

Аффинные преобразования в распараллеливании циклов

М. А. Горелов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

ЗАО «МЦСТ»

Для увеличения производительности современных вычислительных комплексов ведущие производители перешли на создание многоядерных архитектур. Однако большинство существующих приложений написаны для последовательного исполнения на одноядерных машинах. Таким образом, задача автоматического распараллеливания на уровне потоков приобретает все большую актуальность.

В большинстве вычислительных задач основная часть времени тратится на вычисления, которые содержатся внутри циклов, поэтому применение автоматического распараллеливания на уровне потоков наиболее эффективно именно для них.

Часто из-за зависимостей между обращениями к массивам в различных итерациях цикла к нему не применимы стандартные методы автоматического распараллеливания. Однако во многих вычислительных задачах, содержащих циклы, обращения к массивам аффинны, то есть представимы в виде аффинных функций от индексных переменных охватывающих циклов. Это позволяет применить методы линейной алгебры и целочисленного программирования и преобразовать цикл к виду, в котором применительно к нему можно выполнить автоматическое распараллеливание.

Целью данной работы стало исследование возможности увеличения эффективности автоматического распараллеливания в оптимизирующем компиляторе «Эльбрус» с помощью применения данной техники.

Функция от одной или нескольких переменных называется аффинной, если она может быть представлена как линейная комбинация этих переменных плюс константа. Пространство итераций гнезда циклов — это множество значений, которые принимают индексные переменные гнезда. Математически можно смоделировать итерационное пространство гнезда циклов глубиной d как многогранник в d -мерном пространстве и записать в матричном виде с помощью системы линейных неравенств. Аффинные функции обращений к массивам, которые отображают вектор индексных переменных на пространство данных, также могут быть представлены в матричном виде. Далее в зависимости от постановки задачи составляется и решается система линейных неравенств. В результате получается некоторая аффинная функция, на основании которой производится трансформация цикла.

В рамках данной работы рассматривались две задачи: распараллеливание без синхронизации между потоками и распараллеливание с синхронизацией.

Решением первой задачи является аффинное разбиение — аффинная функция, которая разделяет пространство итераций на независимые подпространства, выполняемые различными потоками. Инструкции, между которыми есть зависимость, должны быть отнесены к одному подпространству. Данная задача имеет решения для относительно небольшого класса вычислительных задач. Математически более сложная задача распараллеливания с синхронизацией более универсальна. Здесь для каждой инструкции строится так называемое «расписание» — аффинная функция, которая каждой инструкции ставит в соответствие момент времени, когда она должна выполняться. Инструкции, для которых значения «расписаний» совпадают, могут быть выполнены параллельно.

Важный результат данного исследования заключается в том, что все системы уравнений, используемые для решения данных задач, могут быть построены и решены средствами оптимизирующего компилятора «Эльбрус». Таким образом, была разработана теоретическая основа для дальнейшей практической реализации.

Литература

1. *А. Ахо, М. Лам, Р. Сети, Дж. Ульман.* Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 1184 с. : ил. – Парал. тит. англ.
2. *P. Feautrier.* Some efficient solutions to the affine scheduling problem. Part I. One-dimensional time.