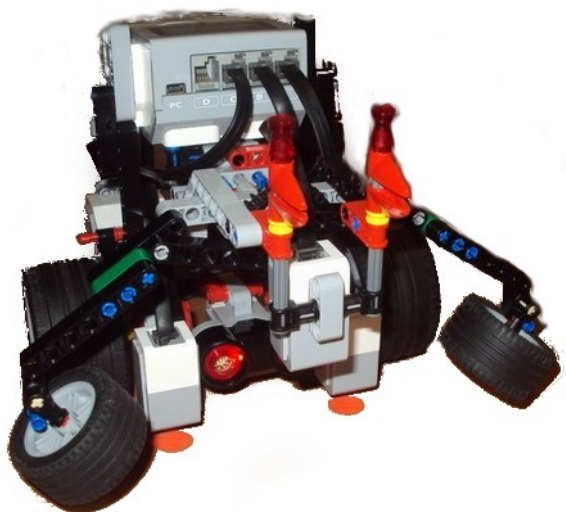


Библиотека RubiRobot

управление роботами на базе контроллера Lego EV3

Версия 0.2



ОС: **Linux Debian** проекта **ev3dev**
Язык программирования: **FreePascal**.
Лицензия: **LGPL v3.0**
Сайт: <http://rubirobot.ru>

Оглавление

Введение.....	4
Подготовка к программированию EV3.....	5
Подготовка к программированию на блоке EV3 в SSH-сессии.....	6
Подготовка к программированию с использованием средств кросскомпиляции.....	8
Разработка библиотеки Rubirobot.....	9
Дорожная карта по развитию инфраструктуры библиотеки.....	9
Дорожная карта по развитию кода библиотеки.....	9
Обнаруженные ошибки в библиотеке.....	9
Новое в текущей версии библиотеки.....	10
Возможности библиотеки Rubirobot.....	11
Модули библиотеки.....	11
Особенности классов библиотеки.....	11
Предопределенные объекты.....	12
Классы подключаемых устройств.....	12
Общие свойства классов устройств.....	13
Средства доступа к объектам, методы инициализации устройств.....	14
Бесперебойный режим работы библиотеки.....	18
Таймауты библиотеки.....	19
Использование классов и объектов библиотеки Rubirobot.....	20
Класс TEv3, объект ev3, модуль uev3.....	20
Описание класса TEv3.....	20
Примеры использования таймеров объекта ev3.....	21
Класс TEv3Buttons, объект ev3buttons, модуль rubiroButtons.....	21
Описание класса TEv3Buttons.....	22
Примеры использования кнопок EV3.....	23
Класс TEv3Leds, объект ev3leds, модуль rubiroLeds.....	25
Описание класса TEv3Leds.....	25
Примеры использования цветоиндикаторов EV3.....	26
Класс TEv3Screen, объект ev3screen, модуль rubiroScreen.....	27
Описание класса TEv3Screen.....	28
Примеры использования дисплея EV3.....	29
Класс TEv3Sound, объект ev3sound, модуль rubiroSound.....	31
Описание класса TEv3Sound.....	31
Примеры использования звуковой подсистемы EV3.....	33
Моторы Lego EV3, модуль rubiroMotors.....	33
Описание классов TEv3TachoMotor, TEv3MediumMotor, TEv3LargeMotor.....	34
Примеры использования моторов EV3.....	36
Рулевое управление, модуль rubiroMotors.....	37
Описание класса TEv3Rule.....	37
Примеры использования рулевого управления на базе моторов EV3.....	39
Датчики Lego EV3, модуль rubiroSensors.....	40
Класс TEv3InfraSensor, модуль rubiroSensors.....	41
Описание класса TEv3InfraSensor и вспомогательных типов данных.....	41
Примеры использования инфракрасного датчика EV3.....	42

Класс TEv3GyroSensor, модуль rubiroSensors.....	44
Описание класса TEv3GyroSensor.....	44
Примеры использования датчика-гироскопа EV3.....	44
Класс TEv3UltraSensor, модуль rubiroSensors.....	45
Описание класса TEv3UltraSensor.....	45
Примеры использования ультразвукового датчика расстояния EV3.....	46
Класс TEv3ColorSensor, модуль rubiroSensors.....	47
Описание класса TEv3ColorSensor.....	47
Примеры использования датчика света EV3.....	47
Класс TEv3TouchSensor, модуль rubiroSensors.....	48
Описание класса TEv3TouchSensor.....	48
Примеры использования датчика-кнопки EV3.....	49

Введение

Библиотека предназначена для управления роботами на базе контроллера Lego EV3 (в дальнейшем - EV3), содержит набор классов и объектов для доступа ко всем подсистемам EV3. В состав библиотеки входят более 15 модулей, более 30 демонстрационных примеров разной степени сложности, документация, файлы COPYING.LESSER и COPYING.LESSER.EN с текстом лицензии LGPLv3 на русском и английском языках, файлы README и VERSION.

Для использования библиотеки требуется загрузка EV3 с дистрибутива Linux Debian проекта ev3dev (<http://www.ev3dev.org>), установка дополнительных пакетов **fpc**, **gcc**, **ttf-dejavu**. Для русификации дистрибутива также рекомендуется установка пакета **locales-all** и выбор **ru_RU.UTF-8** в качестве основной локали командой **dpkg-reconfigure locales**. Саму библиотеку рекомендуется разместить в отдельном каталоге и добавить его в пути поиска модулей в конфигурационном файле FreePascal.

Автор библиотеки RubiRobot - Слинкин Д.А. (xdsl@list.ru). Идея создания библиотеки появилась во время подготовки школьников к робототехническим соревнованиям в конце 2016 - начале 2017 года. Причиной послужил тот факт, что программное обеспечение EV3 от компании Lego совершенно не предназначено для разработки сложных и объемных программ, хотя, благодаря графическому языку программирования, имеет низкий порог вхождения и может использоваться школьниками и студентами всех ступеней обучения.

Другие средства разработки предполагают использование сторонних прошивок и/или таких языков программирования как C, C++, Java, Python и некоторых других. В то-же время, в РФ для обучения программированию в большинстве школ используются разные диалекты языка программирования Pascal (Delphi, PascalABC, FreePascal и т. п.). До настоящего времени не существовало средств разработки на языке Pascal для EV3, что затрудняло применение школьниками полученных на уроках информатики знаний и умений для программирования робототехнических систем.

В то-же время, активно развивающийся проект ev3dev позволяет осуществлять загрузку на EV3 операционной системы Linux Debian Jessie, в репозиториях которой имеется компилятор FreePascal, что дает возможность создания эффективного инструментария для программирования роботов EV3 с использованием этого языка.

Разработка библиотеки RubiRobot началась в апреле 2017, первые рабочие решения приходятся на конец мая - начало июня 2017 года. В начале декабря 2017 года на сайте <http://rubirobot.ru/> была опубликована первая публичная версия библиотеки под лицензией LGPLv3.

Подготовка к программированию EV3

Для программирования EV3 с использованием библиотеки Rubirobot потребуется microSD-карта с дистрибутивом Debian Linux проекта ev3dev (<http://www.ev3dev.org/>) и загрузка EV3 с подготовленной карты. Достаточно подробная документация на английском языке имеется на сайте проекта по адресам <http://www.ev3dev.org/docs/getting-started/> и <http://www.ev3dev.org/docs/tutorials/>. На русском языке по адресу <http://www.proghouse.ru/article-box/107-ev3dev> доступна пошаговая инструкция подготовки SD-карты и подключения к EV3 из операционной системы Windows 7. Если по каким-то причинам сайт www.proghouse.ru недоступен, копия статьи находится в наборе документации библиотеки в файле ev3dev.install.pdf.

После выполнения всех подготовительных работ рекомендуется провести обновление ПО, русификацию и доустановку некоторых пакетов. Для этого, подключившись в ssh-сессии к EV3, следует выполнить следующий набор команд:

1. Обновление списка репозитариев

```
sudo apt-get update
```

2. Обновление установленного ПО

```
sudo apt-get upgrade
```

3. Установка поддержки национальных языков, файлового менеджера Midnight Commander и набора шрифтов dejavu, один из которых используется библиотекой Rubirobot для вывода текста на дисплей EV3.

```
sudo apt-get install locales-all mc ttf-dejavu
```

4. Создание в домашнем каталоге пользователя подкаталога bin. Размещение в этом каталоге исполняемых файлов позволит запускать их в дальнейшем без указания пути, как обычные команды консоли.

```
mkdir ~/bin
```

5. Обеспечение поддержки русского языка. После запуска команды откроется псевдографическое окно, где следует выбрать ru_RU.UTF-8 локалью по умолчанию. После этого рекомендуется перезагрузить EV3, чтобы все изменения вступили в силу.

```
sudo dpkg-reconfigure locales  
sudo reboot
```

6. Если компиляция программ предполагается на блоке, то следует также установить пакеты fpc и gcc. Установка длительная (до 2-х часов), т. к. FreePascal требует большого количества дополнительного ПО. Поэтому следует обеспечить на этот период достаточную зарядку аккумулятора, либо подключить EV3 к электросети.

```
sudo apt-get install fpc gcc
```

Программирование EV3 с использованием библиотеки Rubirobot возможно в двух режимах:

- 1) Разработка и компиляция программы **непосредственно на блоке EV3 в SSH-сессии.**

Данный вариант достаточно просто реализуется, но обладает набором недостатков, одним из

которых является невысокая скорость компиляции программы (от 5 секунд и выше) и невозможность использования на блоке графических средств разработки (Geany, Lazarus и т.п.). Немного ускорить процесс разработки поможет подготовка текста программы на **хостовом** компьютере (в дальнейшем будем так называть персональный компьютер, к которому подключен контроллер EV3), с последующим переносом и компиляцией ее на EV3.

2) Разработка и компиляция программы на хостовом компьютере **средствами кросскомпиляции** с последующим копированием полученного исполняемого файла на EV3. Данный вариант реализуется гораздо сложнее первого, однако после первичной настройки позволяет во много раз увеличить скорость компиляции программы.

Следует отметить, что скорость разработки **НЕ ВЛИЯЕТ** на скорость выполнения программы, поэтому исполняемый файл будет одинаково хорошо работать на блоке вне зависимости от способа его получения.

Подготовка к программированию на блоке EV3 в SSH-сессии

Программировать работа с помощью библиотеки можно непосредственно на EV3, в ssh-сессии, с использованием любого текстового редактора (например - редактора файлового менеджера Midnight Commander, в дальнейшем - mc) и компилятора freepascal. Таким образом, на хостовом компьютере из дополнительного программного обеспечения потребуется установить только ssh-клиент. В любом дистрибутиве ОС Linux ssh-клиент установлен по умолчанию, для ОС Windows рекомендуется использовать putty (<http://www.putty.org/>). Недостатком такого подхода является **невысокая скорость компиляции**, от 5 секунд для простейших программ, до 1 минуты для программ с использованием всех возможностей библиотеки.

Предполагаем, что дальнейшие действия будут производиться в ssh-сессии на EV3, которая была открыта с помощью putty в ОС Windows или штатного ssh-клиента в ОС Linux.

1. Для выполнения файловых операций и подготовки текста программы рекомендуется использовать файловый менеджер Midnight Commander (запуск - команда mc). Для компиляции программы и выполнения некоторых других операций следует применять штатную консоль Linux. При запуске mc временный выход в консоль реализуется комбинацией клавиш "Ctrl-o". Повторное нажатие той-же комбинации вернет в Midnight Commander.

Файловый менеджер Mindnight Commander поддерживает встроенный и один из внешних текстовых редакторов. Рекомендуется выбрать встроенный текстовый редактор (если он не выбран по умолчанию). Для этого можно использовать меню mc:

"Настройки/Конфигурация/Прочие настройки/Встроенный редактор". Если по каким-то причинам встроенный редактор не устраивает, то следует отключить указанный элемент конфигурации и выбрать внешний редактор командой select-editor.

2. Для начала работы с библиотекой следует перейти в домашний каталог (например, командой cd) и загрузить ее последнюю версию с сайта <http://rubirobot.ru/>, например - следующей командой:

```
wget http://rubirobot.ru/files/src/ev3RubiRo.tar.gz
```

Если rubirobot.ru по каким-либо причинам недоступен, одна из последних версий библиотеки может быть загружена с адреса http://xds1.shgpi.edu.ru/web/_/img/ev3RubiRo.tar.gz

Разархивировать полученный файл можно командой:

```
tar -xf ev3RubiRo.tar.gz
```

В результате в домашнем каталоге пользователя будет создан подкаталог **ev3RubiRo** со всеми компонентами библиотеки. В текущей версии библиотеки это каталог **units** с исходными файлами библиотеки, каталог **examples** с примерами, каталог **docs** с документацией, каталог **linux/ev3** с полезными файлами конфигурации и скриптами, которые рекомендуется скопировать в домашний каталог робота и каталог **linux/host** аналогичной структуры, который предназначен для хостового компьютера.

3. Далее следует создать пользовательский файл конфигурации FreePascal в домашнем каталоге пользователя с указанием подключения основного конфигурационного файла и модулей библиотеки Rubirobot, использованием оптимизационной компоновки для уменьшения размера исполняемого файла. Указанный файл называется **.fpc.cfg** и присутствует в каталоге **linux/ev3/home/robot/** библиотеки. Рекомендуется его скопировать в домашний каталог пользователя.

Система подготовлена к разработке ПО. Для проверки ее работоспособности рекомендуется перейти в каталог примеров и скомпилировать один из них, например, анализатор портов EV3 portview:

```
cd ~/ev3RubiRo/examples  
fpc portview.pp
```

Первая компиляция будет достаточно длительной (примерно 90 секунд), так как требует перекомпиляции всей библиотеки. Продолжительность последующих компиляций будет в разы меньше. Полученный исполняемый файл portview следует запускать с блока EV3 через элемент меню "File Browser" программы управления блоком brickman (Brick Manager).

Для собственных проектов рекомендуется создать отдельный подкаталог в домашнем каталоге пользователя. Полученные исполняемые файлы можно запускать как непосредственно с блока EV3 через brickman (элемент меню "File Browser"), так и в ssh-сессии.

При запуске программ с блока через элемент меню "File Browser" следует помнить, что используемые текстовые шрифты для дисплея блока не поддерживают русский язык, поэтому для вывода с помощью процедур write и writeln рекомендуется использовать латиницу. Поддержка русского языка на дисплее EV3 обеспечивается объектом ev3screen библиотеки. При необходимости досрочно завершить выполнение программы следует несколько секунд жать на кнопку BACK.

При запуске программ в ssh-сессии русский язык консоли полностью поддерживается, однако следует помнить, что нажатие кнопок на блоке не только передается в программу, но и задействует соответствующие функции в программе управления блоком. Например, если запустить в ssh-сессии программу, которая потребует от пользователя последовательного нажатия на EV3 кнопок BACK и CENTER, то это скорее всего приведет к выключению блока. Дело в том, что нажатие кнопки BACK, при нахождении в главном меню brickman, приводит к выводу меню перезагрузки, а последующее нажатие кнопки CENTER задействует элемент меню "Power Off". Поэтому следует очень аккуратно взаимодействовать в ssh-сессии с программами, которые обрабатывают кнопки блока, не допуская подобных коллизий.

При необходимости досрочно завершить выполнение программы следует использовать комбинацию клавиш Ctrl-C.

В целях упрощения запуска программ с блока, рекомендуется копировать скомпилированные исполняемые файлы программ непосредственно в домашний каталог. Для этого служит скрипт frssr, который находится в каталоге linux/ev3/home/robot/bin/ библиотеки.

Рекомендуется скопировать его в каталог bin домашнего каталога робота. Скрипт удаляет целевой исполняемый файл, затем компилирует переданный файл программы и при отсутствии ошибок - копирует полученный исполняемый файл в домашний каталог. Таким образом, при возникновении ошибок компиляции, исполняемый файл будет гарантированно отсутствовать в домашнем каталоге пользователя. Соответственно, при отсутствии ошибок компиляции, исполняемый файл будет гарантированно присутствовать в домашнем каталоге пользователя.

Подготовка к программированию с использованием средств кросскомпиляции.

Если на хостовом компьютере используется ОС Linux, рекомендуется применять кросскомпиляцию при программировании EV3. Это резко повысит скорость разработки и снизит нагрузку на EV3. Документацию по настройке хостового компьютера на базе ОС Linux для использования кросскомпиляции планируется включить в следующую версию библиотеки.

Разработка библиотеки Rubirobot

Поставленные задачи идентифицируются датой. Решенные задачи помечаются знаком "*", датой решения задачи и версией библиотеки, в которой задача была решена.

Дорожная карта по развитию инфраструктуры библиотеки

*2017-12. На основе документации ev3dev разработать русскоязычную документацию по подготовке SD-карты, инсталляции, подключению, обновлению ПО, доустановке требуемых пакетов, русификации. (решено 2018-01. v0.2)

*2017-12. Подготовить документацию по разработке программ на EV3 в SSH-сессии. (решено 2018-01. v0.2)

2017-12. Подготовить документацию по кросскомпиляции.

2017-12. Готовить и периодически публиковать образ SD-карты с необходимым ПО для использования библиотеки rubirobot и архив библиотек для кросскомпиляции

Дорожная карта по развитию кода библиотеки

Модуль rubiroSound:

2017-12. Возможность генерации аудио-файлов

2017-12. Создание очереди звуковых запросов

2017-12. Поддержка мультязычности

Модуль rubiroScreen:

2017-12. Уменьшение зависимости от fcl-image при сохранении неизменной интерфейсной части.

2017-12. Поддержка нескольких шрифтов, возможность указывать их местоположение в файловой системе.

Модули rubiroMotors и rubiroSensors:

*2017-12. Корректировка формулы поворота и способа остановки в TEv3Rule для максимального соответствия программному обеспечению Lego. (решено 2018-01. v0.2)

*2017-12. Поддержка рулевого управления для средних моторов. (решено 2018-01. v0.2)

*2017-12. Реализация режима ожидания (waitMode) для инфракрасного датчика. (решено 2018-01. v0.2)

*2017-12. Определение свойств-переменных для моторов и датчиков, их создание в момент первого обращения, автоматическое уничтожение при отключении и по окончании программы. Цель: упростить обращение к датчикам-моторам, без объявления переменных и явного создания объектов. Например - gyro и gyro1 - первый подключенный гироскоп, gyro2 - второй и т.д.; gyro[1] - гироскоп на первом порту, gyro[2] - гироскоп на втором порту и т. д.; rule и rule1 - рулевое управление на первых двух моторах, rule2 - на последующих двух моторах, rule[1,4] - рулевое управление на первом и четвертом моторах и т. д. (решено 2018-01. v0.2, функциональный способ доступа к устройствам)

2018-01. Создание простого механизма отключения и включения бесперебойного режима, с автоматической поддержкой всех способов доступа к устройствам.

Обнаруженные ошибки в библиотеке

Модули uev3Devices, uev3sysfs

*2017-12. Уничтожение отключившихся устройств в `uev3Devices.TEv3DeviceFactory.Refresh` входит в противоречие с режимом ожидания повторного подключения в `uev3sysfs.TEv3Data`. При отказе от уничтожения становится невозможным подключение устройства другого типа к использованному ранее порту. Цугцванг. (решено 2018-01. v0.2, бесперебойный режим)

Модуль uev3Screen

2017-12. Стили кисти функционируют некорректно при переходе на freepascal версии 3.0.2

Модуль uev3Motors

*2017-12. Для всех видов метода `RunTime` моторов и рулевого управления не работает реверс. При задании отрицательной скорости направление вращения не изменяется. (решено 2017-02. v0.1)

Новое в текущей версии библиотеки

Версия 0.2

2018-01. Управление реверсом в классах `TEv3TachoMotor` и `TEv3Rule` было перенесено из `public` в `protected`. Причина: реверс используется в отдельных методах, связанных с запуском двигателей на отрицательной скорости, поэтому пользовательское изменение реверса может привести к неадекватному поведению двигателя.

2018-01. Введен механизм управления таймерами в классе `TEv3`. Данный класс является базовым, что позволяет обеспечить поддержку до 10 таймеров каждому объекту системы. Произведен рефакторинг библиотеки с заменой всех действий, связанных с временными задержками, на таймеры `TEv3`.

2018-01. Решена проблема неоднозначности в работе `uev3Devices.TEv3DeviceFactory.Refresh`. Теперь в метод `Refresh` передается логический параметр `freeLostDevices`, по умолчанию равный `false`. При этом сохраняется возможность продолжения работы программы при переподключении физических устройств в случае их форсмажорного кратковременного отключения (механизм получил название "Бесперебойный режим работы"). Недостатком является невозможность во время работы программы корректного переподключения к одному и тому же порту другого типа устройства.

При передаче `freeLostDevices=true` появляется возможность произвольным образом переподключать устройства, однако все объекты, связанные с отключенными устройствами, должны быть в обязательном порядке пересозданы. Применяется в ситуациях, когда предполагаются многочисленные подключения-отключения различных физических устройств, например, в приложении `portview` из примеров библиотеки.

2018-01. Решена задача доступа к объектам датчиков, моторов и рулевому управлению без объявления соответствующих переменных, с автоматическим созданием требуемых объектов и уничтожением их в конце работы программы. Доступ реализован в виде вызова соответствующих функций. Например, для цветковых датчиков определены функции `ev3Color`, `ev3Color1`, `ev3Color2`, `ev3Color3`, `ev3Color4`. Механизм получил название "Функциональный способ доступа к устройствам"

2018-01. Рулевое управление функционирует как на больших, так и на средних моторах. Для указания типа мотора следует передать в конструктор соответствующий класс. По умолчанию, без передачи класса в конструктор, рулевое управление функционирует на больших моторах.

Возможности библиотеки Rubirobot

Модули библиотеки

Модули библиотеки можно условно разделить на 3 части:

1. Базовый модуль uev3. Любая программа, использующая библиотеку, должна подключить как минимум модуль uev3 и первым действием вызвать функцию инициализации библиотеки ev3init(). Без этого обращение к библиотеке будет завершаться ошибкой.

В библиотеке применяется тип Variant для большинства параметров процедур, функций и методов классов, что позволяет по разному формировать и интерпретировать данные. Обычно это строки и числа разных типов. Базовый модуль uev3 содержит 286 переменных типа Variant, с именами a, a0, a1..a9, b, b0, b1..b9, ... z, z0, z1..z9. Это позволяет быстро создавать программы, не отвлекаясь на объявление переменных. К сожалению, тип variant несовместим с объектным типом, поэтому переменные-объекты подключаемых устройств (датчиков и моторов) в обязательном порядке следует объявлять. Исключением является функциональный способ доступа к объектам устройств (см. ниже), при котором объявление переменных-объектов не требуется.

2. Модули поддержки 6 основных подсистем EV3.

Модуль	Описание
rubiroScreen	Обработка дисплея EV3
rubiroSound	Обработка аудио-системы EV3
rubiroLeds	Обработка цветовой индикации EV3
rubiroButtons	Обработка кнопок EV3
rubiroMotors	Обработка двигателей EV3
rubiroSensors	Обработка датчиков EV3

3. Вспомогательные модули

Модуль	Описание
uev3devices	Низкоуровневая поддержка подключаемых устройств.
uev3sysfs	Низкоуровневое чтение-запись данных для sysfs-файлов
uev3fb, uev3freetype, uev3ftfont, uev3image	Низкоуровневая поддержка дисплея
uev3const, uev3func, uev3utf8	Общепотребительные константы, переменные, функции

Особенности классов библиотеки

Особенностью классов библиотеки является то, что большинство методов в качестве результата возвращает ссылку на текущий объект. Это позволяет осуществлять последовательный вызов методов объекта без повторного указания объекта. Например:

```

var LM: TEv3LargeMotor;
begin
  ev3init();
  LM:=TEv3LargeMotor.Create;
  ...
  LM.setHowStop('стой').run(100).wait();
  ...
end.

```

Другой особенностью является использование типа `variant` для большинства параметров и повсеместная перегрузка методов классов. Это позволяет использовать одно и то же имя метода, но с разными типами и количеством параметров, что фактически приближает возможности библиотеки к возможностям интерпретируемых языков с динамической типизацией.

Предопределенные объекты

Предопределенные объекты создаются вызовом процедуры `ev3init()` из модуля `uev3`.

Объект	Класс	Модуль	Краткое описание
ev3	TEv3	uev3	Может использоваться для ожидания возникновения событий на других объектах. Поддерживает до 10 таймеров. Прикладным программистом применяется в основном для управления таймерами. Необходимость в создании других экземпляров отсутствует.
ev3buttons	TEv3Buttons	rubiroButtons	Обеспечивает обработку кнопок EV3. Используется повсеместно. Необходимость в создании других экземпляров отсутствует.
ev3leds	TEv3Leds	rubiroLeds	Обеспечивает обработку цветоиндикации EV3. Используется повсеместно. Необходимость в создании других экземпляров отсутствует.
ev3screen	TEv3Screen	rubiroScreen	Обеспечивает обработку дисплея EV3 в графическом режиме. Используется повсеместно. Необходимость в создании других экземпляров отсутствует.
ev3sound	TEv3Sound	rubiroSound	Обеспечивает поддержку аудио EV3. Используется повсеместно. Необходимость в создании других экземпляров отсутствует.
ev3DeviceFactory	TEv3DeviceFactory	uev3devices	Фабрика устройств. Обеспечивает инициализацию устройств и хранит набор подключенных устройств. Автоматически обновляется: при попытке инициализировать новое устройство, при попытке обращения к отключенному устройству. В последнем случае осуществляет несколько попыток обновления со звуковой и цветовой индикацией. Активно используется для внутренних целей, необходимость доступа к объекту извне возникает крайне редко.

Классы подключаемых устройств

Класс	Модуль	Краткое описание
TEv3InfraSensor	rubiroSensors	Инфракрасный датчик (код 45509). Позволяет определять расстояние до

Класс	Модуль	Краткое описание
		препятствия (до примерно 70 см), направление и расстояние до маяка (код 45508), набор нажатых кнопок на маяке. Операции на маяке проводятся с учетом выбранного канала связи.
TEv3GyroSensor	rubiroSensors	Гироскопический датчик (код 45505). Позволяет определить скорость и направление при движении в горизонтальной плоскости, скорость и угол наклона.
TEv3UltraSensor	rubiroSensors	Ультразвуковой датчик (код 45504). Позволяет определять расстояние до препятствия в миллиметрах, сантиметрах, метрах; оценивать наличие шумов от других датчиков; получать данные сразу, либо ожидать изменившегося значения. Штатно поддерживает режим постоянного непрерывного определения расстояния. Экспериментально поддерживает режим одноразового определения расстояния (не рекомендуется к использованию)
TEv3ColorSensor	rubiroSensors	Датчик цвета/света (код 45506). Поддерживает режимы определения цвета, определения составляющих цвета (RGB), определения уровня отраженного света и определения освещенности. Позволяет получать данные сразу, либо ожидать изменившегося значения
TEv3TouchSensor	rubiroSensors	Датчик касания (код 45507). Позволяет определить текущее состояние кнопки, позволяет ожидать нажатия, отжатия и щелчка.
TEv3MediumMotor	rubiroMotors	Средний мотор (код 45503). Позволяет запускать мотор с остановкой по истечении времени, по достижению количества оборотов или градусов, а также без ограничений. Дает возможность реверса. Перед запуском и при запуске позволяет указать скорость и один из трех способов остановки, а также в любой момент времени получить эти данные. Позволяет определить текущую скорость и позицию, ждать остановки мотора.
TEv3LargeMotor	rubiroMotors	Большой мотор (код 45502). Возможности эквивалентны среднему мотору.
TEv3Rule	rubiroMotors	Рулевое управление. Позволяет использовать одновременно пару больших моторов. Позволяет запускать моторы с ожиданием остановки по достижению количества оборотов или градусов. Позволяет запускать моторы без ожидания с остановкой по истечении времени. Дает возможность реверса. Перед запуском и при запуске позволяет указать скорость и один из трех способов остановки, а также в любой момент времени получить эти данные. Позволяет определить текущую скорость и позицию, ждать остановки моторов.

Общие свойства классов устройств

Среди общих для всех классов устройств свойств следует выделить логическое свойство **Connected** и свойство перечислимого типа **Port**.

Свойство **Connected** является универсальным способом определения валидности объекта. Оно возвращает **true** только в случае, если объект корректно подключен к активному в настоящий момент физическому устройству. Во всех остальных случаях, в том числе и при неудачной инициализации объекта, метод **Connected** возвращает **false**.

Свойство **Port** возвращает порт, к которому подключено физическое устройство, связанное с текущим объектом. Приведение полученного значения к целочисленному типу (например, с помощью функции **ord**) дает число от 1 до 4 для датчиков, от 5 до 8 - для моторов, 0 - при невалидности объекта.

Средства доступа к объектам, методы инициализации устройств.

Доступ к объектам подключаемых устройств (моторам и датчикам, рулевому управлению) реализуется двумя способами: **классическим** и **функциональным**. Каждый способ поддерживает по два метода инициализации устройств - **фиксированный** и **динамический**.

Объекты подключаемых устройств могут создаваться, обрабатываться и уничтожаться программистом штатными (**классическими**) средствами объектно-ориентированного программирования. Каждый класс устройств содержит два конструктора для поддержки фиксированного и динамического методов инициализации.

Фиксированный метод предполагает создание объекта устройства конструктором Create с одним параметром (номером порта). При этом производится попытка инициализации устройства по указанному порту (в случае неудачи конструктор вернет nil).

Динамический метод использует конструктор Create без параметра. При этом производится попытка инициализации устройства заявленного типа на любом порту (в случае неудачи конструктор вернет nil). Поиск устройства производится от меньшего номера порта к большему. При наличии нескольких устройств приоритет отдается ранее не инициализированным. Динамический метод позволяет инициализировать устройства только последовательно, без возможности доступа к устройствам на старших портах ранее, чем к устройствам на младших портах.

В приведенном ниже примере предполагается, что к контроллеру подключены два датчика-кнопки, к 1 и 4 портам.

Фиксированный метод инициализации устройств.	Динамический метод инициализации устройств
<pre> uses uev3, rubiroSensors; var t1, t4: TEV3TouchSensor; begin ev3Init(); // инициализация датчика-кнопки // на первом порту t1:=TEV3TouchSensor.Create(1); // инициализация датчика-кнопки // на четвертом порту t4:=TEV3TouchSensor.Create(4); ... t1.free; t4.free; end.</pre>	<pre> uses uev3, rubiroSensors; var tOne, tTwo: TEV3TouchSensor; begin ev3Init(); // инициализация первого датчика-кнопки, // по факту - на первом порту tOne:=TEV3TouchSensor.Create; // инициализация второго датчика-кнопки, // по факту - на четвертом порту tTwo:=TEV3TouchSensor.Create; ... tOne.free; tTwo.free; end.</pre>

Существует альтернативный (**функциональный**) способ доступа к объектам подключаемых устройств, с помощью специальных функций, которые объявлены для каждого класса устройств. Функции автоматически создают необходимые объекты при первом обращении и возвращают их в качестве результата. Созданные объекты сохраняются в оперативной памяти и при последующих обращениях возвращаются без попытки повторного создания. Как и в классическом способе, поддерживаются фиксированный и динамический методы создания объектов. При фиксированном методе в соответствующую функцию передается номер порта. Динамический метод предполагает использование "номерных" функций, которых объявлено четыре для каждого устройства и две - для рулевого управления. Кроме этого, функция

фиксированного метода при вызове без параметра является псевдонимом первой функции динамического метода. Динамический метод функционального способа доступа позволяет обращаться к устройствам в любом порядке.

Классический и функциональный способы доступа к одним и тем-же типам устройств не рекомендуется смешивать в одной программе. Кроме этого, не рекомендуется при штатном способе доступа создавать и использовать различные объекты, ссылающиеся на одно и то-же физическое устройство. На программном уровне подобные действия не запрещены, так как в некоторых ситуациях они могут быть оправданы (например, при отладке библиотеки разработчиком).

Выбор классического или функционального способа доступа к объектам устройств находится в компетенции программиста. Классический доступ позволяет создавать и уничтожать объекты по мере необходимости, обладает высокой скоростью, позволяет использовать некоторые низкоуровневые возможности библиотеки. Функциональный способ доступа не требует контроля за объектами устройств, не требует объявлять переменные-объекты, автоматически уничтожает объекты по окончании работы. В тоже время, функциональный способ доступа не позволяет, например, отказаться от бесперебойного режима работы библиотеки (см. ниже).

Рекомендуется выбирать классический способ доступа, если критичным фактором является **скорость исполнения** программы. Функциональный способ доступа увеличивает **скорость разработки** программы и ограждает от многих ошибок.

В таблице ниже приведен набор средств функционального доступа к объектам устройств для всех классов библиотеки.

Класс	Модуль	Функции доступа к устройствам
TEv3InfraSensor	rubiroSensors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1 до 4 function ev3Infra(index:integer):TEv3InfraSensor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3Infra1 function ev3Infra:TEv3InfraSensor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Infra1:TEv3InfraSensor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Infra2:TEv3InfraSensor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3Infra3:TEv3InfraSensor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Infra4:TEv3InfraSensor;
TEv3GyroSensor	rubiroSensors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1 до 4 function ev3Gyro(index:integer):TEv3GyroSensor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3Gyro1 function ev3Gyro:TEv3GyroSensor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Gyro1:TEv3GyroSensor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Gyro2:TEv3GyroSensor;

Класс	Модуль	Функции доступа к устройствам
		// доступ к третьему подключенному устройству function ev3Gyro3:TEv3GyroSensor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Gyro4:TEv3GyroSensor;
TEv3UltraSensor	rubiroSensors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1 до 4 function ev3Ultra(index:integer):TEv3UltraSensor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3Ultra1 function ev3Ultra:TEv3UltraSensor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Ultra1:TEv3UltraSensor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Ultra2:TEv3UltraSensor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3Ultra3:TEv3UltraSensor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Ultra4:TEv3UltraSensor;
TEv3ColorSensor	rubiroSensors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1 до 4 function ev3Color(index:integer):TEv3ColorSensor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3Color1 function ev3Color:TEv3ColorSensor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Color1:TEv3ColorSensor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Color2:TEv3ColorSensor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3Color3:TEv3ColorSensor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Color4:TEv3ColorSensor;
TEv3TouchSensor	rubiroSensors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1 до 4 function ev3Touch(index:integer):TEv3TouchSensor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3Touch1 function ev3Touch:TEv3TouchSensor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Touch1:TEv3TouchSensor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Touch2:TEv3TouchSensor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3Touch3:TEv3TouchSensor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Touch4:TEv3TouchSensor;
TEv3MediumMotor	rubiroMotors	Фиксированный доступ по номеру порта // номера портов от 1(5) до 4(8) function ev3MMotor(index:integer):TEv3MediumMotor; // номера портов от 'A' до 'D' или от 'outA' до 'outD' function ev3MMotor(index:string):TEv3LargeMotor; Динамический доступ по порядку подключения. // псевдоним для ev3MediumMotor1

Класс	Модуль	Функции доступа к устройствам
		<pre>function ev3MMotor:TEv3MediumMotor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3MMotor1:TEv3MediumMotor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3MMotor2:TEv3MediumMotor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3MMotor3:TEv3MediumMotor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3MMotor4:TEv3MediumMotor;</pre>
TEv3LargeMotor	rubiroMotors	<p>Фиксированный доступ по номеру порта</p> <pre>// номера портов от 1(5) до 4(8) function ev3Motor(index:integer):TEv3LargeMotor; // номера портов от 'A' до 'D' или от 'outA' до 'outD' function ev3Motor(index:string):TEv3LargeMotor;</pre> <p>Динамический доступ по порядку подключения.</p> <pre>// псевдоним для ev3Motor1 function ev3Motor:TEv3LargeMotor; // доступ к первому подключенному устройству function ev3Motor1:TEv3LargeMotor; // доступ к второму подключенному устройству function ev3Motor2:TEv3LargeMotor; // доступ к третьему подключенному устройству function ev3Motor3:TEv3LargeMotor; // доступ к четвертому подключенному устройству function ev3Motor4:TEv3LargeMotor;</pre>
TEv3Rule	rubiroMotors	<p>Фиксированный доступ для рулевого управления на больших моторах по номеру порта</p> <pre>// номера портов от 1(5) до 4(8) function ev3Rule(index1,index2:integer):TEv3Rule; // номера портов от 'A' до 'D' или от 'outA' до 'outD' function ev3Rule(index1,index2:string):TEv3Rule;</pre> <p>Динамический доступ рулевого управления на больших моторах по порядку подключения.</p> <pre>function ev3Rule:TEv3Rule;</pre> <p>Фиксированный доступ для рулевого управления на средних моторах по номеру порта</p> <pre>// номера портов от 1(5) до 4(8) function ev3MRule(index1,index2:integer):TEv3Rule; // номера портов от 'A' до 'D' или от 'outA' до 'outD' function ev3MRule(index1,index2:string):TEv3Rule;</pre> <p>Динамический доступ рулевого управления на средних моторах по порядку подключения.</p> <pre>function ev3MRule:TEv3Rule;</pre>

Пример ниже демонстрирует использование функционального способа доступа к объектам для определения портов, к которым подключены два датчика-кнопки.

```
{
  Определение портов для двух датчиков-кнопок (sns8.pp)
}
uses uev3, rubiroSensors;
begin
  ev3init();
```

```

if not ev3touch.connected then begin
  writeln('First touchSensor NOT connected'); exit;
end;
writeln('First touchSensor connected, port: ', ev3touch.port);
if not ev3touch2.connected then begin
  writeln('Second touchSensor NOT connected'); exit;
end;
writeln('Second touchSensor connected, port: ', ev3touch2.port);
end.

```

Некоторые примеры в библиотеке предлагаются в двух вариантах - с классическим и функциональным способами доступа к устройствам. В последнем случае имя файла программы содержит суффикс "_1".

Бесперебойный режим работы библиотеки

Отключение устройства может быть протестировано методом Connected любого объекта-датчика или объекта-мотора, однако программист фактически не может обработать ситуацию, когда физическое отключение возникло ПОСЛЕ проверки состояния объекта, но ДО обращения к устройству.

Для решения указанной проблемы библиотека Rubirobot по умолчанию работает в **бесперебойном режиме**, то есть поддерживает возможность бесперебойной работы объектов датчиков и моторов при **кратковременном** отключении физических устройств с их последующим переподключением к тому-же порту. Такая ситуация часто возникает при слабом контакте соединительных проводов, эксплуатации робота в сложных условиях (резкие повороты, переворачивания, тряска) и т. п.

При попытке обращения к методам отключенных объектов, которые получают доступ к устройству, система блокирует обращение и пытается uev3sysfs.countMaxRefreshFactory раз (по умолчанию - 10) переподключить отключенное устройство с интервалом в uev3sysfs.errorAttrInterval миллисекунд (по умолчанию - 2000) между попытками и звуковой сигнализацией, регулируемой uev3sysfs.beepError (по умолчанию - true). При успешном переподключении программа продолжает свою работу с места блокировки. В случае неудачи - возникает Exception. Звуковая сигнализация позволяет по тону определить тип отключенного устройства (двигатели - высокий тон, датчики - низкий), и по количеству сигналов - номер порта (от 1 до 4 сигналов).

Недостатком такого подхода является **фиксирование типа устройства на порту, к которому оно однажды было подключено**. Другими словами, переподключение к одному и тому-же порту возможно только для устройств одного типа. В некоторых случаях это мешает корректному функционированию программ. Например, в примере portview.pp библиотеки представлена реализация анализатора портов контроллера. Анализатор должен корректно работать при динамических отключениях и подключениях любых устройств к любым портам. В бесперебойном режиме это невозможно реализовать.

В примере portview.pp представлен алгоритм отключения бесперебойного режима:

1. Блокирование переподключений устройств установкой uev3sysfs.countMaxRefreshFactory в значение 0.

2. Заключение кода программы в обработчик исключительной ситуации для блокирования реакции на обращение к отключенным устройствами.
3. Периодическое обновление списка подключенных устройств с помощью фабрики устройств `ev3deviceFactory.Refresh(true)`.
4. Периодическая проверка объектов устройств на валидность с помощью `Connected` и уничтожение невалидных.
5. Периодическая проверка подключенных устройств и создание соответствующих им объектов.

Стоит обратить внимание, что при отключении бесперебойного режима невозможно корректное использование функционального способа доступа к объектам устройств. В следующих версиях библиотеки планируется создание более простого механизма отключения и включения бесперебойного режима, с автоматической поддержкой всех способов доступа к объектам.

Таймауты библиотеки

Запись и чтение значений датчиков, моторов, кнопок и цветоиндикаторов производится (за редким исключением) с использованием виртуальных файлов в файловой системе `sysfs`, которые, в свою очередь, обслуживаются драйверами соответствующих устройств. Слишком частое чтение или запись в эти файлы может вызвать некорректную работу драйверов и, как следствие, замедление работы, отказ в доступе к устройствам или даже зависание контроллера. Поэтому в библиотеке предусмотрены отдельные таймауты на чтение (`uev3sysfs.getInterval`) и запись данных (`uev3sysfs.setInterval`). По умолчанию они равны соответственно 10 и 20 миллисекунд, но могут быть изменены как глобально, так и индивидуально для каждого класса или объекта.

Первым признаком недостаточности используемых таймаутов может служить процесс `systemd_udevd`, который начинает использовать более 10% процессорного времени и не уменьшает свою загруженность по окончании работы программы (проверяется утилитой `top` в `ssh`-сессии). Текущий набор таймаутов подобран экспериментально и в подавляющем большинстве случаев не должен давать такого эффекта. Однако возможны неисследованные ситуации, когда размер таймаутов окажется недостаточным. В этом случае программисту рекомендуется начать решать возникшую проблему путем небольшого увеличения глобального таймаута на запись (`uev3sysfs.setInterval`) в самом начале программы, до вызова функции `ev3init`.

Использование классов и объектов библиотеки Rubirobot

Класс TEv3, объект ev3, модуль uev3

Класс TEv3 является базовым для всех остальных классов библиотеки. Класс поддерживает механизмы ожидания различных событий. С версии 0.2 библиотеки класс обеспечивает поддержку до 10 таймеров на объект.

Объект **ev3** класса TEv3 автоматически создается при инициализации библиотеки вызовом процедуры `ev3init()`. В версии библиотеки 0.1 объект `ev3` применялся только в отладочных целях. Начиная с версии 0.2 рекомендуется применять данный объект в ситуациях, когда необходима поддержка таймеров, не связанных с другими объектами библиотеки.

Описание класса TEv3

```
TEv3=class
  constructor Create;
  {
    метод ожидания (блокировки) возникновения некоторого события
    возвращает истину при достижении события и ложь при достижении таймаута
    таймаут - в миллисекундах, при таймауте=0 - однократная проверка достижения
    В классе TEv3 - заглушка, должен перекрываться в потомках, которые
    нуждаются в механизмах ожидания событий
  }
  function waitEvent(event:ansistring; timeout:dword=high(dword)):boolean;
    virtual;
  {
    метод ожидания возникновения событий на VCEX переданных переданных объектах
    Параметры передаются парами: объект-событие
  }
  function waitAllEvents( objs:array of const; timeout:dword=
    high(dword)):boolean;
  {
    метод ожидания возникновения события на ХОТЯ-БЫ НА ОДНОМ ИЗ
    переданных объектов
    Параметры передаются парами: объект-событие
    Если событие возникло, возвращает первый объект, где оно возникло,
    иначе nil
  }
  function waitAnyEvent(objs:array of const; timeout:dword=high(dword)):TEv3;
  {
    универсальное ожидание
  }
  function waitEvents(Args:array of const; eLink:TEv3EventLink;
    out res:TEv3; timeout:dword=high(dword)):boolean;
  function waitEvents(Objs: array of TEv3; Events: array of string;
    eLink: TEv3EventLink; out res: TEv3; timeout: dword=high(dword)): boolean;
  {
    блокирует на ms миллисекунд
  }
  function sleep(ms:dword):TEv3;
  {
    запускает таймер, количество таймеров - 10, с 0 до 9
    по умолчанию используется таймер с номером 0
  }
```

```

}
function timerStart(ID:integer=0):TEv3;
{
  возвращает кол-во миллисекунд с момента запуска таймера
}
function timer(ID:integer=0):dword;
function timer(ID:integer; out ms:dword):TEv3;
{
  блокирует на таймаут ms с момента старта таймера
  например: timerStart(8) выполнен в 13:05:23
  если timerWait(6000,8) запущен в 13:05:25,
  то блокировка по 8 таймеру закончится 13:05:29
  если timerWait(6000,8) запущен после 13:05:29,
  то произойдет немедленный выход из функции.
}
function timerWait(ms:dword; ID:integer=0):TEv3;
end;

```

Примеры использования таймеров объекта ev3

```

{
  Демонстрация работы таймеров на EV3 (tmr1.pp):
}
{$mode objfpc}
uses uev3;
begin
  ev3init();
  writeln('Timer0 and Timer1 start');
  ev3.timerStart.timerStart(1);
  writeln('Sleep 2 sec');
  ev3.sleep(2000);
  writeln('Timer0 value = ',ev3.timer,' msec');
  writeln('Timer1 value = ',ev3.timer(1),' msec');
  write('press enter NOW!');readln;
  writeln('Now sleep until timer0 value = 6000 msec. ');
  ev3.timerWait(6000);
  writeln('Timer0 sleeping end, value = ',ev3.timer);
  write('press enter NOW!'); readln;
  writeln('Now sleep until timer1 value = 6000 msec. ');
  ev3.timerWait(6000,1);
  writeln('Timer1 sleeping end, value = ',ev3.timer(1));
  write('press enter NOW!'); readln;
  writeln('Now sleep until timer1 value = 10000 msec. ');
  ev3.timerWait(10000,1);
  writeln('Timer1 sleeping end, value = ',ev3.timer(1));
end.

```

Класс TEv3Buttons, объект ev3buttons, модуль rubiroButtons

Доступ к кнопкам EV3 реализован через объект **ev3buttons** класса TEv3Buttons. Объект автоматически создается при инициализации библиотеки вызовом процедуры ev3init().

У EV3 имеется 6 кнопок: UP, DOWN, LEFT, RIGHT, CENTER, BACK.

Нажатие на кнопку CENTER дополнительно генерирует перевод строки. Таким образом, завершение вызова процедуры readln можно обеспечить не клавишей Enter, а кнопкой CENTER. Это позволяет использовать единый способ ожидания как в ssh-сессии, так и при запуске программы на блоке.

Объект ev3buttons позволяет:

- 1) Получать текущее состояние кнопок (нажата или отжата)
- 2) Ожидать возникновения любого события на кнопках
- 3) Ожидать возникновения заданных событий на кнопках

Существует несколько способов как идентификации кнопок в методах ожидания, так и идентификации состояния кнопок, при этом регистр символов значения не имеет:

Идентификация кнопок:

Кнопка UP, варианты идентификации: 'up','вверх','103','bup'

Кнопка DOWN, варианты идентификации: 'down','вниз','108','bdown'

Кнопка LEFT, варианты идентификации: 'left','влево','105','bleft'

Кнопка RIGHT, варианты идентификации: 'right','вправо','106','bright'

Кнопка CENTER, варианты идентификации: 'center','центр','28','bcenter'

Кнопка BACK, варианты идентификации: любые строки, рекомендуются следующие - 'back','cancel','назад','отмена','bback'

Идентификация состояния кнопок

Кнопка отжата: 'нет','no','0','"

Кнопка нажата: все остальные варианты

Описание класса TEv3Buttons

```
TEv3Buttons=class(TEv3)
  constructor Create();
  destructor destroy;override;

{
  ждет нажатия или отпускание кнопки. Кнопка кодируется событием вида
  '14:0', 'назад:нет'(отпускание клавиши Back), '108:1', 'Down:NO'
  (нажатие клавиши Down) и т.п., регистр символов неважен.
  timeout - максимальный таймаут, возвращает false при выходе по таймауту
}
function waitEvent(event:string; timeout:dword=high(dword)):boolean;
override;

{
  блокированно ждет нажатия или отпускания клавиши
  в Button возвращает клавишу - одну из констант bBACK, bCENTER, bUP,
  bLEFT, bRIGHT или bDOWN
  в Press возвращает true, если было нажатие
}
function wait(out Button:variant; out Press:variant):TEv3Buttons;

{
  ждать нажатия-отпускания набора кнопок
  завершение - при возникновении ВСЕХ событий из переданного массива
  каждая кнопка в массиве кодируется строкой (см.WaitEvent)
```

```

    процессе ожидания сопровождается миганием цветоиндикации
}
function waitAll(Buttons:array of const):TEv3Buttons;

{
    ждать нажатия-отпускания набора кнопок
    завершение - при возникновении ЛЮБОГО события из переданного массива
    каждая кнопка в массиве кодируется строкой (см.WaitEvent)
    процессе ожидания сопровождается миганием цветоиндикации
}
function waitAny(Buttons:array of const):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки BACK, true - при нажатии
property Back:variant read getBack;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки BACK
function waitBack(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitBack(press:boolean):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки CENTER, true - при нажатии
property Center:variant read getCenter;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки CENTER
function waitCenter(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitCenter(press:boolean):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки UP, true - при нажатии
property Up:variant read getUp;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки UP
function waitUp(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitUp(press:boolean):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки LEFT, true - при нажатии
property Left:variant read getLeft;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки LEFT
function waitLeft(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitLeft(press:boolean):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки RIGHT, true - при нажатии
property Right:variant read getRight;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки RIGHT
function waitRight(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitRight(press:boolean):TEv3Buttons;

// возвращает состояние кнопки DOWN, true - при нажатии
property Down:variant read getDown;
// ожидает нажатия (1,true) или отпускания (0,false) кнопки DOWN
function waitDown(press:byte=1):TEv3Buttons;
function waitDown(press:boolean):TEv3Buttons;
end;

```

Примеры использования кнопок EV3

```

{
    Вывод на экран нажимаемых кнопок EV3 (btn1.pp):
}
{$mode objfpc}
uses uev3,rubiroButtons;
begin
    ev3init();
    while not ev3buttons.back do begin

```

```

    if ev3buttons.up then writeln('UP');
    if ev3buttons.down then writeln('DOWN');
    if ev3buttons.left then writeln('LEFT');
    if ev3buttons.right then writeln('RIGHT');
    if ev3buttons.center then writeln('CENTER');
end;
end.

{
  Блокирующее ожидание и вывод на экран
  нажимаемых/отпускаемых кнопок EV3 (btn2.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroButtons;
var button, press: variant;
begin
  ev3init();
  while true do begin
    ev3buttons.wait(button, press);
    case button of
      bback: writeln('BACK:', press);
      bcenter: writeln('CENTER:', press);
      bleft: writeln('LEFT:', press);
      bright: writeln('RIGHT:', press);
      bup: writeln('UP:', press);
      bdown: writeln('DOWN:', press);
      else writeln('ERROR!');
    end;
    if (button = bback) and (not press) then break;
  end;
end.

{
  Блокирующее ожидание различных комбинаций
  нажатия/отпускания кнопок LEFT и RIGHT (btn3.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroButtons;
begin
  ev3init();
  Writeln('Wait LEFT and RIGHT press');
  ev3buttons.waitAll(['left:да', 'right:1']);
  Writeln('Wait LEFT and RIGHT release');
  ev3buttons.waitAll(['влево:0', 'right:no']);
  Writeln('Wait LEFT or RIGHT press');
  ev3buttons.waitAny(['left:да', 'вправо:YES']);
  Writeln('end');
end.

{
  Блокирующее ожидание нажатий отдельных кнопок
  с цветовой индикацией (btn4.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroButtons, rubiroLeds;
begin
  ev3init();
  Writeln('Wait UP');

```



```

ev3buttons.waitUp;
ev3leds.all(255,0,255,0);
Writeln('Wait LEFT');
ev3buttons.waitLeft;
ev3leds.start.left(255,0);
Writeln('Wait RIGHT');
ev3buttons.waitRight;
ev3leds.start.right(255,0);
Writeln('Wait DOWN');
ev3buttons.waitDown;
ev3leds.all(0,255,0,255);
Writeln('Wait CENTER');
ev3buttons.waitCenter;
end.

```

Класс TEv3Leds, объект ev3leds, модуль rubiroLeds

Доступ к цветоиндикаторам EV3 реализован через объект **ev3leds** класса TEv3Leds. Объект автоматически создается при инициализации библиотеки вызовом процедуры ev3init().

EV3 имеет 4 цветоиндикатора: левый красный, левый зеленый, правый красный и правый зеленый. При смешении цветов индикаторов одной стороны можно получать различные оттенки зеленого, красного и оранжевого цветов.

Интенсивность цвета определяется целым значением от 0 до 255.

При запуске программы автоматически вызывается метод start, устанавливающий светло-оранжевый цвет на цветоиндикаторах. Используется как визуальное подтверждение старта программы и успешной инициализации библиотеки. При завершении вызывается метод stop, восстанавливающий стандартный зеленый цвет на цветоиндикаторах.

Методы push и pop позволяют сохранять и восстанавливать все значения цветоиндикаторов одновременно. Для этого используется стек, размер которого ограничен только доступной оперативной памятью. Метод blink использует тот-же стек для имитации мигания и применяется, например, в методах waitAny и waitAll базового класса TEv3 (примеры применения - см. документацию по классу TEv3Buttons)

При установке цвета каждого индикатора используется повышенный таймаут - 30мс. Практика показывает, что при меньшем таймауте драйвер цветоиндикатора может "захлебнуться" быстро поступающими данными, что приведет к зависанию контроллера.

Описание класса TEv3Leds

```

TEv3Leds=class(TEv3)
  constructor create();
  destructor destroy; override;

  //запускается при старте, создает светло-оранжевый цвет
  function start:TEv3Leds;

  // запускается по завершении, ввосстанавливает штанный зеленый
  function stop:TEv3Leds;

```

```

// сохраняет текущие цвета в памяти (на вершине стека)
function push:TEv3Leds;

// ввостанавливает цвета из памяти (с вершины стека)
function pop:TEv3Leds;

// гасит все цвета
function hide:TEv3Leds;

{
    при последовательном использовании гасит-восстанавливает цвета
    применяется для имитация мигания
    не рекомендуется использовать совместно с
    push, pop, hide - возможны aberrации
}
function blink:TEv3Leds;

{
    Если в цвета были погашены миганием, восстанавливает их,
    иначе ничего не делает
}
function unblink:TEv3Leds;

{
    Устанавливает интенсивность всех цветоиндикаторов, диапазон значений -
    от 0 до 255 (от минимальной до максимальной интенсивности)
    значение -1 означает оставить соответствующий цвет без изменений
}
function All(_leftred,_leftgreen,_rightred,_rightgreen:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность левых цветоиндикаторов
function Left(red,green:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность правых цветоиндикаторов
function Right(red,green:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность левого красного цветоиндикатора
function LeftRed(red:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность правого красного цветоиндикатора
function RightRed(red:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность левого зеленого цветоиндикатора
function LeftGreen(green:variant):TEv3Leds;

// устанавливает интенсивность правого зеленого цветоиндикатора
function RightGreen(green:variant):TEv3Leds;
end;

```

Примеры использования цветоиндикаторов EV3

```

{
    троекратное "переливание" цветов (led1.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3,rubiroLeds;

```

```

var i,k:integer;
begin
  ev3Init();
  for k:=1 to 3 do begin
    for i:=0 to 255 do begin
      ev3Leds.all(255-i,i,i,255-i);
    end;
    for i:=0 to 255 do begin
      ev3Leds.all(i,255-i,255-i,i);
    end;
  end;
end.

{
  демонстрация мигания цветоиндикаторов (led2.pp)
  при отпущенной центральной кнопке - мигание оранжевым
  при нажатой центральной кнопке - мигание красным
  выход из программы - нажатие на кнопку Back
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroLeds, rubiroButtons, sysutils;
var
  centered:boolean=false;
begin
  ev3Init();
  while true do begin
    if ev3buttons.center and not centered then begin
      centered:=true;
      ev3leds.unblink.all(255,0,255,0);
    end;
    if not ev3buttons.center and centered then begin
      centered:=false;
      ev3leds.unblink.start;
    end;
    if ev3Buttons.back then break;
    ev3leds.blink();
    sleep(300);
  end;
end.

```

Класс TEv3Screen, объект ev3screen, модуль rubiroScreen

Доступ к дисплею реализован через объект **ev3screen** класса TEv3Screen. Объект автоматически создается при инициализации библиотеки вызовом процедуры ev3init().

EV3 имеет монохромный дисплей размером 178x128 точек. В реальности может адресоваться 192x128 точек, однако точки 179-192 каждой строки выходят за пределы дисплея. При этом они существуют, могут быть при необходимости установлены и считаны.

Черным цветом на дисплее считается значение 0, белым - 1. Изначально дисплей залит белым цветом, настройки цвета карандаша и кисти - черные.

Вызов функций рисования не приводит к немедленному выводу на дисплей. Рисование производится в оперативной памяти, вывод на дисплей реализуется методом show. Это позволяет создать достаточно сложный рисунок и одним действием, с минимальным мерцанием, перенести его на дисплей.

Текст выводится ttf-шрифтом DejaVuSans.ttf, который должен быть предварительно установлен на EV3 (например - установкой пакета ttf-dejavu).

Описание класса TEv3Screen

```
TEv3Screen=class(TEv3)
    constructor create();
    destructor destroy; override;

    // очистка изображения
    function clear:TEv3Screen;

    // вывод изображения на дисплей
    function show:TEv3Screen;

    // запись изображения на диск в png-формате
    function save(name:variant):TEv3Screen;

    // чтение изображения с диска в png-формате
    function load(name:variant):TEv3Screen;

    // рисование различных фигур карандашом и кистью
    function line(args:array of const):TEv3Screen;
    function line(x,y:variant):TEv3Screen;
    function line(x1,y1,x2,y2:variant):TEv3Screen;
    function rectangle(x1,y1,x2,y2:variant):TEv3Screen;
    function ellipse(x1,y1,x2,y2:variant):TEv3Screen;
    function circle(x,y,R:variant):TEv3Screen;

    // печать текста стандартным шрифтом
    function print(x,y:variant; arg:variant):TEv3Screen;
    function print(x,y,angle:variant; arg:variant):TEv3Screen;
    function print(x,y:variant; args:array of const):TEv3Screen;
    function print(x,y,angle:variant; args:array of const):TEv3Screen;

    // установка параметров кисти
    function brushStyle(style:variant):TEv3Screen; // число от 0
    function brushStd():TEv3Screen;
    function brushNone():TEv3Screen;
    function brushSolid():TEv3Screen;
    function brushBlack():TEv3Screen;
    function brushWhite():TEv3Screen;

    // установка параметров карандаша
    function penBig():TEv3Screen;
    function penSmall():TEv3Screen;
    function penSize(size:variant):TEv3Screen; // число от 1
    function penStyle(style:variant):TEv3Screen; // число от 0
    function penSolid():TEv3Screen;
    function penNone():TEv3Screen;
    function penStd():TEv3Screen;
```

```

function penBlack():TEv3Screen;
function penWhite():TEv3Screen;

// установка параметров шрифта
function fontBig():TEv3Screen;
function fontSmall():TEv3Screen;
function fontRotate(angle:variant):TEv3Screen;
function fontSize(size:variant):TEv3Screen;
function fontStd():TEv3Screen;
function fontBlack():TEv3Screen;
function fontWhite():TEv3Screen;

// доступ к объекту холста
property Canvas:TFPImageCanvas read fcanvas;

// доступ к объекту рисунка
property Image:TEv3Image read fimg;
end;

```

Примеры использования дисплея EV3

```

{
  Вывод на экран формулы и результатов ее расчета (scr1.pp):
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroScreen, sysutils;
begin
  ev3init();
  ev3screen
  .fontsmall.fontsmall
  .print(10, 20, ['34/56+8*3.2=', 34/56+8*3.2])
  .show;
  sleep(3000);
end.

{
  Манипуляции с размером шрифта и поворотом текста (scr2.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroScreen, sysutils;
begin
  ev3init();
  ev3screen
  .print(10, 20, 'Привет!!!')
  .fontBig()
  .print(10, 40, 'Привет!!!')
  .fontRotate(-30)
  .fontStd
  .print(10, 60, 'Поворот -30')
  .show;
  sleep(3000);
  ev3screen
  .clear
  .fontRotate(180)
  .fontSize(18)
  .print(172, 50, 'Поворот 180')
  .show;
  sleep(3000);
end.

```

```

end.

{
  Простейшая мультипликация (scr3.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroScreen, sysutils;
var i:integer;
begin
  ev3init();
  ev3screen.fontsmall.fontsmall;
  for i:=1 to 178 do begin
    ev3screen
      .clear
      .print(i, 20, 'привет СЛЕВА!')
      .print(178-i, 40, 'привет СПРАВА!')
      .print(i, 60, 'привет СЛЕВА!')
      .print(178-i, 80, 'привет СПРАВА!')
      .print(i, 100, 'привет СЛЕВА!')
      .print(178-i, 120, 'привет СПРАВА!')
      .show;
  end;
  sleep(3000);
end.

{
  Заполнение дисплея набором отрезков
  со случайными стилем и шириной (scr4.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroScreen, sysutils;
var i:integer;
begin
  ev3init();
  randomize;
  for i:=1 to 100 do begin
    ev3screen
      .penSize(random(6))
      .penStyle(random(4))
      .line(random(178), random(128), random(178), random(128))
      .show;
  end;
  sleep(3000);
end.

{
  Демонстрация стилей кисти и сохранения содержимого дисплея
  в файле png-формата (scr5.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroScreen, sysutils;
begin
  ev3init();
  ev3screen
    .brushStyle(6)
    .rectangle(0, 0, 172, 128)
    .brushStyle(0)
    .circle(172/2, 128/2, 50)
    .show

```

```
.save('scr5.png');
sleep(3000);
end.
```

Класс TEv3Sound, объект ev3sound, модуль rubiroSound

Доступ к звуковой подсистеме реализован через объект **ev3sound** класса TEv3Sound. Объект автоматически создается при инициализации библиотеки вызовом процедуры ev3init().

Методы класса осуществляет внешний вызов следующих консольных linux-утилит: amixer (установка громкости), beep (подача звуковых сигналов), play (озвучивание WAV-файла), espeak (синтезатор речи). Таким образом, существует 3 типа звуковых процессов, определяемых идентификаторами 'beep', 'play' и 'speak'.

Библиотека настраивает синтезатор речи на использование русского языка. Это означает, среди прочего, что числительные будут произноситься по русски, даже если находятся внутри английского текста. Используя дополнительный словарь с сайта разработчика espeak, можно значительно улучшить произношение русского текста. Для этого следует загрузить архив http://espeak.sourceforge.net/data/ru_dict-48.zip, разархивировать находящийся в нем файл ru_dict-48 и скопировать его на контроллер, заменяя файл /usr/lib/arm-linux-gnueabi/espeak-data/ru_dict.

Запуск каждого звукового процесса реализуется параллельно основной программе и параллельно другим типам звуковых процессов. Такое поведение можно изменить с помощью метода wait, который блокирует программу в ожидании завершения заданного типа (типов) звукового процесса.

Звуковые процессы разных типов не взаимодействуют между собой, что, с учетом параллельности их работы, позволяет возникать ситуациям, когда разные типы процессов будут озвучены не в том порядке, котором запускались. Например, последовательный запуск ресурсоемкого espeak и высокоскоростного beep без ожидания завершения процессов, скорее всего приведет сначала к подаче звукового сигнала, а затем - к озвучиванию текста синтезатором речи.

Запуск звукового процесса до завершения другого звукового процесса такого-же типа приведет либо к ожиданию завершения предыдущего процесса (метод setWaitBeforeStart(), используется по умолчанию), либо к прерыванию предыдущего процесса (метод setStopBeforeStart()), после чего будет произведен старт нового звукового процесса.

Если программа завершит свою работу до окончания работы звуковых процессов, то они все будут принудительно остановлены.

Описание класса TEv3Sound

```
TEv3Sound=class
  constructor create;
  destructor destroy;override;

  // Устанавливает уровень громкости (от 0 до 100%)
  function volume(vol:variant):TEv3Sound;

{
  Подает звуковой сигнал заданной частоты, заданной длительности,
```

```

    с заданной паузой по окончании.
    Длительность по умолчанию = 200мс, пауза - 0мс
}
function beep(tone:variant):TEv3Sound;
function beep(tone:variant;duration:variant):TEv3Sound;
function beep(tone:variant;duration:variant;delay:variant):TEv3Sound;

{
    Подает набор звуковых сигналов заданной частоты, заданной длительности,
    с заданной паузой по окончании. Информация о сигналах передается в
    массив тройками частота-длительность-пауза.
}
function beep(tdws:array of const):TEv3Sound;

// Озвучивает файл в WAV-формате, имя которого передается в функцию
function play(wavfile:variant):TEv3Sound;

{
    Озвучивает переданный текст синтезатором речи,
    скорость по умолчанию = 160 слов в минуту
}
function speak(txt:variant):TEv3Sound;
function speak(txt:variant; speed:variant):TEv3Sound;
function speak(txts:array of const):TEv3Sound;
function speak(txts:array of const; speed:variant):TEv3Sound;

// устанавливает кол-во слов в минуту для синтезатора речи
function setSpeakSpeed(speed:variant):TEv3Sound;

// Ожидает завершения любых запущенных звуковых процессов
function wait():TEv3Sound;

{
    Ожидает завершения запущенных звуковых процессов
    Параметр what определяет тип процессов:
    'all' - все звуковые процессы
    'beep' - звуковой сигнал
    'play' - озвучивание WAV-файла
    'speak' - синтезатор речи
}
function wait(what:variant):TEv3Sound;

// Прерывает все запущенные звуковые процессы
function stop():TEv3Sound;

// Прерывает запущенные звуковые процессы, параметр what - см. wait()
function stop(what:variant):TEv3Sound;

{
    устанавливает режим ожидания завершения звукового процесса перед
    стартом нового звукового процесса такого-же типа. Используется
    по умолчанию
}
function setWaitBeforeStart():TEv3Sound;

{
    устанавливает режим прерывания звукового процесса перед
    стартом нового звукового процесса такого-же типа.
}

```



```
function setStopBeforeStart():TEv3Sound;
end;
```

Примеры использования звуковой подсистемы EV3

```
{
  Демонстрация beep с обязательным ожиданием перед завершением программы
  (snd1.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSound;
begin
  ev3init();
  ev3sound.volume(100).beep(450);
  ev3sound.volume(10).beep(450).wait();
end.

{
  Построчный синтезатор речи. Предназначен для запуска в ssh-сессии.
  (snd2.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSound;
var s:string;
begin
  ev3init();
  ev3sound.volume(100);
  while true do begin
    readln(s);
    if s='' then break;
    ev3sound.speak(s,100);
  end;
end.

{
  Демонстрация speak и beep (snd3.pp)
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSound;
begin
  ev3init();
  ev3sound.speak('Имперский марш, слушать всем!',120).wait;
  ev3sound.beep([
    500,500,250,500,500,250,400,500,200,600,200,50,
    500,500,250,400,500,200,600,200,50,500,500,500,
    750,500,250,750,500,250,750,500,250,810,500,200,
    600,200,50,470,500,250,400,500,200,600,200,50,500,500,500
  ]).wait;
end.
```

Моторы Lego EV3, модуль rubiroMotors

В текущей версии библиотеки поддерживаются два Lego-мотора - большой и средний. Отличия между моторами - в мощности и скорости вращения. Средний мотор более скоростной, но менее мощный, чем большой. Для среднего мотора используется класс

TEv3MediumMotor, для большого - класс **TEv3LargeMotor**. Оба класса порождены от базового **TEv3TachoMotor**, который предлагает следующие возможности:

1. Запуск мотора.
2. Запуск мотора с остановкой по истечении времени, по достижению количества оборотов или градусов.
3. Поддержка реверса с помощью установки отрицательной скорости.
4. Перед запуском и при запуске задание скорости и одного из трех способов остановки.
5. Остановка мотора одним из трех способов остановки.
6. Ожидание остановки мотора.
7. Получение заданной и текущей скорости, позиции мотора, способа остановки.

При создании объектов-моторов можно указывать номер порта. Действительны следующие значения (регистр символов неважен)

для порта A: 5,'5','outA','A';

для порта B: 6,'6','outB','B';

для порта C: 7,'7','outC','C';

для порта D: 8,'8','outD','D';

Если порт не указывается, то объект-мотор присоединяется к ближайшему (слева-направо, от A до D) минимально нагруженному порту, на котором подключен мотор соответствующего типа. Под нагрузкой порта понимается количество присоединенных к порту объектов. В текущей версии библиотеки не имеет смысла нагружать порт более чем одним объектом.

Описание классов **TEv3TachoMotor**, **TEv3MediumMotor**, **TEv3LargeMotor**

```
TEv3TachoMotor=class(TEv3Motor)
```

```
// ждет остановки мотора
```

```
function wait():TEv3TachoMotor;
```

```
{
```

```
    Устанавливает способ остановки мотора.
```

```
    Действует при запуске мотора.
```

```
    На текущее вращение мотора влияния не оказывает.
```

```
    Варианты:
```

```
    1) Остановка без отключения подачи электроэнергии,  
        средний тормозной путь
```

```
        saBrake, 'brake', 'тормоз', 'тормози', 'тормозить', 1
```

```
    2) Остановка с удержанием позиции, минимальный тормозной путь
```

```
        saHold, 'hold', 'стоп', 'стоять', 'стой', 2
```

```
    0) Движение накатом, с отключением подачи электроэнергии,  
        максимальный тормозной путь
```

```
        saCoast, 0, 'накат' и другие варианты, не входящие в 1) и 2)
```

```
}
```

```
function setHowStop(sa:variant):TEv3TachoMotor;
```

```
{
```

```
    Возвращает способ остановки мотора
```

```
    1 - Остановка без отключения подачи электроэнергии,  
        средний тормозной путь
```

```
    2 - Остановка с удержанием позиции, минимальный тормозной путь
```

```
    0 - Движение накатом, с отключением подачи электроэнергии,  
        максимальный тормозной путь
```

```
}
```

```

function howStop(out sa:variant):TEv3TachoMotor;
function howStop:variant;

{
    Устанавливает и возвращает текущую позицию мотора
}
function setPosition(p:variant):TEv3TachoMotor;
function position(out p:variant):TEv3TachoMotor;
function position:variant;

{
    Устанавливает скорость вращения от -100% до 100%
    Действует при запуске мотора.
    На текущее вращение мотора влияния не оказывает.
}
function setSpeed(sp:variant):TEv3TachoMotor;
{
    Возвращает установленную ранее скорость вращения от -100 до 100
}
function Speed(out sp:variant):TEv3TachoMotor;
function Speed:variant;

{
    Возвращает реальную скорость вращения от 0 до 100
}
function currentSpeed(out sp:variant):TEv3TachoMotor;
function currentSpeed:variant;

{
    Возвращает 1, если установлен реверс и 0 в противном случае
}
function Reverse(out yes:variant):TEv3TachoMotor;
function Reverse:variant;

{
    Останавливает мотор, способ остановки - см. setHowStop
}
function Stop(sa:variant):TEv3TachoMotor;
function Stop():TEv3TachoMotor;

{
    Запускает мотор (асинхронный вызов). Возможные параметры -
    скорость и способ остановки по умолчанию при вызове stop()
}
function Run(sp:variant; sa:variant):TEv3TachoMotor;
function Run(sp:variant):TEv3TachoMotor;
function Run():TEv3TachoMotor;

{
    Запускает мотор на количество миллисекунд (асинхронный вызов).
    Возможные параметры - скорость и способ остановки
}
function RunTime(ms:variant; sp:variant; sa:variant):TEv3TachoMotor;
function RunTime(ms:variant; sp:variant):TEv3TachoMotor;
function RunTime(ms:variant):TEv3TachoMotor;

{
    Запускает мотор на количество градусов (асинхронный вызов).

```

```

    Возможные параметры - скорость и способ остановки
}
function RunDeg(deg:variant; sp:variant; sa:variant):TEv3TachoMotor;
function RunDeg(deg:variant; sp:variant):TEv3TachoMotor;
function RunDeg(deg:variant):TEv3TachoMotor;

{
    Запускает мотор на количество оборотов (асинхронный вызов).
    Возможные параметры - скорость и способ остановки
}
function RunTurn(turn:variant; sp:variant; sa:variant):TEv3TachoMotor;
function RunTurn(turn:variant; sp:variant):TEv3TachoMotor;
function RunTurn(turn:variant):TEv3TachoMotor;
end;

TEv3LargeMotor=class(TEv3TachoMotor)
    constructor create(port:variant);
    constructor create();
end;

TEv3MediumMotor=class(TEv3TachoMotor)
    constructor create(port:variant);
    constructor create();
end;

```

Примеры использования моторов EV3

```

{
    Демонстрация запуска и остановки
    больших моторов (mot1.pp)
    При запуске с блока вместо клавиши Enter
    можно нажимать кнопку CENTER

    Требования:
    Два больших мотора, левый подключен к
    порту с меньшим номером, правый - к порту
    с большим номером.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroMotors;
var M1,M2:TEv3LargeMotor;
begin
    ev3init();

    // Подключение к первому мотору
    M1:=TEv3LargeMotor.create();
    // запуск на максимальной скорости
    M1.Run(100);
    // единственная возможность остановить мотор - enter
    readln;
    // остановка с торможением
    M1.stop(saBrake);
    readln;

    // Подключение ко второму мотору
    M2:=TEv3LargeMotor.create();
    // запуск на 3 секунды
    M2.RunTime(3000,100,saBrake);
    // можно остановить мотор до завершения вращения

```

```

readln;
// остановка с заменой торможения на удержание
M2.stop(saHold);
readln;

// запуск моторов в обратную сторону на 5 оборотов
// с ожиданием завершения их работы
M1.runTurn(5, -100, saBrake);
M2.runTurn(5, -100, saBrake).wait();
writeln ('Motors stopped');
readln;
end.

```

Рулевое управление, модуль rubiroMotors

Класс **TEv3Rule** используется для создания рулевого управления на двух моторах и предлагает следующие возможности:

1. Поддержка двух больших или двух средних моторов.
2. Запуск моторов с указанием направления движения.
3. Запуск моторов с указанием направления движения и с остановкой по истечении времени.
4. Блокирующий запуск моторов с указанием направления движения и ожиданием остановки по достижению количества оборотов или градусов.
5. Поддержка реверса.
6. Перед запуском и при запуске: задание скорости и одного из трех способов остановки.
7. Ожидание остановки моторов.
8. Получение заданной и текущей скорости, способа остановки.

При создании объекта-рулевого управления можно указывать номера портов для левого и правого больших моторов (идентификация портов - см. выше). Если порты не указывать, будут задействованы два первых свободных больших мотора.

Описание класса TEv3Rule

```

TEv3Rule=class(TEv3)

    // ждет остановки моторов
    function wait():TEv3Rule;

    // создание рулевого управления на моторах указанного класса
    constructor create(LPort,RPort:variant; MotorClass:TEv3TachoMotorClass);
    // создание рулевого управления на больших моторах
    constructor create(LPort,RPort:variant);
    // создание рулевого управления на моторах указанного класса
    constructor create(MotorClass:TEv3TachoMotorClass);
    // создание рулевого управления на больших моторах
    constructor create();

    destructor destroy;override;

    // Устанавливает способ остановки моторов (см. TEv3TachoMotor)
    function setHowStop(sa:variant):TEv3Rule;
    // Возвращает способ остановки моторов (см. TEv3TachoMotor)
    function howStop(out sa:variant):TEv3Rule;

```

```

function howStop:variant;

{
    Устанавливает скорость вращения от -100% до 100% (см.TEv3TachoMotor)
}
function setSpeed(sp:variant):TEv3Rule;
{
    Возвращает установленную ранее скорость вращения от -100 до 100
    (см.TEv3TachoMotor)
}
function Speed(out sp:variant):TEv3Rule;
function Speed:variant;

{
    Возвращает установленную ранее скорость вращения для левого колеса
}
function SpeedLeft(out sp:variant):TEv3Rule;
function SpeedLeft:variant;

{
    Возвращает установленную ранее скорость вращения для правого колеса
}
function SpeedRight(out sp:variant):TEv3Rule;
function SpeedRight:variant;

// возвращает реверс (см.TEv3TachoMotor)
function Reverse(out yes:variant):TEv3Rule;
function Reverse:variant;

// останавливает оба мотора (см.TEv3TachoMotor)
function Stop(sa:variant):TEv3Rule;
function Stop():TEv3Rule;

{
    запускает оба мотора (асинхронный вызов) (см.TEv3TachoMotor)
    direct - направление движения
    Примеры поведения рулевого управления при положительной скорости
    и значения direct:
    100 - поворот вправо вокруг оси,
    -100 - поворот влево вокруг оси,
    50 - поворот вправо вокруг правого колеса,
    -50 - поворот влево вокруг левого колеса
}
function Run(direct:variant; sp:variant; sa:variant):TEv3Rule;
function Run(direct:variant; sp:variant):TEv3Rule;
function Run(direct:variant):TEv3Rule;

{
    Запускает моторы на количество миллисекунд (асинхронный вызов).
    Возможные параметры - скорость и способ остановки
}
function RunTime(direct:variant; ms:variant; sp:variant;
    sa:variant):TEv3Rule;
function RunTime(direct:variant; ms:variant; sp:variant):TEv3Rule;
function RunTime(direct:variant; ms:variant):TEv3Rule;

{
    Запускает моторы на количество градусов (БЛОКИРУЮЩИЙ вызов).
    Возможные параметры - скорость и способ остановки
}

```

```

}
function RunDegWait(direct:variant; deg:variant; sp:variant;
  sa:variant):TEv3Rule;
function RunDegWait(direct:variant; deg:variant; sp:variant):TEv3Rule;
function RunDegWait(direct:variant; deg:variant):TEv3Rule;

{
  Запускает моторы на количество оборотов (БЛОКИРУЮЩИЙ вызов).
  Возможные параметры - скорость и способ остановки
}
function RunTurnWait(direct:variant; turn:variant; sp:variant;
  sa:variant):TEv3Rule;
function RunTurnWait(direct:variant; turn:variant; sp:variant):TEv3Rule;
function RunTurnWait(direct:variant; turn:variant):TEv3Rule;
end;

```

Примеры использования рулевого управления на базе моторов EV3

```

{
  Движение по линии до перекрестка
  с помощью двух датчиков света (mot2.pp)

  Требования:
  Два больших мотора, левый подключен к
  порту с меньшим номером, правый - к порту
  с большим номером.
  Два датчика света, левый подключен к
  порту с меньшим номером, правый - к порту
  с большим номером.
}
{$mode objfpc}
uses uev3,rubiroMotors,rubiroSensors;
var
  L,R:TEv3ColorSensor;
  Rule:TEv3Rule;

{
  Процедура движения по линии до перекрестка
  с помощью двух датчиков цвета

  maxSpeed - максимально развиваемая скорость
  minSpeed - минимальная скорость
  koef - коэффициент поворота, от 0 (поворот отсутствует)
        до 1 (крайне резкий поворот)
  borderBreak - граница черного, выход из процедуры
                при сумме значений датчиков, меньшей borderBreak
                (выход по перекрестку)
  borderAcc - граница точности, движение прямо при различии
              значений датчиков меньше borderAcc
}

procedure run(maxSpeed, minSpeed, koef:double; borderBreak, borderAcc:integer);
var lref,rref,speed:double;
    direct,prevDirect:double;
begin
  try
    speed:=maxSpeed;

```

```

direct:=0;
prevDirect:=0;
Rule.Run(direct,speed);
while true do begin
  lref:=l.reflect; rref:=r.reflect;
  if lref+rref<borderBreak then exit;
  if abs(lref-rref)<borderAcc then direct:=0
  else direct:=(lref-rref)*koef;
  if (direct=prevDirect)and(speed>=maxSpeed) then continue;
  if (direct=prevDirect) then speed+=1
  else speed:=minSpeed;
  prevDirect:=direct;
  rule.Run(direct,speed);
end;
finally
  rule.stop(saBrake);
end;
end;

begin
  ev3init();
  Rule:=TEv3Rule.Create;
  l:=TEv3ColorSensor.Create;
  r:=TEv3ColorSensor.Create;
  run(100,40,0.45,50,20);
  readln;
end.

```

Датчики Lego EV3, модуль rubiroSensors

В текущей версии библиотеки поддерживается весь набор датчиков Lego-EV3

TEv3InfraSensor	Инфракрасный датчик (код 45509). Позволяет определять расстояние до препятствия (до примерно 70 см), направление и расстояние до маяка (код 45508), набор нажатых кнопок на маяке. Операции на маяке проводятся с учетом выбранного канала связи.
TEv3GyroSensor	Гироскопический датчик (код 45505). Позволяет определить скорость и направление при движении в горизонтальной плоскости, скорость и угол наклона.
TEv3UltraSensor	Ультразвуковой датчик (код 45504). Позволяет определять расстояние до препятствия в миллиметрах, сантиметрах, метрах; оценивать наличие шумов от других датчиков; получать данные сразу, либо ожидать изменившегося значения. Штатно поддерживает режим постоянного непрерывного определения расстояния. Экспериментально поддерживает режим одноразового определения расстояния (не рекомендуется к использованию)
TEv3ColorSensor	Датчик цвета/света (код 45506). Поддерживает режимы определения цвета, определения составляющих цвета (RGB), определения уровня отраженного света и определения освещенности. Позволяет получать данные сразу, либо ожидать изменившегося значения
TEv3TouchSensor	Датчик касания (код 45507). Позволяет определить текущее состояние

TEv3InfraSensor	Инфракрасный датчик (код 45509). Позволяет определять расстояние до препятствия (до примерно 70 см), направление и расстояние до маяка (код 45508), набор нажатых кнопок на маяке. Операции на маяке проводятся с учетом выбранного канала связи.
	кнопки, позволяет ожидать нажатия, отжатия и щелчка.

При создании объектов-датчиков можно указывать номер порта. Действительны следующие значения (регистр символов неважен)

для порта 1: 1,'1','in1';

для порта 2: 2,'2','in2';

для порта 3: 3,'3','in3';

для порта 4: 4,'4','in4';

Если порт не указывается, то объект-датчик присоединяется к ближайшему (слева-направо, от 1 до 4) минимально нагруженному порту, на котором подключен датчик соответствующего типа. Под нагрузкой порта понимается количество присоединенных к порту объектов. В текущей версии библиотеки не имеет смысла нагружать порт более чем одним объектом.

Класс TEv3InfraSensor, модуль rubiroSensors

Особенностью работы инфракрасного датчика является его тесное взаимодействие с инфракрасным маяком. При этом, после каждого переключения на новый режим, датчик требует реинициализации маяка. В результате практически невозможно запрограммировать датчик со смешением режимов, например - ОДНОВРЕМЕННО получать и обрабатывать

- 1) расстояние и направление до маяка,
- 2) наборы кнопок на маяке

Класс TEv3InfraSensor не запрещает переключение режимов, однако средствами датчика проконтролировать техническое состояние маяка невозможно. Поэтому, при отсутствии реинициализации, датчик будет возвращать некорректные результаты (например - неверно определять расстояние до маяка).

Таким образом, основной рекомендацией по программированию инфракрасного датчика является МИНИМИЗИЗАЦИЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ следующих наборов методов

- 1) len
- 2) direct,distance
- 3) anybuttons, buttons

Описание класса TEv3InfraSensor и вспомогательных типов данных

```
{
  все допустимые комбинации кнопок инфракрасного маяка,
  для большинства из них в названии указывается цвет и
  местоположение:
    R - red, красная кнопка
    B - blue, синяя кнопка
    U - up, верхняя кнопка
    D - down, нижняя кнопка
  Например, константа irRUBD означает одновременное нажатие
```

```

    красной верхней и синей нижней кнопок
}
TEv3IRButton=(irNone,irRU,irRD,irBU,irBD,
              irRUBU,irRUBD,irRDBU,irRDBD,
              irBeacon,irRURD,irBUBD);

{
    множество, которое может содержать
    любые комбинации кнопок irRU, irRD, irBU и irBD
}
TEv3IRButtons=set of TEv3IRButton;

TEv3InfraSensor=class(TEv3Sensor)
    constructor create(port:variant);
    constructor create();

    // расстояние до препятствия в %, до 0.7 метра
    function len:variant;
    function len(out ln:variant):TEv3InfraSensor;

    {
        направление до маяка, от -25 (слева) до +25 (справа)
        канал - от 1 до 4
    }
    function direct(const channel:variant):variant;
    function direct(const channel:variant; out dir:variant):TEv3InfraSensor;

    {
        расстояние до маяка в %, до 2 метров
        канал - от 1 до 4
    }
    function distance(const channel:variant):variant;
    function distance(const channel:variant; out dist:variant):TEv3InfraSensor;

    {
        нажатые на маяке кнопки, при использовании первого канала;
        любые комбинации кнопок irRU, irRD, irBU и irBD
    }
    function anyButtons():TEv3IRButtons;
    function anyButtons(out butt:TEv3IRButtons):TEv3InfraSensor;

    {
        нажатые на маяке кнопки, при использовании канала от 1 до 4;
        возвращает факт нажатия одной кнопки или комбинации двух кнопок.
        может анализироваться как значение типа TEv3IRButton,
        либо как целое значение из диапазона от 0 до 11
    }
    function buttons(const channel:variant):variant;
    function buttons(const channel:variant; out butt:variant):TEv3InfraSensor;
end;

```

Примеры использования инфракрасного датчика EV3

```

{
    Демонстрация работы инфракрасного датчика и маяка
    "Робот на поводке" (sns5.pp)

```

Требования:

```

Два больших мотора, левый подключен к
порту с меньшим номером, правый - к порту
с большим номером.
Инфракрасный датчик, подключен к любому порту.
Инфракрасный маяк на первом канале.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSensors, rubiroMotors;
var
  Infra:TEv3InfraSensor;
  rule:TEv3Rule;
  i,d:integer;
begin
  ev3Init();
  infra:=TEv3InfraSensor.create();
  Rule:=TEv3Rule.create();
  while true do begin
    i:=infra.distance(1);
    d:=infra.direct(1);
    writeln(i, ' ',d);
    if (i<30)or(i=100)or(i<0) then rule.stop
    else rule.run(d*4,10+i/2);
  end;
end.

{
Демонстрация инфракрасного датчика и маяка (sns6.pp)
"Дистанционное управление"

Требования:
Два больших мотора, левый подключен к
порту с меньшим номером, правый - к порту
с большим номером.
Инфракрасный датчик, подключен к любому порту.
Инфракрасный маяк на первом канале.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSensors, rubiroMotors, rubiroButtons;
var
  Infra:TEv3InfraSensor;
  LM,RM:TEv3LargeMotor;
  s:TEv3IRButtons;
begin
  ev3Init();
  infra:=TEv3InfraSensor.create();
  LM:=TEv3LargeMotor.create();
  RM:=TEv3LargeMotor.create();
  while true do begin
    if ev3buttons.back then break;
    s:=infra.anybuttons;
    if [irRU,irRD]*s=[] then RM.stop.setSpeed(0);
    if [irBU,irBD]*s=[] then LM.stop.setSpeed(0);
    if irRU in s then RM.Run(RM.Speed+1);
    if irRD in s then RM.Run(RM.Speed-1);
    if irBU in s then LM.Run(LM.Speed+1);
    if irBD in s then LM.Run(LM.Speed-1);
  end;
end.

```

Класс TEv3GyroSensor, модуль rubiroSensors

Использование датчика-гироскопа возможно только при его подключении или калибровке в момент, когда робот находится в состоянии покоя. В противном случае данные датчик будет возвращать некорректные данные.

Описание класса TEv3GyroSensor

```
TEv3GyroSensor=class(TEv3Sensor)
  constructor create(port:variant);
  constructor create();
  // калибровка гироскопа, должна проводится в состоянии покоя
  function calibrate:TEv3GyroSensor;
  // угол поворота в градусах
  function angle:variant;
  function angle(out ang:variant):TEv3GyroSensor;
  // скорость поворота
  function speed:variant;
  function speed(out sp:variant):TEv3GyroSensor;
  // угол наклона в градусах
  function tiltAngle:variant;
  function tiltAngle(out ang:variant):TEv3GyroSensor;
  // скорость наклона
  function tiltSpeed:variant;
  function tiltSpeed(out sp:variant):TEv3GyroSensor;
end;
```

Примеры использования датчика-гироскопа EV3

```
{
  Демонстрация датчика гироскопа (sns4.pp)
  При старте программы робот должен находиться в состоянии покоя.
  Калибровкой датчика гироскопа фиксируется первоначальное
  направление робота.
  Если направление робота изменяется (например - ручным перемещением
  в другое положение), то выждав 5-секундный
  интервал, робот плавно возвращается в исходное положение
  с помощью вращения вокруг своей оси.

  Требования:
  Два больших мотора, левый подключен к
  порту с меньшим номером, правый - к порту
  с большим номером.
  Датчик гироскопа, подключен к любому порту.
}
{$mode objfpc}
uses sysutils,dateutils,uev3,uev3Devices,rubiroSensors,rubiroMotors,math;
var Rule:TEv3Rule;
    gyr:TEv3GyroSensor;
    dt:TDateTime;
    angle:integer;
begin
  ev3Init();
  Rule:=TEv3Rule.create();
  gyr:=TEv3GyroSensor.create();
  gyr.calibrate;
```

```

dt:=now();
while true do begin
  angle:=gyr.angle;
  if (angle>-10)and(angle<10) then begin
    Rule.Stop();
    dt:=now();
  end else begin
    if MilliSecondsBetween(now(),dt)<5000 then continue;
    Rule.Run(-100*sign(angle),10+sqrt(abs(angle)));
  end;
end;
end.

```

Класс TEv3UltraSensor, модуль rubiroSensors

Описание класса TEv3UltraSensor

```

TEv3UltraSensor=class(TEv3Sensor)
  constructor create(port:variant);
  constructor create();

  {
    Включает (1/true) или отключает (0/false) режим ожидания
    нового расстояния. В этом режиме получение расстояния до
    препятствия блокирует программу до тех пор, пока оно не
    изменится по сравнению с предыдущим замером.
  }
  function waitMode(yes:variant):TEv3UltraSensor;

  {
    Включает (1/true) или отключает (0/false) режим единичного
    чтения, с интервалом запросов не менее 300ms. Полезен при
    наличии нескольких датчиков во избежание помех. В текущей
    версии библиотеки НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ к использованию по причине
    нестабильной работы драйвера
  }
  function singleMode(yes:variant):TEv3UltraSensor;

  // определение помех, возвращает истину, если рядом другой мешающий сенсор
  function noise:variant;
  function noise(out yesnoise:variant):TEv3UltraSensor;

  // расстояние до препятствия в миллиметрах
  function lenMM:variant;
  function lenMM(out len:variant):TEv3UltraSensor;

  // расстояние до препятствия в сантиметрах
  function lenCM:variant;
  function lenCM(out len:variant):TEv3UltraSensor;

  // расстояние до препятствия в метрах
  function lenM:variant;
  function lenM(out len:variant):TEv3UltraSensor;
end;

```

Примеры использования ультразвукового датчика расстояния EV3

```
{
  Демонстрация работы ультразвукового датчика расстояния (sns7.pp)
  "Робот-путешественник"

  Требования:
  Два больших мотора, левый подключен к
  порту с меньшим номером, правый - к порту
  с большим номером.
  Ультразвуковой датчик расстояния, подключен к любому порту.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSensors, rubiroMotors, rubiroButtons;
  var u:TEv3UltraSensor;
      r:TEv3Rule;
begin
  ev3Init();
  u:=TEv3UltraSensor.Create;
  r:=TEv3Rule.Create;
  while true do begin
    if ev3buttons.back then break;
    L:=u.lenCM;
    if L>50 then
      r.Run(0,30)
    else
      r.RunTurnWait(100-200*random(2),0.2+random/2,-15);
    end;
  end;
end.
```

Класс TEv3ColorSensor, модуль rubiroSensors

Описание класса TEv3ColorSensor

```
TEv3ColorSensor=class(TEv3Sensor)
  constructor create(port:variant);
  constructor create();
  {
    Включает (1/true) или отключает (0/false) режим ожидания
    нового расстояния. В этом режиме получение расстояния до
    препятствия блокирует программу до тех пор, пока оно не
    изменится по сравнению с предыдущим замером. По умолчанию
    отключено.
  }
  function waitMode(yes:variant):TEv3ColorSensor;

  // получение цвета от 0 до 7
  function color:variant;
  function color(out col:variant):TEv3ColorSensor;

  // получение RGB цветов, каждый в диапазоне от 0 до 255
  function color(out colRed,colGreen,colBlue:variant):TEv3ColorSensor;
  function colorRed:variant;
  function colorRed(out colRed:variant):TEv3ColorSensor;
  function colorGreen:variant;
  function colorGreen(out colGreen:variant):TEv3ColorSensor;
  function colorBlue:variant;
  function colorBlue(out colBlue:variant):TEv3ColorSensor;

  // получение яркости отраженного света, от 0 до 100
  function reflect:variant;
  function reflect(out ref:variant):TEv3ColorSensor;

  // получение яркости освещения, от 0 до 100
  function ambient:variant;
  function ambient(out amb:variant):TEv3ColorSensor;
end;
```

Примеры использования датчика света EV3

```
{
  Демонстрация работы датчика света (sns1.pp) со звуковой поддержкой.
  Частота звуковых сигналов (от 300 до 900 Гц) зависит от уровня
  отраженного света. Длительность звуковых сигналов увеличена в 10 раз
  при минимальном и максимальном значениях уровня отраженного света.
```

```
  Требования:
  Датчик света, подключен к любому порту.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSound, rubiroSensors, rubiroButtons;
var
  s:TEv3ColorSensor;
  r,t:integer;
begin
  ev3init();
```

```

s:=TEv3ColorSensor.Create;
ev3sound.volume(10);
while true do begin
  r:=s.reflect;
  if r in [0,100] then t:=100
  else t:=10;
  ev3Sound.beep(300+6*r,t).wait();
  if ev3buttons.back then exit;
end;
end.

{
  Демонстрация работы датчика света (sns2.pp) с использованием
  синтезатора речи и выводом на дисплей.

  Требования:
  Датчик света, подключен к любому порту.
}
{$mode objfpc}
uses uev3, rubiroSound, rubiroSensors, rubiroButtons, rubiroScreen;
var
  s:TEv3ColorSensor;
  r:integer;
begin
  ev3init();
  s:=TEv3ColorSensor.Create;
  ev3sound.volume(100);
  ev3screen.fontSize(96);
  while true do begin
    r:=s.reflect;
    if r in [0..9] then
      ev3screen.clear.print(50,100,r).show
    else if r=100 then
      ev3screen.clear.fontSize(72).print(0,90,r).show.fontSize(96)
    else
      ev3screen.clear.print(10,100,r).show;
      ev3Sound.speak(r).wait();
      if ev3buttons.back then exit;
    end;
  end;
end.

```

Класс TEv3TouchSensor, модуль rubiroSensors

Описание класса TEv3TouchSensor

```

TEv3TouchSensor=class(TEv3Sensor)
  constructor create(port:variant);
  constructor create();

  // Истина при нажатой кнопке
  function pressed:boolean;
  function pressed(out yes:boolean):TEv3TouchSensor;

  // Ожидание нажатия кнопки
  function waitPress:TEv3TouchSensor;

  // Ожидание отпускания кнопки

```



```
function waitRelease:TEv3TouchSensor;  
  
    // Ожидание щелчка кнопки  
    function waitClick:TEv3TouchSensor;  
end;  
end;
```

Примеры использования датчика-кнопки EV3

```
{  
    Демонстрация датчика-кнопки со звуковым сопровождением  
    (sns3.pp)
```

Требования:

Датчик-кнопка, подключен к любому порту.

```
}  
uses uev3, rubiroSensors, rubiroSound;  
var touch:TEv3TouchSensor;  
begin  
    ev3Init();  
    touch:=TEv3TouchSensor.Create;  
    while true do begin  
        touch.waitpress;  
        ev3Sound.beep(200,5000);  
        touch.waitrelease;  
        ev3Sound.stop;  
    end;  
end.
```