

УДК 623.746.-519

**Разработка оптико-электронной системы барражирующей крылатой ракеты.
Концептуальная модель**

*Прошин Д.И., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Аэрокосмический факультет, кафедра «Системы автоматизированного управления»*

*Научный руководитель: Жигулёвцев Ю.Н., к.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

Оптико-электронная система является составной частью барражирующей крылатой ракеты и определяет одну из важнейших её задач – мониторинг окружающего пространства. Осуществляя наблюдение за определённой областью пространства, данная система осуществляет поиск наиболее приоритетных с точки поставленной задачи объектов. В подавляющем большинстве случаев наблюдение за окружающим пространством осуществляет человек-оператор, дистанционно контролирующий работу системы и занимающийся обнаружением и идентификацией объектов. Однако, в ряде случаев участие человека может оказаться неприменимым. Для подобных ситуаций может быть использована оптико-электронная система, оснащённая системой распознавания объектов.



Рис. 1. Общий вид оптико-электронной системы

Задачи оптико-электронной системы:

- Ведение наблюдения за указанной областью,
- Своевременное обнаружение объектов,
- Классификация обнаруженных объектов,
- Сохранение направления линии обзора вне зависимости от манёвров БКР,
- Целеуказание обнаруженных объектов для дальнейшего наведения противокорабельных ракет

В данном конкретном случае оптико-электронная система рассматривается как часть проектируемой БКР и тесно взаимодействует с её подсистемами [9,10]. Располагаться оптико-электронная система может как в носовой части, так и под фюзеляжем. Первый вариант, несмотря на несколько нетипичную для подобных аппаратов конструкцию, имеет значительный преимущества с точки зрения аэродинамики, но при этом не сильно отличается по углам обзора. Общая компоновка БКР и место расположения оптико-электронной системы представлены на рис.2.

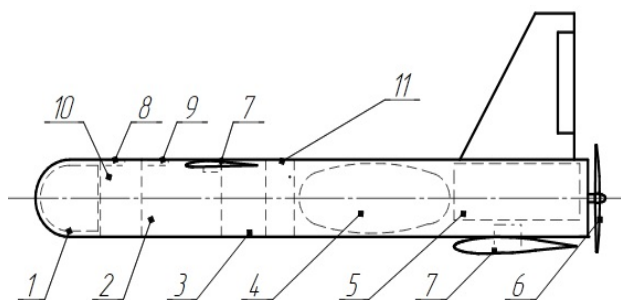


Рис. 2. Компоновочная схема БКР

1. Оптико-электронная система поиска и обнаружения целей.
2. Бортовая аппаратура системы управления.
3. Аппаратура навигационной системы.
4. Топливный бак.
5. Поршневой двигатель.
6. Толкающий винт.
7. Силовые приводы развёртывания крыла
8. Антенна передающая.
9. Антенна передающая.
10. Блок подсистемы распознавания целей.
11. Бортовая электросистема.

Оптико-электронная система тесно связана с БЦВМ и навигационной подсистемами, однако может работать и автономно. В частности, от БЦВМ БКР система получает команды управления для наведения на объект или для реализации алгоритма осмотра определённой области. [9,10] Данные от навигационной системы помогают в реализации алгоритмов стабилизации. Получая информацию об угловом положении БКР, система стабилизации позволяет выдерживать необходимый угол отклонения головки оптико-электронной системы и осуществлять наблюдение за конкретной областью пространства даже при маневрировании. Принципиальная схема устройства оптико-электронной системы представлена на рис.3:

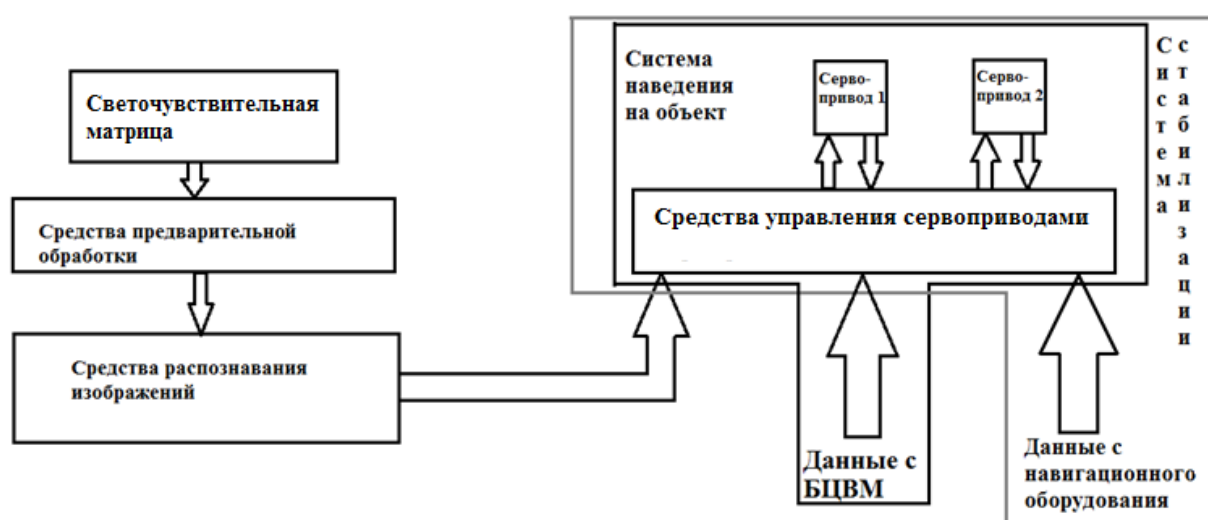


Рис. 3. Принципиальная схема оптико-электронной системы

В процессе курсового и дипломного проектирования был разработан макет данной системы, сумевший реализовать её основные функции. Его принципиальная схема представлена на Рис.4. Для решения задач распознавания объекта и поиска его на изображении необходимо использование специальных вычислителей. В данной работе в качестве него используются мощности персонального компьютера. Сделано это по следующим соображениям:

- Решение задач подключения периферийной аппаратуры;
- Возможность наглядной демонстрации работы алгоритмов и их последующая модификация и исследование.

В дальнейшей работе над системой предполагается полный отказ от использования ПК и создание полностью автономной системы распознавания объектов и выдачи соответствующего отклика на них.

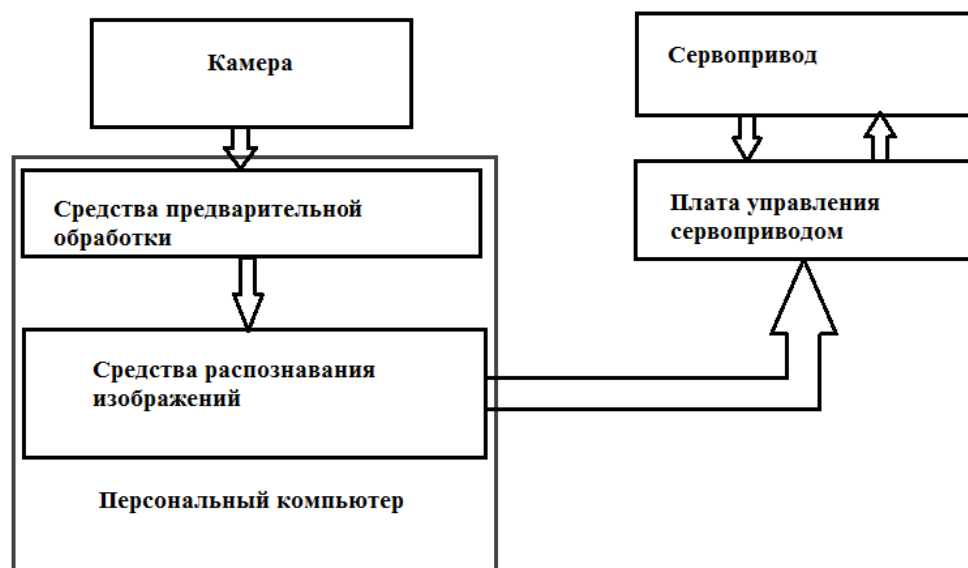


Рис. 4. Принципиальная схема опто-электронной системы на данном этапе разработки

В ходе реализации данного проекта вместо электродвигателя был применён сервопривод, обладающий рядом преимуществ и сильно упрощающий конструкцию. Сервопривод — привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения [4]. Сервоприводом является любой тип механического привода, имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т. п.) и блок управления приводом (электронную схему или механическую систему тяг), автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике (и, соответственно, на устройстве) согласно заданному внешнему значению (положению ручки управления или численному значению от других систем). Проще говоря, сервопривод является «автоматическим точным исполнителем» — получая на вход значение управляющего параметра (в режиме реального времени), он «своими силами» (основываясь на показаниях датчика) стремится создать и поддерживать это значение на выходе исполнительного элемента.



Рис. 5. Структурная схема сервопривода

Таким образом, используемый сервопривод способен заменить ряд элементов системы управления оптической системой, и задача управления частично сводится к управлению сервоприводом.



Рис. 6. Структурная схема следящей системы в «классическом» варианте

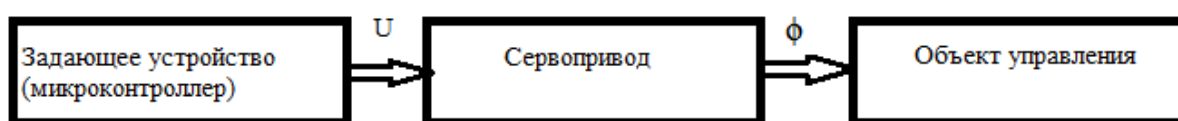


Рис. 7. Структурная схема усовершенствованной системы

Техническая реализация системы управления положением оптической системы сводится к управлению положением электродвигателя. В качестве элемента управления для данной задачи была выбрана программируемая ЭВМ «Freeduino v1.6» - аналог широко известной платформы «Arduino Duemilanove» [1]. Данная ЭВМ является многофункциональным устройством, приспособленным для решения широкого круга самых разноплановых задач, потому её применение в курсовом проекте было принято считать целесообразным.

Объединение «Freeduino» и сервопривода составляет аппаратную часть реализуемой системы. В её задачу входит:

- Обеспечение поворота оптической головки на заданный угол
- Сохранение положения оптической головки относительно земли при внешних воздействиях или/и изменении углового положения БКР;

Отличительной особенностью разрабатываемой оптико-электронной системы является алгоритм распознавания изображений, а именно алгоритм fern, основанный на поиске объектов на представленном изображении [6]. Пошагово алгоритм можно представить следующим образом:

1. Предобработка изображения (выравнивание яркости, выделение контуров, изменение размеров, обесцвечивание);
2. Выделение локальных особенностей. (local descriptors/features, keypoints);

3. Обучение классификатора.
4. Предобработка текущего изображения;
5. Извлечение ключевых точек;
6. Распознавание ключевых точек классификатором;
7. Использование полученных результатов.

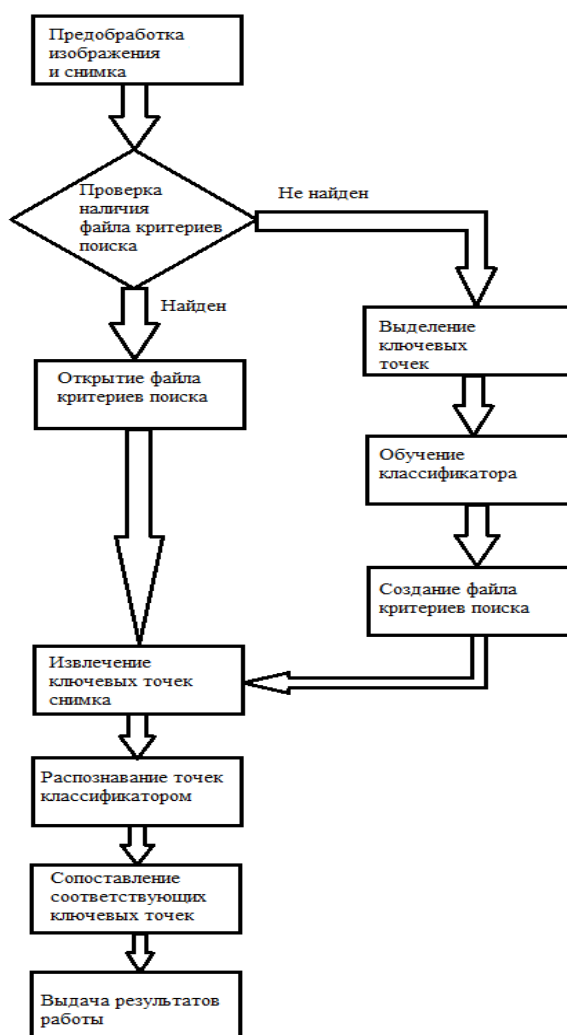


Рис. 8. Блок-схема алгоритма распознавания объекта

В основе самой программы распознавания лежат три ключевых момента, определяющие саму структуру алгоритма:

1. Детектирование ключевых точек;
2. Обучение классификатора;
3. Создание fern'ов.

Ключевыми точками называются точки, находящиеся в местах резкого перепада градиента. Принцип их определения основывается на использовании автокорреляционной

матрицы и пирамиды изображений (для инвариантности к масштабу). Автокорреляционная матрица состоит из производных по x и y по изображению I .

$$A(\mathbf{x}) = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2(\mathbf{x}) & I_x I_y(\mathbf{x}) \\ I_x I_y(\mathbf{x}) & I_y^2(\mathbf{x}) \end{bmatrix}$$

Используемая метрика (λ_1, λ_2 — собственные числа, $\det$ — определитель, trace — след матрицы, α — константа)

$$R = \det(A) - \alpha \text{trace}^2(A) = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha (\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

позволяет идентифицировать угловые точки, т.к. в этих точках будут весоные перепады градиентов по x и y , и R будет в локальном максимуме. Задавая Гессиан (опредетель матрицы Гессе, достигающий максимума в точках максимального изменения градиента яркости) можно определить порог, по которому будет определяться ключевая ли данная точка или нет. В данном алгоритме на основании рекомендаций [7] Гессиан был принят равным 400.

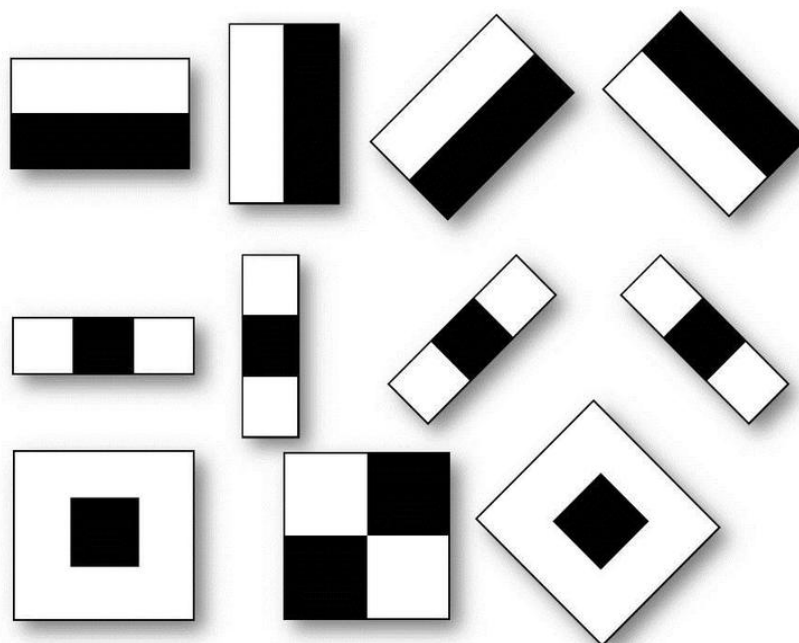


Рис. 9. Признаки Хаара для определения ключевых точек

В качестве классификатора в данном алгоритме использовался достаточно простой, но тем не менее эффективный наивный классификатор Байеса [5]. Его задачей, как задачей любого классификатора, определение принадлежности объекта к тому или иному классу. Существует объект O и классы C , к одному из которых мы должны отнести

данный объект. Необходимо найти такой класс c , при котором вероятность принадлежности к нему данного изображения была бы максимальной.

$$c = \arg \max_C P(C|O)$$

Вычисление $P(C|O)$ сложно, поэтому для решения поставленной задачи используется теорема Байеса и осуществляется переход к косвенным вероятностям:

$$P(C|O) = \frac{P(O|C)P(C)}{P(O)}$$

Поскольку необходимо найти максимум функции, знаменатель может быть исключён из рассмотрения, поскольку равен константе. С учётом этого формула принимает следующий вид:

$$c = \arg \max_C P(C|O) = \arg \max_C P(O|C)P(C)$$

Для упрощения вычисления можно выделить определённые участки изображения – признаки (features) и постулировать, что признаки зависят только от класса и не зависят друг от друга. Группировка признаков называется fern'ом. Таким образом, если общее число признаков представляется в виде $\{o_1, o_2, \dots, o_n\}$, то fern'ы будут иметь вид $\{o_k, \dots, o_{k+S}\}$. Число fern'ов определяется из соотношения:

$$N=M \times S,$$

где N – количество признаков в классификаторе;

M – количество fern'ов;

S – количество признаков в одном fern'е.

Используя свойства fern'ов и теорему Байеса задача нахождения максимума исходной функции может быть приведена к следующему виду:

$$c = \arg \max_{c \in C} P(c|o_1 o_2 \dots o_n) = \arg \max_{c \in C} P(c) \prod P(o_i|c)$$

Стоит отметить, что количество fern'ов определяет тип классификатора. Так, если $P(o_1 o_2 \dots o_n|c) \rightarrow 2^N$, то данный классификатор называется оптимальным. Из-за большого количества признаков является неприменимым. В случае если $P(o_1 o_2 \dots o_n|c) \rightarrow N$ классификатор называется байесовским, и в данной программе использовался именно он.

Реализация алгоритма производилась в среде Visual studio с использованием открытой библиотеки OpenCV, предоставляющей широкий спектр возможностей по работе с изображениями. В качестве основы для программы были взяты примеры, предлагающиеся к самой библиотеке, которые в ходе работы были изучены и

соответствующим образом изменены. Результаты работы программы представлены на Рис.10, Рис.11. и Рис.12.

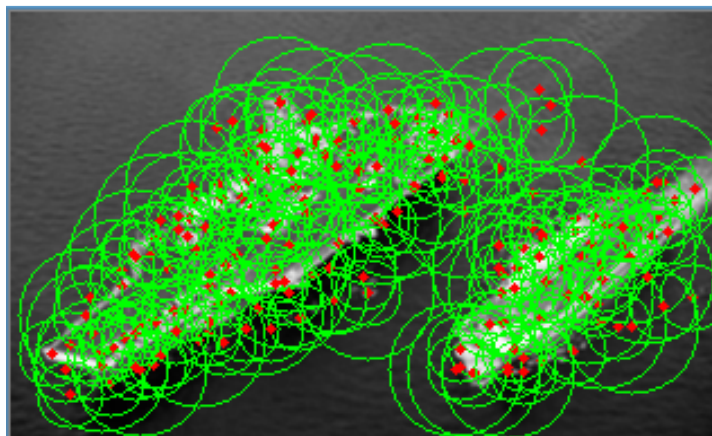


Рис. 10. Исходный объект и его ключевые точки

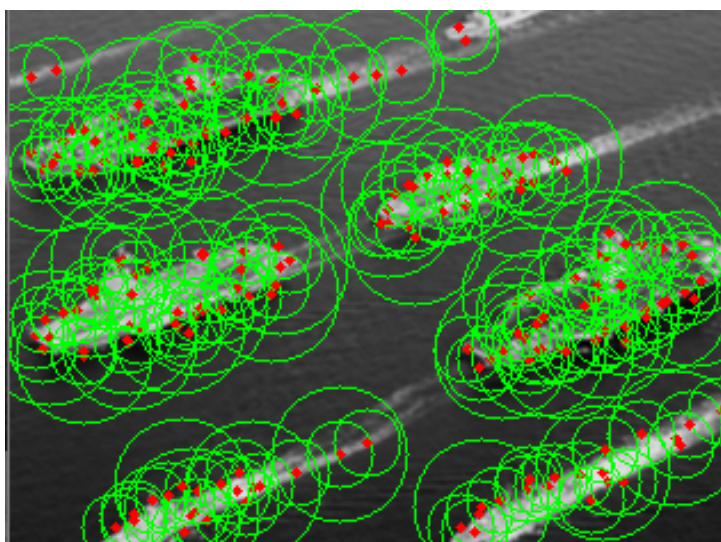


Рис. 11. Обозреваемая сцена и её ключевые точки.

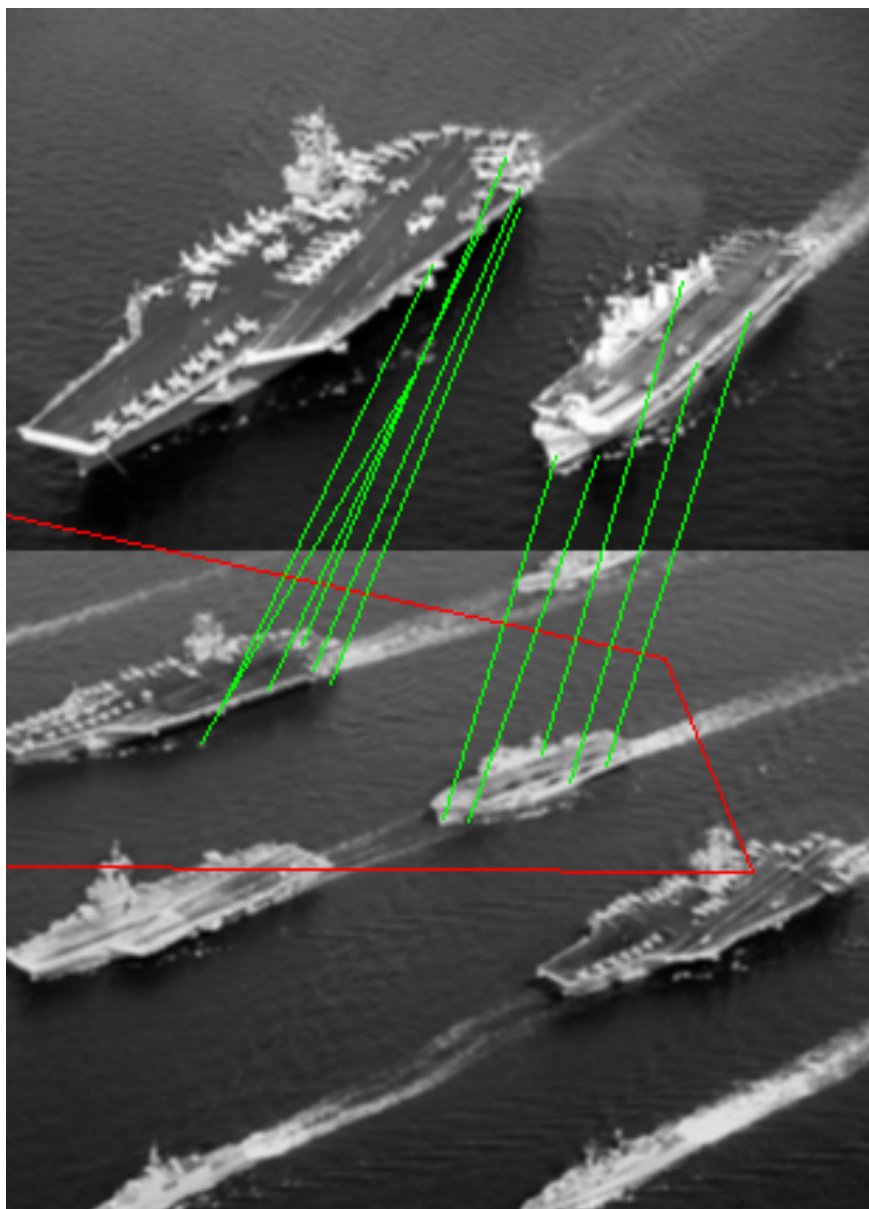


Рис. 12. Результат сопоставления ключевых точек

Постоянная работа системы распознавания сопряжена с повышенным энергопотреблением и нагрузкой на аппаратуру и, как следствие этого, малым временем работы. В целях увеличения продолжительности работы системы и надёжности её аппаратных средств предлагается использовать двухэтапную систему обнаружения. Для этого оптико-электронная система оснащается средствами предварительного обнаружения: инфракрасные датчики, камеры низкого разрешения, а также канал информационного обмена с пассивной РЛС при наличии таковой. Задачей средств предварительного обнаружения является поиск объектов без их распознавания. В случае, если хотя бы один из датчиков обнаружит какой-либо объект, активируется основная система, которая тут же произведёт его идентификацию. К числу очевидных недостатков

может быть отнесена вероятность не обнаружить объект на первом этапе, однако эта проблема может быть решена подбором датчиков с соответствующей чувствительностью.

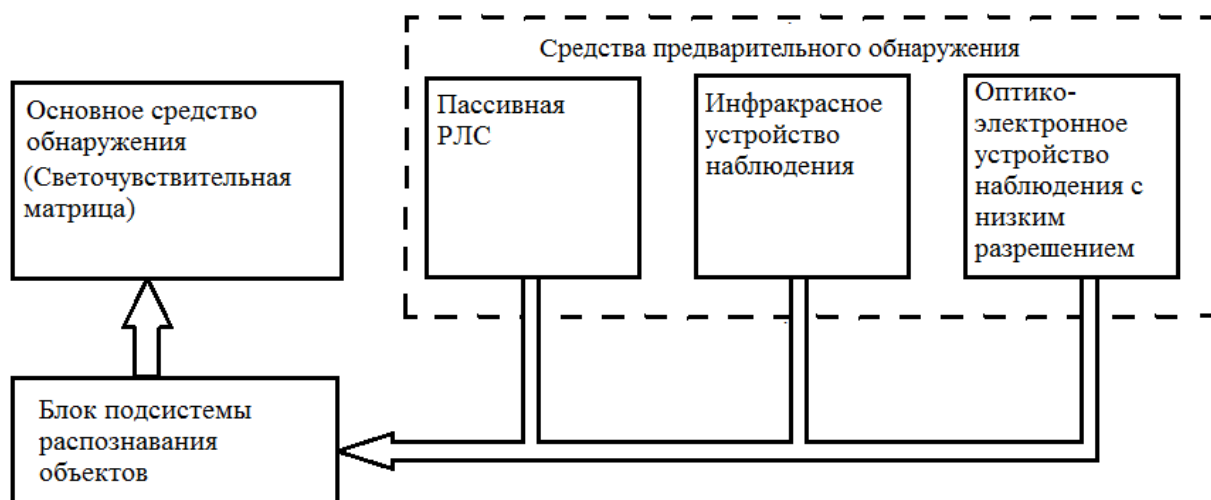


Рис. 13. Двухэтапный вариант работы оптико-электронной системы.

В заключение стоит сказать, что ходе работы над проектом оптико-электронной системы был разработан её прототип, реализован и испытан. Испытания показали, что с поставленной задачей система справляется, однако для успешного применения должна быть доработана. Исследования выявили ряд проблем, связанных со скоростью работы системы распознавания, которые в дальнейшем планируется решить доработкой алгоритма и применением специальных вычислительных средств.

Список литературы

1. Подключение сервоприводов к Arduino. 2013. Режим обращения: <http://zelectro.com.ua/servoAndArduino> (дата обращения 15.10.2013).
2. Прошин Д.И. Оптико-электронные системы БКР // Теория автоматического управления: КП. Реутов: Изд-во НПОМаш, 2012. С. 1-55.
3. Загрузка, модификация и сохранение изображений. Режим обращения: http://docs.opencv.org/doc/tutorials/introduction/load_save_image/load_save_image.html (дата обращения 25.11.2013).
4. Сервопривод. Типы и принцип работы. Режим обращения: <http://rc-amg.at.ua/publ/servo/1-1-0-10> (дата обращения 20.12.2013).
5. Наивный Байесовский классификатор в 25 строк кода. 2011. Режим обращения: <http://habrahabr.ru/post/120194/> (дата обращения 20.12.2013).

6. Папоротники как метод распознавания образов. 2011. Режим обращения: <http://habrahabr.ru/post/129685/> (дата обращения 20.12.2013).
7. Распознавание плоских объектов OpenCV 2.4. 2012. Режим обращения: <http://habrahabr.ru/post/155651/> (дата обращения 20.12.2013).
8. Обнаружение устойчивых признаков изображения: метод SURF. 2012. Режим обращения: <http://habrahabr.ru/post/103107/> (дата обращения 20.12.2013).
9. Бельский С.Ф. Концептуальная модель ИНС и СС барражирующей крылатой ракеты. Разработка системы полунатурного моделирования заданных полётных условий // Теория автоматического управления: КП. Реутов: Изд-во НПОМаш, 2013. С. 1-53.
10. Клёнов И.Л. Концептуальная модель БЦВМ барражирующей крылатой ракеты «Выпь». БЦВМ как компонент комплекса полунатурного моделирования // Теория автоматического управления: КП. Реутов: Изд-во НПОМаш, 2013. С. 1-76.