

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОЦВЕТНОЙ ПЗС-МАТРИЦЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Давыденко Е.В.

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова
150000, Россия, Ярославль, ул. Советская, 14, Тел. (0852) 79-77-75, E-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

Возможность получения рельефных (трехмерных) изображений все чаще требуется в современной жизни. Давно известен такой трехмерный способ фотографирования объектов, как голография. Но в связи с прогрессом вычислительной техники более актуальной становится задача получения именно цифровых трехмерных снимков в связи с возможностью их хранения и обработки в электронном виде (такой возможности голография по понятным причинам не дает). Цифровые трехмерные изображения широко используются в различных областях науки, техники и искусства, разработано и множество методов получения информации о геометрической форме объектов в пространстве. Например, цифровую информацию о рельефе дна можно получить с помощью эхолота. Эхолот основан на принципе измерения разности фаз излучаемого и отраженного звукового сигнала. Этот же принцип может применяться и в воздушном пространстве для сканирования рельефа относительно небольших (от десятков сантиметров до нескольких метров в поперечнике) объектов. Но из-за своей небольшой точности и сложности оборудования он не нашел широкого применения. Значительно чаще для этой цели используются системы на основе лазера. Лазерные методы обладают большей точностью, проще в исполнении и использовании, однако обладают меньшим быстродействием.

Методы лазерного считывания рельефа можно разделить на 2 типа:

- сканирование на основе лазерного дальномера,
- триангуляционное сканирование.

Первый метод основан на измерении расстояния от сканирующего прибора до текущей точки на объекте – получается один отсчет. Далее лазер перемещается и сканирует весь рельеф.

Второй метод основан на изменении положения лазерного пятна или полосы в зависимости от высоты рельефа объекта в данной точке при непараллельном расположении осей лазера и считывающего прибора. Для повышения скорости сканирования лазерная точка на объекте растягивается с помощью цилиндрической линзы в полосу, таким образом за одно измерение сканируется не одна точка, а N точек при разрешении камеры $M \times N$. Работа данного принципа проиллюстрирована на рис.1.

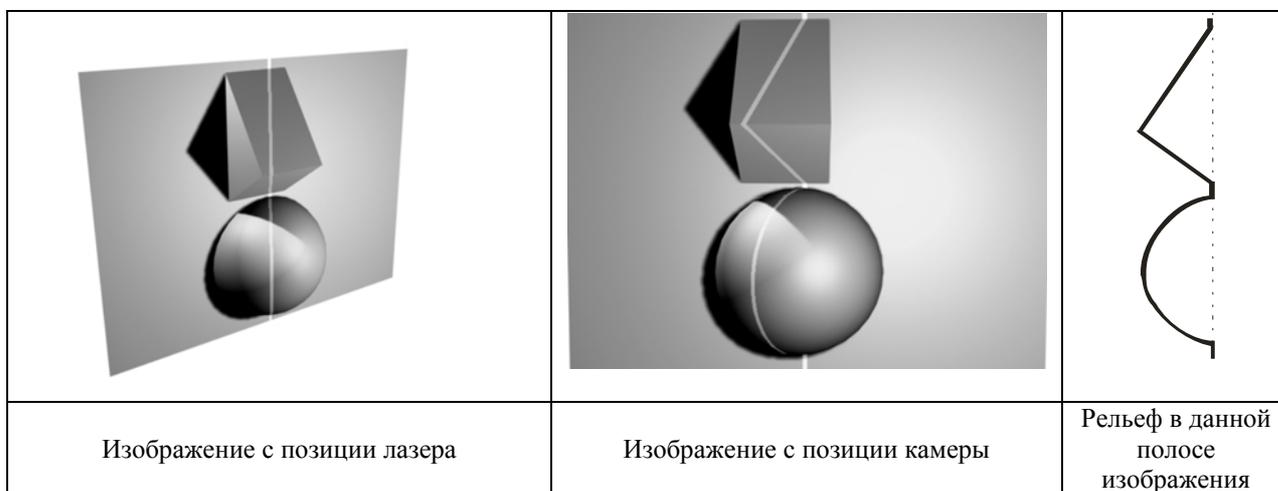


Рис.1. Принцип триангуляционного сканирования.

В общем случае алгоритм состоит из считывания изображения с камеры, определения позиции отдельных точек лазерной полосы в нем, преобразования координат точек полосы преобразуются в координаты точек на сканируемом объекте. Далее лазер поворачивается, и операция повторяется для сканирования всего объекта.

Традиционно в триангуляционном сканировании в качестве регистрирующего элемента применяется черно-белая ПЗС-матрица, регистрирующая только интенсивность лазерного пятна на объекте. При этом для упрощения обработки регистрируемых изображений часто требуется, чтобы сканирование проводилось в неосвещенном помещении. Тогда в получаемом с камеры изображении будет присутствовать только лазерная полоса, т.е. для установления ее позиции необходимо найти только глобальный максимум в данной строке изображения. Однако данный метод неудобен и мало применяется на практике. Кроме того, возможна постановка перед камерой светофильтра на длине волны лазера, что так же отфильтрует из изображения только точки, освещенные лазером.

При сканировании в освещенном помещении изображение с лазерной полосой можно получить, если вычлесть из отснятого изображения с полосой то же изображение, но без полосы. В результате получим изображение, где теоретически будет присутствовать только полоса. Но если за время сканирования в сцене произошли какие-либо изменения (например, небольшое перемещение лица человека при его сканировании – т.к. человек не может сидеть абсолютно неподвижно), то информация о них тоже будет присутствовать в разностном кадре, являясь мешающей и искажая результаты.

Одним из возможных путей решения проблемы присутствия в разностном кадре информации об изменениях положений объектов является повышение скорости сканирования (промышленные образцы осуществляют одно сканирование менее чем за секунду). Для такого повышения производительности применяются черно-белые камеры невысокого разрешения (редко больше 640x480 точек) и мощные сигнальные процессоры, обрабатывающие сигнал в реальном времени. Понятно, что из-за малого разрешения камеры падает и точность сканирования.

В работе произведено исследование возможности применения в качестве регистрирующего элемента цветной цифровой камеры высокого разрешения с целью повышения точности сканирования. Это накладывает ряд требований к системе обработки:

1. Из-за большого объема информации обработка сигналов в реальном времени трудно реализуема.

2. В разностном сигнале с камеры часто присутствует и мешающий сигнал из-за перемещения объектов сканирования, поэтому необходимы дополнительные меры для минимизации этого эффекта.

Рассматриваемая система реализована на практике на базе цветной цифровой камеры с разрешением 2048x1536 точек.

Процесс сканирования состоит из двух этапов: непосредственно сканирования и дальнейшей обработки результатов на компьютере.

Обработка результатов состоит из нескольких этапов. Сначала вычисляется смещения объектов в сцене. Для этого производится корреляционный анализ текущего и предыдущего кадров. В результате получается вектор смещения сканируемого объекта.

Далее с учетом этой информации вычитанием двух кадров получается разностный кадр. При этом отрицательные значения в разностном кадре обнуляются, т.к. при попадании луча лазера на данную точку поверхности яркость данной точки может только увеличиться. Следует отметить, что разностный кадр на данном этапе представляет собой цветное изображение.

Потом цветной разностный кадр из цветовой системы RGB (Red Green Blue) переводится в систему HSV (Hue Saturation Value) [3]. Цветовая система HSV удобна тем, что в ней компонента Hue описывает цветовой тон данной точки. Исходя из того, что цвет лазера красно-рубиновый, значение параметра hue для освещенных лазером точек должно быть близко к 360 градусам (чистый красный). По понятным причинам при черно-белой ПЗС такая фильтрация невозможна, таким образом использование цветной матрицы позволяет повысить устойчивость системы к ложным срабатываниям вследствие изменения положения сканируемых объектов.

После применения порога к тоновой (hue) компоненте получается изображение в градациях серого, содержащее лазерную полосу. Далее оно фильтруется для минимизации влияния шумов (фильтр нижних частот и медианная фильтрация). После этого необходимо найти локальные максимумы интенсивности в каждой строке данного изображения. Максимумы ищутся исходя из информации о том, что поперечное распределение энергии в лазерном луче подчиняется гауссовому закону.

Далее полученное изображение вновь фильтруется для минимизации ложных срабатываний – из-за неидеальной сходимости луча лазерное пятно имеет некоторую протяженность, поэтому можно предположить, что одиночная точка в полученном изображении с максимумами будет являться помехой. На данном этапе такие точки убираются, а остаются только те, выше или ниже которых есть еще точки. Суммарная информация о количестве точек, отсеянных по этому критерию, может использоваться для адаптивной подстройки порога (чем больше таких точек – тем строже необходимо выставить порог).

Информация обо всех просчитанных максимумах суммируется по отдельным кадрам с пересчетом в реальные координаты на объекте. В результате получается карта рельефа отсканированного объекта. Она так же фильтруется, исходя из предположения, что одиночные точки в ней не могут значительно отличаться от своего окружения. Такие точки либо выбрасываются, либо заменяются усредненным значением высоты соседних точек. Эта операция производится с помощью пороговой медианной фильтрации [4].

Для повышения разрешения в процедуре определения максимумов возможно применение полиномиальной аппроксимации [1]. В этом случае берется несколько точек вблизи максимума, далее они аппроксимируются полиномом k-ой степени, и ищется глобальный максимум данной аппроксимирующей кривой. Такой подход значительно повышает разрешение метода, но требует высокого качества входного изображения и малого уровня шумов (в случае матрицы низкого разрешения такой подход вообще неприменим из-за малого количества точек для аппроксимации).

Полученная карта рельефа может быть сохранена как в формате значений высоты точек в зависимости от поперечных координат, так и в формате трехмерной модели (с помощью триангуляции Делоне).

Таким образом, применение цветной ПЗС-матрицы высокого разрешения в составе лазерного сканера позволяет значительно повысить разрешение сканирования. Например, промышленные образцы от Konika-Minolta оснащены монохромными матрицами разрешением до 340 тысяч пикселей, соответственно максимальное разрешение отсканированного рельефа составляет 640x480 точек, однако весь процесс сканирования занимает время от одной до пяти секунд и производится в реальном времени. Использование же цветной камеры разрешением 2048x1536 (3.1 мегапикселя) позволяет повысить разрешение в пределе до 2000x1500 точек (а при использовании полиномиальной аппроксимации даже больше минимум в 2 раза) без использования специализированных светофильтров, однако само сканирование занимает значительно больше времени и требует дополнительных операций фильтрации для уменьшения вероятности появления ложных точек.

Литература

1. Пальчик О.В., Андреев В.Г. Обработка данных триангуляционного измерителя / 6-я Международ. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Докл. Т.2. Москва. 2004. с.197-200
2. Приоров А.Л., Ганин А.Н, Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений: Учеб. Пособие / Ярославль, 2001.
3. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing / Prentice-Hall, 2002.
4. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Под ред. Т.С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984.

