

Контроль космічного і повітряного простору

УДК 681.51:623.592

А.С. Могилатенко¹, Ю.А. Данилов², М.А. Павленко²

¹ Воинская часть А0593, Никополь

² Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница

³ Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Необходимость практического решения задачи обеспечения регионального центра воздушного движения радиолокационной информацией с требуемой полнотой и точностью и недостаточная развитость теоретической базы для ее решения, обуславливают актуальность научной задачи разработки метода формирования и выдачи сообщений о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на региональный центр управления воздушным движением, адаптивного к изменениям производительности источников радиолокационной информации и пропускной способности каналов передачи данных

Ключевые слова: анализ, обработка, управление, информация.

Анализ содержания процесса обеспечения радиолокационной информацией региональных центров управления воздушным движением

Необходимым условием решения задач управления на центрах управления воздушным движением (ЦУВД) является наличие радиолокационной информации (РЛИ) о воздушных объектах (ВО). Обеспечение радиолокационной информацией центров управления воздушным движением является одной из функций АСУ центров управления воздушным движением и представляет собой совокупность взаимосвязанных мероприятий по выявлению, сбору, обработке, анализу и выдаче данных о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на центры управления воздушным движением.

Под радиолокационной информацией о воздушных объектах в АСУ понимают набор сведений в виде формализованных сообщений о воздушных объектах, добытых в ходе радиолокационной разведки средствами активной и пассивной локации. Сообщение о воздушных объектах состоит из информационных элементов, которые представляют собой блоки данных в двоичном виде со смысловым содержанием, определенным руководящими документами:

номер, местоположение и время обнаружения воздушных объектов;

признак опознавания государственной принадлежности;

высота, состав (глубина и ширина сгруппированных целей), тип воздушных объектов;

признаки маневра по курсу, высоте и скорости; признаки применения помех и др.

Сообщения о воздушных объектах формируются и выдаются источниками радиолокационной информации.

Можно выделить ряд топологических особенностей подсистемы обеспечения радиолокационной информацией ЦУВД:

1. Подсистема обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением имеет сложную структуру и информация о ВО от источников радиолокационной информации может поступать на региональный центр управления воздушным движением через несколько звеньев управления.

2. Основными направлениями выдачи радиолокационной информации являются направления по вертикали управления, т.е. между подчиненными и вышестоящими ЦУВД. Вместе с тем, наличие информационных связей между ЦУВД одного уровня иерархии в АСУ регионального ЦУВД позволяет организовать выдачу радиолокационной информации по обходным маршрутам для повышения живучести рассматриваемой подсистемы.

3. Наличие территориально разнесенных источников и потребителей радиолокационной информации в АСУ регионального ЦУВД обуславливает необходимость использования протяженных каналов передачи данных. Такие каналы передачи

данных представляют собой сложные и дорогостоящие сооружения, что определяет актуальность задачи эффективного их использования.

Перечисленные особенности подсистемы обеспечения радиолокационной информацией регионального ЦУВД определяют порядок решения задач этой подсистемой. К таким задачам относятся: радиолокационное наблюдение за воздушным пространством, сбор, обработка и анализ радиолокационной информации, формирование и выдача сообщений о ВО потребителям. Проведем анализ этих задач.

Радиолокационное наблюдение в районе ответственности ЦУВД и на подступах к нему основано на определенном порядке размещения радиолокационных средств для создания сплошного радиолокационного поля с целью своевременного обнаружения, опознавания, распознавания и непрерывного сопровождения ВО. Особенности решения последующих задач процесса обеспечения радиолокационной информацией ЦУВД обусловлены принципами радиолокационного наблюдения:

циклический принцип обзора воздушного пространства радиолокационными средствами [1] определяет дискретный характер обновления, обработки и выдачи радиолокационной информации потребителям;

принцип перекрытия зон обнаружения РЛС для обеспечения надежного радиолокационного наблюдения приводит к дублированию радиолокационной информации, что требует устранения избыточности данных о ВО [7-10,16];

принципы радиолокации обуславливают наличие ошибок измерения координат ВО, что требует учета точности радиолокационной информации при ее обработке [1].

С учетом перечисленных особенностей решается задача сбора РЛИ, которая состоит в сосредоточенном и целенаправленном отборе необходимых данных о ВО на соответствующих ЦУВД. При этом осуществляется управление процессом сбора, состоящее в выборе источников и регулировании поступающих от них потоков РЛИ, исходя из поставленных задач, условий обстановки, состава данных, выдаваемых этими источниками. Под потоком РЛИ понимают движение данных в канале передачи данных в виде сообщений о ВО с определенной скоростью, называемой плотностью потока [2].

Особое внимание при сборе РЛИ обращается на перегрузки в звеньях управления АСУ. Перегрузки представляют собой ситуации, когда входной поток РЛИ не может быть полностью обработан на ЦУВД и выдан потребителям с установленной дискретностью, т.е. установленным интервалом времени между соседними сообщениями об одном ВО. Это может быть вызвано ограниченной производи-

тельностью АСУ и недостаточной пропускной способностью каналов передачи данных по причинам их радиоэлектронного подавления, а также увеличения плотности потока сообщений о ВО. При этом пропускная способность определяет максимально возможную скорость передачи данных по каналу, а производительность источника РЛИ определяет количество информации о ВО, выдаваемое в единицу времени, и может быть рассчитана по формуле:

$$G = \frac{n \cdot L}{T} = n \cdot \left(\sum_{i=1}^k l_i + s \right) / T, \quad (1)$$

где G – производительность источника РЛИ, бит/с; n – количество ВО, по которым выдаются сообщения от источника РЛИ; L – размер сообщения о ВО, бит; T – период обновления информации о ВО, с; k – количество информационных элементов в сообщении о ВО; l_i – размер i -го информационного элемента, бит; s – количество служебной информации и неиспользуемых разрядов, бит.

Пропускная способность может быть определена по формуле Шеннона [3]:

$$C = F \cdot \log_2 (1 + P_c / P_{ш}), \quad (2)$$

где C – пропускная способность канала передачи данных, бит/с; F – ширина полосы пропускания канала, Гц; P_c , $P_{ш}$ – мощность сигнала и мощность шума соответственно, Вт.

Пропускная способность в формуле (2) определяет лишь теоретически достижимое максимальное значение скорости передачи данных. Поэтому в дальнейшем под пропускной способностью канала будем понимать максимальную реализуемую скорость передачи данных при заданной вероятности ошибки бита и обозначать символом C . Вместе с тем, зависимость (2) позволяет определить пути повышения максимально реализуемой скорости передачи данных в канале.

Таким образом, причины перегрузок в звеньях сбора РЛИ могут привести к превышению производительности источников РЛИ над пропускной способностью каналов передачи данных. При таком рассогласовании между производительностью источников и пропускной способностью каналов передачи данных обеспечиваемые ЦУВД будут получать РЛИ не в полном объеме, что влияет на качество решения задач обработки и анализа РЛИ на этих ЦУВД.

Обработка РЛИ включает проверку достоверности добытых сведений, формирование трасс полета целей, отождествление и сопоставление информации от нескольких источников. При этом важна точность РЛИ [4], которая характеризует расхождение между фактическими и отображаемыми значениями координат ВО. В качестве показателя точности используют среднеквадратическую ошибку координат (с.к.о.) ВО:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (3)$$

где δ_i – расстояние между истинным и i -м измеренным положением ВО

После обработки РЛИ на ЦУВД осуществляют анализ полученной информации, который включает критическое осмысливание, логическое сопоставление и обобщение имеющихся сведений для повышения их достоверности и выявления обобщенной информации.

Одной из наиболее важных характеристик, влияющих на результаты анализа РЛИ, является полнота обеспечения РЛИ.

Полнота обеспечения РЛИ характеризует отношение числа ВО, по которым выдается РЛИ с требуемым качеством к общему числу действующих ВО. Она зависит от производительности звеньев сбора, обработки и передачи РЛИ и уменьшается при рассогласовании между производительностью источников радиолокационной информации и пропускной способностью каналов передачи данных.

После обработки и анализа собранной радиолокационной информации формируются сообщения о ВО и осуществляется их выдача потребителям в соответствии с установленным порядком. Формирование сообщения о ВО заключается в определении состава информационных элементов и присвоении им определенных значений. Непосредственно выдача и прием сообщений о ВО между ЦУВД в АСУ регионального ЦУВД осуществляется с помощью системы передачи данных (СПД), которая объединяет аппаратуру передачи данных (АПД) источников и потребителей радиолокационной информацией с помощью каналов передачи данных. Используемая в АСУ регионального ЦУВД СПД базируется на первичной сети связи, которая морально устарела (только 30% средств связи можно считать современными) и обладает низкой структурной живучестью.

Таким образом, из проведенного анализа содержания процесса обеспечения радиолокационной информацией региональных ЦУВД можно выделить ряд его особенностей:

1. Резкое возрастание плотности информационного потока сообщений о ВО по каналам передачи данных.

2. Уменьшение количества стационарных ЦУВД, узлов связи и каналов передачи данных в результате их подавления.

3. Снижение пропускной способности радиоканалов передачи данных или выход их из строя в результате РЭП.

4. Увеличение плотности потока сообщений о ВО на обходных маршрутах за счет дополнительной радиолокационной информацией от взаимодействующих источников.

5. Моральное старение и низкая структурная живучесть первичной сети связи, на которой базируется СПД в АСУ регионального ЦУВД.

Указанные особенности могут привести к рассогласованию между производительностью источников РЛИ и пропускной способностью каналов передачи данных.

Для устранения такого рассогласования между производительностью источника РЛИ и пропускной способностью канала передачи данных можно использовать ряд методов, применяемых в АСУ региональных ЦУВД и в современных СПД [3]. Проведем анализ существующих методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных

Анализ существующих методов согласования производительности источника радиолокационной информацией с пропускной способностью канала передачи данных

Проведем анализ методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных в существующих АСУ регионального ЦУВД.

АСУ «Луч-1». Основными источниками РЛИ в АСУ «Луч-1» являются КСА «Межа», КСА «Низина-Н». Эти КСА обладают низкими возможностями по сопровождению ВО и выдаче РЛИ: 50 ВО с $T=10$ с. у КСА «Межа» и 10 ВО с $T=10$ с. у КСА «Низина-Н». Сообщения о ВО у обоих источников имеют фиксированный размер и состав информационных элементов.

В случае превышения количества ВО, действующих в зоне информации над информационными возможностями КСА, в АСУ «Луч-1» применяется метод селекции ВО: ЦУВД принимает от регионального ЦУВД распоряжения о снятии с сопровождения указанных ВО. Вместе с тем, применение метода селекции ВО может вносить искажения в реальную картину воздушной обстановки, так как не все ВО выдаются потребителю. Таким образом, селекция ВО для их выдачи снижает полноту обеспечения РЛИ потребителя.

При выходе из строя каналов передачи данных по причине подавления источники РЛИ в АСУ «Луч-1» переходят на запасные каналы передачи данных. Вместе с тем, учитывая интенсивное подавление СПД, применение запасных каналов передачи данных, использующих тот же маршрут передачи данных, может оказаться практически невозможным.

АСУ «Луч-2». Основными источниками РЛИ в АСУ регионального ЦУВД «Луч-2» являются КСА «Межа-М», обеспечивающим выдачу 50 ВО с $T=10$ с,

и КСА «Низина-У», забезпечуючим видачу 20 ВО с $T = 10$ с. Для усування расогласования производительности этих источников РЛИ и пропускной способности каналов передачи данных применяются те же методы, что и в АСУ «Луч-1». При этом, в КСА «Низина-У» имеется возможность увеличить дискретность выдачи сообщений по ВО до 20 с. Однако дискретность обновления РЛИ оказывает влияние на ее точность, так как за время интервала между соседними сообщениями местоположение ВО может существенно измениться. Увеличение дискретности выдачи координат приводит к увеличению разрывов трасс и даже к сбросу ВО с сопровождения.

В качестве дополнительных источников РЛИ в АСУ «Луч-2» используются взаимодействующие ЦУВД, оснащенные КСА «Протон-2» и КСА «Алмаз-2». При передаче РЛИ по низкоскоростному телеграфному каналу оба источника группируют ВО (до 15 групповых ВО) с одновременным увеличением дискретности выдачи сообщений о ВО до 2 минут. При этом допускается организация дополнительного канала передачи данных.

Суть метода группирования заключается в объединении нескольких ВО, попадающих в заданный пространственный строб и отвечающих дополнительным условиям, в один сгруппированный ВО с координатами головного ВО, размещенного в середине переднего фронтаstroba. При этом РЛИ выдается по групповому ВО с указанием stroba группирования и количества сгруппированных в нем ВО. Размеры stroba группирования по фронту и глубине могут изменяться от 40×40 км до 100×200 км.

Из содержания метода группирования видно, что пригруппирование ВО приводит к снижению точности траекторной информации по ним, так как за координаты, скорость и курс пригруппированных ВО принимаются соответствующие значения головного ВО. Это приводит к увеличению времени поиска таких ВО.

Все источники РЛИ в АСУ «Луч-3» выдают сообщения о ВО с фиксированным размером и составом информационных элементов. В случае выхода из строя каналов передачи данных источники РЛИ переходят на запасные каналы, однако такая возможность ограничена интенсивным огнем подавлением СПД в современных условиях боевых действий.

АСУ «Луч-3». В качестве источников РЛИ в АСУ «Луч-3» могут использоваться те же основные источники, что и в «Луч-2» а также ряд новых источников с фиксированным размером и составом сообщений о ВО, которые используют специальные протоколы для согласования производительности этих источников с пропускной способностью каналов передачи данных. Так КСА «Поле» выдает на региональный ЦУВД 1 раз за 20 с. кодограмму о

загрузке (количество сопровождаемых ВО). Эта информация анализируется на ЦУВД и при приближении загрузки к максимальной решается задача о разгрузке КСА. ЦУВД разгружаются выдачей на них разрешений не сопровождать указанные ВО. Аналогичным образом разгружается КСА «Основа» - он может получать от регионального ЦУВД, оснащенного КСА «Нива» распоряжения по сопровождаемым ВО «Цель соседа», которые воспринимаются как разрешение на сброс ВО при перегрузке.

Как указывалось ранее, такое ограничение потока выдаваемых сообщений о ВО приводит к уменьшению полноты обеспечения РЛИ потребителя, что искажает реальную картину воздушной обстановки.

При недостаточной пропускной способности каналов передачи данных в КСА «Основа», «Нива», «Протон-2М», «Алмаз-4» осуществляется группирование ВО, однако метод группирования снижает точность РЛИ по пригруппированным ВО, а принятые размеры stroboв группирования не позволяют использовать РЛИ по пригруппированным ВО для выдачи боевой информации огневым средствам.

При выходе из строя каналов передачи данных источники РЛИ переходят на запасные каналы, что может быть не реализуемо по причине интенсивного огневого подавления СПД.

АСУ «Пирамида». В качестве источников РЛИ в АСУ «Пирамида» [50] могут использоваться те же основные источники, что и в АСУ «Луч-3» а также ряд новых источников:

КСА «Основа-1», с выдачей РЛИ о 120 ВО за 10 с;

КСА «Протон-2М-1», с такими же информационными способностями как у «Протон-2»;

КСА «Универсал»;

КСА «Поляна-Д4», с выдачей РЛИ о 80 ВО за 10 с;

АСУ «Пирамида» является дальнейшим развитием АСУ «Луч-3» за счет модернизации различных звеньев комплексов технических средств, программного и математического обеспечения. Принципы согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных в АСУ «Пирамида» аналогичны используемым в АСУ «Луч-3», что также приводит к снижению полноты и точности обеспечения РЛИ потребителей.

АСУ «Бор-1». АСУ региональной ЦУВД республики Беларусь создана на основе объединения локальных вычислительных сетей (ЛВС) отдельных ЦУВД. Она способна осуществлять сбор и отображение РЛИ, выбирать оптимальный вариант их распределения. При этом обмен данными между этими ЛВС осуществляется с помощью стационарной сети передачи данных АСУ. Эта сеть передачи данных базируется на использовании протокола пе-

редачи данных с коммутацией пакетов по стандарту X.25. Следовательно, основным методом устранения рассогласования производительности источника РЛИ и пропускной способности канала передачи данных в АСУ «Бор-1» является использование различных маршрутов передачи РЛИ, т.е. маршрутизация. Вместе с тем, использование маршрутизации при передаче РЛИ требует учета загрузки обходных маршрутов, так как передача по ним транзитной информации большого объема может привести к перегрузкам каналов передачи данных.

АСУ регионального ЦУВД нового поколения «Бор-1» создана на основе объединения ЛВС отдельных ЦУВД с использованием технологии взаимодействия открытых систем. Такая технология подразумевает независимость используемых типов аппаратуры передачи данных (АПД) (модем) и протоколов передачи информации от конкретной реализации КСА ЦУВД. Это позволяет использовать различные методы сжатия данных при их передаче для согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных. При этом, под сжатием данных понимают представление данных меньшим числом битов по сравнению с первоначальным [2, 7].

Известные методы сжатия направлены на снижение избыточности, вызванной как неравной априорной вероятностью значений информационных элементов в потоке данных, так и зависимостью между значениями последовательных информационных элементов. Эффективность методов сжатия оценивают коэффициентом сжатия, который равен отношению первоначального объема данных к объему сжатых данных. При этом сжатие бывает с потерями и без потерь. Потери допустимы при сжатии (и восстановлении) некоторых специфических видов данных, таких как видео и аудиоинформация. Если восстановленные данные совпадают с данными, которые были до сжатия, то говорят о сжатии без потерь. Именно такого рода методы сжатия применяются при передаче информации в СПД [5].

На сегодняшний день существует множество методов сжатия данных без потерь, подразделяющихся на несколько основных групп [5]:

- методы кодирования повторов;
- вероятностные методы сжатия;
- арифметические методы сжатия;
- словарные методы сжатия.

Принцип кодирования повторов является наиболее простым и применяется в основном для сжатия графических файлов. Один из вариантов данного подхода предусматривает замену последовательности повторяющихся символов на строку, содержащую этот символ, и число, соответствующее количеству его повторений. Поток выдаваемой РЛИ от источника не обладает свойствами повторяемости

значений в последовательных информационных элементах, что обусловлено их разнородной семантической интерпретацией. Поэтому кодирование повторов для сжатия РЛИ будет неэффективным.

В основе вероятностного сжатия лежат идеи методов эффективного кодирования Шеннона-Фано и Хаффмена [6], где каждому значению информационного элемента присваивается код, длина которого обратно пропорциональна частоте появления этого значения. Вместе с тем, получить распределение вероятностей значений информационных элементов в сообщениях о ВО не удастся ввиду того, что на случайный характер их изменения влияют причины нестохастической природы.

При использовании арифметического кодирования строка информационных элементов заменяется действительным числом больше нуля и меньше единицы. Арифметическое кодирование позволяет обеспечить высокий коэффициент сжатия в тех случаях, когда сжимаются данные, где частота появления различных информационных элементов сильно варьируется [5, 6]. Такие случаи не характерны для потока РЛИ, и процедура арифметического кодирования может не обеспечить согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных.

В основе метода словарей [5] лежит идея замены наиболее часто встречающихся кодовых последовательностей в передаваемом потоке ссылками на «образцы», хранящиеся в специально создаваемой таблице (словаре). Чем больше размер анализируемой кодовой последовательности информационных элементов, тем выше эффективность сжатия словарных методов. Вместе с тем, сообщения о ВО имеют ограниченный размер, определяемый составом необходимых сведений о ВО, что может не обеспечить согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных при использовании словарных методов сжатия.

АСУ ACCS. Принципы организации обеспечения потребителей РЛИ в АСУ в Европе «ACCS» отличаются от используемых в ранее рассмотренных АСУ ЦУВД. Применение сетевых технологий построения АСУ «ACCS» позволяет организовать ЦУВД на базе локальных вычислительных сетей различной топологии. Взаимодействие между этими ЦУВД осуществляется за счет их объединения в глобальную сеть с несколькими уровнями иерархии.

Для уменьшения избыточности циркулирующей РЛИ в такой АСУ используются два подхода. Первый подход направлен на ограничение потоков выдаваемой РЛИ между уровнями иерархии за счет отбора релевантной информации по направлениям выдачи с помощью специальных буферов. Второй подход заключается в отборе потребителями только той информации из потока РЛИ, которая им необходима.

В случае возникновения перегрузок каналов передачи данных в АСУ «АССС» используется маршрутизация выдаваемых сообщений о ВО и сжатие данных. При этом сообщения о ВО стандартизированы по составу РЛИ и размеру -320 бит. При выходе из строя каналов передачи данных источники РЛИ в АСУ «АССС» переходят на запасные каналы передачи данных. Анализ данных методов проведен в рассмотренных выше АСУ ЦУВД.

Рассмотренные АСУ ЦУВД можно условно разделить по времени их создания на АСУ старого поколения и нового. АСУ старого поколения «Луч-1(2,3)» и «Пирамида» были разработаны в 70...80-х годах, и особенностью их является строгое ограничение на количество и типы КСА, входящих в состав АСУ, а также строго определенные типы АПД и протоколы для обмена информацией между конкретными КСА. Поэтому АСУ регионального ЦУВД старого поколения представляет собой закрытую распределенную систему, для которой добавление заранее не предусмотренных элементов требует изменения аппаратного или программного обеспечения существующих элементов этой системы.

Таким образом, существующие методы согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных можно разделить на две группы по принципу согласования:

1) методы, направленные на увеличение или восстановление пропускной способности С- будем называть их канальными методами:

выделение дополнительных каналов передачи данных;

использование запасных каналов передачи данных;

маршрутизация сообщений о ВО;

2) методы, направленные на уменьшение производительности источников РЛИ G- будем называть их информационными методами:

группирование (укрупнение) ВО;

селекция (отбор) ВО для их выдачи;

увеличение дискретности выдачи РЛИ для всех ВО;

сжатие данных.

Вместе с тем, применение канальных методов, связанных с использованием дополнительных или запасных каналов передачи данных может оказаться практически невозможным, ввиду интенсивного подавления СПД. Поэтому в дальнейших исследованиях эти методы рассматриваться не будут.

Из содержания методов группирования, селекции и увеличения дискретности выдачи РЛИ видно, что их применение вносит искажения в реальную картину воздушной обстановки и приводит к снижению полноты и точности обеспечения РЛИ потребителя.

Применение существующих методов сжатия данных для уменьшения плотности потока РЛИ на 33,3% (что приведет к согласованию между производительностью источника РЛИ, увеличенной на 50%, и пропускной способностью канала ПД) требует достижения коэффициента сжатия $K_{сж} > 1,5$, иначе их применение снижает полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД. При этом необходимо оценить возможность такого сжатия, так как поток РЛИ, как показано ранее, не обладает необходимыми свойствами для приемлемого сжатия существующими методами.

Таким образом, в связи с указанными недостатками существующих методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных, необходимо провести оценку требуемой полноты и точности обеспечения РЛИ регионального ЦУВД и влияния методов увеличения дискретности выдачи РЛИ, группирования и селекции ВО, а также существующих методов сжатия данных на указанные характеристики качества обеспечения РЛИ регионального ЦУВД.

Оценка полноты и точности обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением

Самые высокие требования к качеству РЛИ на региональном ЦУВД предъявляются при ее выдаче на активные средства. Поэтому определим требуемую точность и полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД для выдачи целеуказания на ЦУВД.

Требования к точности обеспечения РЛИ. От точности выдачи РЛИ зависит вероятность беспроцевого обнаружения целеуказания ЦУВД:

$$P_{ЦУ} = \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_D}{\sigma_D}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\beta}{\sigma_\beta}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\epsilon}{\sigma_\epsilon}\right), \quad (4)$$

где Φ – интеграл вероятности, неприведенная функция распределения; R_D , R_β , R_ϵ – размеры просматриваемого на индикаторах ЦУВД пространства по дальности, азимуту и углу места соответственно; σ_D , σ_β , σ_ϵ – с.к.о. РЛИ по дальности, азимуту и углу места.

Предполагая, что ошибки целеуказания в основном определяются ошибками по азимуту и углу места и они одинаковы, из выражения (4) получаем:

$$\sigma_\beta = \sigma_\epsilon = \sqrt{\sigma_{\beta би}^2 + \sigma_{\beta сир}^2} \leq \frac{0,5 \cdot R_{\beta(\epsilon)}}{\Phi^{-1} \cdot \sqrt{P_{ЦУ}}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\beta би}$, $\sigma_{\beta сир}$ – с.к.о. выдачи РЛИ и определения координат ЦУВД; Φ^{-1} – обратная неприведенная функция распределения.

Требования к полноте обеспечения РЛИ. В качестве показателя полноты обеспечения РЛИ потребителей в АСУ ЦУВД используют коэффициент проводки трасс $K_{пр}$:

$$K_{пр} = \frac{N_B}{N_B + N_{НВ}} = 1 - \frac{N_{НВ}}{N_B + N_{НВ}}, \quad (6)$$

где N_B – количество ВО, по которым выдается РЛИ с требуемым качеством; $N_{НВ}$ – количество действующих ВО, по которым не выдается РЛИ.

Оценим соответствие полученным требованиям к точности и полноте обеспечения РЛИ региональное ЦУВД при использовании информационных методов согласования пропускной способности каналов передачи данных с производительностью источников РЛИ.

Оценим влияние увеличения дискретности выдачи РЛИ на ее точность при обеспечении РЛИ региональное ЦУВД. Существующие КСА, выступающие в качестве основных источников РЛИ, обеспечивают региональное ЦУВД РЛИ с требуемой точностью $\sigma_{xy} \leq 1000$ м при дискретности выдачи РЛИ $T=10$ с. Такая дискретность определяется периодом обзора пространства первичными источниками - РЛС. Поэтому одновременное увеличение дискретности выдачи РЛИ потребителям по всем ВО эквивалентно выдаче РЛИ от ЦУВД источника не в каждом периоде ее обновления от подчиненных источников, а в каждом втором или третьем и т.д. периодах. Следовательно, минимальное увеличение дискретности выдачи РЛИ при таком подходе составит 2Т. В этом случае, на региональном ЦУВД необходимо будет экстраполировать координаты ВО в пропущенных циклах обновления РЛИ для обеспечения непрерывной выдачи ЦУВД. При этом с.к.о. экстраполированных координат цели при использовании модели прямолинейного равномерного движения ВО можно определить по формуле:

$$\sigma_{\Sigma(k+1)}^2 = \frac{2 \cdot (2 \cdot k^2 + 3 \cdot k + 1)}{k \cdot (k^2 - 1)} \sigma_{рлс}^2, \quad (7)$$

где k – количество предыдущих циклов обновления РЛИ, учитываемых при экстраполяции координат на $k + 1$ цикл.

В существующих АСУ принято ограничивать $k = 8$ из-за снижения чувствительности сопровождения к небольшим маневрам цели, что обеспечивает точность РЛИ при выдаче $\sigma_{xy} = 0,6 \sigma_{рлс}$. Поэтому, при условии непрерывного сопровождения ВО источником РЛИ, с.к.о. экстраполированных координат ВО на региональном ЦУВД в пропущенных циклах выдачи по формуле (7) составит $\sigma_{\Sigma} = 1,33\sigma_{xy}$. Для случая минимального увеличения дискретности выдачи РЛИ от источника в 2 раза каждая вторая отметка о ВО при выдаче ее с регионального ЦУВД

на ЦУВД будет экстраполированной. Тогда для определения с.к.о. РЛИ следует провести преобразование выражения (3):

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{m=1}^1 \delta_m^2 + \sum_{k=1}^{n-1} \delta_k^2 \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sigma_m^2 + \frac{n-1}{n} \cdot \sigma_k^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где n – количество сообщений о ВО, выданных с регионального ЦУВД; δ_m, δ_k – ошибки координат для m -го ВО, полученного на региональном ЦУВД от источника РЛИ, и для k -го экстраполированного ВО; 1 – число сообщений о ВО, поступивших от источника РЛИ на региональное ЦУВД; $(n - 1)$ – число экстраполированных отметок ВО на региональном ЦУВД.

Для случая увеличенной дискретности выдачи в 2 раза согласно выражению (8) получим:

$$\begin{aligned} \sigma_{xy2T} &= \sqrt{(\sigma_{\Sigma}^2 + \sigma_{xy}^2) / 2} = \\ &= \sqrt{(1,33^2 \cdot \sigma_{xy}^2 + \sigma_{xy}^2) / 2} = 1,18 \cdot \sigma_{xy}. \end{aligned}$$

Поэтому, при условии $\delta_{xy} \leq 1000$ м и непрерывного сопровождения ВО с прямолинейным и равномерным движением точность выдачи РЛИ на региональном ЦУВД σ_{xy2T} может оказаться ниже требуемой. Вместе с тем, реальное движение ВО не всегда соответствует выбранной модели, а радиолокационное наблюдение носит эпизодический характер, что еще больше снижает точность РЛИ. Результаты моделирования показывают, что при увеличении дискретности выдачи сообщений о ВО в 2 раза точность выдачи РЛИ не удовлетворяет требуемым значениям.

Оценим влияние метода группирования ВО на точность выдачи РЛИ.

Ошибка положения пригруппированных ВО определяется расстоянием от них до головной цели. Предполагая равномерное распределение ВО в пределах квадратного строга группирования, можно оценить с.к.о. координат пригруппированных ВО σ_{xp} относительно центра строга:

$$\sigma_{xp} = \lambda / (2 \cdot \sqrt{3}), \quad \sigma_{xyp} = \sqrt{\sigma_{xp}^2 + \sigma_{yp}^2} = 0,41 \cdot \lambda, \quad (9)$$

где λ – размер квадратного строга группирования по фронту или в глубину, м.

С учетом точности РЛИ по головному ВО определим с.к.о. координат пригруппированных ВО σ_{xgp} относительно головного ВО:

$$\sigma_{xgp} = \sqrt{\sigma_{xyp}^2 + \sigma_{xy}^2}. \quad (10)$$

При группировании 33,3% ВО для требуемого уменьшения плотности потока данных, РЛИ по этим ВО будет выдаваться с точностью $\sigma_{xy гр}$, а по осталь-

ным ВО с точностью σ_{xy} . Тогда используя выражения (8-10) можно оценить соответствие с.к.о. выдачи РЛИ при использовании метода группирования предъявляемым требованиям к точности:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{xyгр} &= \sqrt{0,33\sigma_{xyгр}^2 + 0,67} = \\ &= \sqrt{0,33(0,41^2\lambda^2 + \sigma_{xy}^2) + 0,67\sigma_{xy}^2} \leq 1 \text{ км.} \end{aligned} \quad (11)$$

Графическое решение неравенства (11), представленное заштрихованной областью на рис. 1, позволяет определить область соответствия между размерами строка группирования и точностью РЛИ по несгруппированным ВО. Вместе с тем, ограничение расстояний между ВО и точностные характеристики источников не позволяют обеспечить такое соответствие (рис. 1). Результаты моделирования показывают, что при группировании 33,3% ВО точность выдачи РЛИ не удовлетворяет требуемым значениям.

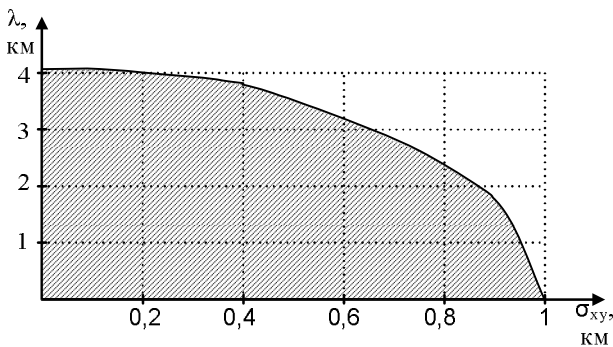


Рис. 1. График зависимости размеров строка группирования λ от точности РЛИ по несгруппированным ВО σ_{xy}

Оценим влияние метода селекции ВО на полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД. При использовании этого метода источники РЛИ прекращают выдачу сообщений о некоторых ВО, указанных потребителем. В случае прекращения выдачи РЛИ по 33,3% ВО для согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных коэффициент проводки составит согласно выражению $1.8 K_{пр} = 0,67$, что не удовлетворяет требованиям к полноте обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением.

Оценим коэффициенты сжатия РЛИ при использовании международных стандартов сжатия данных по протоколам MNP5, MNP7, V.42bis, V.44, которые реализованы в современных модемах. Эти протоколы представляют собой комбинации рассмотренных в п.2 методов сжатия, а также набор правил согласования параметров сжатия данных. Так протокол MNP5 реализует кодирование повторов с применением кода Хаффмена. Протокол MNP7 использует улучшенную форму кодирования методом Хаффмена в сочетании с марковским алгоритмом прогнозирования. В протоколе V.42 bis реализован метод сжатия словарного типа, а в протоколе V.44 - его модификация для использования в аппаратуре спутниковой связи.

В результате оценки эффективности указанных протоколов сжатия при передаче РЛИ получен график зависимости коэффициента сжатия $K_{сж}$ от максимального размера сжимаемого блока данных L , который можно устанавливать в современных модемах из следующего набора значений: 32,64,128,256 байт (рис. 2).

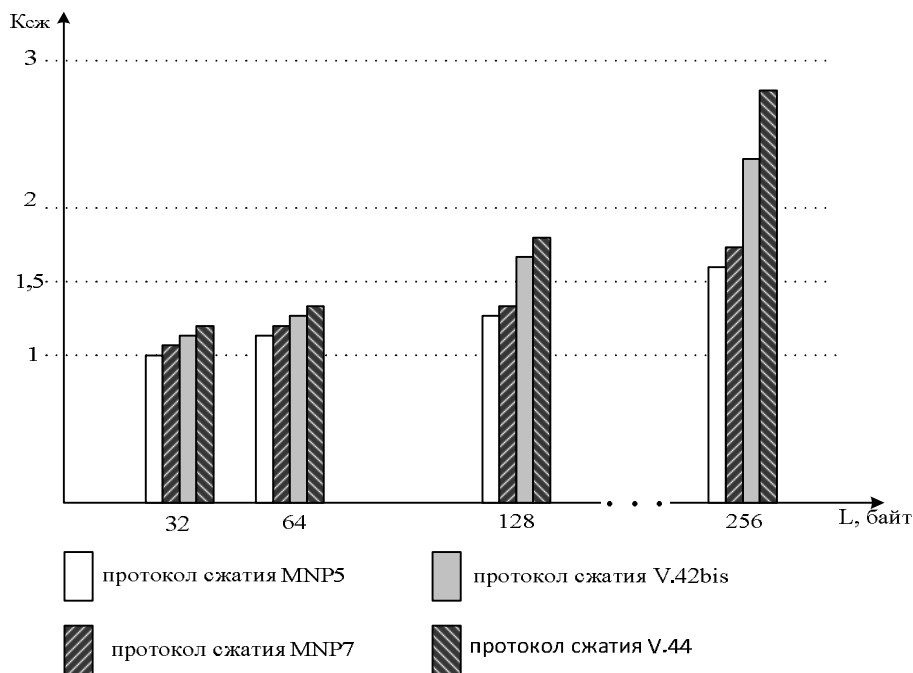


Рис. 2. График зависимости коэффициента сжатия $K_{сж}$ от максимального размера сжимаемого блока данных L для стандартных протоколов сжатия

Размеры сообщений о воздушных объектах ограничены составом необходимых сведений и не превышают 32-х байт в АСУ центров управления воздушным движением старого поколения и 64-х байт в АСУ нового поколения. На рис. 2 показано, что потоку 32-байтовых сообщений соответствует $K_{сж}=1,25$, а потоку 64-байтовых сообщений - $K_{сж}=1,3$. Тогда при требуемом $K_{сж} \geq 1,5$ значение $K_{пр}$ при передаче 32-байтовых сообщений составит $K_{пр} = 1,25 / 1,5 = 0,83$, а 64-байтовых сообщений - $K_{пр} = 1,3 / 1,5 = 0,87$, что не соответствует требованиям к полноте обеспечения радиолокационной информацией центров управления воздушным движением.

Выводы

Существующие информационные методы согласования производительности источников радиолокационной информации с пропускной способностью каналов передачи данных не обеспечивают требуемую полноту и точность обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением. Причинами этого являются фиксированный размер и состав информационных элементов в сообщениях по всем воздушным объектам, а также фиксированная дискретность их выдачи. Жесткая структура сообщения о воздушных объектах обуславливает избыточность при передаче неизменившихся данных. Одинаковая дискретность выдачи радиолокационной информации для всех воздушных объектов приводит к избыточности радиолокационной информации по малоскоростным или неважным в отношении воздушным объектам и к неточной информации по высокоскоростным или маневрирующим воздушным объектам, а также по воздушным объектам, которые в данное время имеют наибольшее значение.

Для разрешения противоречия между требуемой и реализуемой полнотой и точностью обеспечения радиолокационной информацией центров

управления воздушным движением целесообразно использовать новые принципы формирования и выдачи сообщений о воздушных объектах, основанные на изменении состава и размера информационных элементов в сообщениях о воздушных объектах, а также дискретности выдачи сообщений по отдельным воздушным объектам. Реализация этих принципов возможна в перспективной АСУ центров управления воздушным движением, создаваемой на основе объединения ЛВС центров управления воздушным движением.

Список литературы

1. Турсунходжаев Х.А. Теория цифровой обработки радиолокационной информации: Учебное пос. / Х.А. Турсунходжаев. – Х.: ВИРТА ПВО, 1989. – 125 с.
2. Словарь по кибернетике: Св. 2000 ст. / Под ред. В.С. Михалевича. 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.Л. Бажана, 1989. – 751 с.
3. Столингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столингс: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 928 с.
4. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
5. Лагутенко О.И. Современные модемы / О.И. Лагутенко. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 344 с.
6. Столингс В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
7. Метод формирования признаков информационной модели конфликтных ситуаций для подсистем поддержки принятия решений в перспективных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, Г.С. Степанов, М.В. Касьяненко, В.Н. Руденко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2016. – Вип. 3. – С. 101-103.

Надійшла до редколегії 16.8.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ РЕГІОНАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

А.С. Могілатенко, Ю.О. Данілов, М.А. Павленко

Необхідність практичного вирішення завдання забезпечення регіонального центру повітряного руху радіолокаційною інформацією з необхідною повнотою і точністю та недостатня розвиненість теоретичної бази для її вирішення, зумовлюють актуальність наукової задачі розробки методу формування та видачі повідомлень про повітряні об'єкти від джерел радіолокаційної інформації на регіональний центр управління повітряним рухом, адаптивного до змін продуктивності джерел радіолокаційної інформації і пропускної здатності каналів передачі даних.

Ключові слова: аналіз, обробка, управління, інформація.

SUBSTANTIATION OF RESEARCH TO IMPROVE THE PROVISION OF RADAR INFORMATION REGIONAL AIR TRAFFIC CONTROL CENTERS

A.S. Mohilatenko, Yu.A. Danilov, M.A. Pavlenko

The need for a practical solution to the problem to ensure a regional center of air traffic radar information with the required completeness and accuracy, and insufficient development of the theoretical basis for its decision, cause the actual scientific task of developing a method of forming and issuing reports of aerial objects from radar data sources on a regional air traffic control center, adaptive to changes in the performance of radar data sources and bandwidth data channels.

Keywords: analysis, processing, management, information.