

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Платонов Владислав Николаевич

Фреймворк 3D-сканирования при помощи
сенсоров глубины и реализация работы с
использованием сенсора Кинект 2

Курсовая работа

Научный руководитель:
Монькин С. А.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

Введение	3
1. Постановка задачи	4
2. Сенсор Кинект 2	5
3. Обзор SDK	7
4. Алгоритмы повышения точности	8
5. Архитектура фреймворка	9
6. Реализация и тестирование алгоритмов повышения точности	10
Заключение	14
Список литературы	15

Введение

Трёхмерная реконструкция сцен и отдельных объектов активно используется во многих приложениях. Одной из областей применения этих технологий является сфера дополненной реальности, в частности дополненная реальность в медицине, требующая достаточно точной реконструкции модели лица пациента. Для сканирования лица в условиях операционной удобно использовать сенсоры глубины. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с фотограмметрическими системами:

- меньшие ограничения по сканируемому материалу
- работа в условиях низкой освещённости
- компактные размеры

Таким образом использование сенсоров глубины позволяет расширить применение технологий трёхмерного сканирования в медицине. Их недостатком по сравнению с фотограмметрическими системами является меньшая точность.

Для работы с сенсорами глубины и реализации алгоритмов повышения качества восстановления трёхмерных моделей необходим фреймворк. В данной работе рассматривается реализация такого фреймворка и проводится сравнение эффективности различных методов повышения точности реконструкции. В качестве используемого сенсора был выбран Кинект 2 в связи с лучшими оптическими характеристиками в сравнении с другими подобными сенсорами.

1. Постановка задачи

Целью работы является разработка фреймворка для трёхмерного сканирования при помощи сенсоров глубины и реализация работы с сенсором Kinect 2. Для этого поставлены следующие задачи:

- Провести обзор SDK для работы с Кинектом
- Провести обзор алгоритмов повышения точности сканирования
- Разработать архитектуру фреймворка
- Реализовать алгоритмы повышения точности

2. Сенсор Кинект 2

Времяпролётный сенсор Кинект 2 оснащён RGB-камерой, ИК-камерой и тремя источниками инфракрасного излучения (рис. 1). Сенсор строит карту глубин, определяя отдельно расстояние до каждой точки. Лазер выпускает луч, который, отразившись от поверхности, фиксируется приёмником. Зная время полёта луча, можно определить расстояние до объекта(рис. 2) [9].

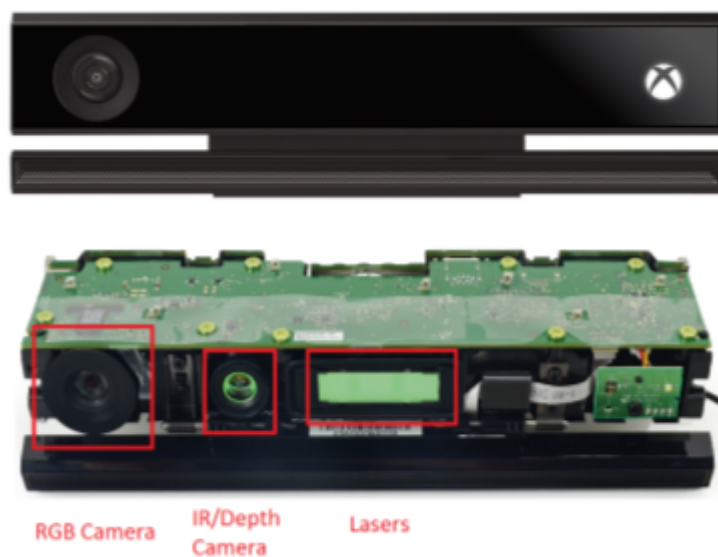


Рис. 1: Расположение сенсоров Кинекта

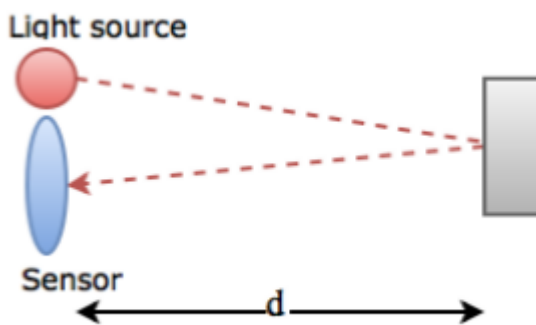


Рис. 2: Измерение дальности Кинектом

Преимуществами такого подхода по сравнению с использованием структурированного света являются:

- Точность измерения глубины мало зависит от дальности
- Более стабильная работа в условиях повышенной освещённости
- Плотная карта глубин
- Низкий уровень зашумлённости [12]

Основные недостатки:

- Точность дальномера ограничена точностью определения времени
- Проблема вторичного отражения
- При совместной работе сенсоры мешают друг другу так как луч, выпущенный одним дальномером, может быть зафиксирован другим

В статье [6] проведено исследование точности построения карт глубин сенсором структурированного света Кинект 1 и времяпролётным сенсором Кинект 2. Точность сенсора Кинект 2 оказалась выше, что ещё более заметно после проведения процедуры калибровки. В (табл. 1) показаны основные характеристики сенсора Кинект 2.

Таблица 1: Основные характеристики сенсора Кинект 2

Параметр	Значение
Разрешение RGB-камеры	1920 × 1080
Разрешение карты глубины	512 × 424
Дальность измерения глубины	0.5 – 4.5 м
Угол обзора по горизонтали	70 °
Угол обзора по вертикали	60 °
Погрешность измерения глубины	< 0.5 %
FPS	30

3. Обзор SDK

В настоящее время разработано множество SDK для работы с сенсорами глубины. Среди них интересно выделить следующие: Kinect for Windows SDK, Artec Studio, KScan3D, OpenKinect.

Kinect for Windows SDK является официальным SDK от Microsoft. Код SDK открыт, есть различные лицензии для коммерческого и некоммерческого использования, в нём реализован алгоритм трёхмерной реконструкции объектов. [3]

OpenKinect поддерживает работу с несколькими сенсорами одновременно, его исходный код открыт под лицензиями Apache 2.0 и GPL v2 [5].

Artec Studio позволяет работать с сенсором Кинект 2, но в открытом доступе есть только ограниченная версия этого SDK [1].

KScan3D позволяет сшивать несколько моделей, сделанных с различных ракурсов и строит сглаженные и незашумлённые модели, но его исходный код закрыт. Допускает одновременное подключение нескольких различных сенсоров [7].

Базовым инструментом для подключения и работы с Кинектом в данной работе был выбран Kinect for Windows SDK, так как он является официальным и его возможности достаточны для целей работы.

4. Алгоритмы повышения точности

Повышение точности реконструкции проводится с помощью обработки карт глубин. При активном сканировании и сканировании с использованием нескольких сенсоров (с разных позиций съёмки) также применяются различные алгоритмы совмещения. В [10] описан алгоритм удаления шумов с использованием среднего абсолютного отклонения. Для каждого пикселя рассматривается выборка его значений на n последовательных кадрах. Для каждой такой выборки вычисляется среднее абсолютное отклонение MAD (1), где $M(X)$ - медиана выборки. Значения пикселей, которые не удовлетворяют критерию (2), считаются шумом и не берутся во внимание в дальнейших вычислениях. Далее строится карта глубины, значения пикселей которой являются средними от незашумлённых элементов выборки.

$$MAD = b * M(|X_i - M(X)|) \quad (1)$$

$$|X_i - M(X)| \leq 3MAD \quad (2)$$

Для сглаживания и детекции контуров на изображениях применяются различные матричные фильтры.

В [11] предлагается к сглаженным картам глубин применять фильтры Собеля и Лапласа. Эти фильтры используются для детекции границ и при сложении с исходным кадром позволяют точнее определять небольшие детали трёхмерной модели.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{8} & \frac{2}{3} & \frac{1}{8} \\ \frac{2}{3} & -\frac{10}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{8} & \frac{2}{3} & \frac{1}{8} \end{bmatrix}$$

Рис. 3: Ядро оператора Лапласа

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix},$$

Рис. 4: Ядро оператора Собеля

5. Архитектура фреймворка

Фреймворк разделён на 3 компоненты: `Reconstructor`, `ImageProcessor` и `GeometryProcessor`.

Компонента `Reconstructor` отвечает за сканирование объектов и построение трёхмерных моделей. В её основе лежит алгоритм `Kinect Fusion`, реализованный в `Kinect for Windows SDK`. Этот алгоритм на каждом шаге получает карту глубин и цветное изображение. На этом этапе может быть вызван модуль `ImageProcessor`, который обрабатывает карты глубин. Затем `Kinect Fusion` совмещает цветное изображение с картой глубин, строит облако точек и встраивает его в облако точек, полученное на предыдущих шагах алгоритма, вычисляя таким образом текущую позицию камеры.

Компонента `ImageProcessor` содержит алгоритмы обработки карт глубины, получаемых в модуле `Reconstructor`. Для работы с изображениями в ней используется библиотека компьютерного зрения `OpenCV` [4].

Компонента `GeometryProcessor` содержит вспомогательные инструменты для обработки результатов сканирования - построенных трехмерных моделей. В частности, в ней удаляются дублирующиеся вершины и отсеиваются лишние компоненты геометрии. Для обработки геометрии используется библиотека `VCG` [8].

Для компонент `GeometryProcessor` и `Reconstructor` являются исполняемыми. Для них определён интерфейс взаимодействия с пользователем. Входные параметры для съемки и обработки геометрии содержатся в текстовом файле в формате `JSON`. Для работы с файлами параметров используется библиотека `CAJUN` [2].

На (рис. 5) изображена диаграмма компонентов фреймворка.

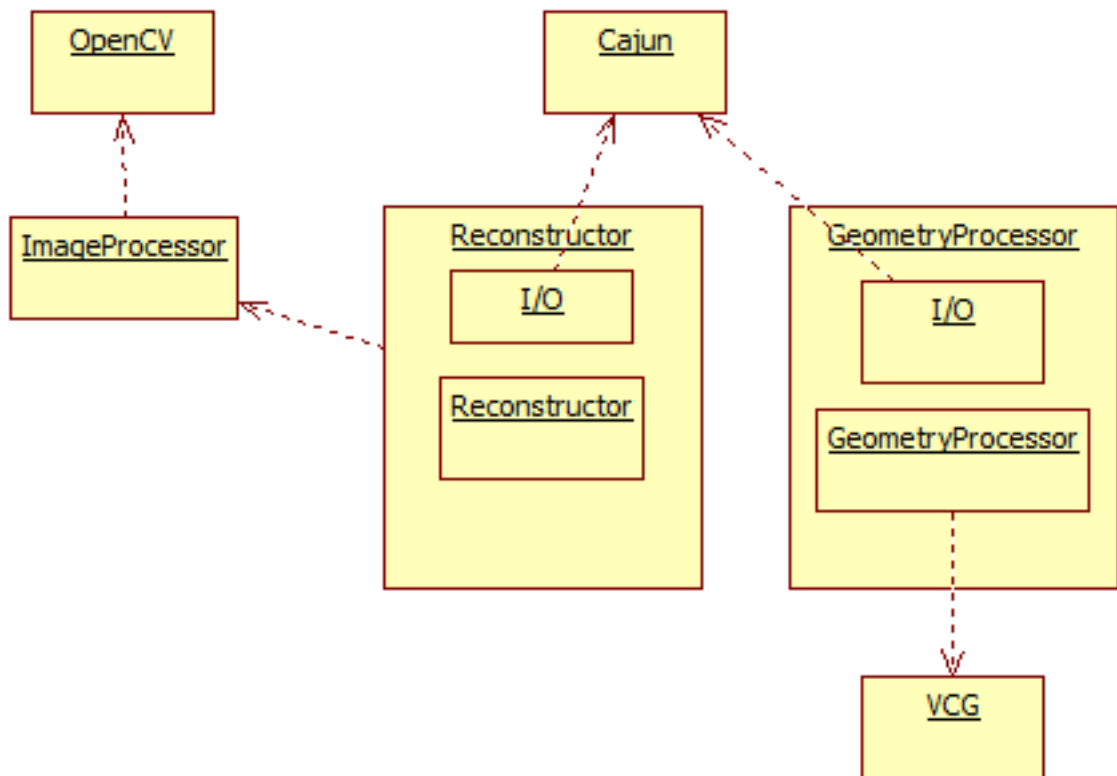


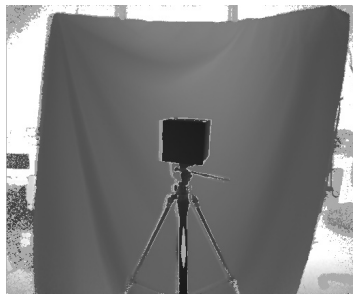
Рис. 5: Компоненты и зависимости фреймворка

6. Реализация и тестирование алгоритмов повышения точности

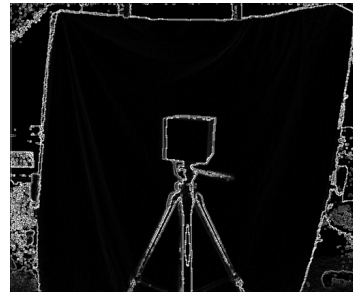
В модуле `ImageProcessor` реализованы алгоритмы обработки карт глубин. Было проведено сканирование объектов с помощью базового алгоритма реконструкции `KinectFusion`, с использованием фильтров и сглаживания. Для тестирования работы фреймворка проведена реконструкция моделей картонного куба и лица. Куб является простым геометрическим объектом с известными углами между рёбрами и площадями граней. Лицо представляет собой относительно гладкий выпуклый объект без явных разрывов или выделяющихся частей сложной формы.

Картонный куб сканируется достаточно хорошо даже без применения дополнительных алгоритмов. Применение сглаживания делает грани более ровными. На (рис. 6) и (рис. 7) показаны результаты при-

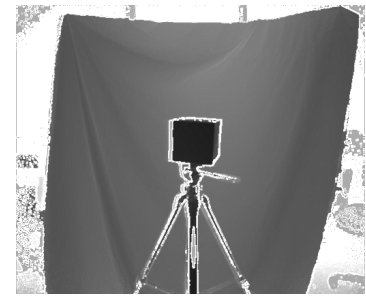
менения фильтров Собеля и Лапласа к картам глубин сканирования куба. После применения фильтров заметно выделяются границы объекта, внутри куба изменений не видно.



Исходное изображение



Применён фильтр Собеля



Сумма результата применения фильтра с исходным изображением

Рис. 6: Применение фильтра Собеля к изображению куба



Исходное изображение



Сумма результата применения фильтра с исходным изображением

Рис. 7: Применение фильтра Лапласа к изображению куба

На (рис. 8) показаны результаты сканирования куба без фильтров, со сглаживанием и с применением фильтра Лапласа. Применение фильтров Собеля и Лапласа приводит к тому, что небольшие неровности на гранях модели, возникающие вследствие погрешности сенсора, воспринимаются как перепады глубин и выделяются ещё сильнее.

Применение фильтров к изображению лица также выделяет его границы, но не происходит явного выделения отдельных частей лица на

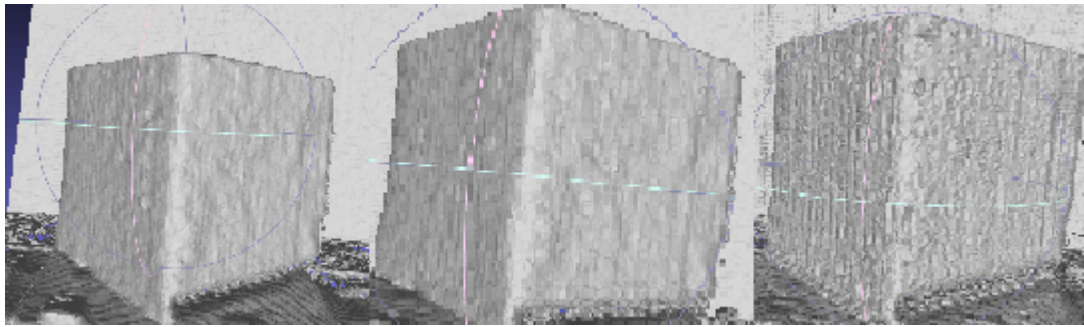


Рис. 8: Сканирование куба

картах глубин (рис. 9) и (рис. 10).



Исходное изображение



Применён фильтр Собеля



Сумма результата применения фильтра с исходным изображением

Рис. 9: Применение фильтра Собеля к изображению лица



Исходное изображение



Сумма результата применения фильтра с исходным изображением

Рис. 10: Применение фильтра Лапласа к изображению лица

Применение сглаживания в сочетании с фильтром Лапласа к модели лица делает её более гладкой, но при этом возможна потеря точности и особенностей геометрии. На (рис. 11) показаны результаты сканирования лица без применения фильтров и с применением сглаживания и фильтра Лапласа.

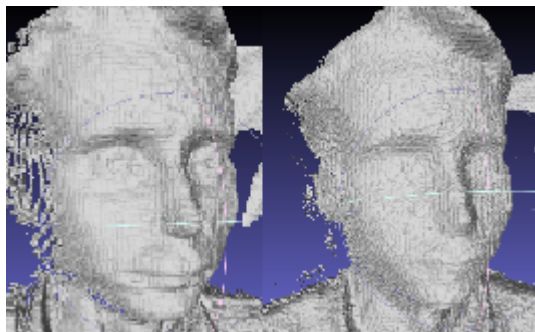


Рис. 11: Сканирование лица

Таким образом, применение сглаживания и фильтров не даёт заметного увеличения точности. При этом сглаживание может привести к потерям данных о геометрии, а фильтрация - увеличить неровности, вызванные погрешностью измерения сенсора.

Заключение

В ходе данной работы были выполнены следующие задачи:

- проведён обзор SDK для работы с Кинектом
- Проведён обзор алгоритмов повышения точности
- спроектирован и разработан фреймворк сканирования с помощью сенсора глубины
- разработаны и подключены библиотеки повышения точности

Реализованные алгоритмы не показывают заметных результатов увеличения точности, но в дальнейшем в библиотеки могут быть добавлены другие методы обработки карт глубин и геометрии. Эти алгоритмы могут быть применены при работе с различными сенсорами.

Список литературы

- [1] Artec. Artec Studio 12. — URL: <https://www.artec3d.com/ru/3d-software/artec-studio>.
- [2] Cajun. — URL: <https://github.com/cajun-jsonapi/cajun-jsonapi>.
- [3] Microsoft. Developing with Kinect for Windows. — URL: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/develop>.
- [4] OpenCV. — URL: <http://opencv.org>.
- [5] OpenKinect. — URL: https://openkinect.org/wiki/Main_Page.
- [6] Pagliari Diana, Pinto Livio. Calibration of Kinect for Xbox One and Comparison between the Two Generations of Microsoft Sensors / Ed. by Sisi Zlatanova. — Milan, Italy : Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering (DICA)-Geomatic and Geodesy Section, 2015.
- [7] Technologies LMI. KScan3D. — URL: <http://www.kscan3d.com>.
- [8] VCG Library. — URL: <http://vcg.isti.cnr.it/vcglib/>.
- [9] Valgma Lembit. 3D reconstruction using Kinect v2 camera. — Tartu : University of Tartu, 2016.
- [10] Varanasi Srikanth, Devu Vinay Kanth. 3D object reconstruction using XBOX Kinect v2.0. — Karlskrona, Sweden.
- [11] Xu Hu Yuanyuan Yu, Wang Zhaozhong. High-Definition 3D Reconstruction in Real-Time from a Moving Depth Sensor. — ICACSEI, 2013. — URL: https://www.researchgate.net/publication/266645254_High-Definition_3D_Reconstructxsedion_in_Real-Time_from_a_Moving_Depth_Sensor.

- [12] А. Катаев А. Алексеев. Работа с 3D.— URL: https://www.singularis-lab.com/docs/materials/04_02_to3d.pdf.