ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Зав.каф. АДМ мехмата ЮФУ,
д.т.н., Штейнберг Б.Я.

Зачем нужны быстрые вычисления

Где применяются быстрые вычисления?

- В управлении сложными объектами (АЭС, самолеты,…)
- В обороне (раннее обнаружение противника,…)
- В сетевых серверах (в т.ч. ИНТЕРНЕТ)
- В экономических прогнозах
- В банковских расчетах
- В криптографии
- В научных исследованиях
- В искусственном интеллекте (эра роботов в Японии уже наступила!)

КОМПЬЮТЕРЫ И СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ

- Ранее высокопроизводительные вычисления относились только к суперкомпьютерам.
- Суперкомпьютеры производились в единичных экземплярах и почти всегда были синонимом параллельных компьютеров
- Сейчас параллельные компьютеры у всех на столах, а высокопроизводительные вычисления находят все более широкие применения.

Проблемы эффективности последовательных программ

КОМПЬЮТЕРЫ МЕНЯЮТСЯ БЫСТРЕЕ, ЧЕМ ПРОГРАММЫ

- Мы привыкли к преемственности в смене IBM-совместимых компьютеров (с системой команд X86): новые компьютеры работают быстрее и на них переносятся старые программы.
- Но так ли эффективно эти программы переносятся?

Изменились условия оптимизации программ. Новые архитектуры требуют новых оптимизирующих преобразований программ

- X(i+2) = X(i+2)+5
- заменять следующим кодом?
- K = i+2
- X(k) = X(k)+5

- Замена уменьшает количество операций, но вводит новую переменную k. Если для этой переменной не окажется свободного регистра, то придется обращаться к памяти и существенно потерять быстродействие.
- Такая замена давала ускорение на старых процессорах, использовалась в старых пакетах прикладных программ и однозначно давала ускорение.
- 30 лет назад время доступа к данным было быстрее времени обработки, а сейчас – наоборот и во много раз!

Следует осмотрительно использовать старые библиотеки программ.

- Для задачи перемножения матриц NxN есть стандартный алгоритм (N^3 умножений и 2* N^3 чтений данных) и алгоритм Штрассена , (N^2.8 умножений и 15*N^2.8 чтений данных).

- В разные годы численные эксперименты (каф. АДМ РГУ) определяли, начиная с какой размерности матриц N алгоритм Штрассена эффективнее:
  - 1988 г. N=32
  - 2000 г. N=512
- В 2008 г. должно быть N=25000, нет компьютера для такого эксперимента.

Проблемы эффективности параллельных программ

Разным задачам – разные архитектуры

- Циклы с условными операторами выгодно отображать на асинхронные архитектуры
- Самые глубоко вложенные циклы, если итерации их независимы – на векторную архитектуру, а если зависимы – на конвейер.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

- Нет универсальных архитектур. Разные задачи эффективны на разных архитектурах
- Разработка параллельных программ требует высокой квалификации программистов, больше времени, мер обеспечения надежности.
- Переписывать низкоуровневые программы
- **ДОЛГО И ДОРОГО**.

ПУТИ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

- Создание систем полуавтоматических преобразований программ (распараллеливающих и оптимизирующих), как инструмента в разработке эффективного ПО
- Создание систем высокоуровневой переносимости ПО на основе систем преобразования программ
- Системы типа «сначала программа - затем компьютер» на основе систем преобразования программ
- Модификация подготовки программистов, ориентированная на РАЗЛИЧНЫЕ виды параллельного программирования.
- Модификация теории сложности вычислений, учитывающая обращения к памяти
- Модификация теории преобразования программ, ориентированная на оптимизацию обращений к памяти
- Создание математического аппарата для автоматической работы с общей распределенной памятью.

Исследовательские университетские распараллеливающие системы

- POLARIS – распараллеливающая система Urbana University (штат Illinois), руководитель проекта David Padua.
- SUIF –Stanford University Intermediate Format - система Стэнфордского университета.
- PIP – Parametric Integer Programming – система анализа программ P. Feautrier (Фр.)
- PARAWISE
- *Исследования перерастают в коммерческие проекты*

Южный федеральный университет
мехмат
Открытая распараллеливающая система.

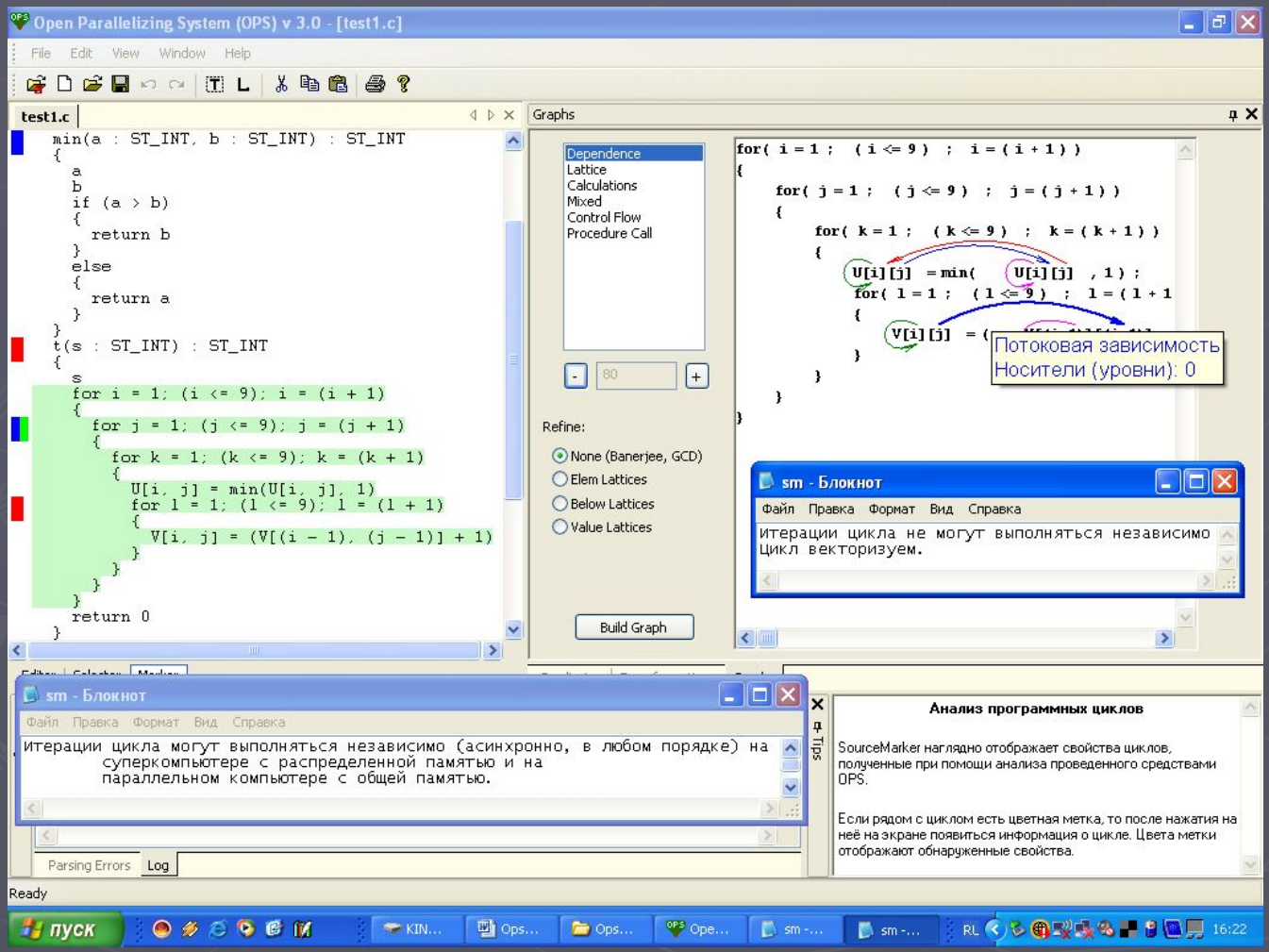
- ОРС – прототип инструмента создания эффективных параллельных программ
- В группе ОРС разрабатываются новые методы распараллеливания программ, методы автоматической генерации электронных схем.

ПАРАЛЛЕЛЬНО ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ ЦИКЛЫ.

- Под параллельным выполнением цикла понимается одновременное выполнение его итераций.
- *Какие итерации можно одновременно выполнять, а какие – нет, зависит от архитектуры параллельного компьютера и программных зависимостей.*

Определение распараллеливаемых циклов в OPC. (помечены флажками слева)

В окнах информация о возможной векторизации или распараллеливании. Для функций определяется отсутствие побочных эффектов.



Виды параллельных вычислений

- Параллельное выполнение задач
- Параллельное выполнение функций
- *Параллельное выполнение циклов*
- Параллельное выполнение операций
- Параллельное выполнение микрокоманд

Распараллеливание циклов

- Под параллельным вычислением цикла понимается одновременное выполнение его итераций.
- Термин «одновременное» допускает разные толкования и требует дополнительных пояснений.

- Распараллеливанию циклов могут мешать программные зависимости.

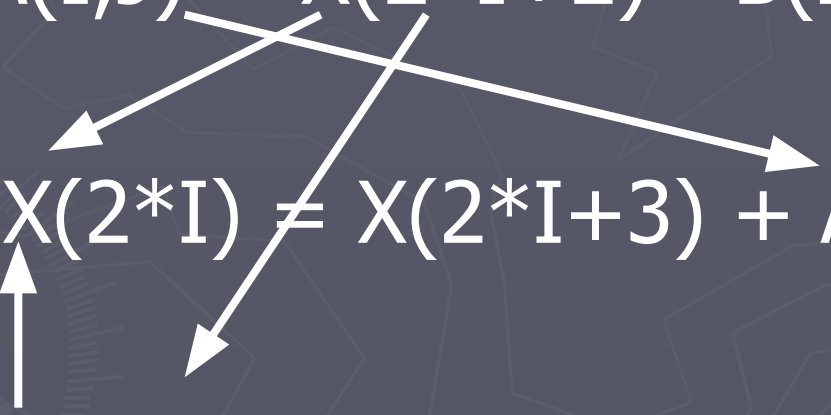
Граф информационных связей (Dependence graph)

- Вершины графа – вхождения переменных.
- Дуга соединяет пару вершин (v1,v2) тогда и только тогда, когда оба вхождения v1 и v2 обращаются к одной и той же ячейке памяти (зависимы), причем v1 раньше, а v2 позже.

Пример графа информационных связей, автоматически построенного в ОРС

DO 99 J=2,N

- DO 99 I=2,N
- A(I,J) = X(2*I+2) - B(I,J)
- X(2*I) = X(2*I+3) + A(I,J-1)
- 99 X(2*I+2)= B(I,J+2)

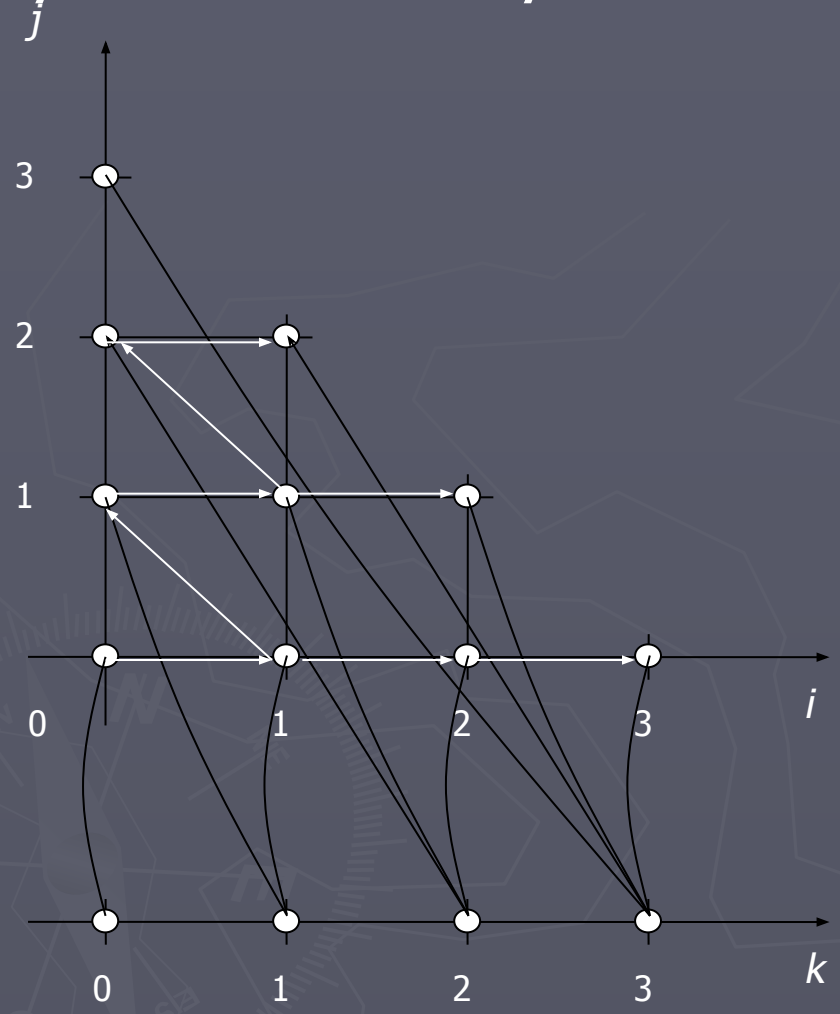


Циклически независимая и циклически порожденная зависимости. Пример.

- DO 99 I=2,N
- B(I) = A
- v1 v2
- 99 A = B(I) + B(I-3)
- v3 v4 v5

- v1 -> v4, v2 -> v3, v3 -> v2 циклически независимые зависимости
- v1 -> v5 циклически порожденная зависимость
- v1 -> v1 циклически независимая самозависимость

Пример (А.М. Шульженко). фрагмент программы умножения двух многочленов и решетчатый граф:




```
For (k=0; k<=(N+M); k++)
          c[k]=0;
%          u1
   for (i=0; i<=M; i++)
       for (j=0; j<=N; j++)
        c[i+j]= c[i+j]+a[i]*b[j];
%      u2        v1    v2   v3
```

История решетчатых графов

- Решетчатые графы использовались концептуально, для иллюстрации идей в методе гиперплоскостей Л. Лампорта, в методе параллелепипедов В. Вальковского и многих у других исследователей.
- Традиционные формы хранения графа в виде матрицы смежностей или в виде списка дуг не эффективны: прочтение такого графа может потребовать больше времени, чем последовательное исполнение программы, по которой этот граф построен.
- В конце 80-х годов был сделан прорыв в этом направлении: В.В. Воеводин и P. Feautrier научились хранить этот граф в виде функций, и разработали алгоритмы построения этих функций. У P. Feautrier функция строится для программ из линейного класса и содержит в своем определении не очень удобные для исследования условные операторы. У В.В. Воеводина функция является кусочно-линейной и определена на подмножестве практически значимых программ линейного класса.

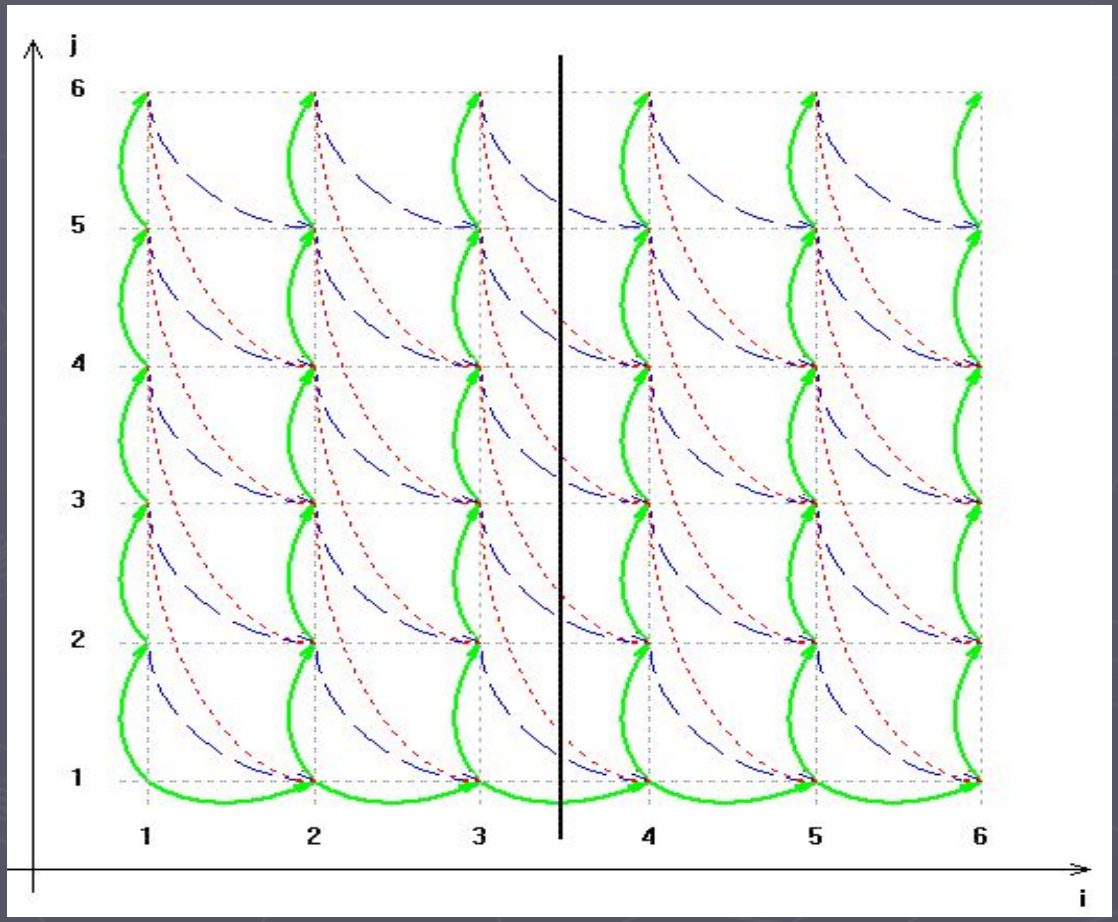
Направления работ группы ОРС по использованию решетчатых графов в распараллеливающих компиляторах:

- Использование решетчатых графов в преобразованиях программ, которые не могут быть основаны на традиционном графе программных зависимостей.
- Использование решетчатых графов для отображения программ на параллельную архитектуру.
- Расширение класса программ, к которому применимы методы теории решетчатых графов.

Пример анализа зависимостей с использованием решетчатого графа

- Пример.
- DO 99 i = 1, N
- DO 99 j = 1, M
- 99 X(i+j) = A(i,j)*X(i+j-1)+B(i,j)

Полный решетчатый граф программы с дугами истинной зависимости, антизависимости и выходной самозависимости (граф построен с помощью OPC).

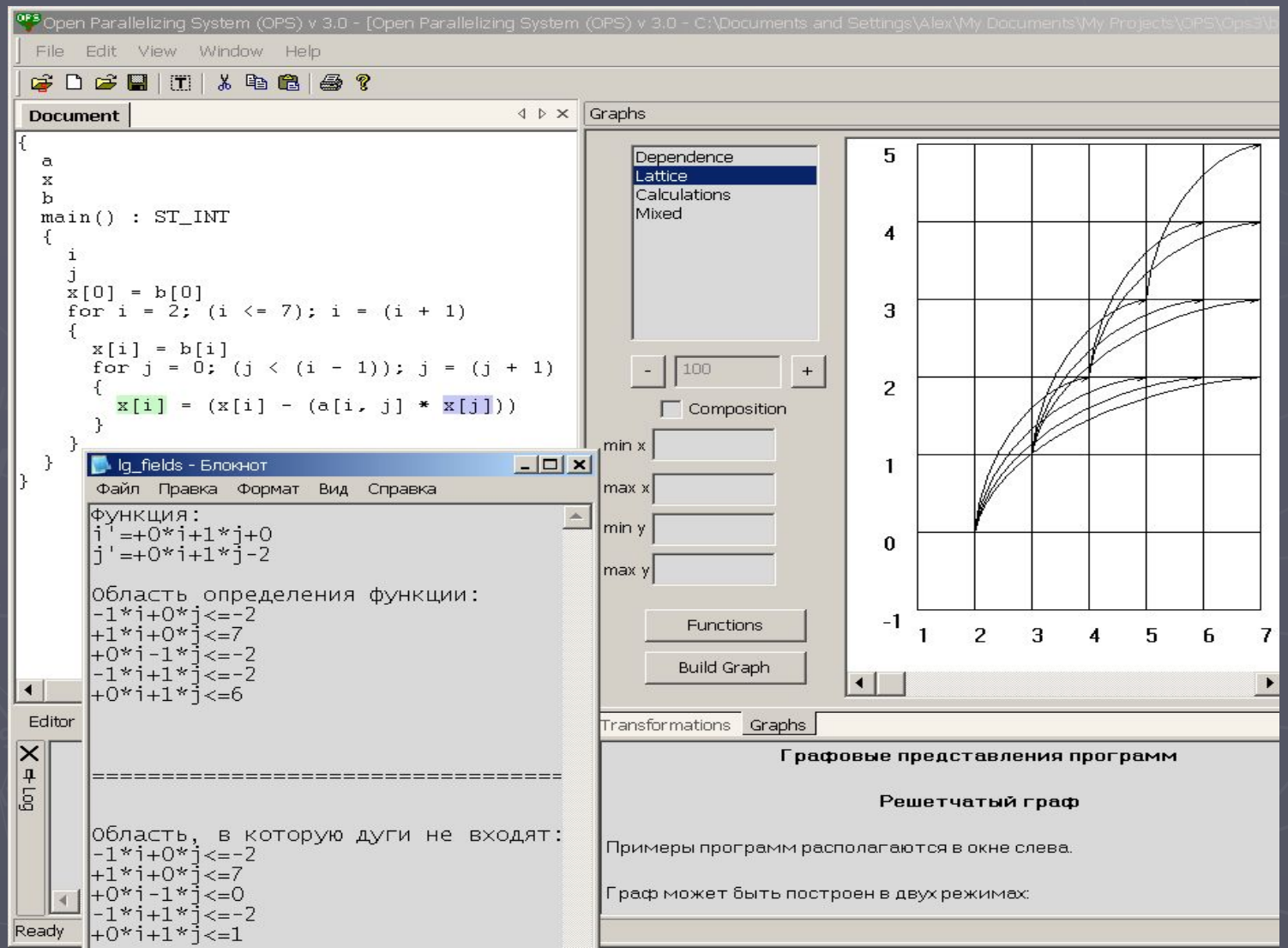


- При разбиении программы на два потока барьеры нужны на каждой итерации цикла со счетчиком j.

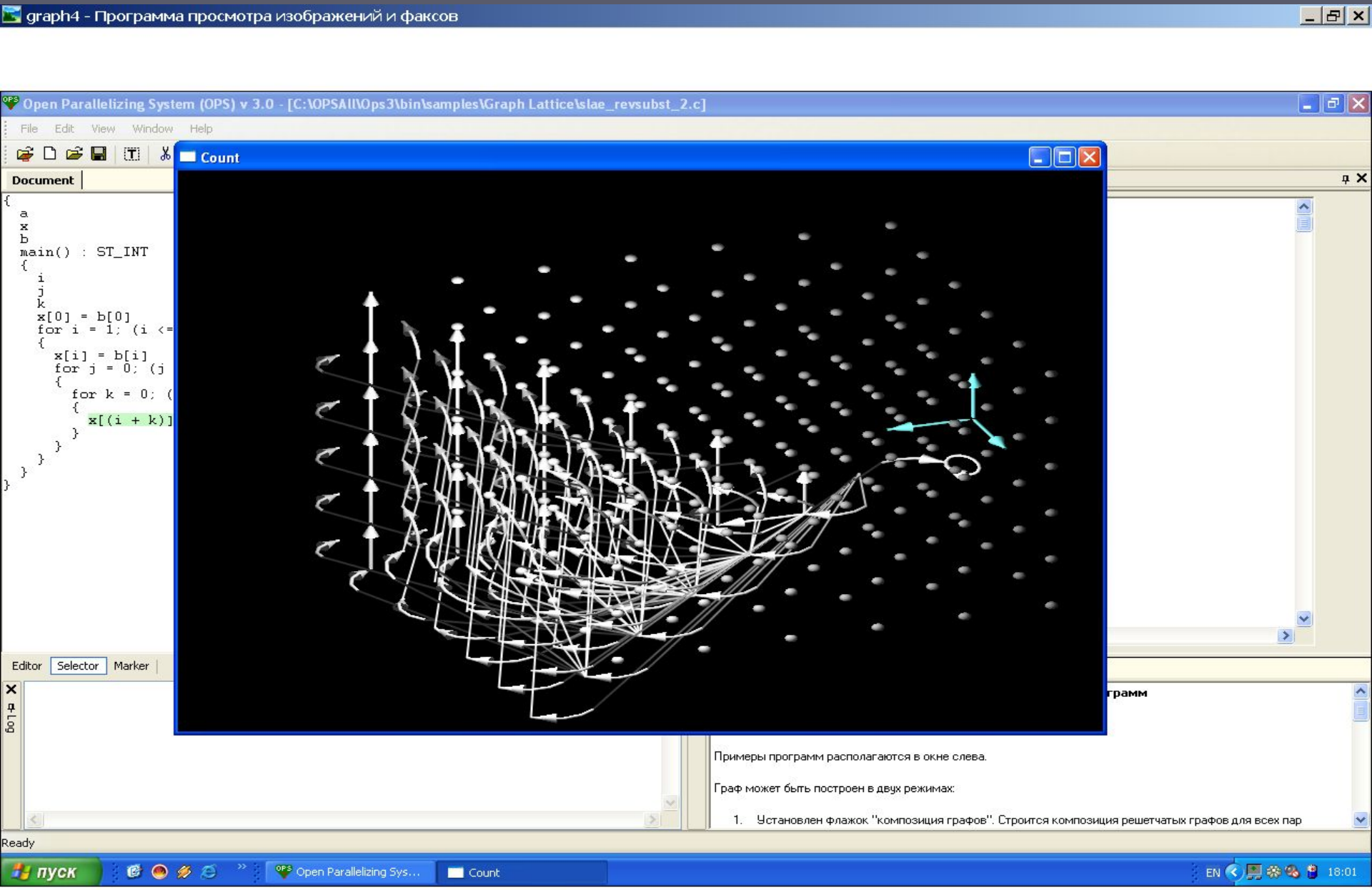
Преобразованная программа со вспомогательными массивами и только одним барьером.

```
For (i=0; i <= N; ++i) {
  a[i+1] = ... ;
  ...    = a[i];                          (2)
}
//---------------------- барьер ----------------------------
For (i=1; i <= N/2; ++i) {
  b[1] = a[i];
  for(j=2; j <= N; ++j) {
    b[j] = ... ;                          (3)
    ...  = b[j-1];
}}
//======= фрагменты 3 и 4 выполняются независимо ======
For (i=N/2+1; i <= N; ++i) {
  c[1] = a[i];
  for (j=2; j <= N; ++j) {
    c[j] = ... ;
    ...  = c[j-1];
}}                                        (4)
For (j=2; j <= N; ++j)
  a[N+j] = c[j];
```

Визуализация элементарного решетчатого графа для выделенной пары вхождений переменной в OPC. В специальном окне представлены функции, описывающие решетчатый граф.



3D-визуализация решетчатого графа в OPC.



Открытая распараллеливающая система. Исследования.

- Автоматические оценки погрешностей
- Распараллеливание рекуррентных циклов
- Максимальное разбиение программных циклов
- Подстановка и переименование индексных переменных
- Оптимизация регистровых сбросов
- Размещение данных в параллельной памяти
- Многоконвейерные вычисления
- Оптимизирующий/распараллеливающий конвертор с языка Си на язык описания электронных схем VHDL

Открытая распараллеливающая система (ОРС)

- ОРС позволяет автоматически строить граф информационных связей решетчатый граф программы. В ОРС автоматически определяются параллельно выполняемые циклы.
- Руководитель: д.т.н. Штейнберг Б.Я.
- Состав группы: студенты, магистранты, аспиранты, сотрудники нескольких кафедр мехмата Южного федерального университета.

http://ops.rsu.ru