

# Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры

Д. А. Пальгуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия

**Постановка проблемы.** Развитие информационных систем сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией происходит, с одной стороны, по направлению улучшения технических характеристик средств обработки информации и средств передачи данных, с другой стороны, по направлению совершенствования алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы. В настоящей статье кратко изложены возможности развития информационных систем по второму направлению.

**Цель.** Разработка варианта построения информационной системы, имеющей полносвязную сетевую структуру и предназначенную для сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией.

**Результаты.** В основу разработки как инструмента построения информационной системы сетевой структуры положен комплексный подход, предусматривающий применение для обработки информации алгоритма без ветвящихся решений, собственно сетевой полносвязной структуры и алгоритмов сетевого, более высокого уровня, чем уровень сбора и обработки, для организации функционирования обмена информацией в сети. Малое время обработки информации при её вводе в систему позволяет создать динамический массив однородных радиолокационных данных, обновляемых при поступлении радиолокационной информации от источников.

**Практическая значимость.** Информационные системы, полностью или частично построенные на основе подобного комплексного подхода, применимы в таких областях, как системы управления воздушным движением; многолучевые и многодиапазонные радары (орнитологические, метео и др.), радары для охраняемых комплексов, некогерентные пространственно-разнесенные источники РЛИ, объединенные в систему (например, для изучения ионосферы).

**Ключевые слова:** радиолокационная информация, информационные системы, сетевая структура

*Для цитирования:*

Пальгуев Д. А. Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры // Радиопромышленность. 2021. Т. 31, № 2. С. 49–60. DOI: 10.21778/2413-9599-2021-31-2-49-60

© Пальгуев Д. А., 2021



# Combination of information processing algorithms and the information system structure as a tool for building an information system of a network structure

D. A. Palguev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

---

**Formulation of the problem.** The development of information systems for collecting, processing and exchanging radar information occurs, on the one hand, in the direction of improving the technical characteristics of information processing facilities and data transmission facilities, on the other hand, in the direction of improving information processing algorithms and the structure of the information system. This article summarizes the possibilities for the development of information systems in the second direction.

**Purpose.** Development of a variant of building an information system with a fully connected network structure and intended for the collection, processing and exchange of radar information.

**Results.** The development, as a tool for building an information system of a network structure, is based on an integrated approach that provides for the use of an algorithm without branching solutions for information processing, a network semi-connected structure itself and network algorithms, a higher level than the level of collection and processing, for organizing functioning of information exchange in the network. The short processing time of information when entering it into the system makes it possible to create a dynamic array of homogeneous radar data, updated when radar information arrives from sources.

**Practical significance.** Information systems, wholly or partly built on the basis of such an integrated approach, are applicable in areas such as air traffic control systems; multi-beam and multi-range radars (ornithological, meteo, etc.), radars for security complexes, incoherent spatially-separated radar information sources, combined into a system (for example, for studying the ionosphere).

**Key words:** radar information, information systems, network structure

---

*For citation:*

Palguev D. A. Combination of information processing algorithms and the information system structure as a tool for building an information system of a network structure. *Radio industry (Russia)*, 2021:31(2); pp. 49–60. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2021-31-2-49-60

## Введение

Развитие информационных систем сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией (РЛИ) направлено, с одной стороны, на улучшение технических характеристик средств обработки информации и средств передачи данных, а с другой — на совершенствование алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы.

В работе Д. А. Пальгуев, А. Н. Шентябин, А. Б. Борзов, Д. А. Васильев, Н. С. Морозов [1] был предложен комплексный подход к анализу построения существующих информационных систем, включающий математическую, алгоритмическую, онтологическую и гносеологическую составляющие. Этот подход также предполагает в качестве основного критерия при построении

информационной системы сетевого типа принять времянахождения радиолокационной информации в информационной системе. Поэтому настоящая статья может рассматриваться как продолжение и развитие данной работы по совершенствованию алгоритмов обработки и информационных систем сбора, обработки и обмена РЛИ, имеющих полностью связанную сетевую структуру.

Результатом комплексного анализа, проведенного в указанной работе, явился перечень требований к перспективным информационным системам сетевой структуры, который включает:

- построение алгоритма сетевой обработки, предназначенного для объединения РЛИ в информационных системах сетевой структуры;
- сочетание алгоритма сетевой обработки, сетевой структуры информационной системы с

последующим обменом информации в сети и построение алгоритмов более высокого уровня, предназначенных для организации этого обмена.

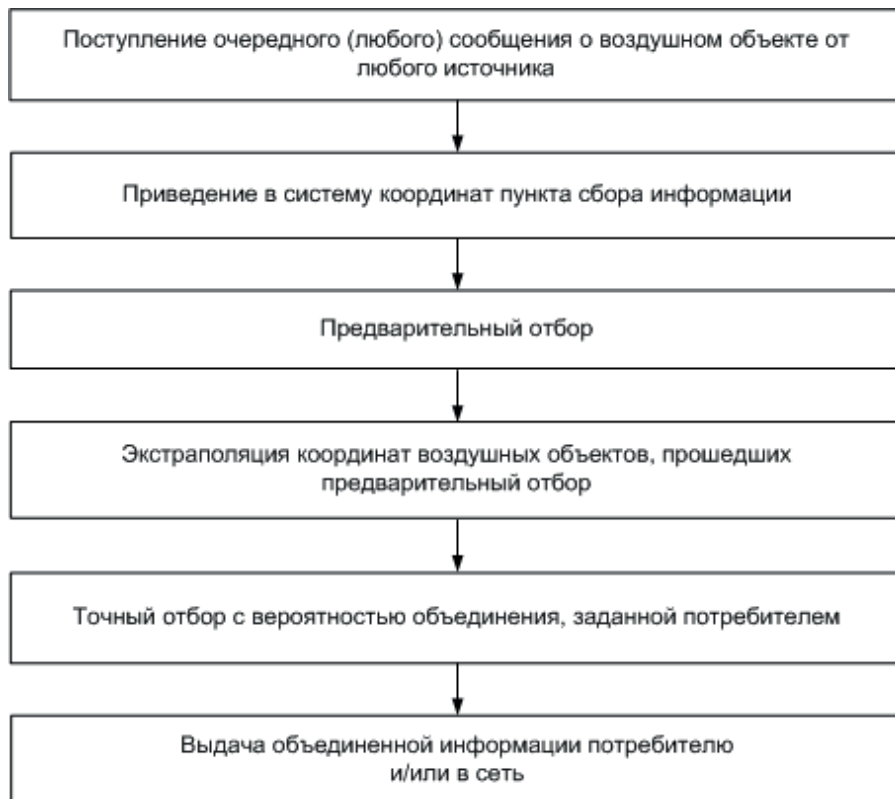
### Алгоритм сетевой обработки радиолокационной информации в информационных системах сетевой структуры

Рассмотрим один из вариантов реализации первого требования. В работах Д. А. Пальгуева, А. Н. Шентябина, А. Б. Борзова, Д. А. Васильева, Н. С. Морозова [1], а также Д. С. Конторова, Ю. С. Голубев-Новожилова [2] отмечалось, что основной особенностью существующего алгоритма третичной обработки является его принадлежность к «группе ветвящихся решений», для которой в соответствии с алгоритмом после получения каждого сообщения вырабатывается несколько возможных решений, одно из них признается действующим, а другие гипотетическими. С получением следующего сообщения принимается новая группа возможных решений, при этом каждое из предыдущих решений используется в качестве априорной информации для последующих. Такая процедура требует проверки нескольких вариантов непрерывно возрастающего

числа гипотез. Для ограничения этого возрастания принимают специальные меры по отсечению ветвей, что также связано с потерями информации, так как эта процедура является принятием априорного решения. Кроме того, разветвление алгоритма на обработку нескольких групп сообщений требует дополнительного вычислительного ресурса и при наличии достаточно большого количества сообщений приводит к переменной временной задержке при обработке. Можно сделать вывод, что для уменьшения этой задержки необходим алгоритм, в котором число ветвей сведено к минимуму и каждое сообщение обрабатывается от момента поступления до момента выдачи в информационную систему после объединения без прерываний на обработку других сообщений.

Примером такого способа обработки и реализованного на его основе алгоритма может служить способ обработки РЛИ в сетевых информационных структурах, предложенный Д. С. Пальгуевым, А. А. Таныгиным [3]. Основные этапы обработки РЛИ в соответствии с ним показаны на блок-схеме алгоритма сетевой обработки (рис. 1).

Основными особенностями алгоритма являются:



**Рис. 1.** Блок-схема алгоритма сетевой обработки (объединения информации от разных источников)

**Fig. 1.** The network processing algorithm block diagram. (consolidated information from multiple sources)

- одновременно обрабатывается только одно сообщение от начала и до конца алгоритма. Окончанием алгоритма является выдача обработанного сообщения потребителю или в сеть. Командой для начала выполнения алгоритма является факт поступления сообщения от любого источника на пункт сбора и обработки информации;
- предварительный отбор и последующая экстраполяция проводятся по одному только что поступившему сообщению. Объекты для сравнения и экстраполяции берутся из массива уже обработанных ранее сообщений (полностью прошедших алгоритм обработки и объединения).

В традиционном алгоритме третичной обработки [4] экстраполяция проводится перед этапом грубого отождествления и возможна для нескольких сообщений (трасс воздушных объектов). Это означает, что алгоритм изначально предполагает присутствие ветвящихся решений, а также поступление информации о воздушных объектах из некоторого буфера сообщений, то есть с возможной задержкой.

Если полагать, что каналы передачи данных от источников до пункта сбора и обработки информации являются высокоскоростными, а время обработки одного сообщения пренебрежимо мало по сравнению с периодом обновления РЛИ и по сравнению с задержкой при обмене в сети, то в алгоритме сетевой обработки при объединении РЛИ от разных источников экстраполяция поступившего сообщения не требуется.

### Вероятность объединения информации и размеры стробов на этапе точного отбора при сетевой обработке

По причине существенного уменьшения временных задержек при сетевой обработке появляется возможность более точного определения размеров стробов при объединении, нежели в Патенте 2461843 РФ Д. А. Пальгуева и А. А. Таныгина [4]. С. З. Кузьмин в своей работе [5] показывает, что размеры стробов и вероятность объединения РЛИ при применении алгоритма сетевой обработки вычисляются в соответствии с выражениями:

$$P_{объед \Delta x} = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \int_{-\infty}^{\Delta x} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 + \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \right.$$

$$\left. + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 - \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right] d\Delta x; \quad (1)$$

$$P_{объед \Delta y} = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_1}\sigma_{y_2}} \int_{-\infty}^{\Delta y} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 + \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 + \right.$$

$$\left. + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 - \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 \right] d\Delta y; \quad (2)$$

$$P_{объед \Delta z} = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \int_{-\infty}^{\Delta z} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 + \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 + \right.$$

$$\left. + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 - \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 \right] d\Delta z; \quad (3)$$

где  $P_{объед \Delta x, \Delta y, \Delta z}$  — заданные вероятности объединения информации по координатам  $x, y, z$ ; пределы интегралов  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  — размеры стробов при объединении информации, поступающей от источника № 1 и источника № 2;  $\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2$  — математические ожидания центрированных случайных величин  $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$  (ошибок измерения этих случайных величин) соответственно;  $\sigma_{x_1}, \sigma_{y_1}, \sigma_{z_1}, \sigma_{x_2}, \sigma_{y_2}, \sigma_{z_2}$  — среднеквадратические отклонения (СКО) соответствующих случайных величин.

Задача определения размеров стробов решается численными методами [4]. Результатом является нахождение величин  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , которые и определяют размер строба точного отбора при заданной вероятности объединения.

Дополним перечень параметров сообщений составляющими скоростей  $V_x, V_y, V_z$ . Тогда

в соответствии с [4; 5] и в предположении, что ошибки измерения источника № 1 при измерении координат близко расположенных воздушных объектов имеют одинаковые корреляционные матрицы ошибок

$$\Psi_{11} = \Psi_{21} = \Psi_1, \tag{4}$$

$$\Psi_{11/12} = \Psi_{21/12} = \Psi_1 + \Psi_2 = \begin{pmatrix} \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{x_1}}^2 + \sigma_{V_{x_2}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{y_1}}^2 + \sigma_{V_{y_2}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{V_{z_1}}^2 + \sigma_{V_{z_2}}^2 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

составляющих скоростей  $V_{xij}, V_{yij}, V_{zij}$  можно выразить в другой форме [5]:

$$P_{обвед} = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{|\Psi_{12}|}} \left( \int_0^{\Delta x} \int_0^{\Delta y} \int_0^{\Delta z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta x^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} + \frac{\Delta y^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} + \frac{\Delta z^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) \right] d\Delta x d\Delta y d\Delta z \right) \times \left( \int_0^{\Delta V_x} \int_0^{\Delta V_y} \int_0^{\Delta V_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V_x^2}{\sigma_{V_{x_1}}^2 + \sigma_{V_{x_2}}^2} + \frac{\Delta V_y^2}{\sigma_{V_{y_1}}^2 + \sigma_{V_{y_2}}^2} + \frac{\Delta V_z^2}{\sigma_{V_{z_1}}^2 + \sigma_{V_{z_2}}^2} \right) \right] d\Delta V_x d\Delta V_y d\Delta V_z \right), \tag{6}$$

где пределы интегрирования  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z$  определяются в соответствии с требуемой потребителем вероятностью объединения информации. В работе С. З. Кузьмина [5] также показано, что, применив функцию Лапласа вида

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \tag{7}$$

выражение (6) для вероятности объединения информации по трем координатам можно привести к виду:

$$\tag{8}$$

корреляционная матрица ошибок измерения  $\Psi_{21}$  для вектора разности параметров  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z$  сравниваемых сообщений источников № 1 и 2, имеет вид

Для этого случая вероятность объединения информации  $P_{обвед}$  с учетом координат  $x, y, z$  и

$$P_{обвед} = \frac{2\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{2\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{2\Phi(\Delta z)}{\sigma_z},$$

где  $t_x = \frac{\Delta x}{\sigma_x}, t_y = \frac{\Delta y}{\sigma_y}, t_z = \frac{\Delta z}{\sigma_z}$ , а  $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}, \sigma_y = \sqrt{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2}, \sigma_z = \sqrt{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2}$  соответственно.

Выражения (1–3), а также (6, 8) показывают, что алгоритм сетевой обработки при объединении информации от разных источников позволяет строго математически решать прямую и обратную задачи: определения размеров стробов по заданной вероятности объединения и определения вероятности объединения по заданным размерам стробов.

При сборе и обработке информации от пространственно разнесенных некогерентных источников (вводе информации в систему) происходит определенная временная задержка. Если она значительно меньше, чем время распространения информации по сетевой структуре информационной системы и чем время обновления сообщений, то при получении сообщений о воздушных объектах из сети или от источников экстраполяция полученного сообщения не требуется, так как перемещение объектов в пространстве и ошибки экстраполяции становятся пренебрежимо малы и сравнимы с точностями определения пространственных параметров воздушных объектов источниками информации. Такое малое

время обработки обеспечивает показанный выше алгоритм сетевой обработки. Время нахождения информации в информационной системе будет определяться в основном временной задержкой при распространении по ее сетевой структуре и зависеть от физических свойств среды распространения и технологических особенностей построения сети: конвертация сетевых протоколов, маршрутизация и т. п.

При подобном построении информационной системы радиолокационная информация представляется однородным, динамически изменяющимся массивом данных, время существования и обновления которого зависит от пространственно-временных параметров, задаваемых при формировании этого массива, и не зависит от уровня принятия решений пунктов сбора, обработки и управления. Для информации управления при наличии необходимой пропускной способности используется эта же или другая сетевая структура с логической адресацией источников и потребителей (прямыми виртуальными каналами передачи данных).

Информационная система сетевой структуры может взаимодействовать с существующей иерархической и функционировать одновременно с ней, резервируя ее и несколько улучшая временные характеристики доставки РЛИ потребителям, а может, используя в полной мере заложенные в нее возможности, функционировать как отдельная независимая система.

### **Алгоритмы сетевого уровня обработки и обмена РЛИ**

Обмен информацией в сетевой структуре содержит типовые недостатки: чрезмерное накопление неконтролируемой информации, образование петель информации, широко-вещательный шторм, трудность организации восстановления сети и др. Для обеспечения функционирования сетевой структуры и решения проблем указанного типа предназначены алгоритмы сетевого, более высокого, чем обработка РЛИ в узлах сети, уровня. Как правило, они представляют собой определенную совокупность известных стандартных алгоритмов и алгоритмов, разработанных специально для обеспечения каких-либо особых условий функционирования сети.

Рассмотрим один из вариантов подобного комплексного алгоритма [7], который может быть использован в информационной системе сетевой структуры в части, касающейся передачи и обмена радиолокационной информацией.

Целью разработки и применения алгоритмов сетевого уровня является сокращение времени нахождения РЛИ в сети за счет снижения информационной нагрузки путем удаления неактуальной, поврежденной, нежелательной информации и исключения повторной передачи информации. Вследствие этого происходит улучшение показателей качества информации и интегрального показателя информационных потерь в целом [1; 5; 8], снижение требований к пропускной способности линий связи вследствие повышения скорости обработки РЛИ на серверах, снижение порога информационной перегрузки сети.

В основе работы алгоритмов сетевого уровня лежит первичная маршрутизация данных, их фильтрация по критериям «времени жизни» РЛИ в сети и адреса источника, после чего реализуются дополнительные алгоритмы фильтрации и маршрутизации РЛИ. При этом узлы сети объединяют в виртуальную одноранговую сеть.

Узел сети представляет собой сервер обработки РЛИ с подключенным к нему шлюзом конвертации протоколов (кодограммным менеджером). В таком случае новая РЛИ, вводимая через один узел, распространяется всем остальным, так как в общем случае узлы соединены между собой по полносвязной топологии. Все вышесказанное приводит к одновременному существованию в сети множества копий одной и той же информации, вследствие чего увеличивается время ее прохождения по сети. Также вероятен случай, когда отправленная информация через некоторое количество промежуточных узлов возвращается на источник. При ограниченной пропускной способности линий связи эта излишняя информация приводит к снижению пропускной способности сети, а обработка повторно полученной информации снижает производительность узлов сети и пропускную способность системы в целом.

Способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления [3] применяется на сервере сетевой информационной структуры [9] и подразумевает выдачу обработанной информации в сеть в том же виде, в каком она была получена, что влечет за собой дублирование информации в сети. Недостатком этого способа является то, что такая повторная информация не подвергается фильтрации.

Примеры организации сетей с ячеистой (*mesh*) топологией на основе *Ad hoc* [10] показывают, что такие решения являются проприетарными (коммерческими, разработанными по закрытым стандартам), что не позволяет применять их

в изделиях, предназначенных для информационных систем повышенных областей риска и ответственности.

Поскольку основной объем информации, передаваемой в сети, составляют данные о трассах объектов, применение известных алгоритмов динамической маршрутизации и фильтрации данных не способно в полной мере решить проблему фильтрации повторных данных, так как они не специализированы на передаче РЛИ и не позволяют ввести критерии фильтрации информации по признакам, характерным для траекторной информации. Недостатком таких систем [11] является увеличенное время прохождения информации в сети ввиду отсутствия фильтрации данных, включающей удаление нежелательной информации, защиту от передачи одних и тех же данных.

Объединение узлов сети в виртуальную одноранговую локальную сеть позволяет организовать между узлами сеть с виртуальной полносвязной топологией, не зависящей от физической топологии сети, которая может быть произвольной. Это может быть реализовано посредством протокола *VLAN* [12]. В результате узлы получают возможность адресно обмениваться друг с другом информацией, избегая при

этом широковещательной рассылки, что, в свою очередь, снижает нагрузку сети.

Применение первичной маршрутизации данных позволяет доставлять РЛИ от одного узла сети к другому по кратчайшему пути. Это обеспечивает оптимальное использование пропускной способности сети при обмене информацией, а также быструю реакцию на изменение топологии сети. Первичная маршрутизация данных может быть выполнена на основе протокола *OSPF* [13].

Актуальность получаемой РЛИ зависит от времени регистрации данных в сети и от времени локализации воздушного объекта.

Первичная фильтрация направлена на отсеивание неактуальной информации, определяемой по времени регистрации данных в сети, а также петлевых данных по признакам источника. Отсеивание производится по результатам анализа соответствующих полей полученного IP-пакета. Первичная фильтрация может быть реализована сетевым фильтром *netfilter* [14].

Дополнительные алгоритмы фильтрации и маршрутизации данных реализуются посредством специального программного обеспечения. На рис. 2 представлена структурная схема, поясняющая полный алгоритм сетевого уровня обработки и обмена РЛИ.

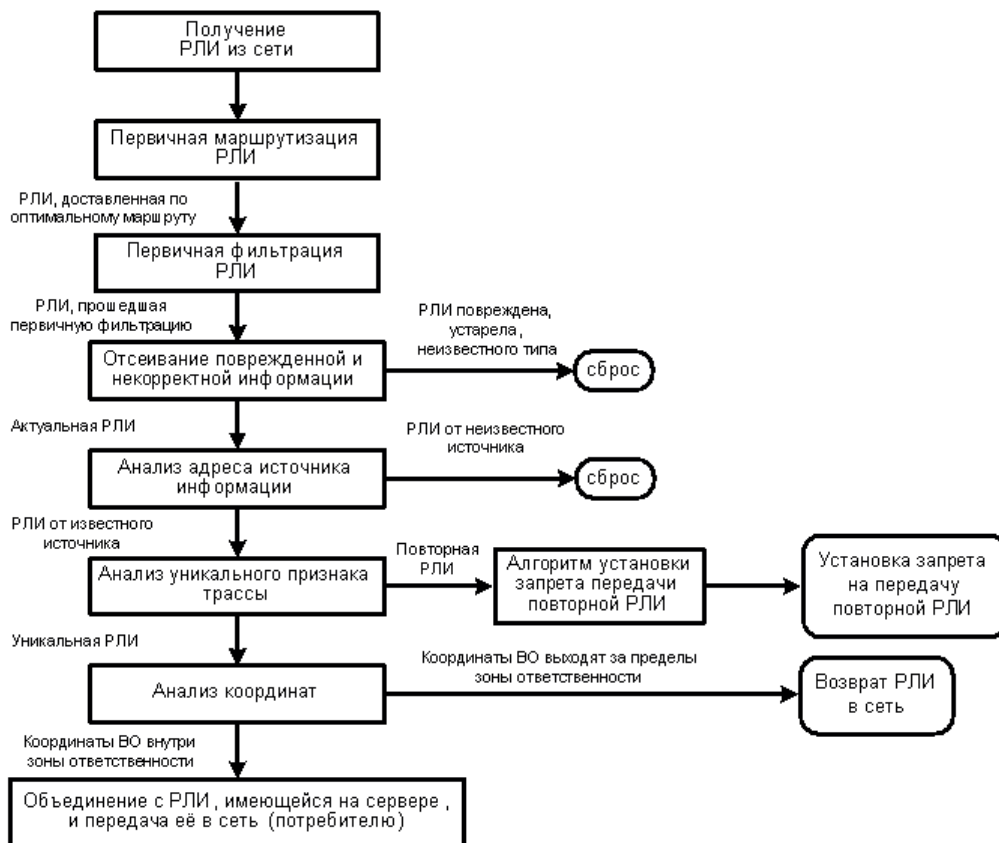


Рис. 2. Структурная схема алгоритма сетевого уровня обработки и обмена РЛИ

Fig. 2. Block diagram of the network layer algorithm for radar information processing and exchange.

Дополнительный алгоритм фильтрации позволяет выявить и удалить некорректную и нежелательную для данного узла информацию по результатам анализа содержимого кодограммы РЛИ на основе характерных признаков (координаты объектов, номера источников трасс). Актуальность РЛИ в данном алгоритме может также определяться на основе времени локации.

Дополнительный алгоритм фильтрации состоит из следующих этапов:

- 1) извлечение из полученной кодограммы РЛИ маркировки в виде совокупности номера трассы в нумерации источника, единого номера источника, единого номера узла, который первым выдал данную информацию в сеть;
- 2) анализ единых номеров источника и узла. Если номера неизвестны, то кодограмма РЛИ возвращается в сеть;
- 3) извлечение из кодограммы декартовых координат объекта в системе координат источника, если номера источника и узла известны;
- 4) пересчет координат из системы координат источника в систему координат центра зоны ответственности;
- 5) анализ полученных координат. Если объект располагается внутри области, ограниченной зоной ответственности, кодограмма передается для дальнейшей обработки на сервер.

При первичной маршрутизации информация между двумя любыми узлами в сети доставляется по кратчайшему пути, соответствующему хорде виртуальной полносвязной топологии. В результате каждая уникальная информация, передаваемая любому узлу от узла источника, будет доставлена первый раз по кратчайшему пути. Информация, доставленная другими путями, будет повторной. Поэтому должна быть реализована защита от передачи такой дублированной информации. Эта задача решается путем применения дополнительного алгоритма маршрутизации. Он основан на механизме установки и снятия запрета передачи информации с определенным признаком между двумя узлами системы.

Принцип работы дополнительного алгоритма маршрутизации РЛИ заключается в следующем:

- 1) уникальные признаки каждой трассы (номер источника, номер трассы, номер узла) и адрес отправителя, с которого данная трассовая информация была получена первый раз, сохраняются в специальном реестре;
- 2) для каждой новой трассовой информации производится анализ уникального признака и адреса отправителя на соответствие тем, что уже есть в реестре;

3) при обнаружении дублированной информации (уникальный признак трассы совпал, а адрес отправителя не совпал с тем, что хранится в реестре) узлу, приславшему повторную информацию, отправляется запрос на установление запрета передачи. Запрос содержит уникальный признак трассы, на передачу информации о которой необходимо установить запрет;

4) узел, получивший запрос на запрет передачи повторной информации, запоминает уникальный признак трассы, переданный в запросе, и отправляет обратно отзыв об успешном установлении запрета. В дальнейшем данный узел не будет отправлять РЛИ с данным признаком узлу, приславшему запрос на запрет.

Кроме указанных функций алгоритм может включать определение и удаление устаревшей РЛИ по установленному временному признаку, и ряд других.

Таким образом, за счет объединения узлов в виртуальную одноранговую локальную сеть, связи двух алгоритмов фильтрации и двух алгоритмов маршрутизации сокращается время прохождения РЛИ в сети системы, исключается передача повторной информации, а также снижаются требования к пропускной способности линий связи и улучшаются показатели качества информации. Применение подобных комплексных алгоритмов [7] позволяет использовать свойства сетевой структуры для создания самовосстанавливающейся сети, а также создает возможности для подключения потребителей и источников по принципу *“plug-and-play”*.

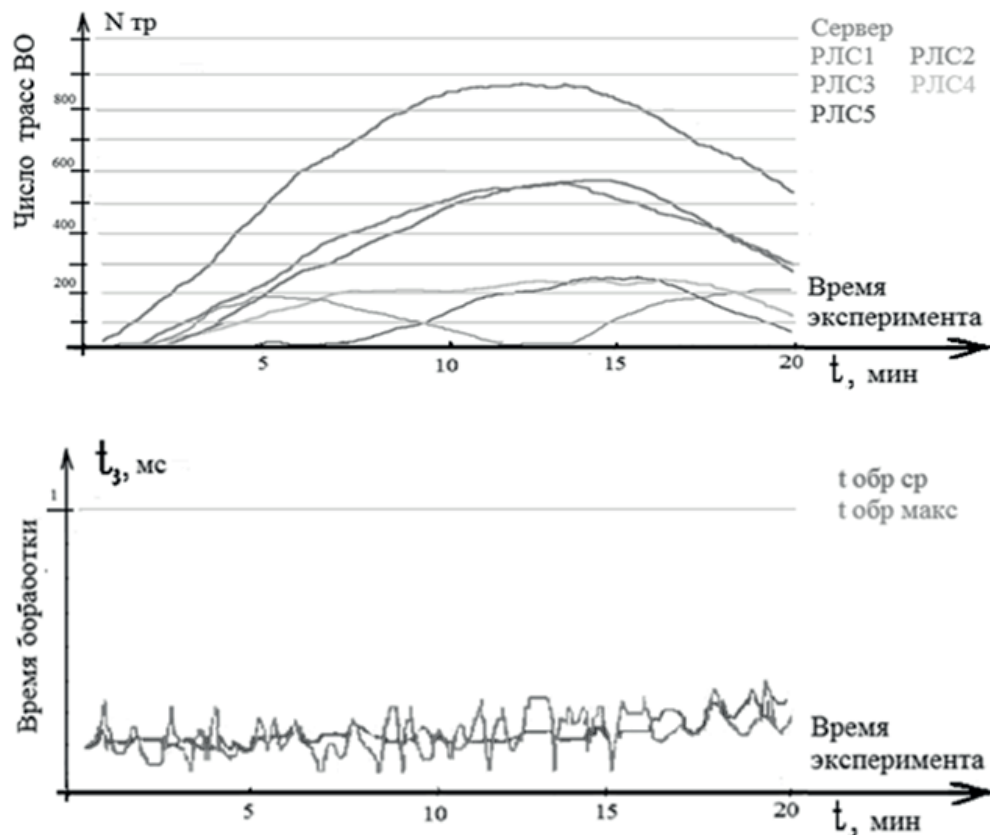
### Результаты моделирования

На рис. 3 отображены результаты обработки РЛИ при нахождении 1 000 воздушных объектов (ВО) в пересекающихся зонах обнаружения пяти радиолокационных станций (РЛС). Для всех РЛС сняты ограничения по максимальной производительности. В этом случае число ВО на выходе узла информационной системы сетевой структуры после обработки РЛИ составляет около 880, так как 1 000 ВО не находятся в зонах обнаружения всех пяти РЛС одновременно.

На рис. 3 также показаны: число обрабатываемых трасс ВО, среднее и максимальное время обработки РЛИ во время эксперимента.

Результаты математического моделирования обработки РЛИ в узле информационной системы сетевой структуры подтвердили работоспособность разработанного алгоритма сетевой обработки РЛИ. Число ВО, заданное в рамках





**Рис. 3.** Число обрабатываемых трасс ВО, среднее и максимальное время обработки РЛИ в узле информационной системы сетевой структуры во время эксперимента

**Fig. 3.** The number of aerial object processed routes, the average and maximum radar information processing time in the information system node of the network structure during the experiment.

моделирования, может при необходимости значительно увеличиваться. Среднее и максимальное время обработки РЛИ существенно меньше времени распространения информации по сети, что являлось одним из условий применимости алгоритма.

### Выводы

Математические выражения для оценки вероятностных параметров объединения информации радиолокационных измерений от некогерентных пространственно-разнесенных источников получены с учетом ряда условий:

- объединение осуществляется в узле информационной системы сетевой структуры;
- для объединения применяется алгоритм сетевой обработки, который в силу особенностей своего построения допускает обработку только одного ветвящегося решения — одного сообщения о воздушном объекте.

При оценке вероятностных параметров объединения РЛИ в приведенных выражениях не учитываются систематические и случайные ошибки, а также погрешности, имеющиеся в исходной

информации от источников и в предшествующих этапах алгоритма объединения РЛИ при сетевой обработке. Д. А. Пальгуев, А. Н. Шенябин [5] указывают, что при выполнении определенных условий и допущений вероятность объединения информации одинакова для каждого поступившего сообщения о воздушном объекте, мало зависит от продолжительности циклов обработки в узле информационной системы, от количества обрабатываемых измерений, загрузки каналов передачи данных и т. п., в отличие от традиционного алгоритма третичной обработки.

Исторически сложившаяся, как неотъемлемая принадлежность иерархической структуры, третичная обработка одновременно с передачей радиолокационной информации от источника потребителю на каждом уровне изменяет саму РЛИ, привнося в нее элементы управленческих решений. Кроме того, в нее входят многочисленные задачи управления. Комплексный подход при построении информационной системы сетевой структуры указанным выше способом сочетания алгоритмов обработки и структуры информационной системы приводит к выводу,

что третичная обработка в традиционном понимании претерпевает существенные изменения. Она превращается в сетевую обработку РЛИ — процесс формирования и поддержания в сети динамически изменяющегося однородного массива радиолокационных данных. В общем случае этот процесс включает в себя сбор, объединение РЛИ от источников данных и РЛИ сети в узлах информационной системы сетевой структуры, а также поддержание корректного обмена в сети. Однородные динамические массивы данных, содержащие РЛИ, синхронизируются с данными от источников по временным параметрам и форматам протоколов обмена.

Объем управленческих решений, предусмотренных традиционной третичной обработкой, в этом случае может быть реализован по виртуальным прямым каналам.

Информационные системы, полностью или частично построенные на основе подобного комплексного подхода, применимы в таких областях [15–21], как системы управления воздушным движением; многолучевые и многодиапазонные радары (орнитологические, метео и др.), радары для охранных комплексов, некогерентные пространственно-разнесенные источники РЛИ, объединенные в систему (например, для изучения ионосферы).

## ПРИСТАТЕЙНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *К вопросу о третичной обработке радиолокационной информации* / Д. А. Пальгуев, А. Н. Шентябин, А. Б. Борзов, Д. А. Васильев, Н. С. Морозов // Вопросы радиоэлектроники. 2021. № 1. С. 21–29. DOI: 10.21778/2218-5453-2021-1-26-34.
2. *Конторов Д. С., Голубев-Новожилов Ю. С.* Введение в радиолокационную системотехнику. М. : Сов. радио, 1971. 368 с.
3. *Пальгуев Д. А., Таныгин А. А.* Патент 2461843 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления // Заявл. 29.04.2011. Оpubл. 20.09.2012.
4. *Кузьмин С. З.* Основы цифровой обработки радиолокационной информации. М. : Сов. радио, 1974. 432 с.
5. *Пальгуев Д. А., Шентябин А. Н.* К вопросу оценки вероятности объединения радиолокационной информации при третичной обработке в сетевых структурах // Радиопромышленность. 2020. Т. 30. № 2. С. 32–41. DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-2-32-41.
6. *Чельцов Б., Замалтдинов И., Волков С.* Борьба за информацию на основе информации // Воздушно-Космическая Оборона. 2009. № 3 (46). С. 82–89.
7. *Пальгуев Д. А., Фитасов А. В.* Патент 2645154 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ сетевой обработки информации в автоматизированной системе обработки и обмена радиолокационной информацией // Заявл. 15.11.2016. Оpubл. 16.11.2018.
8. *Агрегирование информации о воздушной обстановке : монография* / И. Б. Бреслер, В. В. Корниенко, С. А. Семенов, В. А. Тихомиров, М. Д. Фомин. Тверь : Военная академия ВКО им. маршала Г. К. Жукова, 2008. 136 с.
9. *Пальгуев Д. А., Радаева А. С.* Патент 135152 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01), G06F 13/00 (2006.01). Сервер сетевой информационной структуры // Заявл. 24.06.2013. Оpubл. 27.11.2013.
10. *Drs. Baruch Awerbuch, Amitabh Mishra* Introduction to Ad hoc Networks CS-647: Advanced Topics in Wireless Networks // Department of Computer Science Johns Hopkins University : site. URL: [http://www.cs.jhu.edu/~cs647/intro\\_adhoc.pdf](http://www.cs.jhu.edu/~cs647/intro_adhoc.pdf) (accessed: 20.04.2021).
11. *Пальгуев Д. А., Панкратов С. И.* Патент 2543068 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Сетевая автоматизированная система передачи радиолокационной информации // Заявл. 27.11.2013. Оpubл. 27.02.2015.
12. *Стандарты VLAN — IEEE 802.1Q, IEEE 802.1Q.* URL : <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q-2014.html> (дата обращения: 20.04.2021).
13. *Стандарт протокола маршрутизации OSPF версия 2 — RFC 2328* // IETF : сайт. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt> (дата обращения: 20.04.2021).
14. *Netfilter. Firewalling, NAT and packet mangling for linux* : site. URL: <http://netfilter.org> (accessed: 21.04.2021).
15. *Хомяков А. В., Филипченков В. И., Мамон Ю. И.* Алгоритмы совместной траекторной обработки в многопозиционном радиолокационном комплексе // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 305–314.
16. *Задача разработки модели цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, построенной с использованием сетевидной авиационной системы мониторинга* / И. Б. Архимандритов, С. Г. Белов, В. С. Верба, А. А. Липатов, Д. А. Миляков, И. А. Сидоров, Д. Ю. Четыркин // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 8. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.5.5.
17. *Коновалов А. А.* Алгоритм завязки траектории цели в асинхронном многопозиционном радиолокационном комплексе // Радиотехника. 2012. № 7. С. 50–55.
18. *Кирюшкин В. В., Волков Н. С.* Межпозиционное отождествление результатов измерений и определение координат воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе на беспилотных летательных аппаратах // Теория и техника радиосвязи. 2019. № 1. С. 107–116.

19. Журавлёв А. В., Кирюшкин В. В., Коровин А. В. Алгоритм межпозиционного отождествления результатов измерений в суммарно-дальномерной многопозиционной радиолокационной системе в условиях многоцелевой обстановки // Радиотехника. 2019. Т. 83. № 6 (8). С. 180–189.
20. Воронина Н. Г., Шафранюк А. В. Проблемные вопросы решения задач при вторичной и третичной обработке данных в системах освещения обстановки // Материалы конференции «Управление в морских системах» (УМС — 2018). СПб., 2018. С. 215–221.
21. Многолучевые радиолокаторы в составе охранных комплексов. Антитеррор : монография / под ред. И. К. Антонова. М. : Радиотехника, 2017. 216 с.

## REFERENCES

1. Palguyev DA, Shentyabin AN, Borzov AB, Vasilyev DA, Morozov NS. To question of tertiary processing of radar information in network structures. *Voprosy radioelektroniki*, 2021;1:21–9. (In Russian). DOI: 10.21778/2218-5453-2021-1-26-34.
2. Kontorov DS, Golubev-Novozhilov YuS. *Vvedeniye v radiolokatsionnyuyu siste-motekhniku* [Introduction to radar system engineering]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1971, 368 p. (In Russian).
3. Palguyev DA, Tanygin AA. Patent 2461843 RF, MPK G01S 13/91 (2006.01). *Sposob obrabotki radioloka-tсионной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления* [Radar information processing method in the network information structure of the automated control system]. Declared 29.04.2011, published 20.09.2012. (In Russian).
4. Kuzmin SZ. *Osnovy tsifrovoy obrabotki radiolokatsionnoy informatsii* [Digital processing basis of radar information]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974, 432 p. (In Russian).
5. Palguyev DA, Shentyabin AN. More on assessing the probability of radar information association during tertiary information processing in network structures. *Radio industry (Russia)*, 2020;30(2):32–41. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-2-32-41.
6. Cheltsov B, Zamaltdinov I, Volkov S. *Vozdushno-Kosmicheskaya Oborona*, 2009;3(46):82–9. (In Russian).
7. Palguyev DA, Fitasov AV. Patent 2645154 RF, MPK G01S 13/91 (2006.01). *Sposob setevoy obrabotki informatsii v avtomatizirovannoy sisteme obrabotki i obmena radiolokatsionnoy informatsiyey* [Способ сетевой обработки информации в автоматизированной системе обработки и обмена радиолокационной информацией]. Declared 15.11.2016, published 16.11.2018. (In Russian).
8. Bresler IB, Korniyenko VV, Semenov SA, Tikhomirov VA, Fomin MD. *Agregirovaniye informatsii o vozdushnoy obstanovke* [Aggregation of information about the air situation] : monograph. Tver. Voyennaya akademiya VKO im. marshala G. K. Zhukova Publ., 2008. 136 p. (In Russian).
9. Palguyev DA, Radayeva AS. Patent 135152 RF, MPK G01S 13/91 (2006.01), G06F 13/00 (2006.01). *Server setevoy informatsionnoy struktury* [Сервер сетевой информационной структуры]. Declared 24.06.2013, published 27.11.2013. (In Russian).
10. Drs. Baruch Awerbuch and Amitabh Mishra Introduction to Ad hoc Networks CS-647: Advanced Topics in Wireless Networks. *Department of Computer Science Johns Hopkins University*. Available at: [http://www.cs.jhu.edu/~cs647/intro\\_adhoc.pdf](http://www.cs.jhu.edu/~cs647/intro_adhoc.pdf) (accessed: 20.04.2021).
11. Palguyev DA, Pankratov SI. Patent 2543068 RF, MPK G01S 13/91 (2006.01). *Setevaya avtomatizirovannaya sistema peredachi radiolokatsionnoy informatsii* [Сетевая автоматизированная система передачи радиолокационной информации]. Declared 27.11.2013, published 27.02.2015. (In Russian).
12. Standarty VLAN — IEEE 802.1aq, IEEE 802.1Q. Available at: <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q-2014.html> (accessed: 20.04.2021)
13. Standart protokola marshrutizatsii OSPF versiya 2 — RFC 2328. IETF. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>. (accessed: 20.04.2021).
14. *Netfilter. Firewalling, NAT and packet mangling for linux*. Available at: <http://netfilter.org> (accessed: 21.04.2021).
15. Khomyakov AV, Filipchenkov VI, Mamon Yul. Algorithms joint trajectory processing in multiposition radar complex. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2016;2:305–14. (In Russian).
16. Arkhimandritov IB, Belov SG, Verba VS, Lipatov AA, Milyakov DA, Sidorov IA, Chetyrkin DYU. Task of digital platform model building for the collection, processing and dissemination of spatial data which is built with using of a network-centric aviation monitoring system. *Zhurnal radioelektroniki*, 2018;5:8. (In Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2018.5.5
17. Konovalov AA. Tentative track formation algorithm in asynchronous multi-site radar complex. *Radiotekhnika*, 2012;7:50–5. (In Russian).
18. Kiryushkin VV, Volkov NS. Sensor-To-Sensor Data Association and Preliminary Estimation of Coordinates of Air Targets in Multisensory Radar in Multitarget Conditions. *Teoriya i tekhnika radiosvyazi*. 2019;1:107–16. (In Russian).
19. Zhuravlev AV, Kiryushkin VV, Korovin AV. Sensor-to-sensor data association in total-range-measurement multisensory radar in multitarget conditions. *Radiotekhnika*, 2019;83;6(8):180–9. (In Russian).
20. Voronina N G, Shafranyuk AV. Problematic issues of solving problems of secondary and tertiary data processing in systems of surface lighting. *Materialy konferentsii "Upravleniye v morskikh sistemakh" (UMS — 2018)* [Conference proceedings «Control in Naval Systems (CNS-2018)». St. Petersburg, 2018:215–21. (In Russian).
21. Mnogoluchevyye radiolokatory v sostave okhrannykh kompleksov. Antiterror [Multibeam radars in constituent of security systems. Anti-terror], monograph, ed. Antonov K. Moscow, Radiotekhnika, 2017. 216 p. (In Russian).

## **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Пальгуйев Дмитрий Анатольевич**, к. т. н., доцент, радиофизический факультет, кафедра радиотехники, ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (ННГУ), 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, e-mail: dmi-palguev@yandex.ru.

## **AUTHOR**

**Dmitry A. Palguev**, PhD (Engineering), associate professor, radiophysics faculty, Department of Radio Engineering, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN), 23, prospekt Gagarina, Nizhny Novgorod, 603950, Russia, e-mail: dmi-palguev@yandex.ru.

Поступила 16.03.2021; принята к публикации 21.04.2021; опубликована онлайн 28.06.2021.  
Submitted 16.03.2021; revised 21.04.2020; published online 28.06.2021.