обработки потока сообщений различных приоритетов и ценности от разнотипных радиолокационных (РЛ) средств. Обработка потока сообщений непосредственно связана с определением дисциплины обслуживания, которая должна обеспечить минимум потери ценной информации как за счет отказа в обработке сообщений, так и за счет старения информации с учетом дополнительной задержки при обработке.

**Цель статьи.** Обоснование дисциплины обслуживания обработки потока сообщений полученного от разнотипных источников при мультирадарной обработке с учетом ее ценности.

### Изложение основного материала

При мультирадарной обработке данные поступают от различных пунктов сбора и обработки радиолокационной информации. Некоторые источники РЛИ находятся в непосредственной близости с пунктом обработки информации и поэтому получаемые от них данные не передаются по каналам связи. Другие источники информации территориально разнесены. Данные от этих источников поступают по каналам связи. Таким образом, на входе алгоритма обработки будет суммарный поток заявок –  $\lambda_{вх}$ , определяемый по формуле:

$$\lambda_{вх} = \sum_{\gamma=1}^{N_{ц}} \lambda_{\gamma} = \sum_{i=1}^{N_{\beta}} \lambda_i + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} \frac{B_{ij} \cdot (1 - P_{oo_{ij}})}{n},$$

где  $N_{ц}$  – общее число целей;  $\lambda_{\gamma}$  – интенсивность потока данных для любой  $\gamma$  цели;  $\lambda_i$  – интенсивность потока данных для каждой цели обнаруженной источником, находящегося в непосредственной близости от пункта обработки;  $N_{\beta}$  – количество целей обнаруженных источниками, находящимися в

непосредственной близости от пункта обработки;  $k$  – число удаленных источников;  $N_j$  – число целей, поступающих от удаленных источников;  $B_{ij}$  – скорость модуляции потока данных по каналу связи от  $j$ -го источника;  $P_{oo_{ij}}$  – вероятность обнаружения ошибок, возникающих при передаче сообщений и  $n$  – длина передаваемой по каналу связи кодограммы. Обозначим интенсивность обслуживания поступающих заявок –  $\mu$ . Тогда при  $\lambda_{вх} < \mu$  все поступающие заявки могут быть обслужены, при  $\lambda_{вх} \geq \mu$  могут быть обслужены не все поступающие заявки, т.е. часть сообщений будет утеряна. В этих условиях необходимо определить дисциплину обслуживания, чтобы обеспечить минимум потери ценной информации как за счет отказа в обработке сообщений, так и за счет старения информации с учетом дополнительной задержки при обработке. Такой алгоритм-диспетчер обработки данных представляет систему массового обслуживания с приоритетами. Критерием приоритетного выбора дисциплины обслуживания заявок является максимум показателя эффективности использования РЛИ от совокупности разнотипных РЛ средств, определяемый из соотношения [6]:

$$\Theta_{i\beta j} = \sum_{i=1}^{N_{\beta}} \left( \frac{I_{цi\beta}}{N_{\beta}} \right)^{w_i} + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} \left( \frac{I_{цij}}{N_j} \right)^{w_j}, \quad j \neq \beta, \quad (1)$$

где  $I_{цi\beta}$  – вес  $i$ -й цели  $\beta$ -го источника,  $I_{цij}$  – вес  $i$ -й цели  $j$ -го источника группировки,  $W_i$  и  $W_j$  – ценности информации о цели от различных источников.

Как видно из приведенного выражения этот показатель при прочих равных условиях зависит от величин  $W_i$  и  $W_j$ , характеризующих ценность информации. Поэтому с целью некоторого упрощения процесса исследования критерием выбора дисциплины обслуживания может быть максимум  $W_i$  и  $W_j$ . В [6] было показано, что количество ценной информации в сообщении определяется по формуле:

$$W_i = \log_2 \frac{P_{li}}{P_{oi}},$$

где  $P_{li}$  – вероятность выполнения боевой задачи при наличии сообщения о  $i$ -ой цели, а при ее отсутствии –  $P_{oi}$ .

Вероятность  $P_{li}$  определяется как семантикой сообщения (смысловым значением), так и количеством полученной информации о состоянии системы. Как известно, количество полученной информации в сообщении, передаваемом по каналу связи в реальных условиях, вычисляется по формуле:

$$I_i = H(x_i) - H(x_i / y_i),$$

где  $H(x_i)$  и  $H(x_i / y_i)$  – соответственно безусловная и условная энтропия. При использовании кода с основа-

нием  $m_0 = 2$ , это выражение преобразуется к виду:

$$I_i = 1 + (1 - P_0) \cdot \log(1 - P_0) + P_0 \cdot \log P_0,$$

где  $P_0$  – вероятность искажения передаваемого символа. Второе и третье слагаемое этого выражения обусловлено воздействием помех.

При отсутствии информации вероятность  $P_{li}$  снижается до величины  $P_{oi}$ . Такое снижение вероятности в зависимости от полученной информации должно происходить по какому-либо нелинейному закону. Этот закон должен быть таким, чтобы при наличии малого количества информации чувствительность показателя к изменению поступившего количества информации должно быть выше, чем при наличии большого количества. Если поступило максимум необходимой информации –  $I_{max}$ , то вероятность  $P_{li}$  должна определяться коэффициентом –  $P_{li}'$ , характеризующим семантику сообщения. Если информация о состоянии системы не поступило, то должно соблюдаться равенство  $P_{li} = P_{oi}$ . Указанным условиям удовлетворяет выражение:

$$P_{li} = P_{li}' \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P_{oi}}{P_{li}'} \right) \cdot \exp \left( - \frac{I_i}{I_{max} - I_i} \right) \right]. \quad (2)$$

Поступающая заявка может быть не обработанной или обработанной с некоторым опозданием. В результате информация стареет. Под старением информации понимают уменьшение ее ценности со временем ожидания обработки –  $t_{ож}$ , т.е. уменьшения вероятности  $P_{li}(t_{ож})$ . Зависимость  $P_{li}(t_{ож})$  определяется конкретной решаемой задачей и задается законом изменения функции  $I_i(t_{ож})$ . Однако можно предъявить и некоторые общие требования, которым должна удовлетворять функция  $I_i(t_{ож_i})$  при обработке РЛИ:

1.  $I_i(t_{ож}) = I_{oi}(t_{ож})$  при  $0 \leq t_{ож} \leq T_0$ , где  $T_0$  – период обзора радиолокационной станции.

2.  $I_i(t_{ож}) = 0$  при  $t_{ож} \geq \Delta T_K$ , где  $\Delta T_K$  – допустимый интервал, по истечении которого информация, содержащаяся в сообщении, считается полностью устаревшей. При этом  $i$ -я цель сбрасывается с сопровождения.

3. При  $T_0 \leq t_{ож_i} < \Delta T_K$  количество информации  $I_i(t_{ож_i})$  должно уменьшаться в соответствии с некоторой функцией от  $I_{oi}(t_{ож})$  до 0.

С некоторым приближением эта функция может быть линейной.

Перечислим требования уровня функции:

$$I_i(t_{ож}) = \begin{cases} I_{oi} & \text{при } 0 \leq t_{ож} \leq T_0; \\ I_{oi} \cdot \left( 1 - \frac{t_{ож} - T_0}{\Delta T - T_0} \right) & \text{при } T_0 \leq t_{ож} < \Delta T_K; \\ 0 & \text{при } t_{ож} \geq \Delta T_K. \end{cases}$$

Подставив это выражение в (2), а затем в (1) определим зависимость вероятности  $P_{li}$  от времени, следовательно, и зависимость от времени  $W_i(t_{ож})$ . В результате получим, что количество ценной информации  $i$ -го сообщения в зависимости от времени ожидания обслуживания определяется из соотношения:

$$W_i(t_{ож}) = \log_2 \frac{P_{li}(t_{ож})}{P_{oi}};$$

$$P_{li}(t_{ож}) = P_{li}' \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P_{oi}}{P_{li}'} \right) \cdot \exp \left( - \frac{I_i(t_{ож})}{I_{max} - I_i(t_{ож})} \right) \right];$$

$$I_i(t_{ож}) = \begin{cases} I_{oi} & \text{при } 0 \leq t_{ож} \leq T_0; \\ I_{oi} \cdot \left( 1 - \frac{t_{ож} - T_0}{\Delta T - T_0} \right) & \text{при } T_0 \leq t_{ож} < \Delta T_K; \\ 0 & \text{при } t_{ож} \geq \Delta T_K. \end{cases}$$

При передаче сообщения по каналу связи и при хорошем его состоянии  $I_{oi} = I_{max}$ . Поэтому справедливо выражение:

$$P_{li}(t_{ож}) = \begin{cases} P_{li}' & \text{при } 0 \leq t_{ож} \leq T_0; \\ P_{li}' \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P_{oi}}{P_{li}'} \right) \cdot \exp \left( - \frac{\left( 1 - \frac{t_{ож} - T_0}{\Delta T - T_0} \right)}{\frac{t_{ож} - T_0}{\Delta T - T_0}} \right) \right] & \text{при } T_0 \leq t_{ож} < \Delta T_K; \\ P_{oi} & \text{при } t_{ож} \geq \Delta T_K. \end{cases}$$

Поскольку РЛИ передается циклами, то при определении  $t_{ож}$  удобно пользоваться параметром  $\varepsilon$ . Этот параметр равен нулю ( $\varepsilon = 0$ ), если данные о цели в цикле передачи обрабатывались.

Если данные в этом цикле не обрабатывались, то  $\varepsilon = 1$ . Если информация о  $i$ -й цели не обрабатывалась в  $\varepsilon$ -циклах, то:

$$t_{ож} = \varepsilon \cdot T_0.$$

При  $t_{ож} \geq \varepsilon \cdot T_0$  информация считается полностью устаревшей, цель сбрасывается с автосопровождения. Поэтому величина  $\Delta T$  равна  $\varepsilon \cdot T_0$ , при этом значение  $\varepsilon$  выбирается в зависимости от принятого алгоритма обработки РЛИ (критерия для сброса траектории).

Следовательно, количество потерянной ценной информации об  $i$ -й цели за счет ожидания ее обслуживания будет равно (при  $T_0 \leq t_{ож} < \varepsilon \cdot T_0$ ):

$$W_i(t_{ож}) = \log_2 \frac{P_{li}'}{P_{oi}} - \log_2 \frac{P_{li}'}{P_{oi}} \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P_{oi}}{P_{li}'} \right) \cdot \exp \left[ - \frac{\left( 1 - \frac{t_{ож} - T_0}{(\varepsilon - 1) - T_0} \right)}{\frac{t_{ож} - T_0}{(\varepsilon - 1) - T_0}} \right] \right] =$$

$$= \log_2 \left[ \frac{1}{1 - \left( 1 - \frac{P_{oi}}{P_{li}} \right) \cdot \exp \left( - \frac{\left( 1 - \frac{t_{ож} - T_0}{(\varepsilon - 1) - T_0} \right)}{\frac{t_{ож} - T_0}{(\varepsilon - 1) - T_0}} \right)} \right]$$

Потеря ценной информации может быть обусловлена отказом в обслуживании определенных целей или в обслуживании целей с некоторой задержкой. В результате алгоритм-диспетчер должен определять приоритетность обслуживания с учетом критерия минимума количества потерянной ценной информации о целях  $I_{\text{пот.ц}}$ , определяемого выражением:

$$I_{\text{пот.ц}} = \sum_{\gamma=1}^{N_{\text{ц}}} \lambda_{\gamma} \cdot W_{\gamma} \cdot (1 - \alpha_{\gamma}) + \sum_{\gamma=1}^{N_{\text{ц}}} \lambda_{\gamma} \cdot W_{\gamma} (t_{ож}) \cdot \alpha_{\gamma}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{\gamma}$  – параметр назначения, равный

$$\alpha_{\gamma} = \begin{cases} 1 & \text{— данные используются при обработке;} \\ 0 & \text{— не используются.} \end{cases}$$

Для установления очередности обслуживания заявок необходимо определить пороговые значения отношения  $P_{li}/P_{oi}$ , при которых сообщения обязательно должны обрабатываться в данный период обзора  $\alpha_{\gamma} = 1$  (порог А1) и при которых данные в сообщении могут не обрабатываться (порог А2)  $\alpha_{\gamma} = 0$ . В этом случае количество потерянной ценной информации будет определяться только первым слагаемым выражения (3). Для обрабатываемых сообщений очередность должна устанавливаться в соответствии с количеством потерянной ценной информации, вычисляемой по второму слагаемому выражения (3). В первую очередь должны обрабатываться те сообщения, величина потери ценности информации для которых будет наибольшей.

## Вывод

При совместной мультирадарной обработке данных дисциплина обслуживания определяется количеством потерянной ценной информации как за счет отказа в обработке сообщений, так и за счет старения информации при задержке в процессе этой обработки.

## Список литературы

1. «Положення про об'єднану цивільно-військову систему організації повітряного руху України» (постанова Кабінету Міністрів України від 19.07.1999 р. № 1484.
2. «Концепція створення Государственной интегрированной информационной системы обеспечения управления подвижными объектами: Связь / Навигация / Наблюдение» // Розпорядження КМ України від 17.07.03 № 410р.
3. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВиЦ, 2000. – 428 с.
4. Грачев В.М., Довбня А.В. Метод и алгоритм мультирадарной траекторной обработки радиолокационной информации в системе независимых РЛС // Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ. – 2006. – № 145. – С. 67-75.
5. Войтович С.А., Клімов С.Б., Шило С.Г. Метод об'єднання інформації в системах обробки радіолокаційної інформації з врахуванням часу надходження даних від джерел // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – Вип. 1 (50). – С. 3-8.
6. Лосев Ю.И., Закиров З.З., Алексеев С.В. Показатель эффективности использования данных единого радиолокационного поля при мультирадарной обработке радиолокационной информации. // Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС. – 2007. – Вип. 1 (6). – С. 91-101.

Поступила в редколлегию 2.08.2007

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