

УДК 621.32

И.Г. Кириллов, С.Г. Семенов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ
ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКЕ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АСУ АВИАЦИИ И ПВО**

Разработана математическая модель адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке.

цифровая информации о воздушной обстановке, телекоммуникационные сети, маршрутизация

Введение

Постановка проблемы. Возросшие потребности центров управления и оповещения в информа-

ции о воздушной обстановке обуславливают необходимость улучшения основных тактико-технических характеристик АСУ авиации и ПВО, одной из которых является быстрейшее действие.

Быстродействие, как правило, оценивается количеством информации, которое может быть передано комплексом технических средств в единицу времени и является основной характеристикой, влияющей на своевременность передачи цифровой информации о воздушной обстановке в телекоммуникационной сети (ТКС) перспективной АСУ авиации и ПВО.

К числу основных направлений обеспечения требуемой своевременности передачи цифровой информации в АСУ авиации и ПВО при заданном жестко регламентированном цикле непосредственного управления подразделениями (экипажами) относятся: применение «скоростных» каналов связи и высокопроизводительных вычислительных средств; применение методов адаптивного сжатия и кодирования информации; разработка и применение методов маршрутизации информации. Анализ недостатков первых двух направлений (высокая стоимость эксплуатации вневедомственных «скоростных» каналов связи и большие экономические затраты на развертывание собственных, возможная потеря качества передаваемой информации, увеличивающаяся с увеличением коэффициента сжатия и др.) позволяет сделать вывод о перспективности третьего (разработка и применение методов маршрутизации информации) направления.

Анализ литературы [1, 6, 8, 9] показал, что ряд известных и широко используемых на практике моделей (графовых и потоковых) и адаптивных методов маршрутизации, обладают как достоинствами (невысокая вычислительная сложность) так и недостатками (неэффективное использование существующих ресурсов ТКС). Это позволило сделать вывод о необходимости комплексного использования этих моделей и методов при нахождении множества путей передачи информации, распределении и управлении потоком цифровой информации о воздушной обстановке в ТКС перспективной АСУ авиации и ПВО [7].

Основная часть

В настоящее время с помощью служебных сообщений (LSA, LSU, «HELLO» и др.) применяемых на практике методов маршрутизации с определенной периодичностью (10...20 с) осуществляется мониторинг изменений параметров ТКС, а также полное обновление таблиц маршрутизации по его результатам. Исследования, проведенные в [2,5], показали, что флуктуации входного потока цифровой информации о воздушной обстановке возникают каждые 2...5 с. Поэтому мониторинг ТКС с периодичностью, заданной существующими протоколами, не позволяет отслеживать такие изменения входного трафика. В то же время уменьшение периода между опросом состояния связи в ТКС приведет к увели-

чению частоты запуска алгоритмов поиска путей передачи информации и, как следствие, перегрузке ТКС служебной информацией и нарушениям устойчивости работы сетевого оборудования. Избежать этого можно путем предвычисления множества путей передачи информации с «низкой» периодичностью (10...20 с) и управления информационными потоками по найденным маршрутам с «высокой» периодичностью (2...5 с).

В этой связи целесообразным представляется следующий подход к решению задачи адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке.

Пусть источником информации в ТКС является некоторый узел i , относительно которого существуют следующие множества: $U = \{u_\alpha \mid \mathcal{N}(u_\alpha) \subset \mathcal{N}\}$ – уровней иерархии на дереве допустимых маршрутов; $\mathcal{N}_{\text{баз}} = \bigcup_{u_\alpha=1}^{|U|} \mathcal{N}(u_\alpha)$ – искомых путей передачи информации, где u_α – номер уровня иерархии.

Тогда формирование множества $\mathcal{N}_{\text{баз}}$ для каждого узла i представляет собой итерационный процесс поочередного добавления узлов с соответствующим уровнем иерархии из множества U , что увеличивает число альтернативных путей передачи информации из узла i и создаст предпосылку минимизации среднего времени $T_{\text{тс}}$ передачи информационных пакетов в ТКС. Но увеличение числа уровней иерархии приводит к усложнению алгоритмов расчета топологии, что в свою очередь влечет возрастание времени формирования множества $\mathcal{N}_{\text{баз}}$. Поэтому после каждого шага добавления узлов соответствующего уровня иерархии целесообразно проверять возможность обеспечения своевременности передачи информации найденными на этом шаге маршрутами путем распределения информационных пакетов по найденным маршрутам с учетом коэффициента $\varphi_s^{(\text{баз})} = (\varphi_1^{(\text{баз})}, \dots, \varphi_M^{(\text{баз})})$, что позволит распределить информационные пакеты обратно пропорционально «расстояниям»

$T_{i,j} = (T_{i,j}^1, \dots, T_{i,j}^M)$ каждого из маршрутов (i, j) .

Сделанные предположения и обозначения позволяют сформулировать оптимизационную задачу поиска значений $\mathcal{N}(u_\alpha)$:

$$U = \{u_\alpha \mid \mathcal{N}(u_\alpha) \subset \mathcal{N}\} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\mathcal{N}_{\text{баз}} = \bigcup_{u_\alpha=1}^{|U|} \mathcal{N}(u_\alpha), \quad |U| \geq 1, \quad |U| < \max_{\eta_m \in \mathcal{N}} |\eta_m|; \quad (2)$$

$$\varphi_s^{(\text{баз})} = \frac{T_{i,j}^{(s)}}{\sum_{s=1}^M T_{i,j}^{(s)}}; \quad (3)$$

$$T_{TC}(\cup_{u_\alpha \leq u_\alpha} \mathcal{N}(u'_\alpha)) \leq T_{доп} \quad \forall u_\alpha \in U; \quad (4)$$

$$Q^{(CB)}(\cup_{u_\alpha \leq u_\alpha} \mathcal{N}(u'_\alpha)) \geq Q_{доп}. \quad (5)$$

Несмотря на достоинства (использование множества путей передачи информации, пропорциональное распределение потока информации по каналам связи) такого подхода маршрутизации существует и ряд его недостатков, в частности отсутствие учета вероятности искажения информации на базовом множестве маршрутов, растущей с увеличением $|\mathcal{N}_{баз}|$, и структурных особенностей выбранных маршрутов. Для их устранения на следующем этапе решения задачи адаптивной маршрутизации необходимо найти оптимальную топологию подсети ТКС.

Пусть для канала $c \in \mathfrak{Z}$ маршрута $s \in \mathcal{N}_{баз}$ вероятность искажения одного бита равно $q_s^{(c)}$, т.е. вероятность неискажения бита равна $p_s^{(c)} = 1 - q_s^{(c)}$. Тогда для пуассоновского потока информации интенсивностью $\lambda \cdot \varphi_s$ с пакетом длиной ℓ_p , проходящего в s -м канале связи s -го маршрута за время Δt вероятность неискажения информации равна

$$p_s^{(c)}(\Delta t) = (1 - q_s^{(c)})^{\lambda \varphi_s \ell_p \Delta t}. \quad (6)$$

Соответственно вероятность $p_s(\Delta t)$ неискажения информации при передаче ее по s -му маршруту за время Δt равна

$$p_s(\Delta t) = \prod_{c \in \eta_s} (1 - q_s^{(c)})^{\lambda \varphi_s \ell_p \Delta t}, \quad (7)$$

т.е. при передаче информационного потока интенсивностью λ с использованием многопутевой маршрутизации на базовом множестве $\mathcal{N}_{баз}$ маршрутов вероятность $p(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t)$ неискажения равна

$$p(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t) = \prod_{s \in \mathcal{N}_{баз}} \prod_{c \in \eta_s} (1 - q_s^{(c)})^{\lambda \varphi_s \ell_p \Delta t}, \quad (8)$$

и, соответственно, вероятность $q(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t)$ искажения при тех же условиях

$$q(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t) = 1 - \prod_{s \in \mathcal{N}_{баз}} \prod_{c \in \eta_s} (1 - q_s^{(c)})^{\lambda \varphi_s \ell_p \Delta t}. \quad (9)$$

Учитывая, что в предложенном подходе нахождения базового множества маршрутов при многопутевой маршрутизации необходимо снизить уровень искажения передачи цифровой информации о воздушной обстановке, задача оптимизации распределения потока интенсивностью λ в среде базового множества маршрутов $\mathcal{N}_{баз}$ формулируется следующим образом:

$$q(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t) \xrightarrow{\mathcal{N}_{б6}} \min; \quad (10)$$

$$\text{при} \quad \varphi_s = \frac{1 - t_s / \sum_{s \in \mathcal{N}_{б6}} t_s}{|\mathcal{N}_{б6}| - 1}, \quad \mathcal{N}_{б6} \subset \mathcal{N}_{баз}; \quad (11)$$

$$T_{TC}(\mathcal{N}_{баз}) \leq T_{доп}; \quad (12)$$

$$Q^{(CB)}(\mathcal{N}_{баз}) \geq Q_{доп}; \quad (13)$$

$$p_s(\Delta t) \geq p_{доп}(\Delta t), \quad (14)$$

где $\mathcal{N}_{б6}$ – множество маршрутов передачи цифровой информации, выбранных из множества $\mathcal{N}_{баз}$ для уменьшения вероятности $q(\mathcal{N}_{баз}, \Delta t)$; t_s – «расстояние» от источника до адресата на s -м маршруте; $p_{доп}(\Delta t)$ – допустимая вероятность неискажения бита информации, передаваемого по маршруту за время Δt .

В том случае, если не найдено ни одного распределения из множества $\mathcal{N}_{баз}$, удовлетворяющего ограничениям (10) – (14), необходимо расширить $\mathcal{N}_{баз}$ путем его объединения с множеством маршрутов следующего уровня иерархии в соответствии с (1) – (5).

Многопутевая маршрутизация цифровой информации о воздушной обстановке, задаваемой потоком интенсивностью λ , проводится в соответствии с полученным в (10) – (14) распределением $\{\varphi_s^{opt}\} \subset \mathcal{N}_{баз}$ как до момента изменения параметров ТКС, так и до изменения характеристик информационного потока.

Время, затрачиваемое на формирование множества $\mathcal{N}_{б6}$, больше времени расчета φ_s^{opt} и соответствующего перераспределения потока информации по маршрутам из-за задержки на распространение и обработку служебной информации [4, 5]. Следовательно, первоначальное определение множества $\mathcal{N}_{б6}$ маршрутов передачи информации может производиться в «долгосрочные» интервалы времени ($T^{(дл)} = 10...20$ с), а регулирование информационных потоков – в «краткосрочные» ($T^{(кр)} = 2...5$ с) интервалы.

Пусть после изменений параметров ТКС получены новые значения интенсивности $\tilde{\lambda}$ входного потока информации и пропускной способности каналов связи $\tilde{\rho}_s^{(c)}$. Тогда в рамках рассчитанного множества $\mathcal{N}_{б6}$ маршрутов производится пересчет коэффициента распределения $\{\tilde{\varphi}_s\}$ в соответствии с (11). При выполнении ограничений (12) – (14) информация продолжает передаваться по множеству $\mathcal{N}_{б6}$ маршрутов, в противном случае необходимо сформировать новое множество маршрутов $\tilde{\mathcal{N}}_{б6}$ в соответствии с оптимизационной задачей (10) – (14)

для новых значений интенсивности $\tilde{\lambda}$ входного потока информации и пропускной способности $\tilde{\rho}_s^{(c)}$ с-го канала связи s-го маршрута.

Таким образом, метод адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке состоит из:

– способа определения множества путей передачи информации в ТКС [3];

– способа нахождения оптимальной топологии подсети ТКС [4];

– процедуры распределения информационных пакетов в оптимальной топологии подсети телекоммуникационной сети [5].

Структурная схема метода адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке в ТКС перспективной АСУ авиации и ПВО представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема метода адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке

Список литературы

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. / Под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
2. Бохан К.О., Стасев С.Ю., Бусигин Ю.Г. Разработка процедуры адаптации маршрутизации до динамичных змін трафіку в телекомунікаційній мережі // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС, 2007. – № 2 (10). – С. 107-109.
3. Кириллов И.Г., Семенов С.Г. Комбинированный метод поиска множества путей передачи информации в телекоммуникационных сетях // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 5 (5). – С. 90-94.
4. Козелков С.В., Кузнецова М.Ю., Семенов С.Г. Оптимальный выбор топологии виртуальной подмережі транзакції телекомунікаційної систем // Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС, 2006. – № 2 (4). – С. 211-216.
5. Можяев А.А., Семенов С.Г., Кривчач С.Ф. Вычисление параметра маршрутизации для распределения

трафика по найденному множеству путей // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2005. – № 9(49). – С. 107-111.

6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2-ое издание. – С.-Пб.: Питер, 2004. – 863 с.

7. Семенов С.Г., Беленков А.Г., Можяев А.А. Разработка распределенного метода многопутевой маршрутизации, основанного на потоковой модели с предвычислением путей (маршрутов) // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2005. – № 32. – С. 189-192.

8. Gallager R. A Minimum Delay Routing Algorithm Using Distributed Computation // IEEE Trans. on Commun. – 1977. – V. COM-25, N 1. – P. 73-84.

9. Floyd R.W. Algorithm 97: Shortest path / Comm. ACM. – 1962. N 3. – P. 345.

Поступила в редколлегию 29.03.2007

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