基于嵌入式FPGA的CSNS网络数据传输方案及比较

单位: 中科院高能物理研究所

姓 名: 王修库

研究方向：谱仪数据获取

日期: 2012/08/15

CSNS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

Outline

- 一、选题立项的来源与背景
- 二、课题的意义
- 三、课题技术路线及主要技术特征
- 四、研究的主要内容---高速数据读取和传输
- 五、网络传输的四种方案
- 六、接口逻辑：自定义用户IP核开发
- 七、如何提高性能指标？

一、选题立项的来源与背景---中国散裂中子源

来源：中国散裂中子源网络传输系统预研制的需要

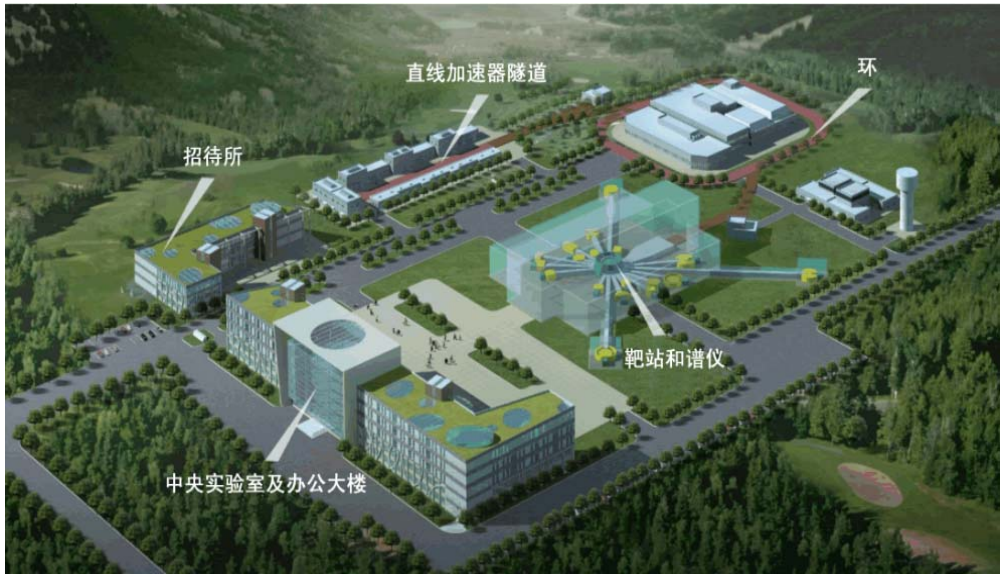


图1.1　CSNS效果图

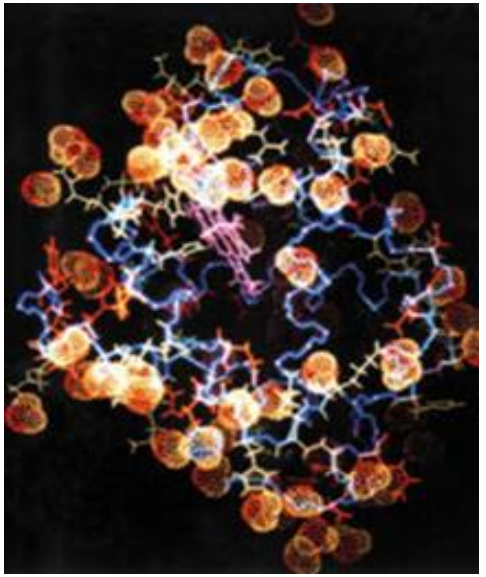


图1.2 利用中子散射观察到的肌红蛋白的结构

散裂中子源对网络传输的要求：

1、体积小，

2、数据传输速度快

3、不能有太多粗大的模拟信号线缆

散裂中子源将于2017年建成，目前处于预研制阶段

一、选题立项的来源与背景---目前国内外研究现状

国内高能物理实验是基于VME架构的，但是不能满足中国散裂中子源数据传输的需求

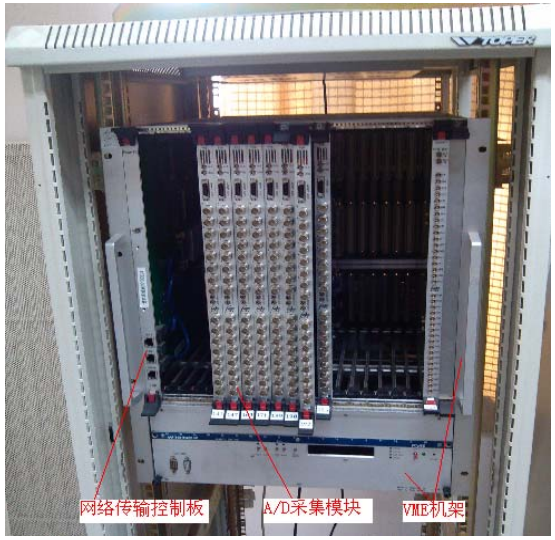


图1.3 基于VME架构的数据采集及传输系统

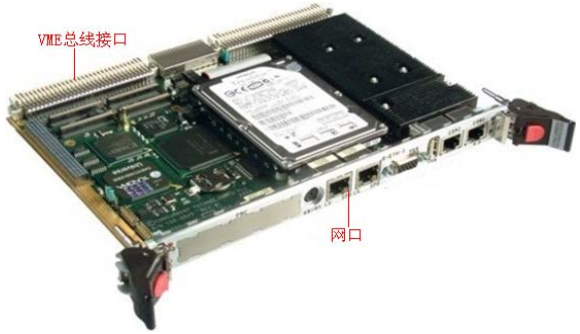


图1.4 基于VME架构数据传输传输模块

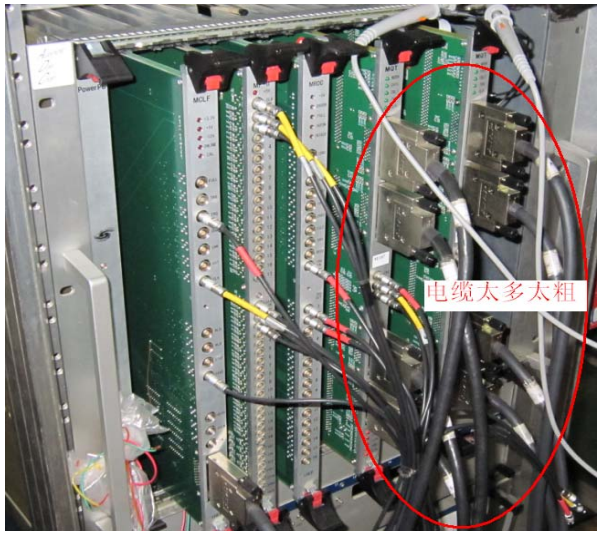


图1.5 基于VME架构的数据采集及传输系统

VME架构不适合于散裂中子源的原因:

1、体积大

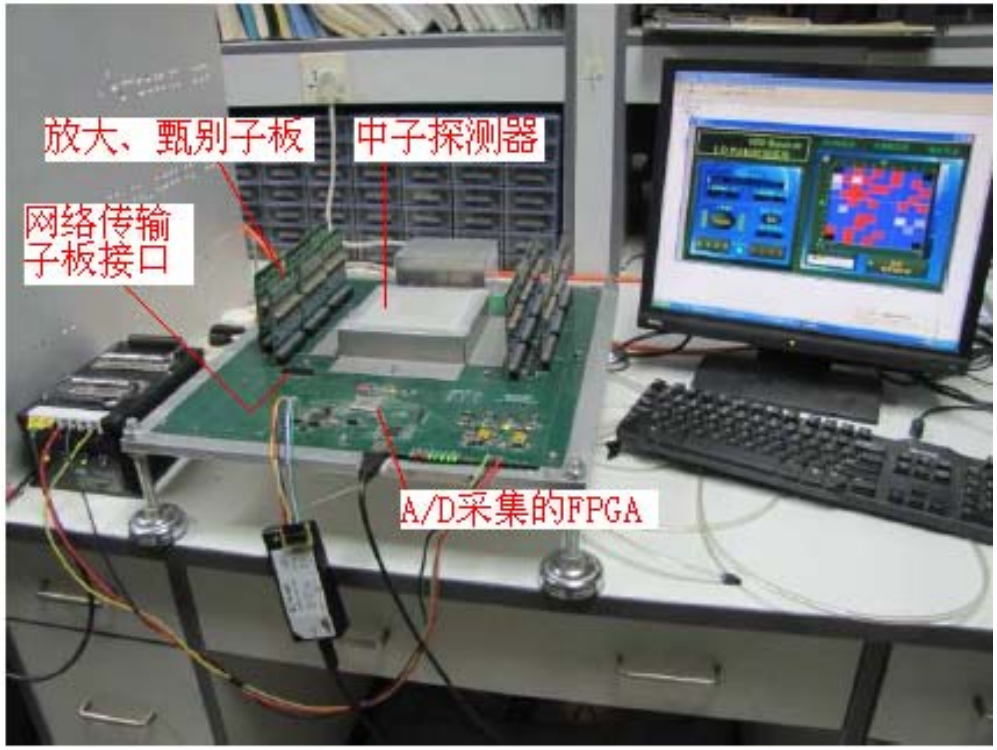
2、传输速度受背板限制

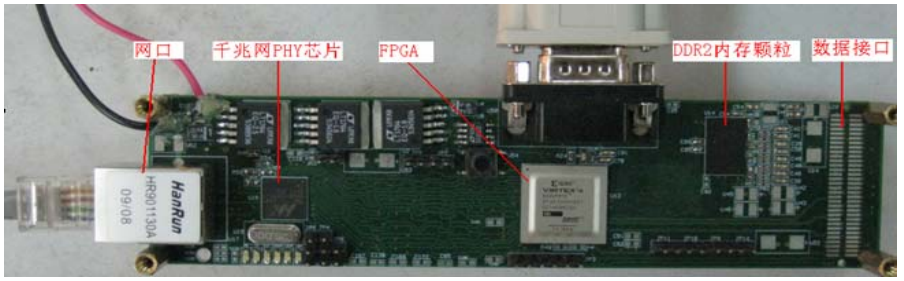
3、模拟信号线缆多

一、选题立项的来源与背景---方案的具体应用

1、**GEM（Gas Electron Multiplier）**气体电子倍增探测器及其信号采集电路可用于探测中子的通量。

2、加速器电源信号的采集网络传输和控制





二、课题的意义

1、通用性：基于SOPC的网络传输系统的研制其意义不仅仅可以用在中国散裂中子源上，也可以作为技术积累用在以后其他可以用在很多项目中，例如正在建设的北方光源。

2、国产化，减少对国外技术的依赖，从而降低成本。（**VME**机架十几万，网络传输板**3~5**万）

三、课题技术路线---为什么FPGA SOPC方案？

1、单片机或ARM具有微型化、低成本的特点，但数据带宽不满足CSNS项目的需求，ARM实际测试最大网速只有20Mb/s

2、工控计算机数据处理能力强，有网络接口，但是体积过大，成本高，和FPGA采集板没有高速接口

3、为什么不是直接对MAC层写verilog代码实现高速传输？

因为数据如果丢包则不可靠

三、课题技术路线---方案选型：

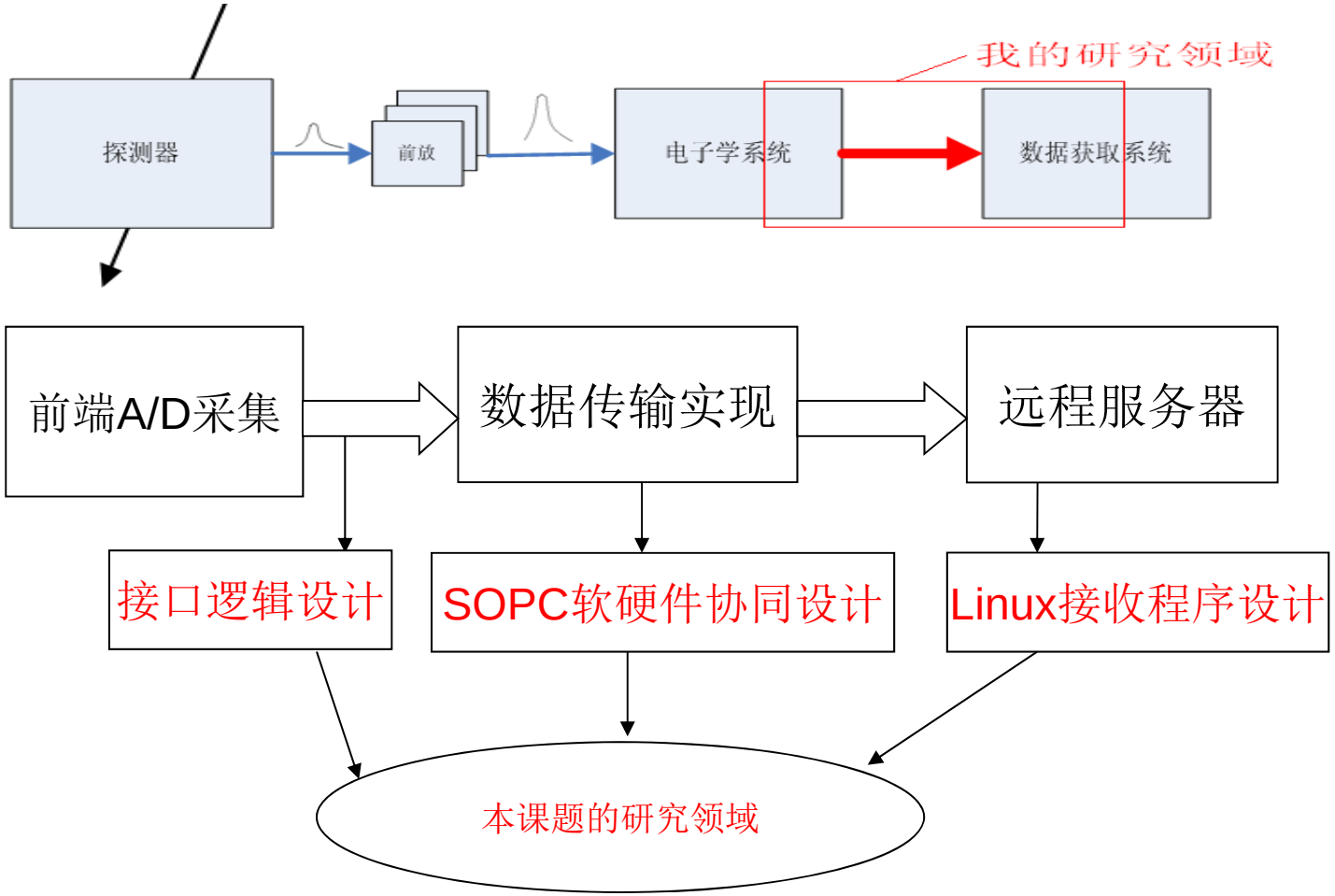
1、慢控制信号这些数据量不大但要求高可靠性的数据传输需要走TCP/IP协议

2、 数据量不大的A/D采集（十兆或百兆）但是可靠性高的场合，可以用TCP/IP协议

3、对数据量很大的A/D采集（千兆级）但是数据允许丢包的，可以用硬件语言逻辑实现，不用CPU

4、即要求有可靠慢控数据又要求千兆A/D数据传输，可以把FPGA嵌入式设计和FPGA逻辑设计结合起来

四、研究的主要内容---高速数据读取和传输



五、网络传输的四种方案

方案1：在PowerPC硬核上移植嵌入式linux

◆ 研究思想：分层设计思想（每一层相互独立，减少了耦合性和复杂度）

应用层： Linux 网络编程，C语言编程

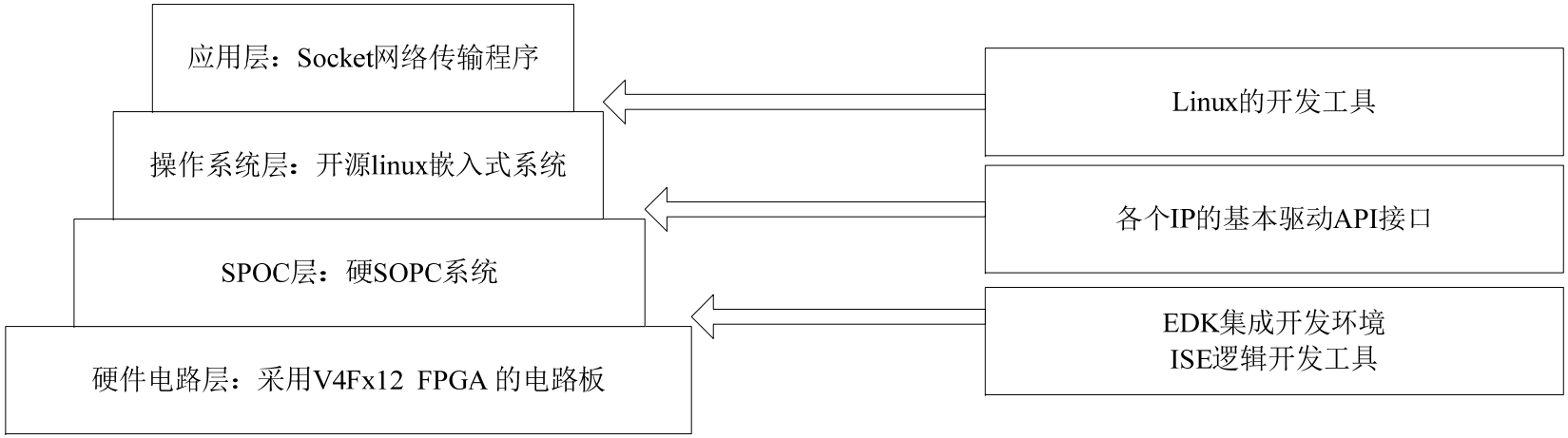
操作系统层： 嵌入式Linux系统裁剪定制

驱动层： 板级支持包的生成、对寄存器的读写

SOPC层：由内存控制器、网络控制器、时钟、总线、接口逻辑IP核构成的系统

硬件层： FPGA、DDR2内存、千兆网、串口、时钟、接口电路（电子学组画的板子）

方案1---总体架构及技术特征



主要技术特征：

1、FPGA的SOPC设计及逻辑设计
2、嵌入式Linux操作系统的移植
3、Linux网络编程

方案1--- SOPC的构建

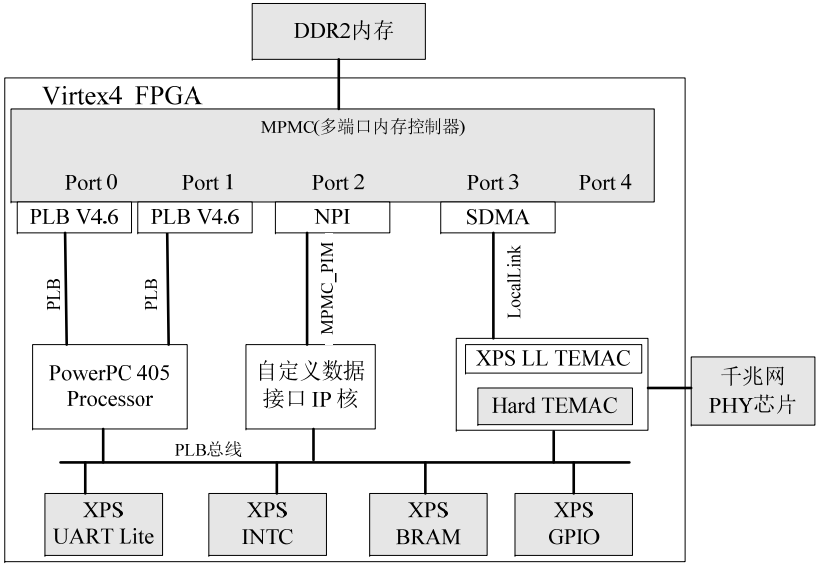


图4.1　SOPC内部各个控制器的互联示意图

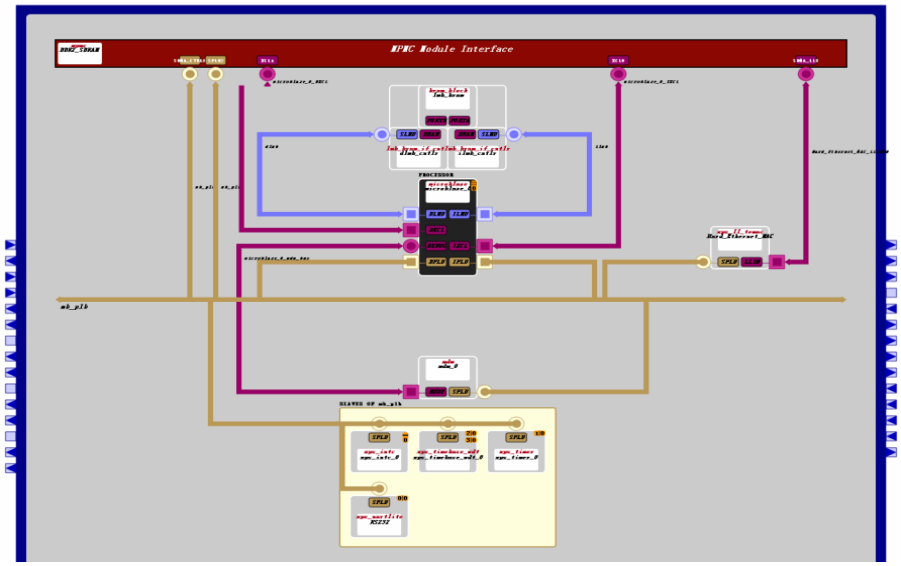


图4.2　SOPC内部各个控制器的互联实际图

FPGA片内固件的构建：

1、A/D数据经NPI接口快速到内存，不必经过**PowerPC**中转，效率高

2、DMA把内存数据传到网络PHY，不必占用PowerPC

3、PowerPC做一些控制和协议处理

方案1--操作系统的裁剪及移植

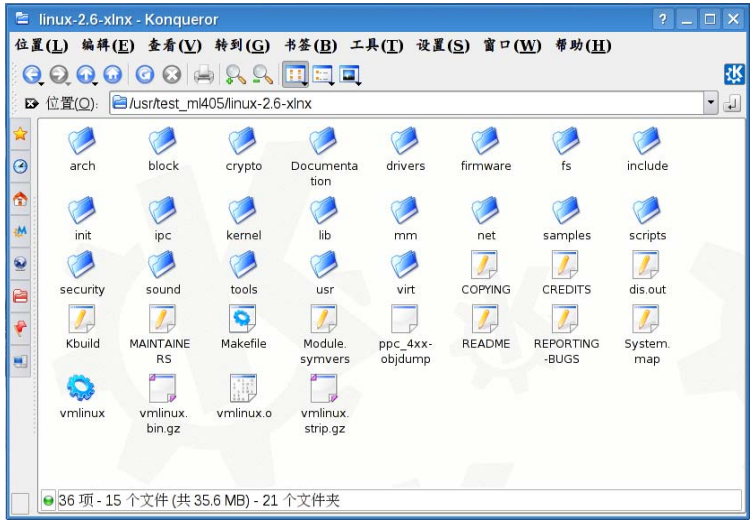


图4.3 开源Linux内核源码文件

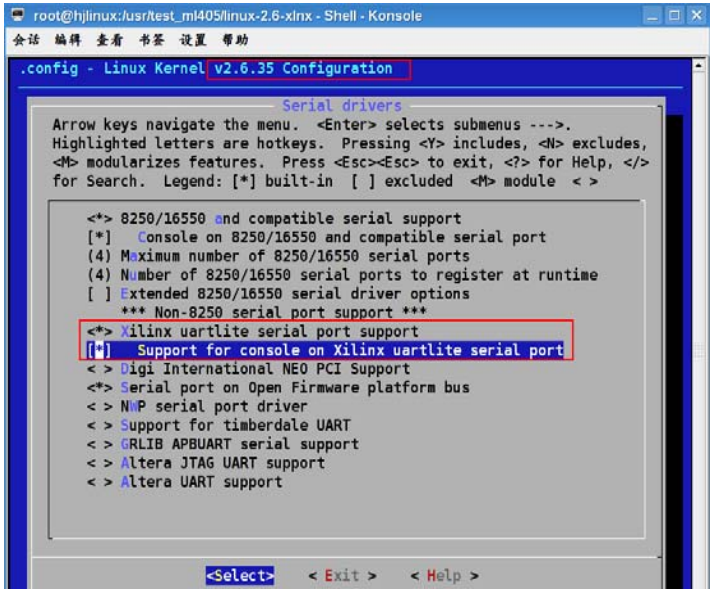


图4.4 uartlite驱动的选择

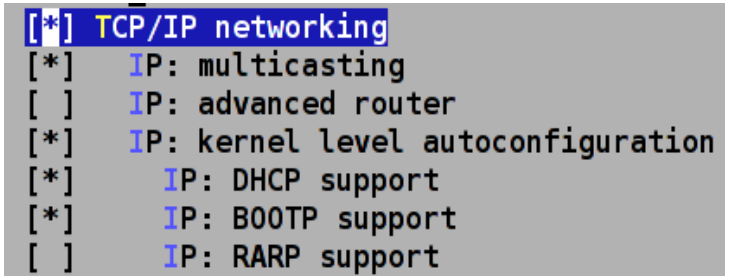


图4.5 配置TCP/IP选项

方案1试验结果---操作系统在FPGA上的移植

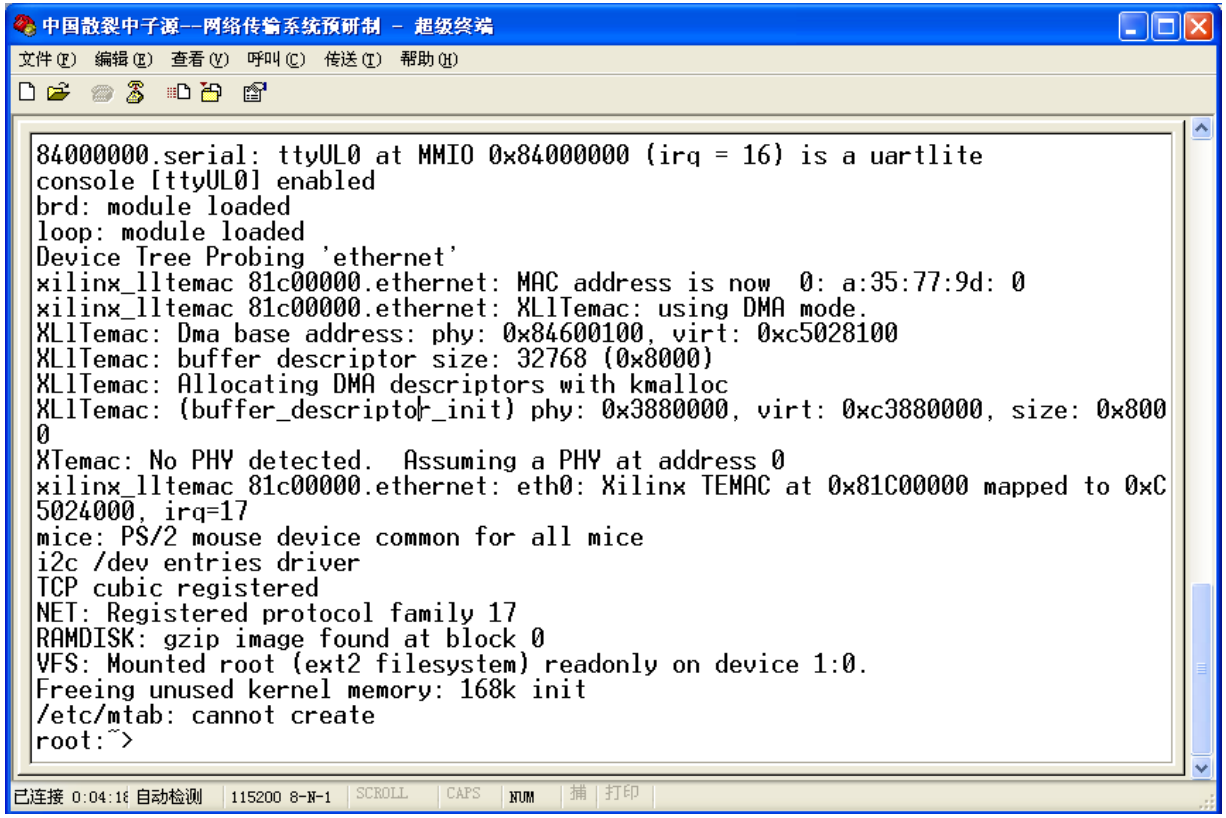


图 5.1 操作系统在FPGA上运行

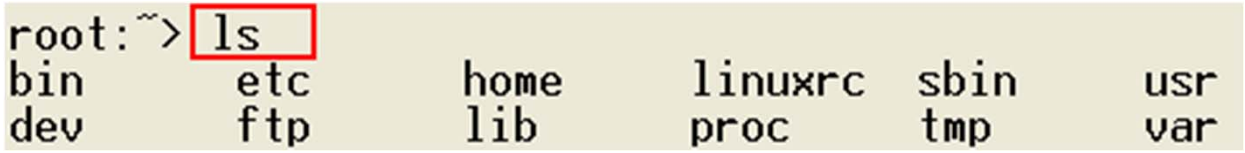


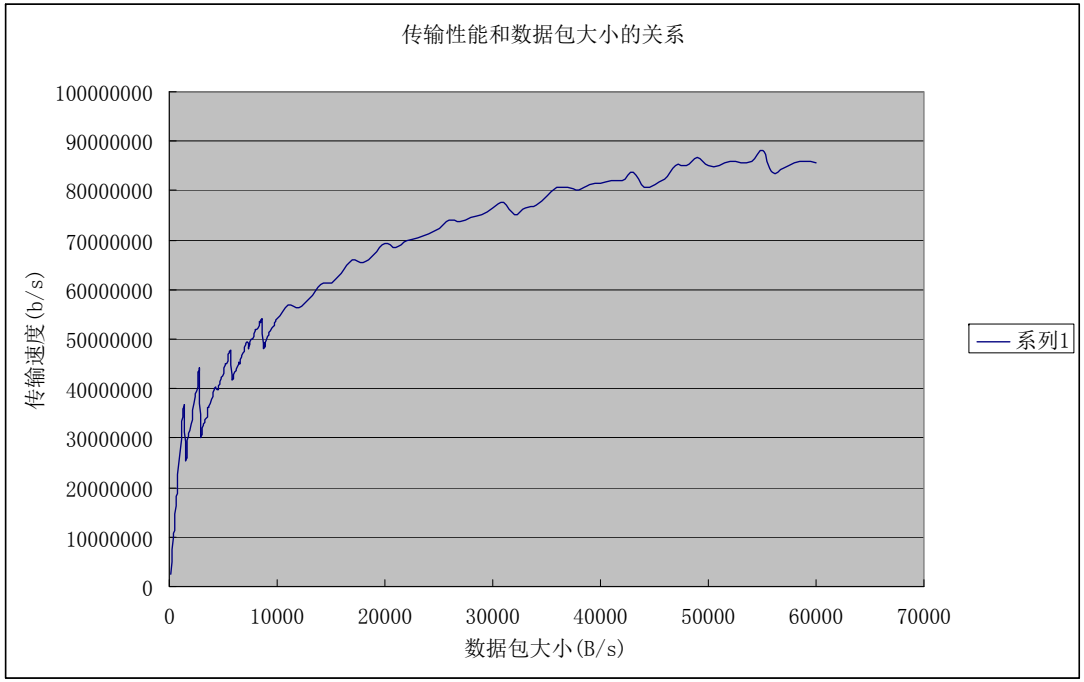
图 5.2 运行后的Linux文件系统

方案1试验结果---性能测试

```
root:/tmp> ./net-for-unknown-protocol-server  -s -p23456 --start 100 --end 10000
 --step 100
Waiting for accepting connection from client!
waiting send thread ...
Send --> Package:100 CPU:99.396378 Time:9.629024 Bytes:3096800 Speed:2572887.968
708
waiting send thread ...
Send --> Package:200 CPU:100.000000 Time:9.857434 Bytes:6269600 Speed:5088220.72
7625
waiting send thread ...
Send --> Package:300 CPU:100.000000 Time:9.858201 Bytes:9284100 Speed:7534112.96
8482
waiting send thread ...
Send --> Package:400 CPU:100.000000 Time:9.857793 Bytes:12242000 Speed:9934880.9
61692
waiting send thread ...
Send --> Package:500 CPU:100.000000 Time:9.858723 Bytes:14988000 Speed:12162224.
255616
```

图5.3　基于Linux Socket的网络性能测试程序运行结果

方案1试验结果---数据发包大小和网速之间的关系



在一定的范围内，每次发送的数据包越大，则网络传输的速度就会相应的变大，传输速度不会一直上升，存在一个极限值

方案2：在PowerPC上移植Lwip协议栈

- LWIP: 即Light Weight Internet Protocol的缩写，是开源的轻量级IP协议栈

  有两种模式

- (1) raw模式

  这种模式Lwip不需要运行在操作系统之上，就直接运行在PowerPC上

  优点:是其网络传输性能是socket的好几倍，

  缺点:是没有操作系统的支持，不能进行复杂的多线程编程。

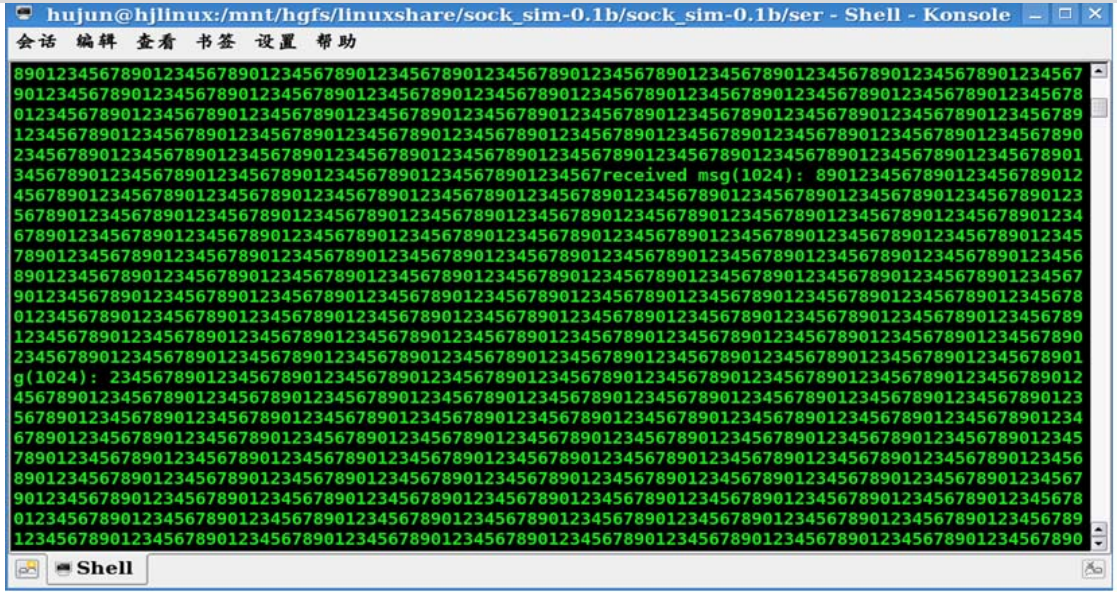
- (2) socket的模式

  这种需要模式下Lwip需要运行在Xilinx 公司自己的微型操作系统Xilkernel内核之上

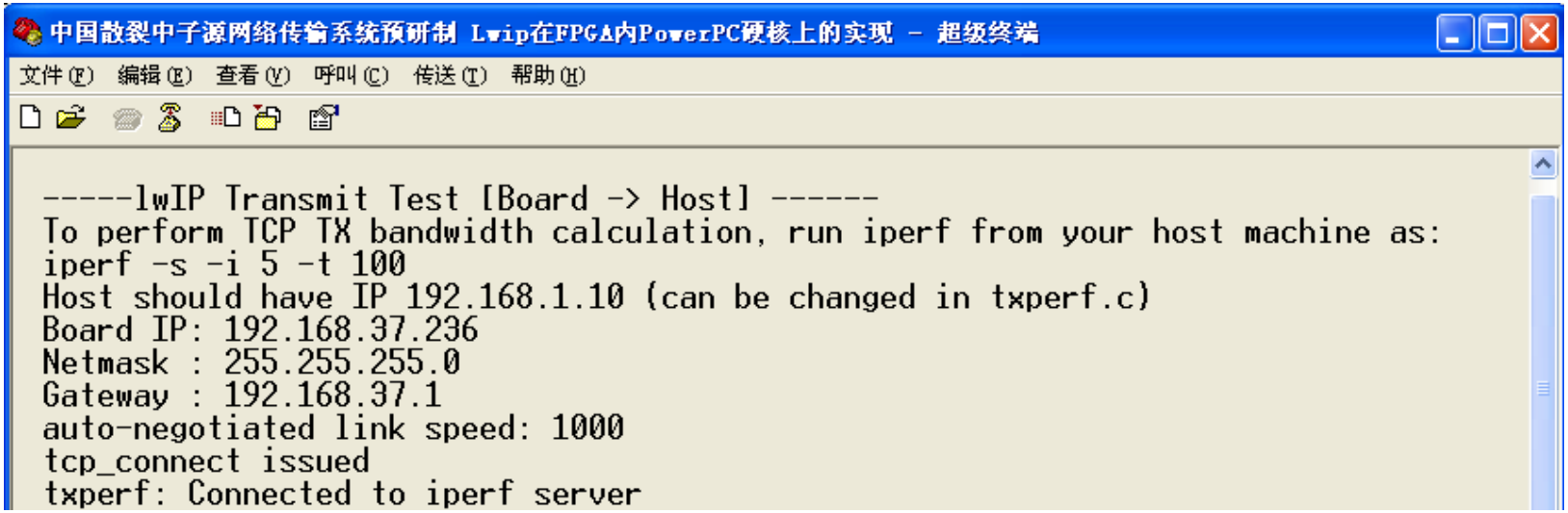
  优点:是有操作系统可以多线程编程

  缺点:是网络传输性能受到很大的限制；

方案2：试验结果



网络传输程序运行结果



方案3： 在Microblaze软核上移植PetaLinux的方案

Microblaze是Xilinx公司自己开发的软核CPU

优点：成本低（PowerPC核需要IBM公司的授权，成本很高，对于一些性能要求不是很高的场合 ）

缺点：性能不如PowerPC

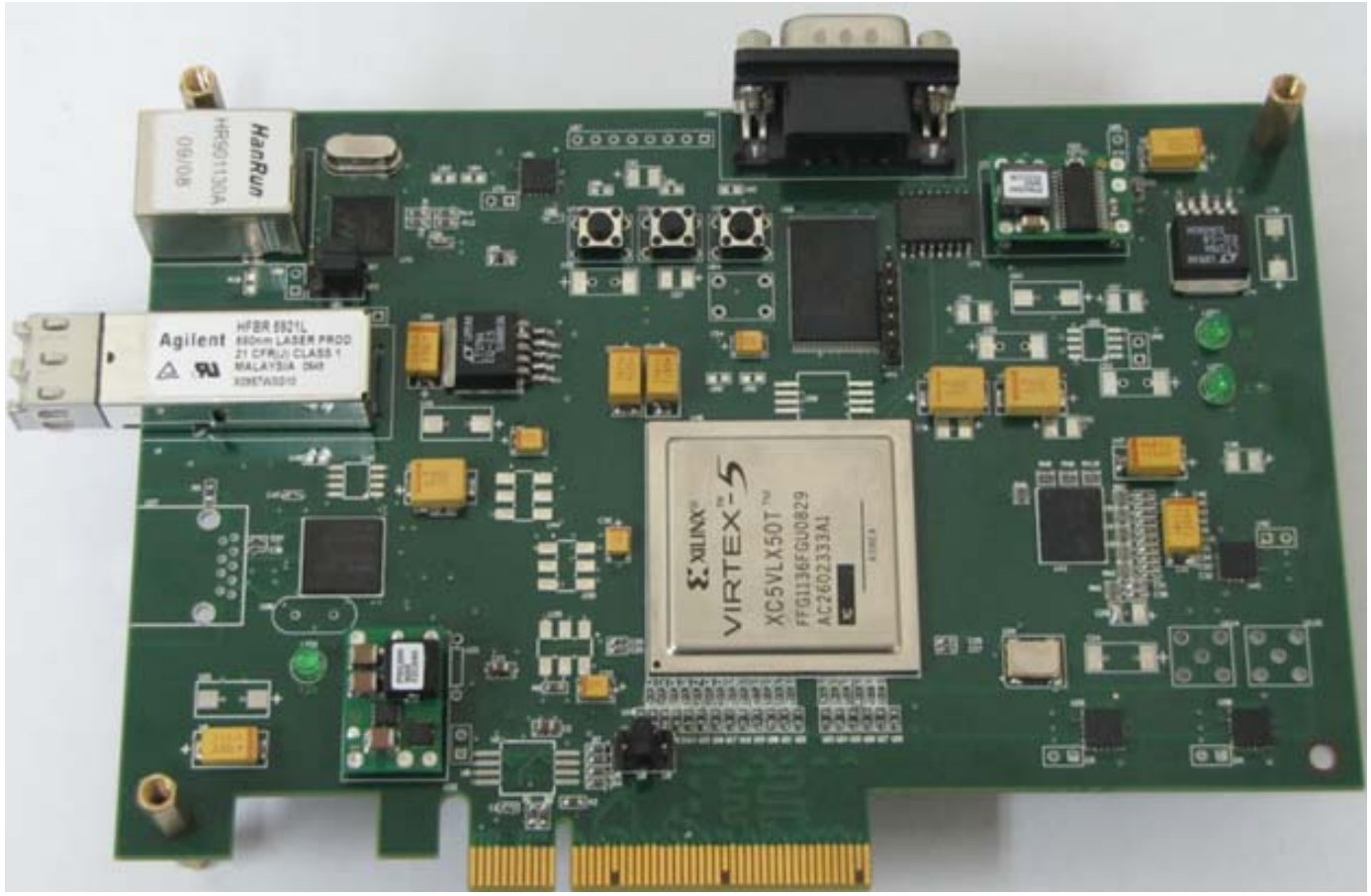
Petalinux操作系统：

优点：有公司来维护和技术支持

缺点：现在开始收费

实现方法：和powerpc上移植开源linux有相似之处

方案3： 实验平台



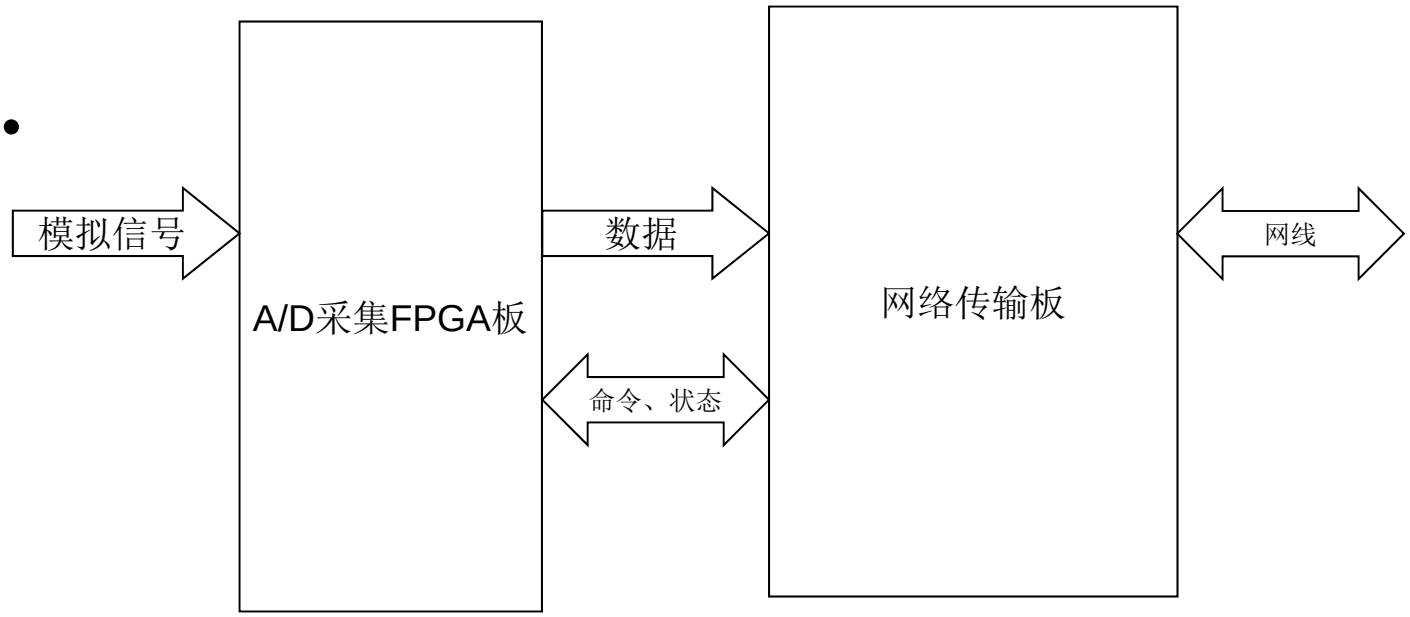
方案3：实验的结果

```
Creating 1 MTD partitions on "RAM":
0x00000000-0x000f7000 : "ROMfs"
uclinux[mtd]: set ROMfs to be root filesystem index=0

TCP cubic registered
NET: Registered protocol family 1
NET: Registered protocol family 17
VFS: Mounted root (cramfs filesystem) readonly.
Freeing unused kernel memory: 84k freed
Mounting proc:
Mounting var:
Populating /var:
Running local start scripts.
Mounting /etc/config:
Populating /etc/config:
flatfsd: Nonexistent or bad flatfs (-48), creating new one...
flatfsd: Failed to write flatfs (-48): No such device
flatfsd: Created 5 configuration files (185 bytes)
Mounting sysfs:
Setting hostname:
Setting up interface lo:
Setting up interface eth0:
SIOCSIFADDR: No such device
eth0: unknown interface: No such device
Starting portmap:
Starting thttpd:

uclinux login: _
```

方案四：在Microblaze软核移植Lwip的方案及其结果

移植方法和方案二:在PowerPC上移植Lwip类似。

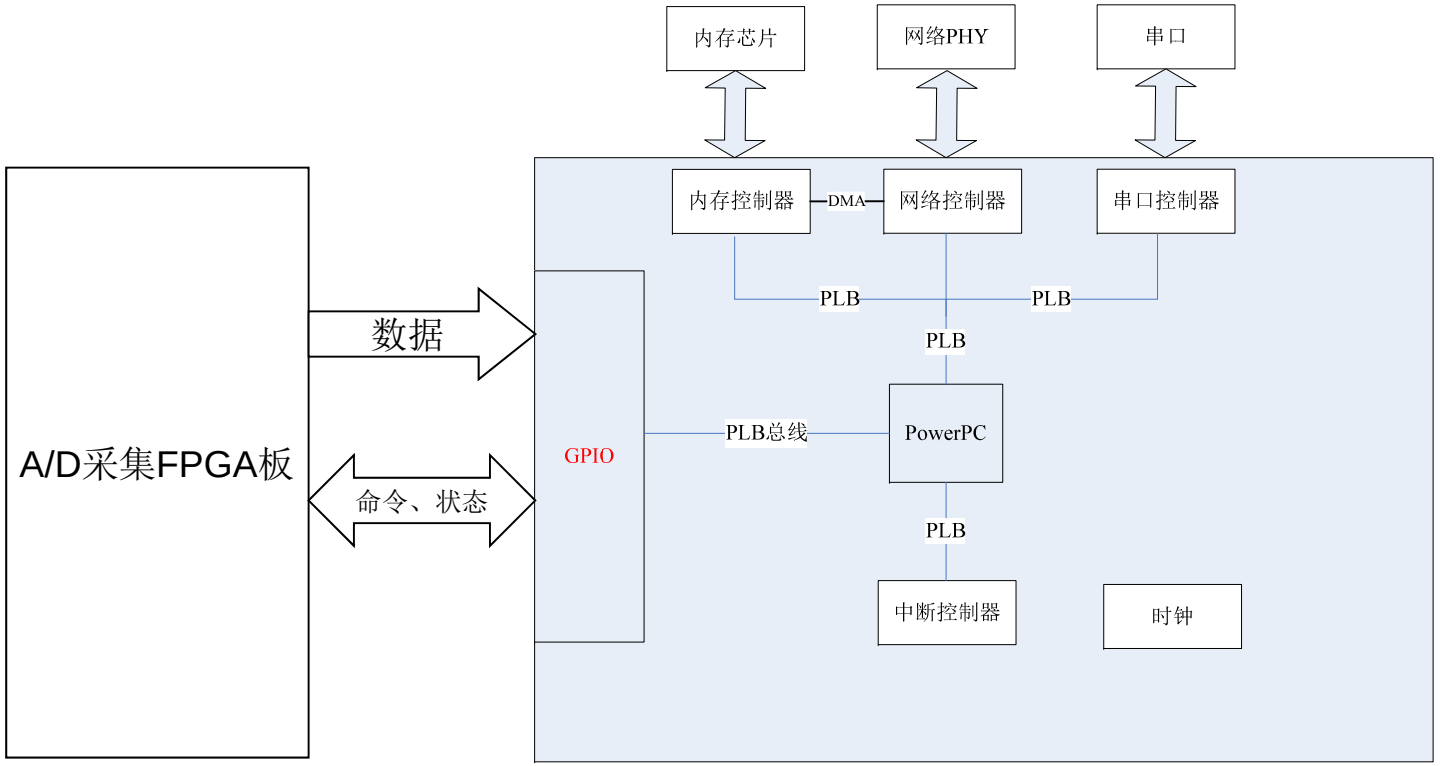
六、接口逻辑：自定义用户IP核开发



解决的问题：

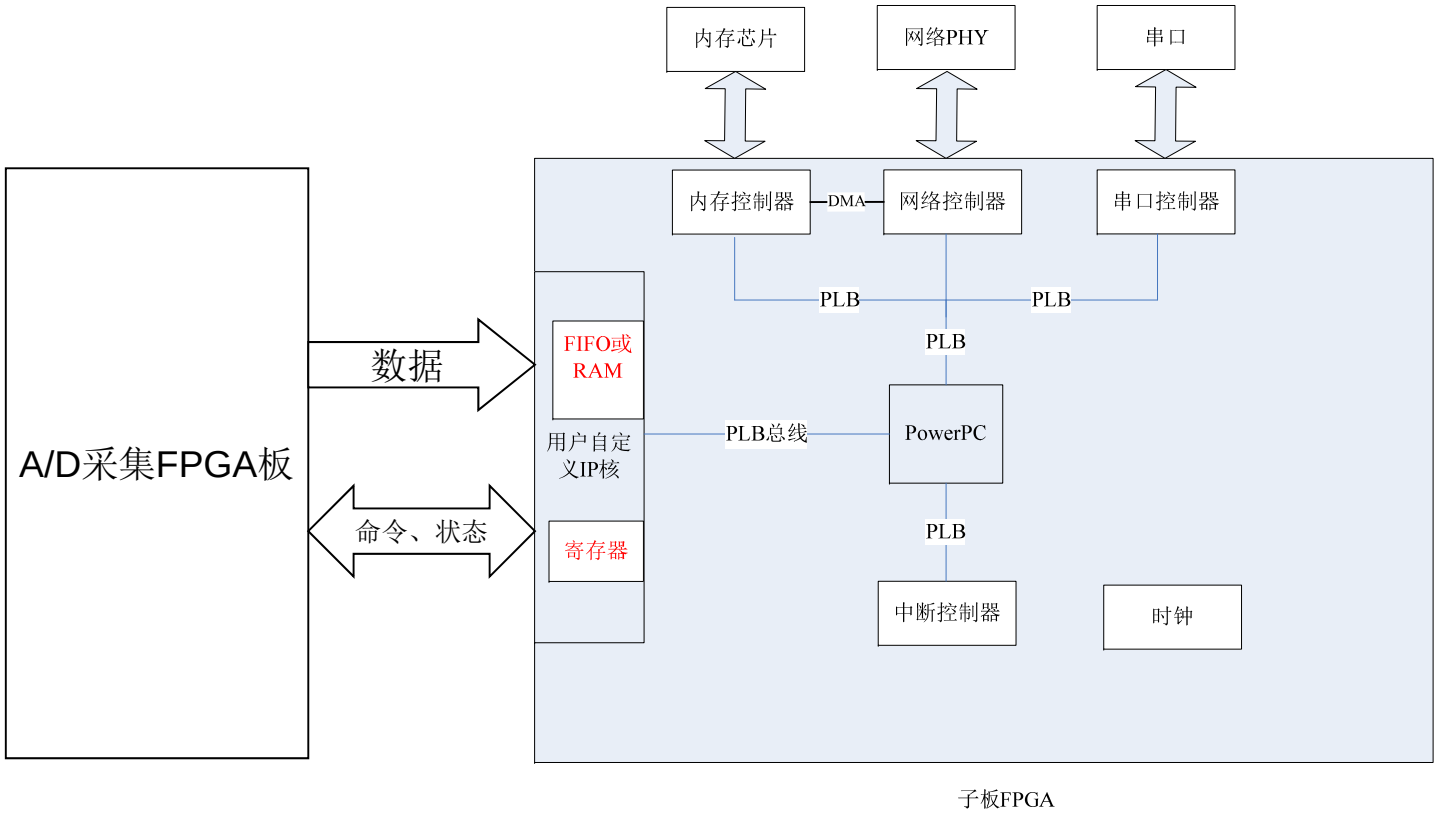
A/D采集板的数据是硬件逻辑语言写的
网络传输板的PowerPC是运行的C语言，
所以需要一个桥梁 实现数据由硬件层到软件层的转换

方案一：用最简单的GPIO作为输入输出接口



PowerPC使用C语言
A/D板采用HDL语言
GPIO做桥梁

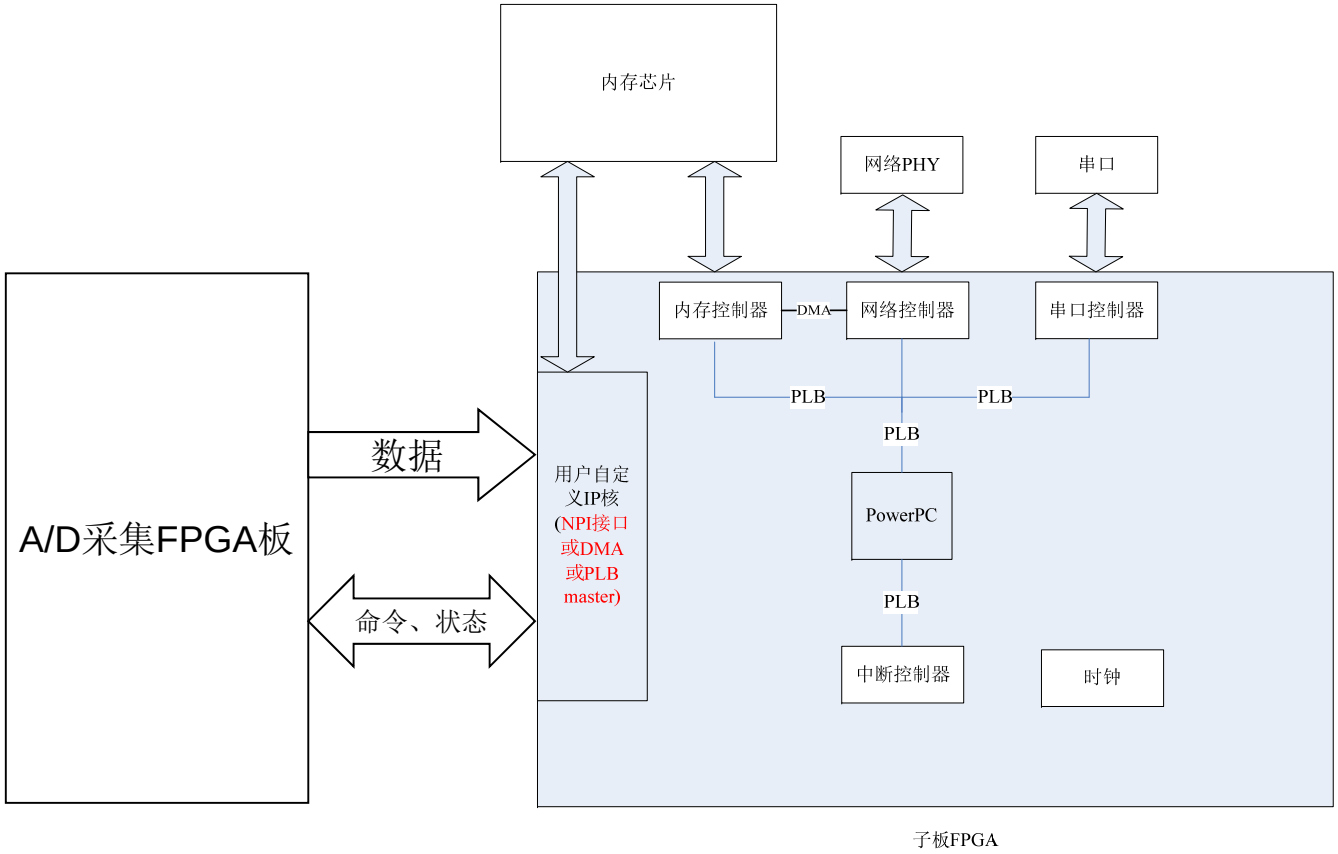
方案二：采用自定义IP核寄存器方式读写



自定义IP核：HDL语言逻辑模块←→PLB总线←→ PowerPC

plb总线协议使硬件的语言的逻辑模块能被PowerPC所识别

方案三：数据直接到内存，数据不经过PLB总线和PowerPC的中转



优点：速度快，因为不必经过powerpc的中转环节，也不受到PLB总线的限制，效率大大提升。

七、如何提高性能指标？

提高网络传输速度的方法：

1、SOPC层：采用DMA方式的数据传输，用DMA控制器把数据直接从内存放入千兆网控制器，减少对CPU的中断和占用

2、硬件逻辑层：数据直接用verilog写入内存，不要经过CPU的中转

2、软件层：适当增加每次数据包的大小，这样效率更高

提高数据可靠性的方法：

1、采用成熟的TCP/IP协议，来保证数据可靠地传输

2、采用Linux操作系统，系统更稳定

减少负复杂性的方法：

1、分层设计，并在操作系统之上编程，大大减小了复杂度

2、采用SOPC技术，采用成熟的开源Linux操作系统和协议栈

Thank you!

请各位老师同学多加指教！