

# Оглавление

<b>Введение</b> . . . . .	2
<b>Глава 1. ОБЗОР АНАЛОГОВ</b> . . . . .	4
<b>Глава 2. Выбор физических параметров сканера</b> . . . . .	8
2.1. Выбор метода сканирования . . . . .	8
2.2. Выбор компонентов . . . . .	8
<b>Глава 3. Выбор математической модели и алгоритмов обработки входных данных</b> . . . . .	9
3.1. Конфигурации модели . . . . .	9
3.1.1. Модель в системе координат принтера . . . . .	9
3.1.2. Модель в системе координат камеры . . . . .	10
3.1.3. Выбор модели . . . . .	12
3.2. Оценка теоретической погрешности . . . . .	12
3.3. Этапы работы алгоритма сканирования . . . . .	12
3.4. Обзор алгоритмов обработки входных данных . . . . .	12
<b>Глава 4. Алгоритм обработки в Gcode</b> . . . . .	13
<b>Глава 5. Описание работы системы</b> . . . . .	14
<b>Заключение</b> . . . . .	15

## Введение

В настоящее время существует множество задач, требующих бесконтактного метода измерений: ориентирование в пространстве, измерение объектов, реконструкция объектов, сбор биометрических данных, реверс-инжиниринг, а также дизайн и творчество. Подобных задач с каждым годом становится всё больше, и таким образом растёт важность 3D-сканирования и следовательно необходимость эффективных алгоритмов, решающих конкретную задачу. Кроме того, некоторые задачи требуют уникальных встроенных решений, что представляет собой как правило ещё и конструкторскую задачу.

Одним из конкретных применений такой технологии является фигурное нанесение глазури на различные кондитерские изделия. На данный момент такая операция как правило выполняется вручную, что означает высокую стоимость, длительное производство и низкую повторяемость. Автоматизация этого процесса происходит только на крупных предприятиях, где производят большие партии однотипных кондитерских изделий.

Относительно недавно стали появляться автоматизированные комплексы для нанесения рисунков на различные кондитерские изделия, однако они всё равно ограничены конкретными видами изделий (например, плоские крекеры). Такие комплексы работают по принципу 3D-принтера или ЧПУ-станка. Они печатают в одной плоскости, не имея возможности наносить материал с учётом отклонений формы, не говоря уже об изделиях сложной формы, таких как овсяное печенье, кексы, торты и т.д., у которых форма в общем случае не только не плоская, но и обладает множеством искривлений, выпуклостей и впадин. Данное обстоятельство мешает автоматизации нанесения произвольных рисунков на произвольные изделия.

Эту проблему можно решить, если встроить в печатающую установку 3D-сканер, который строил бы карту поверхностей изделий, учитываемую при печати.

Данная работа посвящена разработке такого модуля 3D-сканирования для кондитерского принтера, разработанного студентом Университета ИТМО.  
бла бла что-то ещё

## Глава 1

## ОБЗОР АНАЛОГОВ

Как уже было отмечено ранее, 3D-сканеры находят применение во множестве областей и решают самые разные задачи. Поэтому на данный момент уже есть готовые устройства, позволяющие производить сканирование, и реализовано несколько методов сканирования, каждый из которых требует разные компоненты и ресурсы. Рассмотрим существующие аналоги таких устройств и соответствующие им методы. Ограничим выбор 3D-сканерами распространяющиеся по open-source модели, поскольку в нашем проекте важна низкая стоимость модуля.

Определим критерии для сравнения устройств:

Точность — насколько результаты измерения отклоняются от реальных. Один из наиболее важных параметров сканеров. В зависимости от метода колеблется от единиц миллиметров до микрометров.

Скорость — насколько быстро производятся вычисления. Многие задачи требуют расчётов в реальном времени и этот критерий является критическим. Как правило Высокая скорость обработки сказывается на точности алгоритма или ограничивает применимость системы (универсальность), поскольку использует специфичные упрощения и аппроксимации.

Диапазон измерений — диапазон расстояний (глубины) на которую рассчитано устройство для обеспечения заданной точности. Как правило определяется физическими ограничениями метода и конструкцией. Например размеры матрицы камеры и угол обзора задают верхний порог измерений, а для методов основанных на регистрации импульсов света существует нижний предел измерений обусловленный высокой скоростью света.

Габариты — в зависимости от используемой технологии получают различные габариты и конфигурации. В настоящее время существуют ручные ска-

неры довольно малых размеров, но также есть и “настольные”, более габаритные устройства.

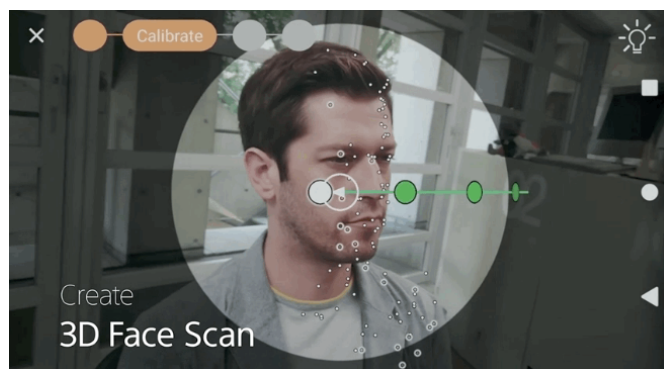


Рисунок 1.1 – Окно приложения Sony 3D creator

**Мобильные приложения** В настоящее время 3D-технологии довольно распространены, поэтому существуют приложения на смартфон (например, Sony 3D Creator), которые позволяют проводить сканирование любому человеку при наличии девайса поддерживающего необходимые технологии. Такие приложения как правило распространяются бесплатно, что делает её денежно самой выгодной (не считая стоимости смартфона).

Эти приложения используют метод фотограмметрии для расчётов. Суть данного метода заключается в том, что, имея несколько изображений одного объекта с разных точек обзора, можно сопоставить особые точки (features) этих изображений после чего восстановить модель объекта по каждому пикселю снимков.

Метод фотограмметрии, стереоскопия в частности, как правило имеет сравнительно низкую точность, но высокую скорость сканирования. Особенно низкая точность свойственна мобильным приложениям в виду ограниченных вычислительных ресурсов и качества используемых камер. Измерять таким методом можно объекты на расстоянии порядка метра от точки обзора. Габариты ограничены корпусом смартфона, однако этот же метод можно использовать с несколькими фиксированными камерами, то же касается стоимости.

Таблица 1.1 – Характеристики приложения Sony 3D creator

Метод	Фотограмметрия
Диапазон	$\approx 1$ м
Скорость	По завершению съёмки
Точность	$\approx 1$ мм
Габариты	Корпус смартфона
Стоимость	Бесплатно (стоимость смартфона)

## BQ Ciclop DIY 3D Scanner Какой-то текст



Рисунок 1.2 – Сканер BQ Ciclop

Таблица 1.2 – Характеристики сканера BQ Ciclop 3D Scanner

Метод	Лазерная триангуляция
Диапазон	$\varnothing 250 \times 205$ мм
Скорость	2-8 минут на оборот
Точность	$\approx 0.5$ мм
Габариты	$500 \times 300 \times 230$ мм
Стоимость	6 000 р.

## hesamh DIY 3D Scanner

Какие-то итоги, аналоги не подходят, ещё что-то

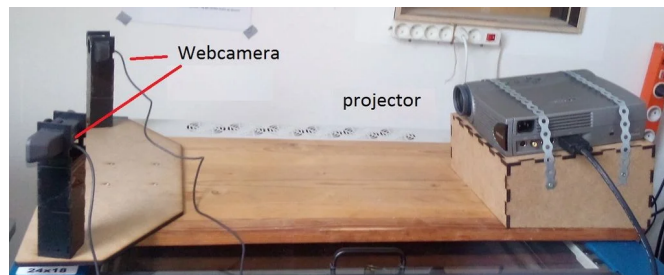


Рисунок 1.3 – Сканер hesamh

## Глава 2

# Выбор физических параметров сканера

### 2.1. Выбор метода сканирования

В результате обзора аналогов видно, что готовые устройства нам не подходят.

### 2.2. Выбор компонентов

Камера

Лазерный модуль



## Глава 3

# Выбор математической модели и алгоритмов обработки входных данных

## 3.1. Конфигурации модели

Для написания алгоритма сканирования в первую очередь необходимо составить математическую модель сканера, то есть вывести соответствующие уравнения, по которым будут рассчитываться координаты точек в сцене. При этом возможно несколько вариантов для вывода необходимых уравнений.

### 3.1.1. Модель в системе координат принтера

Первая модель подразумевает расчёт в системе координат принтера, привязана к реальным элементам в сборке и отражает реальную конструкцию модуля. Главными параметрами являются  $H$  — высота камеры над столом и  $\alpha$  — угол наклона камеры от вертикали. В данном варианте предполагается, что стол — рабочая поверхность — находится в плоскости  $XU$ , лазер излучает перпендикулярно столу и камера имеет поворот только вокруг оси  $Y$ . При этом считается, что лазер не имеет поворота вокруг своей оси

**ХЗ КАК ПО ДРУГОМУ ЩАС НАПИСАТЬ**

.

Таким образом приходим к следующим уравнениям

$$\begin{aligned} z &= H \frac{\sin(\beta - \beta_0)}{\sin((\beta - \beta_0) - \alpha) \cos(\alpha + \beta_0)} \\ x &= x_k - H \operatorname{tg}(\alpha + \beta_0) \\ y &= y_k - (H - z) \frac{\Delta u}{f \cos \alpha} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Преимущества этой модели:

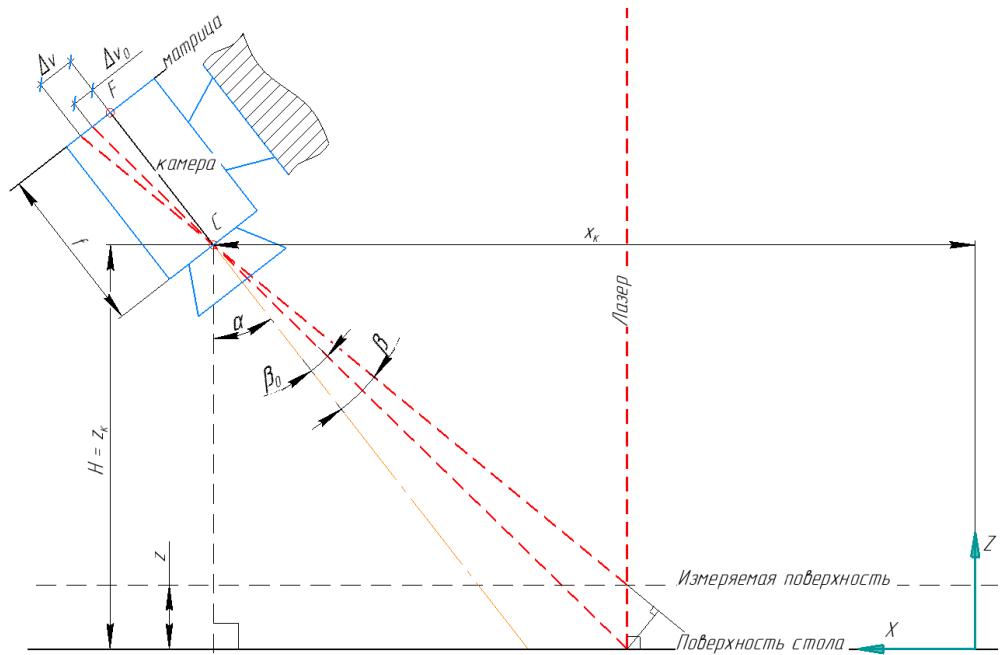


Рисунок 3.1 – Чертёж поясняющий вычисления

- $H$  можно измерять напрямую
- рассчитанные значения координат сразу в системе координат принтера
- отражает реальную конструкцию сканера
- координата  $x$  константа относительно камеры

Недостатки:

- много тригонометрических преобразований
- при изменении высоты камеры необходимы новые замеры
- большое количество допущений, как следствие много возможностей для ошибок

### 3.1.2. Модель в системе координат камеры

Вторая модель основывается на теоретических величинах и расчёт происходит в два этапа. Первый – расчёт координат относительно камеры, второй

Для преобразования между двумя системами координат необходимо знать матрицу поворота системы камеры относительно системы принтера. С помощью пакета `opencv` можно полностью определить положение камеры в пространстве используя шахматный паттерн. В системе координат камеры получаем:

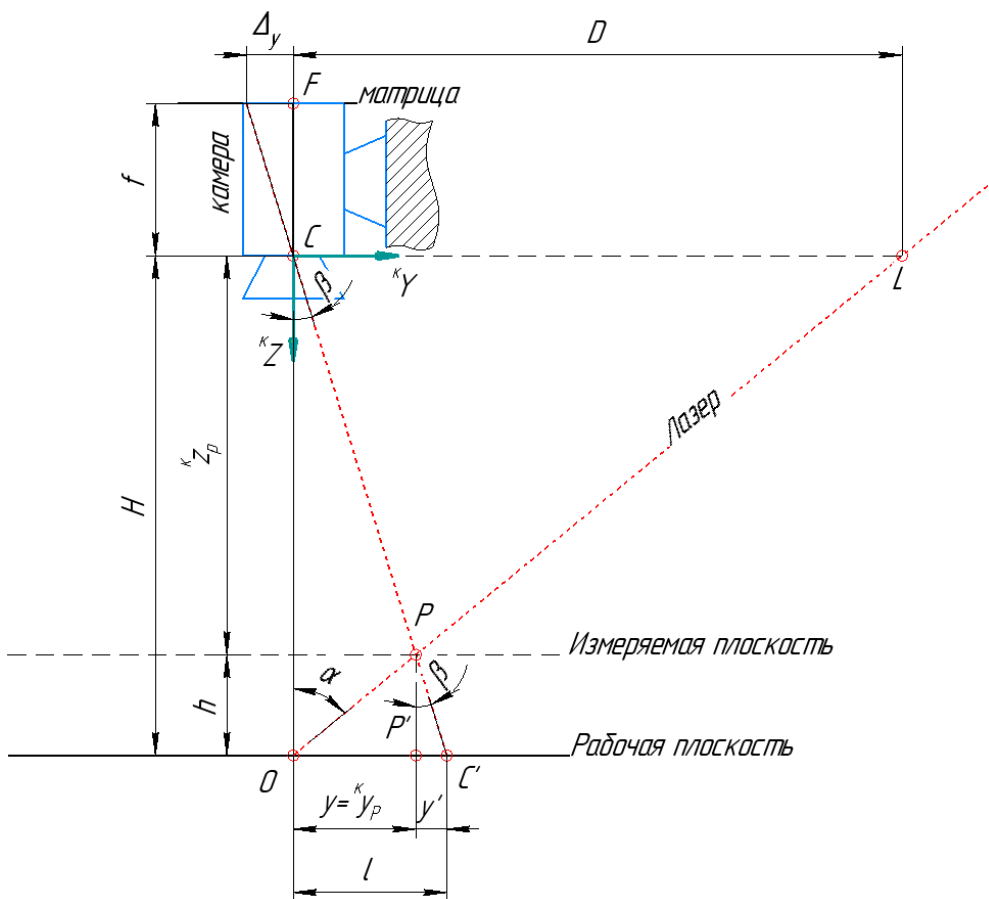


Рисунок 3.2 – Чертёж поясняющий вычисления

$$\begin{aligned}
{}^{\kappa}x_p &= H \frac{\operatorname{tg} \alpha \frac{\Delta x}{f}}{\operatorname{tg} \alpha + \frac{\Delta y}{f}} \\
{}^{\kappa}y_p &= H \frac{\operatorname{tg} \alpha \frac{\Delta y}{f}}{\operatorname{tg} \alpha + \frac{\Delta y}{f}} \\
{}^{\kappa}z_p &= H \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + \frac{\Delta v}{f}}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Для перевода в систему координат принтера:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} {}^{\kappa}x_p \\ {}^{\kappa}y_p \\ {}^{\kappa}z_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{\kappa} \\ y_{\kappa} \\ z_{\kappa} \end{pmatrix} \tag{3.3}$$

Преимущества модели:

- отсутствие тригонометрии в расчётах координат
- параметры  $H$  и  $\alpha$  фиксированы
- меньшее количество допущений
- сложно прямо измерить  $H$  и  $\alpha$ , необходим теоретический расчёт
- необходима матрица поворота камеры

### 3.1.3. Выбор модели

## 3.2. Оценка теоретической погрешности

## 3.3. Этапы работы алгоритма сканирования

## 3.4. Обзор алгоритмов обработки входных данных

### Выбор алгоритмов

## Глава 4

# Алгоритм обработки в Gcode

## Глава 5

### **Описание работы системы**

## Заключение