

Обслуживание нагрузки в телекоммуникационной сети автоматизированной системы управления с плановым характером выполнения целевых задач

Load Service in the Telecommunication Network of an Automated Control System with Scheduled Target Tasks

Цыбрин / Tsybrin V.

Владимир Григорьевич

(vlad.grigor@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент,
почетный работник высшего профессионального образования РФ.

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского»

(ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ,

доцент.

г. Санкт-Петербург

Кудро / Kudro D.

Дмитрий Викторович

(kudro@list.ru)

кандидат технических наук.

ВКА им. А. Ф. Можайского,

начальник отдела военного института (научно-исследовательского).

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть – telecommunication network; пропускная способность – bandwidth; функция "ущерба" – "damage" function; приоритет – priority.

Рассматривается обслуживание нагрузки в телекоммуникационной сети территориально-распределенной автоматизированной системы управления с плановым характером выполнения целевых задач. Предлагаются:

- критерии оптимальности плана задействования канального ресурса (ПЗКР) при обслуживании плановой нагрузки;
- алгоритмы определения последовательности выбора плановых заявок при формировании ПЗКР;
- критерии выбора маршрутов для плановых заявок;
- алгоритм формирования ПЗКР.

Load service in the telecommunication network of an automated control system with scheduled target tasks implementation is considered. The following is proposed:

- optimality criteria for the channel resource engagement plan (CREP) when servicing the planned load;
- algorithms for determination of the planned requests selection sequence during development of CREP;
- criteria for selection of routes for planned requests;
- CREP formation algorithm.

Введение. Постановка задачи

Характерной особенностью ТКС АСУ с плановым характером выполнения целевых задач является то, что входная нагрузка $Q^{вх}$ в них представляет собой заявки на сеансы информационного обмена (ЗСИО) для передачи между взаимодействующими абонентскими системами (АбС) различных видов информации (речи, данных, видео и др.). При этом большая часть ЗСИО поступает заблаговременно и создает плановую нагрузку на сеть ($Q^{пл}$), часть ЗСИО, как правило, незначительная поступает в случайные моменты времени и создает неплановую нагрузку ($Q^{сл}$). Совокупность плановых ЗСИО формируется на основе оперативного плана задействования средств территориально-распределенных объектов управления (ОУ) АСУ, привлекаемых для решения целевых задач. Случайные (внеплановые) ЗСИО обусловлены изменением матрицы тяготения в случайные моменты времени, отказами программно-аппаратных средств ОУ, каналов и аппаратуры связи ТКС и др.

Каждая ЗСИО характеризуется:

- адресами взаимодействующих АбС;
- временем начала и конца информационного обмена;
- характеристиками трафика (типом трафика, передаваемого за время сеанса информационного обмена, его параметрами и требованиями к качеству его обслуживания).

ЗСИО считается обслуженной, если на время информационного обмена между взаимодействующими АбС в ТКС установлено соединение (физическое или виртуальное), обеспечивающее требуемое качество передачи

соответствующего типа трафика. Совокупность маршрутов таких соединений для всего множества ЗСИО образует план задействования канального ресурса (ПЗКР) сети.

Указанные особенности характера нагрузки в ТКС АСУ с плановым характером выполнения целевых задач позволяет процесс ее обслуживания разбить на три этапа:

1. Этап планирования обслуживания ЗСИО или этап формирования ПЗКР.
2. Этап коррекции сформированного ПЗКР при обслуживании неплановых ЗСИО.
3. Этап реализации ПЗКР.

Анализ показывает, что все применяемые в существующих ТКС методы обслуживания нагрузки ориентированы на обслуживание заявок-сообщений в режиме реального времени и фактически являются методами оперативного управления канальными ресурсами. Для решения задачи обслуживания ТКС плановой нагрузки в статье предлагаются критерии оптимальности формируемого ПЗКР, алгоритмы определения последовательности выбора плановых заявок при формировании ПЗКР, критерии выбора маршрутов для плановых ЗСИО, алгоритм формирования ПЗКР.

Критерий оптимальности формируемого ПЗКР для фиксированной совокупности плановых ЗСИО

Выбираемые маршруты при планировании обслуживания множества плановых ЗСИО должны удовлетворять двум условиям:

1. Гарантировать для передаваемого трафика требуемое качество обслуживания.
2. Обеспечивать рациональное использование канальных ресурсов сети.

Реализация первого условия означает включение в ПЗКР только тех маршрутов, которые удовлетворяют заданным требованиям к качеству обслуживания передаваемого трафика, что достаточно просто реализуется на этапе определения допустимых маршрутов. Второе условие означает реализацию требований максимизировать пропускную способность сети, поскольку при фиксированных канальных ресурсах сети эффективное их использование соответствует более высокой ее пропускной способности. Соответственно, критерием оптимальности формируемого ПЗКР может быть принято условие обеспечения максимальной пропускной способности ТКС, при котором имеющимся канальным ресурсом сети обслуживается максимальное количество ЗСИО с качеством не ниже требуемого:

$$P^* = \arg \max U[G(A,B), \Pi, Z, X], \quad (1)$$

где Π – множество возможных ПЗКР для совокупности плановых ЗСИО, $\Pi = \{\Pi_\beta, |\beta = \overline{1, \beta}\}$;

$U[G(A,B), \Pi, Z, X]$ – пропускная способность ТКС, определяемая количеством ЗСИО, обслуживаемых за определенный интервал времени;

$G(A,B)$ – взвешенный граф сети;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ – множество вершин графа, сопоставляемых узлам сети;

$B = \{b_{ij}\}$ – множество ветвей графа (каналов связи), связывающих взаимодействующие узлы сети;

Z – возмущения, действующие на сеть;

X – характеристики обслуживаемого трафика, включая параметры качества обслуживания.

Определение последовательности выбора заявок при формировании ПЗКР

Задача формирования ПЗКР, как правило, решается в условиях ограниченных канальных ресурсов ТКС, что не гарантирует обслуживания всей совокупности плановых ЗСИО на этапе планирования. В этих условиях формирование ПЗКР целесообразно осуществлять с учетом важности (приоритета) ЗСИО: канальный ресурс в виде маршрутов для организации информационного обмена между взаимодействующими АБС в первую очередь должен выделяться заявками с более высокой степенью важности или с более высоким приоритетом.

Предлагается осуществлять задание приоритетов для совокупности плановых ЗСИО и, соответственно, последовательности выбора ЗСИО при формировании ПЗКР, с использованием двух алгоритмов:

– алгоритма с фиксированным (жестким) приоритетом, задаваемым централизованно управляющим органом;

– алгоритма с динамическим приоритетом, определяемым фактическим потенциалом обслуживания ЗСИО.

Фиксированный (жесткий) приоритет задается централизованно управляющим органом. Формирование последовательности ЗСИО по фиксированному приоритету осуществляется в соответствии с правилом: если $m_{st}^\xi > m_{ku}^\eta > \dots > m_{tp}^\zeta$, где $m_{st}^\xi, m_{ku}^\eta, \dots, m_{tp}^\zeta$ – приоритеты ЗСИО, то последовательность выбора ЗСИО составляет

$$\pi' = \{Q_{st}^\xi, Q_{ku}^\eta, \dots, Q_{tp}^\zeta\}, \quad (2)$$

здесь $Q_{st}^\xi, Q_{ku}^\eta, \dots, Q_{tp}^\zeta \in Q^{bx}$ – последовательность плановых ЗСИО π' , где приоритет каждой последующей ЗСИО меньше или равен приоритету предыдущей заявки.

При отсутствии сведений относительно важности поступивших на обслуживание плановых ЗСИО предлагается автоматическое назначение гибких (динамических) приоритетов. Гибкий (динамический) приоритет для совокупности плановых ЗСИО $Q_{st}^\xi, Q_{ku}^\eta, \dots, Q_{tp}^\zeta \in Q^{bx}$ формируется в соответствии с использованием следующего эвристического правила: на каждом шаге процесса планирования предпочтение отдается ЗСИО

с наименьшим значением мощности множества допустимых маршрутов между взаимодействующими АБС.

Обозначим множество маршрутов между АБС_i и АБС_j через M_{ij}:

$$M_{ij} = \{\mu_{ij1}, \mu_{ij2}, \dots, \mu_{ijn}\}, i, j = 1, N, \quad (3)$$

где $\mu_{ij1}, \mu_{ij2}, \dots, \mu_{ijn}$ – маршруты между АС_i и АС_j.

Тогда при условии

$$\text{card } M_{st} < \text{card } M_{ku} < \dots < \text{card } M_{tp} \quad (4)$$

следует

$$m_{Q_{st}} > m_{Q_{ku}} > \dots > m_{Q_{tp}}. \quad (5)$$

Аналогично (2) последовательность выбора ЗСИО в процессе планирования будет составлять:

$$\pi' = \{Q_{st}^x, Q_{ku}^y, \dots, Q_{tp}^z\} \quad (6)$$

Критерии выбора маршрутов для ЗСИО на этапе формирования ПЗКР

Реализация условия (1) при фиксированных канальных ресурсах ТКС и заданных требованиях к качеству обслуживания трафика на этапе формирования ПЗКР полностью определяется алгоритмами маршрутизации (АМ), используемыми при выборе маршрутов установления соединений между взаимодействующими АБС плановых ЗСИО. В существующих ТКС поиск оптимальных маршрутов осуществляется на основе АМ, учитывающих интересы только одной пары взаимодействующих АБС.

Непосредственное применение этих АМ для определения маршрутов совокупности плановых ЗСИО не гарантирует эффективного использования канальных ресурсов сети. Для разрешения данного противоречия предлагается использовать такие АМ, в которых оптимальным (кратчайшим) считается маршрут, удовлетворяющий требованиям к качеству обслуживания трафика, рассматриваемой ЗСИО и наносит наименьший «ущерб» маршрутам остальных нерассмотренных заявок, с более низким приоритетом. Здесь под «ущербом» понимается количество общих каналов в маршруте рассматриваемой ЗСИО и в маршрутах нерассмотренных ЗСИО, которые из-за частичной или полной занятости в нерассмотренных ЗСИО соответственно частично или полностью не могут быть использованы.

Для количественной оценки «ущерба», наносимого маршрутом $L_{Q_k}^\mu$ рассматриваемой ЗСИО маршрутом остальных нерассмотренных заявок, введем функцию «ущерба» $W(L_{Q_k}^\mu)$. Здесь $\{L_{Q_k}^\mu\}, \mu = \overline{1, M_{Q_k}}$, – множество маршрутов, которые существуют в ТКС для передачи информации между взаимодействующими АБС плановой ЗСИО $Q_k \in \{Q_{вх}\}, k = \overline{1, K}$. При использовании метрики в виде числа общих каналов связи в маршрутах рассматриваемой и остальных нерассмотренных ЗСИО, оптимальным будет считаться маршрут $L_{Q_k}^{*\mu}$ ЗСИО $Q_k^* \in \{Q_{вх}\}$, для которого функция общего «ущерба».

$$W(L_{Q_k}^{*\mu}) = \min\{W(L_{Q_k}^1), W(L_{Q_k}^2), \dots, W(L_{Q_k}^\mu), \dots, W(L_{Q_k}^M)\}, \quad (7)$$

$k = \overline{1, K}; \mu = \overline{1, M_{Q_k}}$

Значение функции общего ущерба $W(L_{Q_k}^\mu)$ определяется по формуле

$$W(L_{Q_k}^\mu) = \sum_{n=k+1}^K \sum_{\mu=1}^{M_n} \sum_{bij \in L_{Q_k}^\mu} \Psi(L_{Q_k}^\mu, L_{Q_n}^\mu), \quad (8)$$

$$\text{где } \Psi(L_{Q_k}^\mu, L_{Q_n}^\mu) = \begin{cases} 1 - \text{если для } L_{Q_k}^\mu, L_{Q_n}^\mu \exists \\ \text{общие каналы связи} \\ 0 - \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $k = \overline{1, K}; n = \overline{(k+1), K}; n \neq k$.

Согласно данному критерию предпочтение отдается тому допустимому маршруту $L_{Q_k}^\mu$ ЗСИО $Q_k \in \{Q_{вх}\}$, который имеет наименьшее количество каналов связи, совпадающих с каналами допустимых маршрутов всех нерассмотренных ЗСИО.

Наряду с критерием на основе функции общего «ущерба» могут быть использованы и другие критерии выбора оптимальных маршрутов для плановых ЗСИО, например на основе функции «ущерба», наносимого каждой нерассмотренной ЗСИО и др.

Общий алгоритм формирования плана задействования канальных ресурсов для множества плановых ЗСИО

Алгоритм формирования плана задействования канальных ресурсов для обслуживания плановых ЗСИО включает в себя следующую последовательность операций:

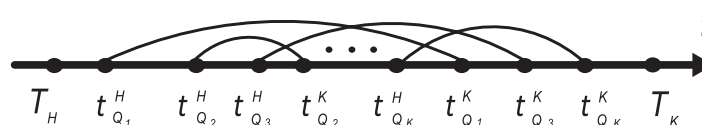


Рис.1. Интервал планирования обслуживания ЗСИО

1. Интервал планирования обслуживания плановых ЗСИО $\langle T_n, T_k \rangle$ разбивается на временные подинтервалы (сегменты), границами которых являются моменты наступления плановых событий по обслуживанию ЗСИО $t_{Q_1}^H, t_{Q_1}^K, t_{Q_2}^H, t_{Q_2}^K, \dots, t_{Q_k}^H, t_{Q_k}^K$ (рис. 1).

2. Производится выбор очередного временного подинтервала (сегмента) обслуживания плановых ЗСИО, устанавливаются приоритеты каждой заявки, и определяется последовательность выбора ЗСИО при обслуживании.

3. Для полученной последовательности выбора заявок с учетом структуры ТКС и характеристик ее элементов, а также требований к качеству обслуживания передаваемого трафика, для каждой ЗСИО, определяется множество допустимых маршрутов.

4. Для каждого допустимого маршрута ЗСИО вычисляется функция общего или частного «ущерба».

5. По минимальному значению функции общего или частного «ущерба» определяются оптимальные («кратчайшие») маршруты установления соединения между взаимодействующими АбС каждой плановой ЗСИО $Q_k \in \{Q_{вх}\}$.

С окончанием или наступлением очередного временного подинтервала (сегмента) выполняются пункты 2–5.

Заключение

В работе представлена методика обслуживания в ТКС АСУ нагрузки в виде плановых заявок на сеансы информационного обмена (ЗСИО) взаимодействующих абонентских систем.

Особенностью данной методики является то, что нагрузка представляет собой множество ЗСИО, поступающих в ТКС заблаговременно. При этом нагрузка считается обслуженной, если на время информационного обмена между взаимодействующими АбС установлено физическое или виртуальное соединение, обеспечивающее требуемое качество передачи соответствующего типа трафика. При такой постановке задача обслуживания плановой нагрузки в ТКС фактически представляет собой задачу планирования маршрутов для множества ЗСИО, то есть задачу формирования плана задействования канального ресурса (ПЗКР) сети для обслуживания множества ЗСИО. В качестве критерия оптимальности ПЗКР выбрано условие обслуживания максимального количества плановых ЗСИО с требуемым качеством.

Было установлено, что в условиях ограниченных канальных ресурсов ТКС формирование оптимального ПЗКР целесообразно осуществлять с учетом важности (приоритета) ЗСИО. При этом предложены алгоритмы с жестким приоритетом, задаваемым централизованно управляющим органом и с гибким (динамическим) приоритетом, определяемым потенциалом обслуживания ЗСИО.

Показано, что при определении маршрутов для совокупности ЗСИО целесообразно использовать такие

критерии, при которых оптимальными (кратчайшими) считаются маршруты, имеющие наименьшее количество общих каналов в маршрутах всех или части нерассмотренных ЗСИО.

Программная реализация представленной методики показала ее сравнительно высокую эффективность при обслуживании как малых, так и больших объемов плановой нагрузки с различным сочетанием плановой и случайной составляющих. Использование при формировании ПЗКР алгоритмов установления приоритета ЗСИО, а также алгоритмов маршрутизации, учитывающих интересы множества ЗСИО, позволяет, в зависимости от структуры ТКС, мощности множества обслуживаемых ЗСИО и их характеристик, увеличить количество обслуженных заявок в реальных сетях до 15–25%.

Учитывая большое прикладное значение предложенного подхода к решению задачи обслуживания плановой нагрузки в ТКС АСУ, в дальнейшем представляет значительный интерес исследования методики в мультисервисных сетях, в сетях с многопротокольной маршрутизацией и инжинирингом трафика.

Литература

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 4-е изд. – СПб: Питер, 2010. – 944 с.
2. Цыбрин, В. Г. Оптимизация использования, канальных ресурсов в телекоммуникационной сети АСУВ / В.Г. Цыбрин, Д.В. Кудро // Труды третьей военно-научной конференции космических войск. Том 3 – СПб: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2007. – С. 517–523.
3. Цыбрин, В. Г. Алгоритм оптимального распределения канальных ресурсов вычислительной сети на этапе планирования / В.Г. Цыбрин, А.Н. Серов // Семнадцатая международная школа-семинар по вычислительным сетям. – Москва–Алма-Ата, 1992. – С. 130–135.
4. Цыбрин, В. Г. Оптимизация использования канальных ресурсов в сети передачи данных / В.Г. Цыбрин, Е.В. Родионов // Тез. докл. 6-й Всесоюзной конференции «КОМПАК-89» по вычислительным сетям коммутации пакетов. – Рига, ИВЭТ-1989. – С. 136–139.
5. Ясинский, С. А. Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей / С.А. Ясинский. – СПб, изд-во ВУС, 2003. – 184 с.