

УДК 00

**Мехатронный модуль с органом технического зрения**

**# 10, сентябрь 2012**

Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С.

*Научный руководитель: Юдин А.В.  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)

### **Введение**

Современные автономные, да и автоматические системы все чаще становятся интеллектуальными и мехатронными, т.е. приобретают возможность не только получать сигналы и их обрабатывать, но и воздействовать на источник сигналов – окружающую среду. При этом, говоря о мехатронной системе или более узко – о мехатронном модуле или узле, имеется в виду не только возможность воздействовать на физический мир, лежащий вне границ устройства, но и о повышенной его надежности в сравнении с обычными, классическими системами. Это становится возможным из-за уменьшения общего количества интерфейсов между отдельными элементами устройства, за счет своего рода «сращивания» отдельных его частей, в том числе частей различной физической природы (например, серводвигатель).

Говоря о мехатронике, как о наиболее общей дисциплине, невозможно обойти ее связь с робототехникой. Так европейские ученые уже не первый год работают над универсальной робототехнической платформой EUROP [1], которая в недалеком будущем позволит реализовывать проекты промышленного, военного и потребительского направления различной сложности. Суть же проекта сводится к выделению и реализации таких мехатронных модулей, которые затем, как конструктор, будут служить основой для вновь разрабатываемых систем.

Ежегодные соревнования автономных мобильных роботов Евробот [2], по сути, предъявляют к постоянным участникам похожие требования к выделению отдельных модулей на роботе, которые можно было бы использовать без каких-либо доработок в последующие годы. В данной статье описан один из подобных интеллектуальных мехатронных модулей.

### **Постановка задачи**

В ежегодно меняющихся правилах Евробот обычно бывает не меньше 3 новых для команд задач, не стал исключением и 2012 сезон [3]. Новые задачи чаще носят механический характер и требуют разработки исполнительных механизмов и соответствующих систем управления к ним.

Одной из таких задач является задача поиска и нажатия кнопок (рис.1), расположенных на вертикальной стене. Мобильный робот должен самостоятельно найти кнопку определенного цвета и нажать на нее. Задача осложняется тем, что заранее неизвестно где расположена кнопка, а также имеются помехи в виде идентичных по

размеру кнопок, но цвета отличного от заданного. На рисунке кнопки помечены цифрами 1, 2, 3, 4.

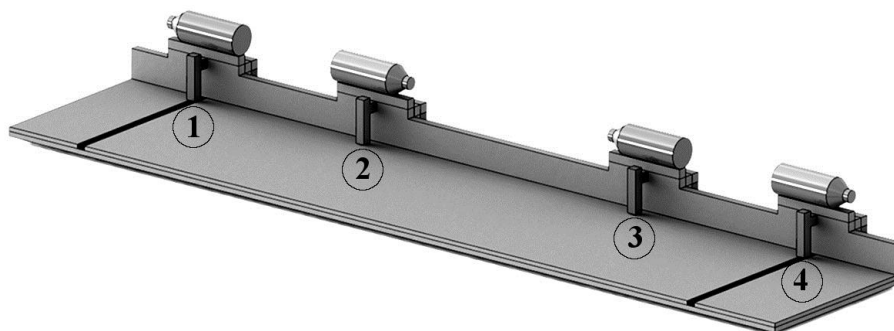


Рис. 1 – Задача нажатия на кнопку, общий вид

Как можно видеть, кнопки располагаются вдоль борта рабочей площадки, по которой может перемещаться робот. Всего кнопок 4: две из них имеют один цвет, а оставшиеся две – другой. Геометрические размеры кнопок и их положение относительно борта и рабочей площадки представлены ниже на рис. 2. Темно-серым цветом выделена кнопка, а также ее разрез в виде справа, светло-серым цветом показаны разрезы рабочей площадки и борта.

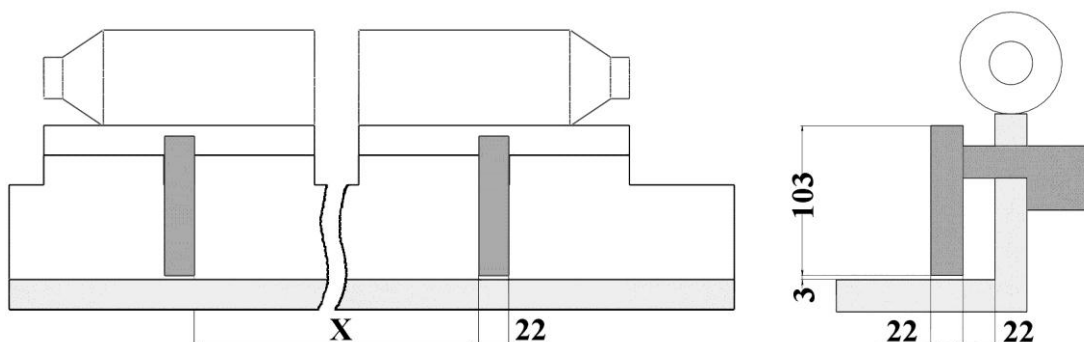


Рис. 2 – Геометрия и расположение кнопок на рабочей площадке

Мы сознательно несколько усложнили задачу, по сравнению с той, что представлена в правилах соревнований тем, что заранее не знаем, где вдоль борта расположена кнопка (на рис.2 это обстоятельство показано в виде расстояния X между кнопками; X заранее неизвестно). Это изменение требует от разрабатываемого устройства максимальной автономности, независимости от других подсистем робота.

Также, следует отметить, что существует ограничение на размер устройства: периметр не более 1200 мм, а высота не более 300 мм. Кроме того, исходя из правил Евробот 2012, система не должна повреждать ни кнопки, ни рабочую площадку, ни борт, а также следует учитывать ограничения на мощность пневматических систем, на использование некоторых видов энергии и на использование «стреляющих» механизмов.

Таким образом, разрабатываемый мехатронный модуль должен обладать:

- органом технического зрения – для формирования кадров с информацией о цвете, форме и пространственном положении кнопки;
- исполнительным устройством – для нажатия на кнопку;
- интеллектуальной системой распознавания и управления – для распознавания нужных кнопок на кадре и управления приводом, но в т.ч. для реализации возможности обучения в других задачах распознавания.

#### **Решение задачи в общем виде**

Для реализации модульного подхода и возможности повторного использования разработанного устройства в будущих проектах, в работе делается больший акцент

именно на подсистему технического зрения, и на подсистему интеллектуального распознавания и управления. Кроме того, для увеличения повторного использования модуля в других проектах немаловажным оказывается требование его автономной работы (но не в смысле источника питания, а в смысле функциональных возможностей).

Стоит отметить, что описываемый модуль является лишь одним из элементов более сложной системы управления робота. С некоторыми из таких элементов он связан наиболее тесно, например, с модулем движения, задача которого – доставить все остальные модули в определенное место на рабочей площадке. Поэтому предполагается, что разрабатываемый модуль хоть и должен быть автономным, но не должен обладать возможностью перемещения в пространстве. Если провести аналогию с человеческим телом его задача – обеспечить «рефлекс» нажатия на правильную кнопку, т.е. безусловное выполнение нажатия в случае, когда нужная кнопка находится в нужном месте.

Исходя из всего перечисленного, была выбрана архитектура, имеющая следующие свойства: за каждую функцию модуля отвечает отдельный узел, при этом общее количество узлов должно быть минимально возможным, так как в этом случае система получается наиболее простой и эффективной. Структурная схема модуля, представлена на рис.3.

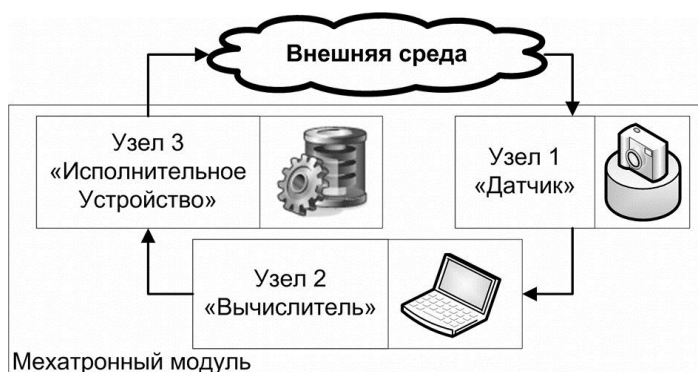


Рис. 3 – Структурная схема мехатронного модуля

Задача Датчика (узел 1) получить кадр, изображающий окружающую среду и, преобразовав его в массив бит по определенному стандарту, послать на узел 2 по шине связи. В рассматриваемом случае Датчик также можно назвать органом технического зрения модуля.

Вычислитель (узел 2) осуществляет управление исполнительным устройством и обработку кадров от узла 1. Вычислитель может быть как мощным компьютером, так и специализированным контроллером. Именно благодаря этому узлу модуль самостоятельно ориентируется в среде и является полностью автономным. В случае необходимости в него могут быть также включены функции обучения.

Исполнительное устройство (узел 3) является основной механической частью модуля. Оно воздействует на внешнюю среду нажатием на кнопку. Механика в данном случае оказывает значительное влияние на быстрдействие всего модуля в целом, т.к. в отличие от других узлов работает последовательно и поисковые функции прочих узлов оказываются бесполезными до тех пор, пока не отработает механика данного узла.

Внешняя среда. С ней модуль информационно связан через узел 1 и на нее он может воздействовать через узел 3. В данном случае среда представляет собой рабочую площадку с бортом, на котором расположены кнопки. Включая внешнюю среду в описание мехатронного модуля, следует подчеркнуть ее важность в случае разработки интеллектуальной системы управления, которая способна учиться воздействовать на среду путем сопоставления активных влияний на нее и результатов этих влияний, получаемых через орган зрения.

### Орган технического зрения

Одним из основных элементов системы технического зрения является фотодатчик. В данной задаче в качестве фотодатчика было выбрано устройство COMedia C328. Основная задача этого устройства – захват и передача по шине по запросу компьютера текущего кадра на фотоматрице (рис.4). Компьютер в дальнейшем отвечает за обработку полученного изображения. Связь между модулем и компьютером выполняется по шине RS-232 (COM-порт).

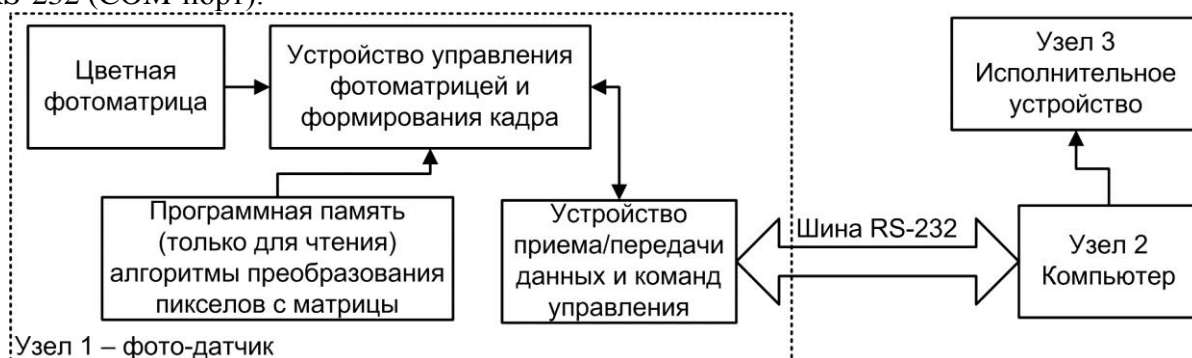


Рис. 4 – Структурная схема используемого органа технического зрения и организация информационных потоков мехатронного модуля

Фотоматрица обладает разрешением 160x128 пикселей. Устройство управления фотоматрицей записывает полученное фотоматрицей изображение в буфер обмена. Далее устройство управления может преобразовать полученное с фотоматрицы неформатированное изображение формата RAW в широко распространенный формат JPEG. Устройство управления способно преобразовать неформатированное изображение в изображения со следующим разрешением: 80x60 и 160x120 для формата RAW, 80x64, 160x128, 320x240 и 640x480 для формата JPEG. Количество цветов также может быть задано (вплоть до 16-битного цветного изображения).

Поскольку устройство управления способно обеспечить передачу изображения со скоростью не более 115,2 кбит/с желательно использовать формат JPEG, т.к он обеспечивает хорошее сжатие изображения, а соответственно возможна более высокая частота кадров. Тем не менее, следует иметь в виду, что так или иначе принятая схема не может обеспечить частоту кадров типичную для видеопотока (25/30 кадров в секунду).

Для управления модуля COMedia C328 используется специальный протокол, представленный в технической документации [4]. Программная память устройства содержит набор алгоритмов и поддерживаемые команды протокола.

Для управления модулем COMedia C328 и получения от него изображения компьютер должен выполнять программу, содержащую определенную последовательность команд. Данная последовательность команд на примере получения кадра представлена в виде временной диаграммы на рис.5.

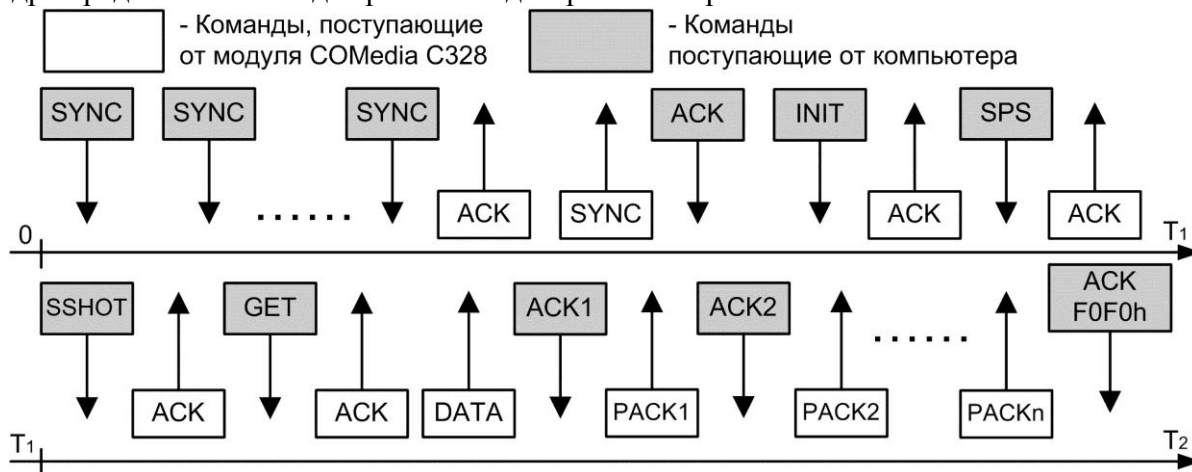


Рис. 5 – Схема получения изображения компьютером от модуля COMedia C328

Видимое многообразие последовательностей команд на рис.5 можно условно разделить на 7 этапов:

1. установка связи между модулем и компьютером (SYNC);
2. инициализация (INIT);
3. Установка размера пакета (SPS);
4. Команда «сделать снимок» (SSHOT);
5. Команда «получить изображение» (GET);
6. Передача данных (DATA,PACK1, PACK2... PACKn)
7. Завершение передачи (ACK F0F0h).

### Принцип работы вычислителя

Вычислитель (компьютер или микроконтроллер) имеет возможность запросить и получить изображение с узла 1, но основная его задача – распознать на полученном кадре нужный объект (кнопку), определить его координаты и размеры, а впоследствии, когда объект будет находиться в нужном месте – подать управление на узел 3.

Принципиально поиск объекта сводится к работе с текущим кадром и шаблоном (рис.6), который для разных реализаций мехатронного модуля будет разным, но в рамках конкретной конфигурации узлов он будет постоянным.

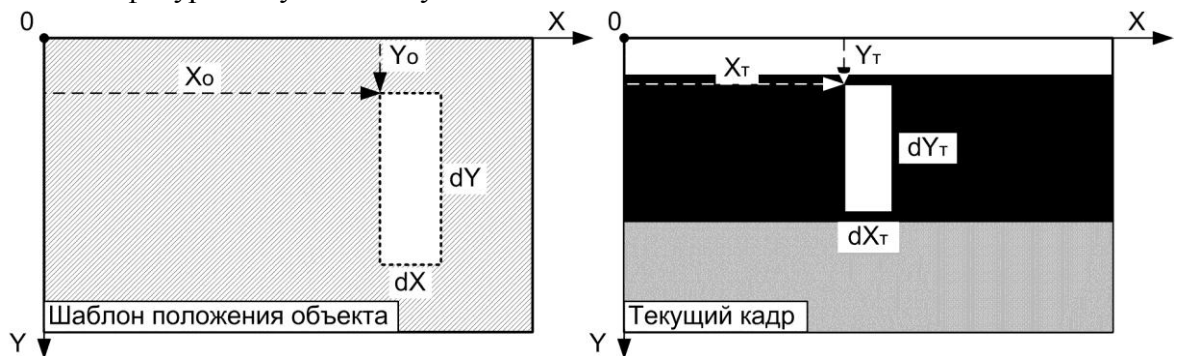


Рис. 6 – Представление шаблона и текущего кадра с фотодатчика

На рис.7 представлен простой алгоритм, который поясняет принцип работы вычислителя.



Рис. 7 – Алгоритм работы вычислителя

В сердце данного алгоритма задействован обычный пороговый фильтр, который позволяет достаточно точно определить момент, когда нужный объект находится в нужном месте. Но, к сожалению, такой подход с шаблоном обладает рядом недостатков: не позволяет полноценно распознать (а также получить его координаты и размер) объект в любом месте кадра, предполагает аккуратную процедуру калибровки всего мехатронного модуля.

К числу достоинств данного подхода следует отнести высокую скорость работы, т.к. объем информации для обработки ограничен лишь частью кадра, а также относительную простоту реализации в сравнении с другими методами, о которых речь ниже. В силу сказанного подход к распознаванию с шаблоном был выбран для реализации на вычислителе-микроконтроллере.

Помимо рассмотренного, естественно существуют и другие более совершенные способы распознавания. Хорошим примером реализации подобных методов можно назвать библиотеку OPEN CV [5], изначально рассчитанную на более сложные задачи распознавания изображений. Данный подход был выбран для реализации на вычислителе-компьютере.

Библиотека позволяет разобраться, как подойти к построению интеллектуальных программных систем, которые в свою очередь приводят нас к более «натуральному» нейросетевому подходу. Именно нейросетевое распознавание предполагается развивать в работе в дальнейшем.

### **Исполнительный механизм**

После обработки картинки и получения координат искомого объекта (кнопки) компьютер передаёт команду на исполняющее устройство. Тем самым отдавая команду нажать кнопку.

Основным двигателем исполняющего устройства является линейный электромагнитный привод – линейный соленоид. Такое техническое решение позволит производить взаимодействие с объектом с большей скоростью, по сравнению с линейными передачами на основе электромоторов. Кроме того, избавит разработчиков от исполнения сложных механических систем преобразования вращательного движения в поступательное. Структурная схема исполнительного механизма на основе линейного электромагнитного двигателя представлена на рис.8.

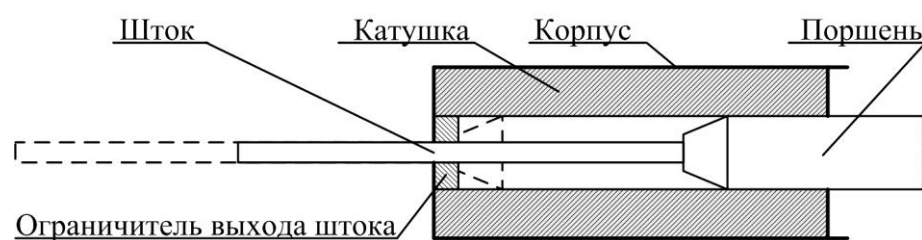


Рис. 8 – Структурная схема исполнительного механизма

Длина выдвигного штока таких соленоидов колеблется от 10 до 100 мм. Этого достаточно чтобы производить нажатие кнопки на расстоянии, с учётом хода самой кнопки во время нажатия. Управление соленоидом будет осуществляться непосредственно с вычислителя через коммутатор, в качестве которого может использоваться реле, транзисторный каскад либо оптрон. Рабочее напряжение данного электромагнитного привода – 12V.

## Заключение

Разработка мехатронных модулей позволяет существенно уменьшить трудоемкость проектов, в которых они применяются, что в свою очередь ведет к общему снижению стоимости работ и конкурентноспособному продукту. Ведущие научные и инженерные центры мира ведут работу в направлении формирования минимально необходимой базы подобных модулей для использования в ближайшем и отдаленном будущем.

Разработанный модуль будет полезен как в автономной мобильной робототехнике, так и для стационарных автономных систем, но в особенности для соревнований Евробот.

В статье обобщена работа команды студентов 1 курса МГТУ им. Н.Э. Баумана, которая позволяет для каждого из авторов определить темы дальнейшей научной работы. С этой точки зрения, она также может быть полезна в качестве методического материала.

## Литература

1. EUROP European Robotics Technology Platform. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.robotics-platform.eu/cms/upload/SRA/2010-06\\_SRA\\_A4\\_low.pdf](http://www.robotics-platform.eu/cms/upload/SRA/2010-06_SRA_A4_low.pdf) — Проверено 31.01.2012.
2. Молодежные соревнования мобильных автономных роботов Евробот. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot.org>, <http://www.eurobot-russia.ru> — Проверено 31.01.2012.
3. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2012: «Остров сокровищ»: Пер. с англ. С дополнениями НОК Евробот России./ Общ. Ред. А.В. Юдина. Изд. 2-е., испр — М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2011. — 39с., ил. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.eurobot-russia.ru/images/upload/file/2012/EA2012\\_rules\\_RU\\_2.pdf](http://www.eurobot-russia.ru/images/upload/file/2012/EA2012_rules_RU_2.pdf) — Проверено 31.01.2012.
4. COMedia Ltd. C328-7640 User Manual. — Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/C328-7640.pdf> — Проверено 31.01.2012.
5. Open Source Computer Vision Library — Электронный ресурс. Режим доступа: <http://opencv.willowgarage.com/wiki/> — Проверено 31.01.2012.
6. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978 — 414 с.
7. Афонин В.Л., Макушкин В.А. Интеллектуальные робототехнические системы. — М.: Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру, 2005 — 208 с.
8. Щучинский С.Х. Электромагнитные приводы исполнительных механизмов. — М.: Энергоатомиздат, 1984 — 152 с.
9. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева, Л.А.Зинченко, В.А.Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 53 с.: ил.
10. Практические работы по курсу «Системы искусственного интеллекта» — Электронный ресурс. Режим доступа: <http://oracle.iu4.bmstu.ru/expert/lec> — Проверено 31.01.2012.