
UnitX-L Protocol

Open Development LLC

2021-11-04

Contents

1 Сервисы BLE	3
1.1 Device Information Service	3
1.1.1 Характеристики	3
1.2 NUS Service	4
1.2.1 Характеристики	4
1.2.2 Бинарный протокол	4
1.2.3 STM Reboot Characteristic	4
1.3 Сводная таблица сервисов	4
2 Формат рекламных пакетов	5
2.1 Eddystone Beacon	5
2.1.1 Статусные биты	6
2.1.2 Идентификатор датчика	6
2.2 STM Manufacturer Data	7
3 Обмен данными	7
4 Текстовый протокол	7
4.1 Запрос информации	7
4.1.1 Информация об устройстве	7
4.1.2 Версия прошивки BLE	8
4.1.3 Текущие значения	8
4.1.4 Актуальные значения	8
4.1.5 Размер хранилища	9
4.1.6 Напряжение батареи	9
4.1.7 Часы	9
4.1.8 Состояние устройства	10
4.1.9 Время работы	10
4.1.10 Температура ЦПУ	10
4.2 Работа с хранилищем	11
4.2.1 Указатель ячейки хранилища	11
4.2.2 Чтение ячейки хранилища	12
4.2.3 Чтение ячейки хранилища (вперед)	12
4.2.4 Чтение ячейки хранилища (назад)	12
4.3 Настройка устройства	13
4.3.1 Установка часов	13
4.3.2 Включение/выключение записи показаний	13

4.3.3	Интервал измерений	13
4.3.4	Активный режим	14
4.3.5	Включение активного режима герконом	15
4.3.6	Энергосберегающий режим	15
4.3.7	Переход в спящий режим	15
4.3.8	Настройка акселерометра	16
4.4	Системные команды	17
4.4.1	Обновление прошивки устройства	17
4.4.2	Перезагрузка устройства	17
4.4.3	Выключение устройства	17
4.4.4	Очистка хранилища	18
4.4.5	Полный сброс устройства	18
4.5	Конфигурация устройства	18
4.5.1	Формат данных	18
4.5.2	Запрос конфигурации	19
5	Содержимое ячейки	19
5.1	Формат ячеек	19
5.1.1	Ячейка данных акселерометра	20
5.1.2	Ячейка данных термометра-гигрометра	20
5.1.3	Ячейка данных термометра	20
5.1.4	Ячейка-заголовок данных акселерометра	20

1 Сервисы BLE

1.1 Device Information Service

(ref. [Bluetooth Specification](#))

1.1.1 Характеристики

- Manufacturer Name String - "OpenDev"
- Model Number String - "UnitX-Logger"
- Serial Number String
- Hardware Revision String
- Firmware Revision String

1.2 NUS Service

(ref. [nRF Connect SDK](#))

Service UUID: 6E400001-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E

1.2.1 Характеристики

Стандартные характеристики (согласно *nRF Connect SDK*)

- Отправка текстовых команд на устройство (RX Characteristic): 6E400002-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E
- Получение текстовых данных от устройства (TX Characteristic): 6E400003-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E

1.2.2 Бинарный протокол

Дополнительные характеристики для передачи бинарных данных.

Протокол обмена данными через NUS - текстовый. Часть запросов возвращают бинарные данные. Такие ответы отправляются через отдельную характеристику. Команды, которые возвращают бинарный ответ, помечены в описании ниже как таковые.

- Отправка бинарных данных на устройство (UX-RX): 6E40000E-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E
- Получение бинарных данных от устройства (UX-TX): 6E40000F-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E

1.2.3 STM Reboot Characteristic

(* *опционально, данная характеристика может отсутствовать*)

К стандартным характеристикам NUS добавлена характеристика с UUID 0000FE11-8E22-4541-9D4C-21EDAE82ED19. Данная характеристика позволяет переводить устройство в режим обновления прошивки при помощи приложения ST BLE Sensor.

1.3 Сводная таблица сервисов

Сервис	Характеристика	Доступ
180A	2A29	READ
180A	2A24	READ
6E400001-...CA9E	6E400002-...CA9E	WRITE / WRITE w/o RESPONSE
6E400001-...CA9E	6E400003-...CA9E	NOTIFY
6E400001-...CA9E	6E40000E-...CA9E	WRITE / WRITE w/o RESPONSE
6E400001-...CA9E	6E40000F-...CA9E	NOTIFY

2 Формат рекламных пакетов

- Если присутствует характеристика *STM Reboot*, устройство чередует отправку рекламных пакетов 2х типов: *Eddystone Beacon* и *STM Manufacturer Data*
- Если отсутствует, устройство передает только рекламные пакеты типа *Eddystone Beacon*

2.1 Eddystone Beacon

(см. <https://github.com/google/eddystone/blob/master/eddystone-tlm/tlm-plain.md>)

Тип (Advertising data type): 0x16 - (Service Data)

Байт	Значение	Примечания
0-1	Идентификатор службы	0xAA, 0xFE (16и, LE. 0xFEAA - Eddystone Service UUID)
2	Тип фрейма	0x20 (Eddystone unencrypted TLM)
3	Версия маяка	0x00 (TLM version)
4-5	Напряжение батареи	16и, BE. Если не поддерживается - 0
6-7	Температура	Формат 8.8 fixed point. Если нет датчика - 0x8000 (-128 градусов)

Байт	Значение	Примечания
8	Влажность	8и, в процентах. Если нет датчика - 0xFF (255)
9-10	Статусные биты	16и, BE, см. таблицу. По стандарту байты 8-11 - количество отправленных пакетов!
11	Идентификатор датчика	8и, см. таблицу. По стандарту байты 8-11 - количество отправленных пакетов!
12-15	Время с момента запуска устройства	32и, BE. В единицах 0.1сек

2.1.1 Статусные биты

Бит	Значение
15	Запись включена
14	Акселерометр установлен и функционирует
13	Датчик HDC2080 установлен и функционирует
12	Датчик TMP1075 установлен и функционирует
11-0	RFU

2.1.2 Идентификатор датчика

Значение	Тип
0x81	UnitX-L с датчиком температуры
0x82	UnitX-L с датчиком температуры и влажности
0x84	UnitX-L с акселерометром

2.2 STM Manufacturer Data

Тип (Advertising data type): 0xFF - (Manufacturer Specific Data)

Байт	Значение	Примечания
0	SKD version	0x01
1	Device ID	0x00
2-3	Group A Features	0x2000 - бит 13 - поддержка OTA update
4-5	Group B Features	0x0000 - RFU
6-11	BLE адрес	

3 Обмен данными

Обмен данными при подключении к устройству осуществляется в формате "запрос" - "ответ". Запрос отправляется путем записи данных в характеристику NUS -> RX (6E400002-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E), чтение ответа путем получения уведомления от характеристики NUS -> TX (6E400003-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E) или UX -> BIN (6E40000F-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E)

4 Текстовый протокол

4.1 Запрос информации

4.1.1 Информация об устройстве

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~I	
Ответ	~IUnitX Logger	

- Запрос:
- Ответ:

4.1.2 Версия прошивки BLE

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~0	
Ответ	~0x.x,y.y.y,z.z.z	

где

- x.x - версия текущего ПО
- y.y.y - версия BLE стека
- z.z.z - версия загрузчика BLE стека

4.1.3 Текущие значения

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~Gx	
Ответ	~G<...>	

где x:

- **1** - для запроса данных акселерометра LIS3DH. Ответ: <x>, <y>, <z> (единица измерения - 1mg)
- **2** - для запроса данных датчика HDC2080. Ответ: <t>, <h> (единица измерения температуры - 0.01K, влажности - %)
- **3** - для запроса данных датчика TMP1075. Ответ: <t> (единица измерения температуры - 0.01K)

4.1.4 Актуальные значения

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~gx	

Операция	Данные	Комментарий
Ответ	~G<...>	

то же самое, что предыдущий запрос, но перед ответом производится измерение значений выбранного датчика.

4.1.5 Размер хранилища

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~q	
Ответ	~q<size>,<written>	

где *size* - общее количество ячеек для записи, *written* - количество занятых ячеек

4.1.6 Напряжение батарейки

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~V	
Ответ	~Vx	x - значение в милливольтгах

запрос последнего измеренного значения напряжения питания.

4.1.7 Часы

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~t?	
Ответ	~tx	x - время в секундах с 1970.01.01 (unix time)

запрос внутреннего времени. Устройство отсчитывает время в секундах с 1970.01.01. Устройство не имеет информации о часовых поясах.

4.1.8 Состояние устройства

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~f	
Ответ	~f<flags>	<flags> - 32х битное целое в шестнадцатеричном формате

возвращает флаги состояния устройства в шестнадцатеричном формате:

- 0x00000001 - ошибка записи флеш
- 0x00000002 - ожидание перехода в спящий режим
- 0x00000100 - датчик HDC2080 доступен и готов к работе
- 0x00000200 - датчик LIS3DH доступен и готов к работе
- 0x00000400 - датчик TMP1075 доступен и готов к работе
- 0x00020000 - BLE-клиент подключен

4.1.9 Время работы

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~U	
Ответ	~Us	s - значение в секундах

- Запрос:
- Ответ:

продолжительность работы устройства с момента включения в секундах.

4.1.10 Температура ЦПУ

Операция	Данные	Комментарий
Запрос	~S	
Ответ	~St	t - значение в градусах Цельсия.

температура процессора в градусах Цельсия.

4.2 Работа с хранилищем

4.2.1 Указатель ячейки хранилища

Операция	Данные	Комментарий
Запрос		
Ответ		

- Запрос: ~Q<offset>
- Ответ: ~Q<current>, <size>

Устанавливает внутренний указатель для чтения истории.

Если `offset==S`, вычисляется начало и конец истории, внутренний указатель ставится на первую ячейку в истории. Если `offset==E`, вычисляется начало и конец истории, внутренний указатель ставится на последнюю ячейку в истории. Если `offset` - число, внутренний указатель ставится на `offset` ячеек с начала истории (перед этим обязательно должна была быть выполнена команда ~QS или ~QE)

Если команда выполнена, возвращаются текущее значение внутреннего указателя (`current` - сдвиг указателя от начала истории) и количество ячеек в истории (`size`).

Если произошла ошибка (указатель не может быть установлен, `offset` имеет неверное значение, не были установлены начало и конец истории), возвращается ~QX

4.2.2 Чтение ячейки хранилища

- Запрос: ~r<no>
- Ответ: ~r<data>

<no> - абсолютный номер ячейки (с начала хранилища), <data> - 16 шестнадцатеричных цифр, содержащих данные (8 байт) выбранной ячейки. Если номер указан неверно, возвращается ~rX

4.2.3 Чтение ячейки хранилища (вперед)

- Запрос: ~R
- Ответ: ~R<data>

Если внутренний указатель указывает на ячейку, занятую данными, то возвращаются данные ячейки (см. "Чтение ячейки хранилища"), после чего выполняется увеличение указателя на единицу (увеличение указателя зациклено - переход с последней ячейки хранилища на первую выполняется автоматически).

Если указатель находится вне границ истории или не был установлен, возвращается ~RX, а внутренний указатель не увеличивается.

4.2.3.1 Чтение ячеек заданного типа Ячейки выдаются как есть, **в бинарном формате**, через характеристику UX-TX. Первый байт в посылке - 0x02 - тип данных "ячейки". За ним следуют бинарные данные ячеек.

- Запрос: ~Rt - выдать ячейки с данными датчика температуры
- Запрос: ~Rh - выдать ячейки с данными датчика температуры и влажности
- Запрос: ~Re - выдать ячейки с данными датчика температуры и датчика температуры и влажности
- Запрос: ~Ra - выдать все ячейки (тип 3)

Ячейка занимает 8 байт, количество ячеек в выдаче определяется установленным на момент запроса MTU (от 2х до 15ти) При выдаче ячеек происходит автоинкремент внутреннего указателя.

4.2.4 Чтение ячейки хранилища (назад)

- Запрос: ~H

- Ответ: ~H<data>

Если внутренний указатель может быть уменьшен на единицу так, чтобы он указывал на ячейку, занятую данными, то выполняется уменьшение указателя на единицу (уменьшение указателя зациклено - переход с первой ячейки хранилища на последнюю выполняется автоматически) и возвращаются данные ячейки (см. "Чтение ячейки хранилища").

Если указатель находится вне границ истории или не был установлен, возвращается ~HX, а внутренний указатель не увеличивается.

4.2.4.1 Чтение ячеек заданного типа Аналогично чтению вперед, только в выдаче ячейки расположены в порядке от более новой к более старой.

4.3 Настройка устройства

4.3.1 Установка часов

- Запрос: ~t<epoch>
- Ответ: ~t<epoch>

установка внутренних часов устройства. Значение epoch в секундах с 1970.01.01

4.3.2 Включение/выключение записи показаний

- Запрос: ~w<x>
- Ответ: ~w<x>

где x:

- **1** - включить запись
- **0** - выключить запись
- **?** - запрос текущего состояния

4.3.3 Интервал измерений

Измерение (и, если включено, запись) показаний акселерометра производится "по событию" (т.е. когда по одной из осей фиксируется ускорение, превышающее

заданный порог). Измерение (и, если включено, запись) показаний остальных датчиков производится по времени (раз в заданный интервал).

Текущее значение:

- Запрос: `~i?`
- Ответ: `~i<x>` (по-умолчанию $x=1$, значение выдается и принимается в минутах)

Задание значения:

- Запрос: `~i<value>`
- Ответ: `~i<value*>` (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение)

Диапазон значений: 1..40320

Важно: установленное значение будет записано в энергонезависимую память устройства и применено сразу по получении команды.

4.3.4 Активный режим

После включения устройства, после отключения bluetooth клиента и (опционально) при замыкании геркона, устройство в течение некоторого времени осуществляет частую передачу рекламных пакетов, сокращая время, требуемое на обнаружение и подключение к устройству. Однако в таком режиме значительно повышается энергопотребление. По истечении указанного периода устройство переходит в энергосберегающий режим. По-умолчанию период равен 20 секунд

Текущее значение:

- Запрос: `~B?`
- Ответ: `~B<x>` (по-умолчанию $x=20$, значение выдается и принимается в секундах)

Задание значения:

- Запрос: `~B<value>`
- Ответ: `~B<value*>` (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение)

Диапазон значений: 0..65535. Специальное значение 0 отключает переход в энергосберегающий и спящий режимы (т.е. устройство будет постоянно находиться в активном режиме).

4.3.5 Включение активного режима герконом

Если включено, при замыкании геркона устройство перейдет в Активный режим (если он не выключен в настройках).

- Запрос: `~Z<x>`
- Ответ: `~Z<x>`

где `x`:

- **1** - включить
- **0** - выключить
- **?** - запрос текущего состояние

4.3.6 Энергосберегающий режим

В энергосберегающем режиме устройство отправляет рекламный пакет раз в заданный интервал времени (в секундах), но не реже чем раз в 10 секунд. Данный параметр позволяет настроить минимальный интервал передачи пакета.

Текущее значение:

- Запрос: `~b?`
- Ответ: `~b<x>` (по-умолчанию `x=9000`, значение выдается и принимается в миллисекундах)

Задание значения:

- Запрос: `~b<value>`
- Ответ: `~b<value*>` (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение)

Диапазон значений: 0..10000. Специальное значение 0 устанавливает максимальное значение (10000).

4.3.7 Переход в спящий режим

После выполнения измерения, по завершении периода “активного режима”, устройство переходит в энергосберегающий режим. По завершении периода энергосберегающего режима, устройство переходит в спящий режим, из которого оно выходит в 2х случаях: необходимо выполнить следующее измерение по

расписанию (см. “интервал измерений”) или был замкнут геркон. Следующая команда настраивает длительность энергосберегающего режима (по-умолчанию: 22 сек.)

Текущее значение:

- Запрос: `~z?`
- Ответ: `~z<x>` (по-умолчанию $x=22$, значение выдается и принимается в секундах)

Задание значения:

- Запрос: `~z<value>`
- Ответ: `z<value*>` (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение).

Диапазон значений: 0..65535. Специальное значение 0 выключает энергосберегающий режим - после измерения или активного режима устройство сразу переходит в спящий режим.

4.3.8 Настройка акселерометра

Установленные значения будут записаны в энергонезависимую память устройства сразу по получении команды, но не будут применены. Для применения изменений необходимо перезагрузить устройство.

4.3.8.1 Диапазон значений. Устройство позволяет задавать данный параметр в единицах mg (одна тысячная ускорения свободного падения) от 0 до 16000, однако акселерометр LIS3DH поддерживает 4 диапазона ($\pm 2G$ / $\pm 4G$ / $\pm 8G$ / $\pm 16G$). Установленное значение будет округлено до ближайшего поддерживаемого акселерометром.

Текущее значение:

- Запрос: `~a?`
- Ответ: `~a<x>` (по-умолчанию $x=4000$)

Задание значения:

- Запрос: `~a<value>`
- Ответ: `~a<value*>` (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение)

Диапазон значений: 0..16000

4.3.8.2 Порог срабатывания Порог срабатывания также задается в mg, диапазон значений от 0 до 23622mg, однако при установке значения необходимо исходить также из установленного диапазона. Устройство не будет проверять установленное значение на корректность, только на соответствие максимальному диапазону 0..23662

Текущее значение:

- Запрос: ~A?
- Ответ: ~A<x> (по-умолчанию x=8000)

Задание значения:

- Запрос: ~A<value>
- Ответ: ~A<value*> (при неверном запросе новое значение не будет установлено, будет возвращено старое значение)

Диапазон значений: 0..23622

4.4 Системные команды

4.4.1 Обновление прошивки устройства

- Запрос: ~D
- Ответ: **отсутствует**

устройство будет переведено в режим обновления прошивки (протокол обновления совместим с приложением ST BLE Sensor)

4.4.2 Перезагрузка устройства

- Запрос: ~X
- Ответ: **отсутствует**

4.4.3 Выключение устройства

- Запрос: ~P

- Ответ: ~P

Устройство будет переведено в режим с наименьшим энергопотреблением. Вывести устройство из данного режима возможно только путем замыкания геркона или отключением и подключением источника питания (батарейки).

4.4.4 Очистка хранилища

- Запрос: ~y
- Ответ: ~y

4.4.5 Полный сброс устройства

Очистка хранилища и сброс настроек к заводским настройкам.

- Запрос: ~Y
- Ответ: ~Y

4.5 Конфигурация устройства

Внимание: бинарный протокол!

4.5.1 Формат данных

Конфигурация устройства занимает 16 байт. Чтение и запись конфигурации целиком может быть осуществлена посредством бинарного протокола (см. ниже) - отправка и получение данных выполняется через характеристики UX-RX и UX-TX соответственно. Также конфигурация может быть получена и изменена посредством текстового протокола, как описано выше.

Все поля имеют размер 2 байта и представляют собой 16ти битное беззнаковое целое с формате little endian (U16LE)

- `magic` - идентификатор конфигурации (0xAB01)
- `interval_lp` - см. *Энергосберегающий режим*
- `duration_active` - см. *Активный режим*
- `duration_lp` - см. *Переход в спящий режим*

- `interval_measure` - см. *Интервал измерений*
- `lis_range` - см. *Настройка акселерометра - Диапазон значений*
- `lis_threshold` - см. *Настройка акселерометра - Порог срабатывания*
- `flags` - флаги работы устройства (флаг присутствует - опция включена, отсутствует - выключена)
 - `0x01` - см. *Включение/выключение записи показаний*
 - `0x02` - см. *Включение активного режима герконом*

4.5.2 Запрос конфигурации

Устройство отправляет текущую конфигурацию через характеристику UX-TX - всего 17 байт. Первый байт равен `0x01` - тип данных "конфигурация", затем 16 байт конфигурации в формате, описанном выше

- Запрос: `~F` (через характеристику NUS-RX)
- Ответ: `\x01.....` (через характеристику UX-TX)

5 Содержимое ячейки

Размер ячейки - 8 байт. Ячейка может быть 3х типов:

- Тип 1 (*Заголовок*) - описывает тип содержимого следующих N ячеек.
- Тип 2 (*Данные*) - N ячеек, следующие за заголовком.
- Тип 3 (*Запись*) - самодостаточная ячейка, содержащая и заголовок, и данные.

5.1 Формат ячеек

Ячейки типа 1 и 3 состоят из (отсчет байт с **нуля**)

- Таймштамп (32х битное беззнаковое целое в формате LE, занимает байты 0..3).
Время в секундах с 1970.01.01 (unitx time)
- Код ячейки (байт 4):
 - `0x01` - данные акселерометра LIS3DH (ячейка типа 3).
 - `0x02` - данные термометра-гигрометра HDC1080 (ячейка типа 3).
 - `0x03` - данные термометра TMP1075 (ячейка типа 3).

- 0x04 - данные акселерометра LIS3DH. Значение встречается только в ячейках типа 1, за данной ячейкой следуют 24 ячейки данных (тип 2).

- Байты 5..7 - данные или параметры (см. ниже)

5.1.1 Ячейка данных акселерометра

Код ячейки: 0x01

- байт 5 - ускорение по X
- байт 6 - ускорение по Y
- байт 7 - ускорение по Z

5.1.2 Ячейка данных термометра-гигрометра

Код ячейки: 0x02

- байты 5,6 - значение температуры (беззнаковое 16-ти битное целое, little endian, в единицах 0.01K)
- байт 7 - значение влажности в процентах.

5.1.3 Ячейка данных термометра

Код ячейки: 0x03

- байты 5,6 - значение температуры (беззнаковое 16-ти битное целое, little endian, в единицах 0.01K)
- байт 7 - не используется, может иметь произвольное значение.

5.1.4 Ячейка-заголовок данных акселерометра

Код ячейки: 0x04

В последующих 24х ячейках (192 байта) находятся данные последних 32х измерений. Каждое измерение занимает 6 байт. Необходимо прочитать все 24 ячейки, объединить данные в буфер из 192 байт, разбить на куски по 6 байт и обработать каждое измерение. Из 6-ти байт

- байты 0-1 - ускорение по оси X в бинарном формате

- байты 2-3 - ускорение по оси Y в бинарном формате
- байты 4-5 - ускорение по оси Z в бинарном формате

Значение ускорения хранится как знаковое 16-ти битное целое в формате little endian (дополнительный код со смещением влево - left-justified two's complement). Разрешение данных - 10 бит, таким образом каждое значение необходимо разделить на 64 и умножить на коэффициент, зависящий от диапазона измерений (см. ниже)

- байт 5 - частота измерения данных:

- 1 - 1 Гц
- 2 - 10 Гц
- 3 - 25 Гц
- 4 - 50 Гц
- 5 - 100 Гц
- 6 - 200 Гц
- 7 - 400 Гц
- 8 - 1.6 кГц
- 9 - 1.344 кГц

- байт 6 - диапазон измерений

- 0 - $\pm 2G$ (коэффициент - 4)
- 1 - $\pm 4G$ (коэффициент - 8)
- 2 - $\pm 8G$ (коэффициент - 16)
- 3 - $\pm 16G$ (коэффициент - 48)

- байт 7 - количество измерений (32)

Ячейку типа 2 (данные акселерометра) можно отличить от ячеек типа 1 и 3 путем анализа байта 4

- В ячейках типа 1 и 3 данный байт может принимать значения от 1 до 4х (см. [Формат ячеек](#)).
- В ячейках типа 2 данный байт является младшим байтом одного значения одной из оси акселерометра. Поскольку разрешение акселерометра 10 бит, а значение зранится со смещением влево, данный байт может принимать значение 0 либо 64, 65 и больше. Значение данного байта никогда не пересекается с кодом ячеек типа 1 и 3.