

# КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТЕРЕОЗРЕНИЯ МЕХАТРОННОГО КОМПЛЕКСА

**Н.А. Милостная**

*Юго-Западный государственный университет*  
Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
E-mail: nat\_mil@mail.ru

**Ключевые слова:** киберфизическая система, мехатронный комплекс, стереозрение.

**Аннотация:** Доклад посвящен использованию киберфизической системы для эффективного управления мехатронным комплексом на основе технологии стереозрения. Рассмотренный подход фокусируется на определении z-координат детектируемых объектов с использованием стереокамер. В докладе описаны ключевые аспекты реализации данной технологии. Результаты исследования предоставляют перспективные методы, основанные на глубоком понимании новых подходов в области управления робототехническими системами с использованием стереозрения, что обеспечивает более точное и эффективное взаимодействие киберфизической системы мехатронного комплекса с окружающей средой.

## 1. Введение

Киберфизические системы представляют собой уникальное сочетание виртуальных технологий и реального физического мира, а также объединяют в себе физические и вычислительные компоненты, что дает возможность создавать сложные технические системы. К таким системам относят мехатронные комплексы, представляющие собой интегрированные механизмы, объединяющие механические, электронные и программные компоненты. Одним из требований, предъявляемым к подобным системам, является оптимальное управление, основой которого является её модель осязательности. На данный момент времени, одной из наиболее востребованных подобных моделей является система стереозрения (СТ), используемая для оценки окружающей среды вокруг роботизированного комплекса [1]. Стереозрение – это способность роботизированного устройства воспринимать глубину и трехмерную структуру сцены вокруг него на основе оценки смещения одного и того же объекта на левом и правом изображениях, полученных от двух видеокамер. Одним из возможных применений СТ является:

– *оценка состояния и планирование траекторий перемещения роботизированных устройств или их органов:* СТ используется для оценки пространственного положения объектов на 3д сцене вокруг роботизированного комплекса для планирования оптимальной траектории движения. Это особенно важно в задачах автономного управления транспортными средствами, роботами и БПЛА.

– *уклонение от препятствий:* СТ может помочь в обнаружении препятствий на пути траектории движения роботизированного устройства и принятии оптимальных решений для избегания столкновений, что очень важно для обеспечения безопасности и эффективности управляемой киберфизической системы.

В данном докладе рассматривается использование киберфизической системы мехатронного комплекса, управляемого системой стереозрения.

## 2. Обзор существующих подходов к управлению киберфизическими системами

Управление киберфизическими системами (КФС) основывается на интеграции компьютерных и физических процессов для эффективного управления сложными системами. Принципы управления КФС:

1. Интеграция вычислительных и физических компонентов, то есть КФС должна объединять вычислительные и физические аспекты в единую систему. Для этого необходимо обеспечить совместное взаимодействие программного и аппаратного обеспечения КФС.

2. Реальное время, то есть обеспечение оперативной реакции КФС на изменения внешних факторов физической (окружающей) среды. Поэтому КФС должна способствовать обработке данных и принятию решений в реальном времени. Для соблюдения этого условия необходимо обеспечить распараллеливание вычислительных процессов внутри КФС и реализовать её на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Либо использовать комбинирование управления, например, ПЛИС + Arduino Mega. Вычислительный процесс реализуется в ПЛИС, а управление исполнительными механизмами мехатронного комплекса осуществляется с помощью Arduino или любого подобного микроконтроллера.

3. Сенсорное оучувствление. В рамках данного пункта необходимо определить сенсорную базу, которая будет использоваться для сбора информации о физическом окружении роботизированного устройства или его рабочих органов, что позволит обеспечить эффективную обратную связь и реализацию контроля положения исполнительных устройств мехатронного комплекса. Наиболее эффективным методом пространственного контроля является использование систем стереозрения [2, 3].

4. Прогнозирование. В рамках реализации данного пункта необходимо обеспечить использование математических моделей для описания поведения физической среды и предсказания ее изменений. Это позволяет оптимизировать управление на основе существующих методов прогнозирования. Данные методы подробно рассмотрены в следующих научных работах [4-6].

5. Интеллектуальные технологии: Применение технологий искусственного интеллекта, к которым относится использование методов машинного обучения, применение нейронных сетей и адаптивных нейро-нечетких систем вывода [7].

Данные принципы должны взаимодействовать друг с другом и совместно формировать основу эффективного управления киберфизической системой.

## 3. Структурная схема киберфизической системы мехатронного комплекса

Структурная схема КФС мехатронного комплекса с использованием СТ представлена на рис. 1.

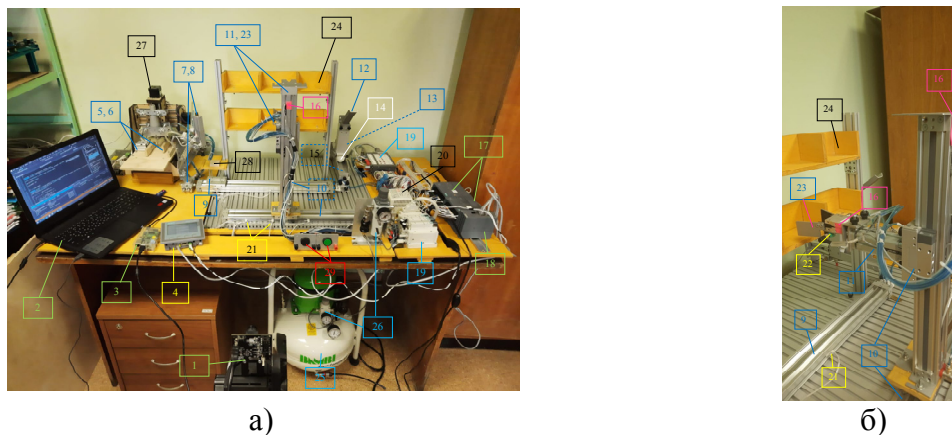


Рис. 1.

Система технического зрения для определения расстояний до объекта: 1 – видеокамера СТЗ Риху СМУcam5; 2 – ПЭВМ (ноутбук); 3 – микроконтроллер для СТЗ; 4 – интерактивная сенсорная панель; 5 – цилиндра прижима деталей (ЦПД); 6 – цилиндр - толкатель детали (ЦТД); 7 – цилиндр поворотный (ЦП); 8 – вакуумный цилиндр с присоской (ВЦ); 9 – бесштоковый цилиндр перемещения изделий (БЦПИ); 10 – бесштоковый цилиндров перемещений схвата (БЦПС); 11 – цилиндр выдвижения схвата (ЦВС); 12 – лоток хранения изделий из пластика; 13 – цилиндр подачи изделий (ЦПИ); 14 – изделие или корпусная деталь призматической формы; 15 – сопло; 16 – цветовой маркер; 17 – программируемый логический контроллер (ПЛК); 18 – Ethernet - коммутатор; 19 – пневмоострова; 20 – блок питания 24В; 21 – герконовый датчик; 22 – лазерный датчик; 23 – магнитные датчики положения; 24 – складские ячейки для хранения изделий или корпусных деталей; 25 – пневматический схват (ПС); 26 – датчик давления; 27 – воздушный компрессор; 28 – фильтр – регулятор; 29 – кнопки старт – стоп.

Использование СТ в структуре КФС мехатронного комплекса обеспечивает автоматическую коррекцию и адаптацию управляющих сигналов в реальном времени, что повышает точность и надежность её управления.

#### 4. Экспериментальные исследования КФС

СТ позволяет обеспечить вычисление  $Z$ -координаты распознанной цветовой метки, закрепленной на исполнительном пневматическом приводе мехатронного комплекса (см. рис. 1). Для этого по параллельному алгоритму [6] вычисляются краевые координаты распознанной метки  $(x_1; y_1)$ ,  $(x_1; y_2)$ ,  $(x_2; y_1)$ ,  $(x_2; y_2)$  и её площадь:

$$(1) \quad S = (x_2 - x_1) \times (y_2 - y_1).$$

Переменная, определяющая  $Z$ -координату распознанной цветовой метки (расстояние от видеокамеры до цветовой метки), вычислялась в процессе калибровки видеокамеры. Для этого видеокамера фиксировалась на разных расстояниях от распознаваемой метки. Затем по формуле (1) вычислялась площадь цветовой метки. Процесс повторялся для значений расстояний камеры от распознаваемой метки в диапазоне от 5 до 200 см. Для вычисления  $Z$ -координаты был применен метод регрессионного анализа для ограниченного числа опытов:

$$(2) \quad Z = 1299,84 \times S^{-0,46}.$$

Далее КФС на основе вычисленных данных и модифицированного алгоритма  $A^*$  строит маршрут передвижения исполнительных механизмов мехатронного комплекса [9].

## 5. Заключение

В заключение можно отметить, что КФС, реализованная в рассмотренном мехатронном комплексе с системой стереозрения, представляет собой мощный инструмент для его управления. Это позволяет обеспечивать более точное и надежное управление исполнительными механизмами.

Дальнейшая разработка и исследование в области применения стереозрения в киберфизических системах включают распараллеливание вычислительного процесса определения пространственных координат объектов, расположенных вокруг роботизированного устройства, и реализация вычислительных процедур в ПЛИС.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-21-00055.

## Список литературы

1. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Милостная Н.А. Алгоритм построения 3d сцен распознанных объектов по картам глубин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023. Т. 27, № 2. С. 90-104. DOI 10.21869/2223-1560-2023-27-2-92-106.
2. Bobyr M., Arkhipov A., Emelyanov S., Milostnaya N. A method for creating a depth map based on a three-level fuzzy model // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105629>.
3. Бобырь М.В., Архипов А.Е., Милостная Н.А. Метод расчета карты глубин на основе мягких операторов // Системы и средства информатики. 2019. Т. 29, № 2. С. 71-84. DOI 10.14357/08696527190207.
4. Бобырь М.В., Титов В.С., Милостная Н.А. Прогнозирование работы мехатронных систем на основе мягких нечетких баз знаний. Часть 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 10. С. 8-14.
5. Бобырь М.В., Титов В.С., Милостная Н.А. Прогнозирование работы мехатронных систем на основе мягких нечетких баз знаний. Часть 2 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 11. С. 38-43.
6. Бобырь М.В., Милостная Н.А., Дородных А.А. Автоматизированная система распознавания цветовой метки в задаче детектирования объекта // Прикладная физика и математика. 2023. № 1. С. 3-11. DOI 10.25791/pfim.01.2023.1247.
7. Милостная Н.А. Исследование устойчивости нейро-нечеткой системы вывода, основанной на методе отношения площадей // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 3. С. 70-85. DOI 10.21869/2223-1560-2021-25-3-70-85.
8. Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Милостная Н.А. Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 4. С. 15-26.
9. Бобырь М.В., Крюков А.Г. Исследование свойств волнового алгоритма для нахождения маршрута передвижения роботов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 9. С. 21-29. DOI 10.25791/asu.9.2023.1458.