

文章编号:1007-2780(2015)01-0070-07

S3C2440A 在步进电机控制机器人机交互中的应用

徐正平*,许永森
(中国科学院航空光学成像与测量重点实验室
中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘要:为实现步进电机控制器系统升级,深入探讨了 S3C2440A 在步进电机控制机器人机交互接口中的应用。S3C2440A 内部具有专用的触摸屏接口和 LCD 控制器,可方便实现与触摸屏和 LCD 的无缝连接。在介绍步进电机控制器结构的基础上,给出了 S3C2440A 与触摸屏和 LCD 的接口电路,并对其应用程序设计进行了详细分析。通过等待中断模式和 X/Y 坐标连续转换模式的结合实现触摸屏触点信息的采集,并介绍了触摸屏的三点校正方法,最后给出了示例代码。以 320×240 TFT LCD 为例,对 LCD 控制器的时序、缓冲区设置和显示数据格式进行了详细分析,同样给出了应用程序代码。最后,完成了系统运行实验。实验结果表明,S3C2440A 与触摸屏和 LCD 接口方便,采用该结构可简化硬件系统设计,并减轻系统运行负荷。整个系统运行可靠。

关 键 词:人机交互;步进电机控制器;触摸屏;液晶显示器

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/JYXS20153001.0070

Application of S3C2440A in human-computer interaction of stepping motor controller

XU Zheng-ping*,XU Yong-sen
(*Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033,China*)

Abstract: In order to upgrade the stepping motor controller, the application of S3C2440A in human-computer interaction of stepping motor controller was discussed in detail. The special touch-screen interface and LCD controller in S3C2440A could connect with touch-screen and LCD directly. Based on introducing the architecture of stepping motor controller, circuits among S3C2440A, touch-screen and LCD were given, and related application programming design was analyzed deeply. The information of touched point on touch-screen was sampled by combining interrupting mode and X/Y coordinate sequential conversion mode, meanwhile three-points calibration method was introduced. At last, sampling codes were given. The scheduling, buffer setting and displaying data format of LCD controller were analyzed based on 320×240 TFT LCD. Also, the applied programming codes were given. At last, the above codes were executed in practical system. Result shows that connection between

收稿日期:2014-05-18;修订日期:2014-06-22.
基金项目:吉林省科技发展计划资助项目(No. 20140520114JH);中国科学院航空光学成像与测量重点实验室开放基金(No. Y2HC1SR12B)
* 通信联系人,E-mail:xuzp090@163.com

S3C2440A, touch screen and LCD is convenient. So the hardware-design and load of the system could be predigested with this architecture. This system runs well in the application.

Key words: human-computer interaction; stepping motor controller; touch-screen; liquid crystal display

1 引 言

人机交互系统^[1-2]便于操作人员实时控制设备运行,而其显示^[3]窗口能实时向操作人员提供系统运行状态信息,多数设备均提供了人机交互接口。早期通用步进电机控制器采用阵列式键盘和黑白点阵式 LCD 作为人机交互设备,主控芯片采用单片机。单片机通过阵列扫描获取用户按键信息,并根据欲显示信息向 LCD 发送数据及相应的控制信号。为减轻单片机工作负荷,通常采用单片机配合 CPLD 实现人机交互,单片机主要完成系统级功能实现,键盘扫描和 LCD 时序控制则由 CPLD 完成。目前,彩色 LCD 和触摸屏组成的人机交互接口在消费电子、工业控制、汽车电子、医疗电子、航空航天等各个领域得到了广泛的应用^[4-8]。随着电子产业的不断发展,高性能微处理器的价格在不断降低,且用户对产品性能要求越来越高,普通单片机已无法满足系统要求。

本系统采用高性能 ARM9 控制器 S3C2440A^[9]作为主控芯片,其片内 LCD 控制器和触摸屏接口可分别实现与 LCD 和触摸屏的无缝连接,简化了主控芯片工作负荷,同时增强了系统可靠性。本文在介绍步进电机控制器结构的基础上,对 S3C2440A 与触摸屏和 LCD 的接口电路及应用程序代码进行了详细分析,并进行了实际系统运行测试。最后给出了实验结果。

2 步进电机控制器系统设计

通用步进电机控制器结构框图如图 1 所示。系统主控制器选用 S3C2440A,其为基于 ARM920T CPU 内核、主频高达 400 MHz、具有 16 位/32 位精简指令集结构的嵌入式微处理器,片上包含有丰富的外设资源,如:定时器、RTC、DMA 控制器、LCD 控制器、UART、ADC 和触摸屏接口、看门狗定时器、IIC 和 IIS 总线接口、AC97 接口、USB 主机和器件接口、SD 主机接口、SPI 接口和摄像头接口。

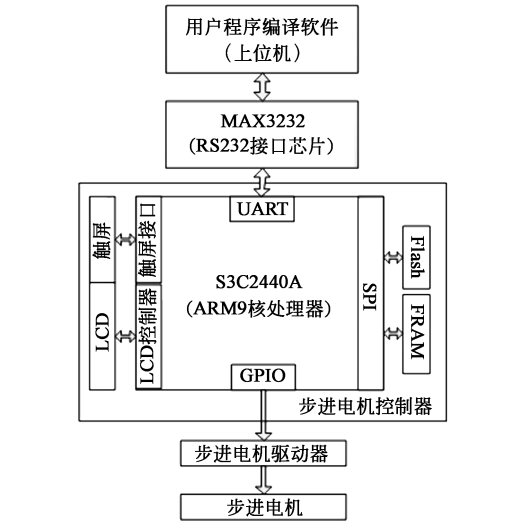


图 1 步进电机控制器结构框图
Fig. 1 Structural sketch of stepping motor controller

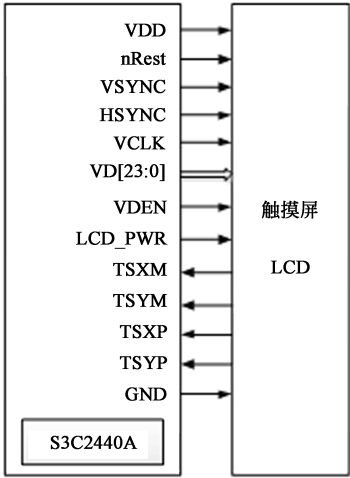


图 2 S3C2440A 与触摸屏接口电路
Fig. 2 Circuit between S3C2440A and touch-screen

步进电机控制器具有似于汇编语言的独立指令系统。与步进控制器同时使用的还有上位机用户程序编译软件,该软件对用户程序代码进行编码,读取用户自定义图像数据或寄存器参数,并通过串行总线将上述信息传送给步进电机控制器。步进电机控制器将接收到的信息存储在 Flash 中。在系统运行时,主控芯片 S3C2440A 读取、解

译并执行用户程序。主控芯片 S3C2440A 通过触屏按键接口读取用户按键信息,依据应用程序将运行过程中的数据信息和提示信息发送给 S3C2440A 片内 LCD 控制器,由其产生相应控制信号控制 LCD 显示。S3C2440A 与触摸屏接口电路如图 2 所示。

图 2 中,VSYN、HSYN、VCLK、VD[23:0]、VDEN 和 LCD_PWR 为 LCD 接口信号;TSXM、TSYM、TSXP、TSYP 为触摸屏接口信号,后续将给出信号的详细说明。

本文将对触摸屏和 LCD 等接口的程序设计进行详细介绍。

3 触摸屏接口设计

S3C2440A 内部集成有 4 线制电阻式触摸屏接口,当有触点按下时,可通过 ADC 读取相应触点的坐标值。S3C2440A 触摸屏接口具有 4 种工作模式:常规转换模式、X/Y 坐标单独转换模式、X/Y 坐标连续转换模式和等待中断模式。在实际应用中,常用的两种模式为:X/Y 坐标连续转换模式和等待中断模式,以下给出具体应用方式。

触摸屏接口等待中断模式分为下降沿等待中断模式和上升沿等待中断模式,ADCTSC[8]=0/1 分别对应下降沿/上升沿中断模式。在等待中断模式下,上拉开关应该处于使能模式,即 ADCTSC[3]=0;在转换模式下,上拉开关应处于关闭模式,即 ADCTSC[3]=1。系统初始化时,设置触摸屏接口为下降沿等待中断模式,且打开上拉使能开关。当有触点按下时,触摸屏接口向 CPU 发送中断信号。在触摸屏接口中断服务子程序中,设置上拉开关为关闭模式,同时设置触摸屏接口为 X/Y 坐标连续转换模式,并启动 ADC 转换。在 ADC 转换完成后,触点 X 轴和 Y 轴结果分别保存在 ADCDAT0 和 ADCDAT1 的低 10 位中。读取上述寄存器获取触点 X 轴和 Y 轴坐标。在通常应用系统中,需等待触笔抬起才能进行后续操作。为实现该功能,需设置触摸屏接口为上升沿等待中断模式,且打开上拉使能开关。系统查询中断状态标志位 SUBSRCPND[9]以判断触笔是否抬起。在触笔抬起后,为保证下次触摸屏触点按下时能够正确处理,在触摸屏接口中断服务子程序返回前,还需再次将触摸屏接

口设置为下降沿等待中断模式,并打开上拉使能开关。触摸屏接口中断服务子程序程序示例代码如下:

```
void __irq AdcTsAuto_ISR(void)
{
    //上拉关闭,X/Y 坐标连续转换模式
    rADCTSC=(1<<3)|(1<<2);
    //启动 ADC 转换
    rADCCON|=0x1;
    //等待 ADC 转换开始
    while(rADCCON & 0x1);
    //等待 ADC 转换结束
    while(!(rADCCON & 0x8000));
    //等待 ADC 转换中断标志置位
    while(!(rSRCPND & ((U32)0x1<<31)));
    //读取转换结果
    xdata=(rADCDA0&0x3ff);
    ydata=(rADCDA1&0x3ff);
    //清除中断标志
    rSUBSRCPND |= (0x01<<9);
    rSRCPND |= (0x01<<31);
    rINTPND |= (0x01<<31);
    rINTSUBMSK=~(0x1<<9);
    rINTMSK=~(0x1<<31);
    //设置为上升沿等待中断模式
    rADCTSC = 0x1D3;
    rADCTSC |= (0x01<<8);
    //等待触笔抬起
    while(!(rSUBSRCPND & (0x01<<9)));
    //清除中断标志
    rSUBSRCPND|= (0x01<<9);
    rINTSUBMSK=~(0x1<<9);
    rSRCPND = rSRCPND | (0x01<<31);
    rINTPND = rINTPND | (0x01<<31);
    //设置为下降沿等待中断模式
    rADCTSC = 0xd3;
}
```

通常情况下,触摸屏和 LCD 配合使用。在使用触摸屏时,应保证触摸屏上触点的物理坐标与 LCD 像素点坐标一一对应,因此,需要进行触摸屏的校正。设 LCD 上每个像素点的坐标为 $(X_d,$

Y_d),对应触摸屏上触点的坐标为 (X_t,Y_t) ,则两者存在以下关系式:

$$\begin{cases} X_d = a \cdot X_t + b \cdot Y_t + c \\ Y_d = d \cdot X_t + e \cdot Y_t + f \end{cases}$$

触摸屏的校正即求取上式中的 $a、b、c、d、e、f$ 。通常采用 3 点校正,即指定 LCD 屏幕上 3 个坐标点,其坐标值分别为 $(X_{d1},Y_{d1})、(X_{d2},Y_{d2})、(X_{d3},Y_{d3})$,操作人员顺次点击上述三点,获取对应触点坐标值 $(X_{t1},Y_{t1})、(X_{t2},Y_{t2})、(X_{t3},Y_{t3})$,由此可列写 6 个方程,通过 6 个方程求取触摸屏校正所需的 6 个参数。

4 LCD 接口设计

S3C2440A 内部的 LCD 控制器可实现与 STN LCD 和 TFT LCD 的无缝连接,支持屏幕实际大小有 $640 \times 480、320 \times 240、160 \times 160$ 等。在与 STN LCD 连接时,支持单色、4 级/16 级灰度和 256 级/4 096 级彩色,可实现 4 位双扫描、4 位单扫描、8 位单扫描 LCD 显示,在 256 级彩色模式下,虚拟屏幕尺寸可达 $4\,096 \times 1\,024、2\,048 \times 2\,048、1\,024 \times 4\,096$ 等。在与 TFT LCD 连接时,可支持 1 位、2 位、4 位、8 位、16 位及 24 位彩色显示,在 16 位真彩色模式下,支持的最大虚拟屏幕尺寸可达 $2\,048 \times 1\,024$ 等。以下以 TFT LCD 为例进行详细介绍。

应用 S3C2440A 内部的 LCD 控制器的关键是完成时序配置和缓冲地址设置。LCD 控制器与外部 TFT LCD 连接信号主要包括垂直同步信

号 VSYNC、水平同步信号 HSYNC、像素时钟 VCLK、数据信号 $VD[23:0]$ 、数据使能信号 VDEN,其时序关系图如图 3 所示。

图 3 中,VSPW、VBPD、VFPD、LINEVAL、HSPW、HBPD、HFPD、HOZVAL 用于设置时序。VSPW、VBPD、LINEVAL、VFPD 单位为水平同步脉冲数;HSPW、HBPD、HOZVAL、HFPD 单位为像素时钟数。LCD 控制器输出的各驱动信号极性也可编程设置,具体通过 LCDCON2~LCDCON5 设置。依 LCD 型号,定义相关参数如下:

```
#define CLKVAL 4
#define VSPW 1
#define VBPD 1
#define VFPD 5
#define LINEVAL 319
#define HSPW 5
#define HBPD 36
#define HFPD 19
#define HOZVAL 239
#define LCD_XSIZE 240
#define LCD_YSIZE 320
#define BSWP 0
#define HWSWP 1
#define M5D(n) ((n) & 0x1FFFFFF)
```

在与彩色 TFT LCD 连接时,模式可分为 24 bpp 和 16 bpp 模式。在 24 bpp 模式下,BPP24BL(LCD-CON[5])用于决定内存中字节有效位;在 16 bpp 模式下,HWSWP(LCDCON[0])用于决定内存中字节存放次序,具体如表 1 所示。

表 1 中, P_i 表示第 i 个像素值; $P_iR、P_iG、P_iB$ 分别表示第 i 个像素 R、G、B 分量值。

在 16 bpp 模式下,有两种数据格式可选:5:6:5 和 5:5:5:1,由位 FRM565(LCDCON[11])决定:当 $FRM565=1$ 时选择 5:6:5 格式;当 $FRM565=0$ 时选择 5:5:5:1 格式。在 5:6:5 格式下, $D[15:11]、D[10:5]、D[4:0]$ 分别存储某一像素的 $R[4:0]、G[5:0]、B[4:0]$;在 5:5:5:1 格式下, $D[15:11]、D[10:6]、D[5:1]、D[0]$ 分别存储某一像素的 $R[4:0]、G[4:0]、B[4:0]$ 和 I 位。

在应用 LCD 控制器时,另一需要设置的为显示缓冲区地址。可在 S3C2440A 内部开辟虚拟显示区域,当虚拟显示区大于 LCD 实际显示区时,通过改变显示缓冲区地址来显示特定区域,虚拟显示区和实际显示区关系图如图 4 所示。

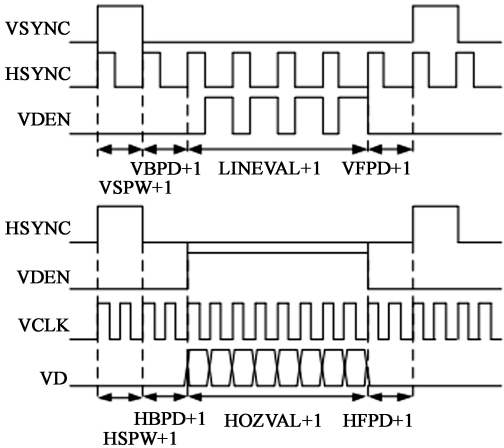


图 3 TFT LCD 时序图

Fig. 3 Scheduling of TFT LCD

表 1 各模式下数据存放格式
Tab. 1 Data format in several modes

模式	设置	地址	D[31 : 24]	D[23 : 16]	D[15 : 8]	D[7 : 0]
24 bpp	BSWP=0 HWSWP=0	0x00	xx	P1R[7 : 0]	P1G[7 : 0]	P1B[7 : 0]
		BPP24BL=0 0x04	xx	P2R[7 : 0]	P2G[7 : 0]	P2B[7 : 0]
		0x08	xx	P3R[7 : 0]	P3G[7 : 0]	P3B[7 : 0]
	BPP24BL=1	0x00	P1R[7 : 0]	P1G[7 : 0]	P1B[7 : 0]	xx
		0x04	P2R[7 : 0]	P2G[7 : 0]	P2B[7 : 0]	xx
		0x08	P3R[7 : 0]	P3G[7 : 0]	P3B[7 : 0]	xx
16 bpp	BSWP=0 BPP24BL=0	0x00	xx	xx	P1	P2
		HWSWP=0 0x04	xx	xx	P3	P4
		0x08	xx	xx	P5	P6
	HWSWP=1	0x00	xx	xx	P2	P1
		0x04	xx	xx	P4	P3
		0x08	xx	xx	P6	P5

图 4 中,OFFSIZE 为偏移量;PAGEWIDTH 为实际显示区域宽度;LCDBASEU 为显示缓冲区起始地址;LCDBASEL 为显示缓冲区结束地址。从图 4 可以看出,LCDBASEU 和 LCD-BASEL 满足以下关系式:

$$LCDBASEL = LCDBASEU + (PAGEWIDTH + OFFSIZE) \times (LINEVAL + 1)$$

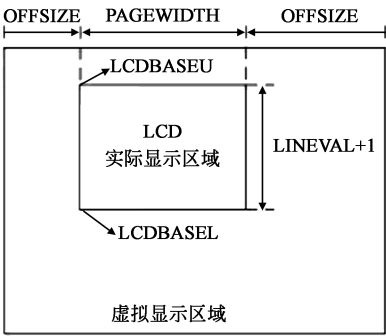


图 4 虚拟显示区和实际显示区关系图
Fig. 4 Relationship between virtual display and actual display

在实际应用中,可将虚拟显示区域和实际显示区域设置为同等大小,此时偏移量 OFFSIZE 即为 0。LCD 初始化代码如下:

```
static void LCD_Init(void)
{
    // 16bpp TFT LCD,关闭 LCD
```

```
    rLCDCON1=(CLKVAL<<8)|(1<<7)|
    (3<<5)|(12<<1)|0;
    //设置 LCD 驱动时序
    rLCDCON2=(VBPD<<24)|(LINEVAL
    <<14)|(VFPD<<6)|(VSPW);
    rLCDCON3=(HBPD<<19)|(HOZVAL
    <<8)|(HFPD);
    rLCDCON4=(MVAL<<8)|(HSPW);
    //数据格式为 5 : 6 : 5,设置 LCD 驱动信
    号// 极性,// Half-word Swap 模式
    rLCDCON5=(0xF08)|(BSWP<<1)|
    (HWSWP);
    //设置缓冲区地址
    rLCDSADDR1=((U32)LCDBUF>>22)
    <<21|M5D((U32)LCDBUF>>1);
    rLCDSADDR2=M5D(((U32)LCDBUF+
    LCD_XSIZE * LCD_YSIZE)>>1);
    //全屏显示,偏移量为 0
    rLCDSADDR3=LCD_XSIZE;
    //屏蔽 LCD 中断源
    rLCDINTMSK|=(3);
    //关闭内部专用 LCD 驱动器
    rTCONSEL&=~((1<<4)|1);
    rTPAL=0;
```

```
//打开 LCD
rLCDCON1|=1;
}
```

在系统运行过程中,首先需将欲显示图片按照显示格式要求存储为 5 : 6 : 5 16 bpp 模式,并将数据数组中的数据放置在 LCDBUF 指定位置即可,示例代码如下:

```
void ShowBmp(int x0,int y0,int h,int l,
uchar * bmp){
    int x,y,p = 0;
    U32 c;
    for( y = 0; y <l; y++){
        for( x = 0; x <h; x++){
            c = bmp[p+1] | (bmp[p]<<8);
            if (((x0+x) < SCR_XSIZE) &&
                ((y0+y) < SCR_YSIZE))
                LCD_BUFFER[y0+y][x0+x] = c;
            p = p + 2 ;
        }
    }
}
```

上述代码含义是从(x0,y0)开始显示大小为 h×l 的图片,图片数据缓冲区数组名为 bmp。

5 实验结果

实际采集到的系统开机界面如图 5 所示。
为正确获取用户按键信息,首先需在屏幕上显示按键图标,做法是先用画图软件制作图标,然后经格式转换获取对应数组,然后更新 LCD 缓冲区数据,实现键盘图标显示。由于键盘图标显示位置已知,当用户按下触摸屏时,通过程序获取触点坐标,经校正获取对应 LCD 屏幕上像素点位置,之后判断该位置是否在某一

按键显示区域内,以获取按键值,并确定后续程序运行。系统运行过程中的显示界面如图 6 所示。

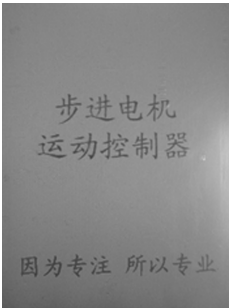


图 5 系统开机界面显示结果

Fig. 5 Displaying result of opening interface

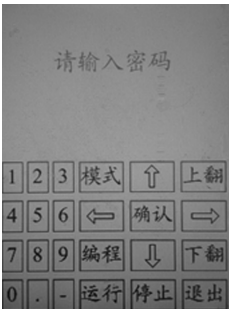


图 6 运行界面显示结果

Fig. 6 Displaying result of system running interface

6 结 论

以 S3C2440A 为核心,实现了步进电机控制器系统人机交互接口的升级。S3C2440A 片内集成的触摸屏接口和 LCD 控制器可实现与触摸屏和 LCD 的无缝连接。采用该方案,可大大简化系统设计,并减轻系统运行负荷。实验测试结果表明:系统方案合理,运行可靠。

参 考 文 献:

[1] 熊根良,陈海初,梁发云,等.物理性人-机器人交互研究与发展现状[J].光学精密工程,2013,21(2):356-370.
Xiong G L, Chen H CH, Liang F Y, et al. Research and development statue of physical human-robot interaction [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(2):356-370. (in Chinese)
[2] 吴迪,曹洁,王进花.基于自适应高斯混合模型与静态动态听觉特征融合的说话人识别[J].光学精密工程,2013,21(6):1598-1604.
Wu D, Cao J, Wang J H. Speaker recognition based on adapted Gaussian mixture model and static and dynamic auditory feature fusion [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(6):1598-1604. (in Chinese)

- [3] 丁柏秀, 郑喜凤, 陈宇, 等. 发光二极管显示屏 CCD 图像的修正[J]. 光学精密工程, 2013, 21(5): 1318-1325.
Ding B X, Zheng X F, Chen Y, *et al.* Revision of LED display images acquired by CCD camera [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(5): 1318-1325. (in Chinese)
- [4] 郭星, 刘政怡, 李炜, 等. 一种大屏幕人机交互系统的实现方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(1): 176-179.
Guo X, Liu Z Y, Li W, *et al.* Implementation method of human-computer interaction system with large screen [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48(1): 176-179. (in Chinese)
- [5] 林贺盛. 针织圆纬机数控平台人机交互单元设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.
Lin H S. Design of human-computer interaction unit of circular knitting machine CNC platform [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012. (in Chinese)
- [6] 裴鸿刚. 基于 ARM 的服务机器人人机交互界面的设计与实现[D]. 广州: 暨南大学, 2012.
Pei H G. The human-machine interface of a service-robot based on ARM: design and application [D]. Guangzhou: Jinan Univeristy, 2012. (in Chinese)
- [7] 邢艳. 精密光栅单色仪控制系统人机交互的实现[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
Xin Y. Development of human-computer interaction for control system of grating homochromatic instrument [D]. Changchun: Jilin Univeristy, 2012. (in Chinese)
- [8] 高静雅. 人机交互中的手势识别技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
Gao J Y. Research on gesture recognition technology in the human-computer interaction [D]. Xi'an: Xidian Univeristy, 2013. (in Chinese)
- [9] SAMSUNG Corporation. S3C2440A 32-Bit Microprocessor User's Manual[R]. Korea: SAMSUNG Corporation, 2009.

作者简介: 徐正平(1983—), 男, 河南许昌人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为计算成像及航空遥感器电子学设计。

E-mail: xuzp090@163.com