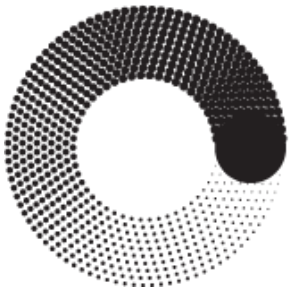
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ:

«Визуализация мониторинговых данных функционирования промышленного оборудования средствами дополненной реальности»

По дисциплине: «Технологии визуализации данных системы управления»

Группа	221-327
Студент	Шурова Д.С.
Дата	30.05.2025
Преподаватель	Логунова Е.А.

2025

Содержание

Цель работы

Разработать систему, отображающую параметры работы промышленного робота-манипулятора, в том числе планируемую траекторию движения, с использованием средств дополненной реальности.

Вариант 1.1

- Определить пространственную схему размещения визуальных элементов (виджетов) для отображения мониторинговых данных;
- Выполнить покадровое считывание методами openCV или AForgeNET;
- Распознать маркер на изображении, вычислить положение системы координат производственной ячейки относительно изображения (камеры);
- Считать данные с промышленного оборудования и системы управления (используя инструментарий PCDK или «Интернета вещей»), а также координаты узловых точек траектории движения (с поддержкой не менее 10 точек);
- Реализовать нанесение мониторинговых данных поверх изображения с учетом схемы размещения виджетов;
- Реализовать отображение планируемой траектории движения в координатной системе, связанной с опорой робота;
- Реализовать показ изображений и сохранения их в виде видеопоследовательности (видеофайла).

Ход работы

Приложение разработано на C# с использованием библиотек OpenCvSharp для обработки изображений и Windows Forms для создания графического интерфейса (Рисунок 1). Основные компоненты системы:

- Модуль захвата и обработки видеопотока;
- Детектор ArUco-маркеров;
- Калькулятор позиции робота в 3D-пространстве;
- Визуализатор траектории движения;
- Модуль записи результирующего видео.

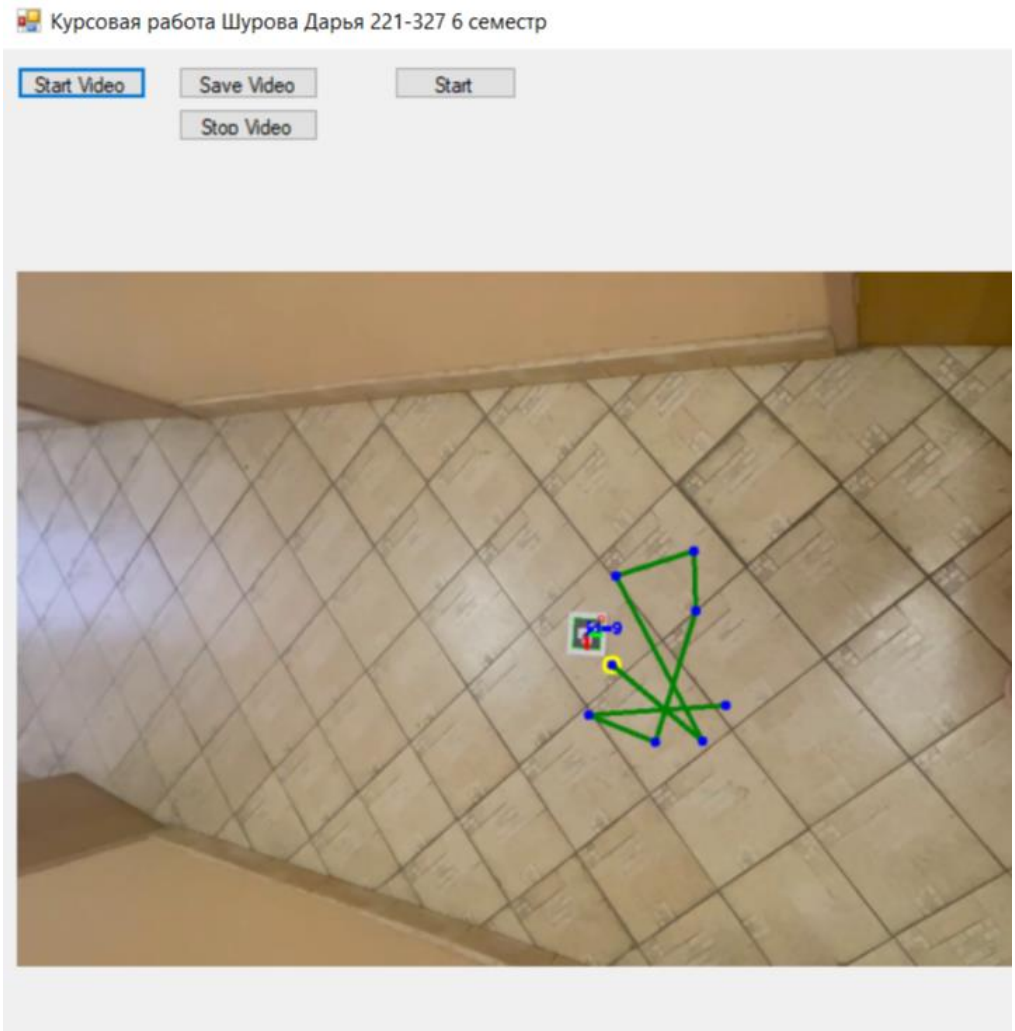


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Визуализация включает следующие элементы:

- Желтая точка: текущее положение робота в пространстве;
- Синие точки: узловые точки траектории движения;
- Зеленая линия: соединение точек траектории;
- Красная точка: анимированная текущая цель движения;
- Система координат: оси XYZ, отображающие ориентацию робота.

Элементы размещаются непосредственно на видеоизображении с учетом перспективы и положения камеры, создавая эффект дополненной реальности (Рисунок 2).

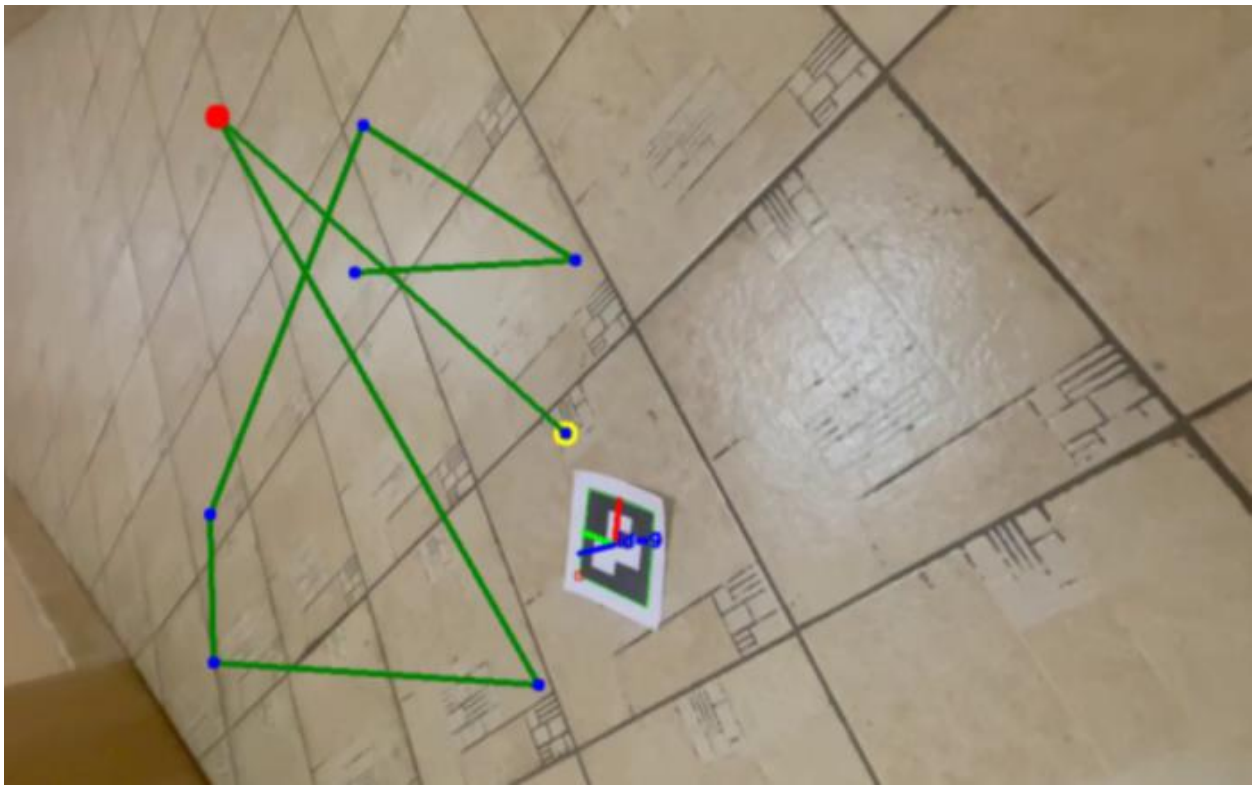


Рисунок 2 – Визуализация траектории

Система использует класс VideoCapture из OpenCvSharp для чтения видеофайлов форматов MP4 и AVI. В обработчике таймера (timer_Tick) реализовано (Рисунок 3):

- Последовательное считывание кадров;
- Проверка окончания видео;

- Передача кадра в конвейер обработки;
- Отображение результата в интерфейсе;
- Запись в выходной файл при активации записи.

Для определения позиции робота используется следующие ключевые параметры:

- Словарь маркеров: Dict4X4_50 (4x4 бит, 50 уникальных маркеров);
- Размер маркера: 0.1 метра;
- Матрица камеры и коэффициенты дисторсии предварительно калиброваны.

Траектория движения загружается из CSV-файла, связанного с видеофайлом. Формат данных:

1. Первая строка: абсолютные координаты робота (X,Y,Z);
2. Последующие строки: относительные координаты точек траектории.

Процесс отображения траектории включает:

1. Преобразование точек траектории в мировые координаты относительно робота;
2. Проецирование 3D-точек на 2D-плоскость изображения;
3. Отрисовку элементов.

Для визуализации движения по траектории реализована анимация:

- Перемещение красной точки по узлам траектории;
- Контроль скорости анимации через параметр framesPerPoint;
- Циклическое воспроизведение траектории.

Система обеспечивает запись результирующего видео с наложенной траекторией по нажатию кнопки старта записи видео и прекращается при нажатии стопа записи видео (Рисунок 3).

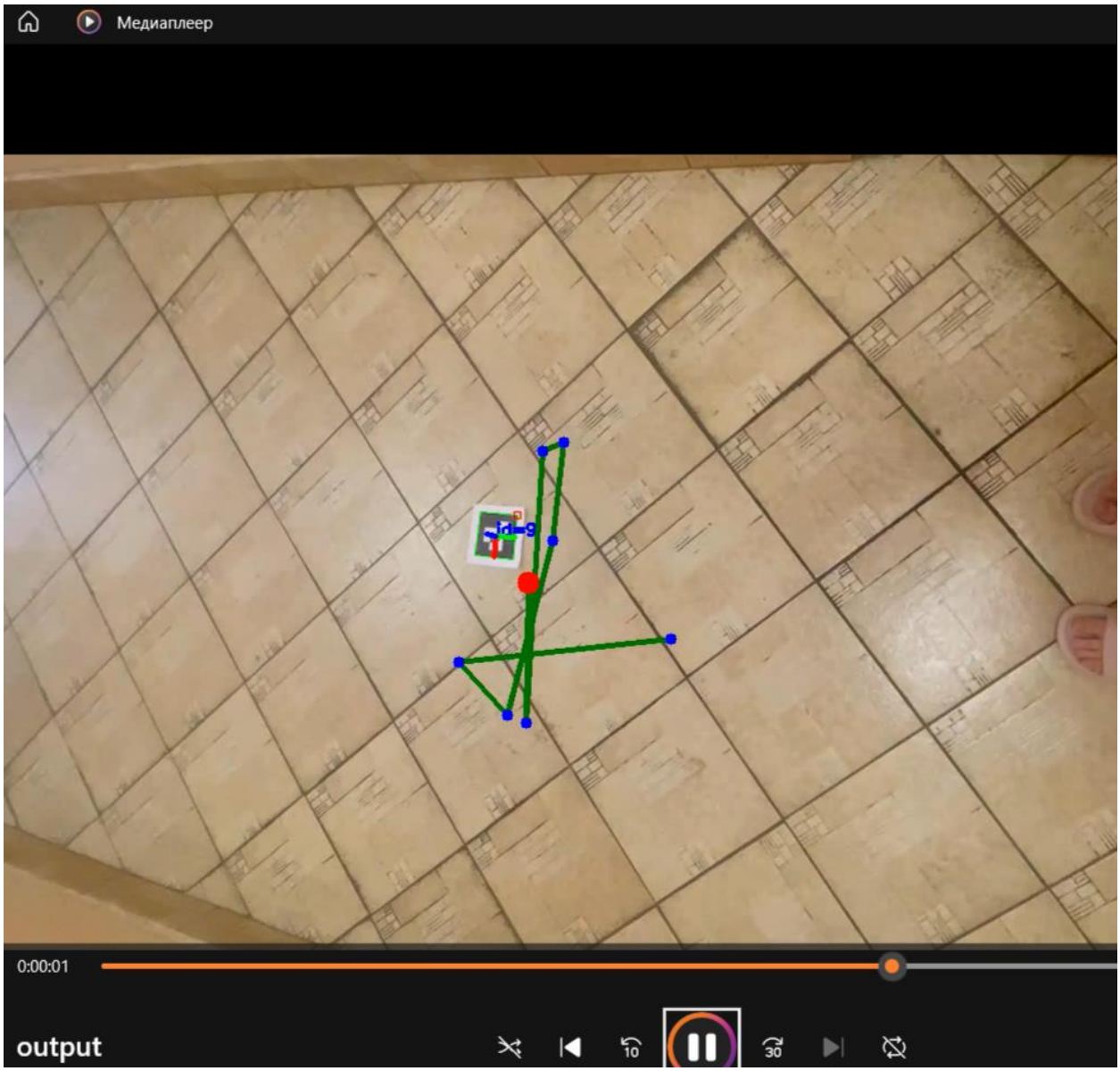


Рисунок 3 – Записанное видео

Вывод

Разработано приложение в C#, которое по загруженной карте, строит маршрут для движения робота, после чего начинается отправлять команды для симуляции.

Приложение А

Программный код

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
using System.Windows.Forms;
using OpenCvSharp;
using OpenCvSharp.Aruco;
using OpenCvSharp.Extensions;
using System.Globalization;
namespace CourseWorkTV
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        private VideoCapture capture;
        private Mat frame = new Mat();
        Dictionary ff = CvAruco.GetPredefinedDictionary(PredefinedDictionaryName.Dict4X4_50);
        private readonly Mat cameraMatrix;
        private readonly Mat distCoeffs;
        private Point3f robotPosition;
        private Mat robotRvec; // Вектор вращения робота
        private Mat robotTvec; // Вектор позиции робота
        private Point3f[] trajectoryPoints;
        private int currentPointIndex = -1;
        private bool animationStarted = false;
        private int frameCounter = 0;
        private const int framesPerPoint = 10;
        private VideoWriter videoWriter;
        private bool isRecording = false;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            // Инициализация матрицы камеры
            cameraMatrix = new Mat(3, 3, MatType.CV_32FC1);
            cameraMatrix.Set(0, 0, 1.35662728e+03f);
            cameraMatrix.Set(0, 1, 0f);
            cameraMatrix.Set(0, 2, 2.91998600e+02f);
            cameraMatrix.Set(1, 0, 0f);
            cameraMatrix.Set(1, 1, 1.37532524e+03f);
            cameraMatrix.Set(1, 2, 2.25387379e+02f);
            cameraMatrix.Set(2, 0, 0f);
            cameraMatrix.Set(2, 1, 0f);
            cameraMatrix.Set(2, 2, 1f);
            // Инициализация коэффициентов дисторсии
            distCoeffs = new Mat(14, 1, MatType.CV_32FC1);
            distCoeffs.Set(0, 0, -1.32575155e+00f);
            distCoeffs.Set(1, 0, -7.35188200e+00f);
            distCoeffs.Set(2, 0, 4.29782934e-02f);
            distCoeffs.Set(3, 0, 7.66436446e-02f);
            distCoeffs.Set(4, 0, 5.18928027e+01f);
            // Остальные коэффициенты (нули)
            for (int i = 5; i < 14; i++)
            {
                distCoeffs.Set(i, 0, 0f);
            }
        }

        private void loadVideo_Btn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog openFileDialog = new OpenFileDialog();
            openFileDialog.Filter = "Video Files|*.mp4;*.avi|All Files|*.*";
            if (openFileDialog.ShowDialog() == DialogResult.OK)
```

```
    {
        capture = new VideoCapture(openFileDialog.FileName);
        // Загружаем CSV по тому же пути
        LoadTrajectoryData(openFileDialog.FileName);
    }
    if (capture.IsOpened()) { timer.Start(); }
}
private void timer_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    if (capture == null || !capture.IsOpened()) return;
    capture.Read(frame);
    if (frame.Empty())
    {
        timer.Stop();
        return;
    }
    // Обработка кадра с обнаружением маркера
    Mat processedFrame = ProcessFrame(frame);
    videoBox.Image = processedFrame.ToBitmap();
    // Управление анимацией
    if (animationStarted && trajectoryPoints != null && trajectoryPoints.Length > 0)
    {
        frameCounter++;
        if (frameCounter >= framesPerPoint)
        {
            frameCounter = 0;
            currentPointIndex = (currentPointIndex + 1) % trajectoryPoints.Length;
        }
    }
    // Записываем ОБРАБОТАННЫЙ кадр с траекторией
    if (isRecording && videoWriter.IsOpened())
    {
        videoWriter.Write(processedFrame); // Важно: используем processedFrame вместо
      frame!
    }
}
private Mat ProcessFrame(Mat inputFrame)
{
    Mat outputFrame = inputFrame.Clone();
    var detectorParameters = new DetectorParameters();
    detectorParameters.CornerRefinementMethod = CornerRefineMethod.Subpix;
    CvAruco.DetectMarkers(
        outputFrame,
        ff,
        out Point2f[][] corners,
        out int[] ids,
        detectorParameters,
        out _
    );
    if (ids != null && ids.Length > 0)
    {
        float markerSize = 0.1f;
        Mat rvec = new Mat();
        Mat tvec = new Mat();
        CvAruco.EstimatePoseSingleMarkers(
            corners,
            markerSize,
            cameraMatrix,
            distCoeffs,
            rvec,
            tvec
        );
        // Сохраняем позицию робота (предполагаем, что маркер на роботе)
        robotRvec = rvec.Clone();
```

```
            robotTvec = tvec.Clone();
            CvAruco.DrawDetectedMarkers(outputFrame, corners, ids);
            Cv2.DrawFrameAxes(outputFrame, cameraMatrix, distCoeffs, rvec, tvec, markerSize *
          0.5f);
            // Рисуем траекторию относительно робота
            if (robotRvec != null && robotTvec != null)
            {
                DrawTrajectory(outputFrame, robotRvec, robotTvec);
            }
        }
        return outputFrame;
    }
    private void DrawTrajectory(Mat frame, Mat arucoRvec, Mat arucoTvec)
    {
        if (trajectoryPoints == null || trajectoryPoints.Length == 0) return;
        Mat rotationMatrix = new Mat();
        Cv2.Rodrigues(arucoRvec, rotationMatrix);
        Point3f[] robotPos = new Point3f[] { new Point3f(robotPosition.X, robotPosition.Y,
          robotPosition.Z) }; // т.к. Tvec уже — позиция робота
        Mat projectedRobot = new Mat();
        Cv2.ProjectPoints(
            InputArray.Create(robotPos),
            InputArray.Create(arucoRvec),
            InputArray.Create(arucoTvec),
            InputArray.Create(cameraMatrix),
            InputArray.Create(distCoeffs),
            projectedRobot
        );
        Point2f[] projectedRobotPoints;
        projectedRobot.GetArray(out projectedRobotPoints);
        // Рисуем жёлтую точку на изображении
        Cv2.Circle(
            frame,
            new OpenCvSharp.Point(
                (int)projectedRobotPoints[0].X,
                (int)projectedRobotPoints[0].Y),
            10,
            Scalar.Yellow,
            -1
        );
        // Смещаем точки траектории относительно текущей позиции маркера (робота)
        Point3f[] objectPoints = new Point3f[trajectoryPoints.Length];
        for (int i = 0; i < trajectoryPoints.Length; i++)
        {
            objectPoints[i] = new Point3f(
                robotPosition.X + trajectoryPoints[i].X,
                robotPosition.Y + trajectoryPoints[i].Y,
                robotPosition.Z + trajectoryPoints[i].Z);
        }
        Mat imagePointsMat = new Mat();
        Cv2.ProjectPoints(
            InputArray.Create(objectPoints),
            InputArray.Create(arucoRvec),
            InputArray.Create(arucoTvec),
            InputArray.Create(cameraMatrix),
            InputArray.Create(distCoeffs),
            imagePointsMat
        );
        Point2f[] projectedPoints;
        imagePointsMat.GetArray(out projectedPoints);
        // Отрисовка линии траектории
        for (int i = 0; i < projectedPoints.Length - 1; i++)
        {
            Cv2.Line(frame,
```

```
            new OpenCvSharp.Point(projectedPoints[i].X, projectedPoints[i].Y),
            new OpenCvSharp.Point(projectedPoints[i + 1].X, projectedPoints[i + 1].Y),
            Scalar.Green,
            3
        );
    }
    // Отрисовка точек траектории
    foreach (var pt in projectedPoints)
    {
        Cv2.Circle(frame,
            new OpenCvSharp.Point((int)pt.X, (int)pt.Y),
            5,
            Scalar.Blue,
            -1
        );
    }
    // ● Анимация текущей точки (красная)
    if (animationStarted && currentPointIndex >= 0 && currentPointIndex <
      projectedPoints.Length)
    {
        var p = projectedPoints[currentPointIndex];
        Cv2.Circle(frame, new OpenCvSharp.Point((int)p.X, (int)p.Y), 10, Scalar.Red, -1);
    }
}
private void LoadTrajectoryData(string videoPath)
{
    string csvPath = "C:\\Users\\LENOVO\\Desktop\\proga6\\troectory.csv";
    if (!File.Exists(csvPath)) return;
    var lines = File.ReadAllLines(csvPath);
    if (lines.Length < 2) return;
    // Позиция робота (первая строка)
    var robotCoords = lines[0].Split(',');
    robotPosition = new Point3f(
        float.Parse(robotCoords[0], CultureInfo.InvariantCulture),
        float.Parse(robotCoords[1], CultureInfo.InvariantCulture),
        float.Parse(robotCoords[2], CultureInfo.InvariantCulture));
    trajectoryPoints = new Point3f[lines.Length - 1];
    for (int i = 1; i < lines.Length; i++)
    {
        var coords = lines[i].Split(',');
        trajectoryPoints[i - 1] = new Point3f(
            float.Parse(coords[0], CultureInfo.InvariantCulture), // Было robotCoords[0]
            float.Parse(coords[1], CultureInfo.InvariantCulture), // Было robotCoords[1]
            float.Parse(coords[2], CultureInfo.InvariantCulture)); // Было robotCoords[2]
    }
}
private void startBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (trajectoryPoints == null || trajectoryPoints.Length == 0)
    {
        MessageBox.Show("Загрузите видео с CSV-файлом траектории!");
        return;
    }
    animationStarted = true;
    currentPointIndex = 0;
    frameCounter = 0;
}
Queue<Point3f> recentPositions = new Queue<Point3f>();
const int SmoothWindow = 10;
Point3f Smooth(Point3f newPos)
{
    recentPositions.Enqueue(newPos);
    if (recentPositions.Count > SmoothWindow)
        recentPositions.Dequeue();
```

```
            float sumX = 0, sumY = 0, sumZ = 0;
            foreach (var p in recentPositions)
            {
                sumX += p.X;
                sumY += p.Y;
                sumZ += p.Z;
            }
            return new Point3f(sumX / recentPositions.Count, sumY / recentPositions.Count, sumZ /
              recentPositions.Count);
        }
        private void button_SaveVideo_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            int width = frame.Width;
            int height = frame.Height;
            int fps = 30; // Частота кадров
            string outputPath = "D:\\Codes\\CourseWorkTV\\output.avi";
            videoWriter = new VideoWriter(
                outputPath,
                FourCC.MJPG, // можно заменить на FourCC.XVID
                fps,
                new OpenCvSharp.Size(width, height)
            );
            isRecording = true;
        }
        private void buttonStopVideo_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            isRecording = false;
            if (videoWriter != null)
            {
                videoWriter.Release();
                videoWriter.Dispose();
            }
        }
    }
}
```