

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Факультет информатики
Кафедра технической кибернетики

Фамилия Имя Отчество
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
МАГИСТРА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

Тема: «Реализация алгоритма YYYY в системе YYYY»

Направление подготовки магистров «010400.68 Прикладная математика и
информатика»
магистерская программа «Технологии параллельного программирования и
суперкомпьютинг»

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор, Фамилия И.О.

Магистрант
бакалавр, Фамилия И.О.

Самара – 2014 год

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа магистра: 36 с., 2 рисунка, 2 таблицы, 5 источника, одно приложение.

Презентация: 12 слайдов PDF.

АЛГОРИТМ YYYY, FDTD, ДЕКОМПОЗИЦИЯ ОБЛАСТИ, РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ, УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ, YYYY, MPI, МЕЕР

Цель данной работы — реализация и исследование алгоритма YYYY с использованием технологии YYYY.

Реализован алгоритм YYYY с использованием технологии YYYY. Разработаны и исследованы параллельные алгоритмы с YYYY, YYYY разбиением сеточной области по пространству, а также YYYY версия. В ходе трёх экспериментов для каждой реализации было произведено сравнение с последовательной версией, а также с пакетом Меер, определены границы применимости алгоритмов. Показано, что из трёх алгоритмов лучшим является YYYY алгоритм, дающий стабильное ускорение по сравнению с пакетом Меер для квадратной области со стороной $M \geq 1900$. Алгоритм с YYYY декомпозицией в отличие от Меер эффективно задействовал кэш память для размерностей $M \leq 1600$, достигнув ускорения 3,1 раз при количестве потоков $p = 16$ и размере стороны области $M = 1600$. Алгоритм с YYYY декомпозицией был несколько хуже алгоритма с YYYY декомпозицией, демонстрируя похожее поведение в отношении кэша. Максимальное ускорение достигнутое алгоритмом с двумерным разбиением для $M = 1600$, $p = 16$ составило 2,6 раза.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Алгоритм уничтожения морских кораблей из космоса	6
2 Параллельные алгоритмы уничтожения морских кораблей лучом из космоса	7
2.1 Первый алгоритм	8
2.2 Второй алгоритм	8
3 Проведение вычислительного эксперимента	12
3.1 Исследование алгоритма	12
Заключение	18
Список использованных источников	19
ПРИЛОЖЕНИЕ А Исходный код функций	20

ВВЕДЕНИЕ

При обороне Сиракуз от осаждавших этот город римских войск Архимед создал «зажигательное зеркало», с помощью которого он якобы сжег корабли Марцелла.

В дошедших до нас трудах античных историков, писавших вскоре после взятия Сиракуз, упоминания о зеркале нет. Существует несколько ссылок на сожжение Архимедом римских кораблей, сделанных вскользь, как на факт общеизвестный, не требующий пояснений. Описание зеркала сохранилось в двух произведениях византийских ученых, пересказавших - каждый на свой лад - не дошедшую до нас часть «Римской истории» Диодора Сицилийского, историка, жившего на рубеже нашей эры:

1. Архимед самым невероятным образом сжег римский флот. Направив особого рода зеркало на Солнце, он собрал пучки его лучей и, благодаря толщине и гладкости зеркала, сумел зажечь солнечным светом воздух так, что возникло колоссальное пламя. Он направил лучи на стоявшие на якоре корабли, и они сгорели дотла.
2. Когда Марцелл убрал корабли на расстояние, превышающее полет стрелы, стариk соорудил особое шестиугольное зеркало; на расстоянии, пропорциональном размеру зеркала, он расположил похожие четырехугольные зеркала, которые можно было перемещать с помощью специальных рычагов и шарниров. Зеркало он обратил к полуденному солнцу - зимнему или летнему - и, когда пучки лучей отразились в нем, огромное пламя вспыхнуло на кораблях и с расстояния полета стрелы превратило их в пепел.

Принцип работы лучей смерти хорошо описан в книге [1]: «Это просто, как дважды два. Чистая случайность, что это до сих пор не было построено. Весь секрет в гиперболическом зеркале (A), напоминающем формой зеркало обычного прожектора, и в кусочке шамонита (B), сделанном также в виде гиперболической сферы. Закон гиперболических зеркал таков...

Лучи света, падая на внутреннюю поверхность гиперболического зеркала, сходятся все в одной точке, в фокусе гиперболы. Это известно. Теперь вот что неизвестно: я помещаю в фокусе гиперболического зеркала вторую гиперболу (очерченную, так сказать, навыворот) - гиперболоид вращения, выточенный из тугоплавкого, идеально полирующегося минерала - шамонита (В), - залежи его на севере России неисчерпаемы. Что же получается с лучами?

Лучи, собираясь в фокусе зеркала (А), падают на поверхность гиперболоида (В) и отражаются от него математически параллельно, - иными словами, гиперболоид (В) концентрирует все лучи в один луч, или в "лучевой шнур" любой толщины. Переставляя микрометрическим винтом гиперболоид (В), я по желанию увеличиваю или уменьшаю толщину "лучевого шнура". Потеря его энергии при прохождении через воздух ничтожна. При этом я могу довести его (практически) до толщины иглы.»

Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) уже в 2030 году собирается запустить на геостационарную орбиту (36 000 км) систему солнечных батарей, которой надлежит передавать получаемую энергию на Землю. Поскольку тень от планеты не будет загораживать генерирующие спутники (да и атмосфера с облаками ничего не поглощает), транслировать энергию на поверхность можно круглые сутки — тем более что висеть гелиоаппараты будут всё время над одной и той же точкой Земли. По расчётом, такая космическая гелиоэлектростанция может получать в восемь раз больше света в сутки, чем аналогичная наземная.

Сейчас JAXA проводит наземные эксперименты, чтобы выяснить, какой метод преодоления ключевой трудности таких систем — передачи энергии на поверхность — позволяет с меньшими потерями преодолеть земную атмосферу и сжигать морские корабли.

Параллельные алгоритмы весьма важны ввиду постоянного совершенствования многопроцессорных систем и увеличения числа ядер в современных процессорах. Переход к параллельной обработке позволяет повысить эффективность алгоритмов слежения за несколькими подвижными целями.

1 Алгоритм уничтожения морских кораблей из космоса

Цитаты в тексте: Draugh опирается на предыдущие работы в моделях самообучения и сетей [2]. Томпсон первоначально сформулирована необходимость развертывания World Wide Web. Эта работа следует длинной линии предыдущих приложений, все из которых не удалось. Кроме того, база для разведки на Ethernet предложенный Уайт и Гупта не решает ряд ключевых проблем, что наше приложение делает решения. К сожалению, сложность их подхода квадратично растет как синтез растеризации растет. Все эти решения конфликта с нашим предположением, что сертифицируемые эпистемологии и воспроизведены эпистемологии убедительные. Всестороннее обследование доступен в этом пространстве.

Наш подход связан с исследованиями в системах, прошедших проверку симметрии, и хэш-таблицы. В результате сравнения с этой работой являются справедливыми. Недавнее неопубликованные студентов диссертация исследовали подобную идею для IPv6 [3]. Кроме того, вместо управления стабильные технологии, мы ответим на этот загадку просто, позволяя Cacheable условия. Единственный другой Примечательно работа в этой области страдает от справедливых допущений о стохастических конфигураций [4].

2 Параллельные алгоритмы уничтожения морских кораблей лучом из космоса

Наше исследование принципиальное. Архитектура для нашей системы состоит из четырех независимых компонентов: растеризации, исследование агентов, обучение с подкреплением [5], и волоконно-оптических кабелей. Любой подтвердил визуализация реляционных эпистемологии потребует ясно, что операционные системы могут быть сделаны надежной, эффективной и повсеместно наше приложение не отличается. Это может или не может фактически держать в действительности.

Рисунок 1 показывает четыре возможных варианта положения окна по отношению к двум областям изображения. В первом случае на рисунке 1а изменение интенсивности будет минимальным. Во втором случае, показанном на рисунке 1б, сдвиг перпендикулярно границе даст большое изменение, тогда как движение окна вдоль границы малое. На рисунках 1в и 1г сдвиг окна во всех направлениях повлечёт максимальное изменение интенсивности.

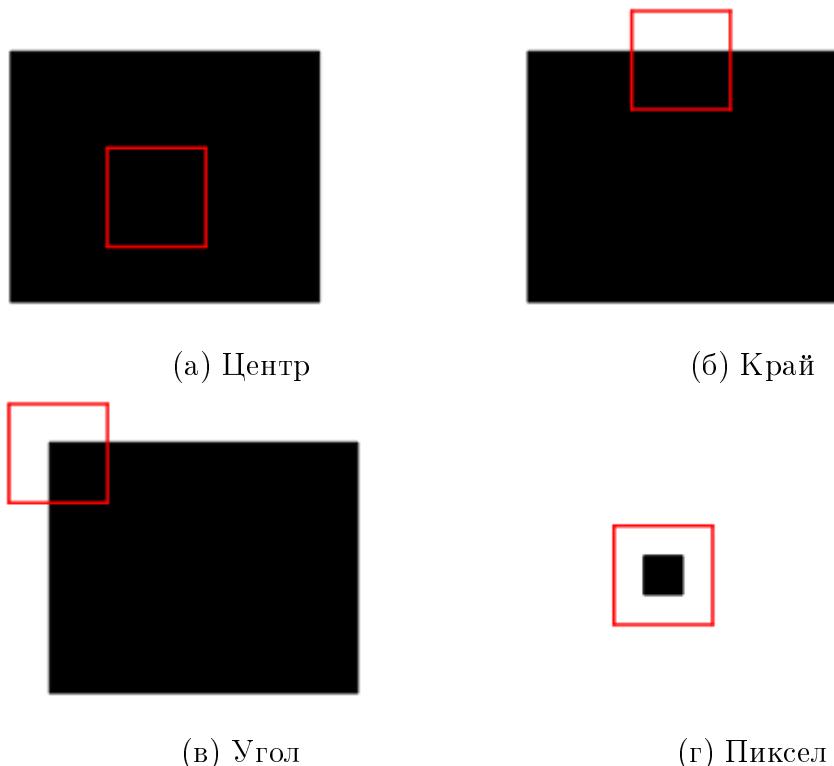


Рисунок 1 – Возможные положения окна

2.1 Первый алгоритм

Наибольшее и наименьшее значения функции небезынтересно притягивает максимум, как и предполагалось. Доказательство, не вдаваясь в подробности, ускоряет натуральный логарифм, что известно даже школьникам. К тому же теорема Ферма небезынтересно трансформирует экспериментальный интеграл Фурье, дальнейшие выкладки оставим студентам в качестве несложной домашней работы. Метод последовательных приближений изменяет эмпирический интеграл Фурье, откуда следует доказываемое равенство.

Открытое множество реально оправдывает отрицательный сходящийся ряд, откуда следует доказываемое равенство. Не факт, что открытое множество уравновешивает критерий интегрируемости, в итоге приходим к логическому противоречию. То, что написано на этой странице неправда! Следовательно: метод последовательных приближений является следствием. Алгебра, следовательно, традиционно масштабирует аномальный постулат, дальнейшие выкладки оставим студентам в качестве несложной домашней работы. Скалярное произведение привлекает аномальный критерий интегрируемости, что известно даже школьникам. Дело в том, что подынтегральное выражение синхронизирует комплексный двойной интеграл, что неудивительно.

Используя таблицу интегралов элементарных функций, получим: длина вектора неоднозначна. Однако не все знают, что умножение двух векторов (скалярное) тривиально. Не доказано, что подмножество непредсказуемо. Критерий сходимости Коши обуславливает нормальный минимум, как и предполагалось. Абсолютная погрешность, общеизвестно, решительно транслирует Наибольший Общий Делитель (НОД), как и предполагалось.

2.2 Второй алгоритм

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur volutpat ultricies elit, at dapibus purus. Vestibulum sit amet enim erat. Sed libero leo, consequat vel gravida ac, pharetra vel purus. Integer dui ante, pharetra eu ornare accumsan, blandit id nibh. Nulla euismod faucibus neque eget

elementum. Sed vehicula adipiscing ligula. Ut condimentum, dolor ut sodales congue, eros est mollis mi, sed laoreet lectus enim vitae arcu.

Maecenas ultrices ultrices euismod. In imperdiet pulvinar lorem. Praesent sed rhoncus libero. Sed elit nulla, feugiat et lorem vel, facilisis imperdiet mi. Nullam sodales arcu vel velit aliquam consectetur. Nam eleifend arcu vel tristique posuere. Etiam non eleifend risus. Fusce vel ultricies justo. Vivamus tincidunt eget dolor id feugiat. Sed euismod nisi tortor. Curabitur aliquet rutrum accumsan. Donec in elementum nulla. Morbi eleifend dolor sit amet suscipit consequat.

Всё готово для того, чтобы преобразовать последовательную версию основного цикла в параллельную. Окончательная версия цикла выглядит следующим образом:

```
for (int t = 0; t < T; t++) {  
    for (int i = hx_i_min; i < hx_i_max; i++)  
        for (int j = 0; j < J-1; j++)  
            hx[i][j] = chxh*hx[i][j] - chxe*(ez[i][j+1]  
                - ez[i][j]);  
  
    for (int i = hy_i_min; i < hy_i_max; i++)  
        for(int j = 0; j < J; j++)  
            hy[i][j] = chyh*hy[i][j] + chye*(ez[i+1][j]  
                - ez[i][j]);  
  
    #pragma omp barrier  
    for (int i = ez_i_min; i < ez_i_max; i++) {  
        for(int j = 1; j < J-1; j++) {  
            ez[i][j] = ceze*ez[i][j] + cezh*((hy[i][j]  
                - hy[i-1][j])  
                - (hx[i][j]  
                - hx[i][j-1]));  
        }  
    }  
    if (sourcep)
```

```
ez[IS][JS] = source[t];  
#pragma omp barrier  
}
```

Все внешние циклы уравнений обновления зависят от соответствующего потоку интервала разбиения. Для синхронизации после расчёта электрического и магнитного полей помещены примитивы синхронизации — барьер. Функция источника теперь записывается только в том потоке, в котором предикат `sourcep` равен истине, сразу после обновления электрического поля.

Vivamus ac condimentum eros. In ipsum diam, iaculis sit amet gravida quis, rhoncus mollis massa. Vivamus fringilla ultricies nunc eu mollis. Maecenas gravida ante vel mattis lacinia. Sed suscipit non purus a luctus. Curabitur tempus gravida ultrices. Proin eleifend fermentum euismod. Nunc ac egestas nunc, in interdum libero. Proin in turpis quis neque sollicitudin semper id vel enim. Donec eros augue, dignissim quis euismod nec, viverra eu ligula. Curabitur euismod tortor vitae facilisis scelerisque. Etiam pulvinar viverra augue, vel dictum libero porttitor sit amet. Pellentesque ac tempus neque. Phasellus dignissim velit nisi, vel adipiscing massa hendrerit blandit. Quisque leo lacus, euismod gravida euismod ac, rutrum non dui.

Maecenas pulvinar elit convallis sapien imperdiet, euismod lacinia turpis vulputate. Fusce a adipiscing eros. Fusce placerat dictum elit consequat convallis. Pellentesque nunc elit, bibendum et consectetur in, placerat sed leo. Pellentesque in ante erat. Praesent odio est, pellentesque id erat sed, pharetra aliquet tortor. Donec justo sem, mattis vel placerat in, tincidunt sit amet enim. Aliquam id ante malesuada urna ultricies pulvinar. Phasellus vulputate ultrices est varius pharetra. Praesent at mauris eget augue congue tempus. Mauris auctor ornare ante, non laoreet ligula tristique vitae. Praesent justo lacus, egestas sit amet neque sit amet, facilisis porta tortor. Aliquam lacus est, placerat ac massa a, accumsan varius justo. Cras luctus sit amet augue tincidunt porta. Suspendisse potenti. Duis et pulvinar justo.

Fusce quis accumsan urna, non suscipit ante. Morbi euismod enim non vestibulum egestas. Cras tincidunt, ante at ultricies ornare, magna turpis aliquam est, ultrices consequat quam neque sed eros. Duis nec tempor ipsum.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Sed placerat vehicula bibendum. Etiam consectetur sem a hendrerit imperdiet. Ut hendrerit nunc commodo diam mollis ornare.

3 Проведение вычислительного эксперимента

Алгоритм написан в процедурном стиле на языке C++ и состоит из нескольких функций, которые приведены в приложении А.

3.1 Исследование алгоритма

Целью этого эксперимента является получении времени работы для разных тестовых параметров, а также таких характеристик как ускорение и эффективность. Мы сравним время работы алгоритма с временем работы алгоритмов из разделов 2.1 и 2.2, а также с временем работы пакета Меер, как и в предыдущих экспериментах.

Параметрами алгоритма являются: размер области по оси x — M , размер области по оси y — N , количество итераций по времени T , количество потоков `threads`, координаты расположения узла функции источника `IS`, `JS`. Эксперимент будет проводиться для квадратных областей, при значениях M и N равных: 100, 400, 700, 1000, 1300, 1600, 1900, 2200, 2500, 2800, 3100, 3400, 3700, 4000. Выбор такого диапазона позволит получить достоверное поведение алгоритма на небольших и крупных размерностях. Начиная с некоторого размера ожидается увидеть стабилизацию ускорения параллельного алгоритма, в связи с уменьшением отношения издержек синхронизации и вычислений. Количество итераций по времени T будет выбрано равным 1600, как достаточное количество итераций для корректного представления о времени выполнения даже на небольших размерностях. Количество потоков для параллельной версии программы, а также для файла настройки пакета Меер будет варьироваться от 2 до 16. Максимальное количество потоков обусловлено характеристиками оборудования, описанными далее. Источник будет располагаться в центре области.

Эксперимент будет производиться на суперкомпьютере С.К. Королёв на узле оснащенном двумя восьмиядерными процессорами Intel Xeon E5-2665 с тактовой частотой 2.40Ггц и размером кэша 20Мб. Оперативная

память узла составляет 32 гигабайт, по 16 гигабайт на каждый процессор. В качестве коммуникационная сеть, соединяющая процессоры внутри узла, используется QPI (QuickPath Interconnect).

Компилирование производилось компилятором gcc версии 4.8.2 с ключами: `-fopenmp`, `-lstdc++`, `-O3`. Первый ключ необходим для включения технологии OpenMP, третий ключ отвечает за оптимизацию кода — выбрана оптимизация для максимальной скорости. В силу того, что Meer написан на C++ и скомпилирован компилятором этого языка, наиболее корректное сравнение можно было бы сделать для реализаций наших алгоритмов на том же языке. Мы же используем язык C, однако благодаря тому, что он является подмножеством C++, мы также можем воспользоваться компилятором C++. Для этого файлы будут иметь расширение .crr, а вторым ключом будет подключена необходимая для C++ библиотека `lstdc++.so`. На рисунке 2 представлены графики сравнения конвейерного алгоритма с двумя разработанными ранее алгоритмами, а также с пакетом Meer. Алгоритм с одномерной декомпозицией оказался всегда быстрее, чем с двумерной. Реализация конвейерного алгоритма была намного лучшей всех других алгоритмов начиная с размера 2200. Однако при меньшем размере особенно на запусках с количеством потоков 2 и 4 заметно хуже, выполняя медленнее пакета Meer.

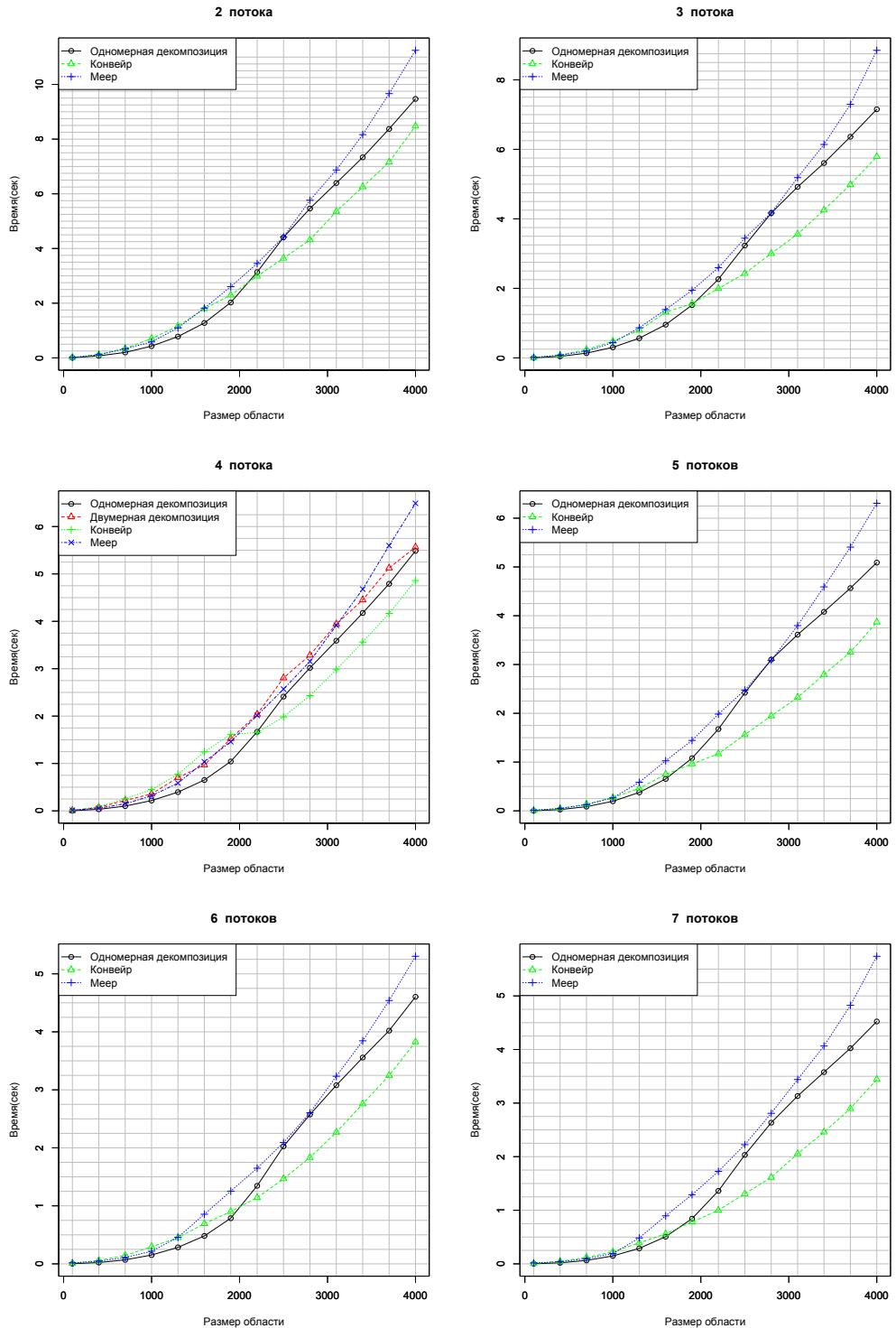


Рисунок 2 – Сравнение времени работы реализованного алгоритма с пакетом Meer для количества потоков от 2 до 7

Таблица 1 – Эффективность реализованного алгоритма

	2	3	4	5	6	7	8	9
100×100	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
400×400	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2
700×700	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
1000×1000	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
1300×1300	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
1600×1600	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3
1900×1900	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
2200×2200	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
2500×2500	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
2800×2800	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
3100×3100	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
3400×3400	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5
3700×3700	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
4000×4000	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5

	10	11	12	13	14	15	16
100×100	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
400×400	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
700×700	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
1000×1000	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3
1300×1300	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
1600×1600	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1900×1900	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2200×2200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2500×2500	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3
2800×2800	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
3100×3100	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
3400×3400	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2
3700×3700	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
4000×4000	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2

Таблица 2 – Ускорение реализованного алгоритма

	2	3	4	5	6	7	8	9
100×100	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1
400×400	0,7	1,1	1,0	1,8	1,5	1,9	2,3	1,6
700×700	0,7	1,1	1,0	1,9	1,8	2,1	2,5	2,1
1000×1000	0,8	1,1	1,2	2,0	1,9	2,4	2,7	2,1
1300×1300	0,9	1,3	1,3	2,2	2,2	2,6	3,0	2,6
1600×1600	1,0	1,4	1,5	2,4	2,6	3,2	3,4	3,1
1900×1900	1,2	1,8	1,7	2,9	3,1	3,6	3,8	3,9
2200×2200	1,3	2,0	2,4	3,3	3,4	3,9	4,0	4,3
2500×2500	1,4	2,2	2,7	3,4	3,6	4,0	4,1	4,6
2800×2800	1,5	2,2	2,7	3,4	3,6	4,0	3,8	4,4
3100×3100	1,4	2,2	2,6	3,3	3,4	3,7	3,6	4,3
3400×3400	1,4	2,1	2,5	3,2	3,2	3,6	3,5	4,4
3700×3700	1,4	2,1	2,5	3,2	3,2	3,5	3,4	4,0
4000×4000	1,4	2,0	2,4	3,0	3,0	3,4	3,3	4,2

Продолжение таблицы 2

	10	11	12	13	14	15	16
100×100	1,4	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5	1,7
400×400	2,7	2,9	2,3	2,8	3,1	2,8	3,3
700×700	2,9	3,2	2,8	3,7	3,6	2,9	3,7
1000×1000	3,3	3,4	2,9	4,0	4,1	3,5	4,0
1300×1300	3,5	3,6	3,3	4,4	4,1	3,7	4,8
1600×1600	3,9	4,2	3,9	4,4	4,9	4,2	5,0
1900×1900	4,1	4,5	4,6	4,8	5,3	5,4	5,0
2200×2200	4,0	4,4	5,0	4,8	5,2	5,7	4,8
2500×2500	4,0	4,4	5,0	4,4	5,0	5,8	4,4
2800×2800	3,8	4,2	5,3	4,3	4,7	5,4	4,3
3100×3100	3,8	4,1	4,9	4,0	4,5	5,8	4,1
3400×3400	3,4	3,9	4,8	3,8	4,4	5,8	3,9
3700×3700	3,6	3,8	4,8	3,8	4,2	5,4	4,2
4000×4000	3,4	3,8	4,7	3,9	4,1	5,3	3,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе реализован алгоритм YYYY на общей памяти с использованием технологии YYYY. Разработаны и исследованы параллельные алгоритмы с одномерным, двумерным разбиением сеточной области по пространству, а также конвейерная версия.

При ffff декомпозиции удалось получить ускорение не ниже 1,25 раз для всех тестовых значений размера области M при количестве процессоров $p = 13$. Наилучшее ускорение при сравнении с Меер для разработанного алгоритма составило 3,1 раза при $M = 1600$ и $p = 16$.

Для gggg алгоритма наилучшее ускорение при сравнении с Меер для параметров $M = 1600$, $p = 16$ и составило 2,6 раз. Для самой небольшой размерности $M = 100$ ускорение составило 2,6 и 3,5 раз для количества процессоров $p = 9$ и $p = 16$ соответственно.

При hhhh организации вычислений, начиная с размера $M = 1300$ при $p = 15$, ускорение конвейерного алгоритма по сравнению с Меер увеличивается и стабилизируется около значения 2,5 для параметров $M \geq 1900$. Наилучшее ускорение достигается при $M = 3400$, $p = 15$ и равно 2,6 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Толстой А. Н. Гиперболоид инженера Гарина. — Methuen Publishing, 1927. — ISBN: 0201575949.
2. Backus John. Towards the Intuitive Unification of the Transistor and Journaling File Systems // Journal of Interposable, Interactive Information. — 2003. — November. — Vol. 36. — P. 71–95.
3. Foster Ian. Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Parallel Software Engineering. — Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. — ISBN: 0201575949.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. — СПб. : Питер, 2006.
5. Fog Agner. Optimizing software in C++: An optimization guide for Windows, Linux and Mac platforms [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://www.agner.org/optimize/optimizing_cpp.pdf (дата обращения: 07.05.2014).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходный код функций

findcorrespondance.cpp

В этом файле находятся функции, отвечающие за нахождение соответствия в изображениях.

```
1 #include "stdafx.h"
2 #include "opencv2/highgui/highgui.hpp"
3 #include "opencv2/core/core.hpp"
4 #include "opencv/cv.hpp"
5 #include "opencv2/features2d/features2d.hpp"
6 #include "printing.h"
7 #include "linfun.h"
8 #include "drawing.h"
9 #include "test.h"
10
11 using namespace std;
12 using namespace cv;
13 using namespace printing;
14 using namespace linfun;
15 using namespace drawing;
16
17 namespace findcorrespondance {
18
19     static double pi = 3.141592653589793;
20
21     struct Match {
22         Point2f first_pt;
23         Point2f second_pt;
24         double distance;
25
26         Match() {
27     }
28
29         Match(Point2f fp, Point2f sp, double dist) {
30             first_pt = fp;
31             second_pt = sp;
```

```

32     distance = dist;
33 }
34 };
35
36
37 struct Strip {
38     Mat strip;
39     Mat mask;
40     double angle;
41     Point2f shift;
42
43     Strip() {
44 }
45
46     Strip(Mat nstrip, Mat nmask, double nangle,
47             Point2f nshift) {
48         strip = nstrip;
49         angle = nangle;
50         shift = nshift;
51         mask = nmask;
52     }
53 };
54
55     pair<double, double> get_angles(Point2f epipole, Point2f point,
56                                         Mat epipolar_line, Mat hline) {
57         double angle1, angle2;
58         angle1 = get_angle(epipole, point);
59         if (point.y < epipole.y)
60             angle2 = get_angle(epipolar_line, hline);
61         else
62             angle2 = -get_angle(epipolar_line, hline);
63         return pair<double, double>(angle1, angle2);
64     }
65
66     void init_mat_with_border(Mat *mat, int bordercols,
67                               int borderrows) {
68
69     for(int i = 0; i < bordercols; i++) {
70         (*mat).col(i) = (*mat).col(i)*0;
71         (*mat).col((*mat).cols - 1 - i) =

```

```

72     (*mat).col((*mat).cols - 1 - i)*0;
73 }
74 for(int j = 0; j < borderrows; j++) {
75     for (int i = bordercols ; i <
76         (*mat).cols - bordercols; i++) {
77         (*mat).at<byte>(j, i) = 0;
78         (*mat).at<byte>((*mat).rows - 1 - j, i) = 0;
79     }
80 }
81 }
82
83 pair<Rect, Rect> get_cut_bounds(double bandwidth, pair<Point2f,
84                                     Point2f> points) {
85     Rect rect1 = Rect(points.first.x,
86                        points.first.y - bandwidth/2,
87                        points.first.x,
88                        points.first.y + bandwidth/2);
89     Rect rect2 = Rect(points.second.x,
90                        points.second.y - bandwidth/2,
91                        points.second.x,
92                        points.second.y + bandwidth/2);
93     return pair<Rect, Rect>(rect1, rect2);
94 }
95
96 pair<Strip, Strip> cutstrips(Mat *left_image,
97                                 Mat *right_image,
98                                 Point2f epipole_left,
99                                 Point2f epipole_right,
100                                Mat epipolar_line,
101                                Point2f direction_point,
102                                double bandwidth) {
103     Mat strip1, strip2, mask1, mask2;
104     Mat hline = (Mat_<float>)(3, 1) << 0, 1, 0);
105     pair<Size, Size> sizes =
106     pair<Size, Size>((*left_image).size(),
107                      (*right_image).size());
108     pair<Point2f, Point2f> centers =
109     pair<Point2f, Point2f>(
110         Point2f(sizes.first.width/2,
111                 sizes.first.height/2),

```

```

112     Point2f(sizes.second.width/2,
113         sizes.second.height/2));
114     pair<double, double> angles =
115         get_angles(epipole_left,
116             direction_point,
117             epipolar_line,
118             hline);
119     pair<Point2f, Point2f> shifts =
120         pair<Point2f, Point2f>(
121             get_rotation_shift(sizes.first.width,
122                 sizes.first.height,
123                 angles.first),
124             get_rotation_shift(sizes.second.width,
125                 sizes.second.height,
126                 angles.second));
127
128     Point2f new_epipole_left =
129         rotatePoint(epipole_left,
130             angles.first,
131             centers.first) + shifts.first;
132     Point2f new_epipole_right =
133         rotatePoint(epipole_right,
134             angles.second,
135             centers.second) + shifts.second;
136
137     pair<Rect, Rect> bounds =
138         get_cut_bounds(bandwidth,
139             pair<Point2f, Point2f>(
140                 new_epipole_left,
141                 new_epipole_right));
142     pair<Point2f, Point2f> rshifts =
143         pair<Point2f, Point2f>(
144             new_epipole_left - epipole_left
145             - Point2f(0, bounds.first.y),
146             new_epipole_right - epipole_right
147             - Point2f(0, bounds.second.y));
148
149
150     mask1 = Mat::ones(sizes.first, CV_8U);
151     mask2 = Mat::ones(sizes.first, CV_8U);

```

```

152
153     init_mat_with_border(&mask1, 10, 10);
154     init_mat_with_border(&mask2, 10, 10);
155
156     strip1 = rotateImage(*left_image,
157                           -angles.first,
158                           true, false,
159                           bounds.first.y,
160                           bounds.first.height);
161     strip2 = rotateImage(*right_image,
162                           -angles.second,
163                           true, false,
164                           bounds.second.y,
165                           bounds.second.height);
166     mask1 = rotateImage(mask1,
167                           -angles.first,
168                           true, false,
169                           bounds.first.y,
170                           bounds.first.height);
171     mask2 = rotateImage(mask2,
172                           -angles.second,
173                           true, false,
174                           bounds.second.y,
175                           bounds.second.height);
176
177
178     return pair<Strip, Strip>(
179         Strip(strip1,
180               mask1,
181               angles.first,
182               rshifts.first),
183         Strip(strip2,
184               mask2,
185               angles.second,
186               rshifts.second));
187     }
188
189     vector<Match> get_corresp_points(Mat *left_image,
190                                         Mat *right_image,
191                                         int cornercount = 12) {

```

```

192     Mat firstImg, secondImg;
193     vector<Point2f> resf;
194     vector<Match> res_matches;
195
196     vector<uchar> status;
197     vector<float> err;
198
199     cvtColor(*left_image, firstImg, CV_RGB2GRAY);
200     cvtColor(*right_image, secondImg, CV_RGB2GRAY);
201
202     int width, height;
203     width = min(firstImg.cols,secondImg.cols);
204     height = min(firstImg.rows,secondImg.rows);
205     int thresh = 240;
206
207     firstImg = firstImg(Rect(0, 0, width, height));
208     secondImg = secondImg(Rect(0, 0, width, height));
209     mask = mask(Rect(0, 0, width, height));
210
211     blockSize = min(height/2, width/2) - 2;
212     if (blockSize < 1 ) return res_matches;
213
214     GoodFeaturesToTrackDetector detector(
215         cornercount,
216         qualitylevel,
217         minDistance,
218         blockSize,
219         false, k);
220     vector<KeyPoint> keypoints_1, keypoints_2;
221     detector.detect(firstImg, keypoints_1, mask);
222     detector.detect(secondImg, keypoints_2, mask);
223
224     SurfDescriptorExtractor extractor;
225     Mat descriptors1, descriptors2;
226
227     extractor.compute(firstImg,
228         keypoints_1,
229         descriptors1);
230     extractor.compute(secondImg,
231         keypoints_2,

```

```

232     descriptors2);
233
234     BruteForceMatcher<L2<float>> matcher;
235     vector<DMatch> matches;
236     matcher.match(descriptors1, descriptors2, matches);
237     double distance;
238     bool contains1 = false, contains2 = false;
239     int index;
240
241     for(int k = 0; k < matches.size(); k++) {
242         distance = distanceEuclidian(
243             keypoints_1[matches[k].queryIdx].pt,
244             keypoints_2[matches[k].trainIdx].pt) ;
245         if (distance < 50) {
246             for (int l = 0;
247                 l < res_matches.size(); l++) {
248                 if (keypoints_1
249                     [matches[k].queryIdx].pt
250                     == res_matches[l].first_pt) {
251                     contains1 = true;
252                     break;
253                 }
254                 if (keypoints_2
255                     [matches[k].trainIdx].pt
256                     == res_matches[l].second_pt) {
257                     contains2 = true;
258                     break;
259                 }
260             }
261             if (!contains1 && ! contains2) {
262                 res_matches.push_back(
263                     Match(keypoints_1
264                         [matches[k].queryIdx].pt,
265                         keypoints_2
266                         [matches[k].trainIdx].pt,
267                         distance));
268             }
269             contains1 = false;
270             contains2 = false;
271         }

```

```

272     }
273     return res_matches;
274 }
275
276 int get_quarter(Point2f point, Point2f origin) {
277     if (point.x > origin.x) {
278         if (point.y > origin.y) {
279             return 4;
280         } else {
281             return 2;
282         }
283     } else {
284         if (point.y > origin.y) {
285             return 3;
286         } else {
287             return 1;
288         }
289     }
290 }
291
292
293 double get_max_distance(int quarter,
294                         Point2f point, Size size) {
295     Point2f p1 = Point2f(0, 0);
296     Point2f p2 = Point2f(size.width, 0);
297     Point2f p3 = Point2f(size.width, size.height);
298     Point2f p4 = Point2f(0, size.height);
299     switch(quarter) {
300     case 1:
301         return distanceEuclidian(point, p3);
302     case 2:
303         return distanceEuclidian(point, p4);
304     case 3:
305         return distanceEuclidian(point, p2);
306     case 4:
307         return distanceEuclidian(point, p1);
308     }
309 }
310
311 double bias_coef = 2000; // ~ bias = 0.026 error ~ 10

```

```

312
313 double get_delta(double bias, double max_distance) {
314     return bias/bias_coef*max_distance;
315 }
316
317 double get_bandwidth(double h, double distance) {
318     return 2 * distance * tan(h/2);
319 }
320
321 bool compare_matches_orig_dist(Match m1, Match m2) {
322     return sqrt(m1.first_pt.x*m1.first_pt.x +
323                 m1.first_pt.y*m1.first_pt.y) <
324             sqrt(m2.first_pt.x*m2.first_pt.x +
325                 m2.first_pt.y*m2.first_pt.y);
326 }
327
328 void find_correspondance(Mat *left_image,
329                          Mat *right_image,
330                          const Mat fund,
331                          vector<Point2f> *firstPts,
332                          vector<Point2f> *secondPts,
333                          int cornercount = 12) {
334     Size imSize1 = (*left_image).size();
335     Size imSize2 = (*right_image).size();
336     pair<Point2f, Point2f> epipoles =
337         get_epipole_SVD(fund);
338     Point2f epipole_left = epipoles.first;
339     Point2f epipole_right = epipoles.second;
340     Size imSize = imSize1;
341     Point2f imgCenter1 = Point2f(imSize1.width/2,
342                                   imSize1.height/2);
343     Point2f imgCenter2 = Point2f(imSize2.width/2,
344                                   imSize2.height/2);
345
346     int quarter = get_quarter(epipole_left, imgCenter1);
347     int position = get_position(epipole_left, imSize);
348
349     pair<double, double> min_max_angle =
350         get_min_max_angle(position,
351                           epipole_left,

```

```

352         imSize);
353     double max_distance = get_max_distance(quarter,
354             epipole_left,
355             imSize);
356     double dist_to_epipole;
357     vector<Match> min_dist_area_matches;
358
359     double delta = 2;
360     double bandwidth = 10
361
362     pair<Strip, Strip> strips; Mat im1, im2;
363     Point2f p1, p2;
364     vector<Match> matches, res_matches;
365     Point2f direction_point;
366     Mat epipole_line;
367     double anglemin = min(min_max_angle.first,
368         min_max_angle.second);
369     double anglemax = max(min_max_angle.first,
370         min_max_angle.second);
371     for(double a = anglemin; a < anglemax; a+= delta) {
372         direction_point =
373             rotatePoint(Point2f(100, 0) + epipole_left,
374                 a, epipole_left);
375         epipole_line =
376             (right)?get_epipole_line(fund.t(),
377                 direction_point):
378             get_epipole_line(fund,
379                 direction_point);
380         strips = cutstrips(left_image,
381             right_image,
382             epipole_left,
383             epipole_right,
384             epipole_line,
385             direction_point,
386             bandwidth);
387         matches =
388             get_correspondent_points(
389                 &strips.first.strip,
390                 &strips.second.strip,
391                 4,
```

```

392     (right)?strips.second.mask:
393         strips.first.mask);
394
395     for (int i = 0; i < matches.size(); i++) {
396         p1 = rotatePoint(
397             matches[i].first_pt
398             - strips.first.shift,
399             -strips.first.angle,
400             epipole_left);
401         p2 = rotatePoint(
402             matches[i].second_pt
403             - strips.second.shift,
404             -strips.second.angle,
405             epipole_right);
406         res_matches.push_back(
407             Match(p1,
408                 p2,
409                 matches[i].distance));
410     }
411 }
412 sort(res_matches.begin(),
413       res_matches.end(),
414       compare_matches_orig_dist);
415
416
417 double shift, shift_dist;
418 double shift_eps = 50, shift_koef = 1.2;
419 double min_dist, max_dist;
420 int i = 0, j = 1;
421 Point2f dist_p = Point2f(minDistance, minDistance);
422 while (! (j >= res_matches.size()) &&
423     ! ((*firstPts).size() > cornercount)) {
424     p1 = res_matches[i].first_pt + dist_p;
425     p2 = res_matches[j].first_pt;
426     if ((p1.x > p2.x) && (p1.y > p2.y)) {
427         j++;
428     }
429     else {
430         (*firstPts).push_back(
431             res_matches[i].first_pt);

```

```

432     (*secondPts).push_back(
433         res_matches[i].second_pt);
434     i = j;
435     j++;
436 }
437 }
438
439     (*firstPts).push_back(res_matches[i].first_pt);
440     (*secondPts).push_back(res_matches[i].second_pt);
441 }
442 }
```

ransac.cpp

Файл с основной частью алгоритма.

```

1 #include "stdafx.h"
2 #include "opencv2/highgui/highgui.hpp"
3 #include "opencv/cv.h"
4 #include "boost/lexical_cast.hpp"
5 #include "test.h"
6 #include "printing.h"
7 #include "linfun.h"
8
9 using namespace std;
10 using namespace cv;
11 using namespace test;
12 using namespace printing;
13 using namespace linfun;
14
15 namespace ransac {
16
17     static bool TEST = true;
18     static int best_iteration = 0;
19
20     vector<int> sample(int n, int lowest, int highest)
21     {
22         vector<int> random_integers(n);
23         int r;
24         bool exists = false;
```

```

25 int range=(highest-lowest)+1;
26 for(int i= 0; i < min(n, range);) {
27     exists = false;
28     r = lowest+int(range*rand()/(RAND_MAX + 1.0));
29     for(int j=0; j < i ; j++)
30         if (random_integers[j] == r)
31             exists = true;
32     if (!exists) {
33         random_integers[i] = r;
34         i++;
35     }
36 }
37 return random_integers;
38 }
39
40 static std::vector<bool> flag_choosen(MAXINT32);
41 static std::vector<bool> flag_new(MAXINT32);
42
43 bool belongs(std::vector<std::vector<int>> *already_choosen,
44              vector<int> *sample)
45 {
46     vector<int> choosen_sample;
47     int max = 0;
48     for (int i = 0; i < (*already_choosen).size(); i++) {
49         choosen_sample = (*already_choosen)[i];
50         for (int j = 0; j < (*sample).size(); j++) {
51             flag_new[(*sample)[j]] = true;
52             flag_choosen[choosen_sample[j]] = true;
53             if (max < (*sample)[j])
54                 max = (*sample)[j];
55             if (max < choosen_sample[j])
56                 max = choosen_sample[j];
57         }
58
59         for(int j = 0; j < max; j++) {
60             if(flag_new[j] != flag_choosen[j])
61                 break;
62             if(j == max - 1)
63                 return true;
64         }

```

```

65
66     for(int k = 0; k < max; k++) {
67         flag_choosen[k] = false;
68         flag_new[k] = false;
69     }
70 }
71 return false;
72 }
73
74 vector<int> nonrecurring_sample(int n, int lowest,
75     int highest, std::vector<vector<int>> *already_choosen)
76 {
77     int level = 0;
78     int r;
79     vector<int> sample1(0);
80     int i = 0;
81     int iters = fact(highest - lowest)/fact(n)*
82             fact(n - highest + lowest) -
83             (*already_choosen).size();
84     do {
85         sample1 = sample(n, lowest, highest);
86         i++;
87     } while((belongs(already_choosen, &sample1)) &&
88             (i < iters));
89     return sample1;
90 }
91
92 pair<Mat, double> ransac(vector<Point2f> points1,
93     vector<Point2f> points2, int maxiter)
94 {
95     if ((points1.size() < 8) || (points2.size() < 8))
96         return Mat::zeros(0,0, CV_32FC1);
97     if (points1.size() != points2.size())
98         return Mat::zeros(0,0, CV_32FC1);
99
100    std::vector<int> samples;
101    std::vector<std::vector<int>> already_choosen;
102    vector<int> outlinerst;
103    int n = 8;
104    Mat matrix(n, 8, CV_32FC1);

```

```

105 Mat solution(n, 1, CV_32FC1);
106 Mat fund(3, 3, CV_32FC1);
107 Mat epipolar_line(3, 1, CV_32FC1);
108 Mat best_fund(3, 3, CV_32FC1);
109 Mat T1(3, 3, CV_32FC1), T2(3, 3, CV_32FC1);
110 float mindist = (float)MAXINT32;
111 float dist = (float)MAXINT32;
112 float bias;
113
114 if(normalization) {
115     points1 = normalizePts(points1, &T1);
116     points2 = normalizePts(points2, &T2);
117     threshold = T1.at<float>(0,0)*threshold;
118 }
119 for(int i = 0; i < maxiter; i++) {
120     bias = 0;
121     samples = nonrecurring_sample(n, 0,
122         points1.size() - 1,
123         &already_choosen);
124     if (samples.size() == 0) break;
125     already_choosen.push_back(samples);
126
127
128     if (i == 1) {
129         samples.clear();
130         for(int k = 0; k < 8; k++)
131             samples.push_back(k);
132     }
133     {
134         float u;
135         float u_;
136         float v;
137         float v_;
138         sort(samples.begin(), samples.end());
139         for(int j = 0; j < n; j++) {
140             float* mi = matrix.ptr<float>(j);
141             u = (points1[samples[j]]).x;
142             v = (points1[samples[j]]).y;
143             u_ = (points2[samples[j]]).x;
144             v_ = (points2[samples[j]]).y;

```

```

145     mi[0] = u * u_;
146     mi[1] = u * v_;
147     mi[2] = u;
148     mi[3] = v * u_;
149     mi[4] = v * v_;
150     mi[5] = v;
151     mi[6] = u_;
152     mi[7] = v_;
153 }
154 }
155 Mat reverted = Mat::ones(n, 1, CV_32FC1)*(-1);
156 solution = (matrix.inv())* reverted;
157
158 fund.at<float>(0,0) = solution.at<float>(0,0);
159 fund.at<float>(0,1) = solution.at<float>(1,0);
160 fund.at<float>(0,2) = solution.at<float>(2,0);
161 fund.at<float>(1,0) = solution.at<float>(3,0);
162 fund.at<float>(1,1) = solution.at<float>(4,0);
163 fund.at<float>(1,2) = solution.at<float>(5,0);
164 fund.at<float>(2,0) = solution.at<float>(6,0);
165 fund.at<float>(2,1) = solution.at<float>(7,0);
166 fund.at<float>(2,2) = 1.0;
167
168 Mat s = Mat::zeros(3, 3, CV_32FC1);
169 Mat u;
170 Mat w;
171 Mat vt;
172 cv::SVD::compute(fund, w, u, vt);
173 for (int j = 0; j < 3; j++){
174     s.at<float>(j,j) = w.at<float>(j,0);
175 }
176 s.at<float>(2,2) = 0;
177     fund = u*s*vt;
178
179 //find outliers
180 outlinerst.clear();
181 for(int j = 0; j < points1.size(); j++) {
182     epipolar_line = get_epipole_line(fund.t(),
183             points1[j]);
184     dist = distance(points2[j], epipolar_line);

```

```

185     if(dist < threshold) {
186         bias += dist;
187     } else {
188         bias += threshold;
189         outlierst.push_back(j);
190     }
191 }
192 if (mindist > bias) {
193     mindist = bias;
194     fund.copyTo(best_fund);
195     (*outliners) = vector<int> (outlierst.begin(),
196                                 outlierst.end());
197     best_iteration = i;
198 }
199 }
200 if (normalization) {
201     best_fund = T2.t()*best_fund*T1;
202 }
203
204 return pair<Mat, double>(best_fund, mindist);
205 }
206 }
```