

Разработка методики стереотождествления по одной стереопаре с использованием статического кодированного подсвета

Гюменцев Ю.В.

Государственный Научно-Исследовательский Институт Авиационных Систем

Москва, Россия

navaid@rambler.ru

Аннотация

В статье предложен метод решения задачи стереотождествления по одной стереопаре, использующий статический кодированный подсвет на базе последовательностей De Bruijn. Рассмотрены существующие методики стереотождествления. Приведено описание экспериментальной установки. Предложен шаблон статического подсвета. Разработаны алгоритмы обработки стереопары изображений, осуществляющие детектирование и декодирование шаблона на изображениях.

Исследования проводились в рамках создания системы 3D-сканирования лиц.

Ключевые слова: 3D-сканирование, стереофотограмметрия, кодированный подсвет, стереопара.

1. ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько подходов к решению задачи 3D реконструкции, однако наиболее известным является стереофотограмметрический принцип. При этом стереотождествление (нахождение соответствующих пар точек на обоих снимках) играет существенную роль.

Имеется две группы методов для решения этой задачи: это корреляционные методы, использующие особенности самих объектов на снимках для нахождения соответствующих пар точек и методы, в которых для решения задачи стереотождествления применяется структурированный подсвет [1].

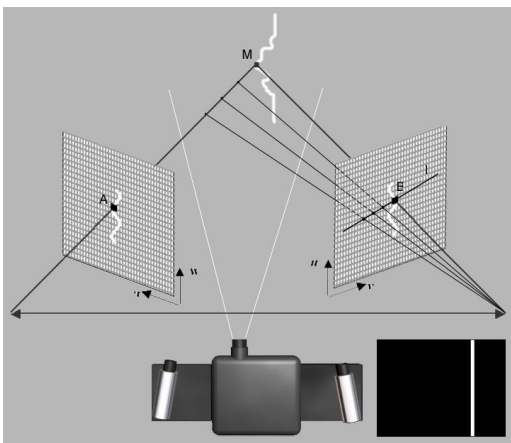


Рис. 1 Стереофотограмметрическая система с использованием структурированного подсвета

В простейшем случае подсветом может быть узкая полоса света от лазера или проектора (рис.1). В нижнем правом углу изображен вид слайда (или матрицы) проектора с узкой вертикальной полосой. В основе метода лежит следующий геометрический принцип: для каждой точки А, принадлежащей полосе на левом снимке, соответствующая ей точка В на правом снимке должна лежать на некоторой прямой l, которая определяется геометрией съемки. Таким образом, если система ориентирована горизонтально, эта прямая будет также близка к горизонтальной, что и определяет ориентацию полосы подсвета.

Более сложной техникой структурированного подсвета является бинарное кодирование и его модификации, а также методы фазового сдвига [3], в основе которых лежит идея проецирования на объект серии шаблонов. Таким образом, для выполнения задачи стереотождествления требуется несколько пар снимков. Применение данных методик позволяют получить высокую плотность и качество 3D-данных.

Техника статического подсвета использует единственный шаблон кодированного подсвета и, соответственно, одну стереопару, однако ее применение не позволяет получить максимальной плотности 3D-данных и зависит от качества алгоритмов стереотождествления.

Выбор методики 3D-реконструкции проводился исходя из ограничений, накладываемых на систему сканирования лица:

- Сканирование объекта должно происходить в незаметном режиме.
- Методика должна поддерживать работу с подвижными объектами.

Применение корреляционных методов [5] к данной задаче ограничено рядом факторов: при сканировании объектов с небольшого расстояния появляются ракурсные искажения, что существенно ухудшает качество корреляции. Кроме того, для нормальной работы алгоритмов корреляции требуются камеры высокого разрешения.

Для сканирования подвижных объектов в работе Song Zhang[3] с успехом применяется техника фазового сдвига, однако необходимость использования мультимедийного DLP-проектора не позволяет работать в ИК-диапазоне и обеспечивать незаметность сканирования.

Применение статического подсвета позволяет работать в ИК-диапазоне при использовании бинарного шаблона. При этом значительно упрощается устройство подсвета. Кроме того, использование одной стереопары позволяет работать с подвижными объектами.

2. СТАТИЧЕСКИЙ ПОДСВЕТ

Среди методик на основе статического подсвета наилучшие результаты были получены в работах Salvi, Lavoie, L. Zhang, где для кодирования шаблона использовались последовательности De Bruijn [1].

Последовательностью De Bruijn порядка m над алфавитом из n символов называется последовательность длины n^m , которая содержит каждую подпоследовательность длины m ровно один раз.

Однако характерным для всех перечисленных методов является использование цвета при кодировании шаблона. Например, в работе L. Zhang [4] шаблон состоит из 125 цветных полос, кодируемых 5 цветами, что обеспечивает уникальность каждых 3 полос на всем шаблоне. Исходя из требования бинарности подсвета, автором был разработан шаблон, использующий два значения ширины белых полос для кодирования членов последовательности, при этом черные полосы равной ширины используются для их разделения.

В настоящий момент кодирование шаблона производится с использованием периодической последовательности порядка 5 над двоичным алфавитом с исключением 4 и более подряд идущих нулей и единиц. Период такой последовательности $T=22$. На Рис. 2 изображен участок данного шаблона, где ноль кодируется горизонтальной полосой с шириной в 1 пикс, а единица - горизонтальной полосой 3 пикс, пространство между полосами - 3 пикс. На снимках, в силу ряда эффектов, относительная ширина полос получится равной $\sim 1/2$ и будет надежно детектируемой.

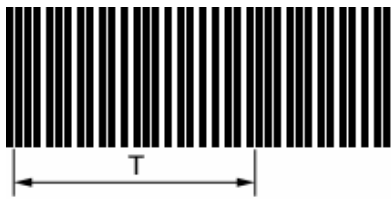


Рис. 2

3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В качестве схемы взаимного расположения проектора и камер в рассматриваемой системе выбрана вертикальная компоновка, макет которой представлен на рис. 3.

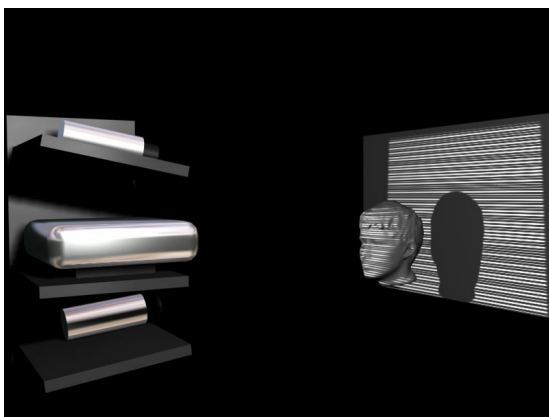


Рис. 3 Аппаратный состав комплекса сканирования

Подобный выбор обусловлен рядом причин. Во-первых, горизонтальное положение линий подсвета дает наиболее полный охват лица, нежели вертикальное положение, при котором ранее был отмечен факт пропадания или слияния полос в области носа и боковых поверхностей лица. Кроме того, вертикальная компоновка позволяет делать систему более компактной, а именно уменьшить горизонтальные составляющие размера.

В состав экспериментального комплекса 3D-сканирования входят 2 ч.б. камеры Panasonic WV-BP330 и ЖК-проектор Canon XEED 50, применяемый для тестирования различных вариантов кодирования шаблона.



Рис. 4 Снимки, полученные с верхней и нижней камеры

4. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ

Целью рассмотрения в данной статье являются алгоритмы стереоотождествления, на вход которых поступает стереопара изображений (Рис. 4), а выходом являются сопоставленные 2D-точки. Функциональная схема алгоритмов представлена на Рис. 5

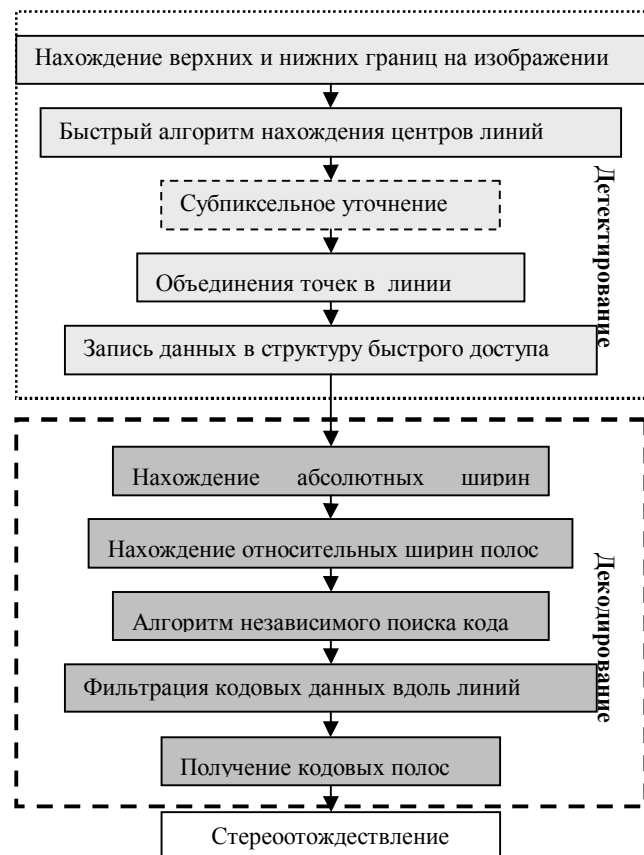


Рис. 5 Функциональная схема алгоритмов.

4.1 Алгоритмы детектирования

Задачей алгоритмов детектирования является нахождение 2D-точек и объединение их в 2D-примитивы (в нашем случае полосы), используемые в дальнейшем для декодирования.

Для получения высокой плотности 2D-данных на изображении ищутся не центры полос, а их верхние и нижние границы. Для этого производится свертка изображения с масками Собеля (Sobel):

$$S_1 = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}; S_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

На полученных изображениях P1 и P2 ищутся центры линий методом весового усреднения по формуле:

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

Где I_i – яркость i -той точки, тогда x - координата найденного пика. Далее для найденных центров линий производится субпиксельное уточнение по алгоритму Steger 2D [2].

После нахождения 2D-точек, производится их связывание по следующему алгоритму:

Список всех точек изображения сортируется по признаку «Силы» точек [2]. Из списка берется 1-ая (наиболее «сильная») точка, удаляется из исходного списка и заносится в список точек новой линии. К ней ищется ближайшая точка,

- значение выражения $S = Dist + K \cdot \alpha$ для которой будет минимальным и допустимым $S < S_{max}$
- Значение "силы" которой будет больше значения для предела связывания.

Если такая точка найдена - она удаляется из исходного списка и заносится в список точек новой линии, иначе начинается поиск новой линии.

После выполнения связывания данные детектирования записываются в структуру быстрого доступа.

На Рис. 6 и Рис. 7 показаны результаты обработки изображения алгоритмами детектирования.

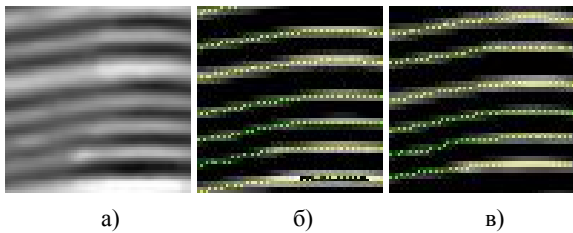


Рис. 6 Результаты работы алгоритмов детектирования:
а) Исходное изображение б), в) Изображения после свертки с масками Sobel, с найденными центрами.

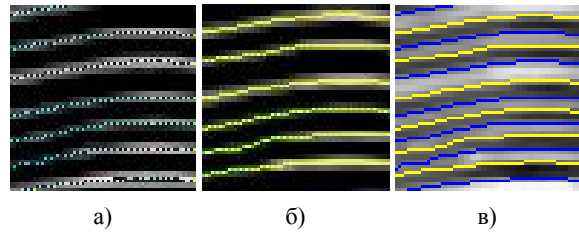


Рис. 7 Результаты работы алгоритмов детектирования:
а), б) Визуализация результата связывания точек на изображениях после свертки с масками Sobel. в) Визуализация результата детектирования: найденные верхние и нижние границы полос на исходном изображении

4.2 Алгоритмы декодирования

Получая на вход 2D-данные о границах полос, алгоритмы декодирования возвращают список полос с уникальным кодом, которые затем используются для решения задачи стереоотождествления.

Блок алгоритмов декодирования полос должен соответствовать следующим требованиям:

- Алгоритмы не должны делать предположений о форме объекта на изображении.
- Алгоритмы должны осуществлять объединение несвязных областей объекта.
- Небольшие ошибки декодирования должны приводить к небольшим изменениям в результате.

Первоначально для каждого вертикального среза полосы находится его фактическая ширина с субпиксельной точностью. После этого определяется относительная ширина для каждого среза. Алгоритм поиска относительной ширины работает следующим образом: каждый столбец изображения обходится сверху вниз. При этом алгоритм работает по принципу переходов: полосе присваивается единичная или двойная ширина в зависимости от перехода от меньшего значения ширины к большему, либо наоборот. Результаты поиска относительных ширин в области лица представлены на Рис. 8 а)

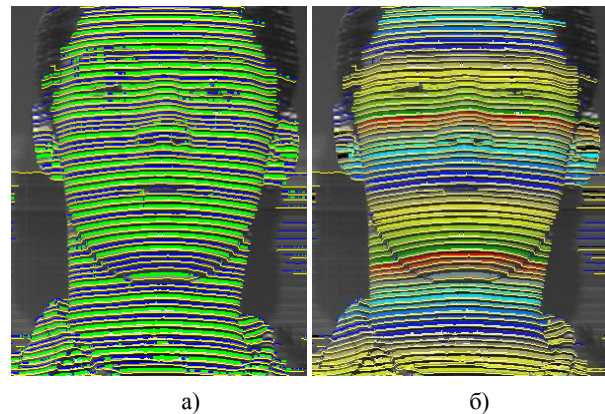


Рис. 8 Результаты работы алгоритмов декодирования в области лица

Далее на основании информации об относительных ширинах 5 близлежащих по вертикали срезах полос, на каждой вертикали находятся монотонные кодовые участки, причем

предпочтение отдается более длинным участкам, которые «перекрывают» мелкие интервалы, часто ошибочные. Затем на основании полученной информации о кодах отдельных точек вдоль линий производится медианная фильтрация с целью устранения случайных ошибок определения ширины/кода.

На следующем этапе производится обход по созданным на этапе детектирования линиям, и объединение декодированных значений в полосы одинакового кода. Результат декодирования полос показан на Рис. 8 б)

После этого полосы организуются в области монотонного кода, которые при необходимости связываются, образуя единый набор линий с уникальным кодом на всем изображении. Располагая интервалом распознанного кода [C1,C2] для каждого изображения, решение задачи стереосопоставления сводится к нахождению наилучшего совмещения двух интервалов.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработка ПО на базе описанных алгоритмов проводилась в среде Visual Studio 2005 на языке C++ с использованием контейнерных классов STL.

Анализ результатов проводился субъективным методом: визуальной оценкой плотности и качества получаемых 3D-моделей. На Рис. 9 изображена модель лица, полученная по стереопаре (Рис. 4), а также модель детали простой формы. Таким образом, алгоритмы показывают хороший результат, если поверхность объекта состоит из достаточно гладких участков, которые могут быть несвязными. Однако был отмечен факт пропадания данных для объектов сложной пространственной формы.

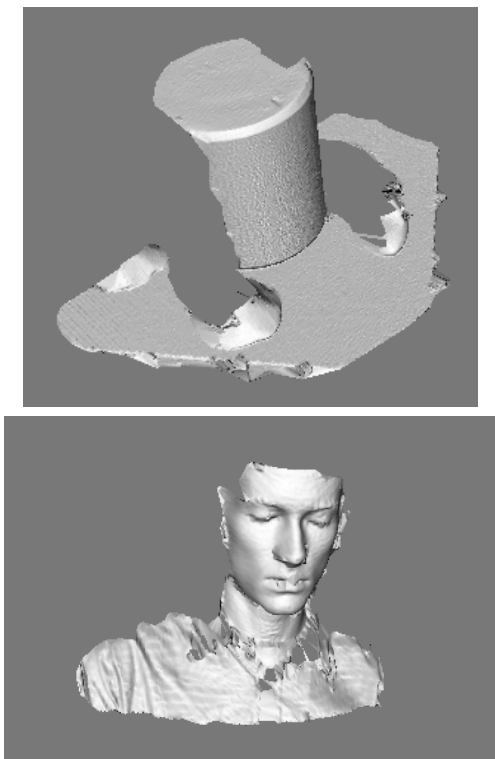


Рис. 9

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика инвариантна в отношении объекта сканирования и может с успехом применяться для решения множества задач 3D-реконструкции. Модификация алгоритмов для улучшения результатов сканирования объектов сложной пространственной формы является целью дальнейших исследований.

7. ССЫЛКИ

- [1] Salvi J., Pages J., Battle J. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition*, 37(4):827-849, April 2004.
- [2] Pozin A.G. Using of sub pixel line extraction methods in non-contact measure systems. Труды 14-ой Международной Конференции по Компьютерной Графике и Зрению GraphiCon 2004, Москва, 2004. 230 стр.
- [3] Song Zhang, Peisen Huang, "High-resolution, real-time 3-D shape measurement," *Optical Engineering*, 2006, pp.123601.
- [4] L. Zhang, B. Curless, S. M. Seitz, Rapid shape acquisition using color structured light and multi-pass dynamic programming, in: *Int. Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, Padova, Italy, 2002.
- [5] Желтов С.Ю. Разработка теории, методов и алгоритмов машинного зрения в задачах обнаружения объектов: Диссертация д-ра техн. наук: 05.13.01 М., 2002
- [6] Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. 2004г. – 928 с.

Об авторе.

Тюменцев Юрий, закончил Московский Авиационный Институт в 2007 г.

Инженер ГосНИИАС

Почтовый адрес navaid@rambler.ru

About the author

Tumencev Yuri is an engineer of GosNIAS. His contact email is navaid@rambler.ru

Using Static coded light in single stereopair matching algorithms

Abstract

In this paper matching algorithms based on static coded light are proposed. De Bruijn sequences are employed for pattern encoding.

The research was carried out while creating a system of face acquisition, the developed technique is invariant in terms of scanned objects and could be successfully applied for solving a number of 3D reconstruction tasks.

Keywords: One-shot 3D-acquisition, photogrammetry, coded light