

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт математики, физики и информационных технологий  
(наименование института полностью)

---

Кафедра «Прикладная математика и информатика»  
(наименование)

01.03.02 Прикладная математика и информатика  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

---

Системное программирование и компьютерные технологии  
(направленность (профиль) / специализация)

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока»

Студент

А.В. Ермошкина  
(И.О. Фамилия)

---

(личная подпись)

Руководитель

к.ф.-м.н. С.В. Баумгертнер  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

---

Консультант

К.А. Селиверстова  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

---

## Аннотация

Бакалаврская работа включает: 50 страниц, 18 рисунков, 2 таблицы, 3 раздела, 22 использованных источников, 1 приложение.

Цель работы – уменьшение трудоемкости получения признаков походки человека посредством разработки специального алгоритма.

Объект исследования – процесс выделения признаков походки человека из видеопотока.

Предмет исследования – метод выделения признаков походки человека из видеопотока.

Полученные результаты – разработан менее трудоемкий алгоритм выделения признаков походки.

Рекомендация внедрения результатов работы – признаки походки человека, полученные с помощью разработанного алгоритма, могут быть в дальнейшем классифицированы для решения задач идентификации.

Область применения – разработанный алгоритм может применяться в решении задач компьютерного зрения, связанных с распознаванием биометрических показателей человека.

Значимость работы – позволяет наиболее эффективно решать задачи в сфере компьютерного зрения.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Development of detection person's gait signs from video stream algorithm».

The graduation work consists of an explanatory note on 50 pages, introduction, three parts including 18 illustrations, 2 tables, the list of 3 references including 22 foreign sources.

The aim of the work is to reduce the complexity of obtaining signs of person's gait by developing special algorithm.

The object of the work is process of gait removal from video stream.

The subject of the work is method of gait removal from video stream.

The graduation work is divided in several logically connected chapters. The first chapter tells us about theoretical part of the work. It includes rationale of choosing tasks for research and description of possible problem solution. The second chapter tells us about the gain sign detection method with using special key markers, which was changed in order to reduce the complexity of key markers finding process. This chapter also includes development of algorithm and analysis of data obtained as a result of its work. The final chapter tells us about analysis of the results and about some adjustments for input parameters that were made in order to increase extract gait signs speed.

The result of the graduation work is less complex algorithm of person's gait removal.

As a recommendation, the result of the graduation work can be used in solving identification tasks, such as computer vision tasks, related with recognition of biometric indicators of a person, using person's gait, removed with developed algorithm.

The relevance of the work lies in optimization of solving computer vision tasks.

## Содержание

Введение.....	6
1 Теоретическое обоснование задачи выделения признаков походки человека.....	8
1.1 Описание исследуемого в задаче процесса походки человека .....	8
1.2 Анализ существующих способов выделения признаков походки .....	10
1.3 Постановка задачи на разработку алгоритма выделения признаков походки человека.....	16
2 Проектирование алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока.....	18
2.1 Анализ и выбор вычислительного метода для нахождения признаков походки человека.....	18
2.2 Общая структура алгоритма выделения признаков походки .....	23
2.3 Выбор библиотеки компьютерного зрения для программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека.....	27
2.4 Разработка программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока .....	29
2.5 Анализ работы программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека.....	32
3 Анализ и корректировка разработанного алгоритма выделения признаков походки человека.....	39
3.1 Исследование эффективности работы разработанного алгоритма выделения признаков походки человека .....	39
3.2 Корректировка разработанного алгоритма выделения признаков походки.....	41

Заключение .....	45
Список используемой литературы и используемых источников .....	47
Приложение А Исходный программный код.....	50

## Введение

На протяжении последних столетий человечество стремительно развивалось в сфере науки. В начале 20 века наука активно развивалась в таких направлениях, как геология, металлургия, переработка нефти, военная промышленность. Это происходило по множеству причин, так или иначе связанных с соперничеством между странами. Но сегодня человечество шагнуло в эпоху технологического прогресса. Робототехника заменила военное ремесло, производство электромобилей вытеснило переработку нефти и так далее. Все это так или иначе связано с развитием информационных технологий. Одним из множества направлений информационных технологий является компьютерное зрение – наука о создании алгоритмов, способных производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов. Компьютерное зрение решает множество задач, таких как распознавание, идентификация, обработка или восстановление изображений, или сцены, оценка движений. Как и в любой другой науке, в данном направлении существуют некоторые нерешенные проблемы, одной из которых является распознавание людей с использованием биометрических данных. Данные, собранные при таком распознавании, принято разделять на два типа: физиологические, то есть данные о форме тела, отпечатках пальцев, сетчатке глаза или форме лица; или поведенческие, то есть данные о походке, жестикуляции, речи человека.

Объектом исследования является процесс выделения признаков походки человека из видеопотока.

Предмет исследования – метод выделения признаков походки человека из видеопотока.

Цель работы – уменьшение трудоемкости получения признаков походки человека посредством разработки специального алгоритма.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов, применимых к выделению признаков походки человека;
- описать метод, выбранный в качестве основы для исследования;
- спроектировать алгоритм;
- разработать программу для вычисления признаков походки;
- осуществить вычисление признаков походки человека;
- проанализировать полученные результаты;
- скорректировать алгоритм.

В первой главе отображается теоретическая часть работы. В ней обосновывается выбор задачи на исследование, а также описываются возможные способы решения поставленной задачи.

Во второй главе описывается метод обнаружения признаков походки с помощью ключевых точек, который был изменен в целях уменьшения трудоемкости процесса выделения признаков. В этой же главе происходит проектирование алгоритма и анализ полученных в результате его работы данных.

В третьей главе анализируются полученные результаты, а также вносятся корректировки для входных параметров, чтобы увеличить скорость работы алгоритма выделения признаков походки. И производится итоговый анализ работы разработанного и скорректированного алгоритма.

# **1 Теоретическое обоснование задачи выделения признаков походки человека**

## **1.1 Описание исследуемого в задаче процесса походки человека**

Для решения задачи выделения признаков походки человека необходимо изучить сам процесс походки с точки зрения строения человеческого тела.

Походка человека может быть характеризована, как циклическая модель движения тела, которая меняет положение человека в пространстве. Процесс ходьбы человека состоит из множества похожих друг на друга циклов. Если предположить, что все циклы походки одного человека одинаковы, то можно упростить изучение процесса ходьбы, рассмотрев только один цикл походки.

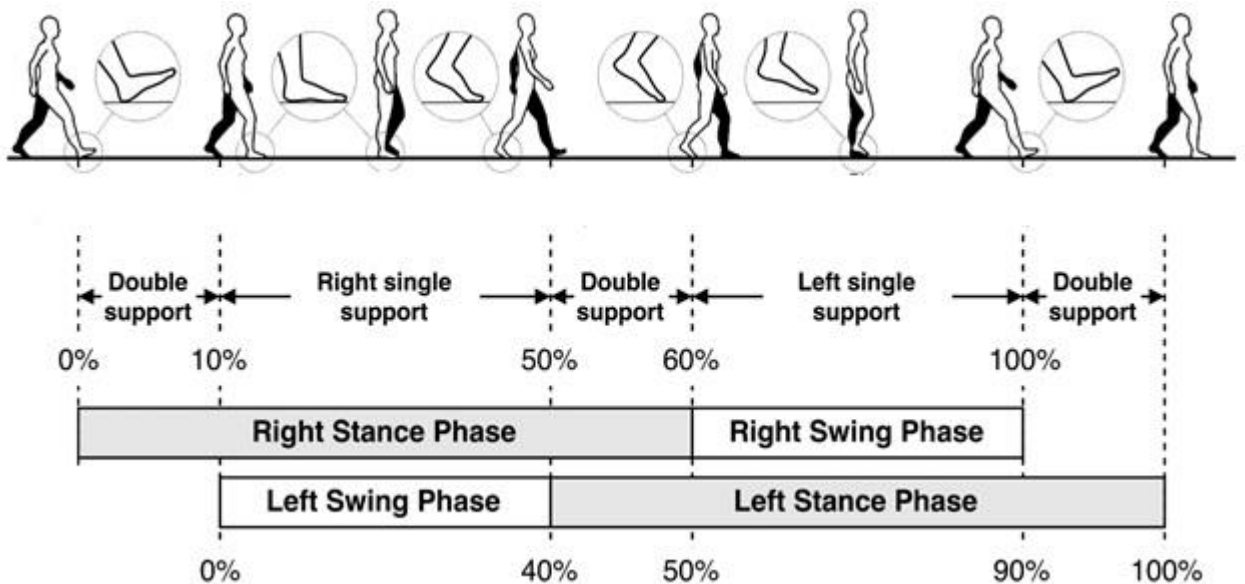
Цикл походки – это интервал времени между началом первой фазы двойной опоры, когда первый шаг делает, например, правая нога, и концом третьей фазы с двойной опорой, где последний шаг выполняет эта же нога.

В цикле походки чередуются следующие две фазы:

- фаза с одной опорой (single support), во время которой одна нога находится на земле, а другая сгибается в колене и совершает смещение вперед;
- фаза с двойной опорой (double support), которая начинается с момента, когда нога совершающая смещение достигает земли, а заканчивается, когда другая нога сгибается в колене, перестает быть опорой для тела и производит смещение вперед.

Пример цикла походки человека представлен на рисунке 1.





Метки: double support – двойная опора, right single support – опора на правую ногу, left single support – опора на левую ногу, right stance phase – фаза остановки движения правой ногой, right swing phase – фаза колебания правой ноги, left swing phase – фаза колебания левой ноги, left stance phase – фаза остановки движения левой ногой.

Рисунок 1 – Цикл походки человека

Обычно полагают, что цикл походки начинается с правой ноги. При первом шаге: от вертикального положения тела правая нога делает небольшой подъем и касается земли немного дальше от начального положения. Далее правая нога становится опорой и происходит смещение левой ноги. Аналогично предыдущему этапу теперь левая нога – это опора, а правая производит смещение вперед. Такое последовательное повторение приводит к движению человека.

Для определения признаков походки человека можно выяснить изменения углов в суставах необходимых для совершения ходьбы. К ним относятся: тазобедренный, коленный и голеностопный суставы.

Таким образом, изучив процесс походки с точки зрения строения человеческого тела, были получены знания, которые могут быть использованы для анализа существующих способов распознавания человека

на изображении; методов вычисления ключевых точек тела и различных признаков, характерных для движения человека в пространстве.

## **1.2 Анализ существующих способов выделения признаков походки**

На данный момент существует две группы подходов к выделению признаков походки человека из кадров видеопотока.

Первая группа основывается на базовых методах извлечения признаков походки человека. Такие методы определяют признаки вручную, используя знания о строении человеческого тела и кинетические показатели, например, относительное расстояние между частями тела, скорость изменения положения ног или рук человека [2].

К характеристикам, используемым в базовых подходах для выделения признаков походки человека, относятся:

- бинарные силуэты человека,
- поза человека,
- траектории точек фигуры человека.

Для подходов, основанных на бинарных силуэтах человека, характерно использование такого понятия, как изображение энергии движения (Gait Energy Image, GEI). Пример изображений энергии движения представлен на рисунке 2. Эта характеристика представляет собой бинарные маски силуэта идущего человека, которые были усреднены по одному циклу движения человека. Такие бинарные маски отображают, как часто за один цикл походки человек находится в различных позах. Данный способ извлечения признаков лег в основу множества других. Например, существуют похожие подходы распознавания походки человека, в которых используются другие способы объединения признаков, то есть вместо усреднения бинарных масок силуэта может применяться энтропия каждого пикселя изображения, содержащего силуэт человека, или дискретное преобразование Фурье для набора этих же силуэтов [13].

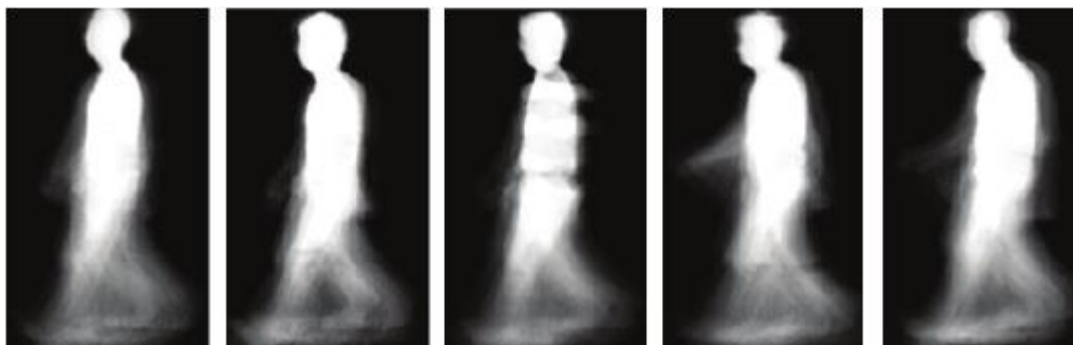


Рисунок 2 – Изображения энергии движения человека

Такой подход считают легким в реализации, и поэтому он до сих пор используется и развивается. Его применяют не только для нахождения признаков движения человека, но и для вычисления такой характеристики, как гистограммы ориентировочных градиентов, или для построения более сложных алгоритмов классификации, применяемых в задачах распознавания человека по его походке.

Наиболее часто в применении на практике встречаются два многокурсовых подхода:

- байесовский подход,
- подход с использованием многокурсового дискриминантного анализа.

Для данных многокурсовых подходов необходимо изначально определить изображения энергии движения для каждого угла обзора.

Первый подход был предложен Ли в [5]. Он предлагал считать изображения движения случайными матрицами, которые получаются из самого движения и независимого от него шума, создаваемого различными изменяющимися условиями. Эти параметры являются нормальными случайными величинами. Суть метода заключается в рассмотрении совместного распределения двух параметров движения в предположении совпадения или различия их классов, что приводит к задаче оптимизации

ковариационных матриц, которую можно решить с использованием EM-алгоритма.

Во втором подходе используется много ракурсный дискриминантный анализ. Такой способ был описан в [3]. Авторы предлагают использовать для нахождения признаков походки человека дополнительное вложение, которое будет обучаться отдельно, что способствует меньшему внутриклассовому разбросу, но большему для межклассовому.

Такие подходы являются простыми в математической реализации, но кроме этого обладают высокими результатами в распознавании. Их основной недостаток – это необходимость в вычислении изображения энергии движения для каждого ракурса. Для этого требуется знать под каким углом был сделан каждый кадр в выборке. Но на практике это не всегда возможно. Из-за этого уменьшается область применения данных алгоритмов. Пример изображений энергии движения, вычисленных под разными ракурсами, представлены на рисунке 3.

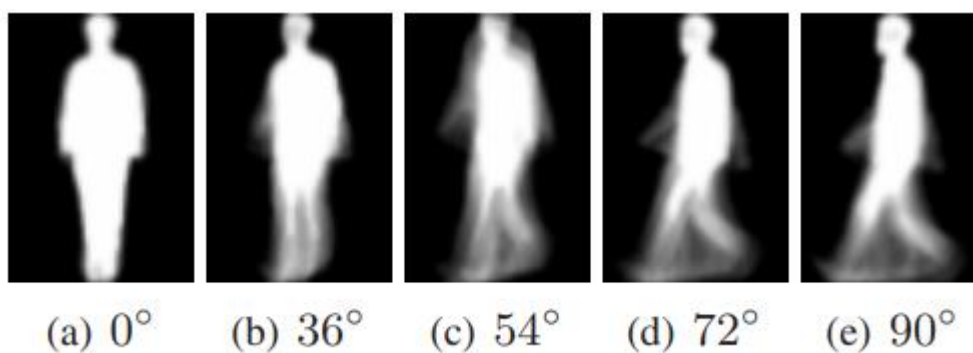


Рисунок 3 – Изображения энергии движения под разными углами

Для извлечения признаков движения человека можно рассмотреть его позу в каждом кадре, а именно расположение ключевых точек, которые включают в себя основные сегменты тела и суставы. Такой метод был описан в работе [11]. Его суть заключается в том, что в каждом кадре оценивается скелет человека и рассматриваются изменение координат его ключевых

точек. В статье [15] описывается подход, в котором предлагается использовать многослойную деформируемую модель. Эта модель характеризует динамику сегментов человеческого тела, а также их относительные размеры и углы, позицию и ориентацию в пространстве. Распознавание позы человека в данном подходе происходит по параметрам модели, которые восстанавливаются по заданному силуэту.

Последний подход выделения признаков походки, показывающий высокую точность в распознавании, был предложен в работе [10]. В нем анализируется траектория движения ключевых точек фигуры человека. По этим траекториям строятся дескрипторы движения Фишера, которые могут быть в дальнейшем классифицированы с помощью метода опорных векторов.

Вторая группа основывается на искусственных нейронных сетях. Такой подход позволяет обучать нейронную сеть для извлечения признаков походки в модель, которую в дальнейшем можно использовать для классификации признаков, применяя любой метод машинного обучения [2].

Существует множество нейросетевых методов распознавания человека по походке. Эти методы могут различаться между собой. Например, могут использоваться разные подходы в обработке данных и извлечения первичных признаков. Они также обладают разными подходами и в техническом плане, то есть могут использоваться разные архитектуры сетей или способы обучения. Источником информации, которая подается на вход сети, могут считаться кадры видео. Для решения задачи распознавания движения человека на видео можно использовать классификацию по отдельным кадрам. Такой способ дает удовлетворительный результат в точности распознавания [4]. Но наиболее часто в нейросетевых методах предпочитают использовать информацию о движении фигуры человека.

Кроме этого встречаются нейросетевые методы распознавания человека по его походке, в которых на вход сети используется информация об оптическом потоке, представляемого собой векторное поле видимого движения ключевых точек фигуры человека. В таком подходе на модель,

обученную по таким данным, не влияет цвет, яркость, контрастность кадров видеопотока. На возможность распознавания походки влияет только движение отдельных точек тела человека.

Существуют такие подходы, в которых нейронная сеть для определения походки человека использует блоки карт оптического потока [12]. Суть такого способа заключается в том, что для соседних пар кадров вычисляется оптический поток и образуется блок из нескольких карт потока, такой блок называется тензором. Для достижения высокой точности из данного блока берется часть, в которой на кадрах содержится силуэт человека, и далее на этих частях происходит обучение нейронной сети. Далее нейронная сеть используется для извлечения признаков, описывающих походку человека. Эти признаки классифицируют с помощью методов машинного обучения. Наиболее часто используют следующие методы:

- метод опорных векторов (SVM),
- метод ближайшего соседа (kNN).

Часто для обучения нейронных сетей используется такой источник информации, как бинарные маски силуэтов. Сверточная нейронная сеть обучается по имеющимся в наборе данных силуэтам находить их владельца, то есть человека [21]. Как и в ранее описанных методах, обученная сеть применяется для получения признаков, характеризующих движение человека. А процесс перехода от дескрипторов отдельных кадров к изначальному видеопотоку производится с помощью нахождения максимального отклика по одному циклу движения человека. Данный подход является менее требовательным ко входным данным, чем другие глубокие методы, так как при наличии бинарных масок ему не нужна дополнительная предобработка этих данных.

Также существует метод, который использует силуэты человека [8]. Он описывается двухэтапным алгоритмом, который в начале находит угол видеосъемки, а после этого по входным параметрам и установленному углу распознает человека на видео. На вход нейронной сети, обученной для

классификации видео, поступает набор кадров видео, которые были случайно отобраны. Далее в зависимости от найденного угла съемки, эти данные подаются в другую сеть, которая была обучена для такого же ракурса. Стоит учитывать, что входными данными для сети являются не отдельные маски, а блоки, содержащие несколько соседних силуэтов. Такой подход позволяет учитывать, как пространственные, так и временные характеристики движения человека. Кроме этого, различия между кадрами видео учитывается с помощью архитектур сетей, например, могут использоваться трехмерные сети, так как они производят свертки в пространстве и во времени.

Описывается применение трехмерных сетей и в распознавании, когда источником информации является комбинированное трехканальное изображение [19]. В таком изображении: первый канал – это кадр в черно-белом представлении, а два других содержат компоненты карт оптического потока. Эта модель тоже учитывает пространственные и временные характеристики видео, как и в ранее описанной, так как в ней используются трехмерные свертки.

Также можно выделить методы, в которых применяются глубокое обучение и извлечение признаков с использованием математических методов распознавания. Для входных данных наиболее часто используют изображения энергии движения, которые были описаны ранее. Полученные на этом подходе модели бывают как простейшими [14], в таких сеть определяет человека по входным изображениям энергии движения, вычисленным для разных ракурсов съемки, так и более сложными [22], где вычисляется степень схожести пары изображений, а далее рассматриваются различные способы сравнения нейросетевых признаков походки человека. Есть подходы, в которых с помощью применения двухпоточных или трехпоточных сиамских архитектур выбираются изображения, на которых манеры движения человека схожи и имеют одного владельца.

Вместо классических сверточных нейронных сетей для распознавания человека по его манере движения используют рекуррентные нейросети. Они также принимают на вход множество различных данных, к таким входным данным могут относиться:

- бинарные маски силуэтов или силуэты [20],
- информация о позе человека в каждом кадре видео,
- оценка позы человека в каждом кадре с учетом ракурса камеры [9].

Часто для достижения более качественной идентификации используют комбинацию данных методов. То есть нейронная сеть обучается на основе признаков походки человека, вычисленных с помощью базовых методов, описанных в первой группе.

Таким образом, описанные в данном подразделе подходы для распознавания человека могут быть применимы для решения задачи обнаружения походки человека на видео. Но с применением новых технологий и инструментов в сфере компьютерного зрения можно добиться улучшений этих методов. Этими улучшениями могут быть: упрощение реализации, увеличение производительности, уменьшение ограничений на применение данных алгоритмов на практике и так далее. Так, в выбранном подходе для решения поставленной задачи будет усовершенствован способ отбора входных данных. Это поможет расширить область применения данного подхода, а также позволит увеличить точность проводимых расчетов.

### **1.3 Постановка задачи на разработку алгоритма выделения признаков походки человека**

Требуется разработать алгоритм для выделения признаков походки человека из кадров видеопотока.

Входными данными являются:



- видео, содержащее информацию о движении человека;
- наборы данных необходимые для оценки позы человека.

Выходные данные являются:

- видео, содержащее результат оценки позы человека;
- файл, содержащий значения координат ключевых точек фигуры человека;
- файл, содержащий значения признаков походки человека;
- графики, характеризующие изменения признаков походки человека во времени.

Программная реализация алгоритма должна включать в себя следующие функциональные возможности:

- считывание и первичная обработка кадров входного видеопотока;
- считывание дополнительных наборов данных;
- оценка позы человека для определения ключевых точек фигуры;
- проведение математических расчетов необходимых для выделения признаков походки;
- графическое отображение полученных результатов;
- запись в файл значений, полученных в результате работы алгоритма.

Таким образом, необходимо учесть данные функциональные возможности в процессе программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока.

## **2 Проектирование алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока**

### **2.1 Анализ и выбор вычислительного метода для нахождения признаков походки человека**

Для решения поставленной задачи о выделении признаков походки человека был использован подход, который основан на позе человека, характеризующейся ключевыми точками его фигуры. Такими точкам являются основные части тела человека: туловище, руки, ноги и суставы. В основу данного подхода был взят метод, описанный Чен Хи Ю в его статье [9]. В этом методе рассматривается скелет человека и вычисляется изменение ключевых точек в каждом кадре видео. Так он определяет следующие кинематические характеристики походки человека:

- временной период,
- среднюю скорость,
- траекторию движения,
- относительные углы в суставах,
- углы между ключевыми сегментами тела человека.

Для того чтобы производить расчеты для определения походки человека, необходимо иметь знания о строении человеческого тела. Существуют зависимости размеров частей тела друг от друга. Например, для роста человека равного  $H$ , первоначальное вертикальное положение шеи, плеч, талии, таза, коленей и рук соответственно равны:  $0,870H$ ,  $0,818H$ ,  $0,530H$ ,  $0,480H$ ,  $0,285H$  и  $0,039H$ . Размер каждого сегмента человеческого тела можно рассчитать с помощью двух граничных точек на отрезке. Этот отрезок можно высчитать по формуле 1.

$$x_{s,p} = \frac{x_{p1} + x_{p2}}{2} \quad (1)$$

где  $x_{p1}$  и  $x_{p2}$  – это границы отрезка, содержащего положение первого и последнего пикселей на прямой.

Рассчитав для каждого сегмента тела его отрезок, можно рассчитать относительные углы с помощью линейной регрессии. Для этого углы  $\theta_p$  сегмента тела  $p$  аппроксимируют прямую:

$$\theta_p = \arctg \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})} \quad (2)$$

где  $n$  – количество точек, определяющих сегмент тела.

Точки определяются последовательно, начиная с головы человека и заканчивая его стопами. Координаты точек границ сегментов тела рассчитываются с помощью совместного угла и размера каждого сегмента как:

$$x_p, y_p = x_i + L_p \cos(\varphi + \theta_p) y_i + L_p \sin(\varphi - \theta_p) \quad (3)$$

где  $\varphi$  – это сдвиг по фазы;

$x_i$  и  $y_i$  – координаты ранее установленной позиции для этой точки тела;

$L_p$  – размер сегментов тела.

При движении человека влево, положение его колена относительно точки опоры можно считать, как минимальное расстояние от оси абсцисс, а положение лодыжки определяется, как максимальное расстояние от этой же оси. Смещение вперед в кадре можно вычислить по формуле 4.

$$\Delta x_i = \overline{x_i} - \overline{x_{i-1}} \quad (4)$$

При обычной ходьбе, положение колена и лодыжки меняется в сторону движения, из этого следует, что данное движение при вычислениях следует считать положительным значением.

Траектория походки человека описывается временными и пространственными параметрами:

- длина шага,
- длительность одного цикла походки,
- скорость передвижения.

Временной период походки – это количество кадров в течение одного цикла. Время цикла можно вычислить следующим образом:

$$t = \frac{T}{fps} \quad (5)$$

где  $t$  – время цикла, с;

$T$  – период походки, кадр;

$fps$  – частота кадров, кадр/с.

А скорость движения человека можно вычислить по формуле 6.

$$V = \frac{L}{t} \quad (6)$$

где  $V$  – скорость движения, м/сек;

$L$  – длина шага, м;

$t$  – длительность цикла походки, с.

Длина шага определяется по координатам смещения человека в последовательности кадров за один цикл походки.

Кроме того, кинематические параметры характеризуются углами между сегментами тела и их изменением в течение одного цикла походки человека. Сегменты тела в суставах образуют угол, который можно вычислить по координатам ключевых точек фигуры человека. При нормальной ходьбе человека положение его туловища можно считать почти вертикальным относительно его лодыжек. По определению, угол сегмента – это угол между сегментом тела и горизонтальной прямой, а угол соединения (или межсегментный угол) – угол между двумя сегментами тела. Угол сегмента можно вычислить следующим образом:

$$\theta_{ij} = \arctg \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \quad (7)$$

где  $x$  и  $y$  – координаты точек на границах сегмента.

Таким образом, вычислив углы сегментов, можно найти межсегментный угол по формуле 8.

$$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \quad (8)$$

где  $\theta_i$  и  $\theta_j$  – это углы сегментов, между которыми вычисляется угол соединения.

На рисунке 4 представлен пример, показывающий вычисление межсегментного угла для колена.

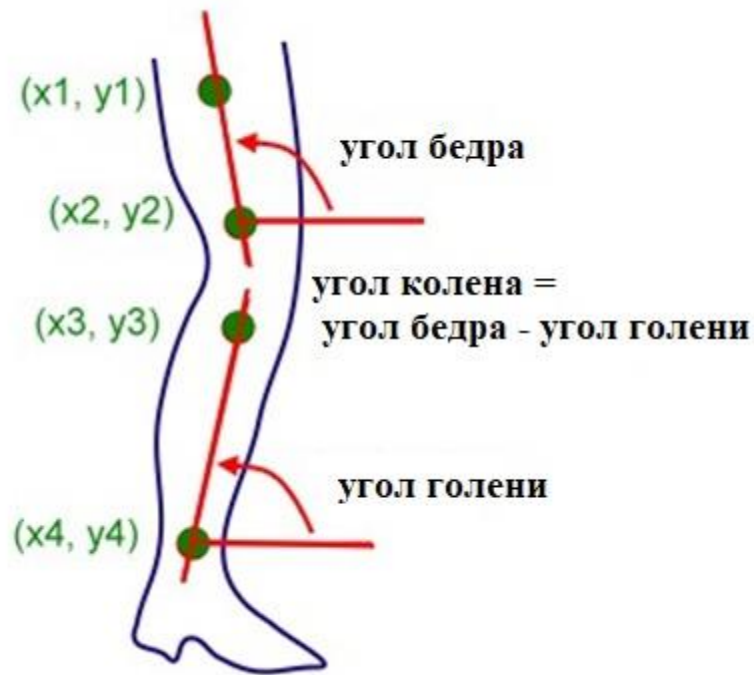


Рисунок 4 – Вычисление межсегментного угла для колена

Траектория движения человека описывается еще такими кинематическими характеристиками, как линейная и угловая скорость, смещение, а также производные по времени, в частности линейные и угловые ускорения. Кроме того, траектория является периодической вектор-функцией в каждом кадре последовательных изображений.

Как правило, в статистическом анализе изменение походки оценивается с использованием непрерывных кривых данных временных рядов, отображенных в течение одного цикла походки. Характер движения человека по своей природе близок к синусоидальному. Поэтому для оценки кривой, описывающей походку человека, можно применить тригонометрическую функцию. Таким образом, предполагаемая функциональная взаимосвязь между периодическим движением походки и временем может быть смоделирована путем интерполяции тригонометрических полиномов. Кроме этого, дальнейшее движения

человека может быть предсказано, так как описанная интерполяционная модель является периодической.

Тригонометрический полином  $n$ -го порядка:

$$y_n(t) = a_0 + a_n \cos(2\pi t) + \sum_{k=1}^{n-1} [a_k \cos(2\pi kt) + b_k \sin(2\pi kt)] \quad (9)$$

где  $a_0, a_n, a_k$  и  $b_k$  – это коэффициенты полинома.

Интерполяция тригонометрическими полиномами большого числа данных может дать результаты с минимальной погрешностью.

Изучив описанный выше метод, было сделано предположение, что, если объединить его с обученной нейронной сетью, которая сможет находить ключевые точки человека на кадрах видеопотока, то можно добиться более высокой точности распознавания движения человека. Новый подход будет наиболее применимым на практике. Так как для исходного подхода необходимо производить определение ключевых точек тела самостоятельно для каждого человека.

## **2.2 Общая структура алгоритма выделения признаков походки**

По описанному в предыдущем подразделе методу был разработан алгоритм, позволяющий выполнять расчеты, необходимые для решения поставленной задачи выделения признаков походки человека из кадров видеопотока.

На рисунке 5 представлен алгоритм считывания ключевых точек за один цикл походки человека.

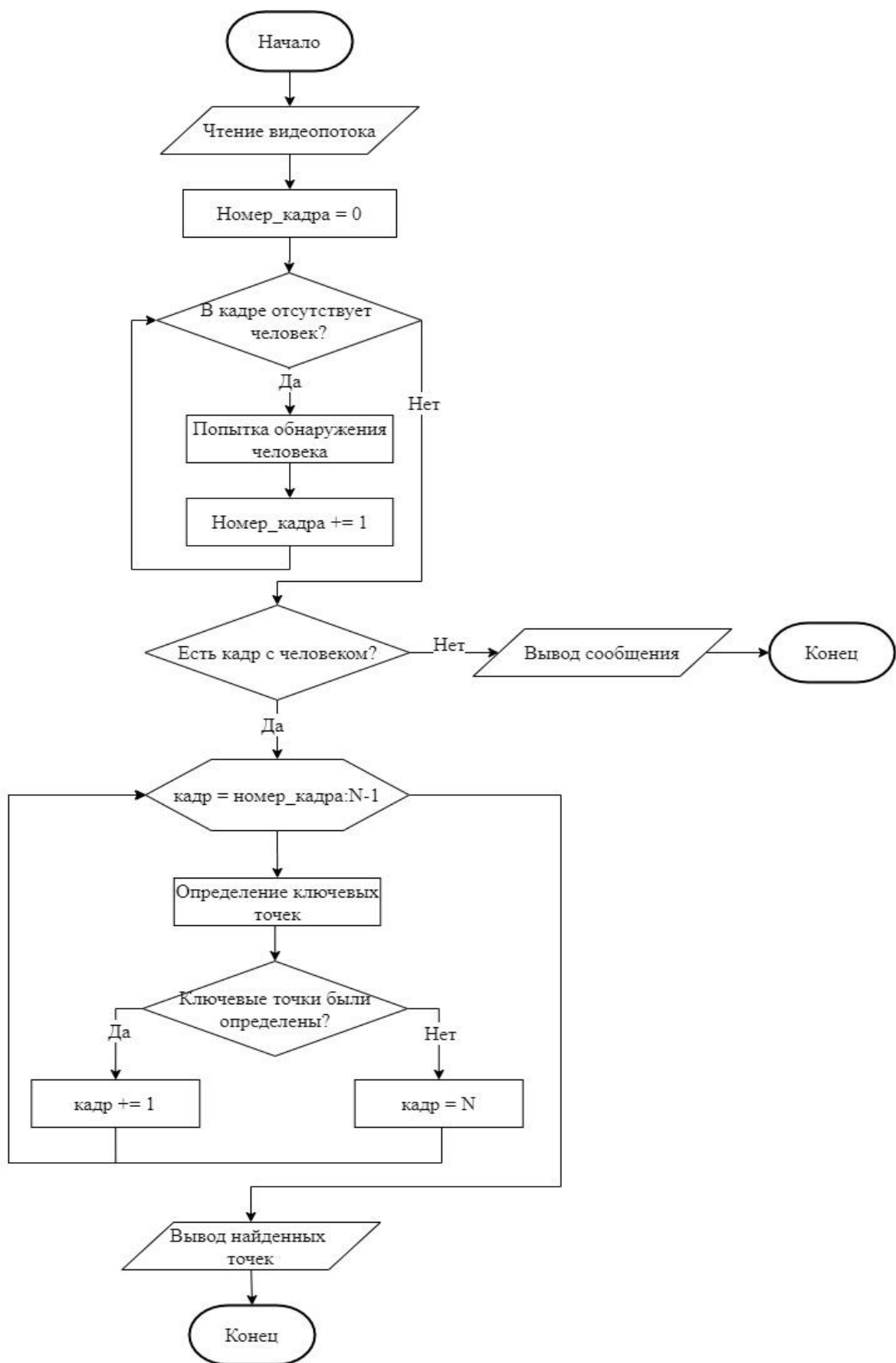


Рисунок 5 – Блок схема алгоритма считывания ключевых точек



Во-первых, для работы метода, выбранного для получения признаков движения человека, необходимо предварительно определить кадры видеопотока, в которых есть человек. Для этого необходимо на вход программы дать видео, на котором можно обнаружить идущего человека. Так как для корректной работы метода нам необходимо исследовать цикл походки, то нужно найти его начальное положение. Пусть началом движения цикла походки будет первое появления человеческой фигуры в кадре. Для этого начиная с первого кадра видео необходимо с помощью функций библиотеки «OpenPose» распознать человека. Если на рассматриваемом кадре ничего не было найдено, то нужно перейти к следующему, и так пока не будет найден требуемый кадр.

После нахождения начального кадра из видеопотока, можно задать период движения человека, то есть необходимое количество просматриваемых кадров для определения одного из циклов походки человека. Далее можно начать считывать в каждом кадре ключевые точки человеческой фигуры, которые будут использоваться для дальнейшего анализа. Выходными данными этого алгоритма будут найденные точки, характеризующие сегменты человеческого тела.

Во-вторых, после разработки алгоритма, представленного на рисунке 5, также был построен алгоритм нахождения признаков походки человека. Данный алгоритм показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма нахождения признаков походки

На вход идут координаты ключевых точек, найденных в предыдущем алгоритме. Далее в каждом кадре определяются границы сегментов, вычисляются размер и угол сегмента, а также межсегментный угол.

Кроме того, для более точного описания походки в признаки можно также внести и скорость движения человека.

Далее по полученным данным о признаках походки можно произвести интерполяцию. Это поможет спрогнозировать дальнейшую манеру движения человека.

Таким образом, по полученным алгоритмам можно разработать программу, которая считывает покадрово видеопоток, на каждом кадре находит ключевые точки фигуры человека, а потом по значениям координат этих точек высчитывает углы сегментов ног и интерполирует их.

### **2.3 Выбор библиотеки компьютерного зрения для программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека**

Так как выбранному методу необходимы входные параметры, характеризующие ключевые точки человеческого тела, было решено воспользоваться библиотекой «OpenPose», предназначенной для оценки поз человека. Эта библиотека была разработана на основе библиотеки компьютерного зрения «OpenCV» [18].

Для нахождения ключевых точек фигуры человека с помощью функций библиотеки «OpenPose» необходимо использовать наборы данных. Наиболее часто применяют два следующих набора данных: «COCO» и «MPII», так как они имеют высокую точность [6], [17]. Набор данных «COCO» позволяет находить 18 ключевых точек, а «MPII» – 15.

Используя набор данных «COCO» [6], можно получить следующие 18 ключевых точек: нос – 0, шея – 1, правое плечо – 2, правый локоть – 3, правое запястье – 4, левое плечо – 5, левый локоть – 6, левое запястье – 7, правое бедро – 8, правое колено – 9, правая лодыжка – 10, левое бедро – 11, левое колено – 12, левая лодыжка – 13, правый глаз – 14, левый глаз – 15, правое ухо – 16, левое ухо – 17, фон – 18.

А если применить набор данных «МРП» [17], то можно получить 15 ключевых точек: голова – 0, шея – 1, правое плечо – 2, правый локоть – 3, правое запястье – 4, левое плечо – 5, левый локоть – 6, левое запястье – 7, правое бедро – 8, правое колено – 9, правая лодыжка – 10, левое бедро – 11, левое колено – 12, левая лодыжка – 13, грудь – 14, фон – 15.

Пример определения ключевых точек тела человека представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Сравнение наборов данных «СОСО» и «МРП»

На рисунке 7 можно увидеть разницу между двумя наборами данных. Например, набор «СОСО» определяет вместо одной точки, характеризующую голову, три точки: нос, левый и правый глаза.

Для реализации метода нахождения ключевых точек фигуры человека предпочтительнее использовать набор данных «МРП», так как в нем содержится меньшее количество записей о ключевых точках, чем в наборе «СОСО». Такой выбор позволит улучшить эффективность работы алгоритма, то есть увеличится скорость обработки видео и уменьшатся вычислительные затраты компьютера.

#### **2.4 Разработка программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока**

После выбора способа нахождения ключевых точек фигуры человека, были разработаны алгоритмы для решения задачи о нахождении признаков походки человека на кадрах видеопотока.

Алгоритм для выделения признаков походки человека был реализован на языке программирования Python, с использованием библиотек компьютерного зрения с открытым исходным кодом «OpenCV» и «OpenPose».

Входными данными программной реализации алгоритма являются: несжатое видео размером 1920 на 1080 пикселей, наборы данных «СОСО» и «МРП».

На рисунке 8 представлен результат нахождения ключевых точек фигуры человека на одном кадре исходного видео.

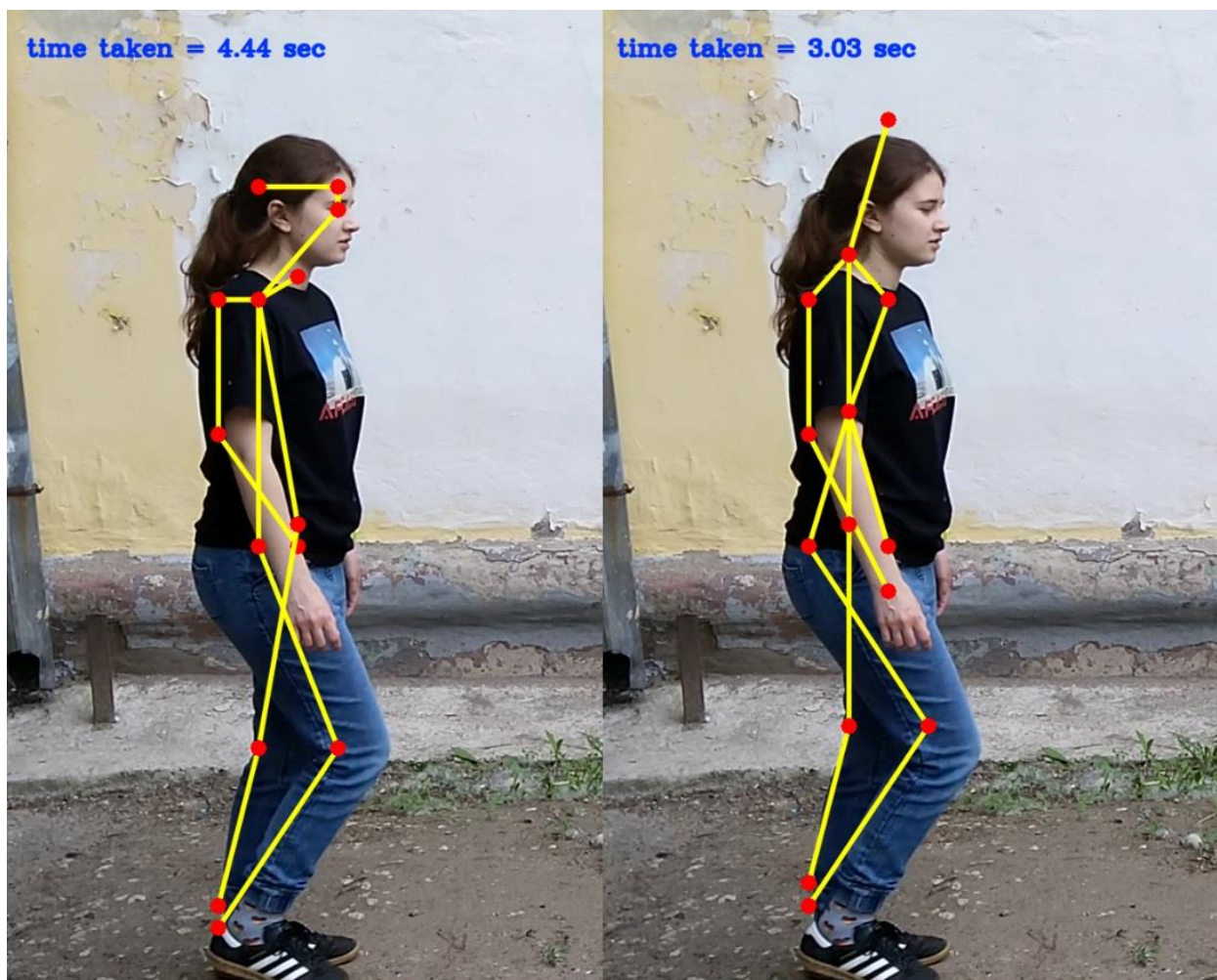


Рисунок 8 – Результат нахождения ключевых точек с применением «COCO» и «MP2»

На рисунке 8 визуально отображены найденные ключевые точки с использованием функций библиотеки «OpenPose» на основе наборов данных «COCO» и «MP2».

Поскольку для решения задач извлечения признаков походки необходимы только значения координат точек, описывающих такие сегменты тела, как бедро, колено и лодыжка. То при дальнейшей работе алгоритма будут определяться следующие ключевые точки: левые бедро, колено, лодыжка, а также правые бедро, колено и лодыжка.

На рисунке 9 показан результат нахождения ключевых точек, характеризующих положение ног человека.





Рисунок 9 – Ключевые точки ног, найденные с использованием «COCO» и «МРП»

На рисунке 9 отображен результат определения требуемых ключевых точек для исследуемого метода. Поскольку анализируется одинаковый кадр можно заметить, что оценка позы функциями библиотеки «OpenPose» работает медленнее, если используется набор данных «COCO», чем при применении «МРП».

Для хранения значений координат, найденных ключевых точек, в многомерном массиве использовалась библиотека «NumPy». Эта библиотека языка программирования «Python» поддерживает применение больших многомерных массивов и матрицы для хранения значений, а также позволяет производить математические операции между ними.

Вычисление углов, принадлежащий сегментам ног человека, производилось по формулам, описанным в подразделе 2.1.

После нахождения координат ключевых точек, принадлежащих бедрам, коленям и лодыжкам, были посчитаны сегментные и межсегментные углы.

Полученные значения углов были интерполированы с помощью кубического сплайна. Для этого использовалась функция для вычисления интерполяции: «`interp(frame, angle, kind = 'cubic')`», где первый параметр – это момент периода походки (или кадр), второй – вычисленный угол, третий – вид интерполяции.

По полученным в результате интерполяции значениям были построены графики изменения углов в процессе одного цикла походки человека.

Программный код реализации алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока представлен в приложении А.

Таким образом, разработанная программная реализация позволяет из кадров входного видеопотока выделять признаки походки человека.

## **2.5 Анализ работы программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека**

По значениям, полученным в результате работы программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека, были построены графики зависимости изменения угла сегмента от периода походки.

При использовании набора данных «СОСО» были посчитаны углы, характеризующие движения ног человека. По полученным данным были построены графики, характеризующие положение ног в различные моменты одного цикла походки.

На рисунке 10 представлен график зависимости угла между бедром и перпендикуляру к оси абсцисс от периода походки.



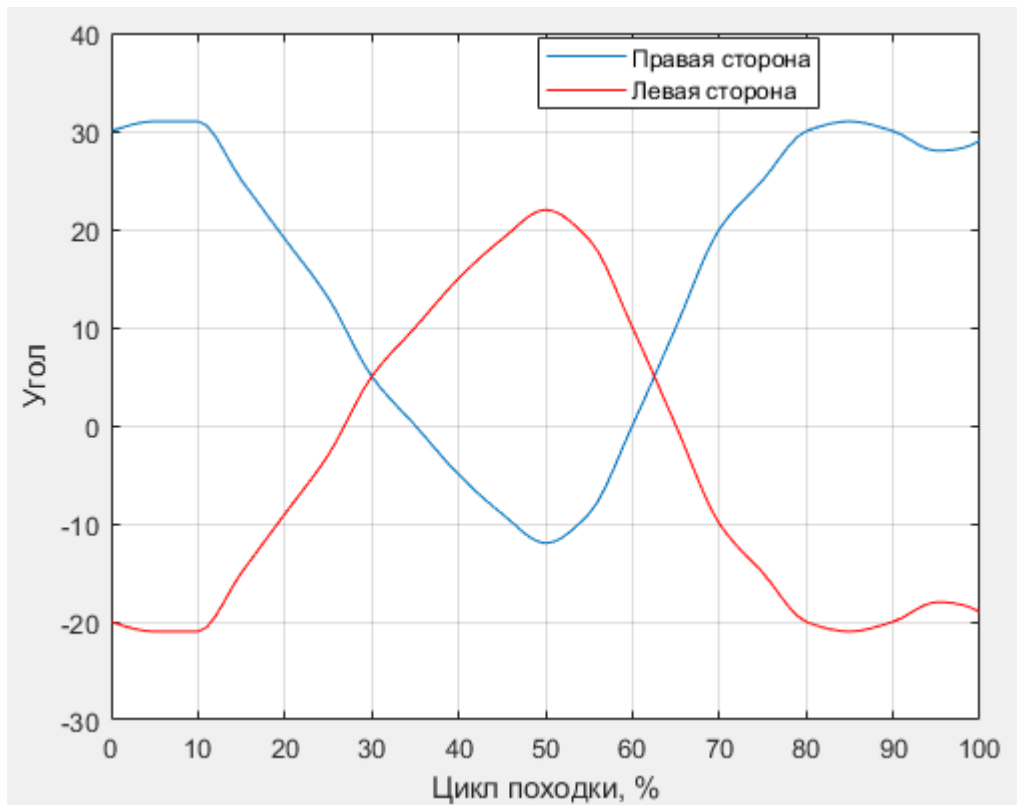


Рисунок 10 – График изменения угла тазобедренного сустава

На рисунке 10 синей кривой отображается изменение угла тазобедренного сустава правой ноги, а красной кривой описывается зависимость угла бедра левой ноги от периода походки.

На рисунке 11 представлен график зависимости угла, характеризующего процесс сгибания ноги в коленном суставе, от периода походки человека.

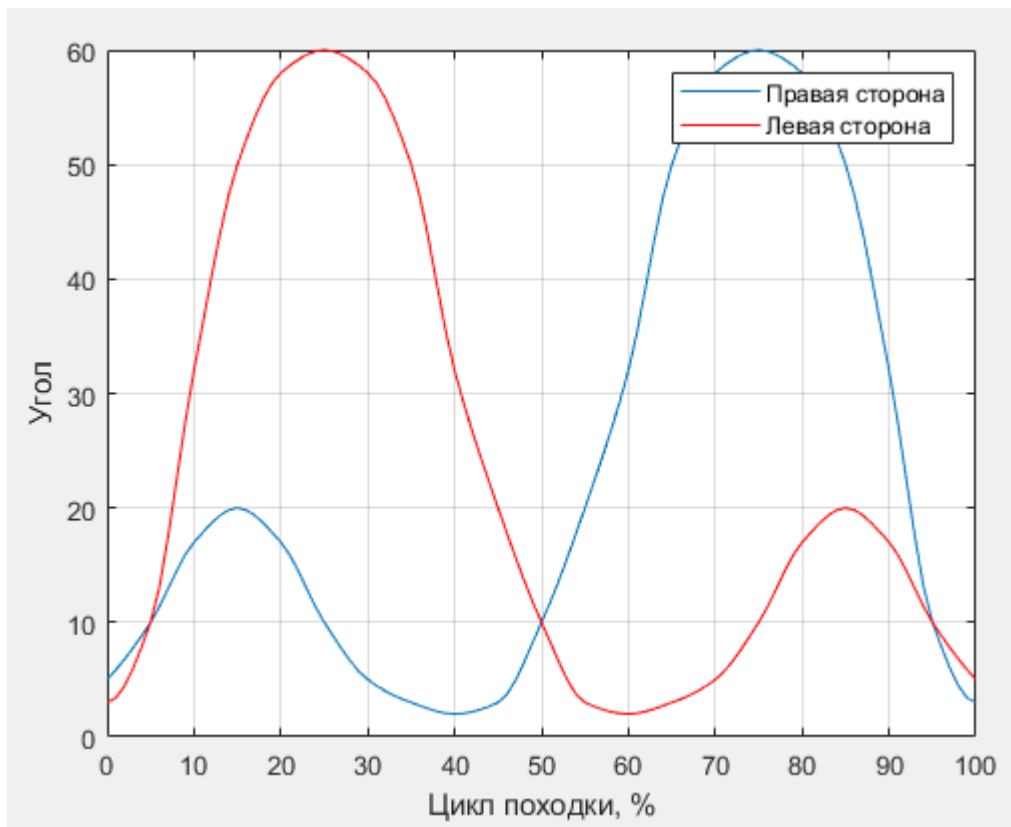


Рисунок 11 – График изменения угла коленного сустава

По графику, изображенному на рисунке 11, можно увидеть, что при ходьбе человека угол коленного сустава изменяется в диапазоне от 0 до 60. Когда график возрастает происходит процесс сгибания ноги в колене, а при убывании – разгибания.

На рисунке 12 отображен график зависимости угла в лодыжке между голенью и осью абсцисс от периода походки.

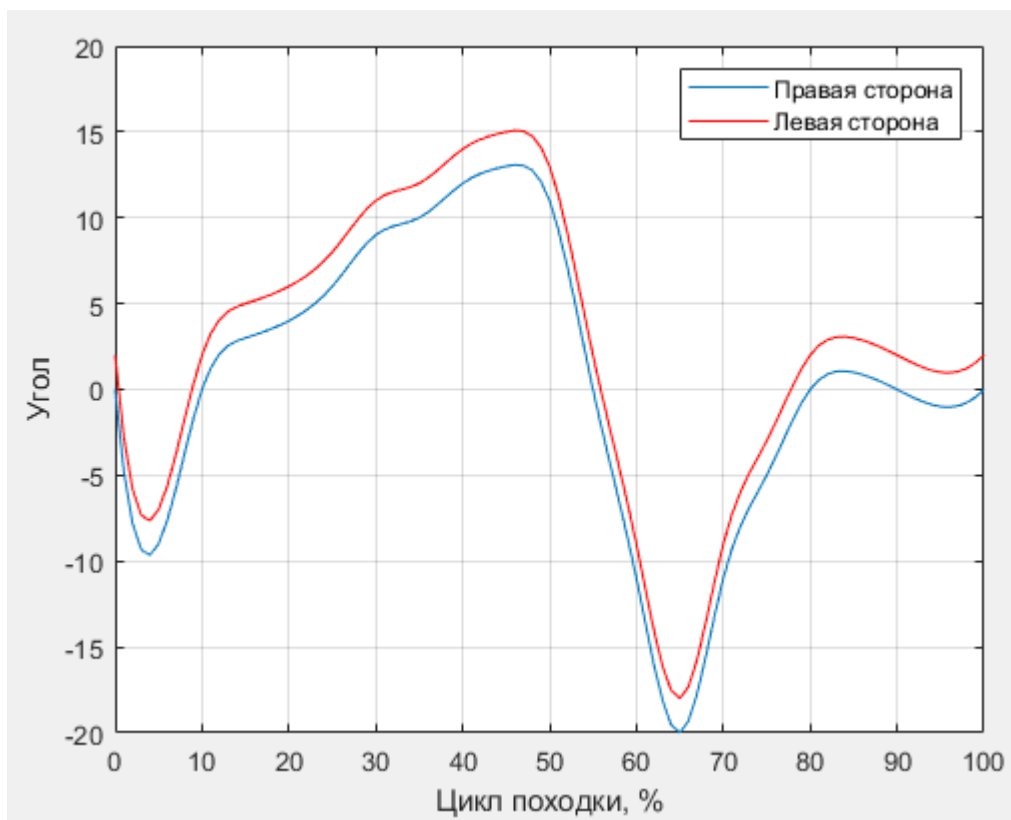


Рисунок 12 – График изменения угла голеностопного сустава

Кроме этого, были посчитаны углы, характеризующие движения ног человека, при использовании набора данных «МРП». По вычисленным значениям также были построены графики, характеризующие процессы сгибания и разгибания ног, происходящие за один цикл походки человека.

На рисунке 13 представлен график зависимости угла между бедром и перпендикуляру к оси абсцисс от периода походки.

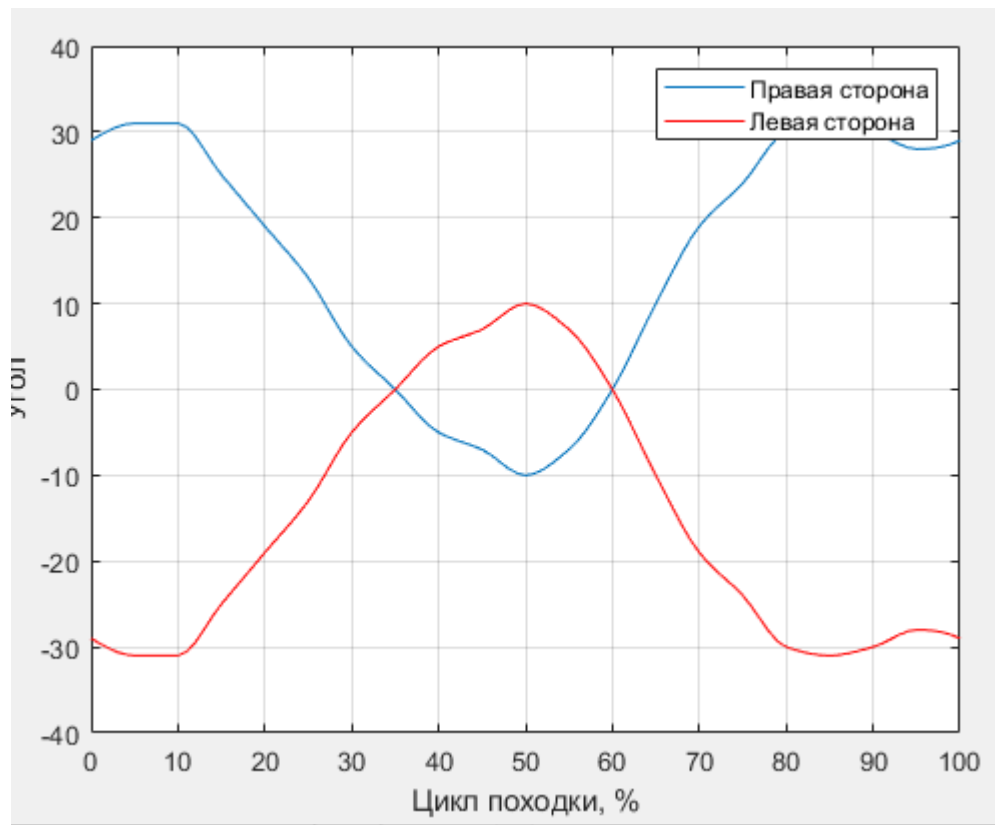


Рисунок 13 – График изменения угла тазобедренного сустава

По графику, изображенному на рисунке 13, можно определить, какая нога человека в данный момент является ведущей. Ведущая нога – это нога, делающая в данный период походки смещение вперед. Если график находится над осью абсцисс, где ординаты имеют положительное значение, то в данный момент цикла человек делает этой ногой шаг вперед.

На рисунке 15 отображен график зависимости угла, характеризующего сгиб колена, от периода походки.

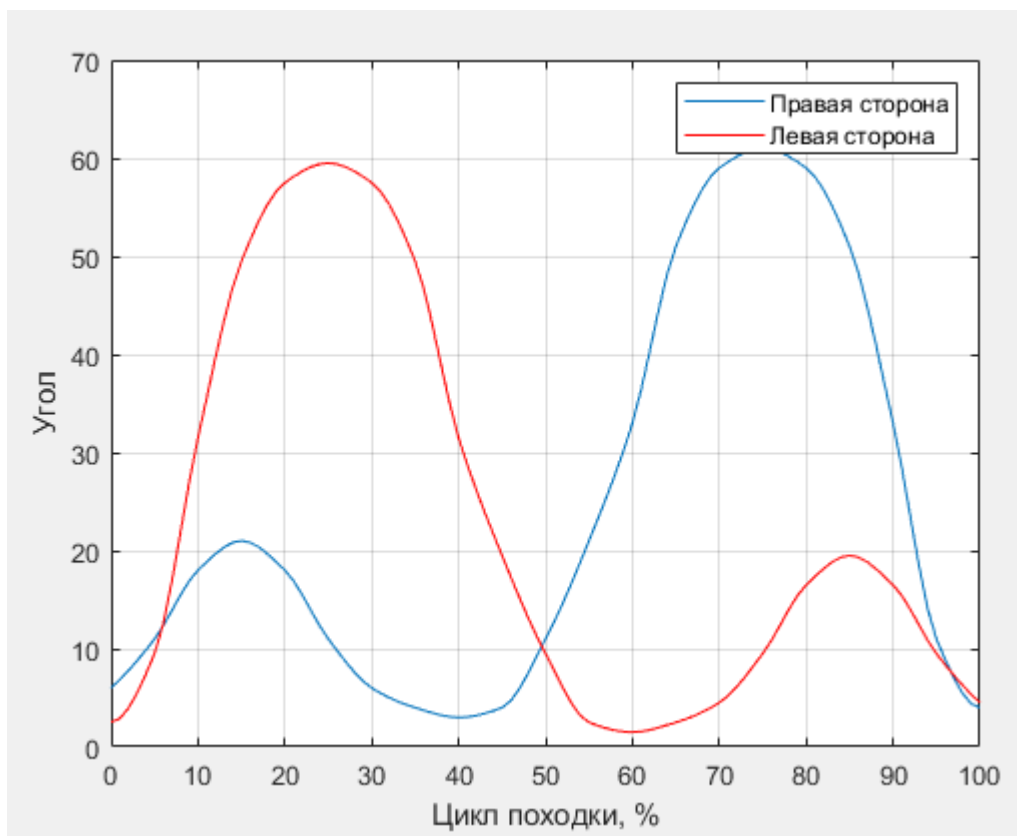


Рисунок 14 – График изменения угла коленного сустава

По графику, представленному на рисунке 14, можно также увидеть, процесс сгибания и разгибания колена. Возрастание графика характеризует то, что человек сгибает в данный момент ногу в колене, а убывание – разгибает.

На рисунке 15 представлен график зависимости угла в лодыжке между голенью и осью абсцисс от периода походки наблюдаемого.

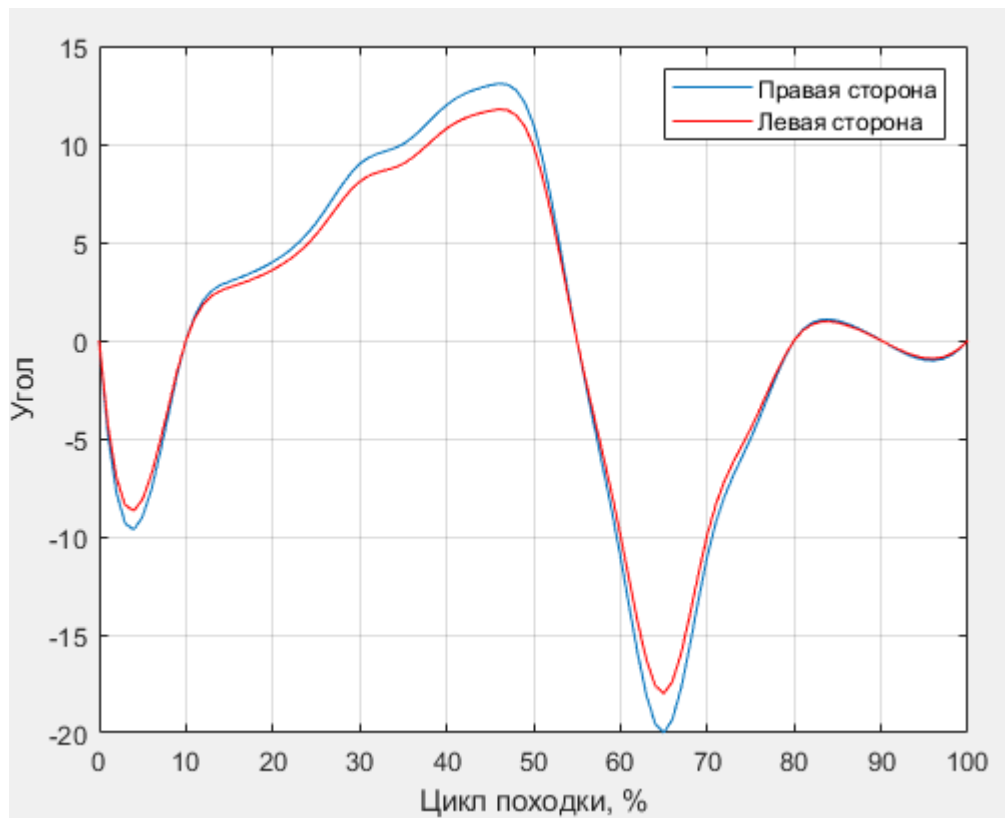


Рисунок 15 – График изменения угла голеностопного сустава

Данные графики описывают характер походки человека. По ним можно оценить в каком диапазоне сгибается колено, на сколько высоко поднимается нога при шаге. Если существует большая разница в характеристиках левой и правой ноги, то можно сделать вывод об особенности ходьбы данного человека, например, об его хромоте.

Таким образом, был проведен анализ работы разработанного алгоритма для подсчета значения углов в сегментах ног человека. В результате исследования можно сделать вывод, что набор данных «МРП» можно использовать в дальнейшем в нахождении ключевых точек. При его применении на обработку одного кадра затрачивается меньше времени. Также на практике он более точно определяет положение ключевых точек, описывающие ноги человека.

### **3 Анализ и корректировка разработанного алгоритма выделения признаков походки человека**

#### **3.1 Исследование эффективности работы разработанного алгоритма выделения признаков походки человека**

В предыдущем разделе для анализа результатов работы алгоритма исходными параметрами были кадры видеопотока размером  $1920 \times 1080$  пикселей. Так как видео имеет большое разрешение, его обработка занимает длительное время. В среднем один кадр обрабатывается за 4,3 секунды.

Поэтому был сделан вывод, что для более быстрой работы алгоритма необходимо уменьшить размер входных кадров видеопотока. Для этого был проведен вычислительный эксперимент. Цель данного эксперимента – это выяснить, во сколько раз будет оптимально сжать видео, чтобы результаты вычислений имели незначительную погрешность, но также увеличилась скорость работы алгоритма.

Таблица 1 – Погрешность в вычислениях углов при разном разрешении исходного видео

Разрешение	Среднее значение погрешности при измерении углов					
	Левого колена	Левого бедра	Левой лодыжки	Правого колена	Правого бедра	Правой лодыжки
$1280 \times 720$	0.000811	0.000793	0.00168	0.0018	0.000642	0.00085
$960 \times 540$	0.00724	0.00937	0.0112	0.00462	0.01162	0.00958
$640 \times 360$	0.0276	0.0612	0.0308	0.107	0.0562	0.0815

Среднее значение погрешности вычисляется по формуле:

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} [x_{0k} - x_k] \quad (10)$$

где  $n$  – количество вычислений;

$x_{0k}$  – результат вычислений, найденных в исходном видео;

$x_k$  – результат вычислений, найденных в сжатом видео.

Для определения оптимального размера кадра необходимо измерить среднее время обработки одного кадра. Результаты измерений предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика

Разрешение	Среднее время обработки одного кадра, секунд
1920 × 1080	4,3
1280 × 720	3,6
960 × 540	2,8
640 × 360	2,5

Проанализировав таблицы 1 и 2 можно сделать вывод о том, что время обработки одного кадра при размерах 960 × 540 и 640 × 360 отличается только на 0,3 секунды. Но погрешность вычислений отличается друг от друга на 0,0448 левого колена, левого бедра – на 0,05183, левой лодыжки – на 0,0196, правого колена – на 0,10238, правого бедра – на 0,04458, правой лодыжки – на 0,07182 при нахождении угла между ними. Погрешности имеют довольно большое отклонение при такой небольшой разнице в скорости вычислений. Следовательно, для увеличения скорости выполнения вычислений можно брать в качестве входных данных кадры размером 960 × 540 пикселей.



### **3.2   Корректировка   разработанного   алгоритма   выделения   признаков   походки**

По результатам вычислительного эксперимента, проведенного в предыдущем подразделе, был сделан вывод, что входное видео, имеющее большое разрешение, следует обработать. Также стоит учитывать результаты анализа, полученные в конце второго раздела. После обнаружения некоторых недостатков разработанной модели, требуется внести в нее корректировки.

Для оптимальной работы алгоритма необходимо:

- использовать входной видеопоток, содержащий кадры размером 960 на 540 пикселей;
- применять для обработки кадров функции библиотеки «OpenCV»;
- использовать для оценки человеческой позы возможности библиотеки «OpenPose»;
- выбрать в качестве параметров необходимых для нахождения ключевых точек человека набор данных «МРП».

После корректировки входных параметров необходимо повторно провести вычисление признаков походки человека.

На рисунке 16 предоставлен график изменения угла, характеризующего бедро человека, в зависимости от периода походки.

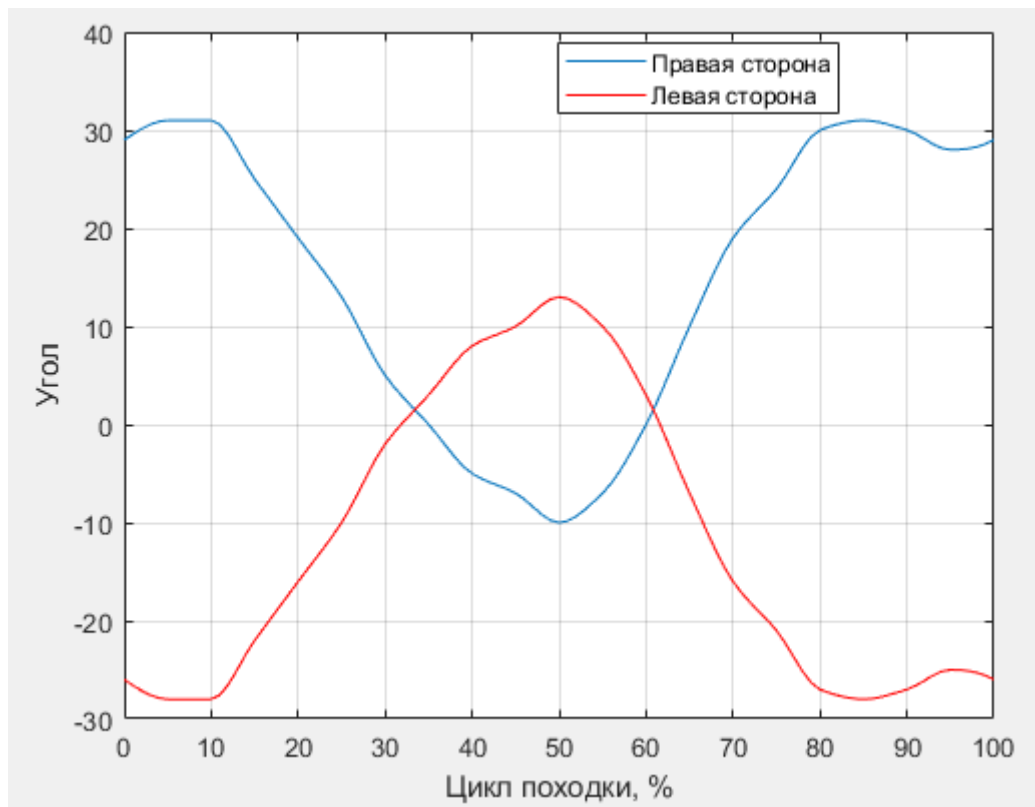


Рисунок 16 – График изменения угла тазобедренного сустава

По графику, отображённом на рисунке 16, можно увидеть процесс сгибания и разгибания ноги в колене. Если график возрастает, то происходит процесс сгибания ноги, убывает – процесс разгибания. По значениям оси ординат можно определить, какая нога находится впереди другой. Например, если график левого бедра проходит через точки, имеющие положительное значение ординаты, то значит левая нога человека в данный момент является ведущей, то есть находится впереди.

На рисунке 17 предоставлен график изменения угла, характеризующего колено человека, в зависимости от периода походки.

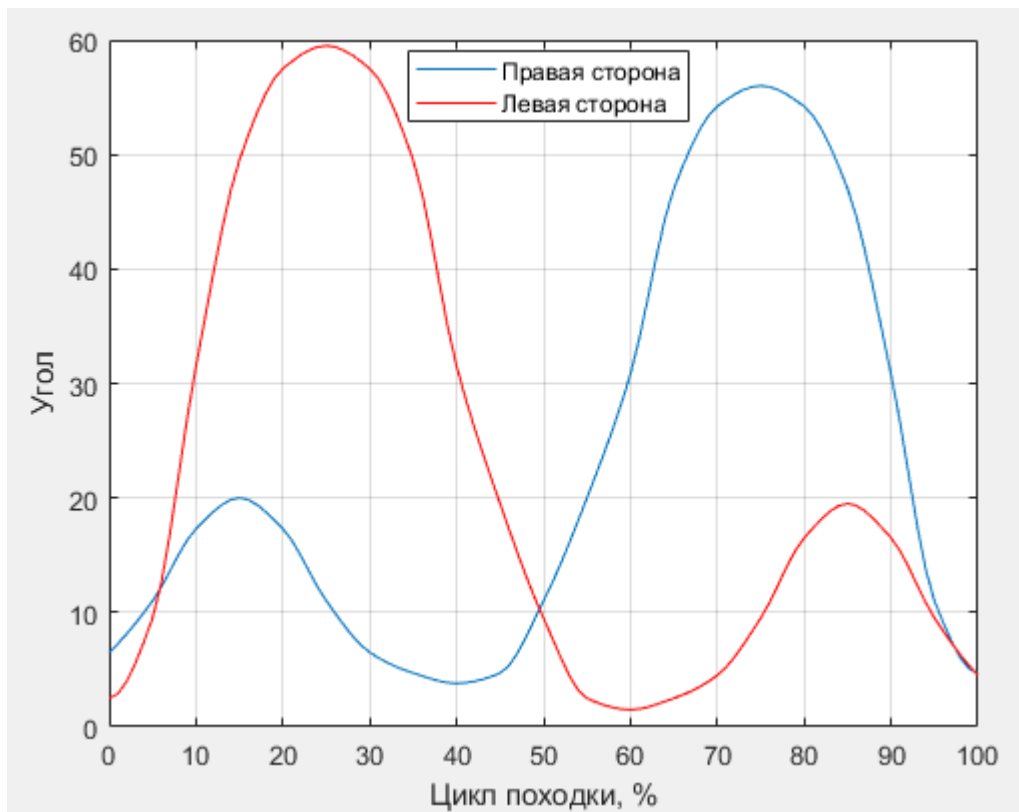


Рисунок 17 – График изменения угла коленного сустава

На рисунке 17 отображен процесс сгибания и разгибания коленей левой и правой ног во время одного цикла походки. Данный процесс характерен для обычной ходьбы, не содержащей элементов бега или прыжков.

На рисунке 18 представлен график зависимости угла в лодыжке, между голенью и осью абсцисс, от периода походки.

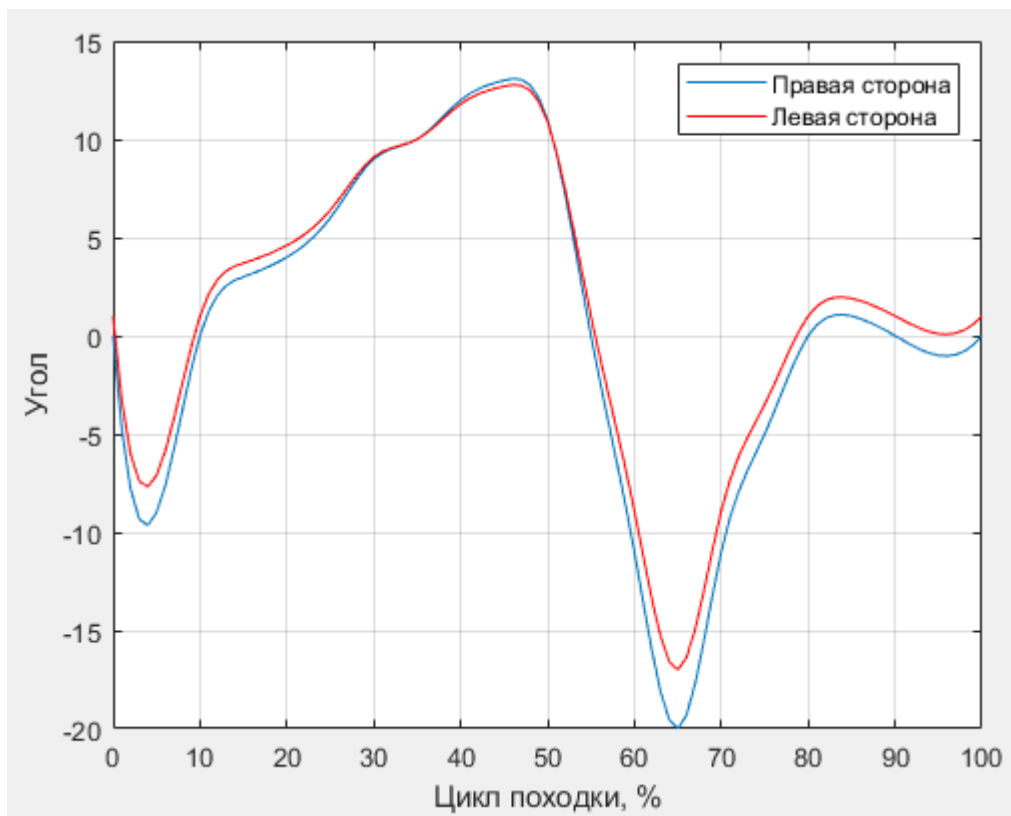


Рисунок 18 – График изменения угла голеностопного сустава

На рисунке 18 можно увидеть процесс сгибания и разгибания лодыжек левой и правой ног во время одного цикла походки, совершаемой человеком.

Стоит отметить, что в данном примере обработка одного кадра размером  $960 \times 540$  занимает 2,8 секунды, что на 1,5 секунды меньше чем в изначальном моделировании.

Таким образом, внесенные корректировки в модель позволили наиболее быстро производить необходимые вычисления с небольшой погрешностью примерно равную 0,0089. Следовательно, в дальнейших исследованиях предпочтительнее будет использовать уже скорректированный алгоритм.

## Заключение

Тема бакалаврской работы посвящена разработке алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока.

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены возможные способы решения поставленной задачи, связанной с извлечением признаков походки человека. А также был проведен анализ методов, найденных в научных публикациях различных авторов.

После проведения анализа существующих подходов выделения признаков походки человека был выбран метод, основанный на применении ключевых точек фигуры человека.

В качестве уменьшения трудоемкости выбранного метода, было решено воспользоваться возможностями библиотеки «OpenPose» для нахождения ключевых точек фигуры человека. Кроме этого были также рассмотрены наиболее часто применяемые для оценки позы наборы данных «COCO» и «MPII».

В ходе дальнейшего выполнения работы был разработан алгоритм выделения признаков походки человека из кадров видеопотока. В программной реализации которого применялись возможности библиотек «OpenCV» и «OpenPose».

Далее был проведен анализ первичной работы алгоритма выделения признаков походки человека. Кроме этого, были построены графики, характеризующие изменения углов между сегментами ног во время одного цикла походки человека. С их помощью можно охарактеризовать манеру движения человека. В результате этого анализа было принято решение использовать набор данных «MPII» в качестве входных данных для нахождения ключевых точек фигуры.

После проведения первичного анализа работы алгоритма выделения признаков походки было решено провести вычислительный эксперимент. Цель которого заключалась в нахождении возможности оптимизировать

работу алгоритма без больших потерь в точности вычислений. В результате был сделан вывод, что сжатие кадров входного видеопотока в два раза позволит уменьшить время работы алгоритма, в рассмотренном случае на 1,5 секунды.

Актуальность данной работы состоит в том, что её результаты могут быть применимы в разработке алгоритмов, применимых для решения задач обнаружения сегментов человеческого тела.

Кроме этого, разработанный алгоритм может применяться для извлечения признаков походки конкретного человека. Эти признаки можно в дальнейшем классифицировать для решения задач, связанных с идентификацией человека.

Таким образом, подводя итог по выполненным этапам в данной работе, можно сделать вывод о том, что была достигнута поставленная цель. А именно, с помощью разработанного алгоритма выделения признаков походки человека с использованием средств библиотеки «OpenPose» была уменьшена трудоемкость метода, предложенного Чен Хи Ю.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Арсеев С., Конушин А.С., Лютов В.С. Распознавание человека по походке и внешности, 2018.
2. Соколова А.И., Конушин А.С. Обзор методов распознавания человека по походке в видео, 2018.
3. Al Mansur, Yasushi Makihara, Daigo Muramatsu, Yasushi Yagi. Cross-View Gait Recognition Using View-Dependent Discriminative Analysis // IEEE/IAPR International Joint Conference on Biometrics, 2014.
4. Andrej Karpathy, George Toderici, Sanketh Shetty, Thomas Leung, Rahul Sukthankar, Li Fei-Fei. Large-Scale Video Classification with Convolutional Neural Networks // Proceedings of the 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
5. Chao Li, Shouqian Sun, Xiaoyu Chen, Xin Min. Cross-view gait recognition using joint Bayesian // Proc. SPIE 10420, Ninth International Conference on Digital Image Processing, 2017.
6. COCO Keypoints challenge [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://cocodataset.org/#keypoints-2018>.
7. Comba, J.; Stolfi, J. Affine Arithmetic and its Applications to Computer Graphics. (SIBGRAPI '93), p. 9-18, 1993.
8. Daksh Thapar, Aditya Nigam, Punjal Agarwal, Divyansh Aggarwal. VGR-Net: A View Invariant Gait Recognition Network // IEEE 4th International Conference on Identity, Security, and Behavior Analysis, 2018, 1-8.
9. Dan Liu, Mao Ye, Xudong Li, Feng Zhang, Lan Lin. Memory-based gait recognition // Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC), 2016.
10. Francisco M. Castro, Manuel J. Marin-Jimenez, Rafael Medina-Carnicer. Pyramidal Fisher Motion for Multiview Gait Recognition // Proceedings of 22nd International Conference on Pattern Recognition, 2014, pp. 692–1697.

11. Jang-Hee Yoo, Mark S. Nixon. Automated Markerless Analysis of Human Gait Motion for Recognition and Classification // ETRI Journal, 2011.
12. Karen Simonyan, Andrew Zisserman. Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos // Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2014, pp. 568–576.
13. Khalid Bashir, Tao Xiang, Shaogang Gong. Gait recognition using Gait Entropy Image // Proceedings of 3rd International Conference on crime detection and prevention, 2009.
14. Kohei Shiraga, Yasushi Makihara, Daigo Muramatsu, Tomio Echigo, Yasushi Yagi. GEINet: View-Invariant Gait Recognition Using a Convolutional Neural Network // International Conference on Biometrics (ICB), 2016.
15. Lu, H. Plataniotis, K. N. Venetsanopoulos, A. N. A FullBody Layered Deformable Model for Automatic ModelBased Gait Recognition // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2007, pp 261–317.
16. Martin Hofmann, J. Geiger, Sebastian Bachmann, B. Schuller, Gerhard Rigoll. The TUM Gait from Audio, Image and Depth (GAID) database: Multimodal Recognition of Subjects and Traits // J of Visual Com and Image Repres, 2014, pp.195 – 206.
17. MPII Human Pose Dataset [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://human-pose.mpi-inf.mpg.de>.
18. OpenCV documentation [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://docs.opencv.org>.
19. Thomas Wolf, Mohammadreza Babaei, Gerhard Rigoll. Multi-View Gait Recognition using 3D Convolutional Neural Networks // Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, 2016, pp. 4165-4169.
20. Tong, S., Fu, Y., Ling, H., Zhang, E. Gait identification by joint spatial-temporal feature // Biometric Recognition, 2017, pp. 457–465.



21. Xianfu Zhang, Shouqian Sun, Chao Li, Xiangyu Zhao, Yuping Hu. DeepGait: A Learning Deep Convolutional Representation for Gait Recognition // Biometric Recognition, 2017.

22. Zifeng Wu, Yongzhen Huang, Liang Wang, Xiaogang Wang, Tieniu Tan. A Comprehensive Study on Cross-View Gait Based Human Identification with Deep CNNs // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016.

## Приложение А

### Исходный программный код

Исходный код программной реализации алгоритма выделения признаков походки человека из кадров видеопотока находится на приложенном компакт-диске. Все файловые ресурсы находятся в папке под названием «Приложение А».

Описание файловых ресурсов представлено в таблице А.1.

Таблица А.1 – Описание приложенных файловых ресурсов на компакт-диске

Наименование файла	Описание файла
pose/coco/pose_deploy_linevec.prototxt	Файл определяет архитектуру нейронной сети для обученной модели «СОСО»
pose/coco/pose_iter_440000.caffemodel	Файл содержит веса обученной модели «СОСО»
pose/mpi/pose_deploy_linevec_faster_4_stages.prototxt	Файл определяет архитектуру нейронной сети для обученной модели «МРІ»
pose/mpi/pose_iter_160000.caffemodel	Файл содержит веса обученной модели «МРІ»
HumanGait.py	Программный код на языке Python, который описывает алгоритм выделения признаков походки человека из кадров видеопотока