

УДК 629.735.051:004.7(043.3)

Водопьянов С. В., асп.; Кренц П. А., асп. (Национальный авиационный университет)

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ В ПЕРСПЕКТИВНОЙ АЭРОУЗЛОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Водоп'янов С. В., Кренц П. А. Оцінка надійності обміну даними в перспективній аероузловій інформаційно-телекомунікаційній мережі. Запропонований метод підвищення ефективності обміну даними в інформаційно-телекомунікаційній мережі аероузла шляхом інтеграції комутаційних та додаткових комунікаційних модулів. Проведена попередня оцінка підвищення надійності при обмеженій вартості обладнання, що використовується.

Ключові слова: обмін даними, інформаційно-телекомунікаційна мережа, мережа аероузла, комунікаційний модуль, надійність, цільова функція

Водопьянов С. В., Кренц П. А. Оценка надежности обмена данными в перспективной аэроузловой информационно-телекоммуникационной сети. Предложен метод повышения эффективности обмена данными в информационно-телекоммуникационной сети аэроузла путем интеграции коммутационных и дополнительных коммуникационных модулей. Проведена предварительная оценка повышения надежности при ограниченной стоимости используемого оборудования.

Ключевые слова: обмен данными, информационно-телекоммуникационная сеть, сеть аэроузла, коммуникационный модуль, надежность, целевая функция

Vodop'yanov S. V., Krentz P. A. Evaluation of data exchange reliability in air cluster information and telecommunication network. The method of increasing the efficiency of data exchange in air cluster information and telecommunication network is proposed. We have researched using an integrated inter-domain router and attached communication modules. Preliminary evaluation of reliability increase with limited cost of involved equipment is obtained.

Keywords: data exchange, information and telecommunication network, air cluster, communication module, reliability, criterion function

Введение. Система управления воздушным движением (УВД) любого масштаба и назначения – аэродромная, аэродромно-районная, трассовая, районная, аэроузловая и другие, вплоть до единой национальной системы – должна удовлетворять многим требованиям и, в первую очередь, требованию интеграции в международные системы обслуживания воздушного движения. Под интеграцией понимают совместное функционирование с учетом электромагнитной совместимости, согласования точности элементов системы – измерителей, скоростей работы устройств обработки и передачи данных, стандартизацию и унификацию оборудования [1].

Единая архитектура национальных аэронавигационных систем представляет собой совокупность основных технических средств, объединенных единой идеологией построения и управления. Она определяется концепцией связи, навигации, наблюдения для решения задач организации воздушного движения (Communication, Navigation and Searching for Air Traffic Management – CNS/ATM). Целью разработки технической архитектуры является координированное развитие отдельных элементов систем, взаимодействия этих элементов в автоматизированном режиме и создание предпосылок для встраивания национальных аэронавигационных систем в Европейскую и мировую аэронавигационную инфраструктуру.

Кроме того, в единую информационно-вычислительную сеть аэроузла интегрируются подсети авиакомпаний, служебные и вспомогательные сети.

Рассмотрим перспективную составную сеть аэроузла и особенности многоуровневой модели взаимодействия.

Объем передаваемых данных в сети аэроузла достаточно велик, и на практике может достигать сотен гигабайт в сутки. Для нормального функционирования технических систем аэропорта и авиакомпаний необходим обмен данными как между удалёнными офисами, находящимися в разных странах, так и между воздушными судами, в воздухе и на земле. При этом в распоряжении сотрудников и экипажей находятся различные средства передачи данных, такие как радиосвязь, сотовая связь, спутниковая связь и Интернет, но все они фиксировано привязаны к соответствующему оборудованию. Такое положение вещей зачастую приводит к нерациональному использованию каналов обмена данными, а следовательно, к финансовым потерям, снижению надежности передачи данных, а при определенных условиях может угрожать безопасности полётов. В данной работе предложен метод уменьшения затрат и повышения надежности благодаря объединению всех доступных каналов связи на основе интегрированного маршрутизатора или программного коммутатора (*Softswitch*), под управлением алгоритма, который должен обеспечивать выбор оптимального для конкретных условий канала передачи данных.

Задачи управления обменом данными. Суть предложенного метода заключается в подключении всех доступных каналов связи к программно-конфигурируемому коммутационному узлу. По разработанному алгоритму управления автоматически выбирается один из доступных каналов связи на основании следующих данных: текущее географическое положение воздушного судна, зона покрытия канала связи, стоимости передачи единицы объема данных по данному каналу, надежность и достоверность данного канала связи, объема блока данных, приоритет (срочность доставки) блока данных.

На Рис. 1 представлена типовая структура системы обмена данными. Воздушное судно (бортовой сегмент), система управления аэроузла либо удаленный офис (наземный сегмент) осуществляют обмен данными через составную систему связи (ССС), сети множественного радиодоступа и транспортную сеть. Для выбора оптимального канала обмена данными используются результаты текущей загрузки интегрированного коммутационного узла (ИКУ).

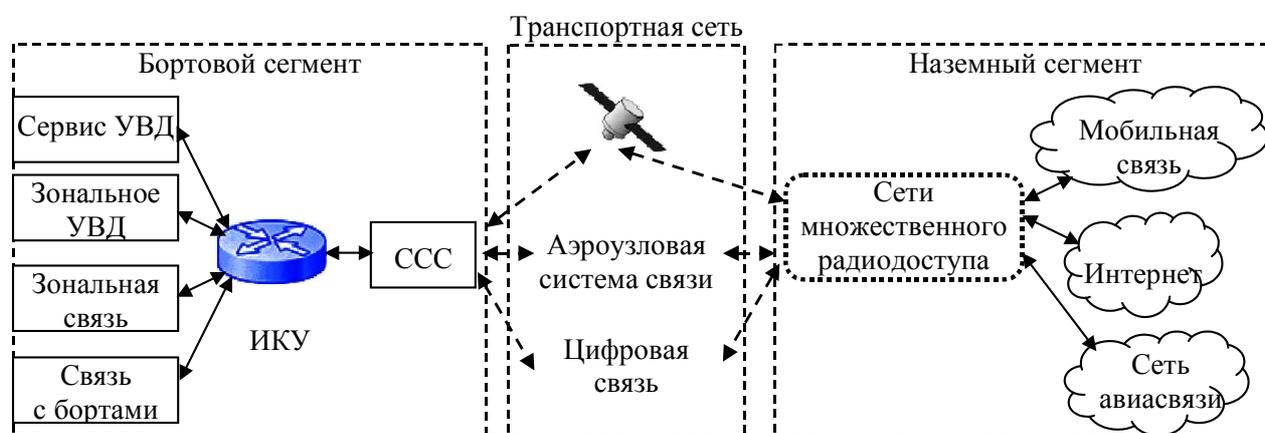


Рис. 1. Сетевая архитектура интегрированной сети аэроузла
 ССС – составная система связи; ИКУ – интегрированный коммутационный узел

В данной работе не будем детально рассматривать алгоритм управления, лишь отметим некоторые его особенности. Функции сети авиационной электросвязи в рамках единой концепции CNS/ATM реализуются на уровне передачи данных, основная задача которого – быть способным передавать “сырые” данные физического уровня по надежной линии связи, свободной от необнаруженных ошибок с точки зрения вышестоящего сетевого уровня. Для согласования стандартов эталонной модели взаимодействия открытых систем (ВОС/OSI) с моделью сети авиационной электросвязи используются сервисные интерфейсы диалога протокола IPv6, принятого ИКАО в качестве сетевого стандарта (IPv6 Standard – IPS). Для этого на уровне приложений модели ВОС/OSI включается субблок конвергенции моделей OSI/IPS и другие сервисные элементы.

Оценим выигрыш в надежности обмена данными в рассмотренной информационно-управляющей системе аэроузла при оптимальном выборе числа и типов каналов связи.

Предварительная оценка выигрыша в надежности. Оценку проведем при следующих предположениях.

1. Считается, что отказ i -й линии обмена данными имеет место, когда происходит одно из следующих событий:

- событие c_n : отказ i -го коммуникационного модуля с вероятностью P_i , $i = 1, 2, \dots, N$;
- событие c_m : отказ j -го канала распределения данных программного коммутатора с вероятностью P_j , $j = 1, 2, \dots, M$.

2. События c_n и c_m считаются независимыми. Вероятности P_i и P_j много меньше единицы.

3. Обозначим длительность сеанса обмена данными T_s . На интервале T_s вероятности P_i и P_j считаются постоянными.

4. Вероятность одновременного отказа двух и более линий обмена и/или каналов распределения данных на интервале T_s считается величиной второго порядка малости по сравнению с вероятностями P_i и P_j .

5. Отказ системы обмена данными имеет место при следующих условиях:

- отказ всех коммуникационных модулей;
- отказ всех каналов распределения данных программного коммутатора.

Тогда вероятность отказа системы, состоящей из N коммуникационных модулей и M -канального программного коммутатора, можно рассчитать по формуле:

$$P_b = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^N P_i \right) \left(1 - \prod_{j=1}^M P_j \right).$$

Ясно, что при увеличении числа коммуникационных модулей и/или числа каналов распределения данных в программном коммутаторе вероятность отказа системы будет уменьшаться. Кроме того, для эффективной работы системы вероятность отказа

программного коммутатора должна быть существенно ниже вероятности отказов каждого из коммуникационных модулей.

Приведены результаты расчетов вероятности отказа системы при различных значениях P_0 и P_i , где P_0 – вероятность отказа коммутационного узла ИКУ (Рис. 2...5). Сплошной линией на графике показана вероятность отказа системы с применением данного метода, штриховой – вероятность отказа одного коммуникационного модуля.

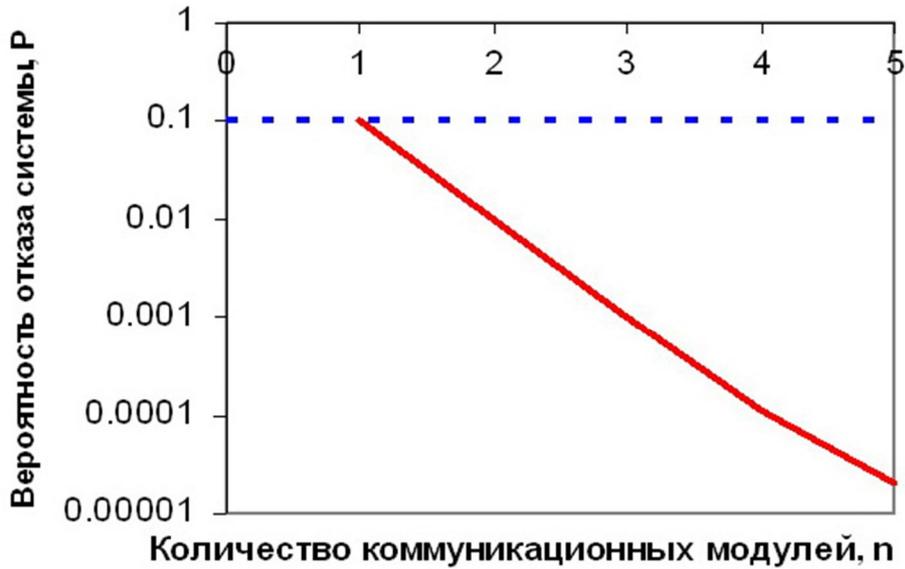


Рис. 2. Вероятность отказа системы при $P_0 = 10^{-5}, P_i = 10^{-1}$

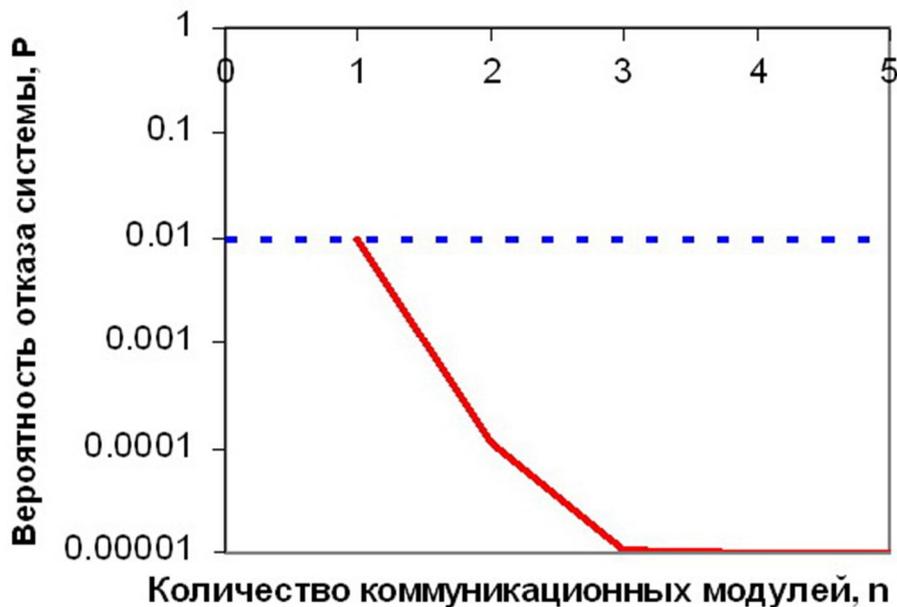


Рис. 3. Вероятность отказа системы при $P_0 = 10^{-5}, P_i = 10^{-2}$

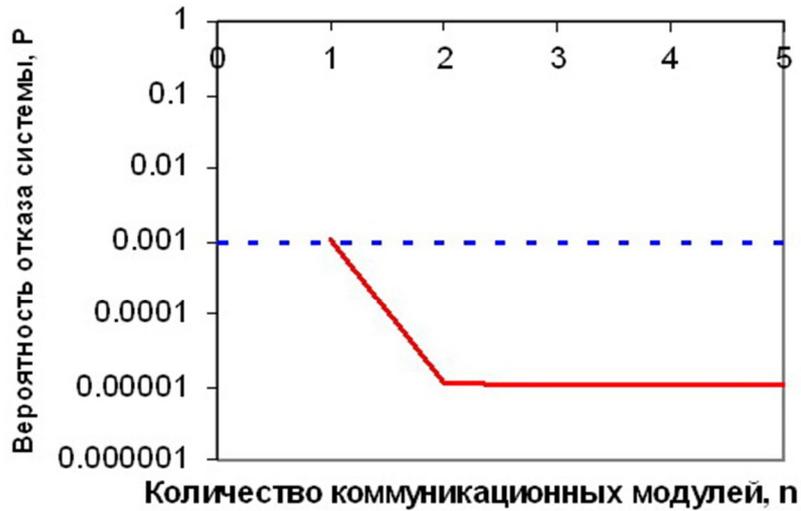


Рис. 4. Вероятность отказа системы при $P_0 = 10^{-5}, P_i = 10^{-3}$

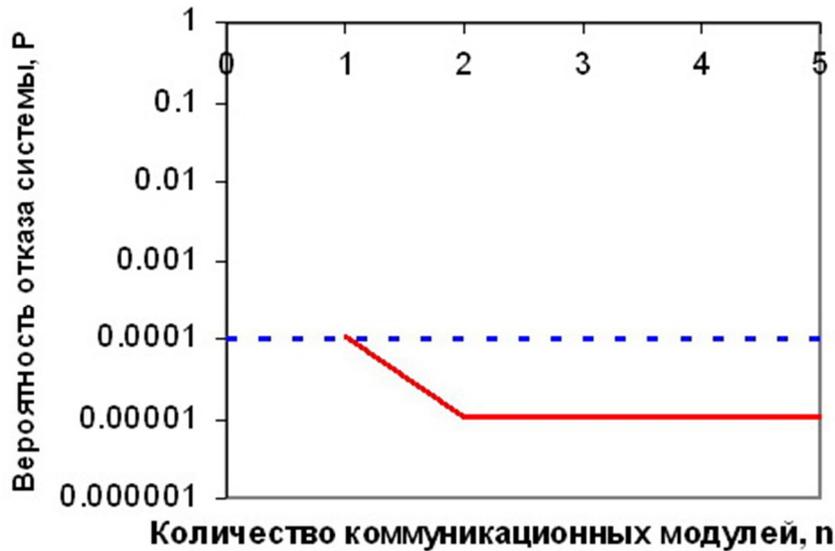


Рис. 5. Вероятность отказа системы при $P_0 = 10^{-5}, P_i = 10^{-4}$

Предварительная оценка выигрыша в стоимости. Введем стоимость передачи единицы информации по каналу j

$$S_k, k = 1, \dots, K,$$

где K – количество доступных каналов при заданных условиях.

Стоимость передачи данных по фиксированному каналу без использования системы обозначим S_f . По описанному выше алгоритму управления программным коммутатором выбирается канал, наиболее приемлемый для текущих условий. Стоимость передачи данных по этому каналу обозначим S_o . В таком случае выигрыш в стоимости будет равен разности этих величин:

$$S = S_f - S_o.$$

Из этого следует, что для получения практического выигрыша в стоимости в систему должны быть добавлены коммуникационные модули, обеспечивающие низкую стоимость передачи данных при допустимом качестве обслуживания [2, 3]. Например, компания может добавить радиомодем для использования дешевого интернет-подключения в зоне аэропорта базирования, или модуль сотовой связи с подключением к национальному оператору страны, в которую рейсы выполняются достаточно часто, чтобы избежать высоких оплат за передачу данных в роуминге. Благодаря такому подходу следует ожидать повышения экономической эффективности использования системы.

Для оценки качества функционирования аэроузла как сложной системы используются показатели эффективности, под которыми понимают некоторую числовую характеристику системы, которая оценивает степень приспособленности системы к выполнению поставленных перед ней задач [4...6]. Первоочередной задачей, стоящей перед информационно-вычислительной сетью авиакомпании является надежная передача информации. Каждая порция передаваемой информации имеет свой приоритет, который является числовой характеристикой важности (срочности) информации. Чем выше приоритет, тем выше требования к скорости и надежности канала. На практике, с повышением надежности и скорости канала связи, можно ожидать роста стоимости передачи данных по этому каналу, но в общем случае мы можем считать эти величины независимыми. Считаем, что для каждого из доступных в данный момент каналов передачи данных нам известны основные характеристики: надежность, скорость и стоимость передачи единицы объема данных. Следовательно, задачей управляющего алгоритма будет выбор такого канала, который обеспечит оптимальное сочетание этих параметров. Принцип однозначности требует наличия единственной целевой функции для системы [2,3,6]. Зададим обобщенную целевую функцию в виде комбинации частных целевых функций:

$$F = K_p P + K_r R + K_s S, \quad (1)$$

где P , R , S – значения параметров надежности, скорости и стоимости обмена данными соответственно;

K_p , K_r , K_s – весовые коэффициенты этих параметров.

В случае конечного числа доступных каналов, зная целевую функцию (1), оптимальный канал легко можно выбрать методом простого перебора.

Для построения имитационной модели системы S рассмотрим три этапа:

- построение и формализация модели;
- алгоритмизация и программирование;
- получение и интерпретация результатов.

На этапе построения концептуальной модели и ее формализации проводится исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих процесса его функционирования, определяются необходимые аппроксимации, и получается обобщенная схема модели системы, которая преобразуется в машинную модель на втором этапе моделирования путем последовательной алгоритмизации и программирования модели. Последний третий этап моделирования системы сводится к проведению, согласно полученному плану рабочих расчетов на ЭВМ с использованием выбранных программно-

технических средств, получению и интерпретации результатов моделирования системы с учетом воздействия внешней среды.

В качестве значений исходных данных можно использовать статистическую либо прогнозируемую информацию об интенсивности полетов в зоне аэроузла и о парке воздушных судов (ВС) авиакомпаний. Общий принцип алгоритма моделирования следующий. Имеется плоскость, условно представляющая земную поверхность, на которой расположены зоны покрытия каналов связи и ВС авиакомпании. Выполняется итерационный цикл для каждого перелёта каждого ВС. На каждой итерации происходит вычисление текущего местоположения ВС, на основании которого получается список доступных каналов передачи данных. Эта информация передаётся в тестируемый алгоритм управления, который выбирает наилучший канал связи и принимает решение о передаче очередного блока данных, аккумулируя в памяти значения стоимости и надежности выбранного канала. После завершения цикла программа выводит полученные данные, которые позволяют судить об эффективности тестируемого алгоритма.

Выводы

1. При использовании для передачи данных системы, в состав которой входит интегрированный коммутационный узел, при достаточном количестве коммуникационных модулей следует ожидать уменьшения стоимости при заданной надежности передачи данных.

2. Предложенный метод представляет практический интерес как для аэроузлов различного масштаба, крупных и средних авиакомпаний, так и в других областях, где требуется передача значительных объемов данных между мобильными абонентами.

3. Для дальнейшего совершенствования данного метода следует уточнить целевую функцию, выбрать методы её оптимизации и создать соответствующий алгоритм управления интегрированным коммутационным узлом.

Литература

1. Maral G., Bousquet M. *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. Fifth Edition. – John Wiley & Sons Ltd., 2009. – 713 PP.

2. Дабагян А.В., Пинаев Е.Г. и др. *Оптимизация технических систем транспорта (на примере гражданской авиации)*, М: Транспорт, 1990. – 244 с.

3. Касьянчик В.Д., Олесюк Е.А. *Методика определения эффективности эксплуатации международных авиалиний*. М: Бридж, 1994. – 316 с.

4. Саати Т. Л. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети*. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.

5. Саати Т. Л. *Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы*. – М.: Мир, 1973. – 302 с.

6. Саати Т. Л. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.