

УДК 303.732.4

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_46

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБМЕНА И ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И ЗАКРЫТОСТИ ОТ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Д.А. Пальгуев

ORCID: 0000-0003-2584-7657 e-mail: dmi-palguev@yandex.ru

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского
Нижний Новгород, Россия

На примере специализированной автоматизированной системы обработки и обмена радиолокационной информации приводится пример построения структуры системы, обладающей только необходимыми функциями маршрутизации и обработки информации, и одновременно – за счет организационно-технического построения – в достаточной мере изолированной от внешней среды. Ограничение набора функций позволяет использовать отечественные технические решения, основанные на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) средней производительности, которые, в свою очередь, давно освоены российской промышленностью. Подобный подход к построению структуры специализированной информационной системы позволяет решить актуальную в настоящее время проблему импортозамещения широкофункциональных импортных микросхем.

Ключевые слова: специализированные информационные системы, радиолокационная информация, сетевая структура, плездохронная цифровая иерархия, синхронная цифровая иерархия.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Пальгуев, Д.А. Анализ структуры специализированной системы обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 4. С. 46-55. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_46

ANALYSIS OF A DEDICATED RADAR DATA EXCHANGE AND PROCESSING SYSTEM IN TERMS OF IMPORT PHASEOUT AND ISOLATION FROM THE ENVIRONMENT

D.A. Palguev

ORCID: 0000-0003-2584-7657 e-mail: dmi-palguev@yandex.ru

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Using a dedicated automated radar data exchange and processing system, the authors give an example of the construction of system structure providing only necessary functions for data routing and processing yet adequately isolated from the environment due to its technical and organizational architecture. A limited set of functions allows for the use of technical solutions based on mid-range field-programmable gate arrays (FPGAs) which, in turn, are well-known to the Russian Industry. Such an approach to the construction of a dedicated data system provides a solution to a topical issue of import phaseout for feature-rich import microchips.

Key words: dedicated data systems, radar data, network structure, plesiochronous digital hierarchy, synchronous digital hierarchy

FOR CITATION: D.A. Palguev. Analysis of a dedicated radar data exchange and processing system in terms of import phase-out and isolation from the environment. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 4. Pp. 46-55. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_46

Введение

В настоящее время в общем многообразии различных систем обработки и обмена информацией имеются находящиеся в эксплуатации, а также недавно разработанные специализированные системы, которые для своего функционирования не требуют подключения к цифровым сетям Internet. Скорее наоборот – именно узкой специализацией подобных систем объясняется нежелательность подключения к сетям общего доступа. Вместе с тем, специализация не требует широкого набора функций и наличия большой пропускной способности, имеющих в сетях общего пользования. Например, к специализированным относится автоматизированная система обработки и обмена радиолокационной информацией (АСОИ) [1].

В статье рассматривается вариант построения структуры АСОИ, который технически и организационно максимально удален от Internet-сетей общего пользования, т.е. система является искусственно более «закрытой», чем это принято в общих подходах построения систем обработки данных и управления. Кроме того, вследствие ограничений на используемые протоколы обмена данными и по пропускной способности, эта система имеет достаточно простую и доступную реализацию. Эта возможность является существенной в современных условиях обеспечения импортозамещения. Настоящая работа может рассматриваться как продолжение и развитие исследований [1] по построению структуры специализированной информационной системы обработки и обмена РЛИ. Рассматриваемая автоматизированная система обработки и обмена РЛИ имеет полностью сетевую структуру и в своей основе построена по критерию минимизации времени нахождения информации в системе, т.е. время задержки при вводе информации в систему и при обработке в узлах системы имеет решающее значение для обеспечения эффективности ее функционирования. В комбинированном варианте (при совместной работе существующей и перспективной систем обработки информации) структура специализированной системы [1] представлена на рис. 1.

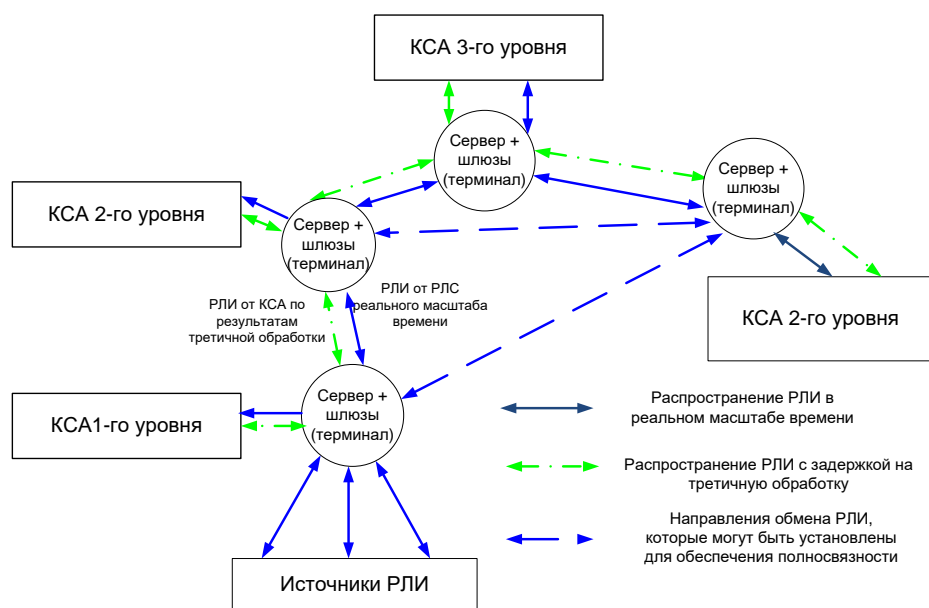


Рис. 1. Структура специализированной системы обработки и обмена РЛИ в комбинированном варианте

Fig. 1. The structure of a dedicated RDAT processing and exchange system

Обработка РЛИ производится на серверах [2], которые, в свою очередь, являются составной частью терминалов, имеющих в своем составе шлюзы, выполняющие функцию конвертации протоколов информации, получаемой от источников, в единый протокол, используемый при обработке и обмене информацией в системе.

С одной стороны, минимизация времени нахождения информации в системе требует уменьшить количество узлов, при прохождении которых возможно возникновение временных задержек. Они связаны, в первую очередь, с использованием пакета протоколов прикладного, сетевого, транспортного и канального уровней ТСП/IP [3], в которых приоритет может быть отдан, без применения специальных мер, пакетам IP-телефонии и видео реального времени. С другой стороны, при обмене информацией в сети Internet возможен несанкционированный доступ к пакетам, обрабатываемым на общедоступных серверах.

Определенным решением этих проблем может быть построение структуры специализированной системы на основе цифровых потоков плезиохронной цифровой иерархии PDH [4]. В этом случае обработка информации, маршрутизация пакетов осуществляется только на выделенных серверах, составляющих узлы специализированной системы и имеющих специальное программное обеспечение (СПО) обработки и обмена. Промежуточные серверы при этом не нужны, так как они вносят дополнительные задержки и являются точками возможно несанкционированного доступа. В случае же применения плезиохронных систем получение информации из первичных цифровых стыков сопряжено с необходимостью последовательного выделения всех цифровых потоков в соответствии с иерархией, то есть для получения информации из основного цифрового канала ОЦК 64 кбит/с производится демультимплексирование, например, из E3 соответствующего E2, затем E1, и только после этого возможен доступ к соответствующему ОЦК. Это свойство плезиохронных систем на определенном этапе развития являлось их недостатком и требовало наличия большого количества аппаратуры на пунктах выделения каналов, но в данном случае построения специализированной системы обработки и обмена информацией оно является средством для «закрытия» системы от взаимодействия с внешней сетевой средой.

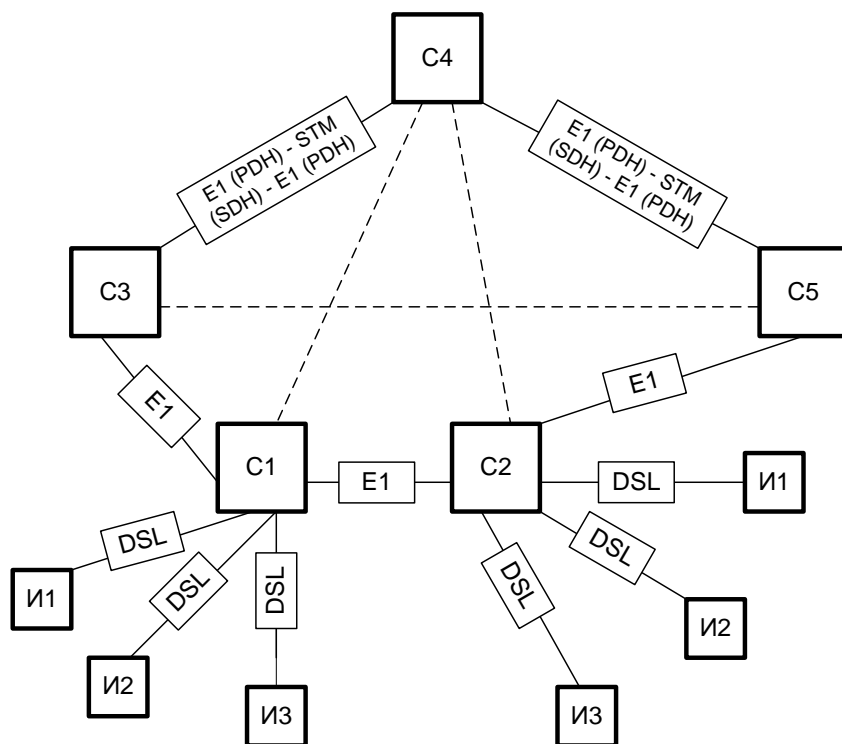


Рис. 2. Структура специализированной системы обработки и обмена данными

Fig. 2. The structure of a dedicated data processing and exchange system

Соответственно, вполне логично основать структуру специализированной автоматизированной системы обработки и обмена информацией на узлах (серверах), имеющих в своей основе компьютеры с СПО обработки и маршрутизации, а каналы обмена информацией

между серверами обеспечить с помощью средств плезеохронной иерархии, основанных на схеме «точка-точка». На рис. 2 показан вариант построения структуры специализированной системы на основе серверов С1...С5, составляющих основу структуры, и содержащие СПО обработки, маршрутизации и конвертации логических протоколов. К серверам С1 и С2 подключаются по три источника информации. Штриховые линии обозначают возможные линии передачи данными для обеспечения полносвязности структуры. Между серверами С3 и С4, а также между С4 и С5 предполагаются линии большой протяженности (несколько десятков или сотен километров). Преобразования протоколов канального и прикладного уровней показаны на рисунке на соответствующих линиях передачи информации.

Кроме указанного недостатка по демультиплексированию всех уровней иерархии до нужного цифрового потока, для РДН систем существенным является ограничение по длине рабочего участка при работе по медным линиям, она составляет всего несколько километров в зависимости от скорости передачи информации. Для практической реализации важны два участка специализированной системы – участок сбора информации от источников до соответствующего узла (сервера) системы, и участки между серверами системы, имеющие большую протяженность – от нескольких десятков до сотен километров. Решение этих вопросов представляется по-разному для различных случаев.

Особенности передачи информации от источников до узла (сервера) специализированной системы

На участках первичного сбора информации расстояние между источниками и пунктами сбора информации (серверами, терминалами) не превышает, как правило, 10-15 км. В РЛС существующего парка, которые будут эксплуатироваться еще длительное время, как правило, для обмена информацией выделяется физическая линия или канал тональной частоты с пропускной способностью 1,2-9,6 кбит/с, при этом применяются разновидности протокола серии V (наиболее применимые V.22-V.32) [5]. Передача данных с использованием указанного протокола обеспечивается как раз на дальностях 10-15 км. Однако низкая скорость передачи данных приводит к временным задержкам при определенной плотности воздушных объектов, информацию о которых необходимо передавать в систему.

Если предположить, что распределение воздушных объектов в зоне обнаружения РЛС носит нормальный или равномерный характер, то характер распределения на выходе РЛС после вторичной обработки и формирования трасс в значительной степени зависит от плотности входного распределения и пропускной способности канала передачи данных от источника к узлу обработки информации.

В ходе нескольких экспериментов было проведено имитационное моделирование воздушной обстановки с нормальным распределением воздушных объектов в зоне обнаружения одной РЛС. Одновременно производились измерения времени задержки информации в канал передачи данных в зависимости от изменения плотности воздушных объектов. Изменение плотности ВО достигалось уменьшением сектора обзора, в котором обнаруживались воздушные объекты. Для измерений использовалась серийная аппаратура, работающая по алгоритму «Аккорд-СС-ПД».

Экспериментальные исследования проводились для следующих исходных данных. Воздушные объекты находились в секторе 90° и в зоне обнаружения 360° по азимуту. Для каждого моделируемого пространственного расположения ВО было произведено от 600 до 700 измерений. Во всех случаях скорость передачи данных была равна 2400 бит/с. На этой скорости передачи данных производительность РЛС должна быть не менее 100 трасс ВО.

Результаты проведенных экспериментальных исследований отражены на рис. 3 и 4.

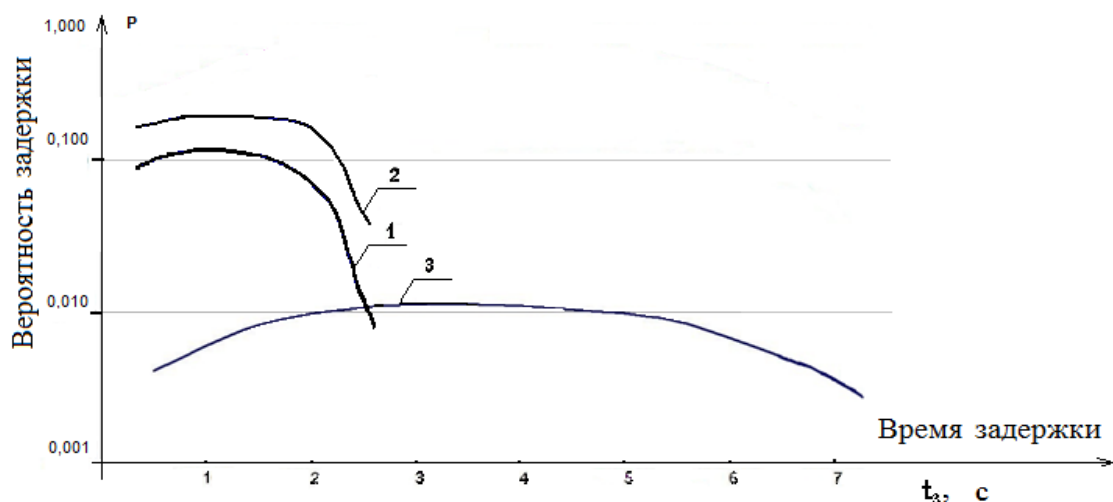


Рис. 3. Плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных для сектора 90° зоны обнаружения

Fig. 3. Probability density functions for the delay time at code message transfer to a data channel for 90° sector of detection zone

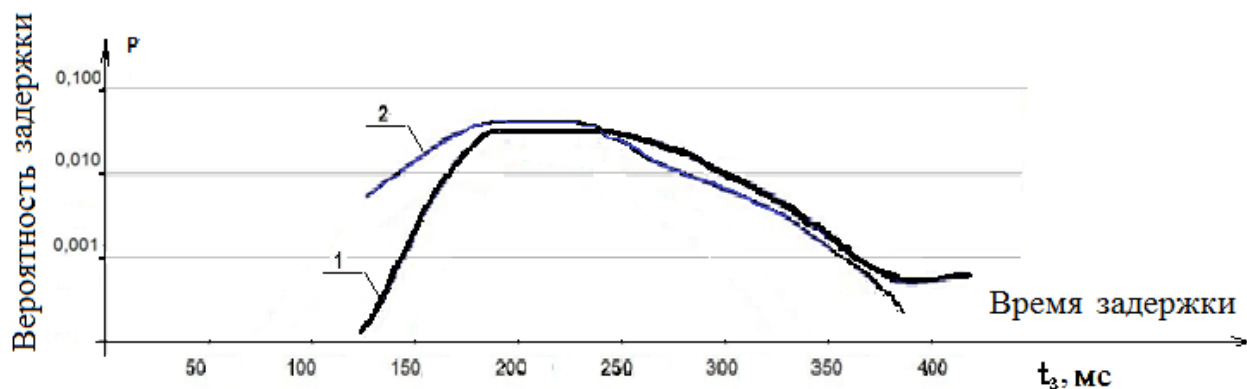


Рис. 4. Статистические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных для зоны обнаружения 360°

Fig. 4. Statistical probability density functions for the delay time at code message transfer to a data channel for 360° detection zone

На рис. 3 представлено семейство зависимостей – статистические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных, с учетом пространственного расположения ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС. На этом рисунке кривая 1 соответствует наличию в секторе зоны обнаружения 60 трасс ВО, кривая 2 – 70 трасс ВО, а кривая 3 – 100 трасс ВО. Из рис. 3 следует, что с ростом числа трасс ВО в секторе 90° зоны обнаружения РЛС время задержки выдачи кодограмм в канал связи увеличивается. Так, для 60 и 70 трасс ВО время задержки выдачи сообщений в канал связи составляет 2,2-2,3 с. При расположении 100 трасс ВО в том же секторе время задержки становится более 7,5 с и последующие кодограммы должны «стирать» предыдущие как потерявшие актуальность.

На рис. 4 представлено семейство зависимостей – статистические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных, с учетом равномерного пространственного расположения ВО во всей зоне обнаружения РЛС – 360°. Кривая 1 соответствует наличию во всей зоне обнаружения 60 трасс ВО, кривая 2 – 70 трасс ВО. Из рис. 4 следует, что время задержки выдачи кодограмм в канал связи увеличивается, не превышая при этом значения 400 мс. По графикам экспериментальных данных можно предположить, что полученные плотности вероятности временных задержек сообщений о ВО подчинены распределению Пуассона или распределению Рэля.

Пуассоновская модель обычно описывает схему событий с ожиданием: при некотором превышении плотности потока событий образуется «очередь» на обработку или последующий переход к следующему процессу. Такое изменение потока событий характерно, например, для теории массового обслуживания. Если количество испытаний n достаточно велико, а вероятность P появления события A в отдельно взятом испытании весьма мала (0,05-0,1 и меньше), то вероятность того, что в данной серии испытаний событие A появится ровно m раз, можно приближенно вычислить по формулам:

$$P = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda}, \quad (1)$$

$$\lambda = np. \quad (2)$$

Стоит отметить, что это распределение по большей части зависит от параметра λ (математического ожидания), которое определяет максимум на графике плотности распределения Пуассона. На рис. 5 представлено распределение Пуассона для графиков экспериментальных данных, приведенных на рис. 3.

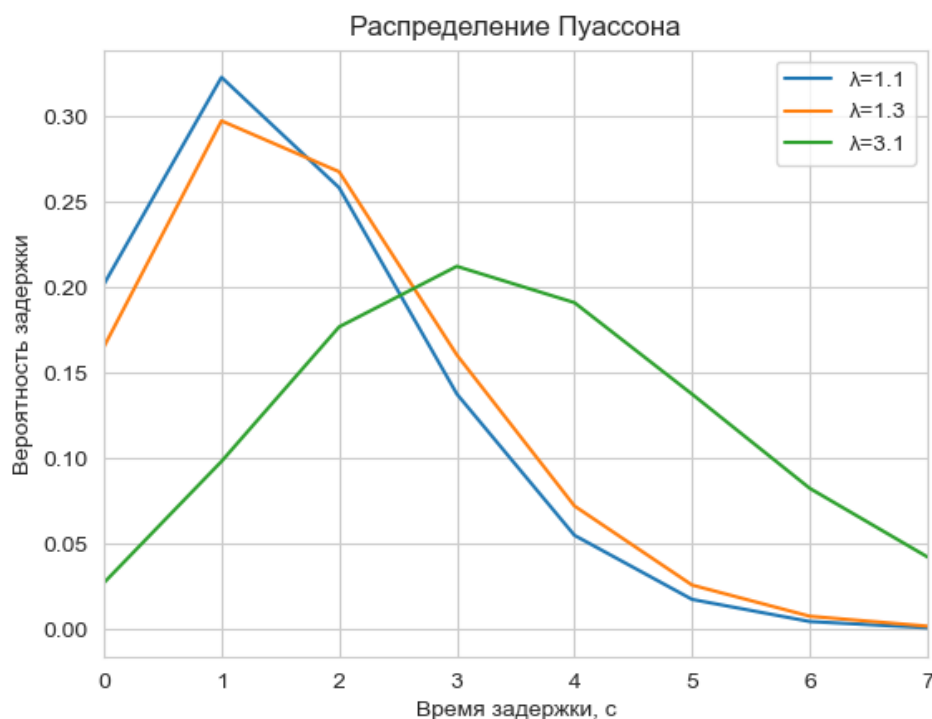


Рис. 5. Теоретические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных без интерполяции

Fig. 5. Theoretical probability density functions for the delay time at code message transfer to a data channel without interpolation

Графики представляют собой ломаные линии ввиду того, что распределение является дискретным. Чтобы приблизить теоретический график и посчитать максимальное и среднее отклонения была проведена интерполяция базисными сплайнами с использованием модуля `interpolate` библиотеки `scipy` (рис. 6). В табл. 1 приведены значения невязки экспериментальных значений плотности распределения вероятностей с теоретическими.

Таблица 1.

Значения невязки

Table 1.

Misclosure values

Значение λ на графике	Максимальное отклонение	Среднее отклонение
1,1	0,0194=1,94 %	0,055=5 %
1,3	0,1342=13,42 %	0,12=12 %
3,1	0,195=19,5 %	0,185=18,5 %

Анализ значений невязки табл. 1 позволяет сделать вывод, что распределение Пуассона достаточно точно подходит для описания эксперимента с большим количеством измерений. Это, в свою очередь, согласуется с теоретическим представлением о распределении Пуассона, как распределения для «очереди с ожиданием».

Проведенные эксперименты и вычисления позволяют сделать следующие выводы:

- значения времени задержки могут составлять величины, существенно ухудшающие достоверность и своевременность информации;
- на участке сбора информации от источников до узлов обработки и ввода информации в систему необходимо применять более высокоскоростные линии передачи данных.

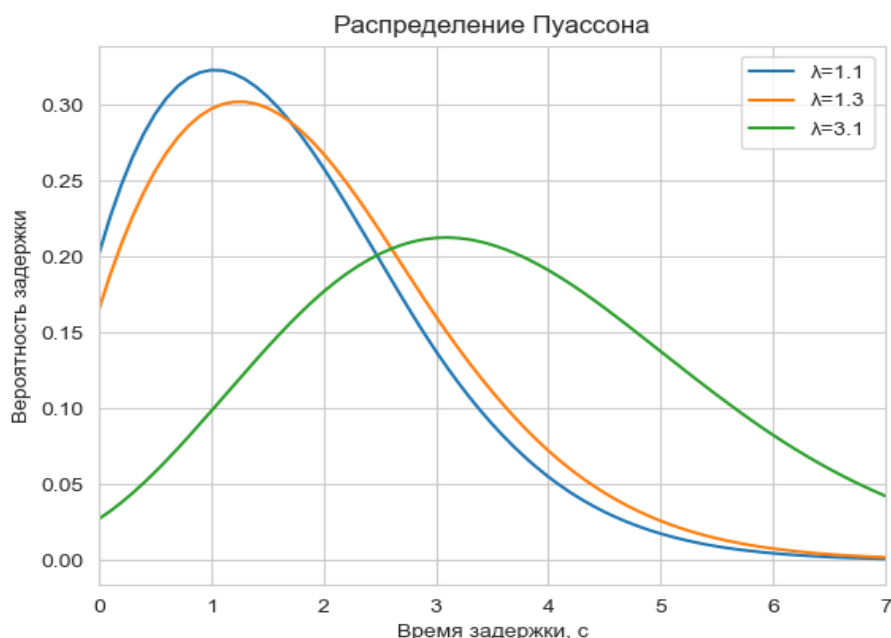


Рис. 6. Теоретические плотности распределения вероятности времени задержки кодограмм при выдаче в канал передачи данных с интерполяцией

Fig. 6. Theoretical probability density functions for the delay time at code message transfer to a data channel with interpolation

В этом отношении очень хорошо подходят протоколы семейства DSL, которые обладают несимметричностью в отношении пропускной способности (от источников скорость передачи информации значительно выше, чем от узлов обработки), а современные технологии позволяют поддерживать скорость передачи данных до 2 Мбит/с на расстояниях до 12-14 км. Это фактически полностью устраняет возможность перехода нормального или равномерного распределения воздушных объектов на входе источников (в зоне обнаружения воздушных объектов) в пуассоновское на их выходе.

Особенности передачи данных на протяженных участках

После сбора и обработки информации на серверах, являющимися узлами специализированной системы сетевой структуры, происходит конвертация в единый протокол системы обмена и обработки. Обмен между серверами также целесообразно осуществлять с использованием единых стандартов плезиохронной иерархии PDH, которая отвечает требованиям минимизации времени задержки при доставке информации от источников потребителю. Время задержки является составной частью времени нахождения информации в специализированной системе.

Как отмечалось выше, передача данных по стандартам PDH по медным линиям имеет серьезный недостаток – малая длина регенерационного участка. Решение этой проблемы возможно осуществить двумя основными способами. Первый – на протяженных участках осуществлять преобразование стандартов PDH в стандарты SDH с одновременным подключением к магистральным линиям передачи данных, в основном волоконно-оптическим, с использованием конвертеров E1 (PDH) – STM (SDH) [6]. Процесс прямого и обратного преобразования давно освоен при организации и эксплуатации цифровых линий связи, элементная база, применяемая при этом, также освоена отечественной промышленностью и разработчиками. Для обеспечения функционирования специализированной системы с заданной эффективностью необходима такая организация структуры системы, при которой отсутствовали бы промежуточные преобразования из базового потока 155 Мбит/с стандарта SDH, то есть внутри сетевой структуры предпочтительны связи между серверами по схеме «точка-точка».

Второй подход по обеспечению обмена на увеличенные расстояния более высокотехнологичен. Здесь имеется в виду технология «MetroEthernet» – передача синхронных потоков E1 в асинхронной среде Ethernet [7]. Указанная технология возможна только по схеме «точка-точка» и решается аппаратно-программным способом. Она обеспечивает гарантированную полосу пропускания с гарантированной задержкой, что позволяет синхронизировать цифровые потоки стандарта E1 PDH в асинхронной среде семейства стандартов IEEE 802,3 и эмулировать E1 окончание в существующих Ethernet или IP сетях. В ряде случаев такое решение представляется более удобным, при наличии высокоскоростных линий протяженностью до 40 км. Можно допустить, что эти технологические решения в настоящее время ограничено доступны.

При построении специализированной системы не требуется дорогостоящее серверное оборудование, использование магистральных цифровых потоков необходимо только на достаточно больших расстояниях между узлами сети, участки протяженностью 12-14 км реализуются на технологиях и протоколах стандартов DSL. Технические решения преобразования стандарта E1 возможны с использованием ПЛИС среднего уровня производительности на отечественной элементной базе. В специфических случаях, при расстояниях от источников до пунктов сбора и обработки информации в несколько сотен километров, при расположении их в труднодоступных районах, возможно использование спутниковой связи с комплексным применением стандартов TDMA и QPSK [8].

Выводы

Приведенный подход к построению структуры специализированной системы обработки и обмена информации позволяет:

- 1) обеспечить нормальное распределение на входе и выходе системы обработки информации, не допустить перехода нормального распределения в пуассоновское и тем самым нарушить функционирование системы, основанной на критерии минимизации времени нахождения информации в системе;
- 2) минимизировать технологические решения при построении структуры специализированной системы обработки и обмена информации. Основными технологиями при построении структуры являются освоенные отечественной промышленностью и разработчиками сочетания технологий, стандартов и протоколов, принадлежащих различным уровням моделей OSI и TCP/IP: DSL, IEEE 802.3, PDH (E1) и SDH (STM);
- 3) организационно и технически на этапе построения специализированной системы обеспечить ее «закрытость» и изолированность от сетей общего пользования;
- 4) при построении специализированных систем обработки и обмена информации массово применить относительно недорогое отечественное оборудование, что является решением вопроса импортозамещения в современных условиях.

Информационные системы, полностью или частично построенные на основе подобного комплексного подхода, применимы в таких областях [9-15], как системы управления воздушным движением; многолучевые, многопозиционные и многодиапазонные радары (орнитологические, метео- и др.), радары для охранных комплексов, некогерентные пространственно-разнесенные источники РЛИ, объединенные в систему.

Библиографический список

1. 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.
2. Пат. 135152 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01), G06F 13/00 (2006.01). Сервер сетевой информационной структуры / Пальгуев Д.А., Радаева А.С. Заявлен 24.06.2013. Оpubл. 27.11.2013; бюл. № 33.
3. RFC 1122, Requirements for Internet Hosts – Communication Layers, R. Braden (ed.), October 1989.
4. UTI-T Rec G.703 (11/2001)/ Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. SERIES G: Transmission systems and media, digital systems and networks / Digital terminal equipments – General.
5. ITU-T Recommendations [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=V> (дата обращения 09.07.2022).
6. Передача потока Ethernet по каналам E1/STM | QTECH [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.qtech.ru/solutions/operators/peredacha-potoka-ethernet-po-kanalam-e1-stm/?ysclid=15gk5a4499466138947> (дата обращения 11.07.2022).
7. TDMoIP шлюз | TERRATEL [Электронный ресурс] // Режим доступа: / <https://www.terratel.eu/ru/tdm-over-ip-gateway.html> (дата обращения 15.07.2022).
8. Пат. 159704 РФ, МПК H04B 7/00 (2006.01). Мобильная узловaя станция спутниковой связи для совместной работы в стандартах «Full mesh» TDMA и QPSK / Пальгуев Д.А., Борцов Е.Н. № 2015138336/07; заявл. 08.09.2015; опубл. 20.02.2016; бюл. № 5.
9. Хомяков, А.В. Алгоритмы совместной траекторной обработки в многопозиционном радиолокационном комплексе / А.В. Хомяков, В.И. Филипченков, Ю.И. Мамон // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 305-314.
10. Архимандритов, И.Б. Задача разработки модели цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, построенной с использованием сетцентрической авиационной системы мониторинга / И.Б. Архимандритов, С.Г. Белов, В.С. Верба и др. // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 8.
11. Коновалов, А.А. Алгоритм завязки траектории цели в асинхронном многопозиционном радиолокационном комплексе // Радиотехника. 2012. № 7. С. 50-55.

12. **Кирюшкин, В.В.** Межпозиционное отождествление результатов измерений и определение координат воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе на беспилотных летательных аппаратах / В.В. Кирюшкин, Н.С. Волков // Теория и техника радиосвязи. 2019. № 1. С. 107-116.
13. **Журавлев, А.В.** Алгоритм межпозиционного отождествления результатов измерений в суммарно-дальномерной многопозиционной радиолокационной системе в условиях многоцелевой обстановки / А.В. Журавлев, В.В. Кирюшкин, А.В. Коровин // Радиотехника. 2019. Т. 83. № 6 (8). С. 180-189.
14. **Воронина, Н.Г.** Проблемные вопросы решения задач при вторичной и третичной обработке данных в системах освещения обстановки / Н.Г. Воронина, А.В. Шафранюк // Материалы конференции «Управление в морских системах» (УМС-2018). – СПб., 2018. С. 215-221.
15. Многолучевые радиолокаторы в составе охранных комплексов. Антитеррор / под ред. И.К. Антонова. – М: Радиотехника, 2017. – 216 с.

*Дата поступления
в редакцию: 11.08.2022*

*Дата принятия
к публикации: 18.10.2022*