# Лекция 15

## 15.1 Контроллер полета. Бортовой компьютер

Контроллер полета – мозг любого БПЛА. Без специального оборудования, такого как плата стабилизации, БПЛА не будет балансировать в воздухе и может упасть на землю. Плата стабилизации непрерывно проводит измерения с инерционно измерительных датчиков, таких как акселерометр, гироскоп, магнитометр, барометр, GPS приемник и других дополнительных периферийных телеметрических датчиков.

Вносит изменения на ошибки отклонения положения БПЛА, отправляя определенный сигнал на электронный регулятор хода, который, в свою очередь, подает определенное напряжение на двигатели, изменяя его частоту вращение. Тем самым компенсируя положение БПЛА в том или ином направление. Как показано на рисунке 3.20, система находится в закрытом цикле [17].

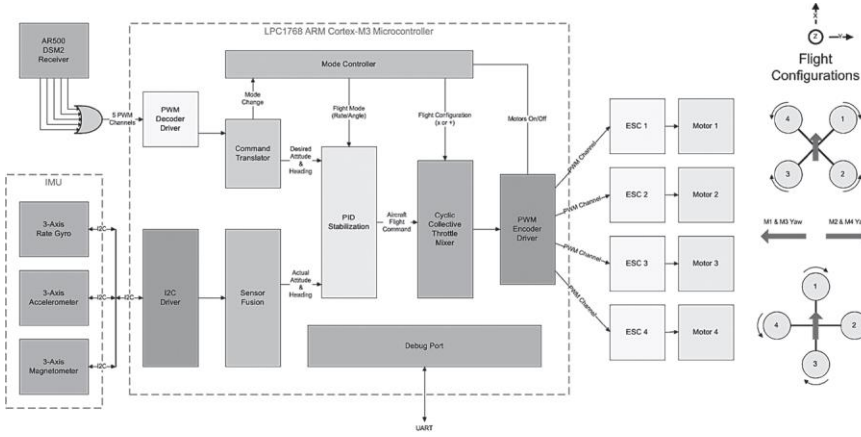



*Рисунок 3.20. Схема полетного контроллера квадрокоптера*

В начале надо дать системе понять, где она находится – текущее положение БПЛА. Для этого необходимо поставить БПЛА на ровную поверхность и дать питание от батарей. Затем подождать пока пройдет инициализация всех датчиков и пройдет процесс калибровки гироскопа и акселерометра, а также нахождение спутников. После чего

система понимает текущее положение по горизонту и по координатам, как эталонное.

Далее, после запуска двигателя, происходит процесс взлета, при котором, микропроцессор обрабатывает значения положения датчиков и будет продолжать обрабатывать до тех пор, пока есть питание или не выбран другой режим полета. Если есть отклонения по положению БПЛА, то система компенсирует отклонения. Она подает определенное напряжение на двигатели, управляя частотой вращения, тем самым выравнивает погрешность положения БПЛА.

### 15.2 ПИД (Пропорционально-Интегрально-Дифференцирующий) контроллер

ПИД контроллер является наиболее распространенной формой обратной связи. ПИД регулятор – устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимой точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования.

ПИД регулятор является важным элементом принятия решения, и он стал стандартным инструментом управления процессом с 1940-х годах. В процессе управления на сегодняшний день, более 95% циклов управления имеют тип ПИД. ПИД-регулирование является важным компонентом распределенной системы управления.

Контроллеры также встроены во многих специальных системах управления. ПИД-регулирование часто применяется для построения сложных систем автоматизации, используемых для производства энергии, транспортировки и производства.

Многие сложные стратегии управления, такие как прогнозирующие модели управления, организованы иерархически. ПИД-регулирование используется на самом низком уровне. Многопараметрический контроллер задает ключевые значения на физическом нижнем уровне. ПИД-регуляторы пережили много изменений в технологии, начиная с механики и пневматики, заканчивая микропроцессорами, транзисторами, интегральными схемами. Микропроцессоры оказали значительное влияние на ПИД-регуляторы.

На сегодняшний день, практически все контроллеры ПИД основаны на микропроцессорах. Это дало возможность обеспечить дополнитель-

ные функции, такие как автоматическая настройка, планирование.

Блок диаграмма для ПИД контроллера показана на рисунке 3.21 [18]. В (3.7) приведено математическое описание ПИД контроллера [18].

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^{\phi} e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (3.7)$$

Алгоритм ПИД-регулятора включает в себя три отдельных постоянных параметра: пропорциональный, интегральный и производные величины, обозначаемые *P, I* и *D*. Проще говоря, эти значения могут быть интерпретированы с точки зрения времени: *P* зависит от настоящей ошибки, *I* от накопления прошлых ошибок, и *D* является предсказание будущих ошибок, основываясь на текущей скорости изменения. Взвешенная сумма этих трех действий используется для настройки процесса с помощью элементов, таких, как положение регулирующего клапана, демпфер, или мощности, подаваемой на нагревательный элемент.

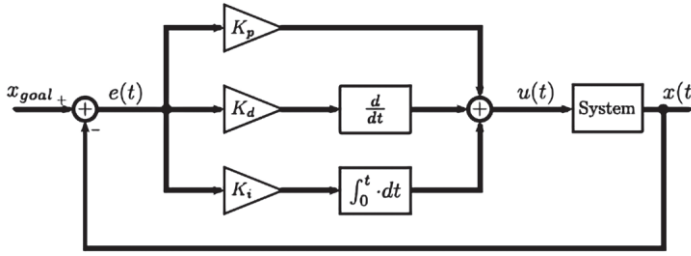



*Рисунок 3.21. Блок диаграммы для ПИД контроллера*

**15.3 Пропорциональная составляющая.** Пропорциональная состав- ляющая вырабатывает выходное значение, которое пропорционально текущему значению ошибки. Пропорциональный ответ может быть отрегулирован путем умножения погрешности на константу $K_p$, назы- ваемой коэффициентом пропорциональности усиления. Пропорцио- нальный параметр выражается формулой (3.8).

$$P_{out} = K_p e(t) \tag{3.8}$$

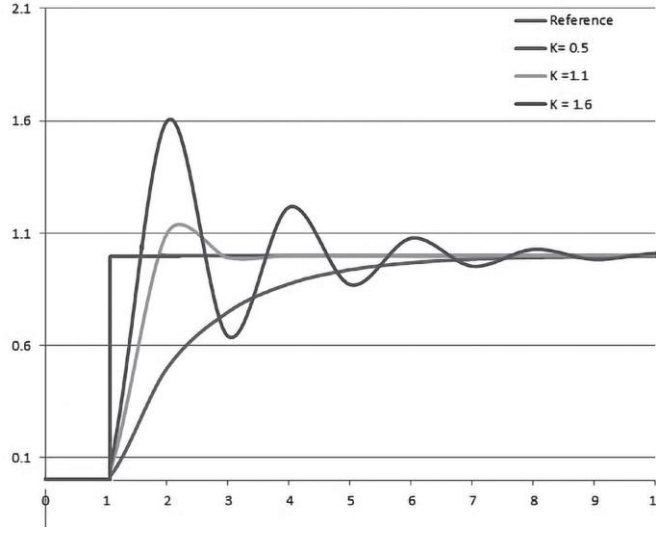



*Рисунок 3.22. График зависимости PV (process variable) от времени, для трех значений $K_p$ ($K_i$ и $K_d$ константна)*

Высокий коэффициент пропорционального усиления приводит к существенному изменению на выходном сигнале при заданном изменении ошибки. Если коэффициент пропорционального усиления слишком высок, то система может стать нестабильной. Маленький коэффициент усиления приведет к маленькому результату на выходе, при большой ошибке ввода. Это в итоге делает контроллер мало чувствительным и слабо отвечающим на обратную связь. Если коэффициент пропорционального усиления слишком мал, то управляющее воздействие может быть слишком малым, отвечая на системные помехи. На рисунке 3.22 приведен график зависимости параметра от времени для трех значений коэффициента [18].

**15.4 Интегральная составляющая.** Вклад от интегрального параметра пропорционален величине ошибки и длительности ошибки. Интеграл в ПИД-регуляторе является суммой мгновенной ошибки с течением времени и дает накопленное смещение, которое должно быть исправлено предварительно. Накопленная ошибка затем умножается на коэффициент $K_i$ и добавляется к выходному сигналу контроллера. Интегральный параметр выражается формулой (3.9) [18].

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\rho)\, d\rho \qquad (3.9)$$

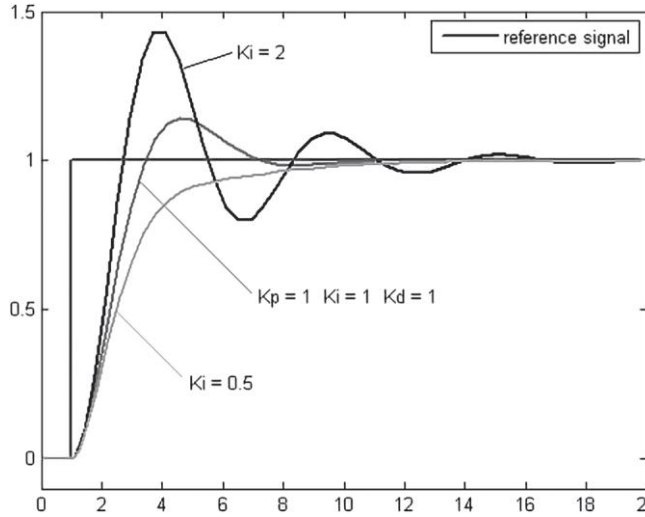



*Рисунок 3.23. График зависимости PV (process variable) от времени, для трех значений $K_i$ ($K_p$ и $K_d$ константны)*

Интегрирующая составляющая ускоряет движение процесса по отношению к заданному значению и устраняет остаточную устойчивую ошибку, которое происходила в пропорциональном контроллере. Однако так как интегральный параметр реагирует на накопленные ошибки из прошлого, это может привести к занижению заданного значения текущего состояния (исправления текущих ошибок). На рисунке 3.23 приведен график зависимости параметра от времени для трех значений коэффициента [18].

**15.5 Дифференциальный параметр.** Производная ошибки процесса вычисляется путем определения изменения ошибки с течением вре- мени. Величина вклада параметра к общему управлению воздействия называется производной коэффициента усиления $K_d$, выражается формулой (3.10).

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{3.10}$$

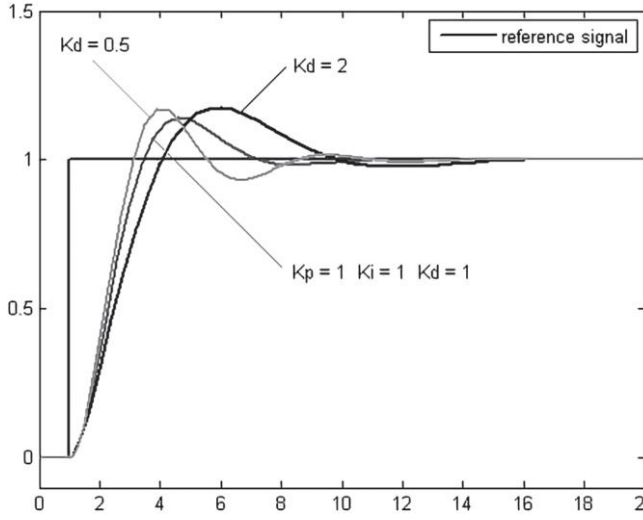



*Рисунок 3.24. график зависимости PV (process variable) от времени, для трех значений $K_d$ ($K_p$ и $K_i$ константны)*

Дифференциальный параметр предсказывает поведение системы и тем самым улучшает регулирования времени и стабильности системы.

Реализация ПИД-регулятора, включает дополнительный фильтр, чтобы ограничить усиление высоких частот и шума.

Дифференциальное действие редко используется на практике, по некоторым оценкам он только в 20% случаев влияет на стабильность системы в реальных приложениях. На рисунке 3.24 приведен график зависимости параметра от времени для трех значений коэффициента [18].

На сегодняшний момент на рынке существует несколько производителей полетных контроллеров, у каждого есть свои минусы и плюсы. В таблице 3.1, приведены примеры известных систем. Рассмотрим популярную систему Navio 2 от компании Emlid.Navio 2 – автопилот, поддерживающий подключение одноплатного компьютера Raspberrypi и операционные системы Linux (рис. 3.25) [17].

Особенности данной системы по сравнению с другими системами в том, что она может подключаться к платформе Raspberrypi B+, 2, 3 (рис. 3.26) [17]. Которые, в свою очередь, есть одноплатные компьютеры размера с банковскую карту. Имеется 4-х ядерный ARM Cortex-A53 x64 с частотой 1.2 Ghz и оперативной памятью 1 Gb.

Также, имеется возможность подключения разных периферийных устройств по разным интерфейсам: USB, SPI, I2C, UART, GPIO, HDMI, WiFi, Bluetooth. Данная платформа работает на UNIX подобной системе Raspbian. Это дает разработчикам большой потенциал для разработки различных приложений по робототехнике, компьютерному зрению, машинному обучению и другому.

Таблица 3.1. Сравнение систем стабилизации

| СИСТЕМА | Открытый исходный код | Стабилизация по уровню | Удержание высоты | Удержание положения | Возврат домой | Навигация по координатам | ЦЕНА |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* |
| ArduCopter (APM 2.5) | + | + | + | + | + | + | Средняя |
| Crius All In One PRO | + | + | + | - | - | - | Высокая |

Продолжение таблицы 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CriusMulti-WiiLite | + | + | - | - | - | - | Низкая |
| Pixhawk-Arducopter | + | + | + | - | - | - | Низкая |
| DJI Naza | - | + | - | - | - | - | Высокая |
| Hobbyking KK2.0 | - | + | - | - | - | - | Низкая |
| Multi-Wii PRO / MTK GPS | + | + | + | - | - | - | Средняя |
| Navio2 | + | + | + | + | + | + | Средняя |
| Zero UAV YS-X6 | - | + | + | + | + | + | Высокая |
| Aero-Quad 32 | + | + | + | - | - | - | Средняя |

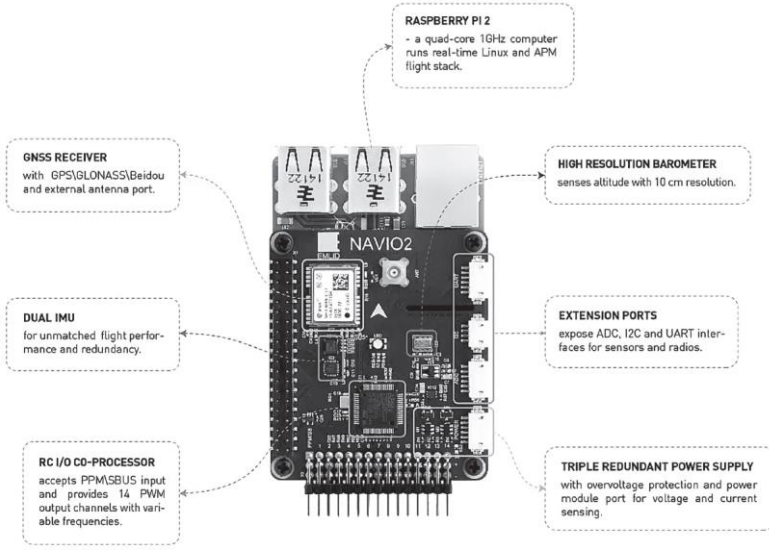



*Рисунок 3.25. Автопилот Navio 2*

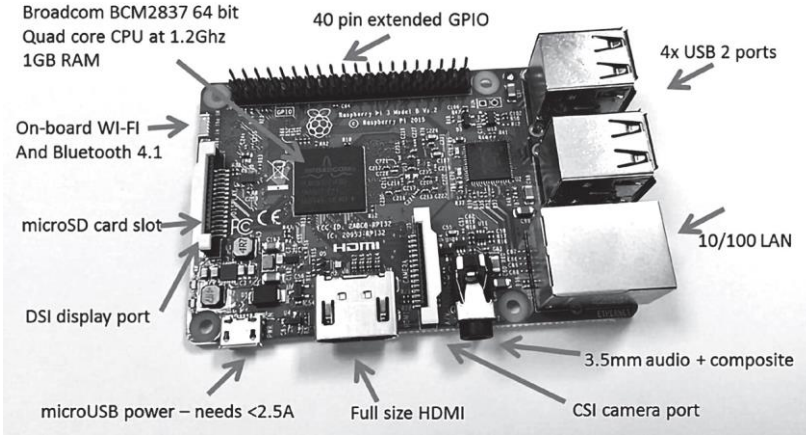



*Рисунок 3.26. Raspberry pi 3*

### 15.6 Бортовое программное обеспечение

Рассмотрим, какие надо произвести действия, если выбрана платформа работающая на UNIX подобных системах, на дистрибутиве RaspbianJessieNavio. Для начала работы необходимо произвести следующие действия:

1) Скачать официальный дистрибутив с сайта https://files.emlid.com/images/emlid-raspbian-20160408.img.xz/.
2) Распаковать скачанный образ архиватором.
3) С помощью утилиты Win32DiskImager создать загрузочную карту и записать образ ОС на нее.
4) Вставить карту в слот raspberrypi.
5) Для настройки raspberrypi необходим HDMI кабель с монитором с интерфейсом поддерживающий HDMI, клавиатура.
6) Подключить плату navio2 к Raspberrypi 3.
7) Дать питание 5 вольт от регулятора напряжения подключенного к аккумулятору.

Загрузится консоль (рис. 3.27), через которую необходимо будет проводить последующие настройки.

Необходимо ввести логин и пароль (по умолчание login – pi, password – raspberry). Далее необходимо расширить файловую систему, активировать SSH туннель, и сделать настройки роутера (рис. 3.28-

3.30). Чтобы зайти в конфигурационное меню необходимо ввести команду в консоли *sudoraspi-config*.

Для настройки подключения к роутеру набрать команду в консоли *sudonano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf*.

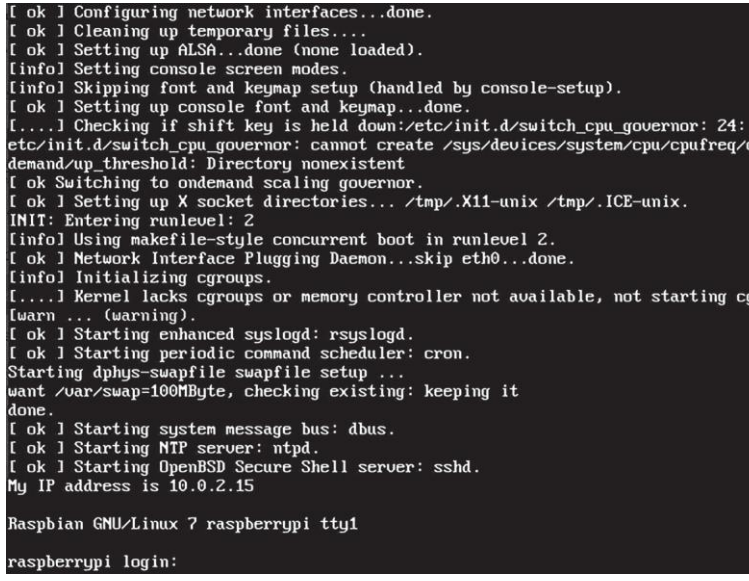



*Рисунок 3.27. Консоль RaspbianJessie*

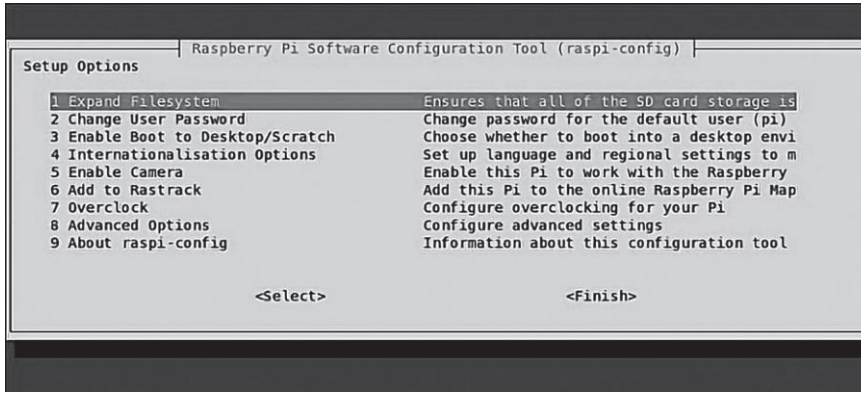



*Рисунок 3.28. Расширение файловой системы*

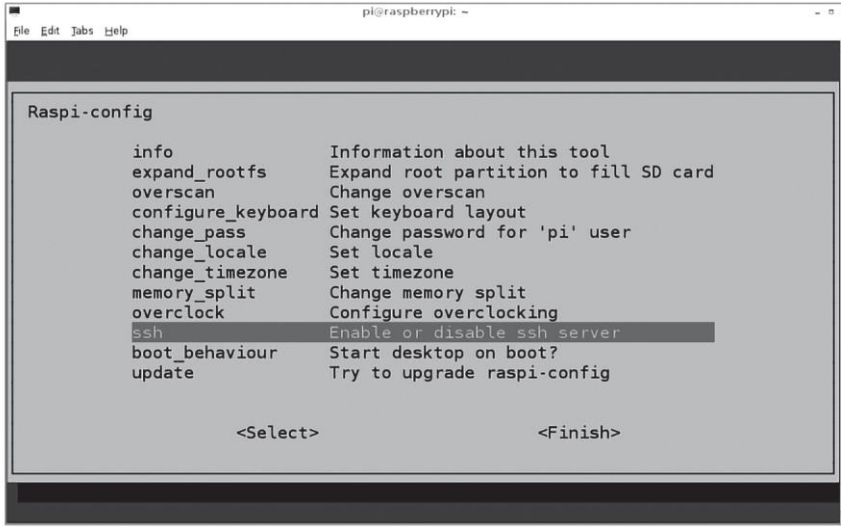



*Рисунок 3.29. Активация SSH туннеля*

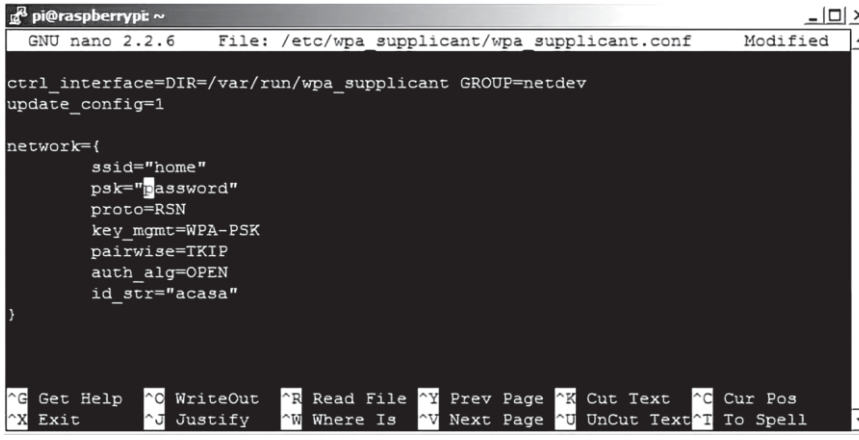



*Рисунок 3.30. Настройка подключения к роутеру*

Далее, после соединения с интернетом, необходимо обновить и установить последние версии библиотек с дистрибутивов лежащих на

репозиториях RaspberryFoundation. Для этого набрать команду в консоли *sudoapt-getupdate&&sudoapt-getdist-upgrade* (рис.3.31).

```
pi@raspberrypi ~ $ sudo apt-get update
Get:1 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy Release.gpg [490 B]
Hit http://archive.raspberrypi.org wheezy Release.gpg
Hit http://raspberrypi.collabora.com wheezy Release.gpg
Hit http://archive.raspberrypi.org wheezy Release
Get:2 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy Release [14.4 kB]
Hit http://raspberrypi.collabora.com wheezy Release
Hit http://archive.raspberrypi.org wheezy/main armhf Packages
Get:3 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/main armhf Packages [6,903 kB]
Hit http://raspberrypi.collabora.com wheezy/rpi armhf Packages
Ign http://archive.raspberrypi.org wheezy/main Translation-en_GB
Ign http://archive.raspberrypi.org wheezy/main Translation-en
Ign http://raspberrypi.collabora.com wheezy/rpi Translation-en_GB
Ign http://raspberrypi.collabora.com wheezy/rpi Translation-en
Get:4 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/contrib armhf Packages [23.6 kB]
Get:5 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/non-free armhf Packages [49.3 kB
]
Get:6 http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/rpi armhf Packages [592 B]
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/contrib Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/contrib Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/main Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/main Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/non-free Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/non-free Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/rpi Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org wheezy/rpi Translation-en
Fetched 6,992 kB in 42s (165 kB/s)
Reading package lists... Done
```

*Рисунок 3.31. Обновление системы*

Далее необходимо будет установить APM, введя команду *sudoapt-getupdate&&sudoapt-getinstall apm-navio2*. Далее установить дистрибутив gstreamer 1.0 командой *sudoapt-getinstallgstreamer1.0*. Также, необходимо установить gstreameи missionplanner на наземной станции.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение перечислим основные области применения робототехники, где, в первую очередь, должны будут реализовываться достижения в решении рассмотренных научно-технических проблем:

***1. Космическая робототехника.*** Сегодня это важнейший компонент очередного этапа развития космонавтики. К нему относится, прежде всего, освоение дальнего космоса и ближайших планет, включая Луну. Космическая робототехника открывает перспективы создания принципиально новых космических объектов и систем, в том числе и в околоземном пространстве, ориентированных на новые возможности, которые предоставляет робототехника.

***2. Подводная робототехника.*** Наряду с космосом, это второе направление «экспансии» человечества, где решающую роль должна играть робототехника нового поколения. Если человек-амфибия – это фантастика, то роботы – амфибии – это уже реальность. Достаточно напомнить их работу по обследованию «Титаника» и затонувших подводных лодок, использование подводных роботов-геологов. А, ведь это, по существу, еще только предыстория подводной робототехники. В настоящее время еще нет ни лунных, ни других космических баз, обслуживаемых саморемонтирующимися роботами, нет и подобных подводных сооружений. Однако, если сегодня основное направление развития современного машинного производства – это безлюдные комплексно-роботизированные предприятия, то тем более это должно относиться к освоению космоса и глубин океана и развитию соответствующих технологий.

***3. Мобильная робототехника*** наземного и воздушного базирования. Сюда относятся робототехнические системы для действий в экстремальных условиях, в том числе, для вооруженных сил и других силовых структур, групповое применение роботов, в том числе в конфликтных ситуациях, и создание следующих интеллектуальных поколений таких роботов, принципиально ориентированных на автономное функционирование. Особенно большие перспективы связаны при этом с микроробототехникой.

***4. Био- и медицинская робототехника.*** Сюда входит как проблематика заимствования бионических решений, так и обратный процесс внедрения робототехники в живые организмы. Начало последнему положило протезирование конечностей, затем усиление физических возможностей человека для функционирования в экстремальных

условиях (активные скафандры, биоуправляемые шагающие машины и т.п.). Наконец, появились новые поколения интеллектуальных протезов и экзоскелетонов, роботы-сиделки, робототехнические системы для реабилитации инвалидов, массажисты и т.п. Однако, прежде всего – это такие новые области применения робототехники как хирургия, в том числе, дистанционная, роботы-ассистенты, микророботы для внутрисосудистой и внутриполостной диагностики и хирургии.

***5. Робототехника в системе образования.*** Данное направление развития робототехники является новым и перспективным. В системе образования республики будут создаваться робототизированные университеты, школы, лицеи и другие образовательные учреждения, где учебный процесс по отдельным дисциплинам или предметам будет осуществляться программными обучающими роботами без участия преподавателей.

Среди перечисленных перспективных областей применения робототехники отсутствует *промышленная робототехника*. Объясняется это тем, что хотя в обозримом будущем основной мировой парк роботов, по-прежнему, будут составлять промышленные роботы, но этот уже сложившийся раздел робототехники не определяет ее развитие в рассмотренных выше направлениях, а именно: перечисленные выше направления робототехники будут бурно развиваться в будущем.

# ГЛОССАРИЙ

**А**

**AIBO** – роботизированная собака, изготовленная компанией SonyCorp.

**Адаптация** – является основной реакцией живого организма, обеспечивающей ему возможность выживания.

**Б**

**База знаний (БЗ)** – ядро ИС, совокупность знаний предметной области, записанная на машинный носитель на языке представления знаний (обычно приближенном к естественному).

**Базис рекурсии** – это предложение, определяющее некую начальную ситуацию или ситуацию в момент прекращения.

**Г**

**Гировер** – робот с шестью колесами, который стабилизируется и управляется с помощью внутреннего механического гироскопа

**ГПС** – гибкие производственные системы.

**Грузоподъемность ПР** – наибольшее значение массы объектов манипулирования, включая и массу рабочего органа, которые могут перемещаться «рукой» при заданных условиях.

**Д**

**Декларативные знания** – факты в виде наборов структурированных данных.

**Динамические качества** – обеспечивают необходимые быстроту набора скорости движения и торможения при остановке

**З**

**Захватное устройство** – это рабочий орган робота.

**Запрос** (в Прологе) – это цели, которые даются программе на выполнение.

**Знания** – это выявленные закономерности предметной области (принципы, связи, законы), позволяющие решать её задачи.

**И**

**Интеллект** – 1) способность мозга решать (интеллектуальные) задачи путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования знаний в процессе обучения на опыте и адаптации к разнообразным обстоятельствам;

2) способность самостоятельно, эффективно (вероятно, с возможно меньшими затратами ресурсов) находить качественные (верные, простые, требующие как можно меньших затрат ресурсов) решения (в том

числе новые, ранее неизвестные) разнообразных сложных «задач», в том числе, новых, ранее неизвестных (в идеале – любых возможных «задач»).

**Интеллектуальная система** – это информационно-вычислительная система (ИВС) с интеллектуальной поддержкой при решении задач без участия оператора (лица, принимающего решение – ЛПР).

**Информационно-измерительная система (ИИС)** – предназначена для сбора и первичной обработки информации для системы управления о состоянии элементов и механизмов ПР и внешней среды.

**Искусственный интеллект (ИИ)** – это одно из направлений информатики, цель которого разработка аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю-непрограммисту ставить и решать свои задачи, традиционно считающиеся интеллектуальными, общаясь с ЭВМ на ограниченном подмножестве естественного языка.

**К**

**КазРоботикс** – Федерация образовательной и спортивной робототехники.

**КУКА** – сварочный робот.

**Л**

**Логика** – 1) наука о формах и методах правильного мышления; 2) наука об универсальных (общезначимых) взаимосвязях между понятиями, суждениями, умозаключениями и другими абстрактными объектами.

**Логический вывод** – это получение некоторой формулы исходя из множества других логических формул путем применения правил вывода.

**Логическое программирование** – это один из подходов к информатике, при котором в качестве языка высокого уровня используется логика предикатов первого порядка в форме фраз Хорна.

**М**

**Манипулятор** – устройство, предназначенное для выполнения всех его двигательных функций ПР, представляет собой многозвенный механизм с разомкнутой кинематической цепью, оснащенный приводами и рабочим органом.

**Мотоман** – робототехнический комплекс для дуговой сварки

**Н**

**Нейрокомпьютер** – это программно-техническая система, которая реализует некоторую формальную модель естественной нейронной сети.

**Нейроподобная сеть** – совокупность нейроподобных элементов, определенным образом соединенных друг с другом и с внешней средой.

**Нейронные сети** – системы с очень сильными возможностями распознавания образов.

**О**

**Обобщение знаний** – процесс получения знаний, объясняющих имеющиеся факты и способных объяснять, классифицировать или предсказывать новые.

**Опорные конструкции** – предназначены для размещения всех устройств и агрегатов ПР.

**П**

**Персептрон** – устройство для распознавания образов.

**Перепрограммируемость** – свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека-оператора.

**Привод** – служит для преобразования подводимой энергии в механическое движение исполнительных звеньев манипулятора в соответствии с командными сигналами.

**Промышленный робот** – автоматическая машина, стационарная или подвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

**Р**

**Рабочая зона ПР** – это пространство, в котором может находиться рабочий орган при его функционировании.

**Рабочий орган манипулятора ПР** – предназначен для непосредственного воздействия на объект манипулирования при выполнении технологических операций или вспомогательных переходов.

**Решатель (машина логического вывода, дедуктивная машина, интерпретатор)** – программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в БЗ.

**Робот** – это машина автоматического действия, которая объединяет свойства машин рабочих и информационных, являясь, таким образом, принципиально новым видом машин.

**С**

**Семантическая сеть** – это ориентированный граф, вершины которого – понятия, а дуги – отношения между ними.

**Система программного управления (СПУ)** – служит для непосредственного формирования и выдачи управляющих сигналов и конструктивно состоит из пульта управления, запоминающего устройства, вычислительного устройства, блоков управления приводами манипулятора и технологического оборудования.

**Система с интеллектуальной поддержкой** – система, способная самостоятельно принимать решения.

**Система управления базой знаний (СУБЗ)** – совокупность средств, обеспечивающих работу со знаниями.

**Система связи (СС)** – предназначена для обеспечения обмена информацией между ПР и оператором или другими роботами и технологическими устройствами с целью формулировки заданий, контроля за функционированием систем ПР и технологического оборудования, диагностики неисправностей, регламентной проверки и т.п.

**Т**

**Таймер** – служит для формирования необходимых по программе выдержек по времени.

**Тельферные тележки** – перемещаются по подвесному монорельсу и снабжены специальным подъемным механизмом или «рукой» с захватным устройством.

**Технология синтеза экспертной системы** – технология создания на основе знаний экспертов систем, решающих неформализованные задачи в слабоструктурированных предметных областях.

**У**

**Унификация** – совпадение цели с головой правила или фактом

**Устройство управления** – служит для формирования и выдачи управляющих воздействий манипулятору в соответствии с управляющей программой.

**Ф**

**Факты** – 1) хорошо известные обстоятельства; 2) отношения или свойства, о которых известно, что они имеют значение «истина».

**Формальная система** – совокупность чисто абстрактных методов, в которых представлены правила оперирования множеством символов в чисто синтаксической трактовке без учета смыслового содержания.

**Функциональная целостность** – возможность выбора желаемого результата, времени и средств получения результата, средств анализа достаточности полученного результата.

**Ц**

**Центрирующие устройства** – эти устройства используются при роботизации сборочных процессов.

**Цикловые системы управления** – это простейшие системы управления, обеспечивающие движение звеньев МА от упора до упора по каждой степени подвижности.

**Ш**

**Шаг рекурсии** – это правило, в теле которого обязательно содержится, в качестве подцели, вызов определяемого предиката

**Э**

**Эвристики** – знания из опыта экспертов.

**Эжектор** – это устройство, в котором происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой.

**Эксперт** – высококвалифицированный специалист, согласившийся поделиться опытом в рассматриваемой предметной области. Интерфейс пользователя – комплекс программ, реализующих диалог пользователям с ИнС на всех стадиях функционирования ИнС.

**Экспертные системы (ЭС) (или инженерия знаний)** – направление искусственного интеллекта, в задачу которого входят исследование и разработка программ (устройств), использующих знания и процедуры вывода да решения задач, являющихся трудными для людей-экспертов.