

# БЛОЧНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В.Молдованов  
Кафедра ЭВМ, ДонГТУ  
[mold@cs.dgtu.donetsk.ua](mailto:mold@cs.dgtu.donetsk.ua)

С.Н.Святный  
Институт динамики сложных технических систем им. М.Планка,  
Магдебург, Германия  
[svjatnyj@mpi-magdeburg.mpg.de](mailto:svjatnyj@mpi-magdeburg.mpg.de)

## Abstract

*Moldovanov A.V., Svjatnyj S.N. Block-oriented approach to the development of concurrent simulation models of dynamic systems. An application of block-oriented method to the simulation on MIMD computers is discussed. This method implies the use of a graph of functional blocks for the solution of differential equations. An object-oriented implementation of MIMD simulation environment is considered.*

## Введение

При моделировании динамических систем (ДС) в рамках массивно параллельной моделирующей среды (МПМС) [1] возникает необходимость создания параллельных моделей. Существующие языки моделирования (ЯМ) такие как, Simulink и ACSL, предоставляют эффективные и удобные для пользователя средства моделирования, однако, они реализованы только для последовательных ЭВМ. В настоящее время нет языка параллельного моделирования (ЯПМ), поэтому приходится разрабатывать параллельные модели с помощью обычных языков программирования, таких как С, С++ и Fortran. В настоящей статье рассматривается блочно-ориентированный (БО) подход к разработке языка параллельного моделирования динамических систем, являющегося MIMD-компонентом МПМС.

## Блочнo-ориентированный метод решения задачи Коши и MIMD-параллельность

Моделирование сложных динамических систем связано с решением задачи Коши для системы нелинейных дифференциальных уравнений (ДУ).

$$\begin{aligned}\bar{Y}' + A\bar{\phi}(\bar{Y}) &= \bar{F}(\bar{Y}, t) \\ \bar{Y}(0) &= \bar{Y}_0\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Y}_0$ ,  $\bar{\phi}$ ,  $\bar{F}$  – векторы,  $A$  – матрица коэффициентов с элементами  $a_{ij}$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, m\}$ , при этом  $m$  – количество компонентов векторов, т.е. порядок системы

уравнений. Блочно-ориентированный подход предполагает, что система (1) представляется в виде  $m$  уравнений, разрешаемых относительно  $\dot{Y}_i$ .

$$\dot{Y}_i = -\sum_{j=1}^m a_{ij} \phi_j(\bar{Y}) + f_i(\bar{Y}, t); i = 1, \dots, m \quad (2)$$

Существующие блочно-ориентированные языки моделирования содержат линейные и нелинейные функциональные блоки, которые выполняют все операции, необходимые для решения системы (2). Для  $m$  уравнений (2) можно предложить блок-схему решения (рис. 1), состоящую из следующих блоков:  $m$  интеграторов,  $m$  сумматоров,  $m \cdot m$  блоков умножения для вычисления  $a_{ij} \phi_j(\bar{Y})$ ,  $2 \cdot m$  генераторов функций для  $\phi_j(\bar{Y})$  и  $f_j(\bar{Y}, t)$ .

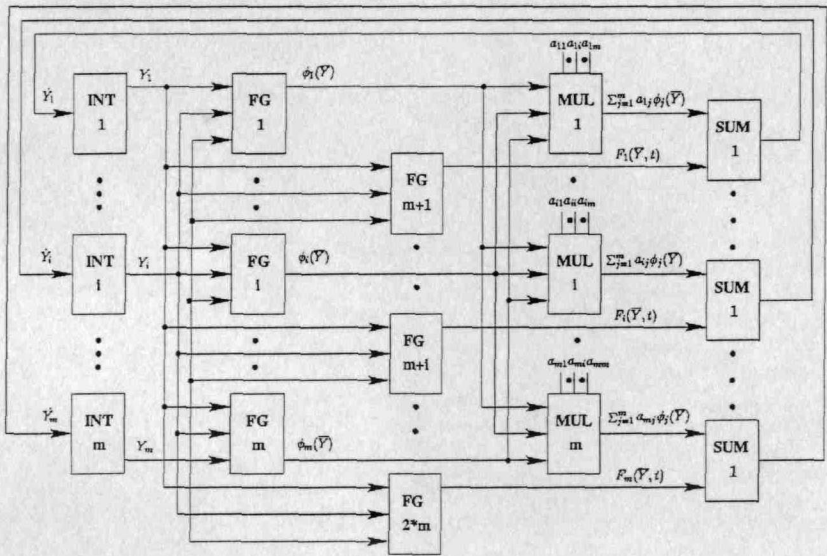


Рисунок 1. Обобщенная блок-схема.

В общем виде (рис. 2) функциональный блок можно определить как блок с  $t$  входами  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$  и  $k$  постоянными параметрами  $(a_1, a_2, \dots, a_k)$ . На выходе блока формируется функция вида:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_m, a_1, a_2, \dots, a_k) \quad (3)$$

где  $F$  – линейный или нелинейный оператор.

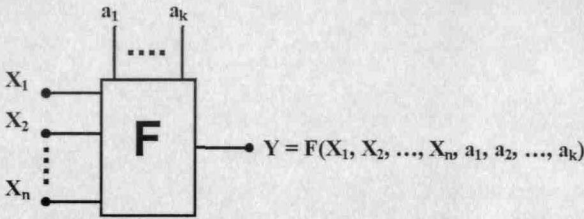


Рисунок 2. Функциональный блок.

Так как все виртуальные блоки выполняют операции над своими входными данными параллельно (т.е. одновременно с другими блоками), то каждый из них можно рассматривать как виртуальный MIMD-процесс. Таким образом, блочно-ориентированный метод решения полностью соответствует принципу организации MIMD-систем.

Связи между блоками представляются графом связей виртуальных процессов, формируемым на основании блок-схемы. С помощью разработанной структурной схемы можно показать (рис. 3), что блочно-ориентированный метод позволяет решать задачу (2) параллельно в соответствии с принципом MIMD, отображая виртуальную структуру процессов и граф связей (уровень процессов) на конкретную структуру параллельной ЭВМ с имеющимися в ней межпроцессорными связями (уровень процессоров).

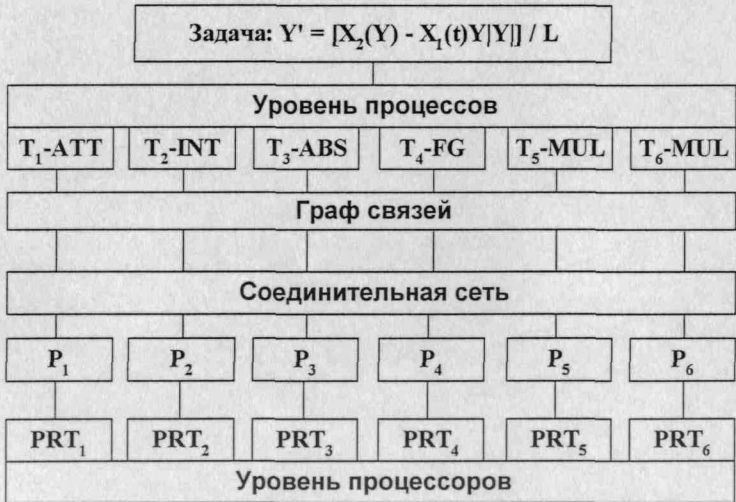


Рисунок 3. Отображение БО-модели на MIMD-структуру

### Организация моделирующей среды

Наибольший интерес представляют следующие аспекты организации моделирующей среды:

1. Возможность создания структуры БО модели в диалоговом режиме, подобном тому, который реализован в современных системах моделирования. При параллельном моделировании динамических систем реальной сложности важно, чтобы структуру модели можно было представить в удобном для разработчика виде. В связи с этим рассматривается объектно-ориентированная (ОО) спецификация ДС [2] и ее применение к БО структуре модели.
2. БО структура модели отображается на виртуальную структуру параллельной модели (ВСПМ), которая на основании определения виртуальной пары "функциональный блок – процесс" представляется структура связей между процессами и описывается с помощью вектора связей  $VST_i$  для каждого процесса  $T_i$ , матрицы соединений  $KM$ , и матрицы состояния модели  $MZM$ . Вектор связей для процесса  $T_i$  имеет вид:

$$VST_i = (S_{i1}T_1, S_{i2}T_2, \dots, S_{ik}T_k, \dots, S_{in}T_n) \quad (4)$$

где  $i$  – номер процесса, а  $S_{ik}$  определяется как:

$$S_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } T_i \text{ связан с } T_k \\ 0, & \text{если } T_i \text{ не связан с } T_k \end{cases} \quad (5)$$

Если  $k = i$ , то  $S_{ki} = 1$ , т.е. промежуточные результаты используются в дальнейших вычислениях.

Вектор  $VST_i$  соответствует виртуальному процессу  $T_i$  с одним выходом и  $m$  входами, кодируемыми  $S_{ij}$ . С помощью векторов связей  $VST_i$  можно определить матрицу состояния модели  $MZM$ :

$$MZM = KM * DT = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & S_{n2} & \dots & T_n \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $KM$  – матрица соединений, а  $DT$  – диагональная матрица процессов  $T_i$ . Матрица состояния модели однозначно определяет все связи между виртуальными функциональными блоками и служит для преобразования формального описания модели (блок-схема модели, язык моделирования и т.п.) в параллельную моделирующую программу.

3. Девиртуализация ВСПМ осуществляется в следующем порядке:
  - a) анализ объема вычислений в каждом блоке (рис. 4);
  - b) поиск равных по объему вычислений цепочек блоков;
  - c) отображение структуры модели на структуру процессов с учетом найденных цепочек;

- д) отображение структуры процессов на конкретную структуру параллельной ЭВМ [3, 4].

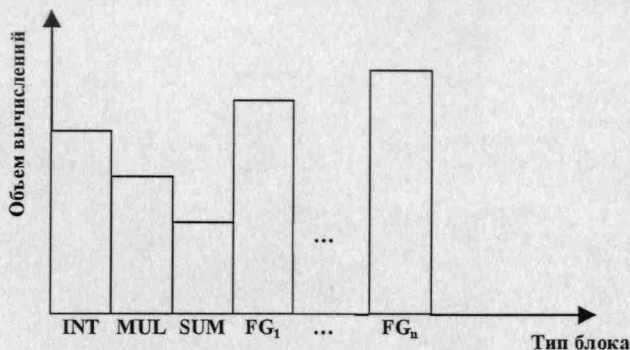


Рисунок 4. Анализ относительного объема вычислений в блоках.

### Реализация моделирующей среды

Для реализации БО подхода была разработана библиотека функциональных блоков, а также основные компоненты интерфейса пользователя. С помощью этой библиотеки был разработан ряд моделей ДС и проведены их исследования на параллельной ЭВМ Intel Paragon и кластере ПЭВМ. При разработке библиотеки применялся объектно-ориентированный подход [5]. Диаграмма классов библиотеки, реализующей БО метод моделирования в MIMD-компоненте МПМС, приведена на рис. 5. Базовым классом данной иерархии является виртуальный класс "Блок", заключающий в себе атрибуты, присущие всем производным классам (количество входов, информация о соединении с другими блоками и т.п.). К производным классам относятся: интегратор (INT), сумматор (SUM), блок умножения (MUL) и функциональный преобразователь (FG). Класс "Процесс" включает в себя классы INT, SUM, MUL и FG. Основное назначение класса "Процесс" состоит в обеспечении связей между блоками и передаче данных. Класс "Модель" содержит в себе все процессы и координирует их взаимодействие. Предложенная организация иерархии классов позволяет включать несколько функциональных блоков в состав одного процесса.

Данная библиотека была реализована на языке C++ с использованием интерфейса передачи сообщений (MPI) [6].

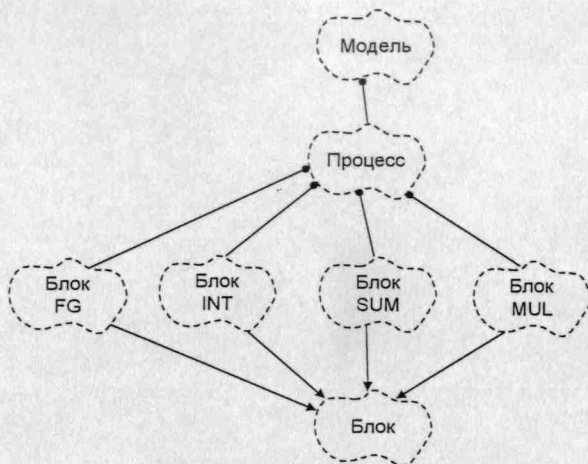


Рисунок 5. Диаграмма классов.

### Выводы

Блочно-ориентированный подход к созданию ММД-параллельных моделей динамических систем представляет собой развитие обычных языков параллельного программирования. Объектно-ориентированная реализация этого подхода облегчает проектирование и отладку сложных моделей. Дальнейшее ее развитие позволит перейти к созданию библиотек блоков, предназначенных для конкретной предметной области. Полученные результаты можно расценивать как первый шаг к созданию параллельного блочно-ориентированного языка моделирования. Данный подход применялся при моделировании динамических сетевых объектов и технологических процессов.

### Литература

1. Anoprienko A., Svjatnyj V., Braeunl T., Reuter A., Zeitz M. Massiv parallele Simulationsumgebung fuer dynamische Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern. Simulationstechnik, 9. Symposium in Stuttgart, Oktober 1994, Tagungsband, Vieweg (1994), S. 183-188.
2. Schmidt B. Simulationssysteme der 5. Generation, Simulation in Passau (SiP), Heft 1, 1994, S.5-6.
3. Heiss H.-U. Prozessorzuteilung in Parallelrechnern, BI-Wissenschaftsverlag, 1994.
4. Quinn M.J. Parallel Computing: Theory and Practice, McGraw-Hill. New York, 1994.
5. Booch G. Object-Oriented Analysis and Design with Applications, Addison-Wesley. New York, 1994.
6. Lusk E., Skjellum A., Gropp W. Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface, Cambridge, MA, MIT Press, 1994.