

ОБЗОР МЕТОДОВ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Рудько В. Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцук В. А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы 3D-визуализации с получением карт глубины. Описаны принципы работы камер с помощью микроволновой непрерывной съемки, технологии Time-of-Flight и Depth from Stereo. Приведены достоинства и недостатки камер, а также примеры применения камер 3D-визуализации.

Ключевые слова: Time-of-Flight, 3D-визуализация, Depth from Stereo, микроволновая съемка.

Введение. 3D-визуализация – это метод получения карт глубины. Камеры определения глубины позволяют механизмам воспринимать окружающую среду в трех измерениях. Данные камеры применяются во многих сферах – в логистике, навигации, робототехнике, системах видеонаблюдения и распознавания лиц. Технология 3D-визуализации решает многие проблемы, с которыми сталкиваются традиционные 2D-устройства.

Основная часть. Микроволновая непрерывная съемка осуществляется с помощью модели обратного переноса света для микроволновых сигналов. Модель использует пространственно-временную маску, генерируемую несколькими источниками, каждый из которых излучает микроволновый сигнал, и одним детектором, все они работают в непрерывном синхронном режиме передачи-приема. Пространственно-временная маска создается 12 источниками, расположенными в линию, с приемником в центре. Точное необходимое количество источников зависит от размера сцены и количества объектов. Эта модель позволяет реконструировать изображение со временем захвата порядка микросекунд и без предварительного знания сцены. Процесс получения итогового изображения разделяется на два этапа. Для отражений волн первого порядка алгоритм сводится к произведению в одну точку между матрицей восстановления и захваченным сигналом и может быть выполнен за несколько миллисекунд. Затем используются выражения второго порядка для восстановления деталей сцены, не захваченных терминами первого порядка.

Поскольку измерение в камере происходит с помощью микроволн, с помощью нее можно получать изображения объектов, расположенных за оптически непрозрачными средами, например, такими, как стены. Также технология микроволновой непрерывной съемки не требует предварительного знания сцены. Проблемой визуализации изображений микроволновой съемкой является наличие пробелов или слепых пятен на месте элементов объекта, размеры которых меньше длины волны освещения. Микроволновая непрерывная съемка применяется для отслеживания взрывов и перемещения космического мусора, когда объекты движутся со скоростью порядка 10 км/ч [1].

Технология *Time-of-Flight* является одной из методов визуализации 3D-изображений, основанная на том, что расстояние и время являются пропорциональными величинами. Камера определяет дальность через скорость света, измеряя время пролёта сигнала, испускаемого камерой, и отражённого каждой точкой получаемого изображения. Технология обработки изображений ToF состоит из функции зондирования, функции отклика сцены и функции отклика прибора.

В отличие от обычных датчиков изображения, таких как цифровые камеры, которые создают двумерные изображения, датчики *ToF* захватывают трехмерные изображения. Датчик *ToF* получает два изображения: амплитудное изображение и изображение глубины. Амплитудное изображение – это стандартная двумерная фотография, представляющая интен-

сивность отраженного сигнала. Изображение глубины состоит из множества точек в искусственных цветах, где каждый цвет представляет соответствующее расстояние. Комбинация изображения амплитуды и глубины создает результирующее трехмерное изображение.

В *indirect Time-of-Flight* функция зондирования представляет собой синусоидальный сигнал с известной частотой модуляции. Расстояние объекта от датчика кодируется как фаза, зависящая от частоты. Изображение получается с помощью постоянной модуляции сигнала. Излучатель посылает некоторую модулированную волну. Приёмник находит максимум корреляции того, что он видит с этой волной. Приемник измеряет фазовый сдвиг между модулируемым сигналом и принятым отражением этого сигнала от измеряемого объекта. Это определяет время, которое сигнал потратил на то, чтобы отразиться и прийти на приёмник.

В *direct Time-of-Flight* встроенным в камеру источником света испускаются световые импульсы, которые достигают измеряемый объект и отражаются от него обратно. Отраженный свет поступает на сенсор, и камерой измеряется время, за которое световые импульсы прошли до объекта и обратно [2].

Камеры *Time-of-Flight* имеют большое рабочее расстояние, высокую скорость работы и при этом несложную архитектуру системы. Точность камер во многом зависит от расстояния до измеряемого объекта, она обычно составляет 1% от этого значения [3]. Следовательно, камеры *ToF* лучше всего подходят для решения задач, не требующих предельной точности.

Датчики *Time-of-Flight* чувствительны к окружающему свету, поскольку они не могут определить, были ли фотоны, вернувшиеся на приемник, испущены датчиком или поступили от других источников света. Однако на открытом воздухе солнечный свет проходит через атмосферу под разными углами взаимодействуя на своем пути с пылью и паром, которые поглощают свет. В результате наружные датчики *ToF* обнаруживают характерный спектр света с промежутками в спектре света при энергиях, при которых водяной пар, кислород и CO₂ поглощают свет. Следовательно, для корректной работы *ToF* камеры необходимо предварительно знать обстановку [4].

Эти камеры широко используются в логистике для измерения объемов грузов и дальнейшей транспортировки, для автоматизации сборочных линий. Они могут использоваться для обнаружения препятствий, например, в автономных дронах и некоторых интеллектуальных устройствах, таких как роботы-пылесосы [3, 5].

Стереокамеры используют для 3D-визуализации технологию *Depth from Stereo*. Это метод, используемый для оценки глубины объекта, с использованием двух камер, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Основа стереозрения аналогична трехмерному восприятию человеческого зрения и основана на триангуляции лучей с разных точек зрения. Для каждой точки объекта на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом изображении. А по паре соответствующих точек выполняется триангуляция и определяются координаты их прообраза в трехмерном пространстве. Зная трехмерные координаты прообраза, глубина вычисляется, как расстояние до плоскости камеры. В результате получается карта смещений, которая с помощью *OpenCV* – алгоритмов компьютерного зрения – пересчитывается в карту глубины.

Стереокамеры имеют высокую производительность при любом освещении и не требуют предварительного знания сцены. С точки зрения стоимости оборудования стереокамеры являются одним из дешевых способов получения глубины, однако дальнейшая обработка более ресурсоемкая, чем для других способов. Стереокамеры используются как дополнительные камеры в телефонах, помогая получать изображения лучшего качества [6].

Заключение. По результатам обзора можно сделать вывод, что вышеописанные методы построения изображений глубины имеют свои достоинства и недостатки. Следует выбирать метод применения камер в зависимости от задачи, которую камера должна выполнять.

Список литературы

1. da Silva, F.C.S., Kos, A.B., Antonucci, G.E. et al. Continuous-capture microwave imaging. *Nat Commun* 12, 3981 (2021)
2. A. Bhandari and R. Raskar, "Signal Processing for Time-of-Flight Imaging Sensors: An introduction to inverse problems in computational 3-D imaging," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 33, no. 5, pp. 45-58, Sept. 2016.

3. *Time-of-flight: what you need to know about these new means of computer vision* [Электронный ресурс] // Avsystem – Режим доступа: <https://www.avsystem.com/blog/time-of-flight/#:~:text=Precision,accuracy%20of%20about%205%20cm>). – Дата доступа: 22.03.2023.
4. *A brief introduction to Time-of-Flight sensing. Part 1 The basics* [Электронный ресурс] // Terabee – Режим доступа: <https://www.terabee.com/a-brief-introduction-to-time-of-flight-sensing-part-1-the-basics/>. – Дата доступа: 22.03.2023.
5. Граматке, М. *Времяпрелетный метод: современное состояние развития ToF-технологии и ее применение в 3D-системах / М. Граматке // Системы безопасности. – 2018. – №8.*
6. H. Hirschmuller, "Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, no. 2, pp. 328-341, Feb. 2008

UDC 004.923

OVERVIEW OF THE 3D IMAGING METHODS

Rudzko V. N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master, assistant of the Department of ICSD

Annotation. This article discusses methods of 3D visualization with obtaining depth maps. The principles of operation of cameras using microwave continuous shooting, Time-of-Flight and Depth from Stereo technologies are described. The advantages and disadvantages of cameras are given, as well as examples of the use of 3D visualization cameras.

Keywords: Time-of-Flight, 3D imaging, Depth from Stereo, microwave imaging.