



HPM 16 位 ADC+ENET 开发案例

先楫半导体《HPM 16位ADC+ENET开发案例》

目录

1. 简介	4
2. 整体方案	5
3. ADC16 采样功能	7
3.1 PWM 触发 ADC 采样及 DMA 链式传输	7
3.2 DMA 链式传输	7
4. LWIP TCP 发送功能	9
5. 测试验证	10
6. 总结	13

版本：

日期	版本号	说明
2023-10-20	1.0	初版

1. 简介

HPM6000 系列 MCU 是来自上海先楫半导体科技有限公司的高性能实时 RISC-V 微控制器，为工业自动化及边缘计算应用提供了极大的算力、高效的控制能力。上海先楫半导体目前已经发布了如 HPM6700/6400、HPM6300、HPM6200 等多个系列的高性能微控制器产品。

在 HPM6700/6400、6300 系列微控制器上均支持 16 位 ADC 采样和百兆以太网外设。HPM6300 系列支持 3 个 16 位的 ADC 转换器，可以转换来自外部引脚以及芯片内部的模拟信号。ADC 的转换精度设置为 16 位时，最大采样率 2MSPS，ADC 的转换精度设置为 12 位时，最大采样率 4MSPS。ADC 支持读取转换模式、周期转换模式、序列转换模式和抢占转换模式。

本文以 HPM6300 开发板为例介绍以 2MSPS 采样率进行 16 位 ADC 采样并将采样数据通过 ENET LWIP TCP 的方式发送到上位机的应用，ADC 采样使用抢占转换模式、PWM 触发的方式，ENET LWIP TCP 每次发送 1024 个 16 位采样数据。

该方案通过 PWM 特定时刻触发 ADC 采样和触发 HDMA 转换 ADC 数据，并依靠 HDMA 链式模式，做成循环链表，考虑到中断响应占用 CPU 资源，在链式任务中增加状态标识，从而不启用中断，以此达到 ADC 采样及数据转换全自动完成，无需 CPU 参与，且将转换后的数据放到 ILM/DLM，CPU 零等待访问。最终达到性能最优。

2. 整体方案

图 2-1 所示为 ADC16 采样和 LWIP TCP 传输应用的整体框架图。主要包括 ADC 采样和 LWIP TCP 发送两个部分。

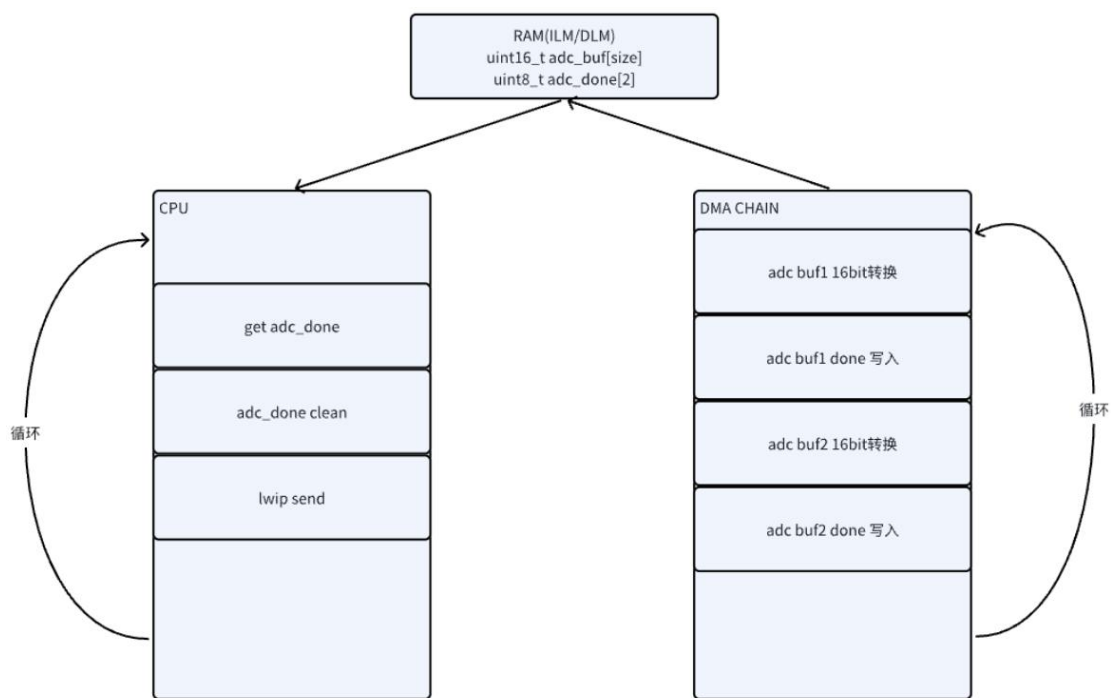


图 2-1 ADC16 采样和 LWIP TCP 传输整体框架

ADC16 的采样数据由于包含采样通道等信息，实际长度是 32 位。为了减少数据传输量并且便于后续的应用，只取其中的 16 位有效数据进行传输。采用乒乓 buff 的方式存储 ADC16 的采样数据，adc buff 长度是 LWIP TCP 发送数据长度的 2 倍即 2048 个采样数据。DMA 链式传输时，首先将 ADC16 数据存在前 1024 个数据，此时 adc_done[0]置 1，此时触发 LWIP TCP 发送前半部分数据并将 adc_done[0]置 0；DMA 转换的结果继续存储

在 adc buff 的后 1024 个数据，当 adc buff 存满，adc_done[1]置 1，此时触发 LWIP TCP 发送后半部分数据并将 adc_done[1]置 0；循环此过程即可完成 ADC16 的 2MSPS 采样并通过 LWIP TCP 发送到上位机的功能。

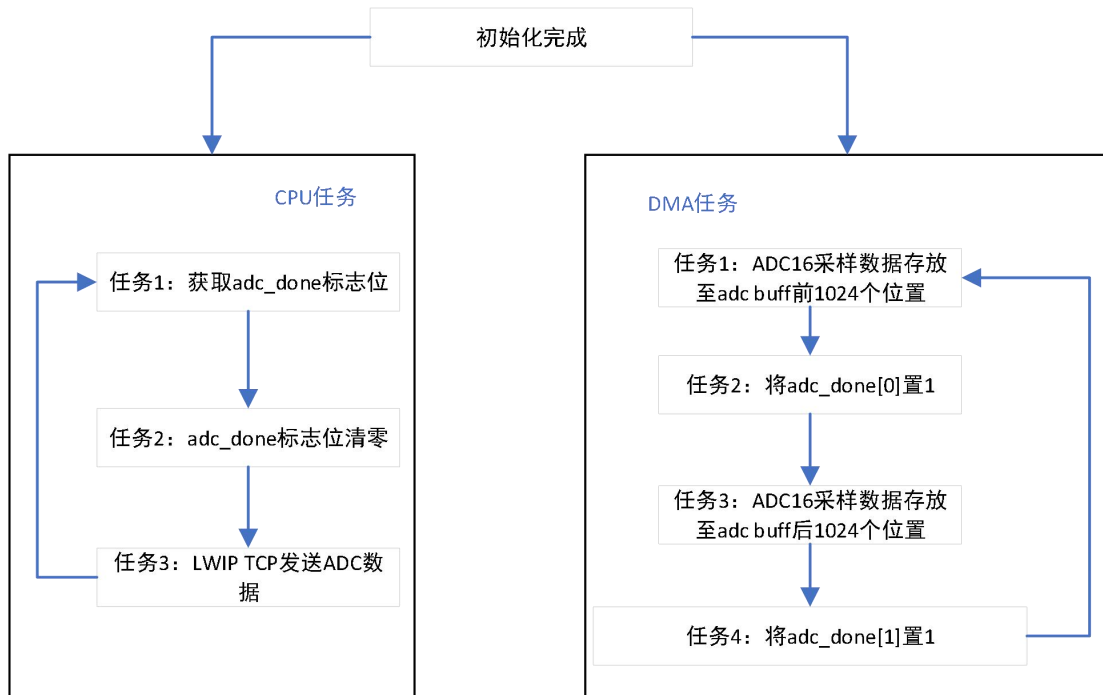


图 2-2 CPU 任务与 DMA 任务并行运行

图 2-2 为 CPU 任务与 DMA 任务并行运行图，CPU 负责检查 adc_done 的状态以及发送采样数据，DMA 进行链式任务的执行。ADC 的采样和数据转换及状态标识均自主完成，无需 CPU 参与。adc buff 和 adc_done 均放在 fast RAM 中的 ILM/DLM 区，CPU 可零等待访问。

3. ADC16 采样功能

3.1 PWM 触发 ADC 采样及 DMA 链式传输

ADC16 的采样使用 2MSPS 的 PWM 进行触发。在 PWM 的计数器为 1 的时候触发采样转换，在 PWM 的计数器为 reload - 2 时开始触发 DMA 数据转换，将 32 位采样数据转换为 16 位。图 3-1 为 PWM 触发 ADC 采样及 DMA 传输的流程。

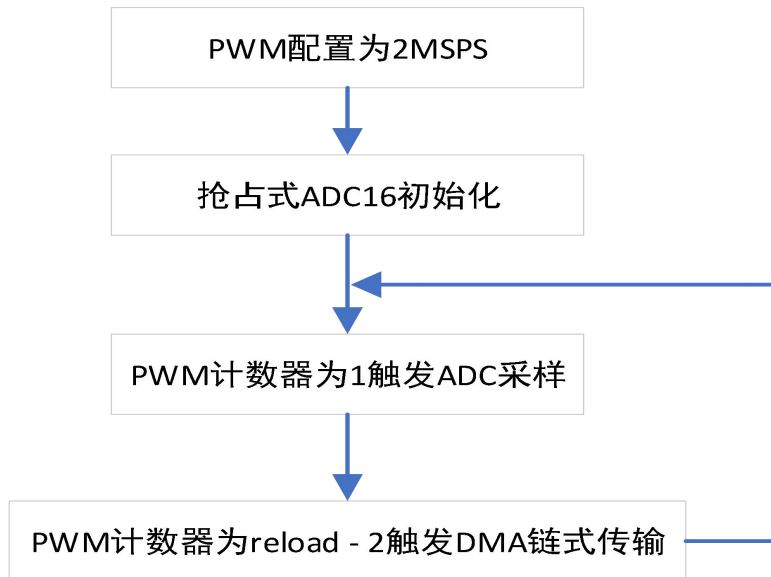


图 3-1 PWM 触发 ADC16 采样 流程

3.2 DMA 链式传输

HPM6000 系列的 DMA 支持链式连接多个任务，该方案利用这一特点，将 ADC 数据转换和状态标识分为四个子任务，并做成循环链表，DMA 自动循环完成各个任务。这种方案不使用 CPU 的中断，降低 CPU 的负荷。DMA 采样硬件握手的方式，在 PWM 的计数器为 reload-2 时刻触发硬件握手，此时将 32 位采样数据转成 16 位。

四个任务分别为 ADC16 采样数据存放至 adc buff 前 1024 个位置、adc_done[0]置 1、ADC16 采样数据存放至 adc buff 后 1024 个位置、adc_done[1]置 1。各任务通过 adc_descriptors1 数组连接起来，顺序循环执行。



图 3-2 DMA 链式执行任务

由于采样数据包含了一些采样通道等信息，ADC16 采样数据实际是 32bit 的。为了减少传输的数据量，在 ADC16 采样数据存放至 adc buff 的任务中，DMA 中取数据时只取采样数据的低 16bit 存放至 adc buff。这个功能可以通过配置 DMA 源地址和目的地址的数据宽度为 16bit 来实现。

将标志位 adc_done 置 1 的任务目的是通知以太网发送任务当前的 buff 可以发送出去，执行以太网发送任务时，会将对应的 adc_done 置 0。

4. LWIP TCP 发送功能

ADC16 的采样数据每达到 1024 个则通过 LWIP TCP 发送到上位机，以太网发送采用 polling 的方式，在发送任务中轮询查询 adc_done 的状态，根据 adc_done 的值确定下一步执行的任务。ADC 采样数据是 16bit 的，2MSPS 的采样率，发送数据需要以太网的速率达 4MBytes/s。使用百兆以太网进行传输 ADC 采样数据。

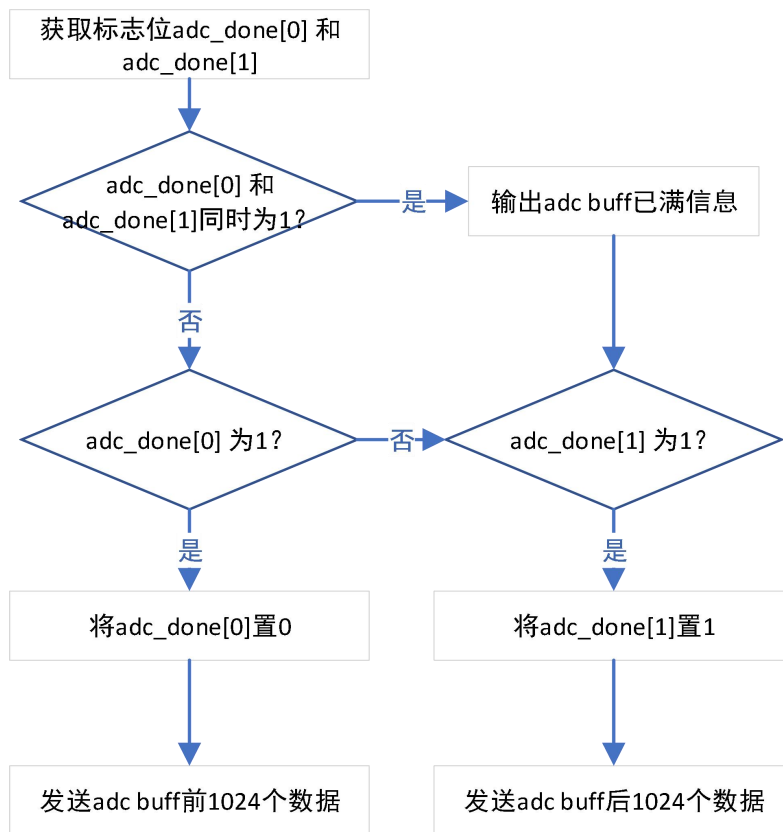


图 4-1 LWIP TCP 发送 ADC 数据流程

图 4-1 是通过 LWIP TCP 发送 ADC 数据的流程图，tcp_poll_handle 中函数轮询 adc_done 的状态，adc_done 的值为 1 则表示 ADC 数据已经更新，此时可以发送，adc_done 的值为 0 表示数据不需要发送。如果 adc_done[0]、adc_done[1]同时为 1，

则表示以太网速率不够，有未发送的数据，此时会通过串口打印错误。

根据 adc_done[0]、adc_done[1]的状态确定发送 adc buff 的前 1024 个数据还是后 1024 个数据，在执行发送任务前将对应的 adc_done 标志位置 0。

5. 测试验证

将上文实现的 ADC16 采样通过 LWIP TCP 的方式发送到上位机的方案在 HPM6300EVK 上进行验证。

a.验证 ADC 采样数据的准确性，本例使用 ADC 的输入为 0V 以及 3.3V 进行测试验证。

验证结果如图 5-1 和图 5-2 所示。

```
[2023-10-25 18:12:59.744]# RECV HEX 10828B FROM SERVER>
00 00 00 00 00 00 88 00 00 00 61 00 00 00 70 00 00 00 48 00 00 00 A6 00 12 00 DA 00 0E 00 00 00 00 00 00 00 00 F4 01 00 00 00 00 66 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 1B 00 27 00 1B 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 2A 00 00 00 40 03 21 00 9D 04 00 00 F2 04 00 00 00 84 00 00 00 34 00 1B 00 00 00 77 03 D7 00 00 00 00 00 00 45 00 1F 00 00 00 00 00 00
1A 00 28 01 04 00 F6 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 2C 00 00 00 00 00 00 00 9D 00 00 00 00 00 00 1D 00 00 00 00 00 24 03 19 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0B 00 7C 00 0F 00 46 00
00 00 00 00 05 05 00 00 00 00 00 05 00 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 02 00 F2 00 0F 00 00 00 00 00 00 00 00 00 3F 00 00 00 00 00 2E 01
25 00 00 00 A7 00 00 00 00 00 00 49 00 00 00 7B 00 7C 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
F7 04 00 00 07 00 00 00 00 00 00 00 21 00 00 00 00 00 1E 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 24 00 00 00 00 00 67 00 16 00 3E 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 49 00 0F 00 00 00 86 00 00 00 00 00 00 00 00 00 53 00 00 00 76 00 03 00 53 00 FA 04 35 00 00 00 00
03 00 5C 01 00 00 98 00 00 00 00 00 28 00 E4 01 48 00 12 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
2B 00 00 00 00 00 E2 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 73 00 59 00 00 00 0C 02 14 00 D8 00 00 00 45 00 75 00 2C 00 A7 00 39 00 3D 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 D2 01 3C 00 14 00 00 00 16 00 72 00 00 00 0A 00 53 00 2B 00 16 00 00 00 10 00 0F 01 12 00 6A 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 1B 00 2B 00 00 00 1F 00 2B 00 00 00 00 00 06 00 0D 00 00 00 38 00 00 00 00 00 0A 00 00 00 00 00 00 00 17 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 34 00 19 00 00 00 06 00 01 00 00 00 00 00 21 00 00 00 00 04 00 00 00 C2 00 00 00 9C 02 00 00 00 00 30 01 57 00 17 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 13 00 00 00 2C 00 2E 01 24 00 00 00 00 00 3D 00 00 00 00 00 0A 00 00 00 00 06 00 D9 00 00 00 7D 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 I5 01 0A 00 8C 00 00 00 00 00 00 00 00 57 00 00 00 00 00 00 00 00 00 1D 00 00 00 02 00 05 01 7D 00 00 00 26 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 3D 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 26 01 00 00 3F 01 00 00 00 00 28 00 00 00 22 00 00 2A 00 00 00 00 26 00 32 00 00 00 7C 00 2C 00 43 00 00 00 00 13 00 00 00 00 I2 00 13 00
50 01 00 00 17 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 31 00 0B 00 A2 00 A9 00 7C 00 00 00 0C 00 00 00 00 00 00 00 2C 00 0C 00 53 01 00 00 00 00 3E 00 65 05 00 00 31 02 27 00 09 00
09 00 14 00 13 00 57 02 1C 00 6E 00 02 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 3C 00 F0 04 23 00 00 00 00 00 00 56 01 02 00 9D 00 00 00 00 00 00 00 19 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 91 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 9F 04 00 00 12 00 E5 00 00 00 0A 00 00 00 00 00 00 00 01 04 00 00 22 05 00 00 00 00 00 0F 00 38 00 00 00 00 00 A2 03 28 00 00 00 45 00 00 00
18 01 00 00 00 00 00 00 3D 00 00 00 00 00 25 00 F4 00 1B 00 00 00 32 00 00 00 5E 00 00 00 05 00 4B 01 30 00 00 87 00 00 00 00 00 4F 00 00 00 00 00 1A 00 10 00 80 01 00 00 00 00
0C 00 21 00 00 00 00 0F 00 39 05 00 00 00 00 00 05 01 9A 00 18 00 00 00 91 00 00 00 00 06 00 00 00 35 01 00 00 E1 00 00 00 CC 00 00 00 3F 00 00 00 89 00 10 00 00 00 00 00
5C 02 00 00 0C 00 3A 01 00 00 00 00 33 00 4E 00 3D 00 19 02 34 00 45 00 00 00 00 00 13 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

图 5-1 ADC 输入为 0V 时的采样数据

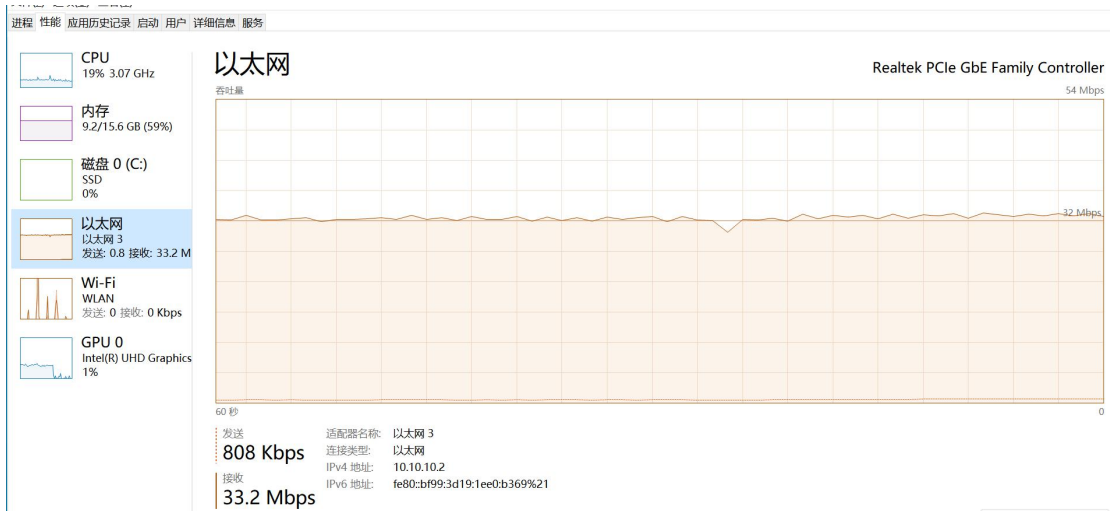


图 5-3 以太网传输速率检测

图 5-4 为上位机接收数据监测的信息，通过对接收的数据分析，可以发现收的数据与发送的固定数据一致，没有丢数据的现象。

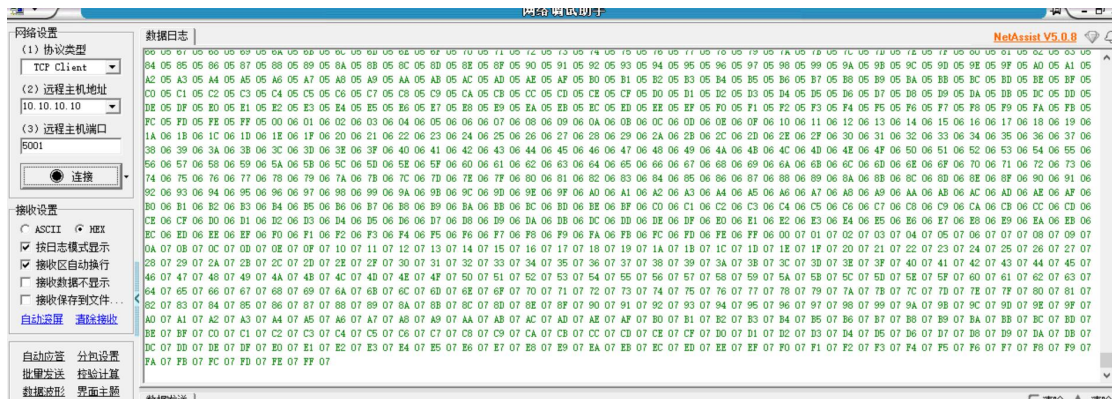


图 5-4 上位机接收数据监测

图 5-5 为串口日志监测信息，当出现网络无法及时传输数据时，会打印 adc dual buff full up!的信息。从串口日志信息看，在以太网初始化完成并连接成功后，没有出现 adc dual buff full up!的信息，表明以太网能够将 ADC 的数据及时传输至上位机，没有数据丢失情况。



图 5-5 串口日志监测

6.总结

本文主要介绍了 2MSPS 速率的 ADC16 采样并通过 LWIP TCP 的方式发送至上位机的方案。ADC16 采样使用 PWM 触发的方式，采样结果在 DMA 链式传输任务中进行读取。在 HPM6300EVK 上进行测试验证，验证结果表明该方案是可行的。

该方案的优点主要体现在以下几个方面：

1. 将 32bit 的 ADC16 数据转成 16bit，减小了传输的数据量；
2. 使用 DMA 链式传输，自动完成 ADC 采样和 32 为到 16 位的转换过程，不需要 CPU 参与；
3. 没有使用中断，降低 CPU 的负荷；
4. ADC 采样数据保存在 ILM/DLM 中，CPU 零等待访问；
5. 以太网实际的传输速率是 4MBytes/s，运行稳定，留有较大的裕度。