Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования   
«Национальный исследовательский университет   
«Московский институт электронной техники»

Институт cистемной и программной инженерии и информационных технологий

(СПИНТех)

Артамонова Анастасия Юрьевна

Магистерская диссертация   
по направлению 09.04.04 «Программная инженерия»

Исследование и разработка методики и алгоритма составления тренировок для реабилитации после травм на основе математической модели движения человека

Студент Артамонова А.Ю.

Руководитель,   
Доцент, к.т.н. Федоров А.Р.

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc177215977)

[ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ 5](#_Toc177215978)

[1.1. Анализ методов моделирования движений человека 5](#_Toc177215979)

[1.2. Анализ средств моделирования движений человека 23](#_Toc177215980)

[1.3. Обоснование метода решения 28](#_Toc177215981)

[Выводы по главе 1 28](#_Toc177215982)

[ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА 30](#_Toc177215983)

[2.1. Формализованное представление задачи математического моделирования движений 30](#_Toc177215984)

[2.2. Разработка методики моделирования движений человека 39](#_Toc177215985)

[2.3. Разработка алгоритма моделирования движений человека 43](#_Toc177215986)

[Выводы по главе 2 43](#_Toc177215987)

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе вопросы реабилитации после травм и восстановления двигательной активности становятся все более актуальными и значимыми. Увеличение числа случаев травм, особенно в области спорта и повседневной жизни, подчеркивает неотложность не только качественного и эффективного лечения, но и индивидуализированных программ реабилитации.

**Актуальность исследования.** Одним из ключевых моментов в данном контексте является создание методики и алгоритма, основанных на математической модели движения человека, для составления персонализированных тренировочных программ. В настоящее время существует явная потребность в разработке систем, способных учесть индивидуальные особенности пациентов и обеспечить оптимальный путь восстановления после полученных травм.

Научное исследование, направленное на создание математической модели движения человека и разработку алгоритма для составления тренировок, обосновывается стремлением к повышению эффективности реабилитации и улучшению результатов лечения. Предполагаемый результат – инновационный подход к реабилитации, учитывающий не только физиологические аспекты, но и индивидуальные особенности пациента.

Новизна данного исследования заключается в том, что оно стремится заполнить существующий пробел в знаниях, предлагая интегрированный и математически обоснованный метод составления тренировок для реабилитации. Проработанность направления подтверждается предшествующими исследованиями, которые рассматривают биомеханику, кинематику и динамику движений человека, но до сих пор остаются недостаточно ориентированными на создание персонализированных тренировок.

Результаты данного исследования обладают высокой значимостью для области медицины и спорта. Разработка инновационного подхода к реабилитации после травм не только улучшит качество жизни пациентов, но также окажет влияние на развитие методологии тренировок в области физической подготовки и спортивной медицины.

**Проблемная ситуация.** Существующие методики реабилитации часто не учитывают индивидуальные физиологические особенности пациентов, оставляя важные нюансы восстановления без должного внимания. Математически обоснованные методики могут предоставить инструменты для создания персонализированных программ, адаптированных к конкретным потребностям пациентов.

**Объектом исследования** является процесс реабилитации после травм с использованием математических уравнений для моделирования движений человека и разработке алгоритма для составления индивидуализированных тренировок.

**Предмет исследования** является математическое моделирование движений человека в контексте реабилитации после травм, с особым вниманием к разработке алгоритма для индивидуализированных тренировок. В рамках этого исследования рассматриваются методы оптимизации процесса восстановления, учет индивидуальных особенностей пациентов, а также разработка критериев эффективности программ реабилитации.

**Цель и задачи исследования.** Разработка и реализация математической модели движений человека в контексте реабилитации после травм для создания эффективного алгоритма индивидуализированных тренировок.В соответствии с целью и предметом исследования в диссертации необходиморешить следующие задачи:

* аналитический обзор существующих средств и методов моделирования движений человека;
* формализация задачи моделирования движений человека;
* разработка методики моделирования движений человека;
* программная реализация разработанной методики;
* оценка достоверности полученных результатов.

**Научная новизна исследования.** Успешно решена новая задача разработки математической модели движений человека с учетом специфики реабилитации, представляя важный вклад в область медицинского моделирования.

**Обоснованность и достоверность результатов.** Реальность использованных исходных данных при расчетах подтверждает их соответствие физиологическим и биомеханическим характеристикам пациентов, обеспечивая тем самым доверенность результатов.

**Практическая значимость результатов,** полученных в диссертационной работе, заключается в их применимости в медицинской сфере деятельности для оптимизации программ восстановления после травм.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ

* 1. Анализ методов моделирования движений человека

Существуют несколько численных методов, которые можно использовать для решения задачи инверсной кинематики.

Метод Ньютона-Рафсона – это итерационный численный метод для приближенного нахождения корней уравнения f(x) = 0. Он основан на последовательных линейных приближениях функции и использовании касательных для нахождения лучшего приближения к корню.

Алгоритм метода Ньютона-Рафсона:

1. Начальная аппроксимация x0 выбирается достаточно близко к истинному корню.
2. Следующее приближение xn+1 вычисляется по формуле:

где – значение функции в точке ,– значение производной в точке .

1. Процесс повторяется, пока не достигнется заданная точность или пока изменения между последовательными приближениями не станут достаточно малы.

Основное преимущество метода Ньютона-Рафсона — это квадратичная сходимость при достаточно хорошем начальном приближении. Это означает, что при каждом шаге ошибка уменьшается пропорционально квадрату предыдущей ошибки, что делает метод очень быстрым по сравнению с другими численными методами, такими как метод бисекции или секущих.

Метод легко применим к уравнениям, где производную функции можно вычислить аналитически или численно, что позволяет быстро приближаться к решению.

Метод Ньютона-Рафсона используется не только для нахождения корней уравнений, но и для задач оптимизации, где необходимо находить экстремумы функций, решать системы нелинейных уравнений и выполнять другие сложные вычислительные задачи.

Метод можно расширить для решения систем нелинейных уравнений с помощью матрицы Якоби, что делает его мощным инструментом для многомерных задач.

К недостаткам метода Ньютона-Рафсона относится качество и скорость сходимости сильно зависят от выбора начальной точки 𝑥0. Если начальное приближение выбрано неудачно, метод может сходиться медленно, застрять в локальном минимуме или не сойтись вовсе.

Метод не гарантирует сходимость для всех функций. Вблизи точек перегиба, разрывов производной или для функций с несколькими корнями метод может давать ошибочные или расходящиеся решения. Например, если производная 𝑓′(𝑥) = 0, то следующая итерация метода не определена.

Метод требует, чтобы функция была дифференцируемой и её производная была вычислима во всех точках. Если производная не существует или трудно вычисляется, метод может оказаться неприменимым.

Для каждой итерации необходимо вычислять производную функции, что может быть вычислительно дорого или затруднительно, особенно для сложных функций или систем уравнений.

Метод может сходиться к разным корням в зависимости от начального приближения. Это создает трудности при решении уравнений с несколькими корнями, так как нельзя точно знать, к какому корню метод будет стремиться.

Если производная функции в точке приближения очень мала, это может привести к большим шагам в направлении поиска, что может нарушить сходимость или сделать метод нестабильным.

Метод градиентного спуска – это один из основных численных методов оптимизации, используемый для минимизации (или максимизации) функции, обычно называемой функцией потерь. Он основывается на идее, что значение функции уменьшается быстрее всего, если двигаться в направлении, противоположном градиенту функции в данной точке.

Алгоритм метода градиентного спуска:

1. Выбирается начальная точка x0 (начальная аппроксимация).
2. На каждом шаге вычисляется градиент функции ∇f(xn) в текущей точке xn, который указывает направление наибольшего роста функции. Градиент – это вектор, который указывает направление наибольшего увеличения функции. Для многомерной функции f(x1, x2, …, xn) градиентом будет вектор частных производных:
3. Следующее приближение вычисляется по формуле:

где α – шаг обучения, который определяет, насколько сильно изменится точка на каждом шаге, – градиент функции в точке xn, который показывает направление наибольшего роста функции.

1. Процесс повторяется, пока не достигнется минимальное значение функции или изменение функции станет достаточно малым.

К преимуществам метода градиентного спуска относится то, что он применим к широкому классу задач оптимизации, включая задачи с нелинейными функциями и многомерные пространства.

Существуют варианты (например, стохастический градиентный спуск), которые могут быть более эффективными при работе с большими наборами данных.

При правильной настройке алгоритм может находить хорошие приближения к глобальным минимумам.

Недостаток заключается в том, что метод может застрять в локальных минимумах, особенно для сложных нелинейных функций.

Необходимость выбора коэффициента обучения (шага) может быть сложной, и неверный выбор может привести к медленной сходимости или расходимости.

Конвергенция может быть медленной, особенно при наличии плоских участков в функции.

Результаты могут сильно зависеть от начальной точки, что может повлиять на итоговое решение.

В высокоразмерных пространствах могут возникать трудности, которые затрудняют оптимизацию.

Матрица Якоби — это матрица частных производных векторной функции f(x), которая описывает локальные линейные зависимости между функцией и её переменными. Для функции , векторная функция имеет матрицу Якоби Jf(x) следующего вида:

Задачи, связанные с матрицей Якоби, включают решение систем нелинейных уравнений вида f(x) = 0, где f(x) – векторная функция.

Матрица Якоби описывает локальное поведение нелинейной функции, что позволяет использовать её для приближенного решения систем уравнений. Матрица Якоби является основным инструментом в методах оптимизации, таких как метод Ньютона и другие градиентные методы. Она позволяет проводить анализ устойчивости динамических систем. Матрица Якоби легко обобщается на многомерные функции, что делает её полезной для работы с многими переменными.

Вычисление матрицы Якоби для сложных функций может быть трудоемким и требовать значительных вычислительных ресурсов. Для сильно нелинейных функций матрица может изменяться значительно между итерациями, что усложняет процесс оптимизации. В задачах с шумными данными матрица Якоби может быть нестабильной и не давать адекватных результатов. Для корректного вычисления требуется, чтобы функция была непрерывной и дифференцируемой.

Когда матрица Якоби не является квадратной или не обратима, вместо обычной обратной матрицы используется **псевдообратная матрица Мура-Пенроуза**. Псевдообратная матрица позволяет решить систему уравнений в смысле минимизации ошибок или нахождения наилучшего приближения решения.

Для вычисления псевдообратной матрицы Якоби используют различные методы, но один из самых распространенных – метод сингулярного разложения матрицы Jf(x).

Если матрица Jf(x) представлена в виде Jf(x) = U∑VT, где U и V – ортогональные матрицы, ∑ - диагональная матрица сингулярных чисел, то псевдообратная матрица определяется как:

где - псевдообратная матрица диагольной матрицы ∑, которая вычисляется путем обращения всех ненулевых элементов на диагонали, а все нулевые элементы остаются на месте.

Позволяет находить решения для систем уравнений, где количество уравнений меньше количества переменных (недоопределенные системы).

Псевдообратная матрица минимизирует норму решения, что делает её более устойчивой к шуму в данных.

Может быть вычислена эффективно с использованием методов линейной алгебры, таких как сингулярное разложение (SVD).

Позволяет находить приближенные решения, что особенно полезно в задачах оптимизации и машинном обучении.

Широко используется в регрессионном анализе и других статистических методах.

Вычисление псевдообратной матрицы может быть чувствительным к ошибкам округления, особенно для вырожденных матриц.

Если матрица не имеет полного ранга, это может затруднить получение адекватных результатов.

Псевдообратная матрица может давать несколько решений для одной и той же задачи, что может вызвать трудности в интерпретации результатов.

Хотя псевдообратная матрица полезна для решения недоопределенных систем, в случае переопределенных систем она может не дать удовлетворительных результатов.

Метод экспоненциального сглаживания – это метод анализа временных рядов, используемая для уменьшения шума и колебаний в данных, что позволяет получить более плавные и предсказуемые результаты. Этот методосновывается на применении экспоненциальных весов к наблюдениям временного ряда. Более свежие данные получают больший вес, а старые данные — меньший. Таким образом, сглаженные значения реагируют на изменения в данных, но менее подвержены случайным колебаниям и шуму.

Сглаженное значение St для момента времени t вычисляется как:

где Yt – наблюдаемое значение временного ряда в момент времени t, St-1 – сглаженное значение в предыдущий момент времени, α – коэффициент сглаживания (0 < α < 1), который определяет, насколько сильно новое значение влияет на сглаженное значение.

Экспоненциальное сглаживание может быть адаптировано к различным временным рядам, включая те, которые имеют тренды и сезонные колебания.

Метод быстро реагирует на изменения в данных, что позволяет лучше отслеживать тренды и паттерны.

Экспоненциальное сглаживание может уменьшать шум в данных и обеспечивать более плавные предсказания, что повышает точность прогнозов.

Существуют различные варианты метода (одномерное, двоичное, тройное сглаживание), что позволяет выбирать подходящий подход в зависимости от характера данных.

Выбор коэффициента сглаживания α может быть сложным и требует экспериментов для нахождения оптимального значения.

Метод может не справляться с данными, содержащими сложные сезонные колебания или нестабильные тренды.

Экспоненциальное сглаживание базируется только на исторических данных, не учитывая внешние факторы, которые могут влиять на данные.

Для долгосрочных прогнозов метод может быть менее точным, так как его основное внимание сосредоточено на последних наблюдениях.

Если данные имеют значительные выбросы, это может негативно сказаться на итоговом прогнозе, особенно если выбросы происходят в недавних периодах.

Генетические алгоритмы — это класс эвристических методов оптимизации, которые имитируют процесс естественного отбора, свойственный биологической эволюции. Генетические алгоритмы основаны на таких концепциях, как наследственность, мутация, селекция и скрещивание (кроссовер), и применяются для поиска глобальных оптимумов в сложных многомерных задачах.

Генетический алгоритм представляет возможные решения задачи как "особи" или "хромосомы" и эволюционирует их популяцию через несколько поколений, чтобы найти наилучшее решение. Алгоритм использует принципы естественного отбора для сохранения лучших решений и модифицирует их для получения еще лучших результатов в следующих поколениях.

Этапы работы генетического алгоритма:

1. Генерация начальной популяции возможных решений. Каждое решение кодируется в виде хромосомы — последовательности чисел или битов, представляющих переменные задачи.
2. Для каждой особи (решения) вычисляется значение функции приспособленности (fitness function), которая оценивает, насколько это решение приближает к оптимуму задачи. Цель состоит в том, чтобы максимизировать или минимизировать значение этой функции.
3. Выбор особей, которые будут участвовать в создании следующего поколения. Наиболее приспособленные особи имеют больше шансов быть выбраны для размножения. Один из популярных методов селекции — турнирный отбор, при котором несколько случайных особей сравниваются, и лучшая из них выбирается для скрещивания.
4. Скрещивание, процесс, в ходе которого две родительские хромосомы комбинируются для создания новых потомков. Кроссовер может быть одноточечным (разделение родительских хромосом в одной точке) или многоточечным (разделение в нескольких точках), что позволяет передавать часть информации от каждого родителя потомку.
5. Для поддержания разнообразия в популяции некоторые потомки подвергаются случайным изменениям. Мутации помогают избежать преждевременного застревания алгоритма в локальных оптимумах.
6. После скрещивания и мутаций потомки добавляются в популяцию, и процесс продолжается. На каждом этапе слабые особи могут быть исключены из популяции.
7. Алгоритм продолжает эволюцию, пока не достигнет критерия остановки, например: максимальное количество поколений, достижение заданной точности решения, стабильность популяции (отсутствие значительного улучшения в течение нескольких поколений).

Генетический алгоритм может эффективно находить глобальные оптимумы в многомерных пространствах, даже если целевая функция содержит много локальных минимумов.

Алгоритм применим к задачам с любыми типами функций (непрерывными, дискретными, нелинейными).

Каждое новое поколение потенциально лучше предыдущего, что позволяет алгоритму постепенно улучшать решения.

Генетические алгоритмы могут требовать большого количества вычислений, особенно при больших популяциях и сложных функциях.

Для эффективной работы алгоритма необходимо корректно выбрать параметры (размер популяции, вероятность кроссовера и мутаций).

Генетический алгоритм часто находит приближенные решения, и качество этих решений зависит от выбранной стратегии.

**Метод роя частиц** (PSO, Particle Swarm Optimization) — это алгоритм оптимизации, основанный на имитации коллективного поведения (роевого интеллекта), наблюдаемого в природе, например, у стай птиц или косяков рыб. Алгоритм был предложен в 1995 году Джеймсом Кеннеди и Расселом Эберхартом и используется для решения задач глобальной оптимизации в многомерных пространствах.

Алгоритм PSO представляет собой поиск глобального оптимума функции с помощью группы "частиц", каждая из которых представляет собой возможное решение. Частицы перемещаются по пространству решений в поисках оптимального решения, ориентируясь на собственный опыт и на лучшее найденное решение среди всех частиц в рое. Каждая частица имеет **позицию** и **скорость,** которые обновляются на каждом шаге алгоритма.

Алгоритм применим к широкому классу задач оптимизации, включая задачи с нелинейными, неявными и многомодальными функциями.

Частицы можно обрабатывать параллельно, что ускоряет вычисления.

При сложных функциях PSO может застрять в локальных минимумах, не найдя глобального оптимума.

Настройка параметров, таких как коэффициенты инерции и обучения, может существенно повлиять на сходимость алгоритма.

Алгоритм PSO:

1. Создается начальная популяция частиц с случайными позициями xi и скоростями в пространстве поиска. Каждая частица начинает со случайного места.
2. Для каждой частицы вычисляется значение целевой функции в текущей позиции xi.
3. Если текущее положение частицы xi лучше ее предыдущего лучшего положения , оно обновляется. Если текущее положение любой частицы лучше глобального лучшего , то оно становится новым глобальным лучшим решением.
4. Для каждой частицы обновляются ее скорость и положение по следующим формулам:

где – скорость частицы в момент времени t, – текущее положение частицы, – коэффициент инерции, который регулирует влияние предыдущей скорости, – коэффициенты обучения, которые определяют влияние личного и глобального опыта, и – случайные значения из диапазона [0, 1], которые вводят случайность в движение частицы.

1. Алгоритм продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто одно из условий остановки, таких как достижение максимального числа итераций или достижение нужной точности решения.
   1. Анализ средств моделирования движений человека

AnyBody Modeling System (ABMS) – это программное обеспечение для биомеханического моделирования, которое позволяет создавать подробные виртуальные модели человеческого тела и анализировать их движения. Его используют в различных областях, в том числе в медицине, спорте, эргономике и других.

Основная идея ABMS – предоставить инструмент для создания анатомически точных моделей скелета, мышц и других тканей человеческого тела. Пользователи могут варьировать параметры модели, такие как длина и мышечная масса, и анализировать, как эти изменения влияют на движения тела.

Система работает на основе принципов обратной динамики, что означает, что она может рассчитывать силы, вызывающие движения, и то, как эти силы влияют на структуры тела. Это особенно полезно при моделировании движений при различных физических нагрузках или при решении реабилитационных задач.

ABMS также интегрируется с данными измерения трафика из систем проверки трафика (таких как Vicon или Motion Analysis), чтобы повысить точность моделей и результатов анализа.

Это программное обеспечение широко используется в исследованиях и разработках, связанных с биомеханикой человеческого тела, и дает возможность более глубокого понимания движения и его влияния на физиологию.

Software for Interactive Musculoskeletal Modeling (SIMM) – программное обеспечение, предназначенное для интерактивного биомеханического моделирования мышц и скелета. Разработан в Институте нейронаук в Сан-Диего. Программа позволяет исследователям создавать подробные компьютерные модели человеческого тела с целью анализа и моделирования движений.

SIMM основан на концепции создания виртуальных 3D-моделей анатомии, включая кости, суставы и мышцы. Пользователи могут взаимодействовать с моделями, чтобы изменять параметры мышц, исследуя, как эти изменения влияют на движения и динамику тела.

Одним из ключевых элементов SIMM является его способность предоставлять подробные данные о моментах силы и требованиях к силе в различных суставах. Это полезно для анализа биомеханики движения и понимания того, как различные факторы влияют на нагрузку на мышцы и суставы.

SIMM также предоставляет инструменты интеграции с данными о движении, позволяя пользователям комбинировать биомеханические модели с экспериментальными данными для более точного анализа. Программа может быть использована в медицинских исследованиях, реабилитационной медицине и создании протезно-ортопедических изделий.

В целом SIMM предоставляет ученым и инженерам мощный инструмент для изучения биомеханики человеческого тела и его движений, а также для разработки улучшенных методов лечения и реабилитации.

Open Simulation for Musculoskeletal Systems (OpenSim) – открытая система моделирования опорно-двигательного аппарата, предоставляющая инструменты для создания детальных вычислительных моделей человеческого тела. Разработан Национальными институтами здравоохранения (NIH) и Стэнфордским университетом.

Основная цель OpenSim – предоставить исследователям и инженерам инструменты для анализа биомеханики движений человека и понимания взаимодействия мышц, костей и суставов. Система позволяет создавать трехмерные модели анатомии, включая скелет, мышцы и другие ткани.

Одним из главных преимуществ OpenSim является его открытость и доступность для научного сообщества. Это позволяет исследователям вносить свой вклад, улучшать систему и обмениваться моделями и данными. OpenSim активно используется в медицинских исследованиях, биомеханике и разработке протезно-ортопедических изделий.

Система позволяет проводить виртуальные эксперименты с моделями, изменять параметры мышц и суставов, чтобы анализировать, как эти изменения влияют на движение и нагрузку на организм. OpenSim также интегрируется с данными движения, позволяя пользователям сравнивать моделирование с реальными данными.

Открытость и гибкость OpenSim делают его важным инструментом для тех, кто занимается биомеханическими и реабилитационными исследованиями. Система поощряет коллективное участие и обмен знаниями, способствуя развитию этой области науки и применению полученных знаний в практике здравоохранения.

Blender — мощное бесплатное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации, рендеринга, композитинга, создания игр и многого другого. Среди его многочисленных возможностей важное место занимает возможность имитировать движения человека.

Одна из лучших особенностей Blender — это то, что он бесплатный и имеет открытый исходный код, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Blender предоставляет инструменты для создания персонажей, анимации и 3D-сцен, что делает его полезным инструментом для моделирования движений человека в контексте реабилитации.

В Blender вы можете создавать гуманоидных персонажей, размещать их в разных позах и анимировать их движения. Поддерживая различные форматы данных, Blender может взаимодействовать с данными о движении, полученными из различных источников, таких как системы захвата движения.

Для анализа движений в Blender можно использовать инструменты, позволяющие изменять параметры скелета персонажа, настраивать анимацию и даже проводить виртуальные эксперименты по анализу влияния различных факторов на движения.

Важным аспектом Blender является сообщество пользователей и большое количество обучающих программ. Это облегчает изучение программы и обмен опытом с другими специалистами в области 3D-моделирования и анимации. Таким образом, Blender предоставляет среду, в которой исследователи и практики могут создавать и анализировать движения человека, применяя их в контексте реабилитации.

Vicon Nexus — это программное обеспечение, предназначенное для захвата движения и анализа данных о движении. Это приложение, разработанное компанией Vicon, широко используется в области биомеханики, реабилитации и спорта для детального изучения движений человека.

Одной из основных особенностей Vicon Nexus является возможность захвата движения с использованием систем захвата движения, таких как Vicon Motion Capture Systems. Эти системы позволяют с высокой точностью фиксировать движения, фиксируя движения многих точек на теле человека.

Vicon Nexus предоставляет удобный пользовательский интерфейс, который предоставляет пользователям простой и интуитивно понятный доступ к данным движения. С его помощью исследователи и реабилитологи могут анализировать параметры движения, такие как углы суставов, скорость, ускорение и другие биомеханические параметры.

Программное обеспечение также обеспечивает возможность синхронизации данных о движении с другими данными, такими как данные о силе, электромиографии (ЭМГ) и другими параметрами, обеспечивая полное понимание движений человека.

Vicon Nexus поддерживает широкий спектр форматов данных, обеспечивая совместимость с различными инструментами и позволяя исследователям и специалистам по реабилитации интегрировать различные данные для более комплексного анализа движений.

С помощью Vicon Nexus исследователи и специалисты по реабилитации могут проводить качественный анализ движений, оптимизировать программы реабилитации и лучше понимать биомеханические аспекты движений человека.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) — программная платформа, разработанная National Instruments для создания виртуальных приборов (ВИ), используемых в системах измерения, автоматизации и управления. LabVIEW предоставляет среду графического программирования, в которой разработка осуществляется путем объединения графических блоков, представляющих различные функции и операции.

Одной из ключевых особенностей LabVIEW является интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователям, в том числе непрограммистам, создавать сложные системы управления и измерения. Программирование в LabVIEW осуществляется путем размещения и соединения графических элементов, называемых блок-диаграммами.

LabVIEW широко используется в научных исследованиях, инженерных приложениях, автоматизации испытаний и измерениях. Платформа поддерживает несколько инструментов и модулей, которые позволяют интегрировать различные типы измерительных приборов и датчиков.

Одной из сильных сторон LabVIEW является возможность создавать собственные ВИ, что позволяет разработчикам адаптировать программное обеспечение к конкретным потребностям и задачам. Это также делает LabVIEW мощным инструментом для моделирования и анализа различных процессов, включая движение человека.

LabVIEW также предоставляет функциональные возможности для обработки данных, визуализации результатов и взаимодействия с внешними устройствами, что делает его полезным инструментом в контексте моделирования движений человека и биомеханического анализа.

MATLAB/Simulink — это мощные инструменты численного моделирования и симуляции, разработанные MathWorks. MATLAB, являясь интерактивной вычислительной средой, предоставляет язык программирования высокого уровня, а Simulink предоставляет среду моделирования визуальных систем.

MATLAB предоставляет обширные математические функции и возможности для работы с матрицами, графиками, статистикой и другими областями. Этот инструмент часто используется для выполнения сложных вычислений, анализа данных и создания алгоритмов. В контексте моделирования движения человека MATLAB может использоваться для математико-биомеханического анализа, оптимизации и решения уравнений движения.

Simulink предоставляет графическую среду, в которой разработчики могут моделировать и симулировать динамические системы, включая многие области – от автоматического управления до биомеханики. Визуальное моделирование в Simulink выполняется с использованием блоков для представления различных элементов системы и линий для представления потока сигналов между этими элементами.

Интеграция MATLAB и Simulink позволяет создавать и анализировать модели сложных систем, включая модели движения человека. Разработчики могут запускать моделирование, оптимизировать параметры модели, а также визуализировать и анализировать результаты, используя богатые графические возможности MATLAB.

Эти инструменты часто используются в областях исследований, связанных с биомеханикой, управлением движением и других областях, требующих анализа и моделирования динамических процессов.

Robot Operating System (ROS) — это фреймворк для разработки программного обеспечения для роботов. Имеет множество библиотек для работы с ИК, таких как MoveIt.

ROS широко используется в робототехнике, поддерживает интеграцию с физическими роботами, моделирование в реальном времени.

Unity – мощная среда для разработки игр, которая поддерживает инверсную кинематику через встроенные системы анимации.

* 1. Обоснование метода решения

Для решения задачи инверсной кинематики необходимо воспользоваться несколькими методами для моделирования более плавных и точных движений. Метод Ньютона-Рафсона сложно применить, когда множество степеней свободы. Поэтому используется псевдообратная матрица Якоби, а для уменьшения шума, который она вызывает используется метод сглаживания.

Выводы по главе 1

В ходе исследования были произведены следующие работы:

* поставлена цель и задачи исследования;
* определен объект исследования;
* произведен аналитический обзор существующих решений;
* проанализированы основные направления разработки.

ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

2.1. Формализованное представление задачи математического моделирования движений

Для задачи математического моделирования движений объектом движения является человеческое тело. Анатомически оно состоит из различных частей, включая конечности (руки и ноги), туловище, голову и шею, каждая из которых имеет свои особенности и суставы. Суставы, которые учитываются в моделировании представлены на рис. 2.1.

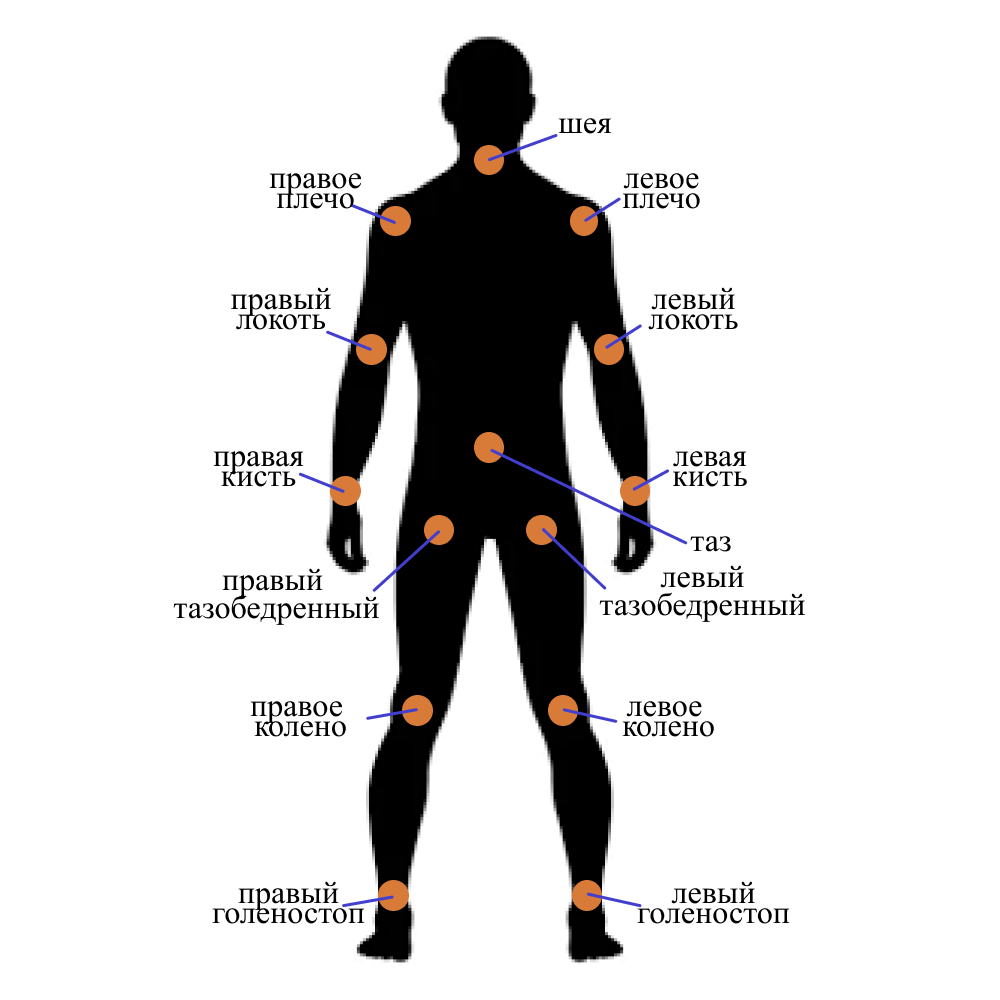


Рис 2.1. – Суставы для моделирования

Также для моделирования необходимы расстояния между суставами (рисунок 2.2).

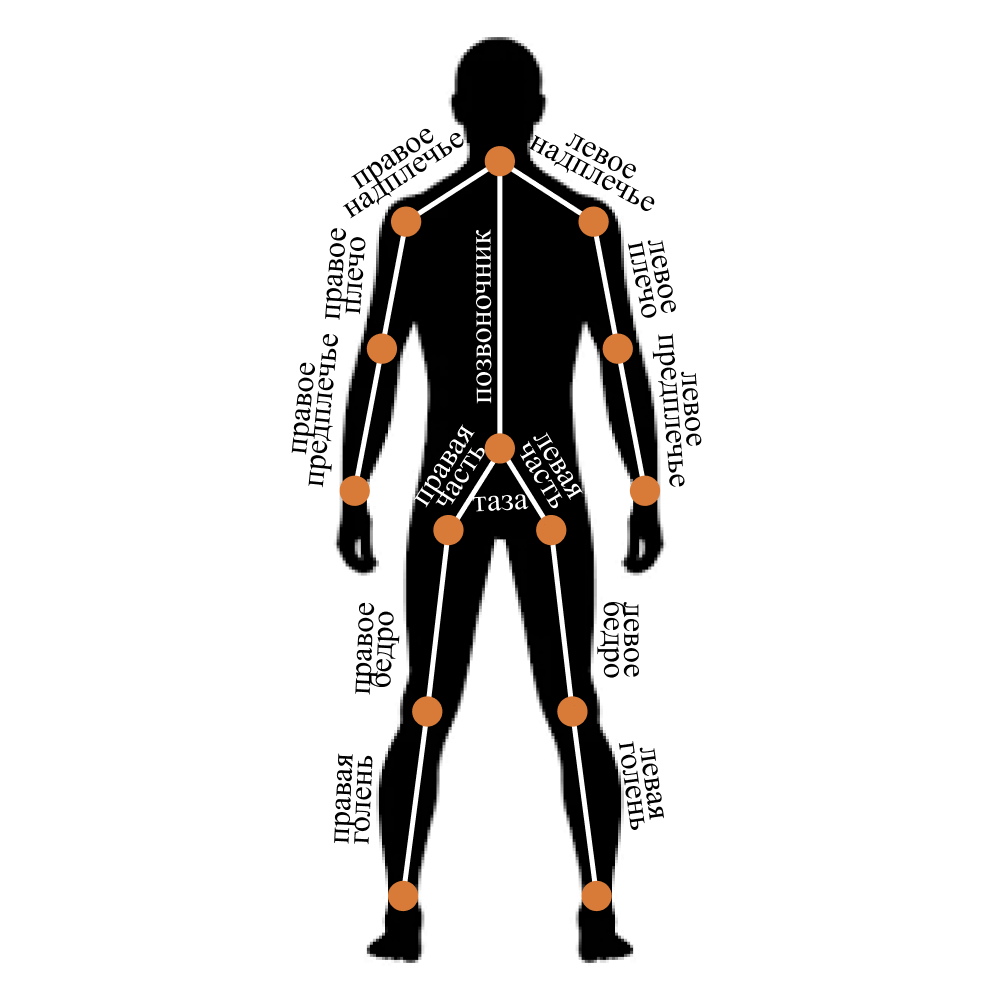


Рис 2.2. – Расстояния от одного сустава до другого

Задача инверсной кинематики заключается в том, чтобы по заданным координатам и ориентации конечного сустава, необходимо найти углы поворота всех остальных суставов.

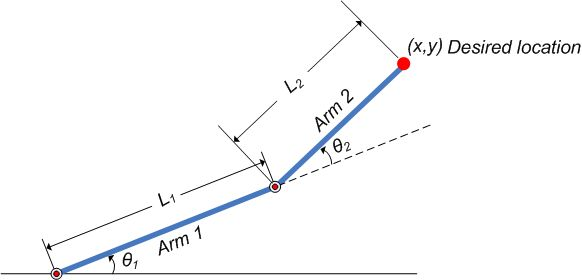


Рис 2.3. – Задача инверсной кинематики

На примере трех суставов рассмотрим алгоритм моделирования плавных движений (рисунок 2.3).

Для начала определим текущее положение конечного сустава (xcurr, ycurr). Позиция, к которой стремится конечный сустав – (xtarget, ytarget).

Затем составим матрицу Якоби, которая описывает, как изменение углов θ1 и θ2 влияет на изменение положения конца манипулятора:

Определяем ошибку между текущим положением конца манипулятора и целевой точкой:

Воспользуемся псевдообратной матрицей Якоби для улучшение устойчивости вблизи сингулярных конфигураций. Для этого введем параметр сглаживания λ. Это изменяет стандартную форму псевдообратной матрицы:

где – транспонированная матрица Якоби, I – единичная матрица, λ – коэффициент сглаживания, обычно выбирается малым (0,01 или 0,001).

После нахождения сглаженной псевдообртной матрицы , находим изменения в углах сутавов.

где – изменения углов суставов.

Углы суставов обновляются с учетом найденных именений:

Процесс повторяется до тех пор, пока величина ошибки не станет достаточно малой, или пока не будет достигнуто максимальное количество итераций.

2.2. Разработка методики моделирования движений человека

2.3. Разработка алгоритма моделирования движений человека

Выводы по главе 2

В ходе исследования произведены следующие работы:

* выполнена формализация задачи математического моделирования движений;
* описана разработка методики ….;
* описана разработка алгоритма составления тренировок.