

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДМЕТНЫХ ЯЗЫКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Предметные языки (domain-specific language, DSL) широко применяются для автоматизации научных расчетов. Наиболее известные из них: MATLAB (векторные вычисления); Wolfram Language (комбинация символьной и численной математики); Maple (символьные вычисления); Mathcad (интерактивные вычисления, визуализация). Преимущество данных языков в предметной области численного моделирования состоит в том, что их синтаксис и семантика адаптированы к традиционной математической нотации, что существенно снижает трудоёмкость программирования.

Однако, если требуется оптимизация кода, что характерно для области высокопроизводительных научных вычислений, предметные языки уступают языкам общего назначения высокого уровня C/C++. Поэтому критичные к производительности части кода перечисленных выше предметных языков реализуются именно на языках C/C++.

Для ускоренной разработки программного обеспечения были предложены методики, позволяющие сочетать предметные языки и языки общего назначения в одном проекте [1,2]. В данной работе рассматривается применение этого подхода для автоматизации высокопроизводительных научных вычислений на базе облачного сервиса Templet Web [3].

Автоматизация программирования при составлении задачи в системе Templet Web основана на концепциях скелетного программирования [4,5], предметных языков и использовании специализированных визуальных редакторов предметных языков в составе интегрированной среды разработки (IDE).

В системе Templet Web используются несколько предметных языков для решения перечисленных ниже задач автоматизации научных вычислений:

- организации вычислений в парадигме «портфель задач» [6];
- применения акторной модели вычислений, реализованной в общей и распределённой памяти [7];
- ввода данных;
- вывода данных;
- вызова функций стандартных математических библиотек;

- описания серий экспериментов.

Для пояснения назначения предметных языков в системе Templet Web ниже приведён скелет программы параллельного умножения матриц в распределённой и разделяемой памяти. Под скелетом программы понимается проект на языке программирования высокого уровня (C/C++), который, в отличие от проекта программы на псевдокоде, компилируется.

Предметные языки в исследуемой технологии автоматизации используются, чтобы пояснить, что конкретно понимается под не полностью определёнными или неопределёнными объектами в проекте программы (её скелете). Информация, передаваемая на предметном языке, в дальнейшем применяется для автоматического преобразования скелета программы в исполняемый код.

```

const int N=10;
double a[N][N],b[N][N],c[N][N];

struct Result{
    void save(ostream&s){ s<<num;
        for(int j=0;j<N;j++)s<<c[num][j]; }
    void rest(istream&s){ s>>num;
        for(int j=0;j<N;j++)s>>c[num][j]; }
    int num;// номер вычисленной строки
};
struct Task{
    void save(ostream&s){ s<<num; }
    void rest(istream&s){ s>>num; }
    int num;// номер вычисляемой строки
};
void Proc(Task&t,Result&r){
    int i=t.num;// параллельное вычисление строки матрицы C
    for(int j=0;j<N;j++){
        c[i][j]=0.0;
        for(int k=0;k<N;k++)c[i][j]+=a[i][k]*b[k][j];
    }
    r.num=i;
}
struct Bag{
    Bag(int argc, char* argv[]);
    void run();
    bool isTask(){return cur<N;}
    void put(Result&){ }
    void get(Task&t){t.num=cur++;}
    int cur;//номер текущей строки в матрице C
};
int main(int argc, char* argv[])

```

```

{
    Bag bag(argc, argv);
    // инициализация
    input(a,b);
    bag.cur=0;
    // параллельное умножение матриц
    bag.run();
    // вывод результата параллельного умножения
    output(c);

    start_time();
    strassen(a,b,c); // теперь умножаем методом Штрассена
    end_time();
    return 0;
}

```

В приведённом примере структуры `Result`, `Task`, `Bag` и функция `Proc` являются составными частями реализации метода организации вычислений «портфель задач». Это указано в аннотации на предметном языке, которая сопровождает приведённый код скелета программы умножения матриц (форма описания скелетов на DSL в данной статье не приводится).

Описание скелета программы содержит способ именования составных элементов метода «портфель задач», способ реализации в общей или распределённой памяти, количество используемых узлов и/или потоков выполнения и другие детали.

Скелет программы также содержит неопределённые процедуры `input`, `output` для ввода и вывода данных. Аннотация на предметном языке описывает привязку этих процедур к имеющимся в системе `Templet Web` пользовательским интерфейсам ввода-вывода данных.

В коде скелета программы имеется неопределённая процедура `strassen`. Это ссылка на реализацию соответствующего алгоритма умножения матриц Штрассена. Пользователь на предметном языке в визуальном редакторе может выбрать конкретную библиотечную реализацию алгоритма. При этом ему не нужно знать сигнатуру реальной функции в библиотеке и детали связи с этой библиотекой. Аналогично можно сделать привязку к другим библиотечным процедурам. Например, в задаче анализа хаотического движения гироскопов [8] интересны разные варианты численного интегрирования пользовательских функций.

Предметный язык описания серий экспериментов в системе `Templet Web` предназначен для автоматического построения кода серии экспериментов из программы для единичного эксперимента. Например, в коде скелета программы умножения матриц параметр `N` может изменяться в пределах, описанных на

DSL. Также можно автоматически выполнять статистическую обработку результатов при замере производительности. Например, пара функций `start_time()`, `end_time()` может обозначать секцию кода с замером времени. Полученное в серии время можно автоматически усреднить, определить минимум и максимум, СКО, построить гистограмму функции распределения вероятности времени исполнения.

В текущей версии системы *Templet Web*, развёрнутой по адресу templet.ssau.ru/templet на базе вычислительного кластера «Сергей Королёв» СГАУ, в настоящее время поддерживаются предметный язык *Templet* и скелеты программ «портфель задач», «конвейер». В дальнейшем планируется развивать данную технологию на основе подсистемы интегрированной среды разработки (IDE), встроенной в сервис.

Литература

1. Ward, M.P. Language-oriented programming // *Software-Concepts and Tools*, vol. 15, no. 4, pp. 147–161, 1994.
2. Dmitriev, S. Language oriented programming: The next programming paradigm // *JetBrains onBoard*, vol. 1, no. 2, pp. 1–13, 2004.
3. Артамонов, Ю.С. Применение облачного сервиса *Templet Web* при проведении лабораторных практикумов на суперкомпьютере «Сергей Королёв» [Текст] / Ю.С. Артамонов, С.В. Востокин // X Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование», МГУ, Москва, 2015. Том 2. – С. 409 - 414.
4. Cole, M. Bringing skeletons out of the closet: a pragmatic manifesto for skeletal parallel programming // *Parallel computing*, vol. 30, no. 3, pp. 389–406, 2004.
5. González-Vélez, H. A survey of algorithmic skeleton frameworks: high-level structured parallel programming enablers / H. González-Vélez, M. Leyton // *Software: Practice and Experience*, vol. 40, no. 12, pp. 1135–1160, 2010.
6. Литвинов, В.Г. Разработка и применение вычислительной модели типовых решений. Пример использования «портфеля задач» для обучения нейронной сети HRBF // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. Науки*, 3(36) (2014), 183–195.
7. Востокин, С.В. *Templet*: язык разметки для параллельного программирования // *Известия Самарского научного центра РАН*. Том 17, №2(5), 2015. С.947-955.
8. Востокин С.В. Программный комплекс анализа многомерных динамических систем и процессов на суперкомпьютере «Сергей Королёв» / С.В. Востокин, А.В. Дорошин, Ю.С. Артамонов, Ю.П. Назаров // *Управление движением и навигация летательных аппаратов: сборник трудов XVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигацией летательных аппаратов*. - Самара: Издательство СЦ РАН, 2013. - с.60-63.