

类别	内容
关键词	数传速率
摘要	介绍数传速率相关条件，帮助用户合理配置参数

ZLG52810P0-1-TC 数传速率配置

蓝牙模块

Application Note

修订历史

版本	日期	原因
V1.0.00	2018/04/09	创建文档
V1.0.01	2019/03/08	修改企业名称
V1.0.02	2020/03/03	更换文档模板
V1.0.03	2020/12/17	更新文档模板

目 录

1. 简介.....	1
1.1 概述.....	1
1.2 BLE 连接传输原理说明	1
1.3 MCU->BLE 主机透传框架以及理论公式.....	2
1.3.1 大数据量连续发送.....	2
1.3.2 小数据量间隔发送.....	3
1.4 BLE 主机->MCU 透传框架以及理论公式.....	4
1.4.1 大数据量连续发送.....	5
1.4.2 小数据量间隔发送.....	5
2. 免责声明.....	6

1. 简介

1.1 概述

用户开发产品不想使用串口的流控功能, 又希望知道如何在不丢包情况下获得更快的速度, 针对这种情况, 这里简单介绍 BLE 连接传输原理以及一套理论公式, 用户按照实际需求套公式就能得到一些参考的配置参数。

需要说明的是, 这里提供的公式仅仅是理想不发生丢包重发情况下的理论公式, 由于工作环境恶劣、用户 MCU 波特率精度不理想、通讯距离远近等情况, 都会对速率有影响, 用户需要结合实际修改参数。这里的公式忽略考虑 L2CAP 分包重组、Link Layer Packet 发送/接收间隔等影响速率的因素, 对于精度高的情景不适用。

1.2 BLE 连接传输原理说明

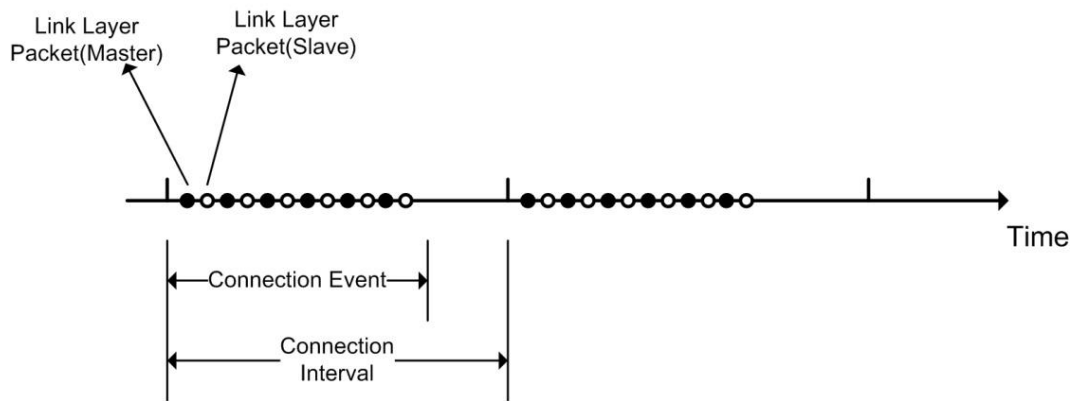


图 1.1 BLE 连接传输简图

图 1.1 为 BLE 连接传输的一个例子, 其中每个 Connection Event 包含 6 个主机和 6 个从机的 Link Layer Packet, 一个 Connection Interval 只有一个 Connection Event; 如果每个 Link Layer Packet 限制最多包含 20 字节用户数据, 那么上图例子中每次 Connection Interval, BLE 主机最多可以发送 120 字节用户数据, BLE 从机最多可以发送 120 字节用户数据。而这个 Connection Interval 就是我们常说的“连接间隔”。所以可知, BLE 连接传输速率的快慢主要由三个重要因素决定:

1. Connection Interval 的大小;
2. 每个 Connection Event 可以发送多少个 Link Layer Packet;
3. 每个 Link Layer Packet 可以负载多少用户数据。

注: 按照 BLE 协议, 可以简单认为在一个连接间隔内主机和从机的 Link Layer Packet 个数是对应的, 并且交错出现, 就像上图交错的黑白圆圈。实际应用中, 一般作为 BLE 主机的手机会限制自己的 Link Layer Packet 个数, 导致速率上不去; 而 BLE 版本则会限制每个 Link Layer Packet 最多可以负载多少用户数据。

1.3 MCU->BLE 主机透传框架以及理论公式



图 1.2 MCU->BLE 主机透传框架

图解：MCU 通过串口以 $Speed_{\lambda}$ 的速度发送数据给 BLE 模块，BLE 模块以 $Speed_{出}$ 的速度将数据转发给 BLE 主机。 t_1 表示 MCU 发送串口数据的总时间， $t_1 + t_2$ 表示 BLE 模块转发所有数据的总时间，如果 $Speed_{\lambda} > Speed_{出}$ 的时候，BLE 模块有一定的缓冲数据能力，但是 BLE 模块需要花更多的时间 t_2 将缓冲区的数据转发到 BLE 主机。

结合 BLE 连接传输原理可得以下理论公式：

n ：代表主机每个 connection event 发送 Link Layer Packet 的个数；

$Speed_{\lambda}$ ：代表用户 MCU 往模块发送数据的速度，单位为 B/s；

$$Speed_{\lambda} = \frac{baudrate}{10}$$

$Speed_{出}$ ：代表 BLE 模块往 BLE 主机转发数据的速度，单位为 B/s，如果 BLE 主机是 BLE4.0/4.1/4.2 版本，则 $att_payload = 20$ ，如果 BLE 主机是 BLE4.2(支持长包)/5 版本，则 $att_payload = 244$ ，Connection Interval 单位为 s；

$$Speed_{出} = \frac{n \times att_payload}{Connection\ Interval}$$

t_1 ：代表 MCU 传输串口数据总时间，单位为 s；

t_2 ：代表 BLE 模块转发剩余在缓冲区内容到 BLE 主机所需时间，单位为 s，如果 $Speed_{出} > Speed_{\lambda}$ 则该值为 0；

$t_{总}$ ：代表用户每次发送串口数据的间隔，即一次发送开始到下一次发送的开始，单位为 s；

buffer：BLE 模块串口侧缓冲区，保守 1000 字节。

无论用户如何配置上述条件，理论不丢包必须满足以下三个条件：

$$\begin{cases} Speed_{出} \times (t_1 + t_2) \geq Speed_{\lambda} \times t_1 \\ (Speed_{\lambda} - Speed_{出}) \times t_1 \leq buffer \\ t_{总} \geq t_1 + t_2 \end{cases}$$

上面这些条件主要针对的是 $Speed_{\lambda} > Speed_{出}$ 的情况，如果 $Speed_{出} > Speed_{\lambda}$ 情况下，代进公式可以发现，只要满足第三条就可以了，前两条是恒成立的。

下面将会举例说明如何使用这些公式。

1.3.1 大数据量连续发送

例子：

用户 MCU 使用 115200 波特率，有 5000 字节数据需要发送，BLE 主机的协议版本低于 BLE4.2，BLE 主机每个 connection event 最多可以发送 6 个 Link layer packet，那么需要什么样的参数才能在理论不丢包情况下达到最快透传速度？

现在开始代公式：

- $n = 6$
- $Speed_{\lambda} = 115200 / 10 = 11520 \text{ B/s}$
- $Speed_{\text{出}} = 6 * 20 / \text{Connection Interval} = 120 / \text{待定} \text{ B/s}$
- $t_1 = 5000 / 11520 = 0.43 \text{ s}$
- $t_2 = \text{待定}$
- $t_{\text{总}} \geq \text{待定}$
- $\text{buffer} = 1000$

现在开始进行满足条件判断：

先检查能否让 $Speed_{\text{出}} > Speed_{\lambda}$ ，如果可以，就只需满足第三个条件就可以了。

要让 $Speed_{\text{出}} > Speed_{\lambda}$ ，通过基本不等式得出，只要 $\text{Connection Interval} < 10\text{ms}$ 即可。这时候就要分两种情况讨论：

1. 如果 BLE 主机答应使用 $\text{Connection Interval} < 10\text{ms}$ ，那么当然是最好的，用户可以无需额外延时就能无缝透传数据。

2. 如果 BLE 主机不答应使用 $\text{Connection Interval} < 10\text{ms}$ ，例如苹果手机就要求 $\text{Connection Interval} \geq 30\text{ms}$ ，那么我们以这个苹果的最小 $\text{Connection Interval}$ 计算得出 $Speed_{\text{出}} = 4000 \text{ B/s}$ ，不符合必须满足的三个条件中的第二个条件。说明我们不能通过串口连续不断的发送数据了，只能将 5000 字节拆分一部分一部分的发送。在这种情况下，为了满足第二个条件， $t_1 < 132\text{ms}$ ，换算出串口连续发送的字节 $\text{number} < 132 \text{ ms} * 11520 \text{ B/s} = 1520 \text{ 字节}$ ，将 $t_1 = 132\text{ms}$ 带入第一个条件可以计算出 $t_2 = 248\text{ms}$ ， $t_{\text{总}} \geq t_1 + t_2 = 380\text{ms}$ 。也就是用户每连续发送最多不超过 1520 字节，要延时最少 380ms，才能理论达到不丢包。当然考虑实际应用，比如说将 1520 降低为 1400，延时增大到 400ms 等都是不错的选择。

注：上述例子所说的 $n = 6$ 是一个参考值，实际值跟 BLE 主机有关，不同的手机型号、操作系统版本都可能导致 n 不等于 6，具体 BLE 主机请具体分析。

1.3.2 小数据量间隔发送

例子：

用户使用 115200 波特率，希望每隔 50ms 发送 50 个字节，BLE 主机的协议版本低于 BLE4.2，BLE 主机每个 connection event 最多可以发送 6 个 Link layer packet，那么需要什么样的参数？

现在开始代公式：

- $n = 6$
- $Speed_{\lambda} = 115200 / 10 = 11520 \text{ B/s}$
- $Speed_{\text{出}} = 6 * 20 / \text{Connection Interval} = 120 / \text{待定} \text{ B/s}$
- $t_1 = 50 / 11520 = 0.004\text{s}$
- $t_2 \leq 0.046\text{s}$
- $t_{\text{总}} = 0.05\text{s}$
- $\text{buffer} = 1000$

先检查能否让 $Speed_{\text{出}} > Speed_{\lambda}$ ，如果可以，就只需满足第三个条件就可以了。要让

$Speed_{出} > Speed_{入}$ ，通过基本不等式得出，只要 Connection Interval < 10ms 即可。这时候分两种情况讨论：

1. 如果 BLE 主机答应使用 Connection Interval < 10ms，那么当然是最好的，用户可以很方便的设置延时时间。

2. 如果 BLE 主机不答应使用 Connection Interval < 10ms，例如苹果手机就要求 Connection Interval $\geq 30ms$ ，也就是说我们无法让 $Speed_{出} > Speed_{入}$ 。那 $Speed_{出} < Speed_{入}$ 条件下又应该怎么考虑参数取值呢？判断满足第一个条件得出 $Speed_{出} \geq 922$ B/s，也即 Connection Interval ≤ 130 ms 就可以了，因为我们最终目的是每隔 50ms 发送，所以应该 Connection Interval $\leq 50ms$ ，剩余两个满足条件可以轻松符合。

注：上述例子所说的 $n=6$ 是一个参考值，实际值跟 BLE 主机有关，不同的手机型号、操作系统版本都可能导致 n 不等于 6，具体 BLE 主机请具体分析。

1.4 BLE 主机->MCU 透传框架以及理论公式



图 1.3 BLE 主机->MCU 透传框架

图解：BLE 主机（一般是手机）以 $Speed_{入}$ 的速度发送数据给 BLE 模块，BLE 模块以 $Speed_{出}$ 的速度将数据转发给 MCU。 t_1 表示 BLE 主机发送数据的总时间， $t_1 + t_2$ 表示 BLE 模块转发所有数据的总时间，如果 $Speed_{入} > Speed_{出}$ 的时候，BLE 模块有一定的缓冲数据能力，但是 BLE 模块需要花更多的时间 t_2 将缓冲区的数据转发到 MCU。

结合 BLE 连接传输原理可得以下理论公式：

n ：代表主机每个 connection event 发送 Link Layer Packet 的个数；

$Speed_{入}$ ：代表 BLE 主机往 BLE 模块发送数据的速度，单位为 B/s，如果 BLE 主机是 BLE4.0/4.1/4.2 版本，则 att_payload = 20，如果 BLE 主机是 BLE4.2(支持长包)/5 版本，则 att_payload = 244，Connection Interval 单位为 s；

$$Speed_{入} = \frac{n \times att_payload}{Connection\ Interval}$$

$Speed_{出}$ ：代表模块往用户 MCU 转发数据的速度，单位为 B/s；

$$Speed_{出} = \frac{baudrate}{10}$$

t_1 ：代表 BLE 主机发送数据总时间，单位为 s；

t_2 ：代表 BLE 模块转发剩余在缓冲区内容到用户 MCU 所需时间，单位为 s，如果 $Speed_{出} > Speed_{入}$ 则该值为 0；

$t_{总}$ ：代表 BLE 主机发送数据的间隔，即一次发送开始到下一次发送的开始，单位为 s；

buffer_num：BLE 模块 BLE 侧缓冲区有效个数，保守 10 个；

无论用户如何配置上述条件，理论不丢包必须满足以下四个条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} n \leq \text{buffer_num} \\ \text{Speed}_{\text{出}} \times (t_1 + t_2) \geq \text{Speed}_{\text{入}} \times t_1 \\ (\text{Speed}_{\text{入}} - \text{Speed}_{\text{出}}) \times t_1 \leq \text{buffer_num} \times \text{att_payload} \\ t_{\text{总}} \geq t_1 + t_2 \end{array} \right.$$

一般市面上的手机作为主机，每个连接间隔都发不到 10 个 link layer packet，所以这里提供的 10 个缓冲区有效个数已经完全足够了，有更高速率要求请咨询我司 FAE。

下面将会举例说明如何使用这些公式。

1.4.1 大数据量连续发送

例子：

用户 MCU 使用 115200 波特率，BLE 主机有 5000 字节数据需要发送且 BLE 主机的协议版本低于 BLE4.2，BLE 主机每个 connection event 最多可以发送 6 个 Link layer packet，那么需要什么样的参数才能在理论不丢包情况下达到最快透传速度？

现在开始代公式：

- $n = 6$
- $\text{Speed}_{\text{入}} = 6 * 20 / \text{Connection Interval} = 120 / \text{待定} \text{ B/s}$
- $\text{Speed}_{\text{出}} = 115200 / 10 = 11520 \text{ B/s}$
- $t_1 = 5000 / \text{Speed}_{\text{入}} = 5000 * \text{待定} / 120 \text{ s}$
- $t_2 = \text{待定}$
- $t_{\text{总}} \geq \text{待定}$

先检查能否让 $\text{Speed}_{\text{出}} > \text{Speed}_{\text{入}}$ 。要使 $\text{Speed}_{\text{出}} > \text{Speed}_{\text{入}}$ 通过基本不等式得出 $\text{Connection Interval} > 11\text{ms}$ 。假设取 15ms，得 $\text{Speed}_{\text{入}} = 8000\text{B/s}$ ， $t_1 = 0.625\text{s}$ ， $t_2 = 0$ ， $t_{\text{总}} = 0.625\text{s}$ 。

1.4.2 小数据量间隔发送

例子：

用户使用 115200 波特率，希望 BLE 主机每隔 50ms 发送 50 个字节，BLE 主机的协议版本低于 BLE4.2，BLE 主机每个 connection event 最多可以发送 6 个 Link layer packet，那么需要什么样的参数？

在开始代公式：

- $n = 6$
- $\text{Speed}_{\text{入}} = 6 * 20 / \text{Connection Interval} = 120 / \text{待定} \text{ B/s}$
- $\text{Speed}_{\text{出}} = 115200 / 10 = 11520 \text{ B/s}$
- $t_1 = 50 / \text{Speed}_{\text{入}} = 50 * \text{待定} / 120 \text{ s}$
- $t_2 = \text{待定}$
- $t_{\text{总}} \geq \text{待定}$

先检查能否让 $\text{Speed}_{\text{出}} > \text{Speed}_{\text{入}}$ 。要使 $\text{Speed}_{\text{出}} > \text{Speed}_{\text{入}}$ 通过基本不等式得出 $\text{Connection Interval} > 11\text{ms}$ 。由于目标是每 50ms 发送 50 字节，每个连接间隔最多又可以发 120 字节数据（大于 50 字节），所以可选的理论连接间隔 $11\text{ms} < \text{connection interval} < 50\text{ms}$ ，在此区间随便选一个数值，代入必须满足的 4 条公式都轻易满足。

2. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远电子股份有限公司（下称“致远电子”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远电子有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远电子官方网站或者与致远电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！