

Сравнительный анализ методов расчета центра тяжести в задаче анализа движения человека

М. Ю. Катаев, А. Б. Кураков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются различные методы вычисления центра тяжести (ЦТ) человека, проходящего в сагиттальной проекции перед камерой, а также проводится их сравнение. Результаты исследования могут иметь важное практическое значение для различных областей применения анализа движения человека. Они могут быть использованы в спортивных тренировках для оптимизации техники движения, в медицинской реабилитации для оценки состояния пациента, а также в индустрии развлечений для создания реалистичной компьютерной анимации. Приведены основные методы локализации ЦТ тела человека, которые можно получить из анализа изображений. Также представлен сравнительный анализ методов в определении ЦТ человека.

Ключевые слова: изображение, методы обработки изображений, центр тяжести человека.

DOI 10.14357/20718632240108

EDN LCLYVJ

Введение

Анализ движения человека является важной и актуальной научной задачей, занимающей центральное место в различных областях, таких как спорт, биомеханика, реабилитация и компьютерная анимация. Одним из ключевых аспектов этого анализа является определение центра тяжести человека, который играет существенную роль в понимании его движения, стабильности и динамики [1].

Биомеханика представляет собой сложную сеть взаимозависимостей между различными биологическими и механическими параметрами, определяющих устойчивость перемещения человека в пространстве через положение центра тяжести тела (ЦТ). Определение изменчивости ЦТ имеет решающее значение при решении задач состояния человека (отличие от двигательной нормы) в медицине, в спорте и других направлениях жизни человека. Центр

тяжести представляет собой воображаемую точку, которая помогает анализировать различные конфигурации тела человека как в статике, так и в движении.

На протяжении последних лет исследователи посвятили много усилий разработке различных методов для расчета центра тяжести человека. Эти методы обычно основываются на анализе данных, полученных с помощью различных инструментов, таких как оптические системы отслеживания движения, инерциальные измерительные устройства и системы захвата движения. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, по-прежнему существует потребность в разработке более точных и надежных методов вычисления ЦТ человека.

Центр тяжести тела – это точка концентрации всей его массы, или взвешенная среднее положение всех составляющих его частей [2]. Иногда используют понятие центр масс, наравне с центром тяжести, так как это точка, относительно

которой не создается крутящийся момент. ЦТ также определяет максимальный угол, на который можно наклонить объект, прежде чем он упадет, что важно при исследовании моментов, когда человек может упасть.

В процессе анализа, при решении различных задач, для представления тела можно использовать определенную точку, локализованную на теле, и она может находиться в различных его частях. Принимая во внимание человеческое тело, эта конкретная точка может быть, например, в районе головы, тела, бедер или ног. Такая точка (или набор точек) необходима для упрощения понимания движения человека. На взгляд многих ученых, лучшим представлением тела является его центр тяжести. Это воображаемая точка и она не связана с материальным представлением тела, имеющим высоту, форму и вес. Существует несколько методов локализации центра тяжести, как прямых, так и косвенных.

В данной статье представлена методика выделения фигуры человека и рассматриваются различные методы расчета центра тяжести. Основной целью статьи является проведение эксперимента для сравнения различных методов и получения результатов, позволяющих оценить эффективность и точность каждого из предложенных подходов.

1. Выделение человека на изображении

Походка человека определяется как способ передвижения человека в пространстве. Она обладает многообразием, которое связано с отсутствием типичных форм и сценариев. Уникальные

характеристики походки имеют большой потенциал для применения в различных практических задачах, так как по походке можно оценить не только узнаваемость человека, но также можно оценить пол, возраст и состояние человека. Рассматривая походку как набор множества поз и движений, можно извлечь информацию из изображений или видео.

Цифровые камеры могут получать изображение человека с разной высоты, под разными углами, в разных атмосферных условиях, что отражается на качестве изображений и точности получаемой информации. Кроме того, в зависимости от условий съемки, фигура человека в кадре может быть большой или наоборот маленькой, а само изображение содержать шум, быть размытым, светлым или темным и т.д. Поэтому для изучения движения человека должны быть созданы такие положения, которые будут устойчивыми к этим условиям. В данной работе предлагается использовать отдельное помещение, не всегда специально оборудованное для съемок с помощью цифровой камеры, но имеющее размер 5 x 4 метра. С одной стороны помещения должна быть расположена сцена для передвижения человека и от нее, на расстоянии не менее 3 метра, посередине комнаты, располагается цифровая камера. Человек перемещается вдоль стены, выполняя несколько шагов (3-5), что фиксируется цифровой камерой. Затем выполняется обработка изображений с целью получения информации об изменении ЦТ во время движения (Рис. 1).

На Рис. 1 представлена последовательность этапов решения задачи оценки ЦТ фигуры человека, где на входе имеется полученное видео,

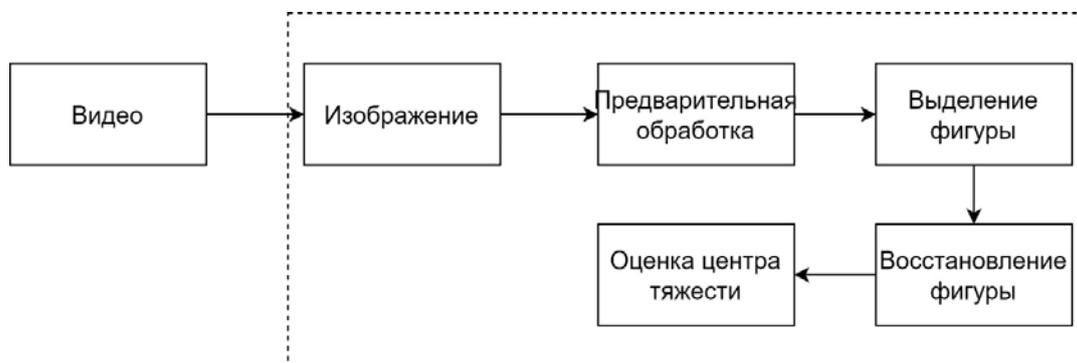


Рис. 1. Последовательность этапов решения задачи оценки ЦТ фигуры человека

а в штрихпунктирной области показаны этапы, выполняющиеся для каждого изображения (кадра) в видео.

Для получения хорошо выделенной фигуры человека, каждый кадр необходимо предварительно обработать. Основной смысл предварительной обработки - подготовка изображения к дальнейшей обработке с целью минимизации факторов, влияющих на качество изображения. Первым необходимым действием предварительной обработки является изменение размера изображения. Данная операция позволяет ускорить работу последующих алгоритмов, а также позволяет немного сократить шум на изображении, так как при сжатии изображения новый пиксель рассчитывается как среднее значения окружающих его пикселей исходного изображения.

Так как в процессе получения видео может меняться освещенность сцены, где перемещается человек, необходимо привести все кадры видео к одной яркости, для чего выполняется выравнивание яркости. Для этого существует множество алгоритмов, но один из самых лучших — это методика «Серый мир». Данная методика приводит каждый кадр из видеопотока к одинаковым условиям освещения основываясь на первых кадрах из видеопотока [3]. На первых кадрах вычисляется средний цвет для каждого канала по формулам:

$$\dot{R} = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()}\dot{R}_i}{I.size.area()} \quad (1)$$

$$\dot{G} = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()}\dot{G}_i}{I.size.area()} \quad (2)$$

$$\dot{B} = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()}\dot{B}_i}{I.size.area()} \quad (3)$$

На основе полученных средних цветов вычисляется среднее значение по всем каналам по формуле:

$$S = \frac{1}{3}(\dot{R} + \dot{G} + \dot{B}) \quad (4)$$

Далее значение каждого пикселя изменяется по формулам:

$$R_i = \frac{S}{\dot{R}} \quad (5)$$

$$G_i = \frac{S}{\dot{G}} \quad (6)$$

$$B_i = \frac{S}{\dot{B}} \quad (7)$$

Результат работы методики «Серый мир» приведен на Рис. 2.

Задача выделения фигуры человека сводится к задаче отделения статического фона от фигуры человека. Вычитание фона является распространенным и широко используемым методом для создания маски переднего плана (двоичного изображения, содержащего пиксели, принадлежащие движущимся объектам на сцене) с помощью статических камер. Для выделения фона в работе используются подходы, которые зафиксированы из последней версии продукта компьютерного зрения OpenCV. В этом продукте представлены следующие алгоритмы:

MOG (Mixture of Gaussian) – это алгоритм сегментации фона/переднего плана на основе гауссовой смеси. Он использует метод моделирования каждого пикселя фона смесью K гауссовых распределений ($K = 3-5$).

MOG2 – это также алгоритм сегментации фона/переднего плана на основе Гауссовой смеси. Одной из важных особенностей этого



а



б

Рис. 2. Исходный кадр (а) и обработанный кадр с помощью методики «серый мир» (б)

алгоритма является то, что он выбирает соответствующее число гауссовых распределений для каждого пикселя.

GMG (Gaussian Mixture Model) – это алгоритм, сочетающий в себе статистическую оценку фонового изображения и байесовскую сегментацию по пикселям.

KNN (k Nearest Neighbor) – это алгоритм фоновой сегментации на основе ближайших соседей.

CNT (Counting Background Subtractor) – это метод, который не требует выполнения гауссовского моделирования на точках фона. Он использует только информацию о значениях пикселей в последних последовательных N кадрах и немного дополнительной информации, поэтому быстр и имеет хорошие результаты [4].

Для реализации вычитания фона, из сравнительного анализа был выбран по критерию скорости работы и точности выделения фигуры человека алгоритм MOG2 [5]. Работа данного алгоритма связана с поиском участков на каждом кадре, которые можно отнести к фону по статистическим закономерностям изменения яркости. Результат вычитания фона показан на Рис. 3.

После получения результата вычитания фона, необходимо провести бинаризацию для устранения теней и шума. Бинаризации проходит по формуле 8. Результат бинаризации и выделение области, где расположена фигура человека, приведен на Рис. 4.

$$I_{i,j} = \begin{cases} I_{i,j} > 128, 1 \\ 0 \end{cases} \quad (8)$$

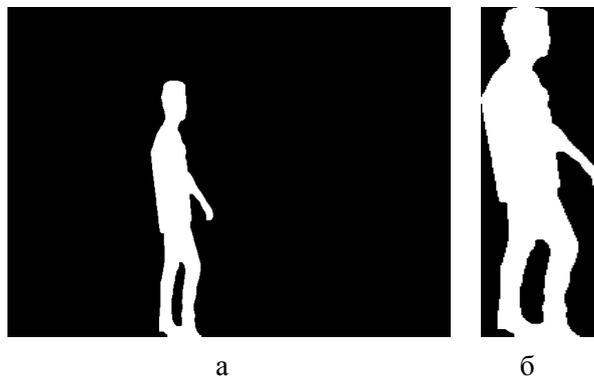


Рис. 4. Изображение после проведенной бинаризации (а) и выделенная фигура человека (б)



Рис. 3. Полученное изображение

В основе выделения фигуры лежит сегментация. На основе полученного бинарного изображения ищутся все возможные контуры, среди которых и будет выбираться блок, в котором находится фигура человека. Однако на изображении иногда остаются различные артефакты, именно поэтому необходимо подобрать правильный контур для определения фигуры человека. Необходимый контур находится исходя из того, что человек занимает на изображении разрешением 640x480 пикселей 60-80% высоты. Таким образом, площадь внутри контура должна быть больше 6000, но меньше 30000. Результат выделения фигуры человека приведен на Рис. 4, б.

Не всегда фигура человека выделяется хорошо, иногда в ней могут образовываться «дырки», что влечет за собой неточность получаемых данных, поэтому необходимо проводить улучшение (восстановление фрагментов) фигуры человека [6].

Для решения задачи восстановления фигуры человека удобно использовать морфологические преобразования. Продукт компьютерного зрения OpenCV предоставляет достаточно возможностей для применения морфологических преобразований. При использовании преобразования «Размыкание» ("открытие" или "дилатация эрозии изображения"). Сначала к изображению применяется "эрозия" (сужение), а потом "дилатация" (расширение). Фильтр удаляет небольшие светлые детали на изображении, сохраняя общую яркость крупных деталей, т.е. сглаживает и удаляет шумы, а также помогает избавиться от мелких фрагментов, выступающих наружу области вблизи ее границы [7]. Формула расчета «Размыкания»:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \quad (9)$$

где A – структурный элемент; B – бинарное изображение.

• При использовании преобразования «Замыкание» ("закрытие" или "эрозия дилатации изображения") сначала к изображению применяется "дилатация" (расширение), а потом "эрозия" (сужение). Оно помогает замкнуть внутренние отверстия области и устранить заливы вдоль границы области [8]. Формула расчета «Замыкания»:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B, \quad (10)$$

где A – структурный элемент; B – бинарное изображение.

Для лучшего выделения фигуры человека сначала используется морфологическое преоб-

разование «Размыкание», затем морфологическое преобразование «Замыкание». Результат такой последовательности действий представлен на Рис. 5.

2. Описание методов определения центра тяжести человека

В задаче определения параметров походки удобно рассматривать массу тела так, как будто она сконцентрирована в одной точке – ЦТ. Поскольку для анализа параметров походки необходимо анализировать силы, действующие на тело человека, необходимо знать, где находится ЦТ у человека в норме или при патологии (такие как ДЦП, инсульт, сколиоз и др.). В процессе ходьбы человек изменяет площадь опоры, взаимное положение звеньев тела, то есть позу, тем самым меняя местоположение ЦТ тела по отношению к опорному контуру. Все это приводит к изменению механических показателей устойчивости равновесия. Из вышесказанного следует, что знание положения ЦТ тела человека важно для биомеханического анализа и для определения параметров походки человека [9].

Каждый человек имеет свой рост, вес, темперамент и это все влияет на особенности характера перемещения (ходьбы). Эти особенности можно извлекать из анализа колебаний центра тяжести в процессе движения человека.

В ходе работы были рассмотрены пять методов нахождения центра тяжести человека:

- 1) метод диагоналей;
- 2) метод треугольника;
- 3) бинарная матрица;

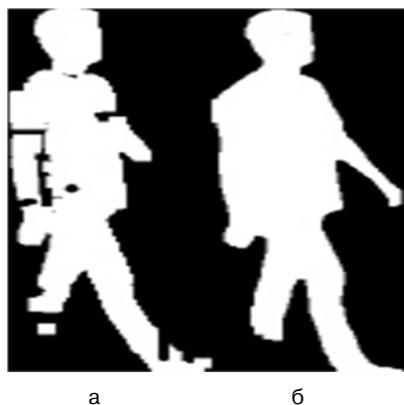


Рис. 5. Восстановление фигуры человека
(а – исходное изображение, б – после преобразований)

- 4) смешанный метод;
- 5) нейросетевой метод.

Рассмотрим эти методы подробнее.

Суть метода диагоналей состоит в том, чтобы выделить фигуру человека в кадре по крайним точкам тела. Таким образом образуется прямоугольник, в котором будет находиться фигура человека [10]. Далее проводятся две диагонали и их пересечение является центром тяжести человека, как показано на Рис. 6. Центр тяжести рассчитывается по формулам 11 и 12.

$$x_c = \frac{w}{2}, \quad (11)$$

где w – ширина выделенной области с человеком;

$$y_c = \frac{h}{2}, \quad (12)$$

где h – высота выделенной области с человеком.

Несмотря на вычислительную привлекательность подхода, у него есть существенные недостатки, которые были выявлены из практического применения. При наклоне тела человека или сутулости, центр тяжести определялся неверно, к тому же пересечение диагоналей есть центр прямоугольника, то есть центр тяжести всегда будет в центре выделенного изображения, как показано на Рис. 6.

Суть метода треугольника сводится к нахождению центра головы и линий голенистопа. На основе полученных трех точек (центра головы и двух концов линии голенистопа) строится треугольник. Затем в полученном треугольнике проводится перпендикуляр от центра головы

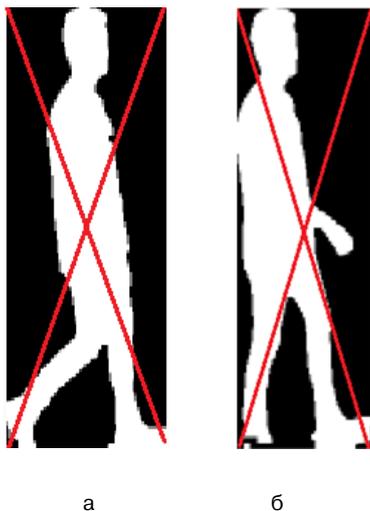


Рис. 6. Нахождение ЦТ методом диагоналей (а - правильное и б – неправильное)

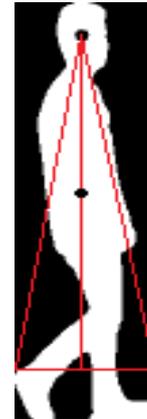


Рис. 7. Нахождение ЦТ методом треугольника

к линии голенистопа и находится середина полученного перпендикуляра. Таким образом, середина будет являться центром тяжести фигуры человека [11]. Результат показан на Рис. 7. Стоит отметить, что по сравнению с предыдущим методом, данный метод позволяет получать ЦТ точнее, однако аналогично методу диагоналей при отклонении фигуры в разные стороны полученный ЦТ не соответствует действительности.

Суть метода бинарной матрицы состоит в создании матрицы на основе бинарного изображения, состояще из 0 и 1, где 0 – черные пиксели, а 1 – белые пиксели. На основе данной матрицы вычисляется точка внутри белой фигуры таким образом, что любая прямая, проведенная через эту точку, делит единицы матрицы на ее левой стороне так, чтобы они были «уравновешены» единицам, расположенным справа от этой линии [12]. Результат работы данного метода приведен на Рис. 8. Расчет координат происходит по формулам:



Рис. 8. Нахождение ЦТ методом бинарной матрицы

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (i * M_{i,j})}{Area}, \quad (13)$$

где M – матрица на основе бинарного изображения, а $Area$ – площадь изображения.

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (j * M_{i,j})}{Area}, \quad (14)$$

где M – матрица на основе бинарного изображения, а $Area$ – площадь изображения.

Недостатком данного метода является то, что для точного получения данных фигура человека должна быть максимально цельной и без потерь. Иначе центр тяжести будет смещен и данные окажутся неверными.

Данный метод удобно применять, когда погрешность в выделенной фигуре минимальна.

Смешанный метод использует синтез метода нахождения середины треугольника и метода деления фигуры на блоки.

При построении фигуры человека, его пропорции высчитывают по высоте его головы. Таким образом, высота тела в среднем состоит из 7 «голов», то есть 7 блоков. Поэтому при расчете голова будет занимать область высотой равной 15-18% от всей высоты тела, а голеностоп будет лежать в последнем блоке и занимать 10-12%. Данные значения были получены в ходе экспериментов.

Расчет идет с поиска центра головы. Далее ищется горизонтальная прямая, отделяющая голеностоп аналогично методу треугольника. Чтобы устранить недочет метода треугольника, блок, отделенный линией голеностопа, делится на два равных блока. Затем в полученных блоках ищем центры белых фигур, входящих в эти блоки. На основе полученных трех точек строим треугольник. В полученном треугольнике проводим медиану к линии, соединяющей центры стоп. Середина данной медианы будет являться центром тяжести человека. Результат работы данного метода приведен на Рис. 9.

Главным недочетом этого и всех описанных выше методов является то, что они требуют очень четкого определения фигуры человека, что не всегда возможно из-за технических погрешностей, поэтому здесь в определении центра тяжести появляются значительные погрешности, если стопы выделены не идеально (неполны или слишком увеличены).



Рис. 9. Нахождение ЦТ смешанным методом

Нейросетевой метод основан на использовании предобученной модели Movenet, в основе которой лежат методы машинного обучения, разработанные компанией Google. Эта модель предназначена для обнаружения и отслеживания движений человеческого тела на основе входных видеоданных [13]. Она может использоваться для ряда приложений, включая анализ движений в фитнес-трекерах, виртуальной реальности, робототехнике, а также в приложениях для управления жестами и интерактивной медиа.

Модель Movenet в основном использует архитектуру сверточной нейронной сети для обработки видеоданных. Она состоит из нескольких слоев свертки, пулинга и сглаживания, которые позволяют модели извлекать иерархические признаки из входных кадров видео. Процесс работы Movenet можно разделить на две основные части: обнаружение человеческого тела и отслеживание ключевых точек. Movenet сначала выполняет задачу обнаружения человеческого тела на входном видео. Модель создает ограничивающие прямоугольники вокруг людей на кадрах видео, чтобы выделить области, содержащие человеческие движения. Для этой цели модель использует сверточные слои, активации и пороговые значения [14].

Затем Movenet выполняет отслеживание ключевых точек на человеческом теле и определяет основные анатомические точки, такие как плечи, локти, запястья, бедра, колени и голени. Для этого используется сверточная нейронная сеть, которая прогнозирует координаты этих ключевых точек на каждом кадре видео.

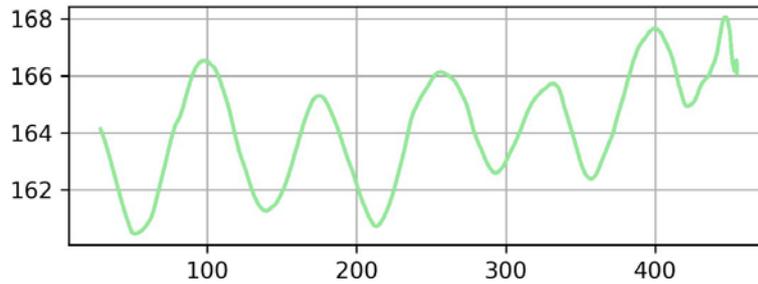


Рис. 10. Изменение центра тяжести человека в пространстве

Movenet позволяет отслеживать и предсказывать координаты следующих ключевых точек человеческого тела:

- голова: координаты верхней точки головы;
- плечи: координаты правого и левого плеч;
- локти: координаты правого и левого локтей;
- запястья: координаты правого и левого запястья;
- бедра: координаты правого и левого бедра;
- колени: координаты правого и левого коленей;
- голени: координаты правой и левой голени;
- стопы: координаты правой и левой стоп.

Таким образом, Movenet предоставляет информацию о положении и движении этих ключевых точек, позволяя отслеживать движения человеческого тела в видео или в реальном времени.

Для расчета центра тяжести человека на основе ключевых точек путем получения средних координат можно использовать следующий алгоритм:

1. Собрать координаты ключевых точек, полученных от Movenet.

2. Создать список ключевых точек с доступными координатами.

3. Вычислить среднее значение координат по оси X путем суммирования всех координат по этой оси и деления на общее количество точек:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (15)$$

4. Вычислить среднее значение координат по оси Y путем суммирования всех координат по этой оси и деления на общее количество точек:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (16)$$

Таким образом, центром тяжести будет являться точка (\bar{x}, \bar{y}) . График с изменением центра тяжести человека приведен на Рис. 10.

3. Проведение эксперимента

Для выбора метода расчета центра тяжести человека было необходимо провести несколько экспериментов. Для этого в нескольких видеозаписях фигура человека была выделена вручную, что позволило вручную рассчитать точное значение центра тяжести человека, после чего полученные значения были усреднены. Для оценки точности описанных методов видеозаписи прогонялись через все описанные методы. Необходимо отметить, что первые 4 метода (представлены ранее) оказались сильно зависимы от качества выделенной фигуры, поэтому эти методы проверялись как на идеально выделенной фигуре, так и на фигуре, которая была выделена с помощью программного обеспечения. В случае же с применением нейросетевого метода двойного прогона не требовалось, так как данный метод никак не зависит от качества полученного бинарного изображения фигуры человека.

Исследование проводилось следующим образом. Для каждого кадра была определена эталонная фигура и эталонный центр тяжести. После этого этот же кадр проходил через все остальные методы и высчитывалось отклонение от эталона в процентах по формулам:

$$frame_x_devition_i = \frac{|x_ref_i - x_calc_i|}{x_ref_i}, \quad (17)$$

где i – номер кадра; $frame_x_devition_i$ – отклонение вычисленного значения по отношению к эталонному в процентах; x_ref_i – эталонное значение по координате x для i кадра; x_calc_i –

вычисленное значение по координате x для i кадра выбранным методом.

$$\text{frame_y_devition}_i = \frac{|y_{ref_i} - y_{calc_i}|}{y_{ref_i}}, \quad (18)$$

где i – номер кадра; $\text{frame_y_devition}_i$ – отклонение вычисленного значения по отношению к эталонному в процентах; y_{ref_i} – эталонное значение по координате y для i кадра; y_{calc_i} – вычисленное значение по координате y для i кадра выбранным методом.

Далее рассчитывалось среднее отклонение по формулам:

$$\text{varage_x_devition} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{frame_x_devition}_i}{n}, \quad (19)$$

где i – номер кадра; $\text{avarage_x_devition}$ – среднее отклонение вычисленного значения по отношению к эталонному в процентах; n – общее количество кадров.

$$\text{avarage_y_devition} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{frame_y_devition}_i}{n}, \quad (20)$$

где i – номер кадра; $\text{avarage_y_devition}$ – среднее отклонение вычисленного значения по отношению к эталонному в процентах; n – общее количество кадров.

Тогда общая погрешность рассчитывается по формуле:

$$p = \frac{\text{avarage_x_devition} + \text{avarage_y_devition}}{2}. \quad (21)$$

Рассмотрим полученные результаты на идеально выделенной фигуре человека на Табл. 1.

Как видно из результатов, методы бинарной матрицы и нейросетевой являются самыми точными из рассмотренных.

Теперь рассмотрим результаты исследования на реальных изображениях, выделенных программным обеспечением как до, так и после использования морфологическим преобразований (Табл. 2, 3).

Из приведенных выше таблиц можно заметить важность применения морфологических преобразований для восстановления фигуры человека на бинарных изображениях, т.к. оно качественно влияет на полученные результаты. Морфологические преобразования хоть и помогают снизить погрешность получаемых результатов в среднем на 2,5%, но все равно полученные результаты отличаются на 1-2% от тех, что

Табл. 1. Отклонения рассчитанных центров тяжести от эталонного значения на идеально выделенной фигуре

Метод	average x devition	average y devition	p
Диагоналей	0,148842	0,065373	0,107107
Треугольника	0,042752	0,061467	0,052109
Бинарная матрица	0	0,002005	0,001003
Смешанный	0,036838	0,053226	0,045032
Нейросетевой	0,014735	0,013858	0,013858

Табл. 2. Отклонения рассчитанных центров тяжести от эталонного значения на фигуре человека, выделенной программой без морфологических преобразований

Метод	average x devition	average y devition	p
Диагоналей	0,148842	0,065373	0,107107
Треугольника	0,104919	0,041504	0,073211
Бинарная матрица	0,05	0,032936	0,041469
Смешанный	0,07099	0,067876	0,069437
Нейросетевой	0,014735	0,013858	0,013858

Табл. 3. Отклонения рассчитанных центров тяжести от эталонного значения на фигуре человека, выделенной программой с применением морфологических преобразований

Метод	average x devition	average y devition	p
Диагоналей	0,148842	0,065373	0,107107
Треугольника	0,08789809	0,036268	0,06208305
Бинарная матрица	0,02564973	0,01618161	0,02091567
Смешанный	0,05823277	0,0532162	0,05572448

были получены при расчетах на идеально выделенной фигуре человека.

Заключение

В ходе исследования были проанализированы различные методы расчета центра тяжести человека в задаче анализа движения. Результаты эксперимента позволили сделать вывод о превосходстве нейросетевого подхода, а также отметили важность использования морфологических преобразований. Этот результат подтверждает значимость и эффективность применения искусственных нейронных сетей в анализе движения человека.

Важно отметить, что выбранный подход, основанный на нейросетевых методах, использовался в разработке информационной системы, предназначенной для реабилитации пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Кроме того, результаты исследования могут найти применение в различных других сферах. Предложенный метод может быть использован в спортивной индустрии для оптимизации тренировочных программ и повышения спортивных достижений. Также, предложенные методы могут быть применены в области компьютерной анимации для создания реалистичных персонажей с натуральными движениями.

Будущие исследования могут сфокусироваться на улучшении и дальнейшей оптимизации этого подхода с целью расширения области его применения и повышения эффективности.

Литература

1. Нопин С.В., Копанев А.Н., Абуталимова С.М. Современные системы тестирования и анализа движений человека // Современные вопросы биомедицины. 2020. №4. С.61-71.
2. Биомеханические характеристика при изучении движений человека. [Электронный ресурс]. URL: <https://fkis.ru/page/1/113.html> (дата обращения: 10.05.2023).
3. Захаров Р.К. Методы повышения качества изображений в задачах распознавания // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 8 [Электронный ресурс]: электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16488> (дата обращения 5.05.2023).
4. Ледеяев В. П. Обнаружение движущихся объектов с помощью компьютерного зрения и библиотеки OpenCV. // Экономика и социум. 2017. №12. С. 1943-1947.
5. How to Use Background Subtraction Methods [Электронный ресурс]. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html (дата обращения 06.05.2023).
6. Кураков А.Б., Хаюмов Б.Р., Волокитин Г.А., Катаев М.Ю. Исследование влияния морфологических преобразований бинарного изображения фигуры человека в задаче контроля параметров походки человека // Материалы докладов международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». 2020. Ч.2. С. 31.
7. Размыкание. [Электронный ресурс]. URL: http://altamisoft.ru/products/altami_studio/user_manual_AS_3_1_0/filters/morphological_operations/opening/ (дата обращения 10.05.2023).
8. Замыкание. [Электронный ресурс]. URL: http://altamisoft.ru/products/altami_studio/user_manual_AS_3_1_0/filters/morphological_operations/closing/ (дата обращения 10.05.2023).
9. Кураков А.Б., Соловьева И.В., Волокитин Г.А. Программа обработки изображений для целей определения параметров походки человека // Материалы докладов всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2020». 2020. Ч.2. С. 38-40.
10. Определение координат центра тяжести плоских фигур. Положения центра тяжести некоторых фигур. Как найти центр тяжести неправильной формы. [Электронный ресурс]. URL: <https://gm2irk.ru/media/opredelenie-koordinat-centra-tyazhesti-ploskih-figur/> (дата обращения 10.05.2023).
11. Определение положения центров тяжести звеньев тела человека. [Электронный ресурс]. URL: <https://allasamsonova.ru/kolledzh-bodibildinga/opredelenie-polozenija-centrov-tjazhesti-zvenev-tela-cheloveka/> (дата обращения 10.05.2023).
12. Очков В.Ф., Кольхепп Ф. Физика и информатика: центр тяжести черного ящика. // Информатика в школе. 2017. №7. С.65-70.
13. Next-Generation Pose Detection with MoveNet and TensorFlow.js. [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.tensorflow.org/2021/05/next-generation-pose-detection-with-movenet-and-tensorflowjs.html> (дата обращения 10.05.2023).
14. Human pose estimation with MoveNet. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/code/ibrahimserouis99/human-pose-estimation-with-movenet> (дата обращения 10.05.2023).

Катаев Михаил Юрьевич. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Томск, Россия. Профессор, доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: обработка изображений, информационные технологии, БПЛА. E-mail: kmy@asu.tusur.ru

Кураков Андрей Борисович. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Томск, Россия. Ассистент каф. АСУ. Область научных интересов: обработка изображений, информационные технологии. E-mail: sniperaft@gmail.com

Comparative Analysis of Methods for Calculating the Center of Gravity in the Task of Analyzing Human Movement

M. Y. Kataev, A. B. Kurakov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

Abstract. Biomechanics is a complex network of interdependencies between various biological and mechanical parameters that determine the stability of human movement in space through the position of the center of gravity of the body (CT). Determining the variability of CT is crucial in solving the problems of the human condition (as opposed to the motor norm) in medicine, in sports and other areas of human life. The center of gravity is an imaginary point that helps to analyze various configurations of the human body both in static and in motion. This article discusses various methods for calculating the center of gravity of a person passing in a sagittal projection in front of the camera, and also compares them. The results of the study may have important practical significance for various applications of human movement analysis. They can be used in sports training to optimize movement techniques, in medical rehabilitation to assess the patient's condition, as well as in the entertainment industry to create realistic computer animations. The main methods of localization of CT of the human body, which can be obtained from image analysis, are given. A comparative analysis of methods in determining human CT was also presented.

Keywords: image, image processing methods, human center of gravity.

DOI 10.14357/20718632240108

EDN LCLYVJ

References

1. Nopin S.V., Kopanev A.N., Abutalimova S.M. Modern Systems of Testing and Analysis of Human Movements // Modern Issues in Biomedicine. 2020. Vol.4. P.61-71.
2. Biomechanical characteristics in the study of human movements. Available from: <https://fkis.ru/page/1/113.html> [Accessed: 10 May 2023].
3. Zakharov R.K. Methods of Improving Image Quality in Recognition Tasks // Modern Scientific Research and Innovations. 2012. No. 8. Available from: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16488> [Accessed May 5, 2023].
4. Ледаев В. П. Обнаружение движущихся объектов с помощью компьютерного зрения и библиотеки OpenCV. // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2015. №6. С. 85-91.
5. How to Use Background Subtraction Methods. Available from: https://docs.opencv.org/3.4/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html [Accessed: 06 May 2023].
6. Kurakov A.B., Khayumov B.R., Volokitin G.A., Kataev M.Yu. Study of the Influence of Morphological Transformations of Binary Human Figure Images in the Human Gait Parameters Control Task // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Electronic Means and Control Systems". 2020. Vol 2. P. 31.
7. Opening. Available from: http://altamisoft.ru/products/altami_studio/user_manual_AS_3_1_0/filters/morphological_operations/opening/ [Accessed: 10 May 2023].
8. Closing. Available from: http://altamisoft.ru/products/altami_studio/user_manual_AS_3_1_0/filters/morphological_operations/closing/ [Accessed 10 May 2023].
9. Kurakov A.B., Solovyeva I.V., Volokitin G.A. Image Processing Program for Determining Human Gait Parameters // Proceedings of the All-Russian Scientific-Technical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists "Scientific Session TUSUR-2020". 2020. Vol 2. P. 38-40.
10. Determining the coordinates of the center of gravity of flat figures. Positions of the center of gravity of certain figures. How to find the center of gravity of an irregular shape. Available from: <https://gm2irk.ru/media/opredelenie-koordinat-centra-tyazhesti-ploskih-figur/> [Accessed 10 May 2023].
11. Determining the position of the centers of gravity of the body's links of a human. Available from: <https://allasamsonova.ru/kolledzh-bodibildinga/opredelenie-polozhenija-centrov-tjazhesti-zvenev-tela-cheloveka/> [Accessed 10 May 2023].

12. Ochkov V.F., Kolkhopp F. Physics and Informatics: Center of Gravity of the Black Box. // Informatics in School. 2017. Vol.7. P.65-70.
13. Next-Generation Pose Detection with MoveNet and TensorFlow.js. Available from: <https://blog.tensorflow.org/2021/05/next-generation-pose-detection-with-movenet-and-tensorflowjs.html> [Accessed: 10 May 2023].
14. Human pose estimation with MoveNet. Available from: <https://www.kaggle.com/code/ibrahimserouis99/human-pose-estimation-with-movenet> [Accessed 10 May 2023].

Kataev Mikhail Yu. Professor, Doctor of Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics", 40 Lenina avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kmy@asu.tusur.ru

Kurakov Andrew B. Assistant, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics", 40 Lenina avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: sniperft@gmail.com