

# Using of sub pixel line extraction methods in non-contact measure systems.

Andrey Pozin

State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, Russia  
pozinan@mail.ru

## Abstract

This article investigates opportunities of some algorithms of sub pixel line extraction in tasks of 3D reconstruction quality improvement.

The ability of algorithms to reconstruct smooth surface with minimal noise is compared.

**Keywords:** 3D reconstruction, sub pixel line extraction.

## Аннотация.

Эта статья исследует возможности нескольких алгоритмов субпиксельного выделения линии в целях повышения качества 3D реконструкции.

Сравнивается способность алгоритмов восстанавливать гладкую поверхность с минимальным шумом.

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Пожалуй, самым распространённым в настоящее время принципом получения трёхмерной поверхности путём сканирования объекта является принцип триангуляции. Для использования этого принципа необходимы как минимум одно устройство захвата изображения и одно устройство подсвета. Если устройство подсвета не совмещено с устройством точного позиционирования, то тогда используется система из одного устройства подсвета и как минимум двух устройств захвата изображения. В качестве устройства захвата изображения в современных системах в основном применяются видеокамеры высокого разрешения, а в качестве устройств подсвета лазеры, мультимедийные проекторы, специализированные устройства подсвета и т.д. Пример установки показан на рисунке 1.

В этой статье исследуется вопрос повышения качества восстанавливаемой поверхности за счёт применения новых алгоритмов обработки изображений.

## 2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

Далее рассматривается работа с системой состоящей из двух камер и устройства подсвета дающего яркую вертикальную полосу.

Для получения 3D координат точек объекта необходимо на левом и на правом изображении найти яркую линию, произвести операцию отождествления линий с левого и правого снимков и по результатам этой операции, зная параметры камер, непосредственно вычислить координаты точек принадлежащих линии.

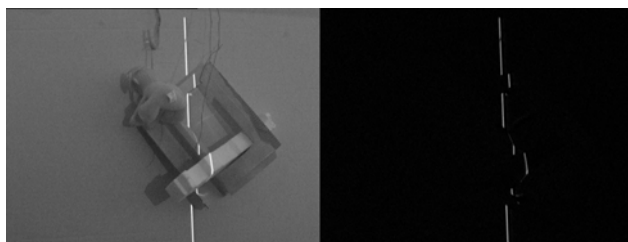
На точность данного метода главным образом влияют следующие факторы – точность определения параметров

камер и точность выделения подсвеченной линии из изображения. В этой статье считается, что параметры камер вычислены с достаточной точностью и рассматривается вопрос выделения линии.

Так как при сканировании не очень больших объектов есть некоторая свобода в выборе условий съёмки, то обычно весь процесс сканирования производят в затемнённом пространстве. Этим достигается высокая контрастность выделяемой линии относительно тёмного фона. Однако, в случае статической сцены, яркий фон можно удалить, пользуясь некоторым количеством соседних кадров (смотри рисунок 2). В этом случае специальных условий освещения не требуется.



**Рисунок 1.** Пример 3D сканера. В качестве устройства подсвета применяется мультимедийный проектор, две чёрно-белые камеры служат для получения геометрии, цветная камера нужна для получения текстуры.



**Рисунок 2.** Изображение слева – вид с левой камеры на сканируемый объект. Изображение справа – то же изображение, но с удалённым фоном. Съёмка производилась днём в обычной комнате.

Очевидным решением задачи поиска вертикальной линии являются самые яркие точки в каждой строке. С некоторыми дополнениями (отсечение слишком тусклых точек...), этот метод с успехом применяется на практике. А в силу своей простоты, он может быть реализован на довольно слабом персональном компьютере и способен обрабатывать изображения, поступающие с камер, в реальном времени.

Однако с повышением требований к точности сканирования этот простой метод становится узким горлышком на пути к уменьшению ошибок. Точность распознавания в 1 пиксель не является достаточной, требуется применение субпиксельных алгоритмов распознавания линии. Ранее Fisher и Naidu [1] детально рассматривали некоторые алгоритмы субпиксельного распознавания линии, в этой статье рассматривается новый алгоритм выделения линий [2] применённый как к распознаванию центра одной строки, так и выделения линии в 2D, а также простой алгоритм усреднения с весами.

### 3. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ.

Принцип работы алгоритмов распознавания:

1. Получить первое приближение координаты пика с точностью до пикселя. Для каждой точки строки считается сумма яркостей трёх соседних. За координату пика принимается точка с максимальной суммой, но не меньшей чем заданный порог. Если сумма меньше порога, то считается что в этой строке ничего не найдено.
2. Уточнить координату пика одним из субпиксельных методов. В качестве таких методов применялись:
  - Весовое усреднение по 3, 5 и 7 соседним точкам.
  - Алгоритм Штегера 1D – поиск по строке.
  - Алгоритм Штегера 2D. Анализируются 5 соседних пикселей.

Перечисленные методы обладают большой гибкостью в выборе параметров, при достаточно хорошем их подборе можно применять практически на любых размерах линии и высоком уровне шума.

Методы линейной аппроксимации, аппроксимации параболой и гауссианом по трём точкам были отброшены как зависящие от шума и неспособные восстановить положение пика для линий шириной в несколько пикселей.

#### 3.1 Алгоритм усреднения с весами.

Весовое усреднение происходит по обычной формуле.

Пусть  $I_i$  – яркость  $i$ -той точки, тогда  $x$  - координата найденного пика,

$$x = \frac{\sum_i I_i \cdot i}{\sum_i i}$$

Усреднение происходит по 3,5 или 7 точкам вокруг первого приближения.

#### 3.2 Алгоритм Штегера 1D.

Вначале изображение размывается фильтром Гаусса (с параметром  $\delta$ ), затем в нём находится максимум с большой точностью, следующим образом:

Пусть  $g$  – изображение одной строки обработанное фильтром Гаусса (слегка размытое),  $g'$  и  $g''$  – его первая и вторая производные, тогда раскладывая функцию яркости в ряд Тейлора, получаем  $P(x) = g + g'x + \frac{1}{2}g''x^2$

За координату пика принимается точка, в которой производная  $P'(x) = 0$ , а  $g''$  принимает минимальное значение, если ищется белая линия на чёрном фоне и максимальное, если ищется черная линия на белом фоне.

Из условия  $P'(x) = 0$  следует  $x = -g'/g''$

Значения  $g'$  и  $g''$  получаются сворачиванием изображения с матрицами фильтра Гаусса, его первой и второй производных соответственно. Значение  $x$  считается центром пика, если для данного пикселя  $x$  лежит в диапазоне  $[-1/2, 1/2]$ .

#### 3.3 Алгоритм Штегера 2D.

Принцип алгоритма такой же, как и в 1D случае, только функция яркости теперь зависит от двух переменных.

Вначале вычисляются производные  $g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}$ , затем ищется характерное направление перпендикулярное искомой линии,  $n = (n_x, n_y)$ , как нормированный собственный вектор соответствующий максимальному собственному значению

матрицы частных производных  $H = \begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} \\ r_{xy} & r_{yy} \end{pmatrix}$ , и

вычисляется искомая точка  $p$ .

$$p = (p_x, p_y) = (tn_x, tn_y), \text{ где } t = -\frac{r_x n_x + r_y n_y}{r_{xx} n_x^2 + 2r_{xy} n_x n_y + r_{yy} n_y^2}$$

Аналогично, точка  $p$  считается за центр пика, если

$$p \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right] \times \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$$

После распознавания линий на изображениях с левой и правой камер, координаты распознанных точек передаются в специализированное программное обеспечение, настроенное на параметры комплекса, в котором происходит построение готовой 3D модели.

### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ.

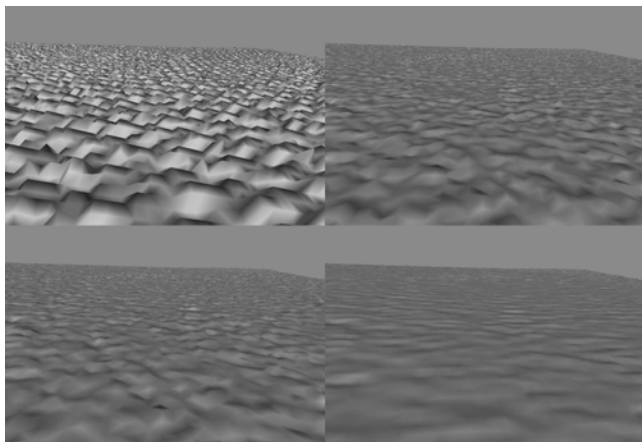
Для анализа результатов работы алгоритмов распознавания применялась следующая методика:

- Вначале с комплекса были получены более 1000 пар снимков с обеих камер и сохранены все его параметры (параметры калибровки камер, другие геометрические характеристики). Таким образом, все алгоритмы были поставлены в равные условия.
- Каждый из исследуемых алгоритмов производил обработку всех снимков. По результатам обработки были построены 3D модели.
- Полученные модели сравнивались двумя способами:

1. Субъективный метод, оценивалось визуальное качество полученной модели в 3D редакторе.
2. Количественный метод. Определение шумовой составляющей в модели. Модели сравнивались с собственными упрощёнными вариантами. В качестве численной характеристики сравнения выбрана среднеквадратичная ошибка сопоставления поверхностей. Поверхности сопоставлялись при помощи итеративного метода изложенного в [3]. При этом в качестве функции расстояния использовалось расстояние от точки до плоскости. Упрощение модели проводилось простым усреднением точек по квадратам размером 10x10 мм.

#### 4.1 Субъективный метод.

Вид поверхности полученной разными алгоритмами показан на рисунке 3. Все снимки сделаны из одного положения.



**Рисунок 3.** Результат обработки одних и тех же данных различными алгоритмами.

Слева сверху – алгоритм без субпиксельного уточнения.

Справа сверху – алгоритм весового усреднения по 5 точкам.

Слева снизу – алгоритм Штегера 1D с  $\delta=1.50$  пикселей.

Справа снизу – алгоритм Штегера 2D с  $\delta=1.50$  пикселей.

Очевидно, визуально алгоритм Штегера 2D превосходит остальных по качеству поверхности.

#### 4.2 Количественный метод.

Нижеприведённая таблица позволяет сравнить зашумлённость получаемых моделей. Очевидно, любой алгоритм субпиксельного уточнения сильно выигрывает у простого алгоритма поиска самого яркого пикселя. Наилучшим образом себя повёл алгоритм Штегера 2D. Модель, полученная при помощи этого алгоритма, получилась намного глаже, чем другие. Алгоритм Штегера 1D конкурирует с алгоритмом усреднения с весами, и при правильном подборе параметров выигрывает у него.

Алгоритм	Среднекв. ошибка
Non_subpix (без субпиксельного уточнения)	0.377
Steger_1D_075 (алгоритм Штегера 1D, $\delta=0.75$ пиксела, размер маски 15 пикс.)	0.086
Steger_1D_150 (алгоритм Штегера 1D, $\delta=1.50$ пиксела, размер маски 15 пикс.)	0.084
Steger_1D_300 (алгоритм Штегера 1D, $\delta=3.00$ пиксела, размер маски 15 пикс.)	0.107
Steger_2D_150 (алгоритм Штегера 2D, $\delta=1.50$ пиксела, размер маски 15x15 пикс.)	0.049
Weighted_3 (усреднение с весами по 3 пикс)	0.203
Weighted_5 (усреднение с весами по 5 пикс)	0.096
Weighted_7 (усреднение с весами по 7 пикс)	0.109

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Алгоритм Штегера проявил себя с лучшей стороны в этом небольшом тестировании, особенно вариант 2D. Несмотря на некоторую сложность реализации и большее время исполнения результат оправдывает эти расходы. Так как на нахождение первого приближения тратятся значительные вычислительные ресурсы, потеря производительности на субпиксельное уточнение не сильно снижает общую производительность системы и должно использоваться везде, где важно качество получаемой поверхности.

Все тесты в данной статье производились на гладких поверхностях. Поведение алгоритмов в случае присутствия в модели острых углов или сильно меняющейся отражательной способности является целью дальнейших исследований.

#### 6. ССЫЛКИ

[1] R. B. Fisher and D. K. Naidu. A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection. Springer-Verlag, Heidelberg, 1996

[2] Carsten Steger: An Unbiased Detector of Curvilinear Structures; Technical Report FGBV-96-03, Forschungsgruppe Bildverstehen (FGBV), Informatik IX, Technische Universitet Munchen, July 1996

[3] Gelfand, N., Ikemoto, L., Rusinkiewicz, S., Levoy, M., Geometrically stable sampling for the ICP algorithm, 3DIM03(260-267).

#### Об авторе.

Позин Андрей, закончил Московский Физико-Технический Институт в 2003 г.

Аспирант ГосНИИАС, инженер.

Почтовый адрес [pozinan@mail.ru](mailto:pozinan@mail.ru)