

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

Институт компьютерных наук
Кафедра инженерной кибернетики

Курсовая работа

по дисциплине «Методы и средства обработки изображений» на тему
«Алгоритм определения состояния окна в помещении МИСИС»

Выполнил:

студент гр. БПМ-21-1 Усков Н. А.

Проверил:

доцент кафедры ИК, к.т.н. Полевой Д.В.

Москва, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. Описание задачи	3
1.1. Описание контекста задачи.....	3
1.2. Цель исследования.....	3
1.3. Задачи исследования	3
1.4. Допущения в задаче	3
2. Описание решения	5
2.1. Общее описание подхода к решению	5
2.2. Описание метода сравнения absdiff	7
2.3. Описание метода сравнения SIFT	9
2.4. Настройка параметров	11
3. Описание измерения качества.....	12
3.1. Описание выбранных метрик качества	12
3.2. Обоснование выбора метрик.....	13
4. Описание результатов.....	14
4.1. Сравнение эффективности методов	14
4.2. Анализ ошибок программы.....	19
5. Инструкция по использованию кода	21
5.1. Требования для установки и тестирования	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22
ССЫЛКИ НА РЕСУРСЫ.....	23

1. Описание задачи

1.1. Описание контекста задачи

Задача появилась ввиду потребности сотрудников университета в отделе технической поддержки в понимании состояния окна. Если окно в аудитории открыто, то им необходимо пойти и закрыть его. В настоящий момент эта задача решается простым анализом видео с камеры (сам человек проводит анализ). В рамках данной работы будут рассмотрены несколько подходов к реализации алгоритма определения состояния окна. Окно считается открытым только при наличии расстояния между рамой и ручки окна, также хочется уточнить, что смена состояния ручки не влияет на открытость окна.

1.2. Цель исследования

Целью исследования является создание программного инструмента, способного определять состояние окна на основе анализа поступающих фотографий с наличие «эталонного» вида закрытого окна.

1.3. Задачи исследования

- Разработать алгоритмы для обработки изображений и сравнения их путем абсолютного сравнения и методом SIFT.
- Провести эксперименты на тестовых данных для проверки точности и эффективности разработанных методов.
- Оценить результаты работы каждого метода с использованием соответствующих метрик каждого алгоритма.
- Сравнить эффективность двух методов и выбрать наиболее подходящий для задачи определения состояния окна.
- Написать инструкцию по использованию разработанного кода.

1.4. Допущения в задаче

Для упрощения поставленного задания, а также приближения условий близко к условиям реальной ситуации были сделаны следующие допущения:

- Камера и рамка окна статичны
- Камера снимает в одном ракурсе и в поле зрения находится единственное окно
- Свет в помещении всегда горит
- Жалюзи всегда подняты
- Мы знаем как выглядит эталонно закрытое окно

2. Описание решения

2.1. Общее описание подхода к решению

Для решения задачи определения состояния окна используется подход, основанный на сравнении текущего изображения с "эталонным" изображением закрытого окна. Ниже приведено подробное описание этого подхода:

2.1.1 Использование эталонного изображения закрытого окна:

Имеется "эталонное" изображение, которое представляет собой снимок закрытого окна в стандартных условиях освещения и ракурса съемки (см. рис. 1)



Рис. 1. «Закрытое окно»

2.1.2 Выделение рамки окна на эталонном и текущем изображениях:

На эталонном изображении известно положение и форма рамки окна. Это позволяет выделить область, которая соответствует рамке окна (см. рис.2а).



Рис.2а «Вырезанное окно эталон»

То же самое выполняется и для текущего изображения: по координатам окна мы обрезаем изображение, чтобы отсечь все лишнее. (см рис.2б)



Рис.2б «Вырезанное окно тест»

2.1.3 Сравнение изображений:

Используются два метода сравнения: метод абсолютной разности (absdiff) и метод SIFT. Метод абсолютной разности вычисляет абсолютную разницу между

пикселями в соответствующих точках изображений. Метод SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) используется для извлечения ключевых точек и их описаний, после чего выполняется сопоставление и нахождение преобразования (гомографии) между ключевыми точками.

2.2. Описание метода сравнения absdiff

Метод абсолютной разности (absdiff) выполняет следующие шаги:

2.2.1 Преобразование изображений в монохромное пространство:

Сначала исходные цветные изображения преобразуются в монохромные изображения (оттенки серого) с использованием функции `cv::cvtColor()` (см. Рис.3).



Рис.3 «Ч/б закрытое окно»

2.2.2 Размытие изображений:

На полученных монохромных изображениях выполняется размытие для сглаживания шумов (см Рис.4) с помощью функции `cv::GaussianBlur()`. Это уменьшает высокочастотные компоненты изображений, что помогает сделать абсолютную разность более устойчивой к шумам.



Рис.4 «Сглаженное окно»

2.2.3 Вычисление абсолютной разности:

Для каждой соответствующей пары пикселей изображений `blurredImg1` и `blurredImg2` вычисляется абсолютная разность (см. Рис.5) с использованием функции `cv::absdiff()`.



Рис.5 «Разность эталона и теста»

При вычислении используется следующая формула:

$$D(x, y) = | G1(x, y) - G2(x, y) |,$$

Где $G1, G2$ – монохромные изображения

2.2.4 Нормализация и оценка сходства:

Полученная матрица diff содержит абсолютные разности между пикселями. Затем эти значения нормализуются, разделяя каждое значение на максимально возможную разность (255 для монохромного изображения в 8-битном пространстве). Нормализованные значения используются для оценки степени сходства изображений. Чем значение ближе к 1, тем больше сходство между изображениями. Нормализация происходит по следующему принципу:

$$S = 1 - \frac{\sum D(x,y)}{N \times 255},$$

где N - общее количество пикселей на изображении (ширина \times высота), а 255 - максимальное значение яркости пикселя в монохромном изображении.

2.3. Описание метода сравнения SIFT

Метод SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) выполняет следующие шаги:

2.3.1 Извлечение ключевых точек и описаний:

На монохромных изображениях с использованием метода SIFT извлекаются ключевые точки и их локальные описания. Ключевые точки представляют собой особенные точки на изображении, которые выделяются благодаря своей уникальности и стабильности относительно изменений масштаба, поворотов и освещения.

2.3.2 Сопоставление ключевых точек:

Производится сопоставление ключевых точек между эталонным (закрытым) и текущим (анализируемым) изображением (см. Рис.6). Это делается с использованием метода cv::BFMatcher, который находит наилучшие соответствия между описаниями ключевых точек двух изображений.



Рис.6 «Сопоставление ключевых точек»

2.3.3 Оценка сходства с помощью RANSAC:

Применяется метод RANSAC (Random Sample Consensus) для нахождения гомографического преобразования между наборами ключевых точек. RANSAC позволяет отфильтровать ложные сопоставления и оценить наилучшее гомографическое преобразование, которое наиболее точно объясняет набор сопоставлений.

2.3.4 Вычисление среднего смещения:

После получения набора "инлайнеров" (сопоставлений, которые были признаны как корректные после применения RANSAC), вычисляется среднее смещение между соответствующими ключевыми точками. Это смещение используется для оценки степени сходства между изображениями и рассчитывается по следующей формуле:

$$d_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|p_i' - H p_i\|,$$

Где N - количество инлайнеров,

p_i и p_i' - координаты ключевых точек на эталонном и текущем изображениях,

H - гомографическое преобразование между изображениями.

2.4. Настройка параметров

- Параметры размера окна для вырезания области с изображением окна следующие:

Координаты левого угла $(x, y) = (2400, 2500)$, ширина 1600 пик., высота 2680 пик.

- Параметры размытия для сглаживания изображений перед вычислением абсолютной разности: Размер ядра (5, 5), среднее значение 1.5

- Пороговые значения для сравнения результатов методов абсолютной разности и SIFT:

Для абсолютной разности порог $threshold$ равен 0,95, а для сравнения через SIFT среднее расстояние пикселей не должно превышать 10.

3. Описание измерения качества

3.1. Описание выбранных метрик качества

Для оценки качества методов определения состояния окна на основе абсолютной разности и метода SIFT были выбраны следующие метрики:

3.1.1 Абсолютная разница

Для метода абсолютной разности основной метрикой качества является сходство (S), вычисленное как:

$$S = 1 - \frac{\sum D(x,y)}{N \times 255},$$

где $D(x, y)$ - абсолютная разница для пикселя (x, y) ,

N - общее количество пикселей в изображении,

255 - максимальное значение яркости пикселя в монохромном изображении.

Чем ближе значение S к 1, тем выше сходство между изображениями.

3.1.2 Метод SIFT

Для SIFT была взята метрика - среднее смещение ключевых точек ($avgDisplacement$). Эта метрика измеряет среднее расстояние между соответствующими ключевыми точками на текущем и эталонном изображениях.

Формула для вычисления среднего смещения:

$$avgDisplacement = \frac{\sum displacement_i}{numMatches},$$

где $displacement_i$ - смещение для каждой пары соответствующих ключевых точек, $numMatches$ - общее количество сопоставленных пар ключевых точек.

3.2. Обоснование выбора метрик

Выбор метрик основан на нескольких критериях: Простота реализации, соответствие методу, легкость получения результата. Метрика для каждого метода является дополняющим фактором. Например, абсолютная разница при нормировке явно показывает в доленом отношении насколько 2 картинки схожи между собой.

4. Описание результатов

4.1. Сравнение эффективности методов

Для сравнения методов и оценки результата было собрано несколько фотографий разного состояния окна. Всего состояний было 4: полностью закрытое, закрытое с повернутой ручкой, открытое на проветривание, открытое полностью. Всего было собрано 35 фотографий (8 дополнительно как «обучающие»), остальные же отличались лишь углом поворота или степенью открытости. Оценка каждого метода проводилась из их метрик и кол-ву верно определенных состояний. «Обучающая» выборка была необходима для нахождения порога определения состояния, вычислялась как среднее между всеми метриками.

Метод абсолютной разницы для 8 «обучающих» фотографий (3 «закрытые», 5 «открытые») не ошибся ни разу при пороге 95% (см. Рис.7),

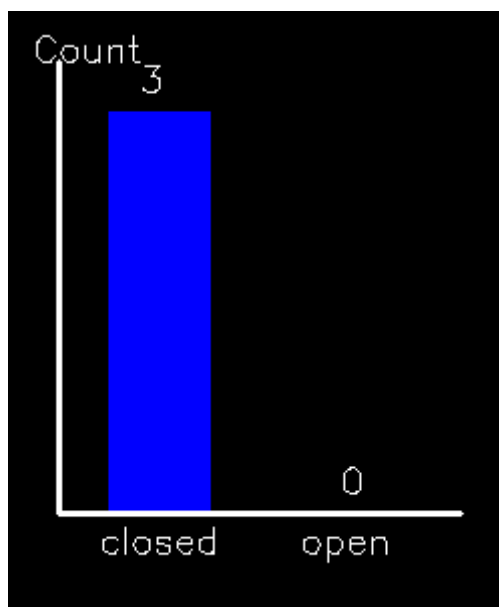


Рис.7 «результаты AbsDiff для закрытых окон»

Далее приведу результат определения открытого окна (см. Рис.8):

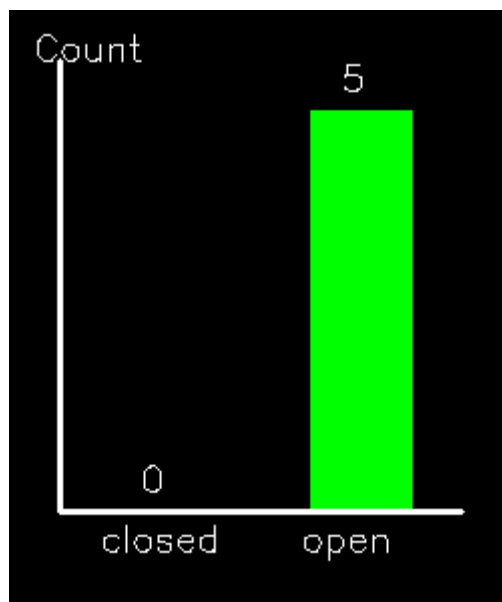


Рис.8 «Результаты определения открытого состояния AbsDiff»

Метод SIFT при пороге в 10 пикселей для среднего значения не ошибся ни разу при определении закрытого состояния (см. Рис.9)

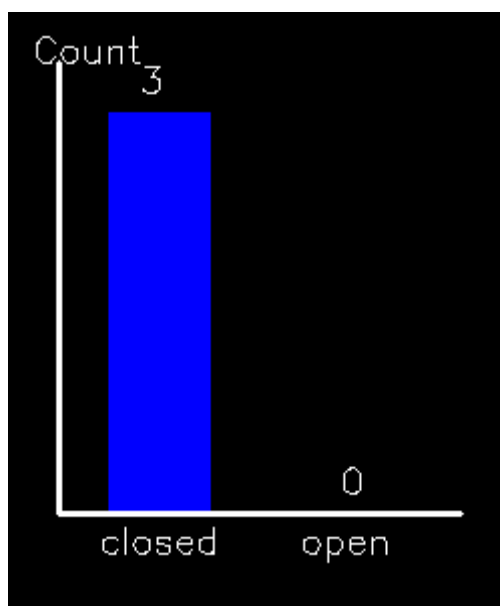


Рис.9 «Результаты определения закрытого состояния SIFT»

При определении открытых окно, среди 5 обучающих фото была совершена 1 ошибка (см. Рис.10)

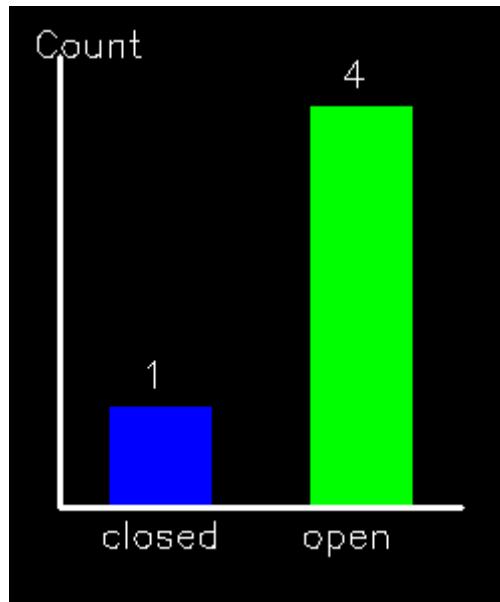


Рис.10 «Результаты определения открытого состояния SIFT»

Далее рассмотрим более подробные результаты обработки и классификации окон, учитывая значение метрик. Ниже приведены значения анализа закрытых окон (см. Рис.11а).

Pic Number	State of Abs	Metric of Abs	State of SIFT	Metric of SIFT
1	close	0.976097	close	4.446809
2	close	0.976467	close	4.207389
3	close	0.978754	close	4.437741

Рис.11а «Таблица результатов обработки закрытых окон»

Также рассмотрим результаты обработки открытых окон, где сможем увидеть отклонение двух методов (см. Рис.11б).

Pic Number	State of Abs	Metric of Abs	State of SIFT	Metric of SIFT
1	open	0.936017	close	6.716207
2	open	0.855988	open	13.301744
3	open	0.857078	open	16.388943
4	open	0.915582	open	14.353793
5	open	0.908864	open	18.290030

Рис.11б «Таблица результатов обработки открытых окон»

Можно заметить, что отклонение в классификации состояния окна состоялся на картинке 1 из числа обучающих, анализ ошибки и предположения по оптимизации алгоритма будут рассмотрены в следующем разделе.

Далее мы рассмотрим работу алгоритма и статистику для всей генеральной выборки фотографий. Первым мы проанализируем работу метода AbsDiff при классификации состояний (см. Рис.12).



Рис.12 «гистограмма результатов классификации метода AbsDiff»

Далее рассмотрим работу метода SIFT для полной выборки (см. Рис.14)

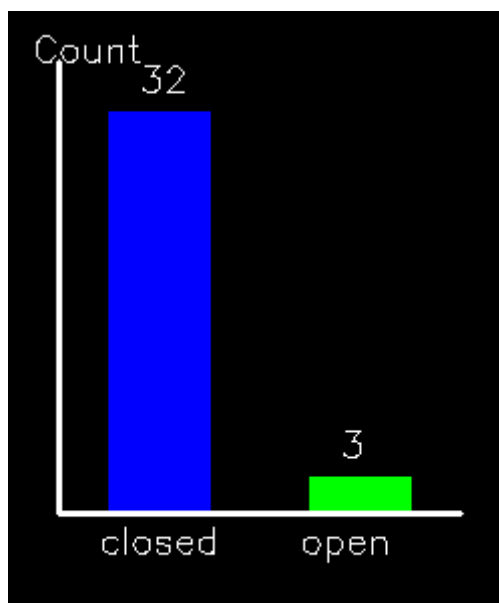


Рис.14 «гистограмма результатов классификации метода SIFT»

Приведем более подробные результаты работы данного метода (см. Рис.15)

Pic Number	State of Abs	Metric of Abs	State of SIFT	Metric of SIFT
1	open	0.908410	close	2.479665
2	open	0.905454	close	2.390961
3	open	0.858179	close	1.779869
4	open	0.913885	close	1.837262
5	open	0.941993	close	2.306358
6	open	0.860531	open	977.152225
7	open	0.858324	close	2.164539
8	close	0.975750	close	1.836216
9	close	0.984045	close	1.864275
10	close	0.985720	close	1.867849
11	open	0.857453	close	1.886811
12	close	0.953344	close	1.940070
13	open	0.932993	close	1.302413
14	open	0.902533	close	1.304154
15	open	0.902017	close	1.347390
16	open	0.851388	close	1.229055
17	open	0.861435	close	1.234537
18	open	0.878858	close	1.197380
19	open	0.846040	close	1.123497
20	open	0.880112	open	987.556656
21	open	0.885427	close	2.182572
22	open	0.858765	close	1.550821
23	open	0.889969	close	1.284815
24	close	0.963574	close	1.388567
25	close	0.979486	close	1.122003
26	close	0.993430	close	0.886601
27	close	0.995773	close	0.637191
28	close	0.992656	close	0.806836
29	close	0.993338	close	0.659255
30	close	0.994157	close	0.592990
31	close	0.995479	close	0.416616
32	close	0.996760	close	0.335869
33	open	0.857825	close	1.840886
34	open	0.890119	open	1325.024389
35	close	1.000000	close	0.000000

Рис.15 «Подробная информация классификации»

Результатом работы можем видеть отличную работу первого метода (угадано 100% верно) и очень сильную погрешность 2 метода. Тестовая выборка показала, что эффективность метода абсолютного сравнения намного выше, чем метода SIFT. Анализ ошибок и рассмотрение возможных решений будет рассмотрено в следующем пункте.

4.2. Анализ ошибок программы

Из пункта 4.1 мы выяснили слабости работы каждого метода. Самую явную ошибку совершил метод SIFT на обучающей выборке с открытыми окнами. Неточность была допущена на картинке 1, давайте ее рассмотрим (см. Рис.16).



Рис.16 «Картинка 1 открытого окна из обучающей выборки»

Можем заметить, что окно однозначно открыто, но с данного ракурса камеры, можем показаться, что это просто блик.

Особенность метода и метрики SIFT в сравнение расстояния между ключевыми точками. При данном ракурсе многие точки имеют вокруг себя схожие характеристики, что приводит к неправильному определению нахождения новых точек или фактическому отсутствию изменения расстояния. Также угол камеры создает некоторую проекцию окна, которая не так сильно влияет на определение, кроме случаев малой открытости.

Метод же абсолютного сравнения слишком чувствителен к любым изменениям в кадре. Примером может являться ситуация за окном: при отсутствии плохих погодных условия – все спокойно, но при дожде это детекция дополнительных

капель дождя.

Для улучшения классификации для каждого метода можно провести модернизацию. Для метода AbsDiff необходимо проводить дополнительную обработку фона для его нивелирования.

Метод SIFT можно улучшить, непосредственно поменяв структуру – зафиксировав или переопределив ключевые точки, т. к. сейчас они выбираются случайным образом.

5. Инструкция по использованию кода

5.1. Требования для установки и тестирования

1. Стаке минимальной версии 3.20.

2. Язык C++17.

3. Менеджер зависимостей vcpkg.

- Для macOS или Linux:

```
git clone https://github.com/Microsoft/vcpkg.git
```

```
./vcpkg/bootstrap-vcpkg.sh
```

```
vcpkg integrate install
```

- Для Windows:

```
git clone https://github.com/Microsoft/vcpkg.git
```

```
.\vcpkg\bootstrap-vcpkg.bat
```

```
vcpkg integrate install
```

4. Библиотека `opencv`, которую можно скачать с помощью следующей команды: `vcpkg install opencv`

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная курсовая работа была посвящена разработке алгоритма классификации состояния окна(открыто/закрыто) и сравнению разных подходов для реализации. Основная цель исследования заключалась в создании алгоритма, который позволяет сравнить фотографии и расстояние на них.

В ходе работы были изучены и реализованы следующие методы:

- Метод вычитания изображений при помощи OpenCV
- Метод сравнения расстояния между точками при помощи функции SIFT
- Методы обработки изображений, бинаризация, размытие, обнаружение краев методом Canny
- И другие базовые методы языка C++ и библиотеки OpenCV, такие как реализация классов, разметка и создание прямоугольников, исследование параметров изображений и т.п.

Проведенное исследование показало, что предложенные методы успешно решают поставленную задачу и могут быть использован для классификации состояния окон. Таким образом, данная работа не только теоретически обосновала возможность эффективного решения задачи, но и продемонстрировала практическую реализацию метода при определенных условиях.

ССЫЛКИ НА РЕСУРСЫ

1. Проект: сайт. – URL: <https://github.com/NikitaUskov/misis2024s-21-01-uskov-n-a>
2. CMAKE: сайт. – URL: <https://cmake.org/>
3. Vcpkg: сайт. – URL: <https://vcpkg.io/en/index.html>