

TI 基于 Concerto 双核 MCU 的 PRIME 电力线通信数据集中器方案

Jeanne Yi

MCU SAE Team

摘要

本文档介绍了采用 C2000 系列双核 (CM3+C28x) 微控制器实现的, 基于 PRIME 标准的电力线通信 (PLC) 数据集中器方案。本方案通过一颗 Concerto MCU 加 SDRAM 实现完整的 PRIME 协议栈, 提供波特率 115200bps 的 UART 异步串行端口给客户端主机进行网络管理及数据通信, 为需要低成本实现数据集中器功能的场合提供了有效的解决方案。

目录

简介 3

1	EDC 系统架构	4
2	EDC 方案特性	4
3	硬件设计	5
	3.1 参考原理图	5
	3.2 电路板	7
	3.3 EDC 与 PLC 节点组网连接	8
4	EDC 可以实现的功能	9
5	EDC 运行需要的目标代码及 Linux 客户端软件	9
6	PRIME EDC 基本功能演示	9
7	Linux PC 端命令行操作说明	9
	7.1 打开 UART 中继	9
	7.2 mgmt 网络管理工具客户端及其常用命令参考	10
	7.2.1 ?	10
	7.2.2 CTRL + c	11
	7.2.3 get-dc-std	11
	7.2.4 get-node-info	11
	7.2.5 get-ka-tmo	12
	7.2.6 set-ka-tmo	12
	7.2.7 pro-term	12
	7.2.8 send-new-image	12
	7.2.9 show-curr-image	12
	7.2.10 del-curr-image	12
	7.2.11 start-uc-fu	12
	7.2.12 cancel-fu	12
	7.2.13 show-uc-fu	13
	7.3 IEC61334-4-32 数据通信上层应用示例	13
	参考文档	15

图

图 1 PRIME EDC 系统架构示意图.....	4
图 2 主芯片 MCU 参考设计原理图.....	5
图 3 SDRAM 及 UART 接口参考设计原理图.....	6
图 4 AFE031 周边电路参考设计原理图.....	6
图 5 EDC 电路板正面图.....	7
图 6 EDC 电路板背面图.....	7
图 7 EDC 与 PLC 节点连接示意图.....	8
图 8 EDC 与 PC 连接示意图.....	8
图 9 Linux UART 连接提示.....	10
图 10 用 ZGUI 工具配置节点为 AppEMU-LLC 模式.....	14
图 11 数据传输测试运行结果.....	14

简介

PRIME - PowerLine Intelligent Metering Evolution 标准是由西班牙 Iberdrola 电力公司联合有关的 PLC 芯片、系统、电表等厂商，为窄带 PLC 电力线通信制定的远程抄表技术标准，包括物理层和 MAC 层的数据传输标准。该技术的协议开放，实施无版权费用，不同厂商的产品能够实现互联互通。TI 采用低成本的 DSP 控制器，以软件的方式来实现 PRIME 协议，相较其他厂商以专用芯片 ASIC 的实现方式，提高了应用的灵活性。

事实上，早前 TI 已经采用 OMAP1808 实现了 PRIME 数据集中器的完整功能。本文介绍的方案，主要是将 OMAP 平台的 DC 方案移植到单芯片 Concerto 上，实现一颗芯片完成 PRIME 的上层和底层 MAC 协议以及物理层协议，适用于低成本的嵌入式数据集中器应用，因此，我们也把该数据集中器方案简称为 EDC，即 Embedded Data Concentrate。

OMAP1808 平台的 DC 方案基于 Linux 操作系统，而本 EDC 方案基于 TIRTOS 操作系统，上层和下层 MAC 通信采用内部数据共享，不但系统精简很多，占用资源少，而且数据更加可靠，除了没有 TCP/IP 接口之外，所能管理及连接的节点数量与 OMAP 平台的 DC 方案无异。

1 EDC 系统架构

本方案采用 Concerto 系列芯片 F28M35H52C1 作为主芯片，处理 PRIME 协议的 UPPER MAC 及 LOW MAC, PHY 层协议。F28M35H52C1 是一款双核的 MCU，它内部包含了 Cortex m3 主系统和 TI C28x 控制子系统两个 MCU 系统，每个系统分别有 512KB 的 Flash 空间，Cortex m3 独立使用 32KB RAM，TI C28x 独立使用 36KB RAM，另外还有可配置使用权的 64KB 的共享 RAM（在 EDC 系统中全部被分配给 C28x 使用）和 2KB 的 IPC Message RAM。在 EDC 系统应用中，Cortex m3 核工作主频为 75MHz，它负责处理 Upper MAC 协议，C28x 核工作主频为 150MHz，它负责处理 Low MAC 及 PHY 层协议，两个核之间通过 IPC 内部数据共享区机制进行通信。主芯片 MCU 外加一个 8M Bytes 的 SDRAM，由 CM3 核进行访问，用来存储节点信息数据库等数据，目前系统使用的大小约为 3M Bytes；另外有一个 128KByts 的 EEPROM，由 C28x 访问，用来存储系统掉电参数；模拟前端采用 TI AFE031，支持三相和单相连接，由 C28x 核通过 SPI 接口对其进行控制。系统框图如图 1 所示。其中，CM3 通过 1 个 GPIO 口控制一个 LED，在系统正常工作时以 1Hz 频率进行显示；C28x 通过 3 个 GPIO 控制另外三个 LED，分别指示 C28x 工作状态及 PLC 通信状态。

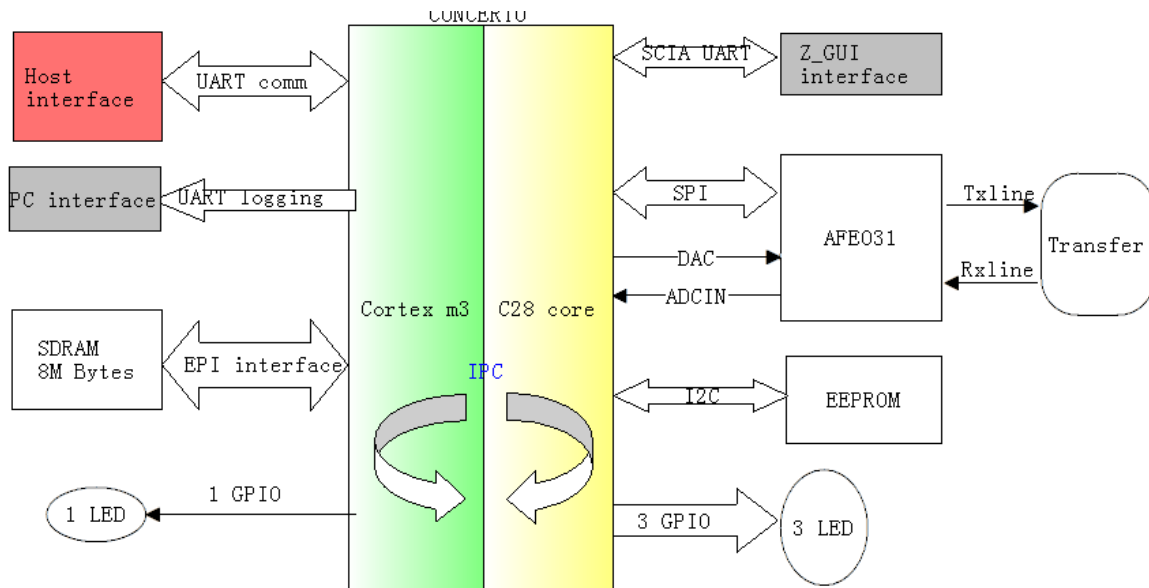


图 1 PRIME EDC 系统架构示意图

2 EDC 方案特性

单芯片实现 PLC PRIME DC 完整功能。

提供 UART 接口与 PC 或用户 Host Processor 进行通信，通信速率 115200bps，8 位数据位，1 位停止位，无奇偶校验。

提供 PC(Ubuntu Linux OS)客户端软件进行模拟测试，客户端软件通过 mgmt 及 IEC-432 API 接口与 EDC 上运行的服务器端进行通信，用户可参考这些客户端软件示例代码实现 Host 代码设计，客户端软件包括：

Management tool application
Base node conference tool application
IEC 61334-4-32 data transfer application

硬件设计保留 C28x 的 SCIA UART 通信接口，便于客户使用 TI 提供的 PC 端 ZCG 工具软件，通过连接 PC 的 COM 口或 USB-UART 转接板至该接口来单独对 PLC PHY 层参数进行测试。

3 硬件设计

3.1 参考原理图

硬件相关的原理图部分设计请参考图 2，图 3，图 4 所示。

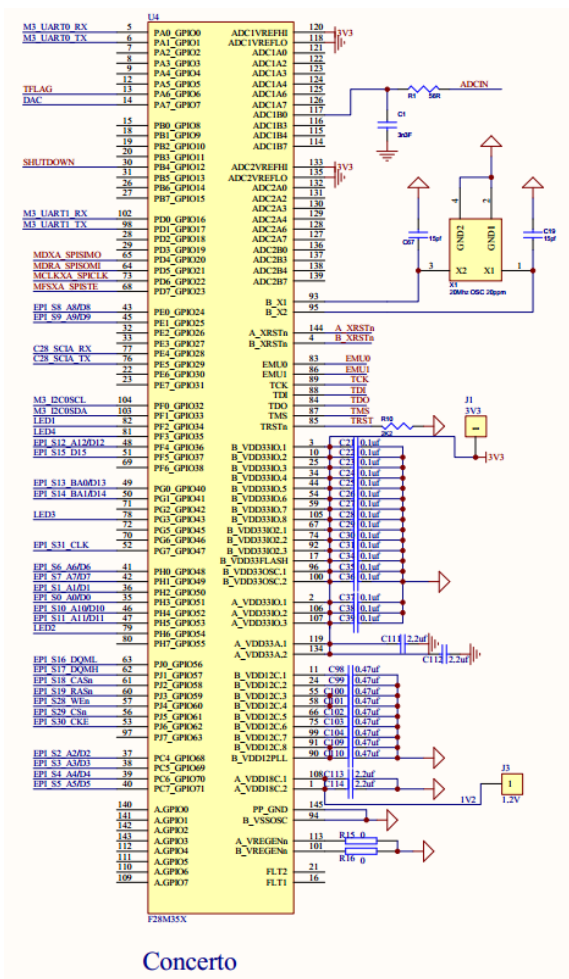


图 2 主芯片 MCU 参考设计原理图

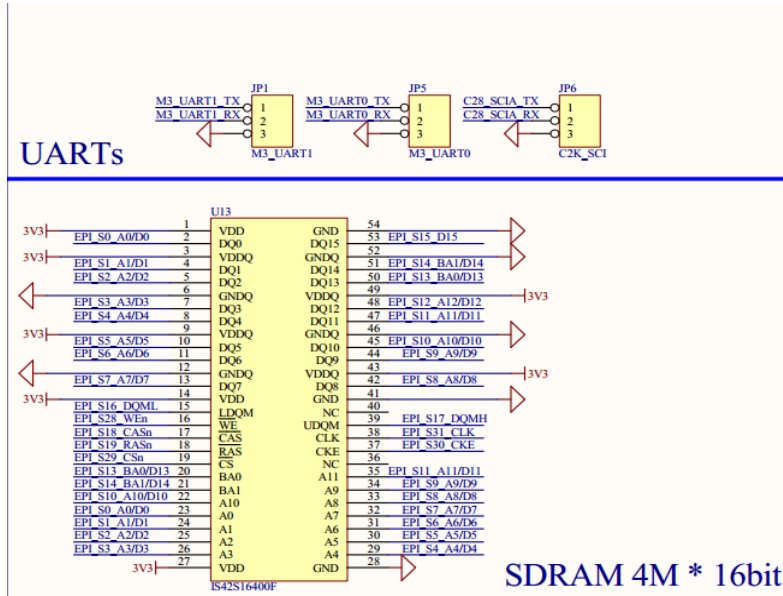


图 3 SDRAM 及 UART 接口参考设计原理图

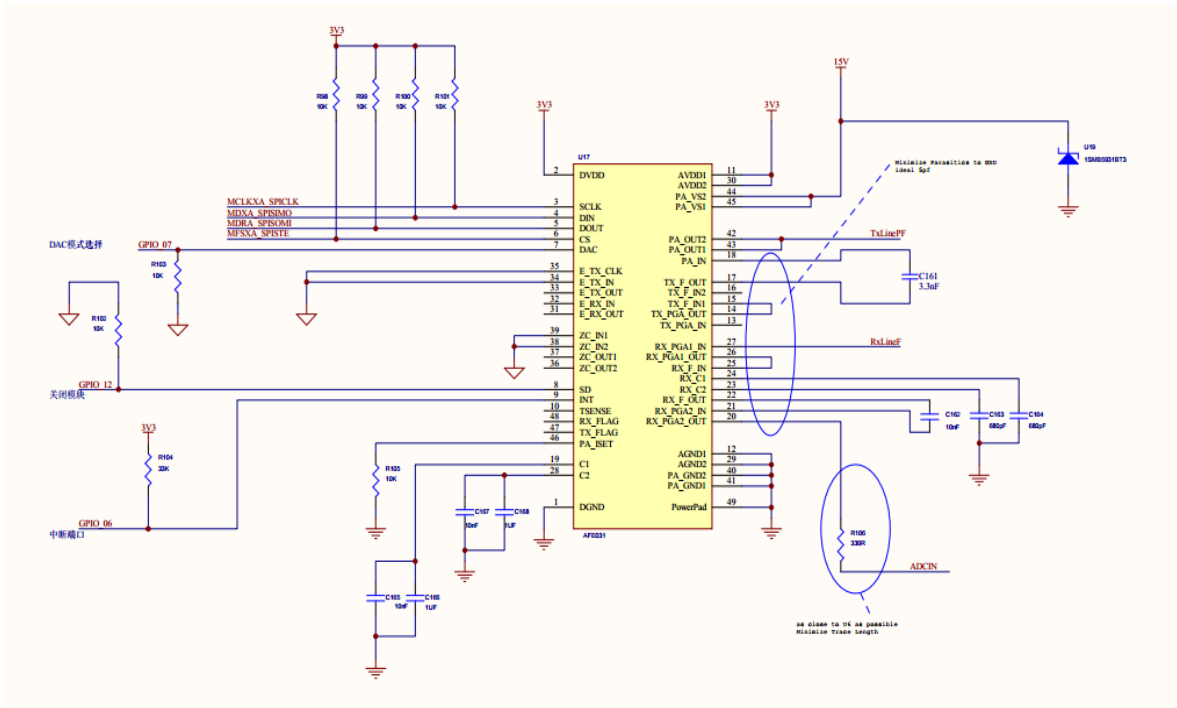


图 4 AFE031 周边电路参考设计原理图

3.2 电路板

EDC 电路板实物如图 5 及图 6 所示。电路板正面放置 MCU, AFE031 及变压器, 电源 IC 等大部分器件, 背面放置了一片 SDRAM。MCU 芯片左上方的彩色线连接部分为 UART 通信接口及 UART 打印信息输出接口, 左侧为 15V 供电输入接口及电表连接接口, 该 22 pin 接口按照中国国家电网《Q / GDW 375.2-2009》标准第 6.3.1 节中对集中器载波模块的接口定义进行设计, 其中的 UART 接口连接至 MCU CM3 核的 UART0; 右侧黑胶布遮盖部分为外接三相电力线接口, 该接口同样按照中国国家电网《Q / GDW 375.2-2009》标准第 6.3.2 节中对集中器载波模块的载波耦合接口定义进行设计, Service node 可以通过该三相电力线接口与 EDC 进行单相或者三相的信号连接。EDC 上电正常工作时, 图 5 所示右下方的 LED (LED-4) 灯会以 1Hz 的频率闪烁。

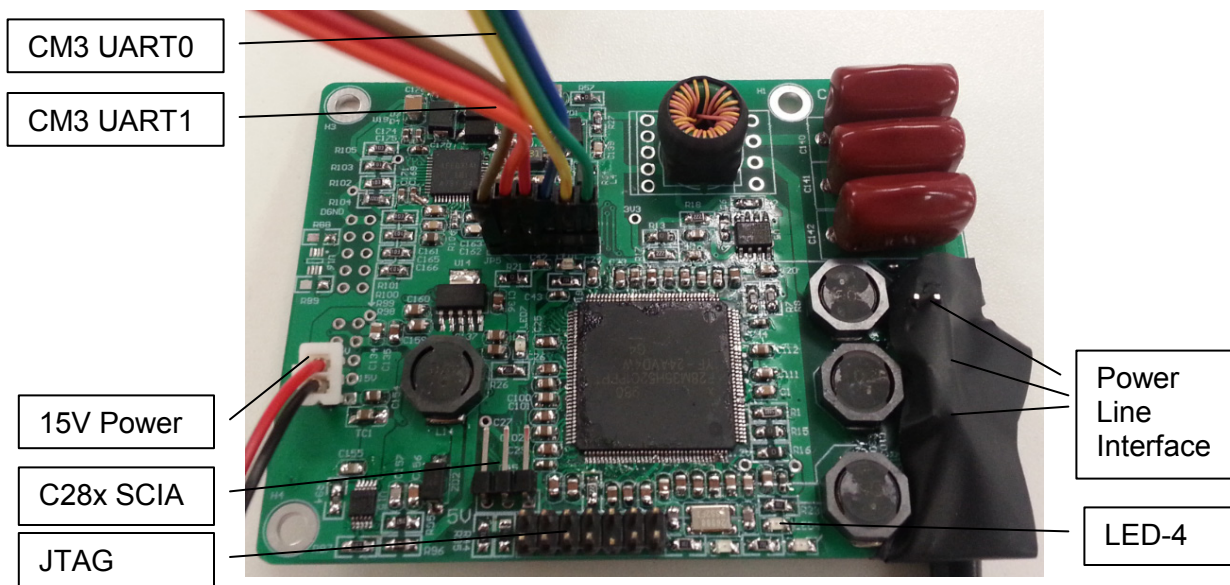


图 5 EDC 电路板正面图

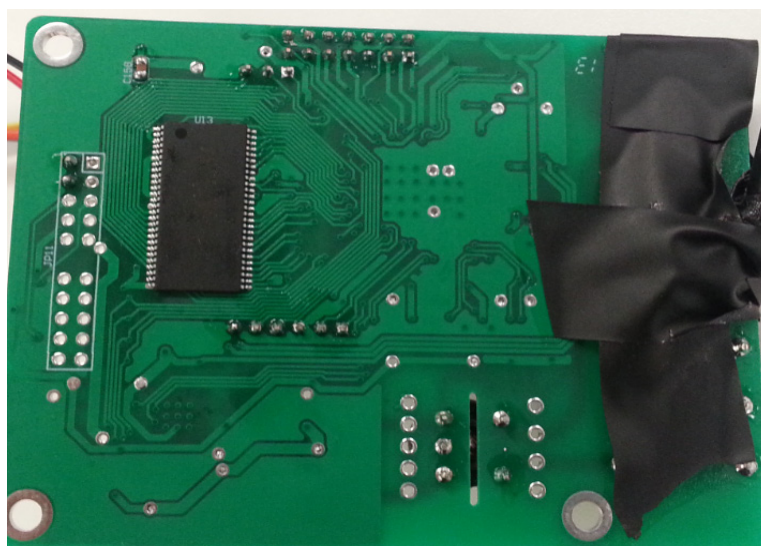


图 6 EDC 电路板背面图

3.3 EDC 与 PLC 节点组网连接

本例采用 TI 的 TMDSPCKIT-V3 作为 PLC 节点，EDC 与两个 PLC 节点的连接如图 7 所示，EDC 的 UART0 接口与 Linux PC 客户端通过一个 UART-USB 转接小板连接，连接如图 8 所示。

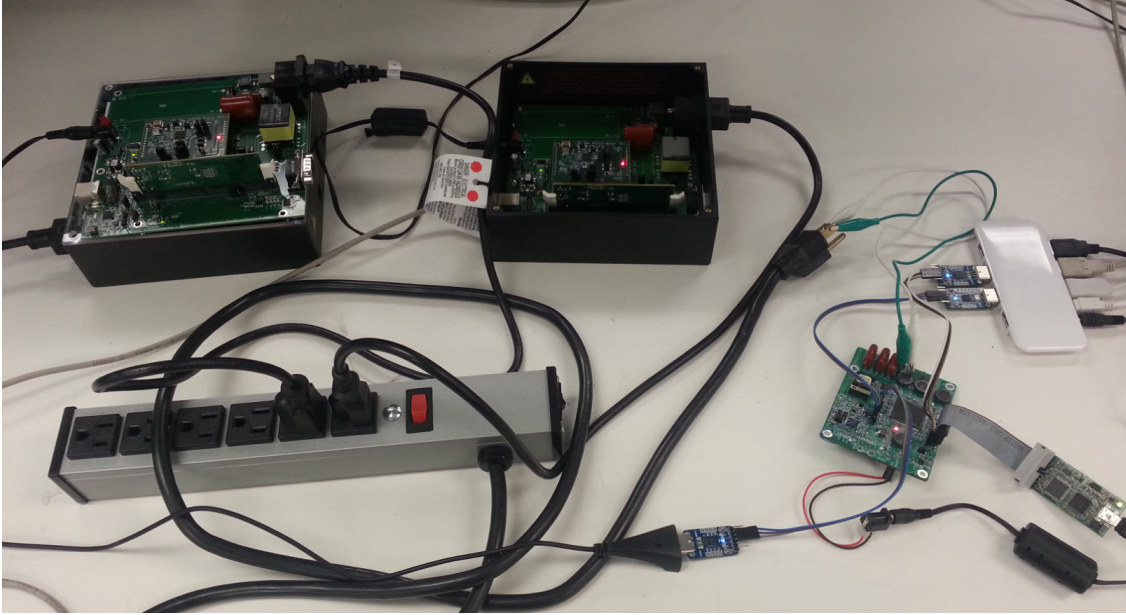


图 7 EDC 与 PLC 节点连接示意图

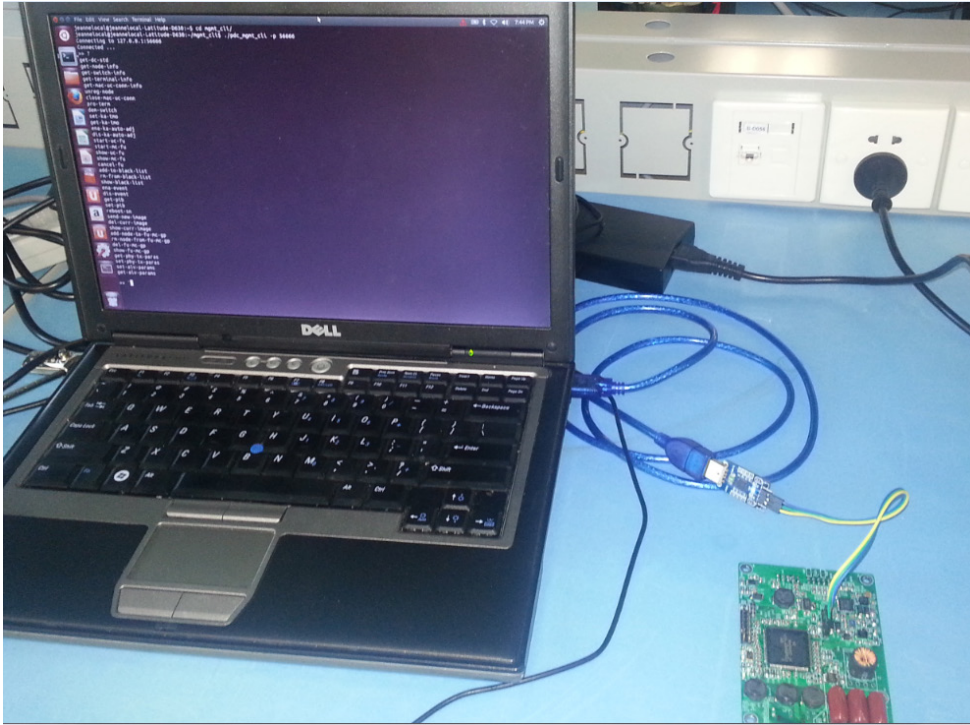


图 8 EDC 与 PC 连接示意图

4 EDC 可以实现的功能

- 支持多达 1200 个节点的注册/注销
- 支持最多 3600 路的 Unicast MAC 连接/释放
- Keep Alive 功能及自动调节 Keep Alive 检查间隔时间
- IEC-61334-4-32 逻辑链路层
- Appemu 数据传输测试
- 支持节点中继
- 节点 promotion 和 demotion
- Multicast MAC 连接/释放
- 单点和多点 firmware upgrade
- 支持使用 IEC 61334-4-32 服务的外部应用
- 支持外部管理 GUI
- 支持 Linux 客户端命令进行 DC 一致性测试

5 EDC 运行需要的目标代码及 Linux 客户端软件

Concerto 目标代码: prime_dc_concerto_cm3.out prime_dc_concerto_c28x.out

Linux 客户端软件: uart_intf, mgmt_cli, ext432App, bn_conf_tool

6 PRIME EDC 基本功能演示

PRIME EDC 的功能演示基于一个 PRIME 网络进行，该网络由一个 base node 和几个 service node 组成，EDC 就是其中的 base node。功能演示包括以下几个部分：

1. 节点注册、节点注销
2. Keep Alive 监测
3. 节点连接、断开连接
4. 节点升级（至中继节点），节点降级（至终端节点）
5. 按照 IEC-61334-4-32 协议进行数据传输
6. 固件在线更新（单播和群播）

参考图 7 的网络连接示意图搭建演示网络，参考图 8 连接 EDC 的 UART1 至 Linux PC，给 EDC 及 service node 加电后，系统将自动完成网络连接。通过在 Linux PC 端的进行对应的命令行操作，即可实现以上功能演示。Linux PC 端的命令行操作参考后续章节介绍。

7 Linux PC 端命令行操作说明

准备一台安装 ubuntu Linux OS 的 PC，将提供的 Linux 客户端软件: uart_intf, mgmt_cli, ext432App, bn_conf_tool 复制到 Home 路径下。

7.1 打开 UART 中继

在 Linux PC 上打开一个 Terminal，进入 uart_intf 路径，执行“make clean”命令，清除旧的可执行文件，然后执行“make PREFIX=”命令，生成适合本系统的可执行文件 uart_intf。

在当前路径下，键入以下命令开启 UART 中继：

```
sudo ./uart_info -c /dev/ttyUSB0
```

命令被正常执行后，显示以下提示：

```
Configured UART device </dev/ttyUSB0> ....
Accepting data connection on TCP port<57777> ....
Accepting mgmt connection on TCP port<56666> ....
Accepting mgmt connection on TCP port<58888> ....
Waiting for data on the UART ....
```

图 9 Linux UART 连接提示

其中的 TCP port <57777>, TCP port <56666>, TCP port <58888>为后续数据传输，网络管理及 DC 一致性检查等客户端进程所要用的端口参数。

7.2 mgmt 网络管理工具客户端及其常用命令参考

在 Linux PC 上打开一个新的 Terminal，进入 mgmt_cli 路径，执行“make clean”命令，清除旧的可执行文件，然后执行“make PREFIX=”命令，生成适合本系统的可执行文件 pdc_mgmt_cli。

在当前路径下，键入以下命令运行网络管理工具客户端：

```
./pdc_mgmt_cli -p 56666
```

命令正常执行后，显示以下提示：

```
connecting to 127.0.0.1:56666
connected
>>
```

在>>提示符下键入? 后回车，即可列出该客户端支持的所有命令列表；在使用某一命令时，如不知道如何使用参数，也可在命令后加空格和?，命令所需要的参数及参数范围就会显示出来。

部分常用命令说明：

7.2.1 ?

功能：列出所有命令列表如下：

```
get-dc-std
get-node-info
get-switch-info
get-terminal-info
get-mac-uc-conn-info
unreg-node
close-mac-uc-conn
    pro-term
    dem-switch
    set-ka-tmo
    get-ka-tmo
    ena-ka-auto-adj
```

```

dis-ka-auto-adj
start-uc-fu
start-mc-fu
show-uc-fu
show-mc-fu
cancel-fu
add-to-black-list
rm-from-black-list
show-black-list
ena-event
dis-event
get-pib
set-pib
reboot-sn
send-new-image
del-curr-image
show-curr-image
add-node-to-fu-mc-gp
rm-node-from-fu-mc-gp
del-fu-mc-gp
show-fu-mc-gp
get-phy-tx-paras
set-phy-tx-paras
set-alv-params
get-alv-params

```

7.2.2 CTRL + c

功能：退出 mgmt 客户端，回到 Linux 命令行

7.2.3 get-dc-std

功能：获取 DC 执行的标准

示例：

```
>>get-dc-std
PRIME
```

7.2.4 get-node-info

功能：获取当前连接到 PRIME 网络的节点信息。

示例：

```
>>get-node-info
```

```

-----
EUI-48          SID  LNID  LEVEL  LSID  432-ADDR  SERIAL-NR
-----
55:55:55:55:55:55  000  0001  00    --    01      55 55 55 55 55 55
11:11:11:11:11:11  000  0002  00    --    02      11 11 11 11 11 11

```

7.2.5 *get-ka-tmo*

功能：获取当前 Keep Alive 检查超时时间

示例：

```
>>get-ka-tmo  
128 seconds
```

7.2.6 *set-ka-tmo*

功能：设置当前 Keep Alive 检查超时时间

示例：

```
>>set-ka-tmo -t 32  
Keep alive timeout is now 32 seconds.
```

7.2.7 *pro-term*

功能：将终端节点升级为中继节点

示例：

```
>>pro-term -l 2 -s 0  
Request sent ...
```

7.2.8 *send-new-image*

功能：下载固件到 DC

示例：

```
>>send-new-image -f /filefolder/prime_7.6.1.sbin -p 128
```

7.2.9 *show-curr-image*

功能：查看当前 DC 中存储的固件信息

示例：

```
>>show-curr-image  
Image file name: /filefolder/prime_7.6.1.sbin  
Image CRC: 0xa57439b1  
Image size: 187958 bytes
```

7.2.10 *del-curr-image*

功能：删除当前 DC 中存储的固件。下载新的固件之前，必须先执行该命令删除当前固件。

示例：

```
>>del-curr-image
```

7.2.11 *start-uc-fu*

功能：启动 unicast 固件更新

示例：

```
>>start-uc-fu -f drunk.sbin -e 55:55:55:55:55:55 -p 128
```

7.2.12 *cancel-fu*

功能：取消当前固件更新

示例：

```
>>cancel-fu
```

7.2.13 show-uc-fu

功能：显示当前固件更新状态及信息

示例：

```
>>show-uc-fu
Image File Name: /filefolder/prime_7.6.1.sbin
Node: 55:55:55:55:55:55
Image CRC: 0xa57439b1
Page Size: 128 bytes
Image Size: 187958 bytes
Page Count: 1469
Pgae Sent: 980
Communication State: CONNECTED
Upgrade FSM State: PAGE TRANSFER
```

7.3 IEC61334-4-32 数据通信上层应用示例

PRIME EDC 允许外部应用遵循 IEC61334-4-32 协议来与网络中的节点进行通信。本方案提供了 Linux 平台的应用程序参考代码。

在 Linux PC 上打开一个新的 Terminal，进入 ext432app 路径，执行“make clean”命令，清除旧的可执行文件，然后执行“make PREFIX=”命令，生成适合本系统的可执行文件 pdc_app432。

在当前路径下，键入以下命令启动数据通信进程：

```
./pdc_app432 -p 57777 -l 64 -ds 1 -da 2
```

参数说明：

-l 用来指定要下发的数据字节数，参数取值范围为 1~200；

-ds 用来指定目标节点的 SAP 地址，参数取值范围 0~191；

-da 用来指定通信连接的节点 432 地址，该地址从 get-node-info 命令所获得的节点信息中获取。

执行 pdc_app432 命令之前，需要参考图 10，用 ZGUI 工具将 TI PLC V3-KIT 配置为 AppEmu-LLC 模式。在该模式下，当 Linux 客户端执行 pdc_app432 命令后，PLC Module 就会将收到的数据回传给 DC，DC 再通过 UART 上传到 PC，并在 pdc_app432 所在的 Terminal 上显示出来。传输 190 个字节的数据包时，运行结果参考图 11 所示。

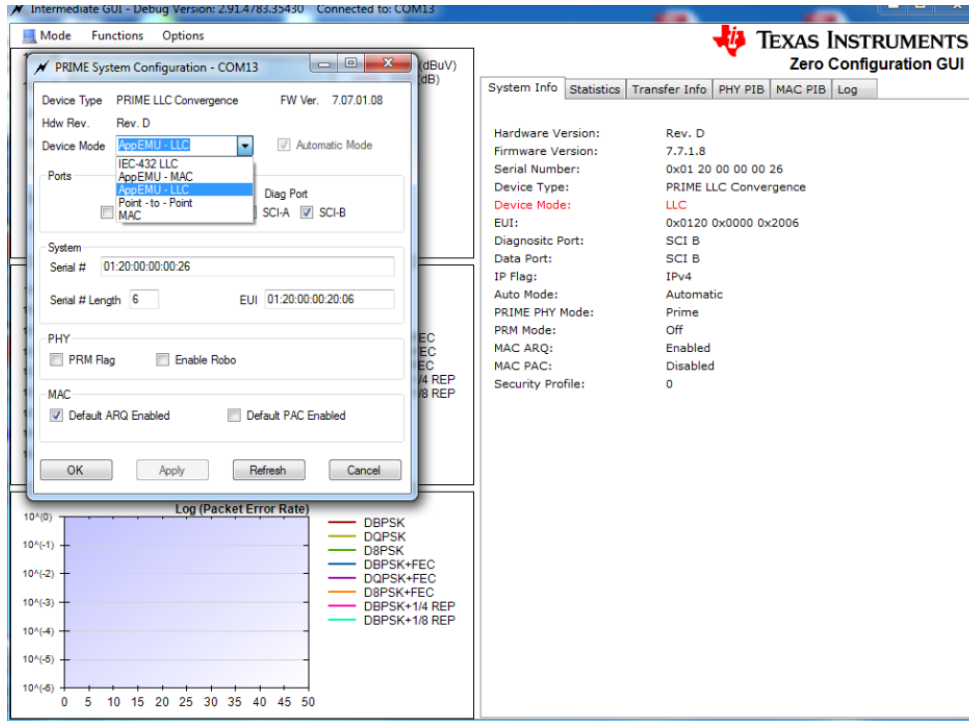


图 10 用 ZGUI 工具配置节点为 AppEMU-LLC 模式



图 11 数据传输测试运行结果

参考文档

1. *TI PRIME DC Software User Guide*
2. *TI PRIME DC IEC-61334-4-32 API SPEC*
3. *Concerto F28M35x Technical Reference Manual (SPRUH22B)*
4. *Concerto Microcontrollers (SPRS742C)*
5. Q / GDW 375.2-2009 《电力用户用电信息采集系统型式规范：集中器型式规范》

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司