

Объектно-атрибутная модель программирования для параллельных вычислительных систем с управлением потоком данных

С.М. Салибекян¹, П.Б. Панфилов², Г.Н. Гончарук¹

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»¹,
Минэкономразвития Российской Федерации²

Объектно-атрибутная (ОА) архитектура вычислительной системы (ВС) является разработкой Московского института электроники и математики национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ). ОА-архитектура обеспечивает эффективную работу параллельной ВС согласно модели организации вычислений с управлением потоком данных (так называемая dataflow-парадигма организации вычислений) как на программном, так и на аппаратном уровнях. ОА-ВС представляет собой совокупность параллельно работающих функциональных устройств (ФУ), производящих обработку данных и обменивающихся между собой «токенами» (операндами, снабженными служебной информацией), состоящими из двух полей: нагрузки (данные или указатель на данные) и атрибута (идентификатор нагрузки). ФУ в ОА-архитектуре ВС могут быть реализованы аппаратно или программно.

Программная реализация ФУ в ОА-модели программирования в какой-то степени напоминает «актор» в акторной модели программирования. Однако, в отличие от актора, ФУ осуществляет обмен информацией с «внешним миром» через универсальный интерфейс (т.е. все процедуры реализации алгоритма работы ФУ имеют одинаковый заголовок), через который операнды передаются по одному. И если в акторной модели связи между акторами задаются «статически» с помощью графического редактора или XML-подобного языка, то ОА-модель позволяет создавать и уничтожать ФУ, инициализировать ФУ, задавать и перестраивать связи между ФУ «динамически» непосредственно во время вычислительного процесса. К тому же, ОА-модель дает возможность динамически перераспределять вычислительные ресурсы ВС.

В настоящий момент осуществлена программная реализация ВС ОА-архитектуры: создана инструментальная среда ОА-программирования и моделирования, в состав которой входят ОА-платформа (совокупность программ виртуальных ФУ), включающая в себя более 70 типов ФУ; ОА-язык параллельного программирования; а также инструментальные средства, облегчающие процесс программирования и отладки параллельной программы. Стиль написания программ на ОА-языке идеально подходит для описания параллельного вычислительного процесса, что значительно упрощает работу программиста: программа естественным образом делится на параллельные блоки, и обеспечивается самосинхронизация работы этих блоков по данным. Среда также предоставляет возможность имитационного моделирования прикладной ОА-системы: настройка задержек вычислений на ФУ и при передаче данных по линии связи (шине данных-атрибутов), отслеживание модельного времени событий в ВС во время вычислительного процесса и т.п.

С помощью ОА-среды были решены некоторые прикладные задачи и осуществлено моделирование суперкомпьютерной системы ОА-архитектуры на тестовых задачах-бенчмарках, включая задачи сеточных вычислений из широкого класса задач физического моделирования, задачи на графах теста GRAPH500, задачи поиска подстрок в тексте теста GREP и др. В результате моделирования была доказана эффективность ОА-архитектуры для организации параллельного вычислительного процесса (на некоторых тестовых задачах обеспечивался линейный рост производительности ВС в зависимости от объема аппаратных ресурсов в ее составе).

В планы дальнейших исследований в области ОА-архитектуры параллельной ВС и ОА-модели программирования входит развитие инструментальной среды ОА-программирования и моделирования (усовершенствование языка ОА-программирования, доработка инструментальных средств программирования и отладки, расширение ОА-платформы путем добавления новых типов ФУ) и реализация прототипа ОА-ВС в «железе», например, на базе ПЛИС/FPGA.