

УДК 681.324

Ю.К. Апраксин, проф., д-р техн. наук,

Т.В. Волкова, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г.Севастополь, Украина, 99053

kvt@sevgtu.sebastopol.ua

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются формальные модели и алгоритмы решения комплекса задач управления аппаратными ресурсами сложных технических систем, построенных на основе телекоммуникационных сетей. Предложенные алгоритмы обладают малой по отношению к классическим методам трудоемкостью и позволяют при ограниченных затратах получать решения, близкие к оптимальным.

Качество функционирования современных распределенных технических систем (РТС) во многом определяются возможностями, заложенными в административную систему управления, основными задачами которой являются [1,2]: 1) поддержание функционирования всех процессов, протекающих в системе, в соответствии с заданными эксплуатационными показателями; 2) адаптация системы к изменяющейся нагрузке и борьба с возможными перегрузками; 3) противодействие случайным и преднамеренным возмущениям, связанным с выходом из строя (временным или постоянным) элементов системы.

Управление структурой РТС предполагает преобразование структуры (поврежденной или перегруженной), не обеспечивающей заданных требований на качество обслуживания системой своих пользователей, к некоторой другой структуре, удовлетворяющей этим требованиям. Преобразование структуры системы осуществляется либо за счет организационных ремонтных и восстановительных работ (в случае поврежденной структуры), либо за счет активизации имеющихся в распоряжении администратора резервных комплексов канального, коммуникационного абонентского терминального или обрабатывающего оборудования.

Анализ современных РТС и систем управления ими [3] показывает, что в последнее время существенно возросла роль параметров системы, обусловленных временем. Так, оперативное управление системой предполагает жесткие ограничения и на время доведения информации до потребителя, и на время

обработки информации, и на время принятия управленческих решений. Классическими моделями для решения задач оптимального управления структурой РТС являются задачи целочисленного линейного и нелинейного программирования. Известно [4], что такие задачи относятся к классу трудно разрешимых задач (сложность алгоритмов решения этих задач по отношению к количеству параметров растет по меньшей мере экспоненциально). Уже при размерности задачи $n \geq 40$ мощности современных ЭВМ не хватает для ее решения в практически приемлемое время. Проблема связана с отсутствием эффективных алгоритмов решения задач, применяемых в системах управления, работающих в реальном времени.

Функциональная схема системы оперативного управления структурой РТС представляется состоящей из двух подсистем: подсистемы контроля и подсистемы управления. Первая подсистема работает в одном из задаваемых администратором режиме. Вторая подсистема анализирует текущую ситуацию в распределенной системе, выделяет ситуации, связанные с деградацией системы, запускает одну из программ управления структурой и распространяет полученную управленческую информацию всем заинтересованным объектам системы через коммуникационную среду.

При формировании математической модели будем предполагать, что безаварийное функционирование РТС возможно при следующих ограничениях:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{p \in P_{ij}} f_{ij}(p) = 1, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{p \in P_{ij}} F_{ij} \cdot f_{ij}(p) \leq d_j, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{p \in P_{ij}} \phi_k(F_i \cdot f_{ij}(p)) \leq c_k. \quad (3)$$

Ограничение (1) предполагает, что поток сообщений, генерируемых i -м объектом системы, полностью поглощается другими объектами. *Ограничение (2)* требует, чтобы производительность d_j сервера S_j была не меньше общего количества сообщений, генерируемых всеми объектами системы в единицу времени и адресованных j -му объекту. *Ограничение (3)*

констатирует, что часть ϕ_k общего количества сообщений, передаваемых в единицу времени от объекта i к объекту j через линию связи k , не должна превышать пропускной способности c_k соответствующей линии связи. При формулировке ограничений использованы следующие обозначения: F_i — общее количество сообщений, генерируемых i -м объектом системы; F_{ij} — количество сообщений, генерируемых i -м объектом для j -го объекта системы; $f_{ij}(p)$ — доля F_{ij} , направляемых по пути p ; P_{ij} — множество разрешенных путей передачи сообщений от объекта i к объекту j ; N — количество объектов в системе.

Нарушение любого из трех ограничений, вызванное различными причинами (подключение дополнительных объектов, деградация системы и т.п.), требует принятия мер, нейтрализующих последствия перечисленных причин.

В общей постановке задача оптимального управления структурой РТС может быть сформулирована следующим образом.

Минимизировать
$$K = \sum_{i=1}^N |\overline{K}_i - K_i| \cdot \alpha_i$$
 при ограничениях

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1,$$

где $|\overline{K}_i - K_i|$ — показатель допустимого ухудшения качества обслуживания системой потребителя по K_i -му критерию; $\overline{K}_i$ — норма i -го показателя качества; α_i — значимость i -го критерия.

Знание реальной проблемы позволяет упорядочить выделенные критерии оптимальности K_i по значимости и общую многокритериальную задачу управления свести к многоэтапному процессу последовательного решения однокритериальных оптимизационных задач. При этом каждая последующая процедура опирается на результат предыдущей, а каждая предыдущая не ухудшает общего показателя качества.

Переходя к формулировке конкретных задач, сделаем ряд предположений связанных с организацией элементов системы и способом их взаимодействия. Во-первых, все узлы коммуникационной структуры системы реализуются как совокупность обрабатывающего и коммуникационного блоков, причем и тот и другой представляют собой структуру

обеспечивающую агрегатное наращивание производительности во всем диапазоне необходимого ее изменения. Во-вторых, каждая физическая линия связи, соединяющая узлы системы, представляет собой полудуплексный канал связи. И, наконец, в-третьих, коммутация сообщений (пакетов) использует принцип маршрутизации, обеспечивающий передачу транзитных сообщений по свободному элементарному пути с минимальным количеством ретрансляций.

Задача насыщения текущей топологии системы дополнительными каналами связи состоит из следующих этапов.

Подготовительный этап. Потенциально возможные ребра топологической структуры РТС упорядочиваются по убыванию V_k - структурообразующих коэффициентов ребер, т.е.

$$V_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij}^k(p); \quad k=1, \dots, M,$$

$$\text{где } \gamma_{ij}^k(p) = \frac{\sum_{x=1}^{|P_{ij}^k|} l_{ij}(p_x)}{|P_{ij}^k|}; \quad i \neq j;$$

$l_{ij}(p_x)$ — длина пути p_x (количество ребер, составляющих путь p_x из узла i в узел j);

$|P_{ij}|$ — мощность множества путей допустимой длины из узла i в узел j ;

$|P_{ij}^k|$ — мощность множества путей из узла i в узел j , проходящих через ребро k ($P_{ij}^k \subseteq P_{ij}$);

N и M — соответственно количество узлов и ребер в структуре системы.

Основной этап.

1. Проверяется связность текущей топологической структуры РТС. Если связность нарушена, то определяется минимальный остов графа. Недостающие ребра остова включаются в текущую топологию и удаляются из упорядоченного списка. Если в упорядоченном списке этих ребер нет, то фиксируется факт невозможности организации связной топологической структуры

2. Затраты на реализацию текущей топологии c_t сопоставляются с максимально допустимыми $c_{\max}$. Если $c_t > c_{\max}$, то в рамках допустимых затрат модернизировать текущую топологию не представляется возможным.

3. Если упорядоченный список ребер не иссяк, то в текущую топологию вводится первое еще не исключенное ребро из этого списка. Само ребро из списка исключается, и управление передается пункту 2 алгоритма. Если список пуст, то решением является структура включающая все зафиксированные алгоритмом потенциально возможные связи между территориально распределенными узлами РТС.

Задача оптимального распределения резервных средств, обеспечивающих заданную производительность узлов РТС, включает следующие этапы.

Каждый узел РТС рассматривается как совокупность обрабатывающего (S_i) и коммуникационного (A_i) блоков. S_i и A_i могут быть представлены одной из конечного числа ($m(S_i)$ и $m(A_i)$ соответственно) реализаций с разной производительностью ($d_j(S_i)$ и $d_k(A_i)$) и стоимостью ($c_j(S_i)$ и $c_k(A_i)$). Требуется обеспечить необходимую производительность ($d_0(S_i)$ и $d_0(A_i)$) при минимальных затратах.

Математическая формулировка этой задачи как задачи целочисленного программирования выглядит следующим образом:
минимизировать

$$C = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{m(S_i)} c_j(S_i) \cdot x_j + \sum_{k=1}^{m(A_i)} c_k(A_i) \cdot y_k \right)$$

при ограничениях

$$x_j, y_k \in \{0,1\}, \quad \sum_{j=1}^{m(S_i)} x_j = 1, \quad \sum_{k=1}^{m(A_i)} y_k = 1,$$

$$\sum_{j=1}^{m(S_i)} d_j(S_i) \cdot x_j \geq d_0(S_i), \quad \sum_{k=1}^{m(A_i)} d_k(A_i) \cdot y_k \geq d_0(A_i).$$

Подготовительный этап. Для каждого узла системы рассчитывается суммарная интенсивность F_q потоков в этом узле

$$F_q = \sum_{i=1}^N \chi_q \cdot F_{iq} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq q}}^N F_{qj} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq q}}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq q}}^N F_{ij} \cdot \gamma_{ij}^q ,$$

где первое слагаемое определяет интенсивность потока сообщений, адресуемых узлу q ($\chi_q = 0$ исключает наличие в этом узле серверного блока), второе слагаемое характеризует интенсивность потока сообщений, генерируемых узлом q и адресуемых другим узлам системы, третье слагаемое задает интенсивность транзитных по отношению к узлу q сообщений (γ_{ij}^q представляет собой коэффициент интенсивности использования узла q в случае предполагаемой маршрутизации сообщений).

Основной этап.

1. Текущая производительность сервера $d(S_q)$ и абонента $d(A_q)$ узла q соответственно определяются как:

$$d(S_q) = \sum_{i=1}^N \chi_q \cdot F_{iq} ,$$

$$d(A_q) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq q}}^N F_{qj} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq q}}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq q}}^N F_{ij} \cdot \gamma_{ij}^q .$$

2. Если $d(S_q) \geq d_0(S_q)$ и $d(A_q) \geq d_0(A_q)$, то алгоритм завершает работу (пункт 5 алгоритма).

3. Если $d(S_q) < d_0(S_q)$ и/или $d(A_q) < d_0(A_q)$, то из упорядоченного списка реализаций ($d_j(S_q) > d_{j-1}(S_q)$ и/или $d_k(A_q) > d_{k-1}(A_q)$ для $j = 1, \dots, m(S_q)$ и $k = 1, \dots, m(A_q)$ выбираются $d(S_q) = d_j(S_q)$ и/или $d(A_q) = d_k(A_q)$.

4. Рассчитываются экономические затраты на размещение и эксплуатацию выбранных обрабатывающих $s(S_q)$ и/или коммуникационных $s(A_q)$ блоков. Если средства позволяют, то следующим выполняется пункт 2 алгоритма. В противном случае принимаются меры по ограничению потоков адресованных и/или генерируемых узлом S_q .

5. Осуществляется корректирующая выборка.

Перечень алгоритмов, которые могут быть включены в библиотеку системы оперативного управления структурой РТС, может быть продолжен. Например, планирование восстановительных или проектных работ при отказах функциональных элементов системы, обеспечение требуемой надежности функционирования системы и т. д. Анализ предложенных алгоритмов показывает, что на их основе создается единый подход к решению целого комплекса задач управления структурой распределенных систем в условиях их деградации. Сравнение результатов решения задач с аналогичными, полученными полным перебором, говорит о достаточно хорошем приближении к точным решениям. Временная сложность алгоритмов не превышает $O(N^2)$, что говорит об их пригодности для решения задач оперативного управления сложными распределенными системами.

Разработка эффективных алгоритмов управления структурой РТС, их анализ и организация совместного использования представляется актуальным направлением дальнейших исследований в области построения высокопроизводительных систем управления сложными распределенными объектами.

Библиографический список

1. Советов Б.Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Б.Я.Советов, С.А.Яковлев. — Л.: Машиностроение, 1990. — 332 с.
2. Апраксин Ю.К. Организация управления взаимодействием объектов в распределенных технических системах/ Ю.К. Апраксин // Сб.научн.тр. СевНИИЭиП. — 2003. — Вып. 7: Информационные системы и технологии. — С. 214 – 220.
3. Максименков А.В. Основы проектирования информационных вычислительных систем и сетей ЭВМ / А.В. Максименков, М.Л. Селезнев. — М.: Радио и связь, 1991. — 320 с.
4. Ахо А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов / А Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж.Ульман — М.: Мир, 1979. — 536 с.

Подписано в печать 28.02.2005 г.