

Предложенный итератор сочетаний в ряде случаев является привлекательным для эффективной организации передачи описания отдельных вариантов и их анализа агентами на сети. Например, в задаче размещения производственных объектов по критерию минимума транспортных расходов требуется найти сочетание из набора возможных мест размещения объектов. Вариант представлен классической транспортной задачей, а множество вариантов определяется набором всех сочетаний. Процедура оценки отдельного варианта при решении транспортной задачи может учесть предшествующие данные [4], заменяя лишь модифицируемые.

Накладные расходы на подготовку процесса генерации сочетаний определяются максимальным количеством итераций – $n \cdot m$. Очевидно, что это не вызывает роста порядка вычислительной сложности – алгоритм остается линейным [1] для каждого подмножества.

Литература

1. Липский В. Комбинаторика для программистов: Пер. с польск. – М.: Мир, 1988. – 218 с.
2. Kreher D.L., Stinson D.R. Combinatorial Algorithms: generation, enumeration and search - CRC Press, 1998. – 300 p.
3. Кишкевич А.П., Ревотюк М.П. Порождение подмножеств сочетаний // Известия Белорусской инженерной академии, № 1(17)/1, 2004. – С. 78-81.
4. Ревотюк М.П., Кузнецова Н.В. Открытая агентная система решения задач выбора на вычислительных сетях // Труды II Междунар. конф. "Параллельные вычисления и задачи управления" РАСО'2004, Москва, 4-6 октября 2004 г. // М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2004. – С. 1085-1096.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. Демяненко, И.В. Максимей, С.Ф. Маслович, В.И. Селицкий
Беларусь, г. Гомель

Введение

Рассматривается вычислительный процесс (ВП) в вычислительной системе (ВС), который реализует на множестве процессоров распределенную обработку информации (РОИ). Предлагается использовать для прогноза поведения ВП ВС при наличии следующих режимов обработки информации: диалоговое взаимодействие пользователей в ВС (режим DR); решение задач, у которых отдельные модули выполняются на разных процессорах ВС (который, назовем в дальнейшем как режим РОИ); решение задач, обработку которых нужно выполнить по частям и в любое время суток (назовем режимом отложенного счета ОТСЧ). Предполагается наличие жесткой конкуренции между этими режимами за ограниченные ресурсы информационного предприятия, эксплуатирующего проек-

тируемую многопроцессорную ВС. Целью доклада является изложение технологии имитации вариантов ВП ВС для тех случаев, когда можно представить состав и структуру задач режима РОИ в виде вероятностного сетевого графика (ВСГР) и использовать предлагаемую ниже методику динамики использования ресурсов ВС на основе сочетания аппарата сетевого планирования по процедурам Монте-Карло.

1. Формализация модели рабочей нагрузки на узлах ВС

В общем случае рабочая нагрузка (РН) на узлах многопроцессорной ВС представляет собой комбинацию запросов ресурсов j -го узла ВС всех трех режимов обработки информации: диалогового (режим 1), распределенной обработки информации (режим 2), задач отложенного счета (режим 3). Операционная система j -го узла ВС обеспечивает смешанное обслуживание этих типов запросов в режиме прерывания счета с квантом (Δt_{OC}) менее приоритетного режима более приоритетным. К каждому запросу i -го режима ($i=1,2,3$) выделяется квант непрерывного использования CPU, (Δt_{OC}) после чего CPU захватывают более приоритетные запросы (наиболее приоритетными запросами являются запросы диалогового режима, а наименее приоритетными являются запросы задач отложенного счета). Из-за ограниченного состава ресурсов узлов ВС запросы режимов обработки информации жестко конкурируют друг с другом. Очевидно, что запросы режима 1, на CPU, и HDD, не прерываются до окончания их выполнения. Наоборот, выполнение на CPU, запросов режима 3 прерываются более приоритетными запросами режимов 2 и 1. Расход ресурсов узла j каждым из режимов обработки информации можно описать своей моделью.

Режим 1 (использование ресурсов j -го узла ВС запросами диалогового пользователя) характеризуется последовательностью ($\tau_{ож1j}$, τ_{1j} , $\tau_{ож12j}$, τ_{12j}), в которой элементами являются: среднее время ожидания выполнения запросов режима 1 на узле j ($\tau_{ож1j}$); среднее время выполнения запроса на CPU, (τ_{1j}); среднее время ожидания выполнения запроса на HDD, ($\tau_{ож12j}$); среднее время использования HDD, (τ_{12j}). В итоге среднее время цикла обслуживания запроса режима 1 на j -ом узле представляется суммой $\tau_{ц1j} = \tau_{ож1j} + \tau_{1j} + \tau_{ож12j} + \tau_{12j}$. Инвариантами использования ресурсов j -го узла режима 1 являются τ_{1j} и τ_{12j} . В модели РН режима 1 предполагается, что τ_{1j} равно среднему значению, измеренному в ходе мониторинга использования ресурсов узла j . Поэтому в модели РН режима 1 интенсивность поступления запросов ресурсов j -го узла ВС постоянна и равна $\lambda_{1j} = 1/\tau_{ц1j}$. Поскольку инварианты запросов режима 1 являются случайными величинами, то для отображения порядка следования запросов ресурсов узла j моделью РН необходимо указать следующие характеристики рабочей нагрузки:

$$(\lambda_{1j}, F_{1j}(\tau), F_{12j}(V), P_{01}), \quad (1)$$

где $F_{1j}(\tau)$ и $F_{12j}(V)$ - функции распределения длительности использования CPU, и размер используемого места на HDD, P_{01} - вероятность обмена в кванте обслуживания запроса ресурсов режимом 1.

Режим 3 (использование ресурсов j -го узла ВС задачами отложенного счета) характеризуется последовательностью запросов задач пакетной обработки $\{Z_{R_{jkl}}\}$, где $k=1, \dots, n_{lj}$ - номер кванта запроса ресурсов j -го узла ВС в l -ом номере задачи в пакете задач ($l=1, \dots, \Omega_{3j}$), где Ω_{3j} - количество задач в пакете. Модель запросов ресурсов задачами отложенного счета представляет собой следующую последовательность запросов ресурсов узлов ВС:

$$Z_{R_{jkl}} = \{\tau_{0k3jkl}, \tau_{3jkl}, V_{3jkl}, P_{3jl}\}, \quad (2)$$

где τ_{0k3jkl} - время всех ожиданий использования k -го кванта ресурсов j -го узла в задаче l -го номера;

τ_{3jkl} - инвариантный интервал времени использования CPU _{j} задачей номера l ;

V_{3jkl} - размер места на HDD _{j} l -ой задачи пакета;

P_{3jl} - вероятность обмена j -ой задачи.

Поскольку все инварианты использования ресурсов j -го узла k -ой задачи l -го номера являются случайными величинами, то моделирование структуры запросов ресурсов j -го узла ВС задачами отложенного счета можно описать следующими функциями распределения (ФР):

$F_{3jkl}(\tau)$ - ФР запросов CPU _{j} l -ой задачи режима 2;

$F_{3jl}(V)$ - ФР запросов HDD _{j} l -ой задачи режима 3; (3)

P_{3jl} - вероятность обмена в j -ой задаче;

$F_{3j}(\Omega)$ - ФР количества квантов запросов ресурсов узла j в l -ой задаче пакета.

Таким образом, структура запросов ресурсов узла j последовательностью задач отложенного счета характеризуется представленными выше распределениями (3).

Режим 2 (использование ресурсов различных узлов многопроцессорной ВС запросами РОИ) представим вероятностным сетевым графиком, конструируемых двумя типами элементов:

SOB _{mjh} и SOB _{njh} - номера свершения событий m и n после выполнения запросов ресурсов на j -ом узле ВС, когда ВСГР инициируется пользователями h -го узла ВС;

MTXO _{mnh} - микротехнологические операции ВСГР инициируемые пользователем h -го узла ВС, выполняемые после свершения m -го события и активизирующие соответствующий модуль использования ресурсов j -го узла.

Из-за случайного характера запросов ресурсов этими квантами использования ресурсов при выполнении MTXO _{mnh} расход ресурсов CPU _{j} и HDD _{j} также представляют собой случайную последовательность:

$$\{(\tau_{2mnjh}, V_{2mnjh}, P_{2jh}, C_{mnjh})\}, \quad (4)$$

где τ_{2mnjh} , V_{2mnjh} - соответственно время использования CPU _{j} и места на HDD _{j} ;

P_{2jh} - вероятность обмена CPU _{j} с HDD _{j} в квантах использования ресурсов узла j в режиме 2;

C_{mnjh} - стоимость использования ресурсов j -го узла квантов запросом режима 2.

При этом предполагается, что исследователю известны регрессионные зависимости между временем использования HDD j -го узла τ_{2mjh} и размером используемого места V_{2mjh} :

$$\tau_{2mjh} = \varphi_j(V_{2mjh}) \quad (5)$$

Таким образом, основными статистиками использования ресурсов j -го узла ВС при выполнении очередной МТХО $_{mjh}$ в ВСР h -го номера являются пара значений (T_{1mjh}, C_{mjh}) , которые необходимо определить на ИМ совместного использования ресурсов j -го узла ВС запросами всех режимов обработки информации.

2. Имитационная модель вычислительного процесса ВС

На основе изложенной формализации ВП в узлах ВС с помощью комплекса имитации ПТКИ ЛВС [1] была построена имитационная модель (ИМ) ВП в ВС. Она komponуется из двух типов ИМ:

- ИМ₁ расхода ресурсов j -го узла в многопроцессорной ВС, состоящая из процессов: генератора РН диалогового режима 1 (GENER1_j); генератор задач отложенного счета в самом неприоритетном режиме 3 (GENER3_j); имитатора расхода ресурса CPU_j (PR.CPU_j); имитатора расхода ресурса внешней памяти узла j (PR.HDD_j);

- ИМ₂ организации РОИ, отображающая графовую структуру использования ресурсов ВС и представленную ВСР в тех случаях, когда РОИ инициируется пользователями h -го узла ВС. Таким образом, в ИМ ВС, состоящей из n_U узлов может быть n_I инициаторов РОИ (потому что $j=1, \dots, n_U$; $h=1, \dots, n_I$). Поскольку все процессы подмоделей 1 и 2 обладают типовыми алгоритмами имитации выполнения запроса и предоставления ресурсов, то их можно представить в виде реентерабельных программ, использующих свои версии базы данных (БД). Сочетание j -ой версии БД _{j} с реентерабельной программой образует j -ую копию процессов (GENER1 _{j} , GENER3 _{j} , PR.CPU _{j} , PR.HDD _{j}), составляющих имитационные подмодели первого типа (модели расхода ресурсов ВС). Каждый пользователь узла ВС h -го номера может реализовать на ИМ ВС уникальную структуру РОИ, задавая технологию использования ресурсов ВС с помощью ВСР _{h} . Поэтому в ИМ ВС должно быть также задано множество сетевых графиков $\{BCP_h\}$, где $h=1, \dots, n_I$. В ВС, состоящей из n_U узлов выполнимо неравенство $n_I \leq n_U$.

BCP _{h} состоит из двух типов реентерабельных программ-процессов: событий PR.SOB _{mjh} и PR.SOB _{nh} и имитаторов микротехнологических операций (PR.MTXO _{mjh}), инициируемых PR.SOB _{mjh} и активизирующих PR.SOB _{nh} . Активизация процессов-событий осуществляется в том случае, когда все PR.MTXO _{mjh} на входах процесса выполнены и срабатывает «спусковая функция» синхронизации процесса на входе PR.SOB _{mjh} . При срабатывании «спусковой функции» PR.SOB _{mjh} согласно структуре BCP _{h} активизируются все процессы PR.SOB _{mjh} , находящиеся на соответствующих выходах этих процессов.

Как видим, режим РОИ с помощью BCP _{h} может быть реализован с помощью взаимодействия подмоделей обоих типов. Каждый PR.MTXO _{mjh} BCP

может заказывать ресурсы узла ВС с помощью транзакта заказа, тело которого имеет структуру вида:

$$TR_{mnjh} = (j, h, mn, \tau_{mnjh}, V_{mnjh}, P_{2jh}), \quad (6)$$

где j - номер узла ВС, h - номер узла ВС, инициатора РОИ; mn - номер МТХО_{ijh} в структуре ВСГР_h, τ_{mnjh} и V_{mnjh} - заказанные расход CPU_j и HDD_j ресурсы j -го узла, P_{2jh} - вероятность обмена между CPU_j и HDD_j. Модули ВСГР_h номера mn выдают заказ в модель 1 на ресурсы j -го узла с помощью транзакта TR_{mnjh} и запоминают момент выдачи заказа (t_{HZh}) и далее ожидают его выполнения. После выполнения этого заказа в модель 1 на узле j транзакт возвращается в узел h на mn модуль ВСГР_h вычисляя конец выполнения заказа (t_{KZh}). В итоге определяется фактическое время выполнения заказа на узле j по формуле:

$$\tau^*_{mnjh} = t_{KZh} - t_{HZh} \quad (7)$$

Для случая, когда ВС состоит из n_U процессоров и n_I инициаторов РОИ имитационная модель ВП ВС состоит из n_U подмоделей первого типа и n_I подмоделей второго типа. Поэтому в составе ИМ ВП ВС имеется:

- n_U процессов-имитаторов расхода ресурсов ВС (GENER1_j, GENER3_j, PR.CPU_j, PR.HDD_j, $j=1, \dots, n_U$);

- n_I вероятностных сетевых графиков, которые конструируются из двух типов реентерабельных программ-процессов (PR.MTXO_{mnh} и PR.SOB_{mnh}, $h=1, \dots, n_I$). В каждом из ВСГР_h может быть различное число вершин процессов, которые формируются путем объединения копии реентерабельной программы и соответствующего рабочего поля параметров в базе данных БД2 режима РОИ.

Процессы-имитаторы расхода ресурсов (PR.CPU_j и PR.HDD_j) обслуживают каждый по три очереди запросов на ресурсы соответственно CPU_j и HDD_j. Процессы GENER1_j с интенсивностью λ_j формируют транзакт TR1_j, имеющий «тело» в виде (1). Процесс GENER3_j по окончании решения предыдущей задачи формирует транзакт TR3_j, имеющий «тело» (2). По информации, которая находится в «телах» этих транзактов процесс PR.CPU_j определяет расходы ресурсов CPU_j каждым типом запроса. Причем ресурс CPU_j предоставляется запросу на интервал времени Δt_{OC} и по его окончании проверяется возможность предоставления еще одного кванта ресурса CPU_j данному запросу. При появлении более приоритетного запроса в очереди к PR.CPU_j ему предоставляется следующий квант ресурса CPU_j.

Запросы ВСГР_j режима РОИ имеют меньший приоритет в захвате ресурса CPU_j. В конце концов, запросы ресурса CPU_j выполняются за существенно большее время, чем заказанный процессом PR.MTXO_{mnh} интервал времени использования CPU_j τ_{mnjh} . Только после завершения обмена на PR.HDD_j запрос ВСГР_h от модели 1 узла j возвращается процессу PR.MTXO_{mnh}. В этот момент определяется по формуле (7) фактическое время выполнения МТХО_{mnh} (τ_{mnjh}) и PR.MTXO_{mnh} инициирует PR.SOB_{mnh}. Только после инициализации всех входов PR.SOB_{nh} (имитации всех PR.MTXO_{mnh} на модели 1 узла j) срабатывает «спусковая функция» процесса и осуществляется инициализация процессов PR.MTXO_{mnh} на входе PR.SOB_{mnh}. При срабатывании «спусковой функции» завершающего события ВСГР_h фиксируется время фактической реализации РОИ

для случая, когда инициатором является пользователь n -го узла ВС (T_{in}) в i -ой реализации ИЭ согласно процедуре Монте-Карло.

Заключение

Рассмотренная выше имитационная модель использования ресурсов совместно запросами всех режимов ВП ВС позволит оценить, насколько ухудшаются отклики качества реализации ВП в ВС при подключении режимов РОИ. Использование процедуры Монте-Карло дает возможность оценить величину ошибки имитации совместного использования ресурсов ВС всеми режимами обработки информации. Таким образом, имитационная модель ВП ВС использования ресурсов ВС при наличии распределенной обработки информации имеет хорошую перспективу использования при проектном моделировании вариантов организации ВС.

Литература

1. Левчук В.Д., Максимей И.В. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / М-во образов. РБ, Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины. - Гомель: ГГУ им. Скорины, 2006. - 263с.