

Прототип подвижной платформы для получения изображений позвоночника во время ходьбы

Ибрахим Анагим¹, Хасан бу Исса Хусам²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹anagemibrahem66@gmail.com, ²houssam.bouissa@gmail.com

Аннотация. В данной статье описывается прототип конструкции подвижной платформы для получения изображений позвоночника во время ходьбы. Платформа предназначена для предоставления неинвазивного метода диагностики заболеваний позвоночника и оценки эффективности терапевтических воздействий. Прототип состоит из конструкции, напоминающей беговую дорожку, с камерой, установленной над поверхностью для ходьбы, которая фиксирует изображения позвоночника с различных углов. Платформа спроектирована таким образом, чтобы двигаться синхронно с шагом испытуемого, тем самым минимизируя артефакты движения и создавая изображения высокого качества. Эта подвижная платформа имеет потенциал для предоставления ценной информации о динамике позвоночника во время ходьбы. Кроме того, ее можно использовать для изучения эффектов различных моделей ходьбы или воздействий на биомеханику позвоночника. Прототип спроектирован для того, чтобы быть переносным и легко перевозиться в различные места для использования в научных и клинических исследованиях.

Ключевые слова: движущаяся платформа, шаговые двигатели, драйверы, захват изображений, SOLIDWORKS, биомеханика, состояние позвоночника

I. ВВЕДЕНИЕ

Растет интерес к разработке методов объективной оценки состояний кинематики позвоночника, возникающих в результате различных причин. Этот интерес обусловлен несколькими факторами. Во-первых, эти состояния повышают риск развития заболеваний, сопровождающихся деформациями позвоночника. Во-вторых, для пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата все чаще используются специализированные средства медицинской реабилитации, что обуславливает необходимость эволюции методов мониторинга эффективности реабилитации [1–3]. В-третьих, высокотехнологичные и высокоточные методы диагностики, такие как компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и миелография с использованием рентгеноконтрастных веществ, не могут быть использованы для скрининговых тестов из-за нормативных ограничений, связанных с облучением пациента и высокими затратами [4]. В-четвертых, оценка состояния позвоночника в статическом и динамическом состояниях, особенно во время двигательных действий, таких как ходьба, целесообразна на основе современных научных теорий [5,6]. Наконец, биомеханический анализ кинематических характеристик движений пациента может помочь выявить любые нарушения. Следовательно, математическая модель движущейся

платформы предлагается в качестве первого шага в разработке метода и информационной системы для оценки нарушений кинематики позвоночника во фронтальной плоскости при ходьбе с последующим автоматизированным проектированием с использованием SOLIDWORKS.

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ХОДЬБЕ

Перед реализацией математической модели решающее значение имеет выбор подходящего шагового двигателя для предлагаемой конструкции. Шаговый двигатель – это электродвигатель, который преобразует цифровые импульсы в механическое вращение с помощью точных шагов, в отличие от обычных электродвигателей, которые вращаются непрерывно при подаче питания. Работа шагового двигателя основана на взаимодействии магнитных полей, где ротор с зубьями взаимодействует со статором с несколькими электромагнитными катушками, включенными в определенной последовательности, для создания вращающегося магнитного поля, которое приводит в движение ротор небольшими шагами [7].

Выбор подходящего шагового двигателя для конкретного применения требует учета различных факторов, таких как крутящий момент, скорость, угол шага и требования к мощности. Поэтому при выборе шагового двигателя важно выполнить несколько шагов, которые включают в себя определение требуемого крутящего момента, расчет требуемой скорости, определение угла шага и оценку требуемой мощности. Кроме того, необходимо учитывать условия окружающей среды, такие как температура, влажность и вибрация, и выбрать шаговый двигатель, совместимый с драйвером и контроллером, используемыми в приложении. Наконец, перед установкой крайне важно протестировать шаговый двигатель, чтобы убедиться, что он соответствует требованиям приложения. Поэтому при выборе шагового двигателя, обеспечивающего необходимый крутящий момент, скорость, угол шага и требуемую мощность, крайне важно тщательно учитывать требования конкретного приложения.

В соответствии с необходимой информацией, приведенной ниже (табл. 1), был выбран эффективный шаговый двигатель.

ТАБЛИЦА I. ИНФОРМАЦИЯ О ШАГОВОМ ДВИГАТЕЛЕ

| | | |
|--------------------------|---|--|
| Транспортное средство | <p>Масса транспортного средства</p> <p>Наружный диаметр колеса (outer Diameter)</p> <p>Масса колеса</p> <p>Количество колес</p> <p>Коэффициент трения качения между колесом и полом</p> | <p>$m_1 = 7 \text{ kg}$</p> <p>$D_1 = 75 \text{ mm}$</p> <p>$m_{D1} = 350 \text{ g/per piece}$</p> <p>$n_1 = 1$</p> <p>$\mu_1 = 0.03$</p> |
| Уклон пола | Максимальный угол наклона пола | $\alpha = 5^\circ$ |
| Условия эксплуатации | Рабочая скорость Ускорение/замедление | $V_1 = 72 \text{ m/min}$ $t_1 = 1 \text{ s}$ |
| Точность остановки | Точность остановки | $\pm 200 \text{ mm}$ |
| Коэффициент безопасности | Коэффициент безопасности | 1.5 |
| Эффективность системы | Эффективность системы | $\eta = 80\%$ |

Более того, результаты определения размеров были следующими.

$$\text{Инерция нагрузки } J_L = 1.1480e^{-2} [kg \cdot m^2].$$

$$\text{Требуемая скорость } V_m = 286.6 \left[\frac{r}{min} \right].$$

$$\text{Требуемый крутящий момент } \tau = 1.149 [N \cdot m].$$

$$\text{Момент ускорения } \tau_a = 0.3445 [N \cdot m].$$

$$\text{Крутящий момент нагрузки } \tau_L = 0.4215 [N \cdot m].$$

$$\text{Требуемая точность остановки } \Delta\theta = 286.6^\circ.$$

Уравнения математической модели для транспортного средства с четырьмя шаговыми двигателями зависят от конкретных деталей транспортного средства и его силовой установки. Однако вот несколько общих уравнений, которые можно использовать для описания движения и поведения транспортного средства:

1) Уравнения движения:

Уравнения движения описывают динамику транспортного средства, включая его положение, скорость и ускорение. Они могут быть выражены следующим образом:

$$F = m * a \quad (1)$$

F – суммарная сила, действующая на транспортное средство, m – его масса и a – его ускорение.

2) Уравнения для крутящего момента и тока в шаговых двигателях:

Крутящий момент, создаваемый каждым шаговым двигателем, зависит от тока, протекающего через его обмотки. Ток регулируется системой силовой электроники, которая регулирует напряжение, подаваемое на двигатель. Следовательно, уравнения для крутящего момента и тока могут быть выражены следующим образом:

$$\tau_i = k_i \times I_i \quad (2)$$

$$I_i = \frac{V_i}{R_i} \quad (3)$$

где τ_i крутящий момент, создаваемый i -м шаговым двигателем, k_i – постоянная двигателя, I_i – ток, протекающий через i -ю обмотку двигателя, V_i – напряжение, подаваемое на i -ю обмотку двигателя, и R_i – сопротивление i -й обмотки двигателя.

3) Уравнения для движения транспортного средства с шаговыми двигателями:

Крутящий момент, создаваемый каждым шаговым двигателем, влияет на движение транспортного средства. Следовательно, уравнения движения транспортного средства могут быть выражены следующим образом:

$$F = F_d + \sum \frac{\tau_i}{R_\omega} \quad (4)$$

где F_d – сила аэродинамического сопротивления, $\sum \tau_i$ – сумма крутящих моментов, создаваемых четырьмя шаговыми двигателями, и R_ω – радиус колес.

III. SOLIDWORKS – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАТФОРМЫ

SOLIDWORKS широко используется в обрабатывающей промышленности для проектирования изделий и в секторе образования для обучения инженерному делу и принципам проектирования. Он совместим с широким спектром форматов файлов, что позволяет легко интегрировать его в существующие рабочие процессы и сотрудничать с другими дизайнерами и инженерами [8]. Компоненты желаемого прототипа были спроектированы с использованием SOLIDWORKS следующим образом.

A. Шаговый двигатель Nema 23 57HS76-2804

Nema 23 57HS76-2804 – это тип шагового двигателя, обычно используемого в различных областях промышленности и автоматизации; были рассмотрены ключевые технические характеристики этого шагового двигателя [9]. Шаговый двигатель 57HS76-2804 способен обеспечивать точное позиционирование и точную регулировку скорости, что делает его популярным выбором для станков с ЧПУ, 3D-принтеров, робототехники и других промышленных применений. На рис. 1 показана конструкция шагового двигателя Nema 23, в то время как на рис. 2 показана проекция шагового двигателя.



Рис. 1. Конструкция шагового двигателя Nema 23 57HS76-2804

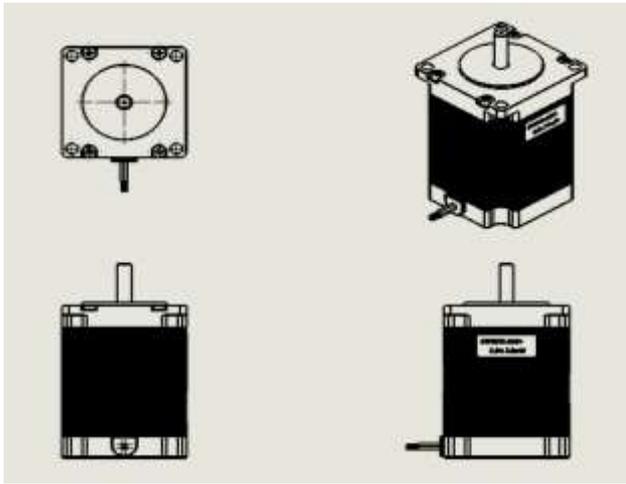


Рис. 2. Проекция шагового двигателя Nema 23 57HS76-2804

В. Драйвер для шаговых двигателей TB6600

TB6600 – популярная микросхема драйвера, используемая для управления шаговыми двигателями в различных приложениях, таких как станки с ЧПУ, 3D-принтеры и робототехника. TB6600 является популярной микросхемой драйвера для управления шаговыми двигателями и обладает рядом преимуществ [9], таких как высокая пропускная способность по току, поддержка микрошагов, регулируемое регулирование тока и широкий диапазон напряжений. На рис. 3 показана конструкция драйвера TB6600 и проекция драйвера.

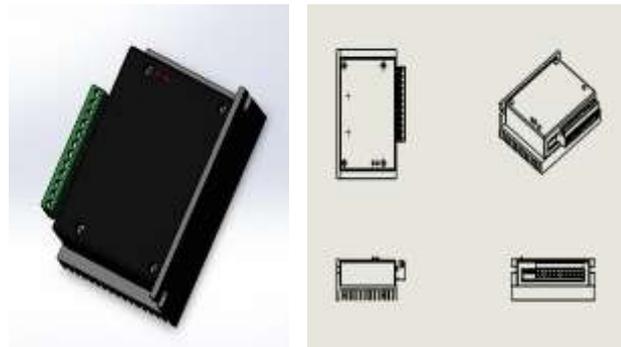


Рис. 3. Конструкция и проекция драйвера TB6600

С. Arduino Mega 2560

Arduino Mega – это плата микроконтроллера, созданная на базе микроконтроллера ATmega2560. Он предназначен для сложных проектов, требующих большого количества контактов ввода-вывода, памяти и вычислительной мощности, чем стандартные платы Arduino. Mega имеет 54 контакта цифрового ввода-вывода, 16 аналоговых входов, 4 UARTs (аппаратных последовательных портов), кварцевый генератор частотой 16 МГц, USB-соединение и разъем питания. Он также имеет более значительный объем флэш-памяти и оперативной памяти, чем стандартные платы Arduino, что делает его удобным для более сложных приложений [10]. На рис. 4 показан дизайн и проекция Arduino Mega 2560.

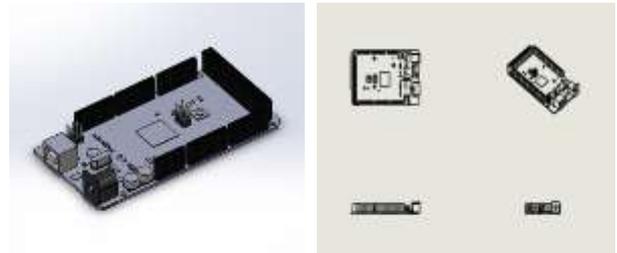


Рис. 4. Дизайн и проекция Arduino Mega 2560

Д. Деревянная платформа и колеса

Используется тележка прямоугольной формы с измерением каждой стороны [11]. Для сборки тележки выбран металлический деревянный лист, поскольку в нем имеются легкие и легко просверливаемые отверстия для установки другого оборудования и крепления деревянных зажимов, на которых крепятся двигатели системы и другие компоненты. С помощью SOLIDWORKS разработан прототип предлагаемой платформы, представленный на рис. 5, с дизайном и проекцией. Размеры платформы составляют 60*40*1.6 см (Д*Ш*В). Для установки колес и шаговых двигателей части платформы были вырезаны в соответствии с рис. 6, и показаны размеры вырезанных участков.

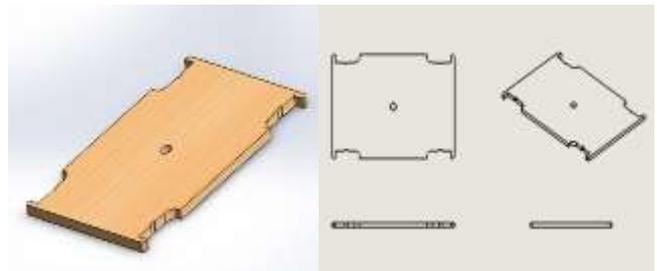


Рис. 5. Конструкция и проекция деревянной платформы

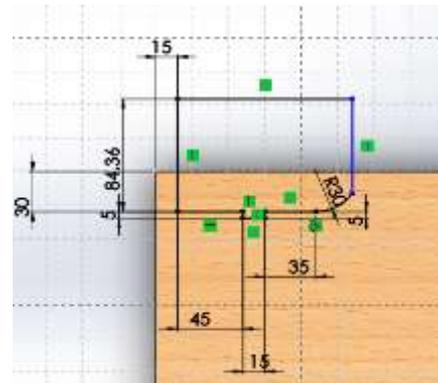


Рис. 6. Вырез для выдавливания

Пластиковые колеса обладают рядом преимуществ, таких как легкий вес, устойчивость к коррозии, долговечность, экономичность, низкое трение, отсутствие следов и гибкость конструкции. Разработанные колеса имеют диаметр, равный 9,5 см. На рис. 7 показана конструкция и выступ колеса.

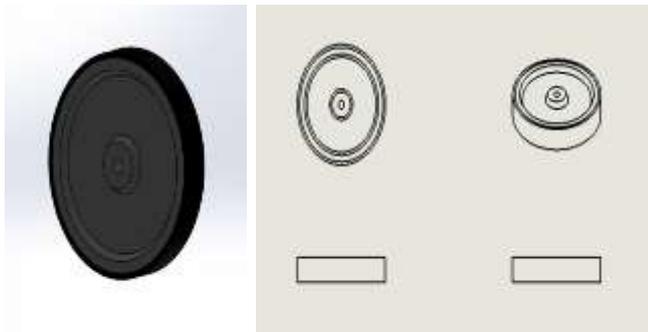


Рис. 7. Конструкция и выступ колеса

Е. Другие компоненты

Согласно предлагаемому дизайну, предлагается иметь камеру и ноутбук, на которых будет реализован алгоритм определения состояния позвоночника. И камера, и ноутбук были спроектированы с использованием SOLIDWORKS. Рис. 8 иллюстрирует конструкцию и проекцию камеры, в то время как рис. 9 иллюстрирует конструкцию и проекцию ноутбука.



Рис. 8. Конструкция и проекция камеры



Рис. 9. Дизайн и проекция ноутбука

Чтобы обеспечить прототип питанием, было предложено подключить его к источнику питания. Сборка всех компонентов для завершения проектирования является последним шагом, и окончательный результат проектирования SOLIDWORKS для предлагаемой системы показан на рис. 7.



Рис. 10. Прототип движущейся платформы

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате разработка математического проекта и проекта SOLIDWORKS для медицинской системы является сложной и ответственной задачей, требующей высокой квалификации и внимания к деталям. Передовое программное обеспечение для математического моделирования и 3D-проектирования позволяет создать подробное и точное представление системы, что позволяет провести тщательное тестирование и анализ перед ее выводом на рынок.

Используя мощь технологий и опыт квалифицированных специалистов, можно создавать медицинские системы, которые являются одновременно эффективными и результативными, улучшая результаты лечения пациентов и продвигая область медицины в целом. Независимо от того, разрабатывается ли новое устройство или совершенствуется существующее, математическое моделирование и принципы 3D-проектирования обеспечивают прочную основу для успеха. При тщательном планировании и исполнении эти инструменты могут помочь обеспечить безопасность, надежность и практичность медицинских систем, удовлетворяющих потребностям пациентов и медицинских работников.

Крайне важно учитывать такие факторы, как безопасность, надежность и функциональность, на протяжении всего процесса проектирования, чтобы гарантировать соответствие системы требованиям и ожиданиям медицинских работников и пациентов. Кроме того, следует проводить регулярные испытания и валидацию для проверки точности математических моделей и обеспечения эффективности конечного продукта.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хорошо разработанная математическая модель медицинской системы в SOLIDWORKS может в конечном итоге улучшить результаты лечения пациентов и оказание медицинской помощи. Принципы и методологии, обсуждаемые в этой главе, могут быть применены к различным медицинским приложениям и послужат ценным руководством для инженеров и проектировщиков.

Будущая работа заключается в реализации этого прототипа в качестве практического инструмента для оценки состояния позвоночника во время ходьбы.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование, о котором сообщается в этой статье, было бы невозможно без помощи профессора Зафара Юлдашева, заведующего кафедрой биомедицинских инженерных систем Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ballan L., Cortelazzo G.M. Marker-less motion capture of skinned models in a four camera set-up using optical flow and silhouettes. Proceedings of 3DPVT'08 - the Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission.2008.
- [2] Naeemabadi M.R., Dinesen B., Andersen O.K. and Hansen J. Influence of a marker-based motion capture system on the performance of Microsoft Kinect v2 skeleton algorithm. IEEE SENSORS JOURNAL. 2018. DOI 10.1109/JSEN. 2876624.
- [3] Alexander T.D. Grunwald A.T.D., Roy S., Alves-Pinto A., Lampe R. Assessment of adolescent idiopathic scoliosis from body scanner image by finite element simulations. PLoS ONE 16(2): 2021. e0243736. <https://doi.org/10.1371/journal>.
- [4] Ubert A.I. Algorithm for markers detection on fringe images. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering . 2021. 012060. IOP Publishing. 2021. doi:10.1088/1757-899X/1019/1/012060.
- [5] Turner-Smith A.R., Harris J.D. Houghton G.R. A Method for Analysis of Back Shape in Scoliosis. J. Biomechanics. 1988. Vol. 21. No. 6, pp 497-509.
- [6] Bendels G.H., Klein R., Samimi M., Schmitz A. Statistical Shape Analysis for Computer Aided Spine Deformity Detection. The Journal of WSCG, 2005. Vol.13, ISSN 1213-6964.
- [7] Balaji S., Muthukumar V., Senthilkumar K.M. and Vidyalakshmi R., 2021. AN OVERVIEW OF STEPPER MOTORS. THE OPPORTUNITIES OF UNCERTAINTIES: FLEXIBILITY AND ADAPTATION NEEDED IN CURRENT CLIMATE Volume II (ICT and Engineering), p.265.
- [8] Ruiz A., 2010. SolidWorks 2010: no experience required. John Wiley & Sons.
- [9] Khairudin M., Asnawi R. and Shah A., 2020. The characteristics of TB6600 motor driver in producing optimal movement for the Nema23 stepper motor on CNC machine. *Telkonnika*, 18(1), pp.343-350.
- [10] Phechsuwan P., 2023. Development of electronic fuel Injection system through the use of Arduino Mega 2560 microcontroller. *Journal of Engineering and Innovation*, 16(1), pp.34-43.
- [11] Hasan Bou Isaa H., Ibrahim A., Yuldashev Z., 2022, *Development of a mathematical model for a moving platform for the diagnosis of the spinal state*, Bioengineering System, Saint-Petersburg Electrotechnical University.