

МЕТОД ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СРЕД

С.А. Степаненко

Российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

АННОТАЦИЯ

Предлагаемый метод позволяет при выполнении определенных условий оценить значения производительности и эффективности создаваемой (проектируемой) мультипроцессорной среды, которые могут быть достигнуты этой средой на заданной программе. Метод использует экспериментальные значения производительности и эффективности, полученные на заданной программе для определенных компонентов создаваемой (проектируемой) среды и в специально оговариваемых случаях для ранее созданных сред в результате их тестирования на этой программе.

Метод обобщается на гибридные мультипроцессорные среды, элементы которых содержат универсальные процессоры – MIMD компоненту и арифметические ускорители – SIMD компоненту.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование является одним из основных современных средств исследований в различных областях естествознания.

Сложность этих исследований требует применения высокопроизводительной вычислительной техники, в частности, параллельных вычислительных систем.

Эти системы позволяют получать решение задачи посредством распараллеливания вычислительного процесса, т.е. одновременного выполнения нескольких процессов.

Вычислительная система содержит вычислительную среду и периферийные компоненты.

Вычислительной средой, будем называть совокупность одинаковых вычислительных устройств, соединенных каналами связи.

Определяющим параметром вычислительной системы является производительность ее мультипроцессорной среды.

В идеале производительность среды в процессе вычислений является суммой производительностей ее процессорных элементов. Реальная производительность может быть сильно меньше идеальной; это следствие затрат времени на выполнение обменов информацией между процессорными элементами, отказов отдельных процессорных элементов и т.п. Отношение реальной производительности, достигаемой на заданной программе, к идеальной называется эффективностью среды (на этой программе).

Эффективность зависит от особенностей решаемой задачи и параметров мультипроцессорной среды.

Параметрами мультипроцессорных сред, определяющими их эффективность, являются количество процессорных элементов, соотношение между арифметической производительностью процессоров и пропускной способностью средств связи, топология связей среды, надежность и т.д.

Мультипроцессорные среды могут содержать тысячи процессорных элементов.

Задача прогнозирования производительности и эффективности создаваемых (проектируемых) мультипроцессорных сред является весьма актуальной. Последнее обусловлено большой стоимостью этих систем, трудоемкостью их создания.

Необходимо иметь средства, позволяющие для определенного класса задач уже на стадии проектирования оценить производительность и эффективность разрабатываемой вычислительной среды. Тем самым определяется возможность ее применения по назначению.

Исследуемый в этой работе метод прогнозного расчета производительности и эффективности проектируемой среды на заданной программе требует при выполнении определенных условий лишь значений производительности и эффективности, достигнутых на этой программе определенными компонентами проектируемой среды и в специально оговариваемом случае - ранее созданной средой. Метод обобщается на гибридные мультипроцессорные среды, элементы которых содержат универсальные процессоры – MIMD компоненту и арифметические ускорители – SIMD компоненту.

Метод основан на использовании:

- принципа идентичности топологий мультипроцессорных сред;
- условия соблюдения баланса между пропускной способностью средств связи и арифметической производительностью среды.

Достоинством излагаемого метода является сравнительная простота и небольшое количество требуемых исходных данных. Недостатком – весьма жесткие, не всегда приемлемые на практике условия идентичности топологии и соблюдения баланса, требуемые для его применения. Метод не заменяет известные средства анализа производительности и эффективности. Он дополняет их в определенных выше условиях.

1 КОЭФФИЦИЕНТ УСКОРЕНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНОЙ СРЕДЫ

Эффективность мультипроцессорной среды определим через коэффициент ускорения для известных ([8]) метода деления вычислений (закон Амдаля) и метода умножения вычислений (закон Густафсона).

Мультипроцессорная среда состоит из процессорных элементов, соединенных между собой каналами связи. Структура процессорного элемента приведена на рисунке 1. Он содержит d вычислительных модулей (ВМ) и полный матричный коммутатор (КМ), имеющий q каналов, часть которых соединена с ВМ, а остальные – с другими элементами среды. Вычислительный модуль в общем случае представляет собой SMP систему, содержащую m процессоров, работающих на общей памяти.

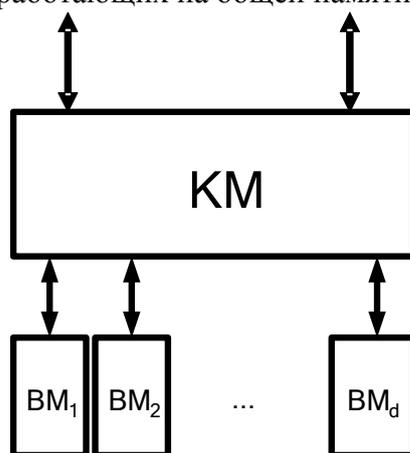


Рисунок 1 – Структура процессорного элемента

В этой работе предполагается, что среда абсолютно надежна.

2 МЕТОД ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНОЙ СРЕДЫ

Эффективность мультипроцессорной среды зависит от значений эффективности компонент, образующих эту среду. Эта зависимость может быть представлена аналитически.

Структура среды представлена на рисунке 2. Она содержит коммуникационную среду, объединяющую ω процессорных элементов, каждый из которых состоит из d вычислительных модулей (см. рис.1).

Полагаем для простоты, что каждый вычислительный модуль содержит один процессор (одно процессорное ядро).

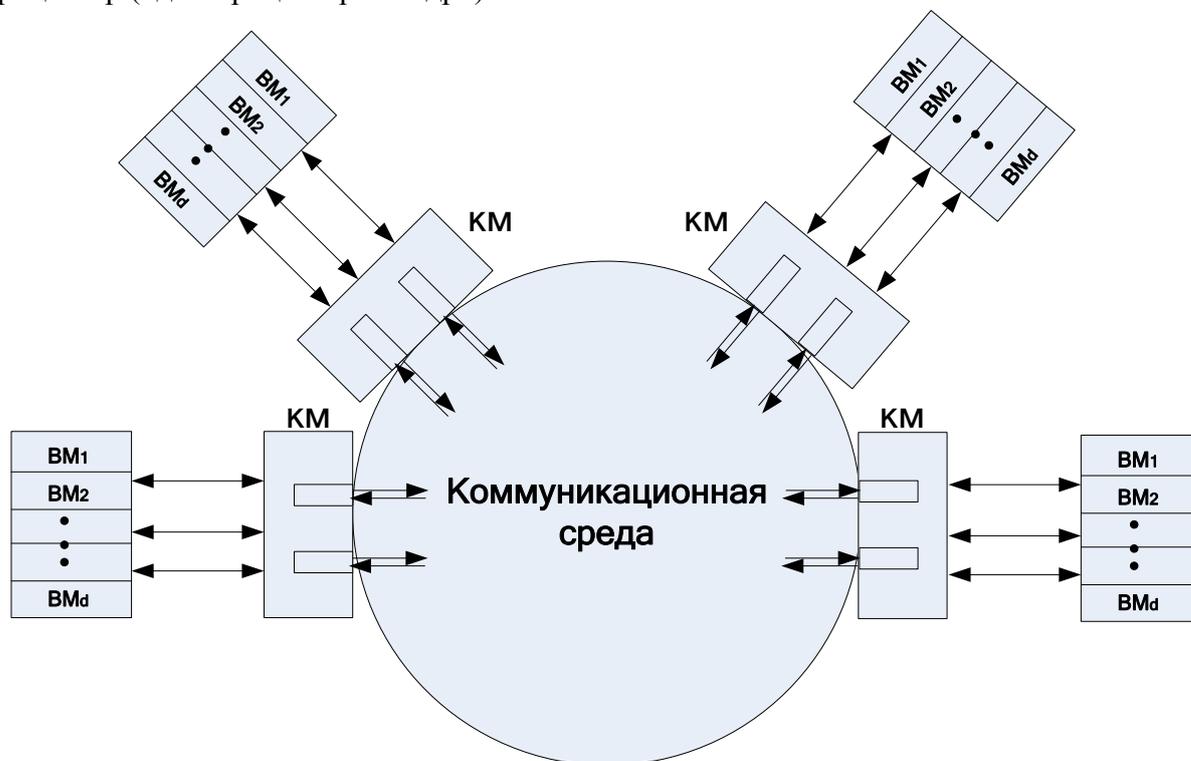


Рисунок 2 – Структура мультипроцессорной среды

Пусть E_f^Σ эффективность среды на заданном вычислительном процессе.

Фрагменты этого процесса выполняются в параллельном режиме отдельными процессорными элементами в течение интервала:

$$T_1^\Sigma = (T_{C1} + T_{E1}) = \frac{T_{C1}}{E_{f1}},$$

где

T_{C1} – собственно длительность арифметических операций, выполняемых процессорным элементом (вычислительным модулем);

$T_{E1} = T_S + \frac{Q}{V}$ – длительность обменов между вычислительными модулями данного процессорного элемента;

$E_{f1} = \frac{K_1}{d}$ – эффективность процессорного элемента, K_1 – коэффициент ускорения, достигнутый применением процессорного элемента на заданном фрагменте вычислительного процесса, d – количество вычислительных модулей в процессорном элементе; в каждом модуле одно процессорное ядро.

Длительность выполнения средой всего вычислительного процесса обозначим T_2^Σ .

Очевидно,

$$T_2^\Sigma = T_{C2} + T_{E2} = \frac{T_{C2}}{E_{f2}},$$

где
 $T_{C2} = T_1^\Sigma$ – длительность вычислений выполняемых отдельными процессорными элементами;
 T_{E2} – длительность обменов между элементами;
 $E_{f2} = \frac{K_2}{\omega}$ – эффективность среды на данном процессе, K_2 – коэффициент ускорения вычислений.

Имеем

$$T_2^\Sigma = (T_{C2} + T_{E2}) = \frac{T_{C2}}{E_{f2}} = \frac{(T_{C1} + T_{E1})}{E_{f2}} = \frac{T_{C1}}{E_{f1}E_{f2}}.$$

Итак,

$$T_2^\Sigma = \frac{T_{C1}}{E_{f1}E_{f2}},$$

откуда

$$\frac{T_{C1}}{T_2^\Sigma} = E_{f1}E_{f2}.$$

По определению $\frac{T_{C1}}{T_2^\Sigma}$ – отношение длительности собственно арифметического процесса к длительности всего вычислительного процесса, (включающего помимо вычислений еще и обмены информацией). Следовательно, $\frac{T_{C1}}{T_2^\Sigma}$ – есть эффективность E_f^Σ всей среды на данном процессе.

Таким образом, получаем

$$E_f^\Sigma = E_{f2}E_{f1}.$$

Очевидно, если процессор содержит несколько ядер, объединенных собственным коммутатором, и эффективность, достигаемая процессором, составляет E_{f0} , то

$$E_f^\Sigma = E_{f2}E_{f1}E_{f0}.$$

Далее для удобства изложения конструктивные компоненты мультипроцессорных сред, реализующие различные уровни параллелизма, будем согласно [9] именовать *кластерами*. Напомним, кластер $(i+1)$ уровня состоит из кластеров i -ого уровня. Например, *кластер нулевого уровня* – процессорное ядро, *кластер первого уровня* – процессор, состоящий из нескольких ядер, *кластер второго уровня* – вычислительный модуль, содержащий несколько процессоров, объединенных либо в SMP, либо в MPP систему, *кластер третьего уровня* – процессорный элемент, содержащий несколько вычислительных модулей, взаимодействующих через коммутатор т.д.

Применение понятия кластера позволяет формализовать используемые в литературе термины – узел, блэйд, шасси, группа, стойка и т.п. ([10]). В этой работе в каждом конкретном случае конструктивное исполнение кластера i -ого уровня уточняется.

Из предыдущего следует, что эффективность среды, представляющей собой кластер r уровня есть

$$E_{fr}^\Sigma = \prod_{i=0}^{(r-1)} E_{fi}.$$

Пусть π_0 – производительность кластера нулевого для данной среды уровня, зафиксированная на заданной программе. Согласно определению, производительность всей среды на этой программе

$$\pi^{\Sigma} = E_f^{\Sigma} \cdot \pi_0.$$

Полученные значения π^{Σ} и E_f^{Σ} среды зависят только от значений π_i и E_{fi} , достигаемых кластерами i -го уровня - компонентами данной среды. Необходимый состав компонент отличается для различных классов сред; этот состав уточняется в следующем разделе. Значения π_i и E_{fi} могут быть получены на заданной программе экспериментально или теоретически для отдельных компонент и позволяют осуществить прогнозный расчет производительности и эффективности всей среды на этой программе.

3 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Среды, имеющие одинаковую топологию на различных уровнях параллелизма, называются однородными; образующие их кластеры, реализуют одинаковые топологии.

Среды, реализующие на различных уровнях различные топологии, называются неоднородными; образующие их кластеры реализуют различные топологии.

В данной главе представлены применения метода прогнозного расчета производительности и эффективности к обоим классам сред. В том числе:

- расчет производительности и эффективности однородных сред;
- расчет производительности и эффективности неоднородных и гибридных сред;
- расчет значений параметров мультипроцессорной среды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный метод позволяет при выполнении определенных условий оценить значения производительности и эффективности создаваемой (проектируемой) мультипроцессорной среды, которые могут быть достигнуты этой средой на заданной программе. Метод использует экспериментальные значения производительности и эффективности, полученные на заданной программе для определенных компонентов создаваемой (проектируемой) среды и в специально оговариваемых случаях для ранее созданных сред в результате их тестирования на этой программе.

Метод обобщается на гибридные мультипроцессорные среды, элементы которых содержат универсальные процессоры – MIMD компоненту и арифметические ускорители – SIMD компоненту.

Метод основан на использовании:

- принципа идентичности топологий мультипроцессорных сред;
- условия соблюдения баланса между пропускной способностью средств связи и арифметической производительностью процессорного элемента.

Достоинствами излагаемого метода являются сравнительная простота и небольшое количество требуемых исходных данных. Недостатком – весьма жесткие, не всегда приемлемые на практике условия идентичности топологии и соблюдения баланса, требуемые для его применения. Метод не заменяет известные средства анализа производительности и эффективности. Он дополняет их в определенных выше условиях.

Рассмотренный метод позволяет, оценив производительность и эффективность создаваемой (проектируемой) среды на заданной программе, сделать вывод о возможности применения этой среды по назначению.