

УДК 681.324

Д.Ю. Воронин, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, Севастополь, Украина, 99053

E-mail: kv1@sevgtu.sebastopol.ua

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Рассматриваются основные вопросы диспетчеризации в распределенных вычислительных системах. Проведен анализ существующих подходов, предложены дополнительные направления развития.

В настоящее время прогресс в компьютерных технологиях развивается настолько динамично, что специалист в этой сфере научного знания немислим без углубленной системотехнической подготовки. Сложность вычислительных систем стремительно возрастает, особенно это касается так называемых распределенных систем (РС). В РС оптимальность построения связей между различными компонентами крайне важна, так как это непосредственным образом влияет на эффективность функционирования всей системы в целом. В [1] приводятся различные области применения РС, акцентируется внимание на достоинствах и недостатках, присущих именно этим системам.

Технология обработки задач в РС весьма специфична и требует введения управляющих методов, способных учесть эту специфику. В частности, критерии качества работы РС весьма противоречивы и вследствие этого при принятии управленческих решений часто возникают конфликты. Существует множество различных способов разрешения такого рода противоречий. Многие из них сводятся к смещению акцента между нагрузкой на каналы связи и степенью автономности узлов в РС. Однако во многих случаях наиболее оправданным считается введение множества управляющих воздействий, организующее диспетчеризацию в РС на должном уровне оптимальности.

Согласно [2], диспетчеризация представляет собой совокупность управляющих воздействий, оптимизирующих работу всей системы в целом, путем оперативного планирования и перераспределения ресурсов в ней. Под критериями оптимальности в данном случае принято понимать согласованность, ритмичность, экономичность и своевременность выполнения задач в системе.

Целью данной статьи является системотехнический анализ процессов диспетчеризации в распределенных вычислительных системах. При организации диспетчеризации в распределенных вычислительных системах следует учитывать, что задача диспетчеризации не может быть эффективно решена аналитически даже в случае полной информации. Это происходит в силу того, что ее решение приводит к многостадийной задаче составления расписаний и многоиндексной оптимизационной задаче булевого программирования (задаче о назначении). Следовательно, разработки алгоритмического характера в этом направлении являются крайне актуальными.

Используя математический аппарат теории сетевого анализа [3] можно сформулировать задачу организации диспетчеризации следующим образом. Будем использовать модель «узел — работа» («дуга — событие»). Тогда граф $\xi(A, B)$ будет характеризовать взаимосвязь между задачами, решаемыми распределенной вычислительной системой. Где множество вершин $A: \{a_i\}, i = \overline{1, |A|}$ соответствует задачам, а множество дуг $B: \{b_{ij}\} \equiv (i, j)$ задает отношения предшествования между ними. Таким образом, число ограничений на предшествование в системе равно $|B|$.

Все задачи множества A расклассифицированы по типам. Элементы множества $M: \{M_1, K, M_k\}$ соответствуют задачам различных типов, где $|M|$ — число типов задач, а $|M_i|$ — число задач i -ого типа. Внутри множества M_i элементы ранжированы таким образом, что $\forall i, i: \{(i_0, i_1), (i_1, i_2)\} \subset \{(i_k, i_{k-1})\}$ справедливо $\tau_{01} > \tau_{12} > K \tau_{(k-1)k}$, где $\tau_{(k-1)k}$ — трудоемкость решения k -ой задачи после $(k-1)$ -ой. Для решения k -ой задачи в i -ом узле выделяется r_{ik} единиц ресурсов. При выделении ресурсов существуют определенные правила, обусловленные структурными особенностями РС.

1. Существует определенное ограничение на минимальный объем выделяемых ресурсов ($\min r_{ij} = r_{ij}^{\min}$) узлу системы. Это происходит, например, в силу того, что платы оперативной памяти, при помощи которых наращивается дополнительная память в узле системы, имеют ограниченный минимальный объем, т.е. платы памяти с меньшим объемом сняты с промышленного производства.

2. Существует определенное ограничение на максимальный объем выделяемых ресурсов ($\max r_{ij} = r_{ij}^{\max}$) узлу системы. Это происходит, например, в силу того, что процессоров с большей тактовой частотой не производят в силу технологических ограничений производства.

3. В системе строго задано количество ресурсов, которые могут быть произвольным образом распределены между ее узлами $\sum^{MAX} = R^o$, где R^o — общее количество ресурсов (включая резервные), которые могут быть произвольным образом распределены между узлами системы, с целью более оптимального ее функционирования.

Таким образом, задача сводится к нахождению такой системы правил f , которая бы используя информацию о трудоемкостях задач T , могла бы оптимальным образом распределить множество ресурсов R^o между узлами распределенной системы.

Критериями оптимальности могут служить следующие:

- $\min \max t_{ij}$, где t_{ij} — время решения i -ой задачи j -ым узлом;
- $\min \max r_{ij}$;
- $\min \sum t_{ij}$ и т.д.

В [4] излагаются методы формализации синтеза структуры сложных систем. Проинтерпретируем задачу распределения ресурсов по узлам при помощи теории графов. Вводятся два графа G_i и G_j .

Граф $G_i = (I, \Gamma_i)$ задает отношение связности между различными задачами, здесь I — множество вершин графа, отображающих различные задачи, а Γ_i — множество дуг, отображающих взаимосвязь между ними.

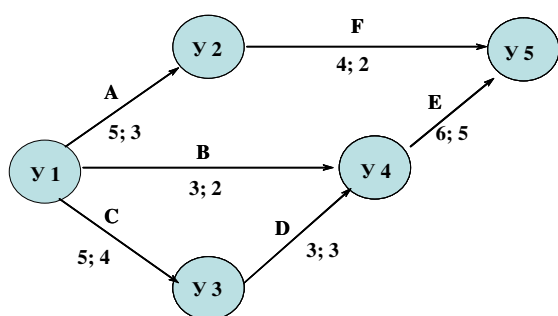
Граф $G_j = (J, \Gamma_j)$ задает особенности выделения ресурсов в распределенной системе, здесь J — множество вершин графа, отображающие различные узлы РС, а Γ_j — множество дуг, отображающих процесс перераспределения ресурсов между ними.

Множество отображений графа G_i на G_j представляют собой различные варианты перераспределения ресурсов между узлами РС в процессе решения задач. Итак, под решением задачи оптимального перераспределения ресурсов в РС будем понимать такое отображение графа задач на граф перераспределения ресурсов, при котором достигается экстремум критерия качества отображения при выполнении заданных ограничений.

Структурное многообразие РС потребовало четкой и единой классификации, способной выделить основные структурные параметры РС. Используя классификацию, предложенную в [1], можно однозначно выделить различные параметры РС и рассмотреть специфику организации диспетчеризации с учетом ограничений, связанных с каждым из них. В качестве математической модели структуры РС удобно воспользоваться графологическим преобразованием, предлагаемым в [1].

Существуют различные методы, используемые в процессе принятия решений по организации диспетчеризации в РС. Например, предлагается использовать нейронные сети для оптимизации процесса перераспределения ресурсов в РС. Весьма весомый вклад в развитие этой области знаний внесла теория расписаний. Существуют два крайних направления развития этой теории: полностью детерминированный случай и полностью стохастический. Но для реальных задач, наиболее характерен смешанный случай, когда принятие решений происходит в условиях неполной информации. Именно здесь наилучшим образом проявляют себя методы адаптивного управления.

Однако для относительно простых случаев организации диспетчеризации целесообразно воспользоваться теорией сетевого анализа [3] в силу ее наглядности и простоты. Организация диспетчеризации в этом случае сводится к перераспределению имеющихся ресурсов.



Задача 1. Пусть имеется 7 Гбайт оперативной памяти, которую необходимо оптимальным образом распределить между узлами РС. Узлы системы (вершины графа) заняты решением заданного множества задач. Время, необходимое для решения задачи в узле, — первое число на дуге. Количество ресурса, необходимое для ее решения, — второе число на дуге (рисунок 1). Задачи соответствуют поименованным работам.

Рисунок 1 — Граф распределения задач по узлам РС

Критерием оптимальности распределения ресурса является время окончания решения всех задач заданного множества.

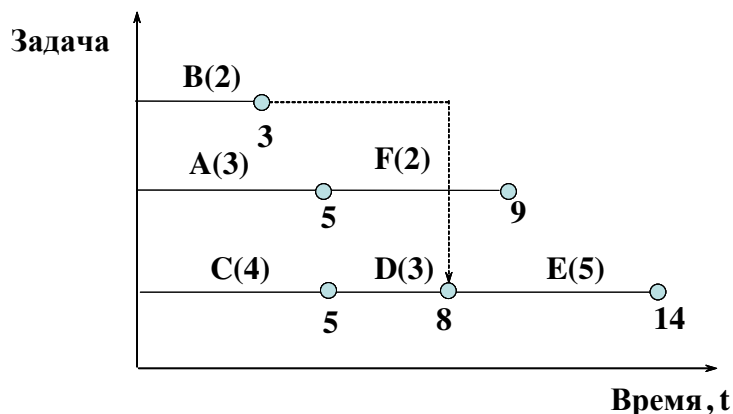


Рисунок 2 — График Ганта для задачи 1

На рисунке 2 построен график Ганта, при условии, что все работы начинаются в НРВС (наиболее ранний возможный срок), ресурсы складываются для работ, выполняемых одновременно.

На рисунке 3 изображен критический путь и проведен анализ графа без учета ресурсов.

На рисунке 4,а показаны потребности в ресурсах для наиболее ранних сроков начала работ. При решении можно воспользоваться следующими рассуждениями.

1. На отрезке времени от 0 до 3 при одновременном выполнении работ В, А, С суммарная потребность в ресурсе равна 9, что превышает ограничение — 7.

2. Работа С — критическая, сдвигать её во времени нельзя.

3. Вариант: сдвинуть сроки выполнения работ или А, или В.

4. Работу В будем выполнять с 5-го по 8-й час, это не изменит критическое время.

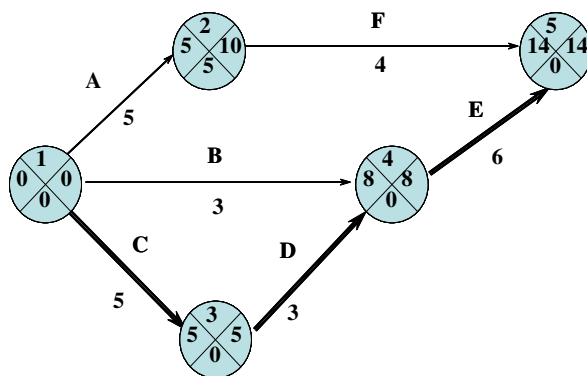
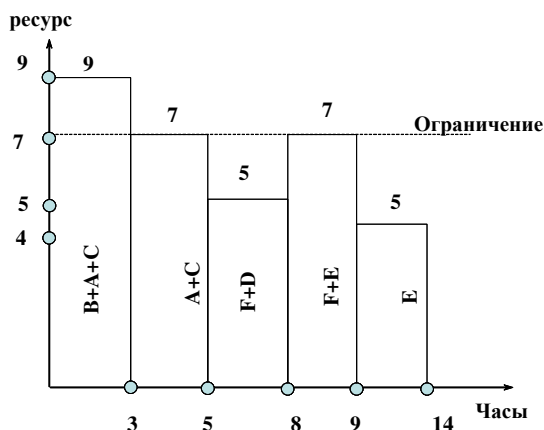
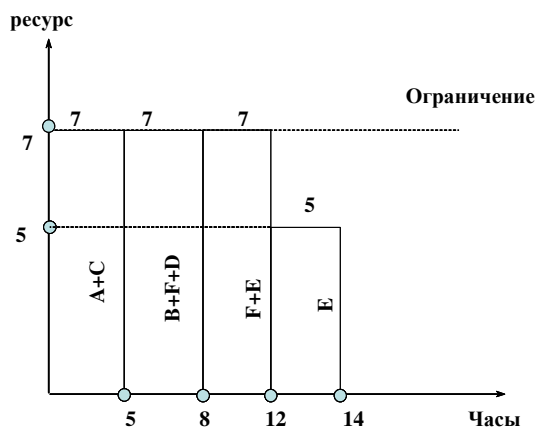


Рисунок 3 — Анализ графа для задачи №1

На рисунке 4,б изображено итоговое распределение ресурсов. Таким образом, удалось получить решение, удовлетворяющее заданному ограничению, причем суммарное время выполнения всех задач множества осталось неизменным.



а)



б)

Рисунок 4 — Перераспределение ресурсов для задачи 1

Рассмотренная задача показывает, что в простых случаях применение сетевого анализа для организации диспетчеризации весьма обосновано.

Однако в более сложных случаях, когда сетевой анализ теряет свое главное преимущество — наглядность, целесообразно в условиях полной информации воспользоваться аппаратом булевого программирования. А именно, свести задачу диспетчеризации к задаче о назначении (ЗН).

В ЗН имеется конечное число видов работ, которые могут быть выполнены потенциальными кандидатами. При этом каждый из них может выполнять только одну работу. Известна эффективность выполнения каждой работы любым из кандидатов. Необходимо распределить работы между кандидатами так, чтобы критерий эффективности стремился к заданному экстремуму. ЗН относится к классу задач булевого программирования.

Проинтерпретируем ЗН в идеологии РС. Для этого достаточно под работами понимать задачи, требующие решения на узлах РС. Кандидаты на выполнение работ представляют собой соответственно узлы РС. Предполагается, что пакет задач обрабатывается параллельно на всех узлах системы (т.е. происходит распараллеливание вычислений). Необходимо так распределить задачи по узлам, чтобы время выполнения пакета задач было минимальным. Постановка задачи видоизменяется следующим образом.

Пусть имеется n различных видов узлов и n различных видов задач. Известны времена выполнения $t_{ij} (\forall i, j \in \{1K n\})$ задач на узлах. Так как задачи решаются независимо друг от друга, то время выполнения пакета задач при определенном назначении будет равно максимальному из времен выполнения задач пакета. Поскольку в системе достаточно низкопроизводительные каналы связи, а задачи не могут быть разбиты на более мелкие независимые фрагменты, то ограничения классической ЗН, о том, что $\sum_j x_{ij} = 1$, для $\forall i$ и

$\sum_i x_{ij} = 1$, для $\forall j$ остаются в силе.

Целевая функция: $F = \max_i \{ \sum_j (t_{ij} \cdot x_{ij}) \} \rightarrow \min$.

Наложены также ограничения: $\sum_j x_{ij} = 1$ для $\forall i$ и $\sum_i x_{ij} = 1$ для $\forall j$.

Здесь и далее для всех x_{ij} , i — это номер узла, j — номер задачи.

Задача 2. Рассмотрим случай, когда $n = 5$. Времена выполнения задач на узлах $t_{ij} (\forall i, j \in \{1K 5\})$ представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Времена выполнения задач на узлах

Задача Узел	Задача1	Задача2	Задача3	Задача4	Задача5
Узел1	4	10	6	14	3
Узел2	13	15	11	19	17
Узел3	7	14	12	8	10
Узел4	9	7	6	11	8
Узел5	15	12	17	13	16

Целевая функция: $F = \max_i \{ \sum_j (t_{ij} \cdot x_{ij}) \} \rightarrow \min$.

Наложены также ограничения: $\sum_j x_{ij} = 1$ для $\forall i$ и $\sum_i x_{ij} = 1$ для $\forall j$.

Для решения задачи воспользуемся программным средством MS Excel, так как в него уже встроены все необходимые методы по решению задач булевого программирования (используем надстройку мастера поиска решения).

Исходные данные представлены в таблице 1. Результатом решения являются оптимальные значения переменных: $x_{15} = 1, x_{23} = 1, x_{31} = 1, x_{42} = 1, x_{54} = 1$. Остальные переменные равны нулю. Найденному оптимальному решению соответствует минимальное значение целевой функции $F_{opt} = \max(3, 11, 7, 7, 13) = 13$. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что первый узел следует занять пятой задачей, второй — третьей, третий — первой, четвертый — второй, а пятый узел необходимо занять четвертой задачей. При этом весь пакет задач будет выполнен не менее чем за 13 единиц времени.

Сравним предлагаемый метод с общепринятыми стратегиями диспетчеризации. Известно несколько различных стратегий организации диспетчеризации в распределенных системах. Они различаются между собой объектом ранжирования. Широко применяются следующие принципы, лежащие в основе соответствующих алгоритмов:

- 1) наиболее трудоемкие задачи решать на наиболее производительных процессорах;
- 2) наименее производительные процессоры занять наименее трудоемкими задачами.

Для этого усредним трудоемкости решения задач и производительности узлов. Полученные результаты приведены таблице 2.

Таблица 2 — Необходимые затраты и имеющиеся ресурсы

№	1	2	3	4	5
Задачи	9,6	11,6	10,4	12	10,8
Узлы	8,2	15	10,2	8,2	14,6

Согласно первой стратегии получаем решение $x_{13}=1, x_{24}=1, x_{35}=1, x_{41}=1, x_{52}=1$. При этом время решения пакета задач $f_{opt}^I = \max(6, 19, 10, 9, 12) = 19$.

Используя вторую стратегию, получаем решение $x_{11}=1, x_{24}=1, x_{35}=1, x_{43}=1, x_{52}=1$. При этом время решения пакета задач $f_{opt}^II = \max(4, 19, 10, 6, 12) = 19$.

Таким образом, предлагаемая стратегия даже на столь примитивном наборе данных обеспечивает выполнение пакета задач на 32 % быстрее. Целесообразность использования ЗН при диспетчеризации в РС очевидна.

В настоящее время в самых различных областях человеческой деятельности широко применяются РС. Решение рассмотренной задачи может сыграть огромную роль в управлении бизнес-процессами, банковскими операциями, в управлении объектами критического применения, и, в особенности, при обработке удаленно получаемых данных, характеризующих клиническое состояние кардиологических больных. Таким образом, оптимальное решение данной задачи сулит не только получение дополнительной прибыли, но и возможность сохранить самую огромную ценность — человеческую жизнь.

В дальнейшем планируется разработать систему поддержки принятия решений по организации адаптивной диспетчеризации в РС при условиях неполной информации.

Библиографический список

1. Скатков А.В. Распределенные системы: структурный анализ, классификация, экстремальные задачи на графах / А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин, Д.Н. Данильчук // Вестник национального Хмельницкого университета. — 2007. — № 3 Т.1(93) — С.77 — 82.
2. Большая советская энциклопедия. 3-е изд. [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные (34578 bytes). — М.: Рубрикон, 2004. — Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article029126.html> Monday, 14 April 2008 12:10:35.
3. Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас — М.: Мир, 1984. — 496 с.
4. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. / А.Д. Цвиркун. — М.: Наука, 1982. — 200 с.

Поступила в редакцию 22.04.2008 г.