Повышение эффективности функционирования центров управления автоматизированной системы управления связью

Improving the efficiency of the operation of control centers of the automated communication management system

Буренин / Burenin A.
Андрей Николаевич
(direct-2011@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»,
ведущий научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Чуйков / Chujkov V.
Владимир Борисович
(v.b.chujkov@rubin-spb.ru)
кандидат технических наук, доцент.
АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»,
первый заместитель генерального директора.
г. Санкт-Петербург

Аванесов / Avanesov M.
Михаил Юрьевич
(avanesov@itain.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
научный секретарь.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: система – system; автоматизированная система управления – the automated control system; телекоммуникационная сеть – telecommunication network; информация – information; потоки информации – streams of the information.

Рассматриваются процедуры формализации процессов функционирования центров управления автоматизированной системы управления связью при организации процессов обработки управляющей информации, позволяющие предложить достаточно простые и реализуемые приемы, приводящие к существенному повышению эффективности их функционирования.

The procedures of formalization of the processes of functioning of the control centers (CC) of the automated communication control system (ACCS) in the organization of control information processing processes are considered, which allow us to offer fairly simple and implementable techniques that lead to a significant increase in the efficiency of their functioning.

Введение

Реализация повышенных требований к современным системам автоматизированного управления системами связи или шире к автоматизированным системам управления связью (АСУС) – это проблема, которая сегодня особенно актуальна. В рамках этой общей проблемы постоянно требуется решать частные задачи обеспечения непрерывности, оперативности, устойчивости, скрытности и качества управления связью, которые в значительной мере определяются не только объектом управления (самой системой связи и телекоммуникационными сетями в ее составе), но и степенью, уровнем управленческой деятельности органов управления связью, повсеместным использованием в процессах управления связью последних достижений науки и техники, которые невозможно реализовать без обеспечения АСУС современными эффективными центрами управления (ЦУ) для всех уровней иерархии СУ [1, 2].

Интересы повышения эффективности управления связью также требуют развития основ обоснования рационального построения и функционирования ЦУ, без которых обеспечение превосходства в управлении системой в различных условиях обстановки просто невозможно [1, 2]. В рамках этой комплексной проблемы можно выделить частные проблемы организации ЦУ, связанные с обработкой управляющей информации, в основе которых могут быть положены некоторые принципы, используя которые можно выявить определенные механизмы, позволяющие повысить эффективность функционирования самих ЦУ.

Пути повышения эффективности ЦУ АСУС

Процессы поступления на ЦУ требований или заявок на обработку управляющей информации определяются сложившейся обстановкой по связи и, как правило, носят случайный характер (или как минимум имеют

составляющие, представляющие случайные процессы). Процессы обработки поступающей информации достаточно сложны и могут быть разделены на некоторые обрабатывающие фазы. Причем каждой фазе обработки соответствует определенный программный модуль специального программного обеспечения (СПО).

Вследствие этого при переходе от фазы обработки fa_i к фазе обработки $fa_j (i \neq j)$ автоматически формируется запрос Z_j на подключение программного модуля Pr_j, который соответствует фазе обработки fa_j.

Естественно, чтобы выполнялся цикл управления связью, промежуточное время передачи модулю, время ожидания и обработки информации модулем τ_j в фазе обработки fa_j ограничено так, что вероятность $P(\tau_j > t_i)$ такой величины [3–5], которая была не больше допустимой, т. е. $P(\tau_j > t_i) \le P_{idop}$.

Время t_i с одной стороны определяется средним значением длительности цикла управления связью, а с другой – допустимым временем ожидания программного модуля Pr_i до окончания процедур взаимодействия с программным модулем Pr_j.

При значениях вероятности $P(\tau_j > t_i)$, превышающих величину P_{idop}, т. е. $P(\tau_j > t_i) > P_{idop}$, часть обрабатываемой информации не будет обработана вовремя (часть данных будет потеряна для оперативного управления связью), что, с одной стороны, скажется на качестве управления связью, а с другой – приведет к непроизводительному занятию модулей управления. Потерянная (или несвоевременно обработанная) управляющая информация, возникающая на последних фазах обработки, существенно снижает качество управления связью и непроизводительно загружают программные модули комплексов средств автоматизации (КСА) ЦУ.

Пусть осуществляется процесс обработки управляющей информации из некоторого источника k-й категории (всего n категорий). Причем разделение источников управляющей информации по категориям, поступающей на ЦУ, осуществляется, чтобы выровнять поступающий поток с разными приоритетами и ВВХ, ориентируясь на процессы управления связью. Исходя из логики управления связью, будем считать, что обработка управляющей информации из одного источника осуществляется в порядке поступления.

Примем, что источник управляющей информации k-й категории определяется как Ist_k, запрос на обработку этой информации в момент времени $t_П$ как $z_k(t_П)$, причем $z_k(t_П) \in Ist_k$.

Любой запрос $z_k(t_П)$ проходит ряд фаз обработки и фазе fa_i^k, при обработке i-го запроса k-й категории, определен программный модуль Pr_j. Будем считать, что состояние обработки управляющей информации в момент времени t будет $x[z_k(t_П),t]$. Оно определяется номером фазы, которую запрос проходит. Тогда переход из состояния обработки управляющей информации $x[z_k(t_П),t-1]=i_1$ в состояние $x[z_k(t_П),t]=i_2$ произойдет с вероятностью $P_{i_1 i_2}^k(t)$, значения которой определяется множеством внутренних и внешних параметров, характеризующих функционирование ЦУ.

Обработка управляющей информации по запросу k-й категории $z_k(t_П) \in Ist_k$ происходит по графу обработки G_k, который является связным ориентированным, содержащим m_k вершин, помеченных номерами фаз fa_i^k, и множеством дуг, указывающих направление перехода, с приписанными им вероятностями перехода $P_{i_1 i_2}^k(t)$ от одной фазы обработки к другой.

Введем понятие длительности обработки управляющей информации, обозначив ее $\Delta t_k[z_k(t_П),t]$, которая равна суммарному времени обработки запросов в различных фазах обработки в определенном интервале $(t_П, t)$:

$$\Delta t_k[z_k(t_П),t] = \sum_{\gamma \in \{x[z_k(t_П),t]\}} t_\gamma , \qquad (1)$$

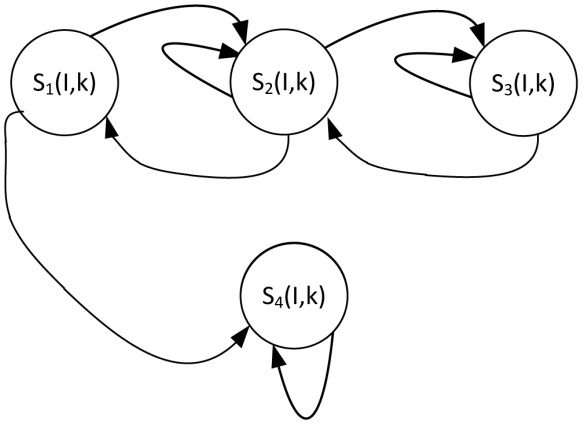

Рис. 1. Граф состояний заявки на обработку управляющей информации в определенной фазе обработки

где t_γ – время пребывания заявки на обработку управляющей информации в множестве фаз обработки $fa_\gamma^k\{x[z_k(t_\Pi),t]\}$ и состояний, в которых заявка находилась до момента времени t.

Сам процесс нахождения заявки в определенной фазе обработки управляющей информации fa_i^k может быть задан моделью графа состояний G_i^k, который для всех возможных значений i и k, имеет четыре вершины состояний $s_1(i,k), s_2(i,k), s_3(i,k), s_4(i,k)$, определенным образом связанных друг с другом, рис. 1.

Запрос на обработку управляющей информации $z_k(t_\Pi) \in Ist_k$ переходит в фазу обработки fa_i^k в момент времени t с вероятностью

$$\pi[z_k(t_\Pi),t] = \sum_{r=1}^{m_r} P_{r_i}^k(t). \quad (2)$$

Понятно, что процесс обработки запросов в фазе fa_i^k начинается с вероятностью $\pi_1^0[z_k(t_\Pi),t]$ из состояния s_1 (где происходит ожидание обработки управляющей информации) или с вероятностью $\pi_2^0[z_k(t_\Pi),t]$ из состояния s_2 (где происходит обработка управляющей информации). Естественно, что $\pi_1^0[z_k(t_\Pi),t]+\pi_2^0[z_k(t_\Pi),t]=1$. Запрос на обработку управляющей информации получает отказ при попадании в состояние s_4. Ясно, что сам факт этого состояния означает окончание процесса обработки управляющей информации. При этом процесс переходит к фазе $fa_j^k\ \forall j=1,...,m_k;\ j\neq i$ из состояния s_3.

Переходы из одного состояния запросов в другое удобно задать стохастической матрицей $\Pi_s = \|\pi_{ij}(t)\|$. Если на интервале времени $(t,t+t_d^k)$ вероятности переходов $\pi_{ij}(t)$ допустимо задать их средними значениями π_{ij}, то матрица $\Pi_s = \|\pi_{ij}\|$ моделирует однородную марковскую цепь [6–8], которая при известном векторе начального распределения $\Pi_H = (\pi_1^0, \pi_2^0, 0, 0)$ является моделью процесса обработки управляющей информации в фазе $fa_j^k\ \forall\ j=1,...,m_k;\ j\neq i$.

Для обеспечения непрерывности процесса управления связью применяются различные механизмы диспетчеризации, эффективность которых может быть оценена на основе выборки допустимых времен ожидания и обработки управляющей информации в фазе $fa_j^k\ \forall j=1,...,m_k;\ j\neq i$ при выполнении соотношений $M[t_3]\le t_d^k$, в котором t_d^k – допустимое время обслуживания заявок на обработку управляющей информации из источника Ist_k в фазе fa_j^k, а t_3 – время ожидания в состоянии s_3.

Каждую величину вероятности потерь управляющей информации (необработанные заявки на обработку управляющей информации) k-й категории на фазах обработки можно определить следующим выражением:

$$p_{i4}^k = p_{i4}^{k,i} + \sum_{i=2}^{m_k}\Big(\prod_{l=1}^{i-1} p_{i3}^l\Big)p_{i4}^k. \quad (3)$$

Среднее время, затрачиваемое на обработку потерянной (не вовремя обработанной управляющей информации) на фазах обработки запросов по всем фазам fa_j^k, определяется выражением

$$T_k = \sum_{i=2}^{m_k} M_i^k[t_4]\,p_{14}^{k,i} + \sum_{i=2}^{m_k}\Big(\prod_{l}^{i-1} p_{i3}^l\Big)p_{i4}^k\Big(M_i^k[t_4] + \sum_{l=1}^{i-1} M_i^k[t_4]\Big). \quad (4)$$

Исследуем потенциальные возможности снижения значения величины T_k, позволяющие снизить как затраты времени на обработку управляющей информации, так и непроизводительные потери занятия оборудования ЦУ, повысив тем самым эффективность функционирования каждого ЦУ АСУС, а следовательно и АСУС в целом.

Пусть заявка на обработку управляющей информации $z_k(t_0)$ поступает на обработку в ЦУ в момент времени t_0 и значение вероятности перехода в поглощающее состояние s_4 для фазы обслуживания fa_j^k превышает допустимый уровень, т. е.

$$p_{14}^{k,i} > p_{i\,dop}^k. \quad (5)$$

Как правило, характер соотношения (5) за время обработки управляющей информации по запросу $z_k(t_0)$ не изменится, т. е. запрос $z_k(t_0)$ получит отказ с вероятностью $p_{14}^{k,i}$. Тогда часть времени Δ_i^k, затрачиваемой КСА ЦУ на обработку «потерянной информации» составит

$$\Delta_i^k = \frac{\sum_{i=2}^{m_k} M_i^k[t_4]\,p_{14}^{k,i} + \sum_{i=2}^{m_k}\Big(\prod_{l}^{i-1} p_{i3}^l\Big)p_{i4}^k\Big(M_i^k[t_4] + \sum_{l=1}^{i-1} M_i^k[t_4]\Big)}{\sum_{i=1}^{m_k} M_i^k[t_3]\,p_{13}^{k,i}}. \quad (6)$$

Отметим, что в знаменателе выражения (6) значение средней длительности обработки управляющей информации по конкретному запросу.

Тогда оценка непроизводительных затрат ресурсов времени КСА ЦУ составит

$$\delta_i^k = \frac{\sum_{i=2}^{m_k}[p_{14}-p_i^k]M_i^k[t_4] + \sum_{i=2}^{m_k}\Big(\prod_{l}^{i-1} p_{i3}^l\Big)p_{i4}^k\Big(M_i^k[t_4] + \sum_{l=1}^{i-1} M_i^k[t_3]\Big)}{\sum_{i=1}^{m_k} M_i^k[t_3]\,p_{13}^{k,i}}. \quad (7)$$

В практике автоматизированного управления связью нередко значения $p_{14}^{k,i}$ априорно известны и имеют неизменные значения. В этом случае с целью снижения величины (7) можно организовать «грамотное» просеивание первоначального потока заявок на обработку управляющей информации, поступающего из источника Ist_k с вероятностью $p_\Phi^k \le p_{14}^{k,i} - p_i^k$, формируя для них плановые отказы на начальных фазах обработки управляющей информации. При этом значение p_Φ^k определяется с использованием длительности обра-

ботки заявки $t_k[z_k(t_0),t]$. Вместе с тем на ЦУ поступают заявки на обработку управляющей информации из разных источников. При этом из-за просеивания происходит рациональное перераспределение ресурсов КСА ЦУ, что приведет к изменению вероятностей $p_{14}^{k,i}$. Однако нестационарный характер поступающего потока заявок на обработку требует не только коррекции, но и прогнозирования возможных потерь информации на различных фазах обслуживания.

Следовательно, необходимо решить задачу получения таких процедур просеивания заявок на обработку управляющей информации из всех источников $Ist_k \ \forall k = 1,...,n$, чтобы повысить эффективность функционирования ЦУ АСУС. Для упрощения предположим, что в интересующем нас интервале времени $(t_0, t_0 + t_k)$ запросы на обработку управляющей информации из источника Ist_k получат отказы (что приведет к потере информации) с вероятностью $p_{\Phi}^{k} = \text{const}$, а в момент времени t_0 уровень потерь управляющей информации для фаз обслуживания с положительным значением (7) достигали величины p_{kotk}. Если при организации процедур просеивания потока заявок из источника Ist_k потери управляющей информации стали иметь значения p_{kotk}^{pros}, то общие потери информации составят $p_{kotk}^{pros} + p_{\Phi}^{k}$.

Тогда соотношение, обеспечивающее эффективность процедур просеивания путем ограничения заявок на ранних фазах обработки управляющей информации, примет следующий вид

$$p_{kotk}^{pros} + p_{\Phi}^{k} \le p_{kotk}. \qquad (8)$$

Процедуры повышения эффективности

Можно предложить целый ряд процедур повышения эффективности функционирования ЦУ, основанных на процессах просеивания потока входящих запросов на обработку управляющей информации. Остановимся в данной статье на двух: реализация базы данных (БД) запросов и потерь управляющей информации и стохастическое регулирование процессов просеивания.

В первом случае заявки на обработку управляющей информации из разных источников Ist_k, поступая в каждую фазу обработки fa_j^k еще до начала процедур обработки, регистрируются в соответствующей БД $B[fa_j^k]$, объем данных которой выбирается такой, что при дисциплине порядка обработки «первый заявил – первый обработан» зафиксированная заявка не может быть не удовлетворена, а связанная с ней управляющая информация не может быть не обработана. Целесообразна организация гибкой БД, когда объем данных $B[fa_j^k]$ варьируется в зависимости от реальной интенсивности отказов в обработке управляющей информации в фазе обработки fa_j^k. Можно предположить, что выигрыш, достигаемый в результате использования такой процедуры просеивания заявок на обработку управляющей информации из источника Ist_k, будет пропорционален величине $\sum_{i=1}^{m_k} M_i^k[t_3]p_{13}^{k,i}$. При этом будем считать, что категорийность источников $Ist_k \ \forall k = 1,...,n$ не меняется.

Во втором случае процедуры просеивания потоков заявок на обработку управляющей информации используют стохастические механизмы. Пусть заявка на

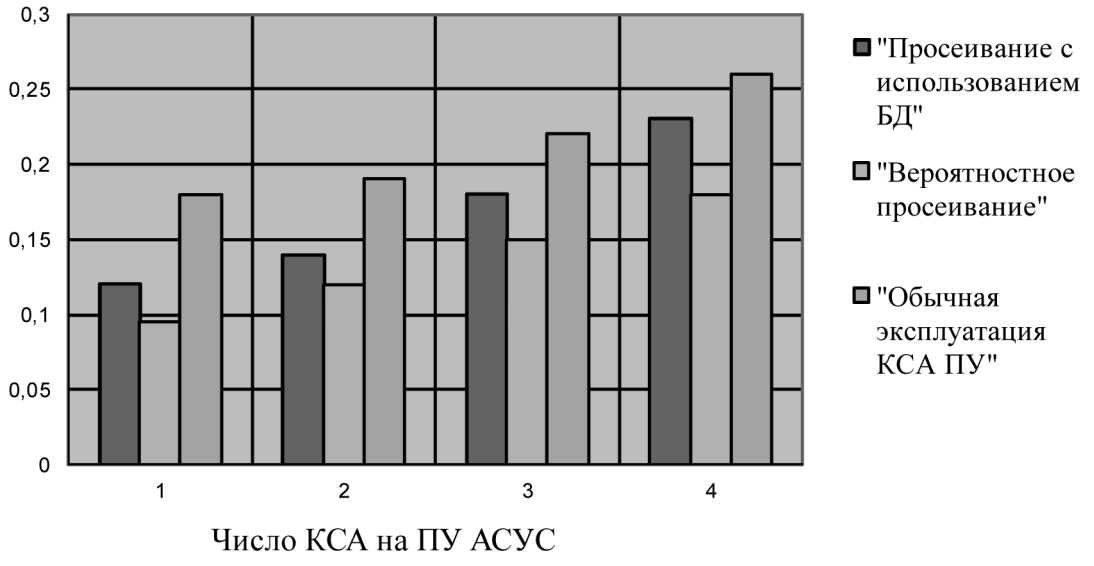

Рис. 2. Зависимость среднего уровня потерь управляющей информации от построения ЦУ и используемых механизмов просеивания потока заявок

обработку управляющей информации из источника $Ist_k \ \forall k = 1,...,n$ в момент времени t_0, получила отказ в обработке (т. е. доля управляющей информации потеряна) с вероятностью $p_{\Phi}^{k}(t)$ в начале процесса обработки. Удобно связать вероятности $p_{\Phi}^{k}(t)$ с состояниями некоторого вероятностного автомата $S_i^k(t)$, показывающего как идет процесс обработки управляющей информации. Пусть состояний автомата будет два: $S_i^k(t) = -1$, если обработке соответствует вероятность $p_{14}^{k,i}$, и $S_i^k(t) = +1$, если обработке соответствует вероятность $p_{13}^{k,i}$ в момент окончания обработки управляющей информации в фазе fa_i^k, а вероятностный автомат может осуществлять β действий $f_1^k,...,f_{\beta}^k$ каждому из которых соответствует определенное значение вероятности $p_{\Phi}^{k}(t)$. Причем действию вероятностного автомата f_{β}^k соответствует вероятность $p_{\Phi}^{k}(t) = 1 - \frac{1}{\beta}$.

Характеристики вероятностного автомата должны обеспечивать следующее:

– смена действий автомата происходит за время, большее, чем время обработки управляющей информации по всем фазам обслуживания;

– при увеличении числа штрафов (т. е. когда $S_i^k(t) = -1$) увеличивается вероятность $p_{\Phi}^{k}(t)$;

– при значительном увеличении загрузки средств обработки КСА ЦУ увеличивается вероятность выбора действий с меньшими значениями $p_{\Phi}^{k}(t)$.

В соответствии с этим в вероятностном автомате необходимо использовать генератор случайных чисел, который используется для организации посылки запросов, планируемых отказы, поступающих из источника $Ist_k \ \forall k = 1,...,n$ с вероятностью $p_{\Phi}^{k}(t)$.

Таким образом, организация процедур просеивания потоков заявок на обработку управляющей информации применением автоматов, функционирующих в случайных средах, будет способствовать повышению эффективности функционирования ЦУ АСУС, а следовательно и всей АСУС в целом.

Результаты моделирования работы ЦУ для различных условий их организации и различных механизмах повышения эффективности функционирования, приведены на рис. 2. Так, увеличение числа КСА на ЦУ приводит к возрастанию среднего значения относительных потерь (уровня не обработанной) управляющей информации. Обычная эксплуатация КСА ЦУ характеризуется значительно более высоким средним значением относительных потерь управляющей информации. Вероятностные способы просеивания потока заявок на обработку управляющей информации характеризуются наилучшими результатами, показывают наименьшее среднее значение относительных потерь.

Выводы

В интересах повышения эффективности управления связью требуется развивать основы обоснования рационального построения и функционирования ЦУ АСУС, без которых обеспечение превосходства в управлении системой и сетями связи в различных ситуациях просто невозможны. В рамках этой комплексной проблемы целесообразно выделить решения по организации ЦУ, связанные с организацией порядка обработки управляющей информации, в основе которой положены принципы, использующие механизмы просеивания исходного потока заявок на обработку управляющей информации, позволяющие повысить эффективность функционирования ЦУ.

Среди процедур повышения эффективности функционирования ЦУ, основанных на процессах просеивания потока входящих запросов на обработку управляющей информации, предпочтение следует отдать процедурам с использованием базы данных (БД) запросов и потерь управляющей информации, а также процедурам на основе стохастического регулирования процессов просеивания. При этом обычная эксплуатация КСА ЦУ (без механизмов просеивания) характеризуется значительно более высоким средним значением относительных потерь управляющей информации, чем любые процедуры просеивания, а вероятностные способы просеивания потока заявок характеризуются наилучшими результатами, показывают наименьшее среднее значение относительных потерь.

Литература

1. Буренин, А. Н. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями / А.Н. Буренин, В.И. Курносов. – М.: Наука, 2011. – 464 с.

2. Буренин, А. Н. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления / А.Н. Буренин, К.Е. Легков. – М.: Медиа Паблишер, 2015. – 348 с.

3. Методы математического моделирования систем и процессов связи / В.Н. Куделя [и др.]. – СПб.: Изд. Политехнического университета, 2009. – 368 с.

4. Епифанов, А. Д. Надежность систем управления / А.Д. Епифанов. – М.: Машиностроение, 1975. – 179 с.

5. Ажмухамедов, И. М. Методика оценки уровня безопасности информационных активов на основе нечетких продукционных правил / И.М. Ажмухамедов, О.М. Князева // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2015. – № 1. – С. 7–16.

6. Belman R. Mathematical Trends in Control Theory / R. Belman, R. Kalaba. Dover. New York.: – 1963. 273 p.

7. Беллман, Р. Процессы регулирования с адаптацией / Р. Беллман. – М.: Наука, 1964. – 360 с.

8. Гихман, И. И. Введение в теорию случайных процессов / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – М.: Наука, 1965. – 656 с.