

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ДИСПАРАТНОСТИ

А.Н. Волкович

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Рассматриваются проблемы увеличения производительности и качества построения карт диспаратности в задачах восстановления трехмерных моделей. Описывается оригинальный многокритериальный подход к процедуре построения карты диспаратности. Рассматриваются особенности параллельной реализации, и анализируется эффективность предложенных методов.

Введение

Задача восстановления информации об объемных характеристиках объектов на основе нескольких изображений, полученных в одно время с некоторым параллаксом, является одной из фундаментальных задач в области компьютерного зрения. Попытки построения электронной системы, функционально повторяющей систему объемного зрения человека, происходят в течение многих лет. Выработана серия приемов с использованием различных вспомогательных средств (лазерные дальномеры, сканеры, системы структурированной подсветки), которые позволяют получать дополнительные характеристики для построения трехмерной модели сцены. Особый интерес вызывают подходы, основанные на получении данных в пассивном режиме (без дополнительных излучателей) и получении на их основе информации об объеме.

Построение объемной модели на основе стереоизображений традиционно было и остается одним из наиболее актуальных направлений в развитии компьютерного зрения. Последние исследования в этой области значительно продвинули область знания в вопросах качества и адекватности построений. К сожалению, на современном этапе исследований требования к производительности значительно превышают возможности элементной базы – алгоритмы стереовосстановления обычно требуют от нескольких секунд до нескольких минут машинного времени для построения единственной карты диспаратности. Однако существует значительное количество актуальных приложений, таких как задачи навигации и виртуальной реальности, которые требуют построения карт диспаратности с частотой близкой или эквивалентной стандартному видео. Кроме того, обработка больших изображений (таких как аэрофотоснимки и т.п.) существующими методами требует неприемлемо больших временных затрат.

1. Методы стереовосстановления объемных сцен

Широкие исследования в области компьютерного стереовидения были начаты в середине 90-х годов XX века. За этот период был сформирован ряд методов, включающих в себя следующие шаги: получение данных, калибровка системы, задание точек привязки и сопряженных точек, вычисление матриц камер и моделей камер, ректификация изображений, вычисление плотных карт диспаратности, триангуляция, визуализация.

Наиболее сложным и неоднозначным в решении является этап построения карт диспаратности. Сложность решения задачи поиска соответствий заключается в том, что изображения, получаемые с камер, имеют определенную длину фокуса, ГРИП и угол обзора и не имеют возможности уточнения тех или иных характеристик за счет сакка-

дических движений, аккомодации, конвергенции и перцептивности, используемых в «живых» системах. В мировой практике выработан ряд методов построения плотных карт диспаратности, которые условно делятся на локальные и глобальные. Глобальные методы позволяют получить достаточно адекватную карту диспаратности, но при этом обладают слабой распараллеливаемостью и требуют значительных затрат машинного времени, что приводит к малой приемлемости их использования в задачах, требующих оперативной обработки данных. Локальные методы, в свою очередь, обладают хорошей перерабатываемостью для их использования на параллельных вычислителях (MPI, GPGPU), что позволяет использовать их для быстрой обработки стереоизображений, однако они обладают сильной чувствительностью к однородным областям изображений, на которых результат вычисления диспаратности дает значительные ошибки поиска соответствий. Отсюда очевидно возникает задача поиска возможностей снижения числа ошибок при вычислении соответствий в локальных областях.

2. Использование цветовой метрики при поиске локальных соответствий

В мировой практике при работе с изображениями в задачах стереовосстановления обычно используется только информация о яркости как критерии сравнения точек изображений. Недостатком данного подхода является множественность интерпретации цветов для точек с одинаковым значением яркости. Кроме того, следует учитывать факт неравномерности восприятия цветного и монохромного изображения. Данная особенность учитывается в методах деградации цветовой модели изображения к 256 оттенкам серого за счет введения коэффициентов, применяемых к соответствующим каналам.

Учитывая то, что большинство изображений изначально формировались цветным датчиком в цветном виде, в целях повышения эффективности авторами проекта была проведена модификация алгоритма с целью организации его работы с цветовой информацией.

При переходе к работе с тремя компонентами изображения можно представить в виде «облака» точек в трехмерном пространстве с осями, соответствующими цветовым каналам изображения. Однако RGB-пространство не является ортогональным, что обусловлено спецификой зрительного анализатора, имеющего различное число палочек и колбочек, восприимчивых к тому или иному цвету.

Поскольку мерой сравнения точек в трехмерном пространстве выступает евклидово расстояние, которое применимо к ортогональным системам, следует производить ортогонализации пространства RGB в пространство XYZ. Представление базисных цветов RGB, согласно рекомендациям ITU, в пространстве XYZ:

$$\text{Красный: } x = 0,64 \quad y = 0,33;$$

$$\text{Зеленый: } x = 0,29 \quad y = 0,60;$$

$$\text{Синий: } x = 0,15 \quad y = 0,06.$$

Таким образом, систему преобразований для перевода цветов между системами RGB и XYZ можно представить в виде:

$$X = 0,431 * R + 0,342 * G + 0,178 * B,$$

$$Y = 0,222 * R + 0,707 * G + 0,071 * B,$$

$$Z = 0,020 * R + 0,130 * G + 0,939 * B.$$

После приведения пространств к точкам могут применяться операции, справедливые для ортогональных систем. Следует отметить, что максимальное значение длины вектора в пространстве, построенном для 8-битного цветового канала (441 единица), в

1,7 раза превосходит по информативности сравнение точек в полутоновом представлении изображения, а количество уникальных значений увеличивается в 65 тысяч раз по сравнению с монохромным.

3. Использование функций градиента с целью уточнения диспаратности

В свою очередь, остается проблема обработки участков изображений, расположенных не в фокусе, объектов с большими однородными областями, а также бесконечно удаленных объектов (например, небо). Такие области изображений практически не имеют разрывов (перепадов) по яркости, которые, в свою очередь, несут максимальное количество информации, используемой при обработке изображения.

В целях классифицирования точки как находящейся на перепаде яркости изменение яркости, ассоциированное с данной точкой, должно быть существенно большим, чем изменение яркости в точке фона. Определение точки изображения как точки перепада происходит в том случае, если ее двумерная производная первого порядка превышает некоторый заданный порог. Один из способов нахождения первых частных производных в конкретной точке состоит в применении следующего градиентного оператора Собеля. В большинстве случаев, встречающихся в практике, оператор Собеля применяется к монохромному варианту изображения. Однако преобразование цветовой модели может исказить информацию, поэтому авторами предложено производить обработку оператором Собеля каждого цветового канала и их ансамбля при построении карты вычислений.

На основе полученной карты градиентов возможно получить следующие дополнительные характеристики точки: значение функции локального градиента, расстояние до ближайшего пика функции градиента, конфигурация пиков в некоторой окрестности, которые можно использовать для уточнения соответствия локальной области.

4. Параллельная реализация процедуры построения карты диспаратности

Задача построения плотной карты диспаратности как одна из задач обработки изображений по своей сути может быть справедливо отнесена к классу итерационных. В принципе, задача распараллеливания любого итерационного метода не относится к разряду сложных. В случае обработки изображений в локализованных регионах очевидна возможность разделения задачи.

Однако при адаптивной обработке комбинированным методом возникает значительное увеличение объемов вычислений в рамках выбранной итерации. Кроме того, возникает проблема неравномерности объемов вычислений, а также объемов используемых данных, вызываемая разноплановостью подходов к обработке изображения и карты градиентов. Данная задача, по своей сути, решается загрузкой в каждый вычислительный узел полного изображения, что может быть приемлемо при обработке монохромных исходных данных, но невозможно при работе с цветными изображениями, т.к. размерность в большинстве случаев начинает превышать объемы памяти графических ускорителей.

Учитывая взаимную независимость методов поиска соответствий на основе цветовых характеристик и карты градиентов, задача была разделена на два соответствующих прохода в вычислениях. Управление вычислительными проходами производится собственным менеджером задачи на основе «карты вычислений».

«Карта вычислений» формируется предварительно и представляет собой матрицу целочисленных значений. Заполнение матрицы производится на основе анализа региона вокруг каждой точки изображения и указывает минимальный размер региона, при котором пространство вокруг точки на карте градиентов замкнуто.

В ходе работ было определено, что при значениях в ячейках менее 20 следует использовать метод поиска соответствий на основе цветовых характеристик, а при боль-

ших значениях (нахождение точки на большом однородном поле) наилучший результат достигается при поиске соответствий на основе карты градиентов.

Основываясь на данных в «карте вычислений» менеджер задачи проводит в первую очередь вычисление методом поиска соответствий при помощи анализа цветовых компонентов в регионе. Обработка выполняется параллельно в доступных узлах графического ускорителя. Следующим шагом производится дозаполнение карты диспаратности на втором проходе. С целью повышения скорости обработки и загрузки памяти устройств менеджером задачи на основе «карты вычислений» производится загрузка минимально необходимого объема исходных данных, а также пропуск участков изображений, не относящихся к соответствующему проходу.

В рамках выполнения работ по созданию системы автоматической реконструкции трехмерных сцен по нескольким изображениям была протестирована описанная реализация метода построения плотной карты диспаратности.

Для определения эффективности выполнения метода в последовательной и параллельной реализации проведен вычислительный эксперимент. В ходе проведения эксперимента сравнивалось время выполнения метода при различных подходах к программной реализации параллелизма на различных вычислительных системах.

Вычислительный эксперимент проводился на вычислительных системах со следующими конфигурациями:

- Персональный компьютер на базе процессора Intel Core 2 Duo 2.6 ГГц, 2048 Мб ОЗУ.
- Персональный компьютер на базе процессора Intel i7 3.4 ГГц, 16384 Мб ОЗУ.
- Персональный компьютер на базе процессора Intel Core 2 Duo 2.6 ГГц, 2048 Мб ОЗУ, графическая карта NVidia GeForce 9600GT с поддержкой технологии GPGPU.

В ходе эксперимента по тестированию алгоритма производилось по десять замеров времени исполнения алгоритма на центральном процессоре для каждой стереопары. В свою очередь, вычислительный эксперимент с использованием вычислений на графической карте привел к значительным (более 10%) колебаниям времени исполнения. Безусловно, это связано с тем, что абсолютные значения времени исполнения алгоритма на GPU значительно меньше и, в целом, сравнимы с погрешностью измерения. Для того чтобы получить наиболее адекватные средние данные выполнения алгоритма на графическом ускорителе, измерения проводились двадцать пять раз для каждой стереопары.

Средние результаты времени выполнения вычислений карт диспаратности представлены в табл 1.

Таблица 1. Средняя скорость выполнения алгоритма (секунды)

Стереои изображения	Intel Core Duo 2.6 GHz Dual Mode	Intel i7 3.4 GHz	GPGPU
Изображения местности	6,91	4,87	0,016
Тестовое изображение	1,64	1,64	0,009
Макроснимок	12,61	8,46	0,027
Город	10,45	7,13	0,024
Цветок	10,82	7,52	0,030
Интерьер	11,61	8,04	0,026

Таким образом, можно говорить о том, что параллельная GPGPU-реализация алгоритма позволяет увеличить его производительность в зависимости от сложности и размерности изображений на несколько порядков по сравнению с их последовательной реализацией.

Заключение

Исследования в области автоматического построения 3D-моделей объектов реального мира привели к необходимости поиска средств улучшения качества построения карт диспаратности. В ходе исследований был выполнен переход к трехканальной метрике, используемой для формирования поля соответствий, а также к поиску соответствия при помощи карт градиентов в крупных однородных областях в задаче построения карт диспаратности.

Совокупность предложенных подходов, вместе с фактической реализацией методики на персональном компьютере с помощью GPGPU-средств, может способствовать дальнейшему развитию исследований в области улучшения качества стереообработки в задачах компьютерного зрения реального или близкого к реальному времени.

Литература

1. Zach Ch., Gallup D., Frahm J.-M. Fast Gain-Adaptive KLT Tracking on the GPU. University of North Carolina Chapel Hill, NC, 2008. 7 p.
2. Волкович А.Н., Жук Д.В., Тузиков А.В. Методы построения трехмерных моделей местности и их реализация для параллельных систем // Доклады 5-й Международной конференции «Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях», 24 – 26 октября, Минск, Беларусь, 2006. С. 100-104.
3. Ляховский В.В., Волкович А.Н., Жук Д.В., Тузиков А.В. Система автоматической реконструкции трехмерных сцен по нескольким изображениям // Материалы V Белорусского космического конгресса, 25-27 октября 2011 г. Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2011. Т.2. С. 129-133.