

Реконфигурируемые вычислительные системы на основе полей ПЛИС

И.А. Каляев, И.И. Левин

Каляев Игорь Анатольевич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), 347928, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, ГСП-284, (8634) 36-03-76, kaliaev@mvs.sfedu.ru

Левин Илья Израилевич, доктор технических наук, зам. директора по науке, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), 347928, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, ГСП-284, (8634) 319-092, levin@mvs.sfedu.ru

Широкий класс задач обработки информации и управления составляют так называемые потоковые задачи. К этому классу относятся задачи, требующие обработки упорядоченного множества (потока) векторов данных по фиксированному алгоритму, представляемому, как правило, в виде некоторого информационного графа (графа алгоритма) $G(Q, X)$, вершинами которого являются вычислительные операции, а дуги определяют потоки передачи данных между ними. В качестве примера потоковых задач можно привести задачи обработки радиолокационной и гидроакустической информации, криптографии, дистанционного зондирования, мониторинга компьютерных сетей, обнаружения космических объектов и т.п.

В докладе дается формальная постановка потоковой задачи и анализируются различные подходы к ее решению – фон-неймановской, конвейерный и мультиконвейерный. Показывается, что последний способ обеспечивает максимальное распараллеливание вычислительного процесса при решении потоковой задачи и, как следствие, минимальное время ее решения. При этом, чем проще («мелкозернистее») будут вычислительные операции, реализуемые на ступенях мультиконвейера, тем будет обеспечиваться больший темп (частота) выдачи выходных данных и, соответственно, тем меньше будет общее время решения потоковой задачи в целом.

Далее в докладе анализируются и сравниваются различные вычислительные средства с точки зрения эффективности реализации мультиконвейерной обработки. Показывается, что наименьшие непродуктивные временные потери и, соответственно, наивысшую реальную производительность при реализации мультиконвейерных вычислителей обеспечивает специализированная вычислительная структура, адекватная графу $G(Q, X)$. Однако с другой стороны, понятно, что создание уникального спецвычислителя требует больших временных и финансовых затрат. Существенно меньших затрат требует реализация мультиконвейерных вычислителей на базе МВС кластерного типа, построенных с использованием коммерчески доступных вычислительных узлов. Однако жесткая архитектура подобных МВС приводит к возникновению больших непродуктивных временных потерь при организации мультиконвейерных вычислений, и соответственно низкой реальной производительности. Поэтому делается вывод, что наиболее эффективным способом реализации мультиконвейерных вычислений является использование реконфигурируемых вычислительных систем, архитектура которых может адаптироваться под топологию графа $G(Q, X)$ решаемой задачи, за счет чего достигается высокая реальная производительность, сопоставимая со специализированным вычислителем, при относительно небольших финансовых затратах на его создание.

Рассматривается эволюция реконфигурируемых вычислительных систем и показывается, что новый импульс в их развитии придало появление программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) высокой степени интеграции.

В докладе предлагаются основные принципы построения реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) на основе ПЛИС. Основная идея при этом заключается в организации с помощью ПЛИС некоторого вычислительного поля, в рамках которого можно создавать различные мультиконвейерные вычислительные структуры с «мелкозернистой» степенью распараллеливания. Показано, что использование вычислительных полей на основе ПЛИС позволяет осуществлять «тонкую» подстройку вычислительной системы под граф алгоритма решаемой задачи, за счет чего достигается высокий темп обработки потоковых данных и, как следствие, малое время решения задачи в целом.

Однако при реализации такого подхода возникает ряд технических проблем, пути решения которых рассматриваются в докладе.

Во-первых, физические ограничения на размеры вычислительного поля ПЛИС могут привести к тому, что весь граф $G(Q, X)$ не может быть структурно реализован в имеющемся поле ПЛИС. Данная проблема может быть решена путем использования структурно-процедурного метода организации вычислений. Суть этого метода заключается в предварительном разрезании информационного графа задачи $G(Q, X)$ на непересекающиеся подграфы (кадры) и организации последовательной процедуры структурной реализации этих подграфов в поле ПЛИС.

Вторая техническая проблема связана с длительным временем перепрограммирования (реконфигурации) ПЛИС, что ведет к большим непродуктивным временным потерям в процессе структурно-процедурной организации вычислений в поле ПЛИС. Эту проблему предложено решать путем динамической реконфигурации не всего поля ПЛИС, а только лишь информационных связей между предварительно созданными в поле ПЛИС функциональными модулями, ориентированными на решение текущей задачи.

В докладе приводятся примеры реальных РВС, созданных на основе полей ПЛИС и реализующих изложенные выше принципы, а также примеры и результаты их практического использования при решении ряда прикладных потоковых задач обработки информации и управления. Показано, что РВС на основе ПЛИС существенно опережают вычислительные системы других типов при решении задач данного класса по таким характеристикам как соотношения «реальная производительность/пиковая производительность», «реальная производительность/объем» и «реальная производительность/стоимость», что открывает широкие перспективы для их использования при создании различных систем обработки информации и управления, в том числе бортовых систем реального времени.

Особое внимание в докладе уделяется средствам программирования РВС на основе ПЛИС. До последнего времени программирование РВС представляло сложную проблему, поскольку требовало от пользователя специальных знаний в области схемотехнического проектирования. Это, в свою очередь, приводило к достаточно длительному времени программирования РВС. С целью устранения данного недостатка было создано специальное системное программное обеспечение, использование которого позволяет существенно упростить процесс программирования РВС на основе поля ПЛИС и свести его по сложности и программированию обычных кластерных МВС. В докладе представляется структура комплекса системного программного обеспечения для РВС на основе ПЛИС, приводятся общие принципы его организации, а также принципы функционирования и взаимодействия отдельных компонентов.