

青风带你玩蓝牙 nRF52832 系列教程.....	2
-----作者: 青风.....	2
作者: 青风.....	3
出品论坛: www.qfv8.com	3
淘宝店: http://qfv5.taobao.com	3
QQ 技术群: 346518370.....	3
硬件平台: 青云 QY-nRF52832 开发板.....	3
一: 蓝牙 5.0 基础概念以及学习规划.....	3
1 蓝牙 5.0 基础概念普及.....	3
1.1 蓝牙 5.0 的简介:	3
1.2 蓝牙协议栈结构:	5
1.3 蓝牙如何实现连接与通信:	6
2 蓝牙学习规划.....	9
2.1 蓝牙外设程序学习:	10
2.2 蓝牙 BLE 程序学习:	11

青风带你玩蓝牙 nRF52832 系列教程

-----作者: 青风

出品论坛: www.qfv8.com 青风电子社区



作者: 青风

出品论坛: www.qfv8.com

淘宝店: <http://qfv5.taobao.com>

QQ 技术群: 346518370

硬件平台: 青云 QY-nRF52832 开发板

一: 蓝牙 5.0 基础概念以及学习规划

本章将讲解什么是蓝牙 5.0, 蓝牙是如何实现通信的? 以及蓝牙协议栈是什么意思? 蓝牙外设程序是什么意思? 蓝牙 BLE 程序是什么意思? 带这几个, 我们进入本章的学习, 本章将为蓝牙 5.0 的学习打开一扇门, 让大家知道以后将如何学习。

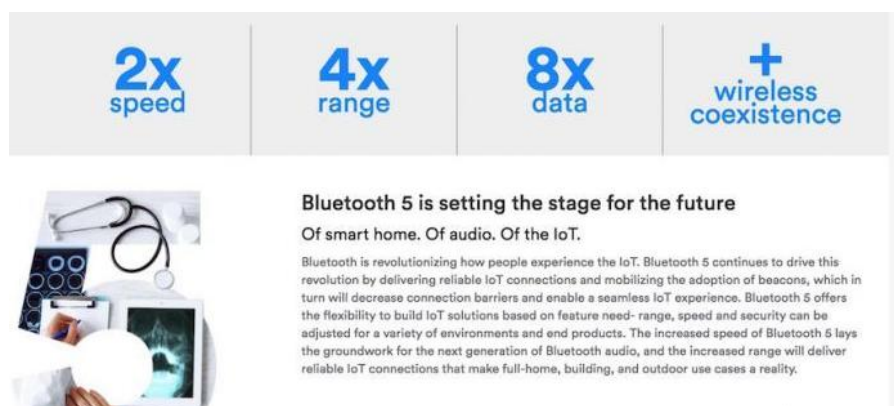
1 蓝牙 5.0 基础概念普及

1.1 蓝牙 5.0 的简介:

蓝牙 5.0 是由蓝牙技术联盟在 2016 年提出的蓝牙技术标准, 蓝牙 5.0 针对低功耗设备速度有相应提升和优化。

蓝牙 5.0 是在蓝牙 4.2 基础上进化而来, 那么与蓝牙 4.2 相比, 它有什么特点了?

蓝牙 5.0 的特色是它能在现有 (蓝牙 4.2) 的省电模式下, 提供超过 4 倍的通讯范围 (300 米) 和 2 倍的传输速度 (2Mbps), 8 倍的数据量:



同时增添导航功能, 配合无处不在的 Wi-Fi 可以实现精准度接近 1 米的蓝牙室内定位功能。下图为国外设计的室内导航演示:



蓝牙 5.0 不仅自身具备理论 300 米的有效信号通讯范围, 同时还在开发物联网网状网络 (mesh networking) 技术, 它能使蓝牙 5.0 设备相互作为信号中继站, 从而也能将信号传递到无限远。在国内, mesh 组网已经商用化, 如下图所示的 mesh 智能灯光设备:



蓝牙 5.0 在低功耗方面的表现依旧有着无可匹敌的特性。物联网设备 (比如传感器和可穿戴设备) 体积一个比一个小, 所能容纳的电池容量更是有限。因此, 能做到超迷你级别的蓝牙芯片 (接收器), 而且能比 Wi-Fi 节省 25% 到一倍电力的蓝牙 5.0, 自然更受小型物联网设备青睐了。比如下图的防丢器, 或者 ibeacon 的设备等。

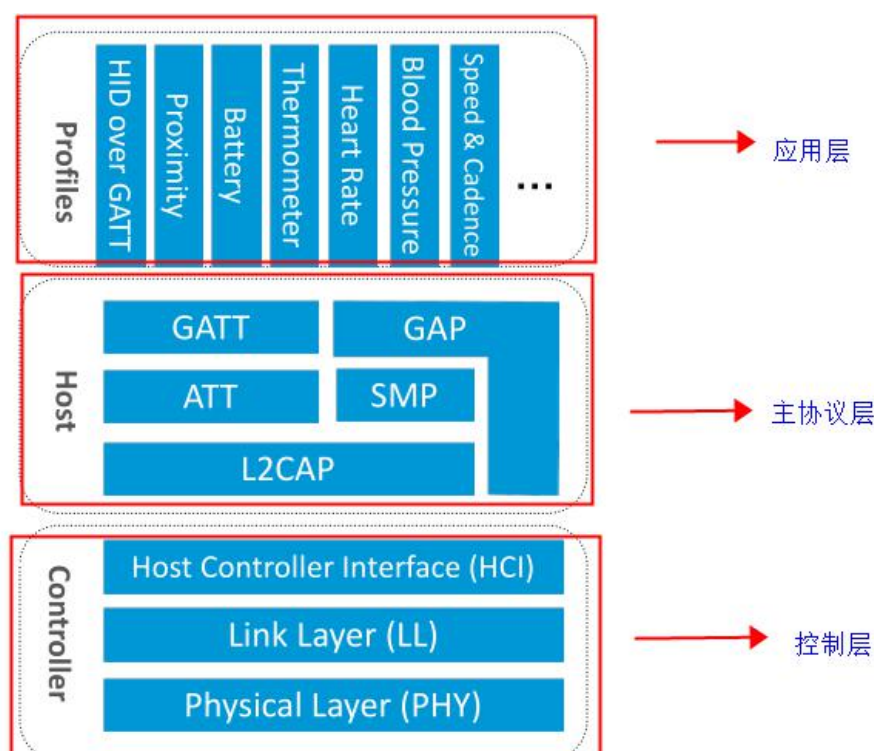


1.2 蓝牙协议栈结构:

学习蓝牙 5.0 之前, 需要下载蓝牙核心规范以 5.0, 链接如下:

<https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>

蓝牙里把蓝牙协议的实现代码称为协议栈 (protocol stack), BLE 协议栈就是实现低功耗蓝牙协议的代码, 理解和掌握 BLE 协议是实现 BLE 协议栈的前提。在深入 BLE 协议栈各个组成部分之前, 我们先看一下 BLE 协议栈整体架构。



从上图可知, 一个蓝牙工程应用被分成三个层, 分别为应用层, 主协议层, 控制层。这些层

中, 涉及了一些蓝牙专业的术语, 下面就先简单介绍下, 当然后面会随着我们的教程进一步展开:

PHY 层 (Physical layer 物理层)。PHY 层用来指定 BLE 所用的无线频段, 调制解调方式和方法等。PHY 层做得好不好, 直接决定整个 BLE 芯片的功耗, 灵敏度以及 selectivity 等射频指标。

LL 层 (Link Layer 链路层)。LL 层是整个 BLE 协议栈的核心, 也是 BLE 协议栈的难点和重点。像 Nordic 的 BLE 协议栈能同时支持 20 个 link (连接), 就是 LL 层的功劳。LL 层要做的事情非常多, 比如具体选择哪个射频通道进行通信, 怎么识别空中数据包, 具体在哪个时间点把数据包发送出去, 怎么保证数据的完整性, ACK 如何接收, 如何进行重传, 以及如何对链路进行管理和控制等等。LL 层只负责把数据发出去或者收回来, 对数据进行怎样的解析则交给上面的 GAP 或者 ATT。

HCI (Host controller interface)。HCI 是可选的, HCI 主要用于 2 颗芯片实现 BLE 协议栈的场合, 用来规范两者之间的通信协议和通信命令等。

GAP 层 (Generic access profile)。GAP 是对 LL 层 payload (有效数据包) 如何进行解析的两种方式中的一种, 而且是最简单的那一种。GAP 简单的对 LL payload 进行一些规范和定义, 因此 GAP 能实现的功能极其有限。GAP 目前主要用来进行广播, 扫描和发起连接等。

L2CAP 层 (Logic link control and adaptation protocol)。L2CAP 对 LL 进行了一次简单封装, LL 只关心传输的数据本身, L2CAP 就要区分是加密通道还是普通通道, 同时还要对连接间隔进行管理。

SMP (Secure manager protocol)。SMP 用来管理 BLE 连接的加密和安全的, 如何保证连接的安全性, 同时不影响用户的体验, 这些都是 SMP 要考虑的工作。

ATT (Attribute protocol)。简单来说, ATT 层用来定义用户命令及命令操作的数据, 比如读取某个数据或者写某个数据。BLE 协议栈中, 开发者接触最多的就是 ATT。**BLE 引入了 attribute 概念, 用来描述一条一条的数据。**Attribute 除了定义数据, 同时定义该数据可以使用的 ATT 命令, 因此这一层被称为 ATT 层。

GATT (Generic attribute profile)。GATT 用来规范 attribute 中的数据内容, 并运用 group (分组) 的概念对 attribute 进行分类管理。没有 GATT, BLE 协议栈也能跑, 但互联互通就会出问题, 也正是因为有了 GATT 和各种各样的应用 profile, BLE 摆脱了 ZigBee 等无线协议的兼容性困境, 成了出货量最大的 2.4G 无线通信产品。

最上层的 Profiles 层里, 包含的公用任务和私有任务, 其中公共任务是 SIG 蓝牙协议小组定义的蓝牙任务, 私有任务是用户或者企业自定义的蓝牙任务。

蓝牙协议的三层结构的具体应用, 我们会在蓝牙例程中, 结合代码展开。

1.3 蓝牙如何实现连接与通信:

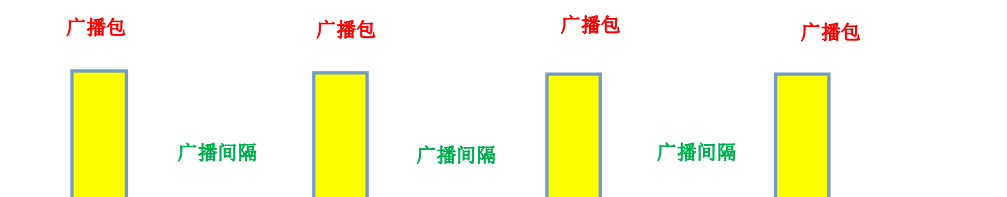
初学者在学习蓝牙的时候, 大家首先肯定有一个疑问, 蓝牙是怎么样通信的了? 这个过程是如何实现的了? 那么这一讲我们首先要搭建一个基础概念, 和做楼房一样, 先搭一个框架, 后面的学习再往这个框架里填砖头 (详细内容)。

通信是双向的, 为了创建和维持一个 BLE 通信连接, 在蓝牙中引入了“角色”这一概念。一个 BLE 设备不是主机 (集中器) 角色就是从机 (外围设备) 角色, 这是根据是谁发起这个连接来确定的。主机 (集中器) 设备总是连接的发起者, 而从机 (外围设备) 总是被连接者。整个访问与连接过程都在通用访问规范 (Generic Access Profile, GAP) 进行实现的。

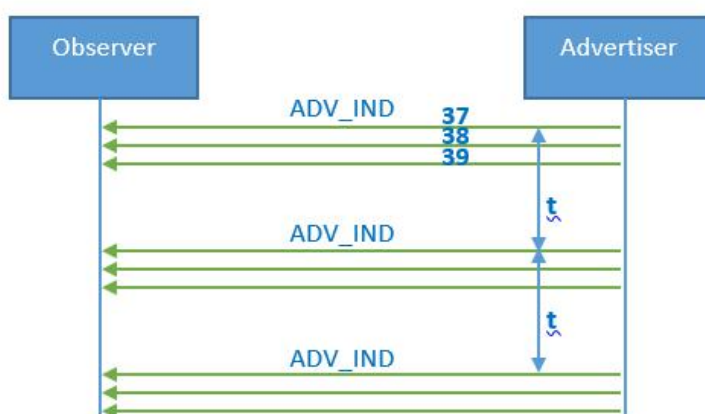
1.3.1 从机广播

从机（外围设备）要被主机连接，那么它就必须先被主机发现。这个时候，从机设备把自身信息以广播形式发射出去。

比如设备 A 需要先进行广播，即**设备 A（Advertiser）**不断发送如下广播信号， t 为广播间隔。每发送一次广播包，我们称其为一次**广播事件（advertising event）**，因此 t 也称为广播事件间隔，如下图所示。广播事件是一阵一阵的，每次会是有有一个持续时间的，蓝牙芯片只有在广播事件期间才打开射频模块发射广播，这个时候功耗比较高，其余时间蓝牙芯片都处于 **idle** 待机状态，因此平均功耗就非常低。



当广播发出的时候，每一个广播事件包含三个广播包，即分别在 37/38/39 三个通道上同时广播相同的信息。下图 **observer** 为主机观察者，**advertiser** 就是从机广播。

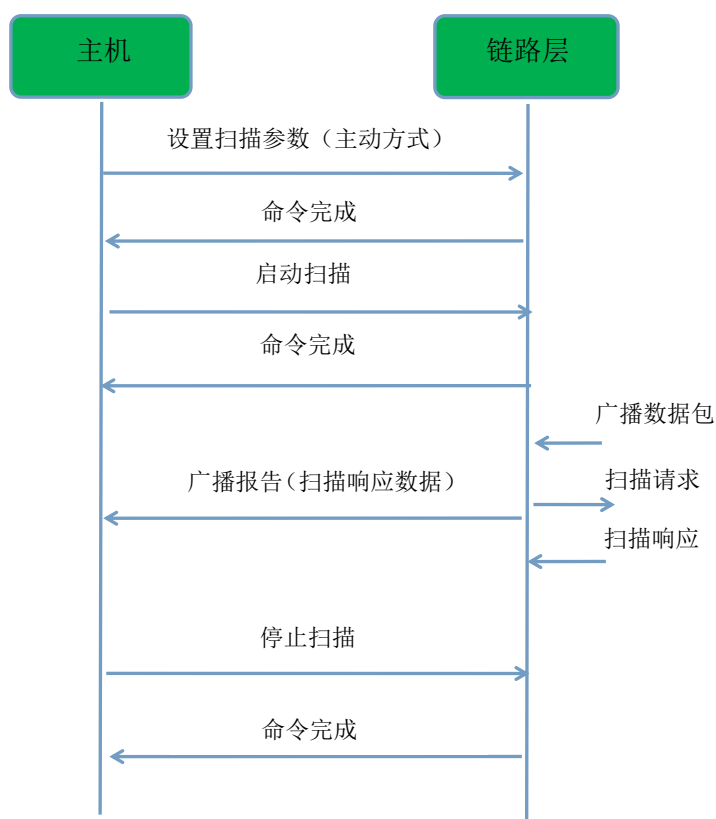


1.3.2 主机扫描

设备 A 不断发送广播信号给主机（**Observer**），如果手机不开启扫描窗口，主机是收不到设备 A 的广播的，如下图所示，不仅手机要开启射频接收窗口，而且只有主机的射频接收窗口跟广播发送的发射窗口匹配成功，手机才能收到设备 A 的广播信号。由于这种匹配成功是一个概率事件，因此手机扫到设备 A 也是一个概率事件，也就是说，主机有时会很快扫到设备 A，比如只需要一个广播事件，主机有时又会很慢才能扫到设备 A，比如需要 10 个广播事件甚至更多。

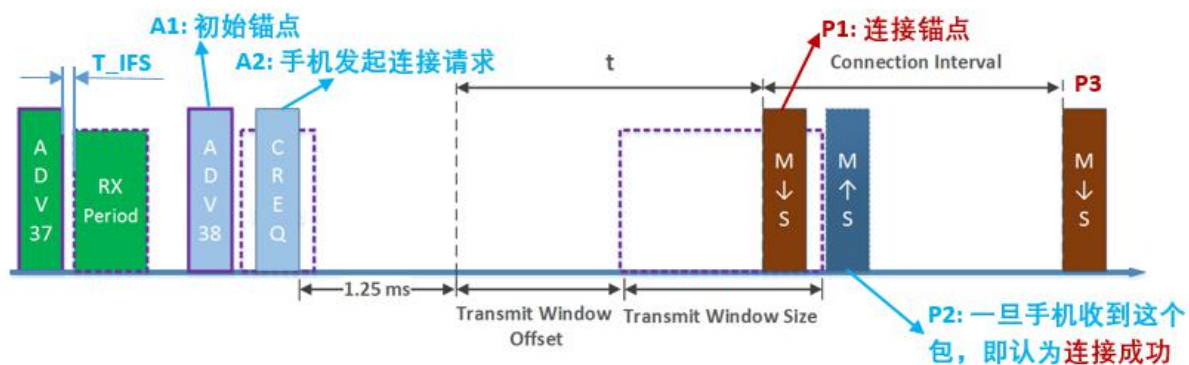
下面图表示了主机主动扫描广播的过程：

控制器收到扫描数据包后将向主机发送一个广播报告事件（**adv_report**），该事件同样包括了链路层数据包的广播类型。因此，主机能够判断对端设备是否可以连接或者扫描，并且区分出广播数据包和扫描响应数据包。



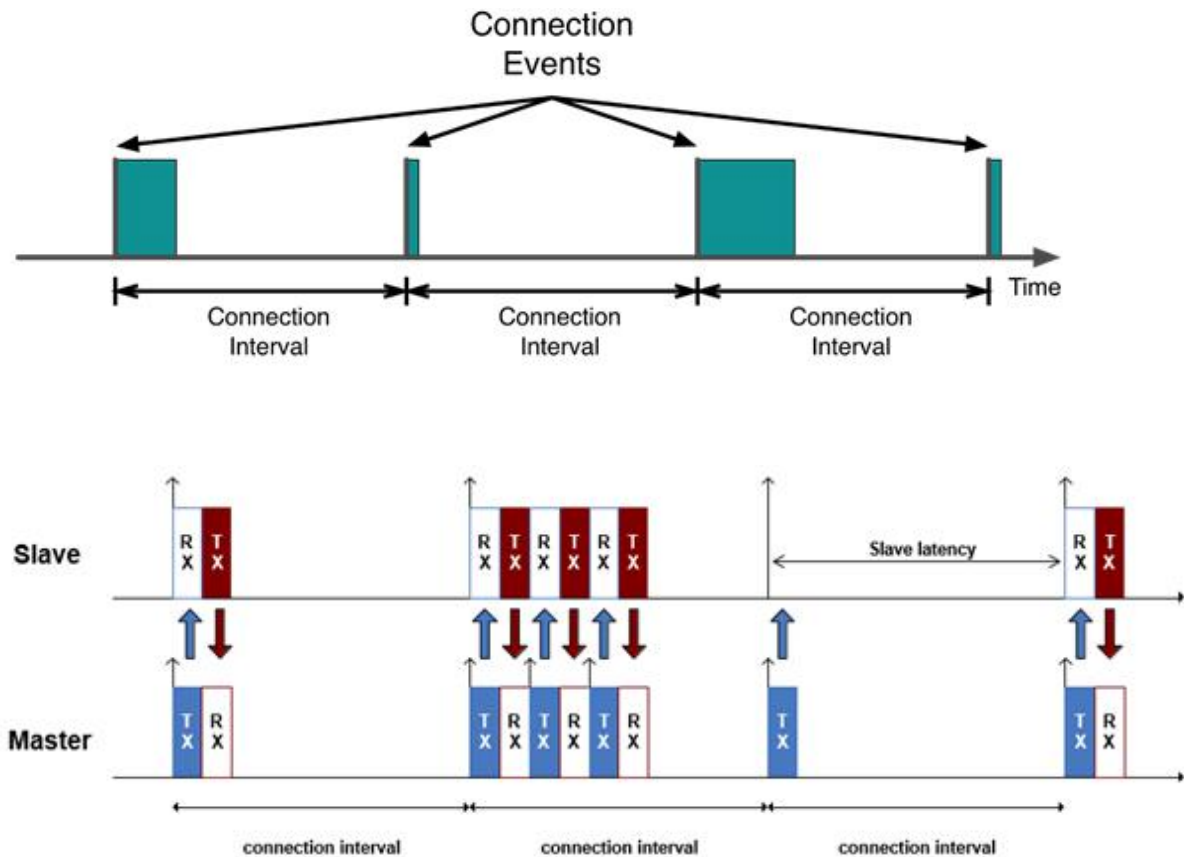
1.3.3 建立连接

如图所示, 手机在收到 A1 广播包 ADV_IND 后, 以此为初始点, T_{IFS} 后给 Advertiser 发送一个 connection request 命令, 即 A2 数据包, 告诉 advertiser 我将要过来连你, 请做好准备。Advertiser 根据 connect_req 命令信息做好接收准备。connect_req 其实是在告诉 advertiser, 手机将在 Transmit Window 期间发送第一个同步包 (P1) 给你, 请在这段时间里把你的射频接收窗口打开。设备 B 收到 P1 后, T_{IFS} 时间后将给手机回复数据包 P2。一旦手机收到数据包 P2, 连接即可认为建立成功。后续手机将以 P1 为锚点 (原点), Connection Interval 为周期, 周期性地给设备 B 发送 Packet。



1.3.4 发送与接收数据

连接成功后, master 和 slave 在每一个 connection interval 开始的时候, 都必须交互一次, 即 master 给 slave 发一个包, slave 再给 master 发一个包, 整个交互过程称为一个 connection event。蓝牙芯片只有在 connection event 期间才把射频模块打开, 此时功耗比较高, 其余时间蓝牙芯片都是处于 idle 状态的, 因此蓝牙芯片平均功耗就非常低。Master 不可能时时刻刻都有数据发给 slave, 所以 master 大部分时候都是发的空包 (empty packet) 给 slave。同样 slave 也不是时时刻刻都有数据给 master, 因此 slave 回复给 master 的包大部分时候也是空包。另外在一个 connection event 期间, master 也可以发多个包给 slave, 以提高吞吐率。综上所述, 连接成功后的通信时序图应该如下所示:



图中, 主从数据发送的数据包 TX 和 RX 表示方向性的数据通道, 也就是蓝牙的空中属性, 空中操作事件都是采用蓝牙操作句柄来进行的, 因为句柄能够唯一表示各个属性。空中特性的性质包括:

主机 RX 从机 TX 方向:

◎通知: 从机端上传数据给主机, 不需要主机回复一个响应

◎指示: 从机端上传数据给主机, 需要主机端发一个确认给服务器
通知和指示之间不同之处在于指示有应用层上的确认, 而通知没有。

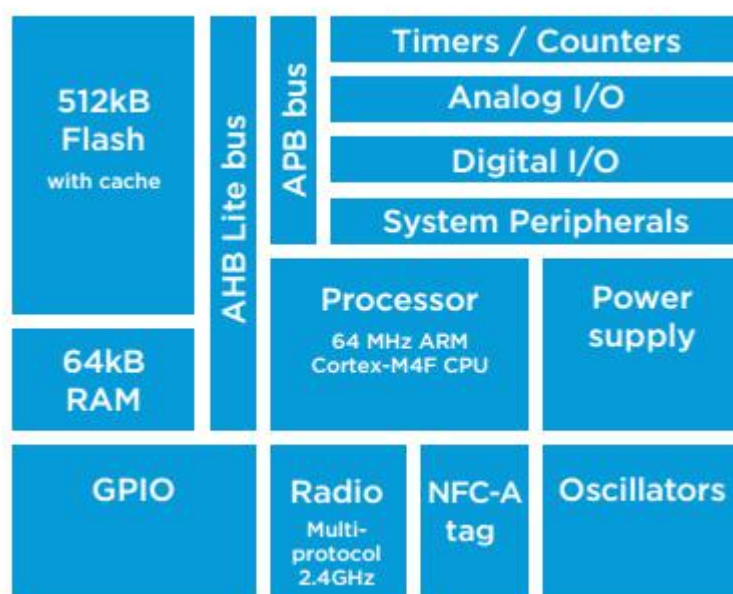
主机 TX 从机 RX 方向:

◎写 ◎没有回应的写 ◎读

2 蓝牙学习规划

2.1 蓝牙外设程序学习:

我们知道 nrf52 的处理器是内核 arm cortex M4 内核的一个蓝牙芯片, 也就是说, nrf5x 处理器本身就是一个 arm 芯片, 可以作为单片机来处理相关任务。单片机就具有对应的外设, 学习外设功能以及编程, 是我们了解芯片, 灵活使用芯片功能的第一步, 也为我们后面 BLE 开发打下基础。下图为 nrf52832 包含的功能模块:



GPIO	32 configurable
Digital I/O	3 x Hardware SPI master, 3 x Hardware SPI slave, 2 x 2-wire master, 2 x 2-wire slave, UART, Quadrature demodulator, 1x I2S, 1xPDM
Peripherals	12-bit/200KSPS ADC, RNG, Temperature sensor, general compararator, low power comparator
PPI	20-channel
Voltage regulator	LDO (1.7 to 3.6V), Buck DC/DC (1.7 to 3.6V)
Timers/counters	5 x 32bit, 3 x 24bit RTC

外设程序下载注意事项:

外设代码是不带协议栈的, 下载之前, 需要使用 **nrfgo-studio** 把协议栈删除后, 再下载。

外设教程规划如下所示:

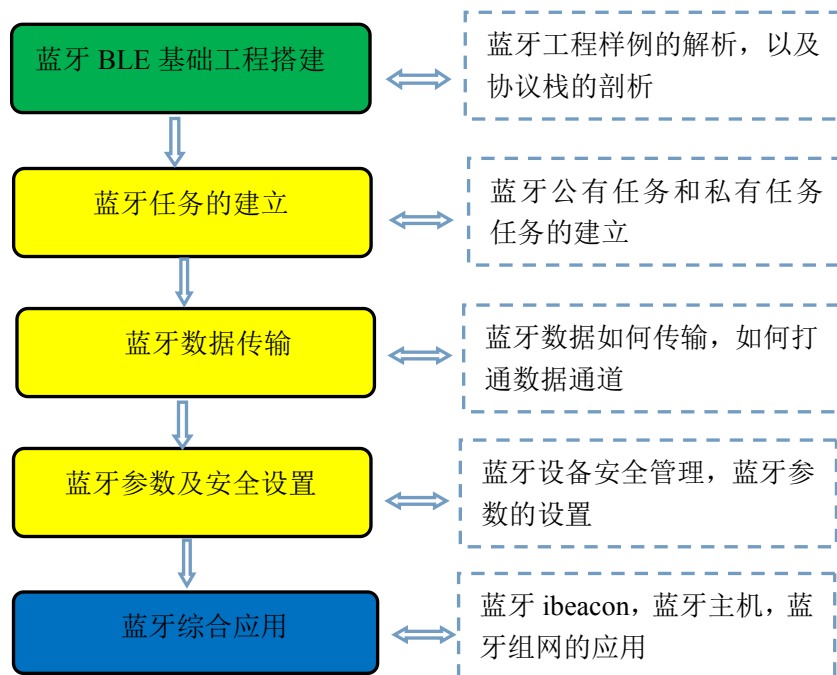
参考教程: **《SDK15 蓝牙 5.0 笔记 6: (蓝牙外设硬件篇) 蓝牙外设例子详解》** 更新内容, 目录如下所示:

6.1 GPIO 的应用.....	3
6.1.1 原理分析:	3
6.1.2 软件编写:	6
6.2 GPIOTE 与外部中断.....	11
6.2.1 原理分析.....	11
6.2.2 应用实例编写.....	13
6.3 定时器 TIME.....	19
6.3.1 原理分析.....	19
6.3.2 应用实例编写.....	21
6.4 串口外设应用.....	28
6.4.1 原理分析.....	28
6.4.2 应用实例编写.....	29
6.5 PPI 模块的使用.....	37
6.5.1 原理分析.....	37
6.5.2 应用实例编写.....	38
6.6 定时器输入捕获.....	44
6.6.1 原理分析:	44
6.6.2 应用实例编写.....	46
6.7 RTC 实时时钟.....	50
6.7.1 原理分析.....	50
6.7.2 应用实例编写.....	51
6.8 SAADC 采集.....	60
6.8.1 原理分析.....	61
6.8.2 应用实例编写.....	64
6.9 SPI 读写外部 FLASH.....	82
6.9.1 原理分析.....	82
6.9.2 硬件准备:	83
6.9.3 应用实例编写.....	83

学习过程中,应该对照芯片手册,认真阅读教程和手册内容,深入理解代码,不断的实践操作,才能够深入理解相关内容

2.2 蓝牙 BLE 程序学习:

蓝牙学习是我们的重点内容,如何让读者容易理解蓝牙的概念?如何做到理论结合实际了?下面根据多年的教学经验,我们把蓝牙的讲解分为下面 5 个步骤,如下图所示:



2.2.1 第一步：蓝牙 BLE 基础工程搭建

本讲以解析蓝牙工程样例模板为目标，同时结合蓝牙协议栈进行讲解，做到的目标上让读者能够知道蓝牙工程的基本构造，以及蓝牙的协议栈在蓝牙工程中如何调用的。整个结构如下图所示：



如图所示，上图中绿色框框所搭建的内容是蓝牙协议栈的基础部分，也就是从机广播的基础。灰色框框的内容为设备管理内容，包括硬件的初始化，比如定时器，按键设备等，还包括了内存管理，配对，人机交互 LOG 打印等功能。

黄色框框为服务初始化，为后面讲的蓝牙服务建立的主要内容。

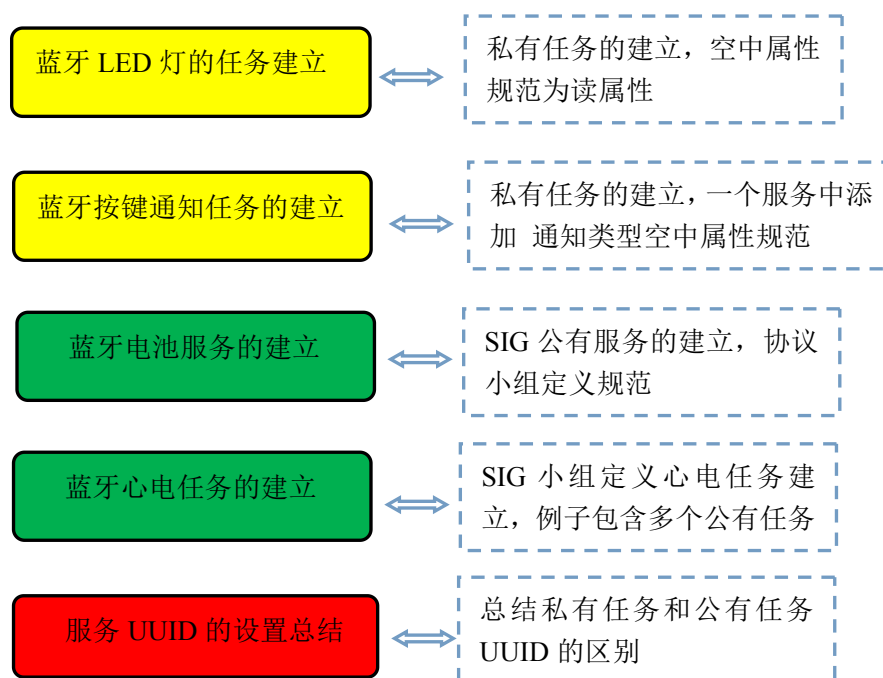
2.2.2 第二步：蓝牙任务的建立

蓝牙服务包含了两个方面，第一个方面也就是 SIG 蓝牙兴趣小组定义的公有服务，该服务使用一组 UUID，这些服务的属性结构有严格规定，在建立该服务的时候需要严格按照 SIG 协议小组的定义来实现，关于公有服务特征属性与特征值定义可以参考下载相关手册，链接如下：

<https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/services>

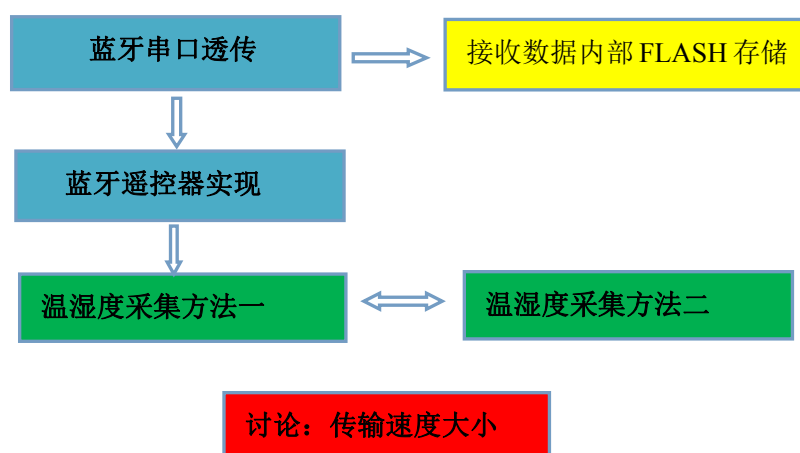
第二个就是私有服务，私有服务，顾名思义，就是公司或者个人组织定义的自己使用的服务，因为是自有服务，所有特征属性只需要满足蓝牙的空中属性定义就可以，比如 读，写，通知等。

因此，针对蓝牙任务的建立，主要以下面五个例子进行讲解，私有服务和公共服务各两个实例：



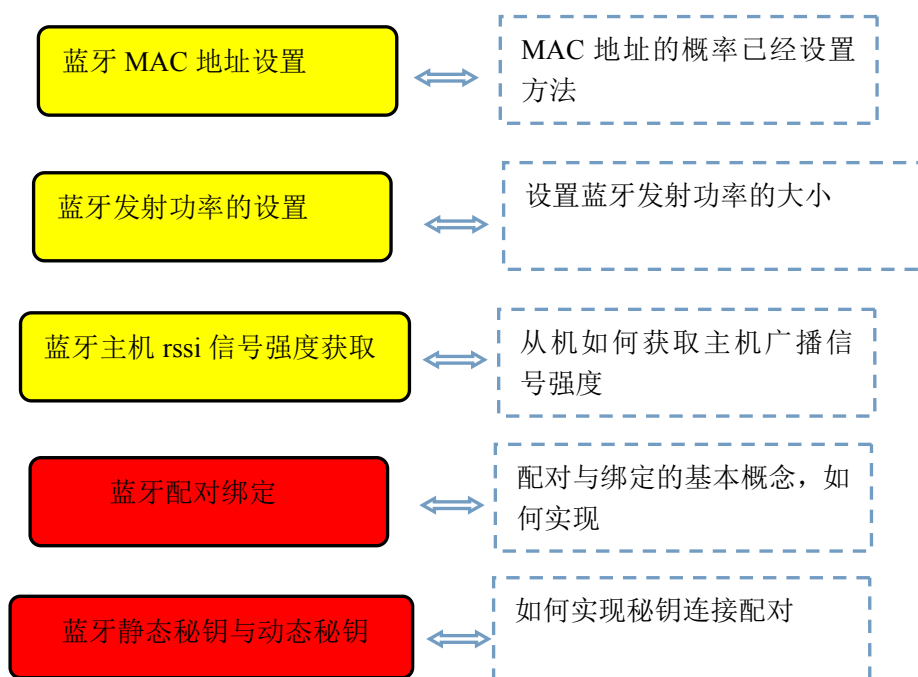
2.2.3 第三步：蓝牙数据传输

蓝牙作为数据传输通道，主要的目标就是进行数据传输，这一步将通过蓝牙串口透传的两个方向，主机-->从机，从机-->主机，搭建一个数据传输通道。以这个通道为基础，可以延伸出多个应用，同时还讲讨论下数据传输速度。



2.2.4 第四步：蓝牙参数及安全设置

这个步骤讲详细讨论蓝牙的一些基本参数如何设置，比如说 MAC 地址，发送功率，接收信号强度 rssi 等。同时会提出蓝牙安全的概率，绑定配对以及密钥连接，整体规划如下图所示：



2.2.5 第五步：蓝牙综合应用。

蓝牙综合应用，主要以下面几个方面进行介绍：蓝牙 ibeacon 的介绍、蓝牙 DFU 空中升级方法、蓝牙主机部分：下图绿色框框表述的内容、最后规划为 mesh 组网。

蓝牙综合应用实例

蓝牙 ibeacon 应用

蓝牙主机串口

蓝牙 DFU 升级教程一

蓝牙主机扫描

蓝牙 DFU 升级教程二

蓝牙主机心电

蓝牙 mesh 组网

蓝牙主机 1 带多从机