



Система навигации автономного мобильного робототехнического комплекса

Работу выполнил: Миронов С.В., студент кафедры ИУ4
МГТУ им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Курносенко А.Е., ст. преподаватель кафедры ИУ4
МГТУ им.Н.Э.Баумана

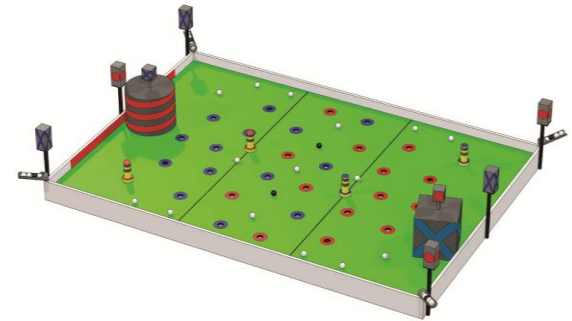
Рецензент: Салмина М.А., к.ф.-м.н., с.н.с. Института Механики МГУ

2007 г.



Предметная область

Соревнования “Eurobot 2006”:



В ходе одного раунда соревнований, два робота должны набрать максимальное количество очков за 90 секунд. На последних соревнованиях, в задачу робота входили: сбор, сортировка, сброс объектов различного типа: банок, бутылок, батареек, отличающихся друг от друга по форме и цвету.

Размер полигона: _____ 300 x 210 мм.

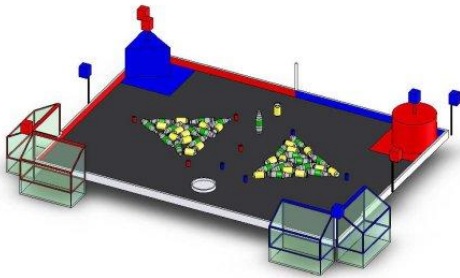
Макс. периметр робота: _____ 120 см

Длительность раунда: _____ 90 сек

Количество роботов: _____ 2

Макс. количество маяков: _____ 3

Соревнования “Eurobot 2007”:





Задачи системы навигации

Выполняемые задачи:

- Распознавание объектов окружающей среды;
- Вычисление координат объектов в системе координат, связанной с роботом;
- Определении пройденного пути, текущих координат робота, навигация по карте;
- Распределение приоритетов данных, поступивших из разных источников;
- Формирование и отправка команд модулям нижних уровней
- Отображение положения робота на дисплее, вывод отладочной информации

Основные разработанные алгоритмы:

- Алгоритм калибровки и компенсации дисторсии камеры
- Алгоритм распознавания и определения локальных координат объектов
- Алгоритм интегрирования данных одометрии
- Система принятия решений, продукционная модель.



Оборудование - робот «Евронус»

Материнская плата:
iEi Nano-7270, EPIC
Intel Celeron 600 МГц
ОЗУ 512 Мб

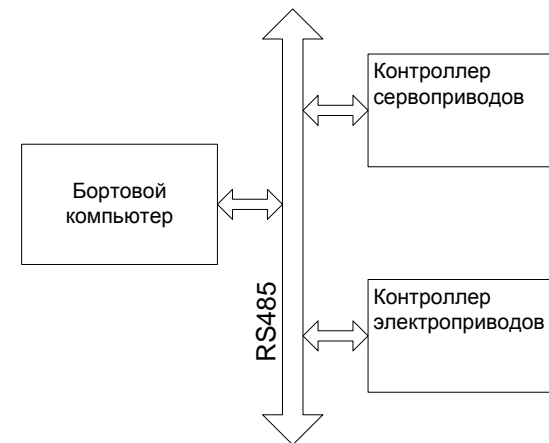
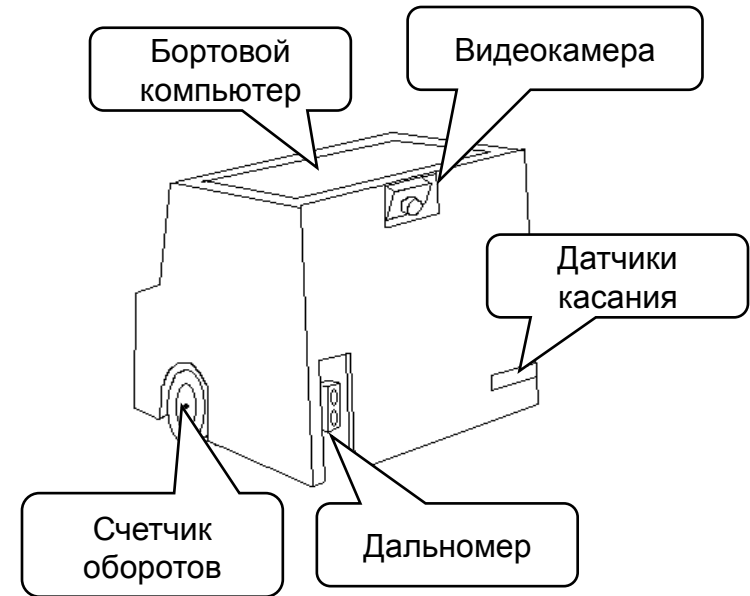
Плата видеозахвата:
iEi PM-1056, PAL

Сообщение контроллеров и бортового компьютера осуществляется через интерфейс RS485 (модифицированный протокол STX/ETX). Соединение общей шиной по схеме «master-slave».

Напряжение питания: 12В, потребляемый ток: 1,4А

Дальномер:
Sharp GP2Y0A02YK0F
дальность: 20-150 см.

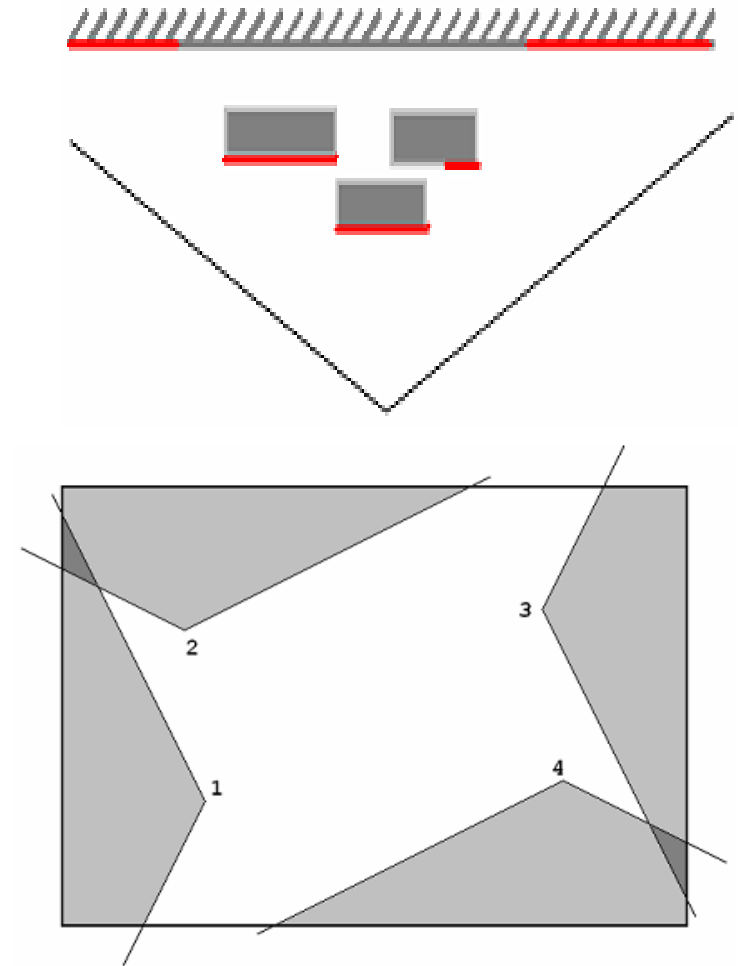
Видеокамера:
Угол обзора 70
градусов,
формат PAL-B





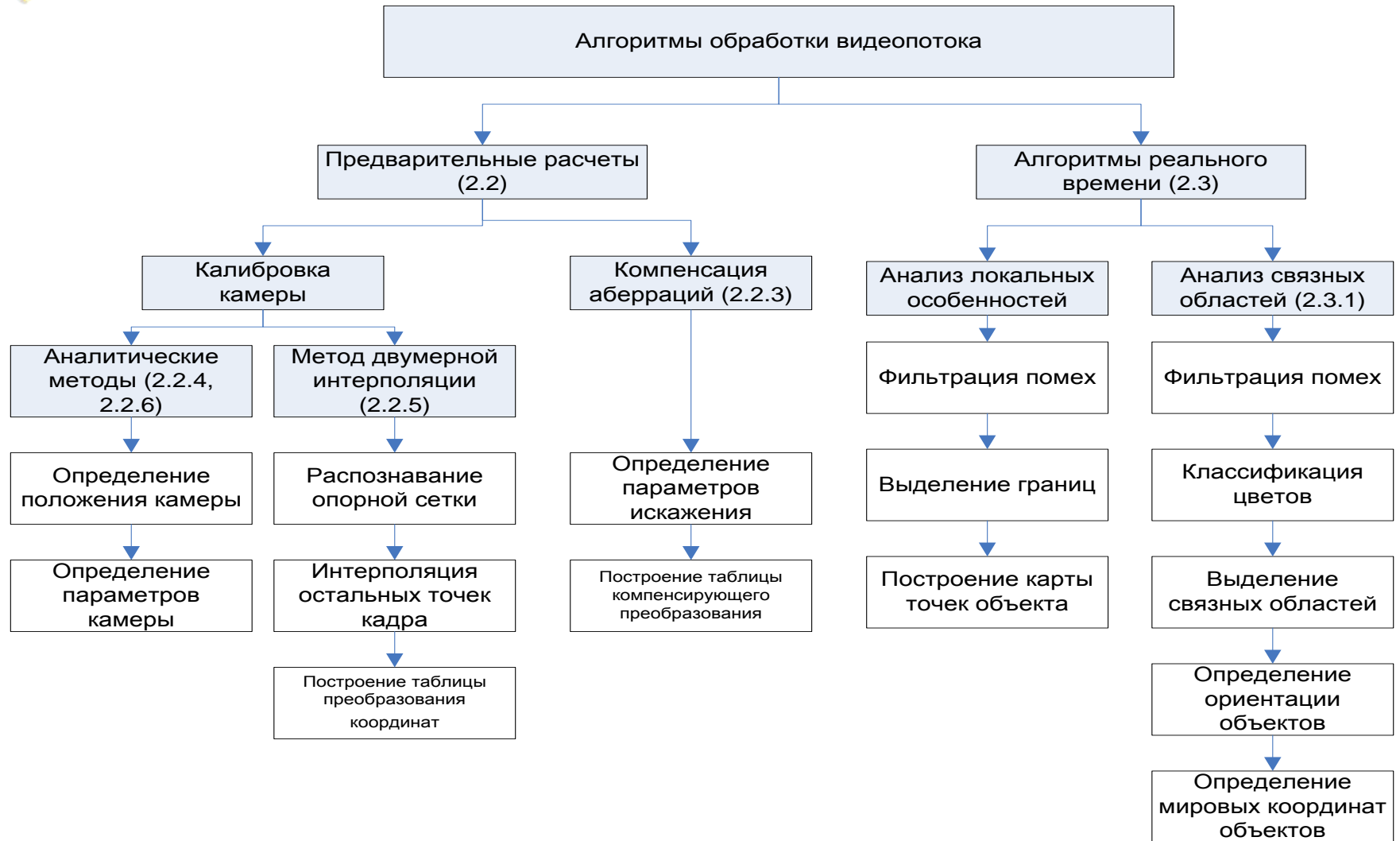
Дальномер

1. Кластеризация точек: разбиение на группы по принципу близости. Удаление небольших кластеров
2. Линеаризация – приближение каждого кластера точек прямой линией или парой прямых.
3. Группировка кластеров, образующих линию или прямой угол.
4. Поиск группы, лучше всего соответствующей стене или углу полигона





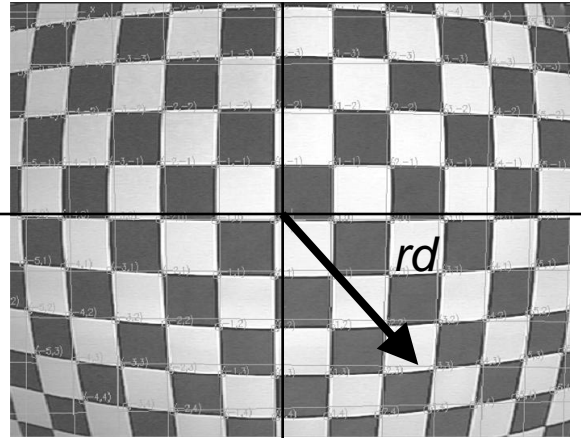
Классификация алгоритмов обработки видеопотока



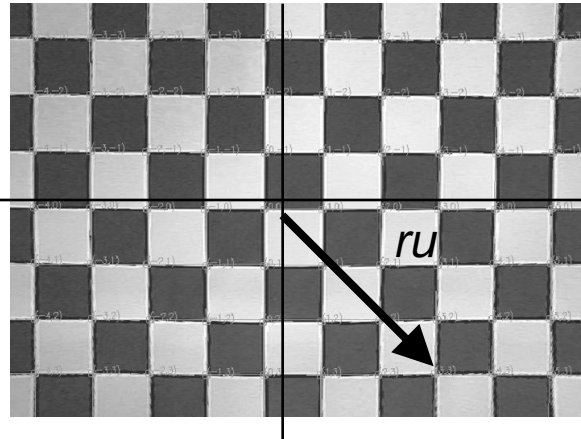


Компенсация дисторсии

Исходное изображение:



Результат работы алгоритма:



На выходе платы видеозахвата, изображение искажено. Основное искажение – радиальная дисторсия. Так как некоторым алгоритмам необходимо гладкое изображение, выполнялась её компенсация.

Модель бочкообразной радиальной дисторсии:

$$r_u = r_d + \frac{k_3 \cdot r_d^3}{s^2}$$

k_3 – к-т дисторсии; s – масштаб изображения;

Критерий минимизации – показатель отклонения линий от прямых:

$$err = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^L \left[\frac{1}{(N_j - 2)} \sum_{i=0}^{N_j} dist(p_{ij}, line_j)^2 \right]$$

L – количество прямых; N – количество точек в прямой

до обработки: $err=5,63$; после обработки: $err=0,69$



Калибровка камеры. Математическая модель точечной камеры

Калибровка камеры – построение соответствия экранных координат изображений точек мировым координатам оригиналов:

$$z \cdot m = A \cdot [R | t] \cdot M$$

$$z \cdot \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{f}{s_x} & 0 & c_x \\ 0 & \frac{f}{s_y} & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(x, y, z) – координаты точки M в трехмерном пространстве

$(f_x/z, f_y/z)$ – координаты точки m на изображении

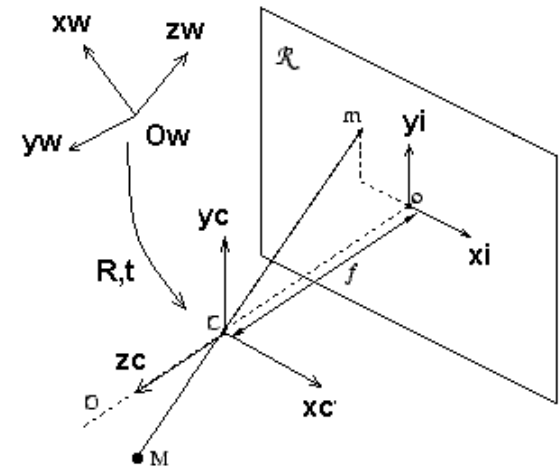
f_x, f_y – фокусное расстояние, в точках, вдоль оси x_i и y_i

R – матрица поворота глобальной системы координат

t – вектор сдвига глобальной системы координат

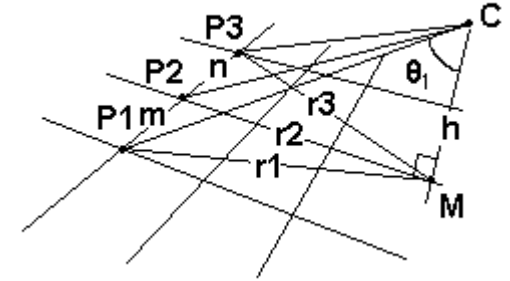
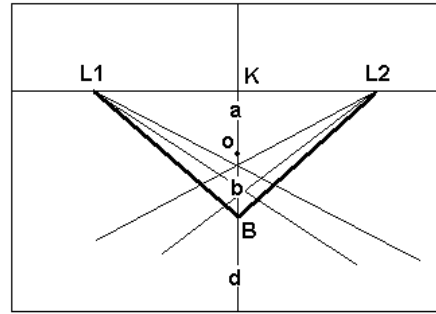
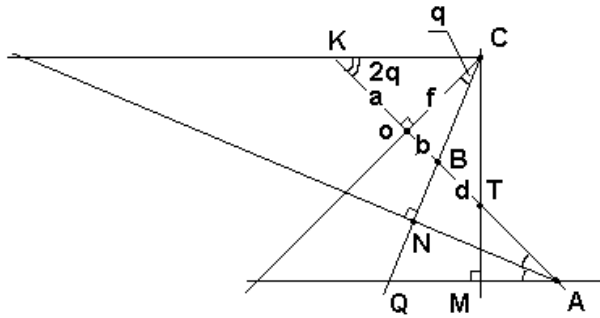
A – матрица перспективного преобразования

s_x, s_y – положение точки - начала координат изображения





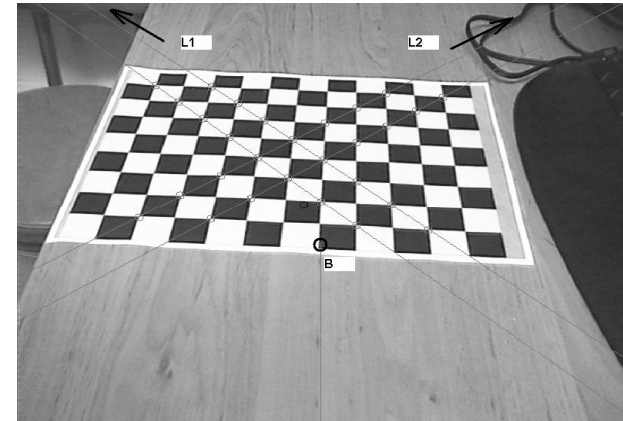
Калибровка камеры, Аналитический метод.



$$f^2 = 2 \cdot a \cdot b + b^2 \quad \alpha = \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$c_3 = \frac{\operatorname{tg}(\theta_3)}{\operatorname{tg}(\theta_1)} \quad c_2 = \frac{\operatorname{tg}(\theta_2)}{\operatorname{tg}(\theta_1)} \quad r_1^2 = \frac{m^2 \cdot n + m \cdot n^2}{n + m \cdot c_3^2 - n \cdot c_2^2 - c_2^2 \cdot m}$$

Метод позволяет определить параметры камеры (координаты, угол наклона, эффективное фокусное расстояние) по одному изображению шахматной доски без дополнительных измерений. Искажения изображения сильно влияют на точность определения параметров.

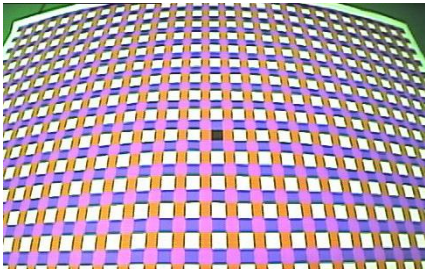


Изображение с нанесенными направлениями к горизонту и точкой пересечения фотоматрицы и плоскости AN (см. рис. выше)

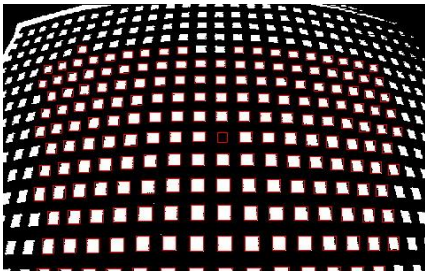


Калибровка камеры. метод двумерной линейной интерполяции

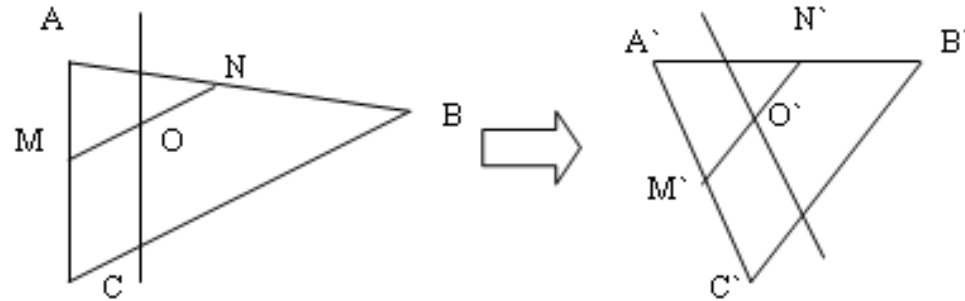
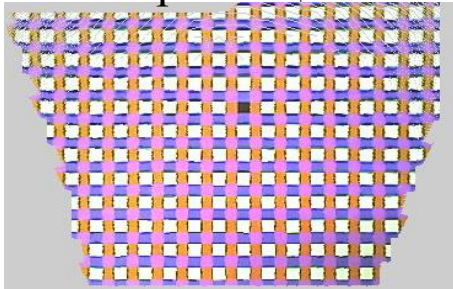
1. Исходный кадр



2. Выделение точек



3. Интерполяция



Метод прост в применении и позволяет получить таблицу соответствия координат для большинства точек изображения. Лист бумаги должен полностью находиться в области видимости камеры.

Мировые координаты точки O определяются из известных мировых и координат (A', B', C') и экранных координат (A, B, C) центров белых квадратов и инвариантных пропорций AM/MS и MO/ON .

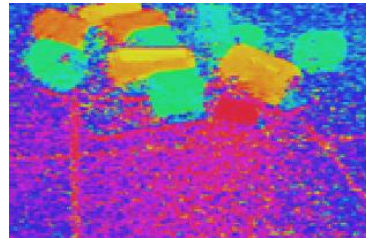


Распознавание объектов. Цветовое пространство HSL.

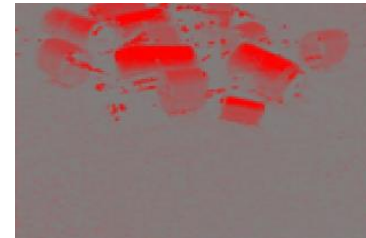
Первый этап распознавания объектов – классификация цветов. Для этого удобнее перевести все точки изображения в координаты HSL.



Исходное изображение



Оттенок



Насыщенность



Яркость

$$h = \begin{cases} \text{не определено, если } \min = \max \\ 60 \times \frac{g - b}{\max - \min}, \text{ если } \max = r \text{ и } g \geq b \\ 60 \times \frac{g - b}{\max - \min} + 360, \text{ если } \max = r \text{ и } g < b \\ 60 \times \frac{b - r}{\max - \min} + 120, \text{ если } \max = g \\ 60 \times \frac{r - g}{\max - \min} + 240, \text{ если } \max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0, \text{ если } l = 0 \text{ или } \max = \min \\ \frac{\max - \min}{2l}, \text{ если } l \leq 0.5 \\ \frac{\max - \min}{2 - 2l}, \text{ если } l > 0.5 \end{cases}$$

$$l = \frac{1}{2}(\max + \min)$$

\max и \min – наибольшая и наименьшая из компонент RGB соответственно .

Цветовое пространство HSL - Hue, Saturation, Lightness (Оттенок, Насыщенность, Яркость)



Распознавание объектов. Выделение связных областей, определение ориентации главной оси.

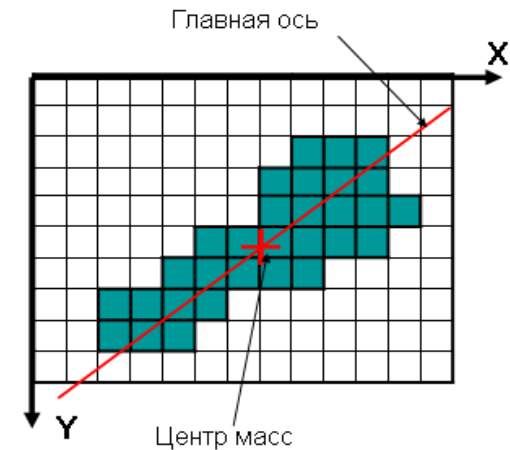
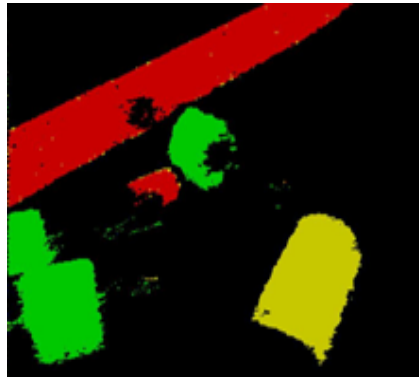
Решение объект/шум принимается исходя из цвета области, её размеров в мировой СК, меры вытянутости.

Моменты инерции:

$$m_{ij} = \sum_{x,y \in S} x^i y^j B(x, y)$$

Угол наклона главной оси:

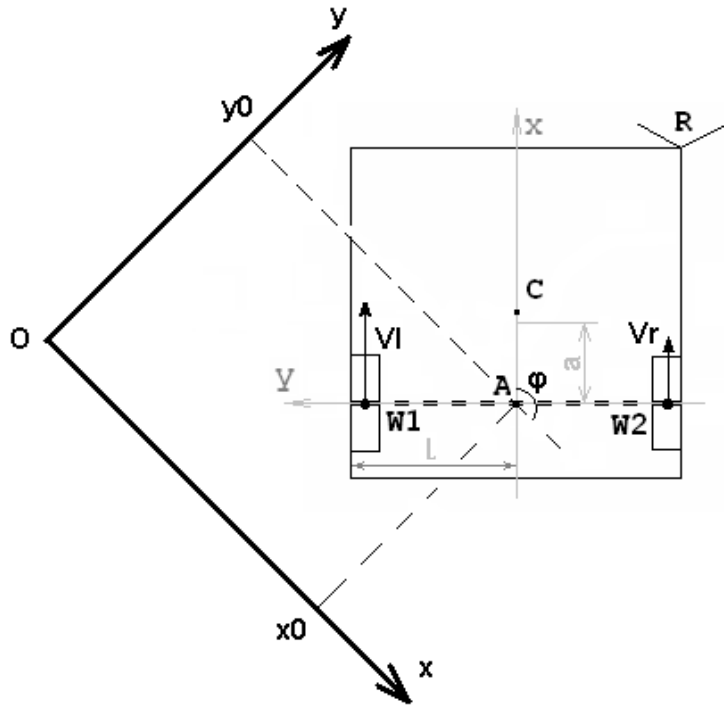
$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}\right)$$



$m_{i,j}$ – дискретный момент области изображения; x, y – координаты точки на изображении; $B(x,y)$ – яркость точки изображения с координатами x, y ; θ – угол наклона главной оси объекта по отношению к оси Ox изображения



Навигация по счетчикам импульсов. Схема ходовой части.



На мобильном роботе установлены два датчика, измеряющие угловую скорость вращения ведущих колес. При отсутствии проскальзывания и деформаций колес, можно измерить скорость вращения каждого колеса.

V_r V_l – скорости правого и левого колес, l – половина расстояния между колесами. φ – угол поворота робота

Точка А – центр локальной системы координат, жестко связанной с роботом

Точка С – геометрический центр робота. Точка О – центр глобальной СК, обычно связанной с точкой старта робота.



Навигация по счетчикам импульсов. Интегрирование пройденного пути.

Линейная и угловая скорость робота может вычислена по данным счетчиков импульсов на правом и левом колесах

$$V = \frac{1}{2}(V_R + V_L), \quad \Omega = \frac{1}{2l}(V_R - V_L).$$

Кинематические уравнения, связывающие обобщенные скорости:

$$\dot{x} = V \cos \varphi, \quad \dot{y} = V \sin \varphi, \quad \dot{\varphi} = \Omega.$$

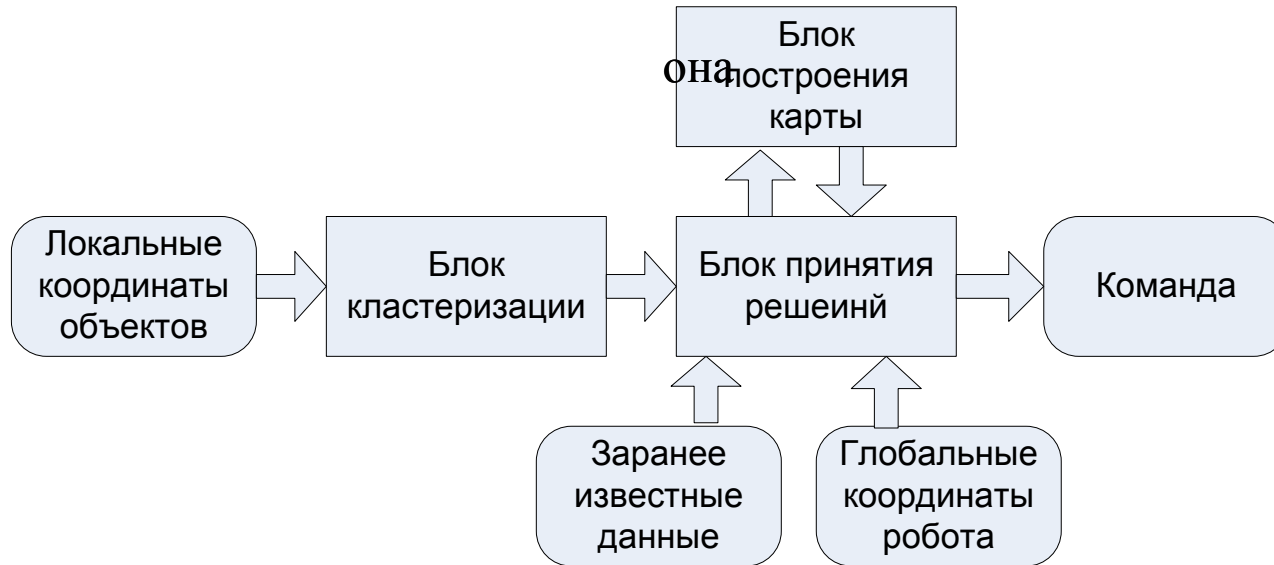
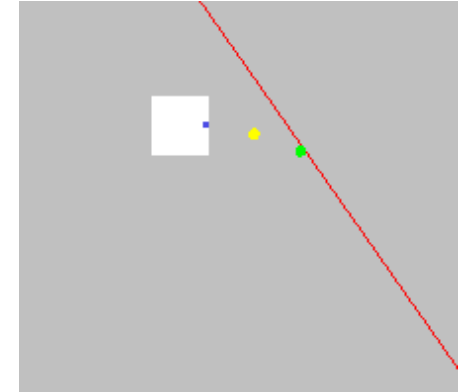
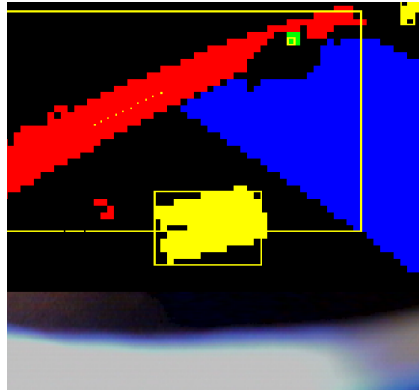
Итоговая система уравнений, интегрируя которые, получим значения координат и угла поворота робота:

$$\dot{x}' = \frac{1}{2}(V_R' + V_L') \cos \varphi', \quad \dot{y}' = \frac{1}{2}(V_R' + V_L') \sin \varphi',$$

$$\dot{\varphi}' = \frac{1}{2l}(V_R' - V_L'),$$



Построение карты.





Пример – описание модуля верхнего уровня.

```
bool init(rfloat m)
{
    object<SCHEMA(SSensors)>("Sensors")
        .type(CLSID(Sensors))
        .data<SCHEMA(SSensors)::P_RENDER_MODE>
            (m_render_mode);

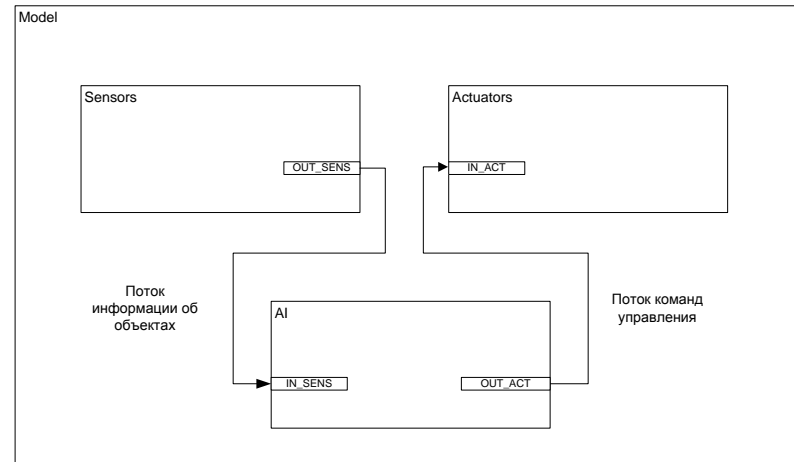
    object<SCHEMA(SAIModel)>("AI")
        .type(CLSID(AI));

    object<SCHEMA(SActuatorsModel)>("Actuators")
        .type(CLSID(Actuators));

    intLink(1) = Link(
        Connector("Sensors",
            SCHEMA(SSensorsModel)::OUT_SENSOR),
        Connector("AI",
            SCHEMA(SAIModel)::IN_SENSOR));

    intLink(2) = Link(
        Connector("AI",
            SCHEMA(SAIModel)::OUT_ACTUATOR),
        Connector("Actuators",
            SCHEMA(SActuatorsModel)::IN_ACTUATOR));

    return true;
}
```





Результаты

- Реализован набор алгоритмов, позволяющих анализировать данные, поступающие из разных источников информации.
 - Разработаны 3 метода калибровки камеры,
 - Реализован алгоритм компенсации дисторсии объектива
 - Разработана система распознавания объектов, согласно регламенту соревнований «Евробот»
 - Разработана система принятия решений, построенная по продукционной модели.
- Разработана программная модель, основанная на системе вложенных иерархических классов, связывающая компоненты системы. Программа обладает возможностью распределенного запуска.
- Система развернута и опробована на робототехническом комплексе «Евронус», принимавшем участия в соревнованиях «Евробот». Время отклика системы составило меньше 1 сек. Время обработки одного кадра составило 0,017 сек.



Спасибо за внимание

Публикации по теме диссертации:

В ходе выполнения проекта и сбора материала, были опубликованы следующие работы:

1. Козорезов Ю.Ю., Миронов С.В., Трушкин Ф.А., Юдин А.В. Автономный мобильный робот-гольфист: программно-аппаратный комплекс // Конференция «Мобильные роботы и мехатронные системы 2006». – Сборник научных трудов. Москва, 23-27 октября 2006 г. С. 193 - 202
2. Миронов С.В., Трушкин Ф.А. Система анализа визуальных данных мобильного робототехнического комплекса // Конференция «Мобильные роботы и мехатронные системы 2006». – Сборник научных трудов. Москва, 23-27 октября 2006 г. С. 211-217
3. Миронов С.В. Универсальная система управления робототехническим комплексом // Молодежная научно-техническая конференция учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2004". 21-22 апреля 2004 г. С. 117 – 124