

УДК 621.375.826

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ГЛУБИНЫ ПО ДАЛЬНОСТИ ПО СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЮ

Ковалёв О.Ф., Козлов В.Л.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

В робототехнике, промышленности и индустрии видеотехники большое значение имеет определение по полученным фото- или видеоданным расстояния от объектива камеры до предметов перед камерой.

При промышленном использовании роботов актуальна задача определения расстояния от рабочих инструментов робота до поверхностей, которые он обрабатывает. В горной промышленности всё чаще применяются роботизированные горнопроходческие машины, действующие автоматически при участии человека только как контролёра и наблюдателя. Так для корректной работы робота-экскаватора в шахте требуется видеосистема, позволяющая определять расстояние от ковша до пласта породы и от самого экскаватора до стен шахты для обеспечения ориентации экскаватора в тесном пространстве шахты.

В видеоиграх, где вместо управления движением персонажа при помощи клавиатуры, мыши или джойстика, сам геймер совершает характерные для игры движения (к примеру, удар ракеткой в игре в теннис). При этом нужно получать данные о дальности объекта, будь то сам игрок или объект, как ракетка, от которого до объектива видеосистемы измеряется расстояние.

И в случае робототехники и в видеоиграх для определения расстояний до объектов требуются простые с математической точки зрения методы, позволяющие за минимальное время определить расстояние с приемлемой точностью. Подобным методом является построение карты глубины по дальности. Карта глубины – это изображение, на котором для каждого пикселя, вместо цвета, хранится его расстояние до камеры. Карта глубины может быть получена с помощью специальной камеры глубины, а также может быть построена по стереопаре изображений.

Карту глубины по дальности можно построить, используя ультразвуковые преобразователи или лазерное освещение, дающие на выходе

быструю и точную информацию о глубине. Если высокая точность не требуется или требуется компромисс между ценой и качеством, карта глубины строится при помощи пары стереоизображений. Это повторяет принцип бинокулярного зрения у человека и позволяет отказаться от использования многочисленных и дорогостоящих датчиков, радаров или лидаров. Карта глубины по дальности строится лишь при помощи двух камер, которые, делая фото, создают стереопару. Каждое фото – это аналог картины, которую человек видит левым и правым глазом по отдельности.

Важными факторами при построении карты глубины по дальности являются точность, качество (т.е. возможность отличить на карте два близкорасположенных объекта) и время создания карты.

Одна из фундаментальных проблем стереозрения заключается в установлении точного соответствия между левым и правым изображением стереопары. Под соответствием понимается расстояние (диспаратет) между пикселями одного и того же объекта на левом и правом изображении. Существующие локальные методы по вычислению карты диспаратета основаны на принципе «скользящего окна» [1].

Система, позволяющая строить карту глубины по дальности на основе стереоизображений, включает в себя пару камер, установленных на одной линии, которая параллельна плоскости изображения, с известными расстояниями между камерами и фокусным расстоянием.

Также система может быть построена на основе одной камеры, делающей снимок из одного положения, а затем перемещённой по линии, параллельной плоскости изображения на известное расстояние, и делающей второй снимок. Снимки, поступающие из камер, обрабатываются созданной в пакете *Mathlab* программой.

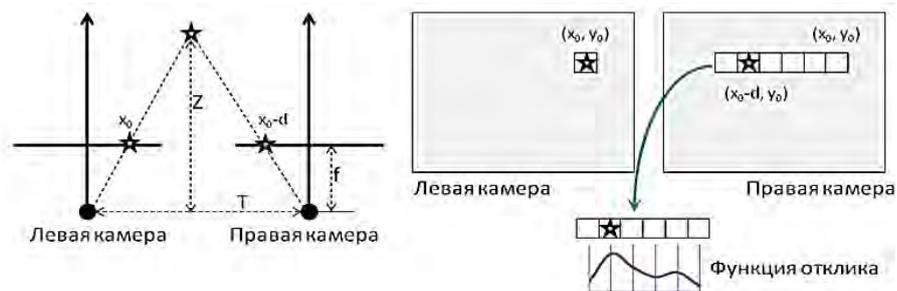


Рисунок 1 – Определение смещения (а) и корреляционный анализ (б)

Принцип работы прибора для построения карты глубины показан на рисунке 1. Для каждого пикселя левой картинке с координатами (x_0, y_0) выполняется поиск пикселя на правой картинке. При этом предполагается, что пиксель на правой картинке должен иметь координаты $(x_0 - d, y_0)$, где d – величина, называемая несоответствие или смещение. Поиск соответствующего пикселя выполняется путем вычисления максимума функции отклика, в качестве которой может выступать, например, корреляция окрестностей пикселей [2].

Собственно, значения глубины обратно пропорциональны величине смещения пикселей. Если использовать обозначения с рисунка 1а, то зависимость между смещением и глубиной можно выразить следующим способом:

$$\frac{T-d}{Z-f} = \frac{T}{Z} \rightarrow Z = \frac{f \cdot T}{d}, \quad (1)$$

Ведение съёмки в условиях слабого освещения, при наличии лишь искусственного освещения, т.е. таких условий, в которых приходится работать оборудованию в шахте, приводит к появлению шумов на сделанных камерами фотоснимках стереопары. При обработке стереопары требуется проводить корреляционный анализ с учётом необходимости выбора корреляционной функции, позволяющей построить карту глубины по дальности в независимости от освещённости и шумов на снимке. Так нормированная взаимно-корреляционная функция Пирсона даёт более чистую карту глубины по дальности в сравнении с функцией суммы квадратов разностей и функцией суммы модуля разности в виду её нормированности, однако требует и большего времени вычисления.

Для непрерывной работы роботу требуется постоянное обновление карты глубины, что требует поиска компромисса между качеством карты и временем её построения. На рисунке 1 поиск на другой картинке стереопары соответствующего фрагмента проводится окном сканирования. Уменьшение времени поиска аналогичной области достигается увеличением размера окна сканирования. При этом ищется размер окна сканирования, при котором достигается приемлемое качество карты глубины.

Если камеры, дающие стереопару, установлены не строго на одной линии и смещены по вертикали одна относительно другой, перед обработкой изображения должны пройти ректификацию. Это означает выровнять фотографии одну относительно другой так, чтобы, выбрав фрагмент на одном фото, поиск его аналога проводился в той же строке другой фотографии. Если снимки не прошли ректификацию, искомый фрагмент, поиск которого производится окном сканирования, будет смещён относительно первой фотографии вертикально. В этом случае поиск фрагмента нужно будет производить по всей фотографии. Это ведёт к увеличению времени построения карты глубины. Однако сам процесс ректификации требует временных затрат и часто требует наличия человека для контроля. Поэтому фотосистема настраивается так, чтобы поиск фрагментов проводился в одной строке или с небольшим смещением вверх или вниз. В этом случае достигается оптимальное время построения карты глубины о дальности.

Для построения карт глубины проблемы могут скрываться в сложности нахождения соответствующих точек на левом и правом изображениях. Интенсивность и цвет зависят от точки съёмки. Хорошая настройка и калибровка камер не гарантирует одинаковую интенсивность света на снимках. Камера производит цифровой шум, влияющий на полученное изображение.

Построение карты глубины является доступным инструментом для определения дальности в независимости от условий работы. Изменяя ряд параметров при построении карты глубины, удаётся найти компромисс при удовлетворении предъявляемых для техники требований – качества карты или скорости её построения.

1. Kanade T., Okutomi M. A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment // Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '91). – 1991. – P. 1088-1095.
2. Learning OpenCV Computer Vision with the OpenCV Library By Gary Bradski, Adrian Kaehler Publisher: O'Reilly Media, Final Release Date: September 2008.