维普资讯 http://www.cqvip.com

基于 TMS320F2812 的 CAN 总线通信的设计与实现

Design and Implementation of CAN Bus Communication Based on TMS320F2812

杨辉前　王耀南　袁小芳　唐健刚
（湖南大学电气与信息工程学院，长沙　410082）

摘　要：TMS320F2812 是一种用于控制的 32 位定点 DSP 芯片，对其增强型控制器 eCAN 的增强特性进行了分析。重点介绍了 CAN 总线通信中利用 eCAN 构建 CAN 网络的硬件节点设计，并给出了 CAN 总线波特率位定时计算方法，CAN 软件设计的流程和对应的 C 语言初始化，发送接收调试程序，总结了在实际项目应用中的调试技巧。这一设计基于电动汽车，已成功应用于混合动力汽车能量总成控制系统。

关键词：CAN 总线　数据通信　控制系统
中图分类号：TP336　　**文献标识码**：A

Abstract: TMS320F2812 is a 32-bit fixed-point digital signal processor (DSP) chip used in control purpose. The reinforcement of its enhanced controller eCAN is analyzed. The hardware node design of CAN built by eCAN in CAN bus communication was mainly introduced. The baud rate bit-timing calculation method, the flowchart in CAN software design and its corresponding C language debug program about initialization, send and receive were given. The debugging technique in practical application was also summarized. The design based on electric vehicle has been successfully used in hybrid power vehicle energy integrated control system.

Keywords: CAN bus　Data communication　Control system

0　引言

CAN(controller area network)是德国 Bosch 公司在 80 年代初期为了解决汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通信总线，现已成为国际上应用最广泛的现场总线之一。CAN 总线被认为是电动车最佳通信结构，我国“863 计划”关于电动汽车的说明中已经明确提出，新申报的电动车开发项目必须采用 CAN 总线通信模式。奔驰、宝马、大众、沃尔沃及雷诺汽车都将 CAN 作为汽车控制器的联网手段，用于驱动系统发动机 ECU、ASR 及 ABS ECU、SRS ECU、仪表显示等和车身系统集控锁、电动门窗、后视镜和箱内照明等以及卫星导航智能通信系统。

随着研究混合动力汽车 HEV(hybrid electrical vehicle)及纯电动汽车 EV(electrical vehicle)步伐的加快，CAN 总线技术将对汽车电子技术发展起到积极推进作用，并将得到更广泛的应用。由于现代汽车对汽车的动力性、经济性和舒适性提出了更高的要求，相应的汽车电控装置也越来越多，通过 CAN 总线控制和协调管理汽车各部件尤为重要。本文所介绍的是研究利用 TMS320F2812 的增强型控制器 eCAN 构建 CAN 节点的软硬件详细实现过程。

1　TMS320F2812 特点及 eCAN 的增强特性

TI 公司作为全球领先的 DSP 供应商，成功地推出了当今世界上最先进的 32 位定点 DSP C2000 系列 TMS320F28x。在 TI 所有的 DSP 产品中，只有 C2000 有 FLASH，该系列产品是用于控制的最佳化的 DSP。其中 TMS320F2812 是 TI 公司用于控制的一种高性能、多功能、高性价比的 32 位定点 DSP 芯片。它兼容 F24X/F240X 原代码，主频达 150 MHz，外设资源丰富。

eCAN 是 TMS320F2812 DSP 片内一种具有 32 位内部结构的增强型的 CAN 控制器，它与现行的 CAN2.0B 标准兼容。它可以使用已制定的协议在电子噪声环境中与其他控制器进行串行通信。由于具有 32 个完全可配置的邮箱和时间标志特性，eCAN 模块提供了一个通用和具有鲁棒性的串行通信接口。eCAN 模块相当于 TI 公司 TMS470 系列微控制器(TMS470 主要针对车载应用需求，具有 ARM7 内核，高达 400MHz 主频)使用的高端 CAN 控制器 HECC (high-end can controller)。对于 F240X 系列 DSP CAN 模块，由于 eCAN 的增强特性，代码不可直接移植，但两者寄存器位有相同的结构和位功能(如置 *TRS* = 1 发送消息)，即许多寄存器和比特位在两种平台上就有完全相同的功能，因此 eCAN 代码移植相对简单。

维普资讯 http://www.cqvip.com

与 F240X 系列 DSP 的 CAN 模块相比，它的增强特性主要体现在：

① 邮箱数目增加，且所有邮箱都具有独立的接收屏蔽寄存器。32 个邮箱均可配置为发送或接收邮箱。而 2407A 仅有 6 个邮箱、2 个接收邮箱、2 个发送邮箱和 2 个可配置为接收或发送邮箱；

② eCAN 是一个 32 位 CAN 控制器，寄存器有两种不同的地址映射方式，访问方式更灵活。控制和状态寄存器必须以 32 位方式访问，邮箱、屏蔽、时间标志和超时寄存器以 8 位、16 位、32 位不同的方式访问；

③ 超时功能。为了确保所有的消息都在预定的时间里收发，每个邮箱都有它自己的超时寄存器(MOTO)。若某信息在超时寄存器设定的时间没有完成收发，则相应标志位置位；

④ 时间标志。eCAN 模块模式中所有接收和发送的消息都要设置时间标志，监视收发消息的操作时间，在允许的时间间隔内，若某消息没有被接收或发送出去，则将产生一个中断；

⑤ 覆盖保护。新消息是否覆盖旧消息取决于覆盖保护控制寄存器 CANOPC，若设置 CANOPC 相应的位，旧消息会对消息写保护而阻止被覆盖。若未检测到存在匹配 ID，新消息将丢失而不再进行提示；

⑥ 两类中断，两条中断 CANGIF0/CANGIF1。一类与邮箱有关，如收发、失败响应、接收消息丢失、超时等中断；一类错误或系统有关，如禁止写入、唤醒、总线关闭、被动错误、警告级别、时间标志计数器溢出等中断。一般用高优先级处理所有系统中断，较低优先级处理邮箱中断；

⑦ 控制器独立于 CPU，具有自我管理和控制的能力，最小化了通信时 CPU 的负担，且提供增强 CAN 标准功能。

2 CAN 节点通信设计

2.1 CAN 节点的硬件设计

基于 TMS320F2812 CAN 节点的硬件电路如图 1 所示。电路使用 PCA82C250 作收发器。C250 可以增大通信距离，提高系统的瞬间抗干扰能力，保护总线，降低射频干扰(RFI)实现热防护等。

由于车载工作环境恶劣，为了进一步提高抗干扰能力，在两个 CAN 器件之间使用了由高速光电隔离器件 6N137 构成的隔离电路。由于 TMS320F2812 引脚为 3.3 V 标准，所以在接口处增加了两个史密斯反相器(采用 TI 的 LVX14)，该芯片是一个专用的低压转换芯片，兼容 3.3 V 和 5 V 电平，通过它可顺利完成 5 V/3.3 V的转换，并且它有滤除噪声的作用，对抑制来自 CAN 总线的干扰有很好效果。

注意总线两个 120 Ω 的电阻，对于匹配总线阻抗，起着相当重要的作用。忽略掉它们，会使数据通信的抗干扰性及可靠性大大降低，甚至无法通信。C250 第 8 个脚 Rs 与地之间的电阻 R_{34} 称为斜率电阻，它的取值决定了系统处于高速工作方式还是斜率控制方式。把该引脚直接与地相连，系统将处于高速工作方式，在这种方式下，为避免射频干扰，建议使用屏蔽电缆作总线。在波特率较低、总线较短时，一般采用斜率控制方式，上升及下降的斜率取决于 R_{34} 的阻值，根据通信速率调整斜率电阻 R_{34} 的值，实验数据表明 15 ~ 200 kΩ 为 R_{34} 较理想的取值范围，根据需要我们选用 R_{34} = 47 kΩ。该方式下，可使用平行线或双绞线作总线。

系统和外设通过 DC - DC 模块隔离，分别采用了独立的电源 V_{CC}、GND 和 + 5 V、CGND，可抑制电磁干扰，保护系统不受外部电路信号波动影响；当系统通信速率处于高速情况下，请注意斜率电阻的选择和考虑使用光隔增加总线节点的所谓循环延迟，电平转换芯片可选择高速 F 系列器件。

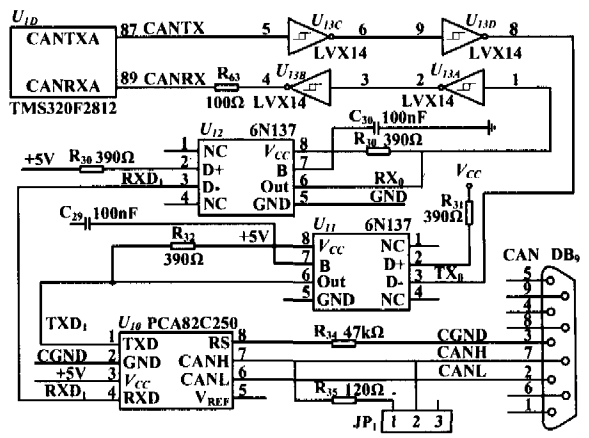

图 1　CAN 节点电路图

Fig. 1　Circuit of CAN node

2.2 CAN 节点软件设计

对于具体系统的 CAN 总线通信软件部分的设计包括应用层协议制定和实施、明确各节点的功能以及相互交互的数据、规定数据每一位的确切含义以及要做的响应处理。这里将详细介绍 CAN 节点软件设计的三大模块，即初始化程序、数据发送程序、接收程序。数据分析处理由主程序完成。

2.2.1　初始化程序

初始化就是软件选择 DSP 要使用 CAN 控制器提

维普资讯 http://www.cqvip.com

供的功能，包括时钟使能、引脚定义、波特率和收发邮箱等配置。

首先，关闭看门狗，对时钟进行设置，片上外设按输入时钟分为四组，eCAN 与 CPU 同属于 SYSOUTCLK 组，相关外设寄存器有 PLLCR（设置锁相环倍频系数）和 PCLKCR（控制外设时钟），锁相环设置后有必要延时以等待锁相环稳定工作。

其次，GPIO 配置为特殊功能 CANTX 和 CANRX，CANTIOC 和 RIOC 寄存器配置为使 CANTX 引脚用于 CAN 发送操作和 CANRX 引脚用于 CAN 接收操作，并配置 eCAN 为标准工作模式。

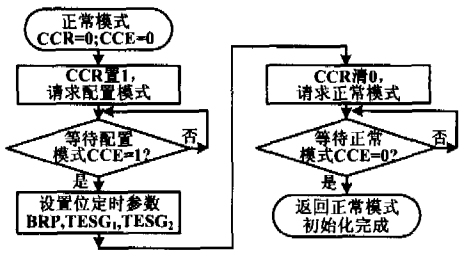

图 2　初始化流程图

Fig. 2　Process of initialization

再则是波特率设定。图 2 所示为在初始化过程中对位定时进行设置。位定时必须满足以下规则：

①$TESG_2 \leqslant TESG_1$；

②三点采样必须 $BRP \geqslant 5$；

③$IPT \leqslant TESG_2 \leqslant 8TQ$；

④$IPT \leqslant TESG_1 \geqslant 16TQ$；

⑤$IPT = 3/BRP$；⑥$ITQ \leqslant SJW\min[4TQ, TESG_2]$。

波特率计算公式为

$$\frac{SYSCLK}{(BRP+1)\times[(TESG_1+1)+(TESG_2+1)+1]} \tag{1}$$

例如设计的 CAN 总线波特率为 250 kbps，外接 20 M 晶振，设置锁相环 1.5 倍频，当 $BRP=7$，$TESG_1=10$，$TESG_2=2$ 时，则总线波特率为

$$\frac{20\cdot 10^6\cdot 1.5}{(7+1)\times[(10+1)+(2+1)+1]} = 250\ \text{kbps} \tag{2}$$

波特率初始化必须在配置模式下完成，其余寄存器初始化可以不在配置模式中完成。初始化时位定时配置寄存器保留复位初始值或置 0 时或者总线出错，当 CAN 控制器无法检测到总线空闲时，CAN 模块将不会离开配置模式，所以成功初始化必须：①位定时寄存器参数不能为 0，需设定一个可正常通信的值（23.4 kbps < 波特率 < 1 Mbps）；②改变模式时总线空闲。

最后，如果要使用中断，还需要对相应的中断进行设置。PIE 用来管理片上外设和外部引脚引起的中断请求。F28x 有 96 个外设中断，为分 12 组，每组 8 个片上外设中断请求。每组输出一个中断信号给 CPU，即 PIE 的输出的 INT_x（$x=1,2,\cdots,12$）对应 CPU 中断输入 $INT_1 \sim INT_{12}$。每个中断源对应一个中断向量（对应的中断服务程序 ISR 的入口地址），eCAN 两种中断可选取两条中断线 $GMIF_0$ 或 $GMIF_1$ 中任意一条实现，它们同使用 CPU 的 INT_9 中断，eCAN0INT 中断号为 100，eCAN1INT 中断号为 101，初始化清除 INTM 位使 CPU 中断全局使能以及使能 CAN 模块中断线 IER | = 0x0100。

系统初始化 C 语言程序如下：

```
asm("EALLOW");//EALLOW 保护寄存器/*使能 CAN 外设的系统时钟*/
SysCtrlRegs. PCLKCR. all =0x4000;
            /*设置 PLL 时钟倍频比例系数为 1.5*/
SysCtrlRegs.  PLLCR. bit. DIV =0x 0003;
            /*延迟等待锁相环时钟模块稳定*/
for(i =0;i <100000;i ++){asm("NOP");}
            /*使能 CAN 收发脚 CANTX 和 CANRX*/
GpioMuxRegs. GPFMUX. bit. CANTXA _ GPIOF6 =1;
GpioMuxRegs. GPFMUX. bit. CANRXA _ GPIOF7 =1;
            /*eCANI/O 制方向寄存器使能 CAN 发收*/
ECanaRegs. CANTIOC. bit. TXFUNC =1;
ECanaRegs. CANRIOC. bit. RXFUNC =1;
            /*选择标准 CAN 控制器(SCC)模式*/
ECanaRegs. CANMC. bit. SCB =0;
            /*消息控制寄存器所有位必须初始化为 0*/
ECanaMboxes. MBOX0. MSGCTRL. all =0x00000000;
                ⋮
ECanaMboxes. MBOX31. MSGCTRL. all =0x00000000;
            /*清所有发送请求、接收消息未决和中断*/
ECanaRegs. CANTA. all =0xFFFFFFFF;
ECanaRegs. CANRMP. all =0xFFFFFFFF;
ECanaRegs. CANGIF0. all =0xFFFFFFFF;
ECanaRegs. CANGIF1. all =0xFFFFFFFF;
            /*在配置模式下设置位定时参数*/
ECanaRegs. CANMC. bit. CCR =1;
            //CCR 置,并等待 CCE 位被置位
while(ECanaRegs. CANES. bit. CCE! =1){}
            //BRP =7,TESG1 =10,TESG2 =2
ECanaRegs. CANBTC. bit. BRPREG =7;
ECanaRegs. CANBTC. bit. TSEG1REG =10;
ECanaRegs. CANBTC. bit. TSEG2REG =2;
```

维普资讯 http://www.cqvip.com


```
ECanaRegs. CANMC. bit. CCR = 0;
            //CCR 清 0//等待 CCE 位被清 0
while( ECanaRegs. CANES. bit. CCE == ! 0) { }
ECanaRegs. CANME. all = 0; //禁止所有邮箱
```

2.2.2　数据发送程序

以邮箱 5 为例发送 ID 为 718 的标准帧，发送数据为0123456789abcdef，图 3 所示显示了由自行研发的串

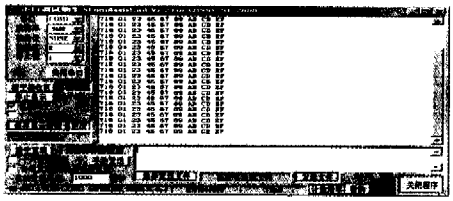

图 3　串口调试助手接收到的报文显示

Fig. 3　Reporter display received by serial port tuning assistant

口调试助手从 CAN 总线信息系统接收到的报文情况，串口接收到441 810 个字符，每 30 个字符为一帧数据，因此可计算得到 loopcount = 441 810/30 = 14 727，与 ccs 变量观察窗口所得数据相符，表明指定 ID 的数据发送成功。

```
ECanMboxes. MBOX5. MSGID. all = 0x1C600000;
            /*邮箱消息标识符 718*/
            /*配置邮箱 5 为发送邮箱，并使能*/
ECanaShadow. CANMD. all = ECanaRegs. CANMD. all;
ECanaShadow. CANMD. bit. MD5 = 0;
ECanaRegs. CANMD. all = ECanaShadow. CANMD. all;
ECanaShadow. CANME. all = ECanaRegs. CANME. all;
ECanaShadow. CANME. bit. ME5 = 1;
ECanaRegs. CANME. all = ECanaShadow. CANME. all;
            /*规定发送数据字节为 8 个字节，写数据*/
ECanaMboxes. MBOX5. MSGCTRL. bit. DLC = 8;
ECanaMboxes. MBOX5. MDL. all = 0x01234567;
ECanaMboxes. MBOX5. MDH. all = 0x89abcdef;
for( ; ; )/*循环发送*/
            { //置位发送请求位，请求一次发送
ECanaShadow. CANTRS. all = 0;
ECanaShadow. CANTRS. bit. TRS5 = 1;
ECanaRegs. CANTRS. all = ECanaShadow. CANTRS. all;
            //等待发送响应置位
while( ECanaRegs. CANTA. bit. TA5 = = 0) { }
ECanaShadow. CANTA. all = 0;
ECanaShadow. CANTA. bit. TA5 = 1;
            //成功发送后，CPU 置 1 清除该标志
ECanaRegs. CANTA. all = ECanaShadow. CANTA. all;
loopcount + + ;          //发送帧次数自增
}            //下次循环
```

2.2.3　数据接收程序

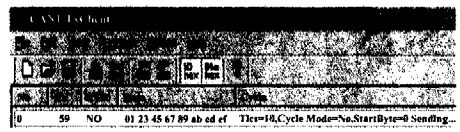

图 4　发送指定 ID 和数据界面

Fig. 4　Interface of sending specified ID and data

以邮箱 3 为例接收 ID 为 159 的 8 位数据 0123456789abcdef，图 4 所示为用周立功 CAN 分析仪发送指定 ID 和数据，图 5 所示的 CCS 变量窗口显示了邮箱 3 接收情况，可以完好地接收。

Name	Value	Type	Radix
RXCOUNT	251464509	Long	dec
ECanaMboxes.MBOX3.MDL..all	0×01234567	unsigned long	hex
ECanaMboxes.MBOX3.MDH.all	0×89ABCDEF	unsigned long	hex

图 5　CCS 变量窗口显示邮箱 3 接收情况

Fig. 5　CCS variable window displays receiving status of mail box 3

```
//设置邮箱 3 接收 ID 为 159
ECanaMboxes. MBOX3. MSGID. all = 0x05640000;
//设置邮箱 3 为接收邮箱，并使能
ECanaShadow. CANMD. bit. MD3 =
ECanaRegs. CANMD. bit. MD3;
ECanaShadow. CANMD. bit. MD3 = 1;
ECanaRegs. CANMD. bit. MD3 =
ECanaShadow. CANMD. bit. MD3;
ECanaShadow. CANME. bit. ME3 =
ECanaRegs. CANME. bit. ME3;
ECanaShadow. CANME. bit. ME3 = 1;
ECanaRegs. CANME. bit. ME3 =
ECanaShadow. CANME. bit. ME3;
for( ; ; ) { //循环接收
while( ECanaRegs. CANRMP. bit. RMP3 ! = 1);
//等接收 RMP3 标志位置位，并清除置位
ECanaRegs. CANRMP. bit. RMP3 = 1;
RXCOUNT + + ; //接收的数据帧次数
} //等待下一帧数据到来，循环重新开始
```

3　TMS320F2812 eCAN 调试技巧

① F2812 软件结构与 F2407A 相比有了较大变化，由于有的寄存器必须以 32 位进行读写，有的可按位也可 32 位整体读写，在 C 语言中采用结构体和联合体的方式可以很好地解决这个问题。通过成员运算符

维普资讯 http://www.cqvip.com

“·”直接对某些位进行置位和清除操作，间接实现寄存器的位操作。通过这种结构体的方式对那些必须使用32位访问的寄存器，也可以实现对某些位进行操作。方法是先将一个32位的临时变量读入要设定的寄存器，然后对寄存器需要设定的位在临时寄存器中进行相应位设置，最后把设置好的临时变量赋给指定寄存器即可；

② 在没有标准节点与之通信前，可以运行自测试程序进行调试，如果自测试通过，则表示硬件没有问题，如果无法通过，应检查硬件设计及电路板布板焊接、元器件型号及取值有没有问题等，逐一排除。注意接口电压必须是3.3 V，不隔离请选用3.3 V收发器，隔离请注意电压匹配。图6为自测试时CCS变量观察窗口情况，接收邮箱的数据错误ErrorCount为0，自发的数据可以完全正确接收，可通过自测试，硬件正常；

Name	Value	Type	Radix
ErrorCount	0	unsigned Long	unsigned
TestMbox3	0×9555AAAF	unsigned Long	hex
TestMbox2	0×89ABCDEF	unsigned Long	hex
TestMbox1	0×9555AAAF	unsigned Long	hex

Watch Locals　Watch 1

图6　自测试时CCS变量观察窗口

Fig.6　CCS variable viewing window at self-test

③ 发送信号没有被完好接收端接收时，eCAN控制器在ACK Slot期间检测不到应答信号，会自动不停地重新发送信息。所以没有正常标准节点来接收信号时，发送端不停发送信号，即使在CCS中停止运行软件也没用，除非复位CPU，否则eCAN控制器仍然独立发送；

④ 接收时注意屏蔽位和对应接收邮箱ID号的设置，ID号大的优先权高。节点不很多的情况下一般使用中断接收，在中断服务程序中设置标志位flag，在主程序中合理使用flag，便于分析问题并简化流程。在节点太多，收发速率很高的情况下，会不停地中断，会使程序混乱，并可能造成信息丢失。实验和仿真都发现，当总线负载率 > 30%时，总线通信会出现错误，稳定可靠通信时，总线负载不应 > 30%，这也是做项目过程中把通信速率由500 kbps改为250 kbps的原因。另外，进中断后要关总中断，出中断服务程序时使能总中断，以免中断出错。中断服务程序应尽量短，以便处理其他中断。与SJA1000控制器读中断自动清除不同，F2812接收中断必须软件清除中断；

⑤ 自测试通过后，可以用两块相同的板子进行对等通信，单收单发或相互发送接收。如果不成功，请检查波特率设置是否完全一致，波特率必须完全相同，120 Ω总线端电阻也是必须的，且CANH、CANL、CGND必须对应连接，CANH，CANL是不能交换的；

⑥ 在实际应用中，所有寄存器包括eCAN邮箱分配初始化，并不放在发送和接收程序中，按应用层协议进行规范化设置发送和接收邮箱的ID号以及接收屏蔽，在以后使用中不做改动，在主程序中根据实际情况按流程进行发送和接收操作。

4　结束语

当今DSP技术发展突飞猛进，性价比不断提高，在控制等领域的应用必将日益广泛。本设计从选型到研制调试，都基于电动汽车的实际应用要求，所设计的混合动力汽车能量总成控制系统运行稳定可靠，已成功应用于湖南省“十五”计划重点攻关项目“长丰集团CFA6470HEV混合动力汽车”。

参考文献

1　张卫宁编译. TMS320C28X系列DSP的CPU与外设[M]. 北京：清华大学出版社，2005.

2　徐　华. DSP内嵌式CAN控制器节点设计与应用[J]. 湖南工程学院学报，2002，(9).

3　吴　俊，刘和平. 基于TMS320F2812内嵌eCAN模块的CAN总线通信[J]. 电子设计应用，2003，(10).

湖南省“十五”科技计划重大专项资助课题项目（编号：02GKY1003）。

收稿日期：2005－08－24。

第一作者杨辉前，男，1980年生，现为湖南大学在读硕士研究生；主要从事电动汽车控制系统关键技术的研发。

（上接第27页）

在后续的工作中，可以实现多种编解码算法，以支持更多类型如MP3、WMA、rm等音频文件的播放。

参考文献

1　Samsung Electronics. S3C2410X32bits RISC Microprocessor User's Manual[M]. 2003.

2　Philips Semiconductors[M]. UDA1341TS Datasheet，2002.

3　Labrosse Jean J，邵贝贝译. 嵌入式实时操作系统μC/OS-II[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2003.

4　杜春雷. ARM体系结构与编程[M]. 北京：清华大学出版社，2003.

收稿日期：2005－08－08。

第一作者乐燕芬，女，1978年生，2004年毕业于中国科学院声学研究所，获硕士学位，助教；主要研究方向为信号处理和嵌入式多媒体应用。