ShockBurst ™ позволяет использовать высокую скорость передачи данных, предлагаемую nRF24L01, без необходимости использования дорогостоящего высокоскоростного микроконтроллера (MCU) для обработки данных / восстановления тактовой частоты. Размещая всю высокоскоростную обработку сигналов, связанную с протоколом RF, на кристалле, nRF24L01 предлагает прикладному микроконтроллеру простой интерфейс, совместимый с SPI, скорость передачи данных определяется скоростью интерфейса, которую устанавливает сам микроконтроллер. Позволяя цифровой части приложения работать на низкой скорости, одновременно увеличивая скорость передачи данных по радиоканалу, ShockBurst ™ снижает среднее потребление тока в приложениях. В ShockBurst ™ RX IRQ уведомляет MCU о получении действительного адреса и полезной нагрузки соответственно. Затем MCU может синхронизировать принятую полезную нагрузку от RIF FIFO nRF24L01. В ShockBurst ™ TX nRF24L01 автоматически генерирует преамбулу и CRC, см. Таблицу 17. IRQ уведомляет MCU о том, что передача завершена. Все вместе это означает снижение потребности в памяти MCU, что приводит к низкой стоимости MCU, а также сокращению времени разработки программного обеспечения. nRF24L01 имеет трехуровневый RX FIFO (совместно используемый для 6 каналов) и трехуровневый TX FIFO. MCU может получить доступ к FIFO в любое время, в режиме отключения питания, в режиме ожидания и во время передачи RF-пакетов. Это позволяет использовать самый медленный интерфейс SPI по сравнению со средней скоростью передачи данных и может позволить использовать MCU без аппаратного SPI.

Enhanced ShockBurst ™

Enhanced ShockBurst ™ - это метод обработки пакетов с функциональностью, которая делает реализацию протокола двунаправленной связи более простой и эффективной. В типичной двунаправленной линии связи оконечная часть может подтверждать принятые пакеты от исходной части, чтобы сделать возможным обнаружение потери данных. Потеря данных может быть восстановлена путем повторной передачи. Идея Enhanced ShockBurst ™ заключается в том, чтобы позволить nRF24L01 обрабатывать как подтверждение принятых пакетов, так и повторную передачу потерянных пакетов без участия микроконтроллера.

NRF24L01, настроенный в качестве основного RX (PRX), сможет принимать данные через 6 различных каналов данных, см. Рисунок 4. Канал данных будет иметь уникальный адрес, но совместно использовать один и тот же частотный канал. Это означает, что до 6 разных nRF24L01, настроенных в качестве основного TX (PTX), могут обмениваться данными с одним nRF24L01, настроенным в качестве PRX, и nRF24L01, настроенный в качестве PRX, сможет различать их. Канал данных 0 имеет уникальный 40-битный настраиваемый адрес. Каждый из каналов данных 1-5 имеет 8-битный уникальный адрес и разделяет 32 старших значащих бита адреса. Все каналы данных могут выполнять полную функциональность Enhanced ShockBurst ™. nRF24L01 будет использовать адрес канала данных при подтверждении полученного пакета. Это означает, что nRF24L01 будет передавать ACK с тем же адресом, по которому он получает полезную нагрузку. В устройстве PTX канал 0 данных используется для получения подтверждения, и поэтому адрес приема для канала 0 данных должен быть равен адресу передачи, чтобы иметь возможность принимать подтверждение. Смотрите рисунок 5 для примера адресации.

NRF24L01, настроенный как PTX с включенным Enhanced ShockBurst ™, будет использовать функцию ShockBurst ™ для отправки пакета, когда того пожелает микроконтроллер. После того, как пакет был передан, nRF24L01 включит свой приемник и ожидает получения подтверждения от оконечной части. Если это подтверждение не приходит, nRF24L01 будет повторно передавать тот же пакет, пока не получит подтверждение или количество попыток не превысит количество разрешенных попыток, заданных в регистре SETUP\_RETR\_ARC. Если количество повторных попыток превышает количество разрешенных повторных попыток, это будет показано битом регистра STATUS MAX\_RT, который выдает прерывание. Всякий раз, когда подтверждение получено nRF24L01, он будет считать последний переданный пакет доставленным. Затем он будет очищен от TX FIFO, и источник IRX TX\_DS будет установлен на высокий уровень.

Enhanced ShockBurst ™ nRF24L01 предлагает следующие преимущества:

• Сниженное потребление тока из-за короткого времени в эфире и коротких временных интервалов при работе с трафиком подтверждения.

• Снижение стоимости системы. Так как nRF24L01 обрабатывает все операции высокоскоростного канального уровня, такие как повторная передача потерянного пакета и генерация подтверждения принятым пакетам, нет необходимости в аппаратном SPI на системном микроконтроллере для взаимодействия с nRF24L01. Интерфейс может быть выполнен с помощью универсальных выводов ввода / вывода на недорогом микроконтроллере, где SPI эмулируется в микропрограмме. С nRF24L01 это будет достаточной скоростью даже при работе двунаправленного канала.

• Значительно уменьшен риск столкновений «в эфире» из-за короткого времени в эфире.

• Более простая разработка прошивки, поскольку канальный уровень интегрирован в чип.

Расширенная передача полезной нагрузки ShockBurst ™:

1. Бит конфигурации PRIM\_RX должен быть низким.

2. Когда MCU приложения имеет данные для отправки, адрес для принимающего узла (TX\_ADDR) и данные полезной нагрузки (TX\_PLD) должны синхронизироваться в nRF24L01 через интерфейс SPI. Ширина TX-полезной нагрузки отсчитывается от количества байтов, записанных в TX FIFO от MCU. TX\_PLD должен записываться непрерывно, удерживая CSN на низком уровне. TX\_ADDR не должен быть переписан, если он не изменился с момента последней передачи. Если устройство PTX должно получить подтверждение, канал данных 0 должен быть настроен для получения подтверждения. Адрес приема для канала данных 0 (RX\_ADDR\_P0) должен быть равен адресу передачи (TX\_ADDR) в устройстве PTX. Для примера на рисунке 5 необходимо выполнить следующие настройки адреса для устройства TX5 и устройства RX: устройство TX5: TX\_ADDR = 0xB3B4B5B605 устройство TX5: RX\_ADDR\_P0 = 0xB3B4B5B605 устройство RX: RX\_ADDR\_P5 = 0xB3B4B5B5B5B560 передача инфекции.

3. Высокий импульс на CE начинает передачу. Минимальная длительность импульса на СЕ составляет 10 мкс.

4.nRF24L01 ShockBurst ™:

• Радио включено;

• Запущены внутренние часы 16 МГц.

• РЧ-пакет завершен (см. Описание пакета).

• Данные передаются с высокой скоростью (1 Мбит / с или 2 Мбит / с, настроенные MCU).

5. Если активировано автоматическое подтверждение (ENAA\_P0 = 1), радиостанция немедленно переходит в режим приема. Если действительный пакет был получен во временном окне действительного подтверждения, передача считается успешной. Бит TX\_DS в регистре состояния установлен на высокий уровень, а полезная нагрузка удалена из TX FIFO. Если действительное подтверждение не получено в указанном временном окне, полезная нагрузка повторно отправляется (если включена автоматическая повторная передача). Если счетчик автоматической повторной передачи (ARC\_CNT) превышает запрограммированный максимальный предел (ARC), бит MAX\_RT в регистре состояния устанавливается на высокий уровень. Полезная нагрузка в TX FIFO НЕ удаляется. Вывод IRQ будет активен, когда MAX\_RT или TX\_DS имеют высокий уровень. Чтобы отключить вывод IRQ, источник прерывания должен быть сброшен путем записи в регистр состояния (см. Главу «Прерывание»). Если после максимального числа попыток подтверждения для пакета не получено, дальнейшие пакеты не могут быть отправлены до очистки прерывания MAX\_RX. Счетчик потерь пакетов (PLOS\_CNT) увеличивается при каждом прерывании MAX\_RT. То есть ARC\_CNT подсчитывает количество повторных попыток, необходимых для прохождения одного пакета. PLOS\_CNT подсчитывает количество пакетов, которые не прошли после максимального числа попыток.

6. Устройство переходит в режим ожидания, если CE низкий. В противном случае следующая полезная нагрузка в TX FIFO будет отправлена. Если TX FIFO пуст, а CE по-прежнему высок, устройство перейдет в режим ожидания II.

7. Если устройство находится в режиме ожидания-II, оно немедленно перейдет в режим ожидания-I, если установлен низкий уровень CE.

Усовершенствованная полезная нагрузка приема ShockBurstTM:

1.RX выбирается путем установки высокого значения бита PRIM\_RX в регистре конфигурации. Все каналы данных, которые должны получать данные, должны быть включены (регистр EN\_RXADDR), автоматическое подтверждение для всех каналов, на которых работает Enhanced ShockBurst ™, должно быть включено (регистр EN\_AA), и должна быть установлена правильная ширина полезной нагрузки (регистры RX\_PW\_Px). Адреса должны быть настроены, как описано в пункте 2 в главе «Передача полезной нагрузки Enhanced ShockBurst ™» выше.

2. Активный режим приема начинается с установки высокого уровня CE.

3. После 130 мкс nRF24L01 контролирует эфир для входящей связи.

4.При получении действительного пакета (соответствующий адрес и правильный CRC) полезная нагрузка сохраняется в RX-FIFO, а бит RX\_DR в регистре состояния устанавливается на высокий уровень. Вывод IRQ будет активен, когда RX\_DR высокий. RX\_P\_NO в регистре состояния будет указывать, в каком канале данных была получена полезная нагрузка.

5. Если автоматическое подтверждение включено, подтверждение отправляется обратно.

6.MCU устанавливает низкий уровень на выводе CE для перехода в режим ожидания I (режим низкого тока).

7.MCU может синхронизировать данные полезной нагрузки с подходящей скоростью через интерфейс SPI.

8. Теперь устройство готово для входа в режим TX или RX или в режим выключения питания.

Двусторонняя связь с полезной нагрузкой в обоих направлениях.

Если полезная нагрузка должна отправляться в обоих направлениях, регистр PRIM\_RX должен переключаться путем переопределения устройства с PRX на PTX или наоборот. Управляющие процессоры должны обрабатывать синхронность между PTX и PRX. Буферизация данных в RX FIFO и TX FIFO одновременно возможна, но ограничена конвейерами данных 1-5. Третий уровень в TX FIFO записывается только в режиме RX, TX или Standby-II, если данные хранятся в RX FIFO.

Автоматическое подтверждение (RX) Функция автоматического подтверждения снижает нагрузку на внешний микроконтроллер и может устранить необходимость в специальном оборудовании SPI для мыши / клавиатуры или аналогичных систем и, следовательно, снизить стоимость и среднее потребление тока. Автоматическое подтверждение может быть настроено индивидуально для каждого канала данных через интерфейс SPI. Если автоматическое подтверждение включено и получен действительный пакет (правильный адрес канала данных и CRC), устройство перейдет в режим TX и отправит пакет подтверждения. После того, как устройство отправило пакет подтверждения, возобновляется нормальная работа, и режим определяется регистром PRIM\_RX и выводом CE.

Автоматическая повторная передача (ART) (TX)

Доступна функция автоматической повторной передачи. Он будет использоваться на стороне TX в системе автоматического подтверждения. В регистре SETUP\_RETR можно будет указать, сколько раз данные в регистре данных будут повторно отправлены, если данные не будут подтверждены. После каждой отправки устройство переходит в режим приема и ожидает подтверждения в течение определенного периода времени. Когда пакет подтверждения получен, устройство вернется к нормальной функции передачи. Если в TX FIFO больше нет неотправленных данных, а на выводе CE низкий уровень, устройство перейдет в режим ожидания. Если подтверждение не получено, устройство вернется в режим передачи и повторно отправит данные. Это будет продолжаться до тех пор, пока не будет получено подтверждение или не истечет время ожидания (т. Е. Достигнуто максимальное количество отправлений). Единственный способ сбросить это - установить бит PWR\_UP на низкое значение или позволить завершить автоматическую повторную передачу. Счетчик потерь пакетов будет увеличиваться каждый раз, когда пакету не удается достичь пункта назначения до истечения времени ожидания. (Время ожидания указывается прерыванием MAX\_RT.) Счетчик потери пакетов сбрасывается при записи в регистр радиочастотного канала.

Идентификация пакета (PID) и CRC, используемые пакетом Enhanced ShockBurstTMEach, содержат поле PID шириной в два бита, чтобы определить, является ли полученный пакет новым или повторно отправленным. PID предотвратит, что устройство PRX представит одну и ту же полезную нагрузку более одного раза на микроконтроллер. Это поле PID увеличивается на стороне TX для каждого нового пакета, полученного через интерфейс SPI. Поле PID и CRC используется устройством PRX, чтобы определить, является ли пакет повторно или новым. Когда в ссылке теряется несколько данных, поля PID могут в некоторых случаях совпадать с последним полученным PID. Если пакет имеет тот же PID, что и предыдущий пакет, nRF24L01 будет сравнивать суммы CRC из обоих пакетов. Если они также равны, последний полученный пакет считается копией предыдущего и отбрасывается.

1: устройство PRX:

устройство PRX сравнивает полученный PID с последним PID. Если поля PID отличаются, пакет считается новым. Если PID равен последнему принятому PID, полученный пакет может быть таким же, как в прошлый раз. Получатель должен проверить, равен ли CRC предыдущему CRC. Если CRC равен предыдущему, пакет, вероятно, такой же, и будет отброшен.

2: устройство PTX:

передатчик увеличивает поле PID каждый раз, когда отправляет новый пакет.

Длина CRC настраивается через интерфейс SPI. Важно отметить, что CRC рассчитывается по всему пакету, включая адрес, PID и полезную нагрузку. Ни один пакет не будет принят как правильный, если CRC не пройден. Это дополнительное требование для приема пакетов, которое не показано на рисунке выше.

Обнаружение стационарных помех - CD Carrier Detection (CD) устанавливается на высокий уровень, когда внутриполосный РЧ-сигнал обнаруживается в режиме приема, в противном случае CD является низким. Внутренний сигнал CD фильтруется перед подачей в регистр CD. Внутренний сигнал CD должен быть высоким не менее 128 мкс. В Enhanced ShockBurst ™ рекомендуется использовать функцию обнаружения несущей, только когда устройству PTX не удается пропустить пакеты, как указано прерыванием MAX\_RT для отдельных пакетов и счетчиком потери пакетов (PLOS\_CNT), если потеряно несколько пакетов. Если PLOS\_CNT в устройстве PTX указывает на высокую скорость потери пакетов, устройство может быть настроено на устройство PRX в течение короткого времени (Tstbt2a + задержка фильтра CD = 130 мкс + 128 мкс = 258 мкс) для проверки CD. Если CD был высоким (ситуация замятия), частотный канал должен быть изменен. Если CD был низким (вне диапазона или защемлен широкополосными сигналами, такими как WLAN), он может продолжаться в том же частотном канале, но выполнять другие настройки. (Пустая запись в RF\_CH очистит PLOS\_CNT.)

Каналы данных nRF24L01, настроенный как PRX, может принимать данные, адресованные 6 различным каналам данных в одном физическом частотном канале. Каждый канал данных имеет свой уникальный адрес и может быть настроен на индивидуальное поведение. Каналы данных активируются с помощью битов в регистре EN\_RXADDR. По умолчанию включены только каналы данных 0 и 1. Адрес для каждого канала данных настраивается в регистрах RX\_ADDR\_Px. Всегда проверяйте, чтобы ни один из каналов данных не имел одинаковый адрес. Канал данных 0 имеет уникальный 40-битный настраиваемый адрес. Каналы данных 1-5 совместно используют 32 старших значащих бита адреса и имеют только LSByte, уникальный для каждого канала данных. На рисунке 7 показан пример адресации каналов данных 0-5. Все каналы могут иметь адрес до 40 бит, но для канала 1-5 только LSByte отличается, а LSByte должен быть уникальным для всех каналов.

Когда пакет был получен в одном из каналов данных, и канал данных настроен для генерации подтверждения, nRF24L01 сгенерирует подтверждение с адресом, равным адресу канала данных, где был получен пакет. Некоторые параметры конфигурации являются общими для всех каналов передачи данных, а некоторые - индивидуальными. Следующие настройки являются общими для всех каналов передачи данных:

• CRC включен / выключен (CRC всегда включен, когда включен ESB)

• Схема кодирования CRC

• Ширина адреса RX

• Частотный канал

• Скорость передачи данных RF

• Усиление LNA

• Выходная мощность RF

КОНФИГУРАЦИЯ УСТРОЙСТВА

Вся конфигурация nRF24L01 определяется значениями в некоторых регистрах конфигурации. Все эти регистры доступны для записи через интерфейс SPI.

Интерфейс SPI Интерфейс

SPI - это стандартный интерфейс SPI с максимальной скоростью передачи данных 10 Мбит / с. Большинство регистров читаемы.

Набор инструкций SPI

Доступные команды, которые будут использоваться на интерфейсе SPI, показаны ниже. Всякий раз, когда CSN установлен на низкий уровень, интерфейс ожидает команду. Каждая новая инструкция должна начинаться с перехода от высокой к низкой к CSN. Параллельно с командным словом SPI, применяемым к выводу MOSI, регистр STATUS последовательно выводится на вывод MISO. Команды SPI с последовательным сдвигом имеют формат: <Слово инструкции: MSBit в LSBit (один байт)> <Байты данных: LSByte в MSByte, MSBit в каждом байте первым> См. Рис. 8 и рис. 9 для получения дополнительной информации.

Имя инструкции Формат инструкции [двоичный] # Байты данных Операция R\_REGISTER 000A AAAA От 1 до 5 LSByte сначала Чтение регистров. AAAAA = 5-битный адрес карты памяти W\_REGISTER 001A AAAA от 1 до 5 LSByte first Записать регистры. AAAAA = 5-битный адрес карты памяти. Выполняется только в режиме пониженного энергопотребления или в режиме ожидания. R\_RX\_PAYLOAD 0110 0001 Сначала от 1 до 32 LSByte Считывание полезной нагрузки RX: 1 - 32 байта. Операция чтения всегда начинается с байта 0. Полезная нагрузка будет удалена из FIFO после ее чтения. Используется в режиме приема. W\_TX\_PAYLOAD 1010 0000 от 1 до 32 LSByte first Используется в режиме TX. Запись TX-полезной нагрузки: 1 - 32 байта. Операция записи всегда начинается с байта 0.FLUSH\_TX 1110 0001 0 Flush TX FIFO, используемый в режиме TX FLUSH\_RX 1110 0010 0 Flush RX FIFO, используемый в режиме RX Не должен выполняться во время передачи подтверждения, т.е. пакет подтверждения не будет завершен , REUSE\_TX\_PL 1110 0011 0 Используется для устройства PTX Повторное использование последней отправленной полезной нагрузки. Пакеты будут повторно отправляться повторно, пока CE высокий. Повторное использование полезной нагрузки TX активно до тех пор, пока не будет выполнен W\_TX\_PAYLOAD или FLUSH TX. Повторное использование полезной нагрузки TX не должно активироваться или деактивироваться во время передачи пакета. NOP 1111 1111 0 Нет операции. Может использоваться для чтения регистра STATUS

W\_REGISTER и R\_REGISTER могут работать с однобайтовыми или многобайтовыми регистрами. При доступе к многобайтовым регистрам сначала читается или записывается MSBit LSByte.

Запись может быть прекращена до того, как будут записаны все байты в многобайтовом регистре. В этом случае неписаный MSByte останется неизменным. Например. LSByte RX\_ADDR\_P0 можно изменить, записав только один байт в регистр RX\_ADDR\_P0. Содержимое регистра состояния всегда будет считываться в MISO после перехода от высокого к низкому в CSN.

Прерывание nRF24L01 имеет активный низкий вывод прерывания (IRQ). Контакт прерывания активируется, когда TX\_DS, RX\_DR или MAX\_RT установлены на высокий уровень в регистре состояния. Когда MCU записывает «1» в источник прерывания, вывод IRQ становится неактивным. Часть маски прерываний регистра CONFIG используется для маскировки источников прерываний, которым разрешено устанавливать низкий вывод IRQ. При установке одного из битов MASK соответствующий источник прерывания будет отключен. По умолчанию все источники прерываний включены.

SPI Timing

Интерфейс поддерживает SPI. Работа и время SPI приведены на рисунках с 8 по 10, а также в таблице 10 и таблице 11. Перед записью в регистры конфигурации устройство должно находиться в одном из режимов ожидания или выключения питания. На рисунках с 8 по 10 используются следующие обозначения:

Cn - Бит инструкции SPI

Sn - Бит регистра состояния

Dn - Бит данных (примечание: сначала LSByte to MSByte, MSBit в каждом байте)

Таблица карты памяти ….

Enhanced ShockBurst Link - минимальная конфигурация и пример связи.

Конфигурация

PTX:

• Включите PTX: запишите 0x0a в регистр CONFIG. Примечание. Устройство будет настроено как устройство PTX с настройками по умолчанию. Эти настройки можно найти в таблице карты памяти в качестве значений сброса.

PRX:

• Включите устройство PRX и установите бит PRIM\_RX в 1: запишите 0x0b в регистр CONFIG.

• Установить ширину полезной нагрузки (например, 8 байтов для канала данных 0): записать 8 в RX\_PW\_P0

• Установить CE = 1, и PRX будет готов к приему 8-байтовых пакетов с адресом и частотой по умолчанию.

Связь:

PTX:

• Загрузить 8-байтовую полезную нагрузку в TX FIFO PTX. Выполнить инструкцию SPI: W\_TX\_PAYLOAD <полезная нагрузка>

• Импульсный CE высокий.

• Дождитесь прерывания (низкий вывод IRQ).

• Проверьте регистр состояния на наличие прерывания TX\_DS (данные отправлены).

• Необязательно: Режим отключения питания можно ввести после передачи пакета: записать 0x08 в регистр CONFIG.

PRX:

• Установите CE высоко.

• Дождитесь прерывания (низкий вывод IRQ).

• Проверьте регистр состояния на наличие прерывания RX\_DR (данные готовы).

• Считывание полезной нагрузки RX: Выполнение инструкции SPI: R\_RX\_PAYLOAD.

• Необязательно: Режим ожидания I можно ввести после получения пакета, установив низкий уровень CE.

Примечание: PRX отправит пакет подтверждения в PTX после успешного приема. Это будет сделано, даже если вывод CE установлен на низкий уровень сразу после прерывания RX\_DR. Хотя рекомендуется поддерживать достаточно высокий уровень CE для захвата потенциальных повторных передач от PTX в случае потери подтверждений. (PRX также подтверждает повторно переданные пакеты.) Если PRX немедленно отключается и пакет подтверждения (только в этом случае) теряется, PTX будет повторно передавать пакет до тех пор, пока не будет достигнут счетчик автоматической повторной передачи (ARD), что рассеивает ненужную мощность.

• Необязательно: в режим ожидания можно войти из режима ожидания I: записать 0x09 в регистр CONFIG.

Конфигурация для совместимости с nRF24XX

Как настроить nRF24L01 для получения от nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1 / nRF24E2:

• Использовать ту же конфигурацию CRC, что и для nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1 / nRF24E2

• Установить бит подтверждения PWR\_1 для автоматического распознавания 1 в параметре nWR\_UP и PRIM 1 для nWF\_UP и PRIM\_XX\_X\_RX\_X\_N\_RF\_X\_N\_RF\_X\_N\_RF24E2. канал данных, к которому будет применен адрес.

• Используйте ту же ширину адреса, что и для устройства PTX.

• Используйте тот же частотный канал, что и для устройства PTX. на канале данных, который будет адресован

• Установите высокий уровень CE

Как настроить nRF24L01 для передачи на nRF2401 / nRF24E1:

• Используйте ту же конфигурацию CRC, что и nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1 / nRF24E2

• Установите бит PRIM\_RX на 0

• Установите для счетчика автоматической ретрансляции значение 0, чтобы отключить функцию автоматической повторной передачи

• Использовать та же ширина адреса, что и для nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1 / nRF24E2.

• Используйте тот же частотный канал, что и для nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1. / nRF24E2. PWR\_UP high

• Тактовая частота в полезной нагрузке, которая имеет ту же длину, что и nRF2401 / nRF2402 / nRF24E1 / nRF24E2, настроена на прием

• Импульсный CE для отправки пакета