

基于 ARM 和 DSP 的嵌入式收获前籽棉分级系统*

王 玲 郑 奎 王超峰
(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 提出了一种嵌入式收获前籽棉分级系统的总体设计方案。嵌入式终端以 ARM(TMS320DM365)为主处理器,以 DSP(TMS320DM6437)为从处理器。在 ARM 上构建 Linux 系统环境,并行执行视频采集和人机交互任务;摄像头采集模拟视频流送解码芯片(TVP5146)解码;同时,在用户界面上实时显示数字视频流,并通过 SPI 向 DSP 发送视频处理请求。DSP 在同步采集视频流的过程中收到请求信号后,对当前帧进行图像分割、特征提取和判别,并将处理结果返回给 ARM。田间试验表明,系统能够以 90.48% 的正确识别率快速地识别籽棉品级。

关键词: 籽棉 分级 嵌入式系统
中图分类号: S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0156-06

Design of Embedded System for Grading of Pre-harvest Cotton
Based on ARM and DSP

Wang Ling Zheng Kui Wang Chaofeng
(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

An embedded system for grading of pre-harvest cotton was designed on overall. ARM (TMS320DM365) was regarded as main processor of the embedded terminal, and DSP (TMS320DM6437) was regarded as slave processor. Linux system environment was built on ARM, and video capture and man-machine interaction were executed in parallel. Simulation video flows were captured by camera and decoded in decoder chip (TVP5146). Digital video flows were displayed real-timely on user interaction interface and the video process request was sent to DSP by SPI. After DSP received the request signal during video flows capture synchronously, the current frame was segmented and discriminated by features extraction, and the result was returned to ARM. Field experiment showed that the system could recognize the grades of raw cottons quickly with an accuracy of 90.48%.

Key words Raw cotton, Grading, Embedded system

引言

中国细绒棉国家标准^[1]规定,根据皮棉的成熟程度、色泽特征和轧工质量,棉花分为 7 个品级,同时,根据籽棉的收获时期、大小、色泽和杂质含量等制定了相应的品级文字标准,可见,棉花品级是棉花的外观和内在质量的综合反映,是棉花交易中结价的主要指标。

我国棉花种植地域辽阔,生产规模呈现多元化

格局,品种多,收获期长,收获过程中,棉农质量意识淡薄,不能始终坚持依据品级条件进行籽棉“四分”(分摘、分晒、分存、分售),轧出皮棉后,棉包一致性差。收购环节中,分级员对照棉花品级实物标准结合品级条件抽样检验成包皮棉的品级,由于采用感官检验,人为误差大,商业检验品级与专家鉴定品级的相符率仅为 47%^[2],在实际掌握上容易形成“重色轻质”的偏向,客观上也为“人情棉”现象提供了方便。目前,大容量棉纤维品质检验仪(HVI900)主

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-08-23
* 国家自然科学基金资助项目(31071565)和江苏省农机基金资助项目(GXZ10007)
作者简介: 王玲,副教授,博士,主要从事检测技术与自动化装置研究,E-mail: Lingw@njau.edu.cn

要用于检验反射率、黄色深度和色特征级等参考指标^[1],它无法区分视觉上相差2~3个品级的高品级棉花,并且对不同品级棉花黄色深度的变化反应迟钝^[3],国内尚无完全符合国情的棉花品级定级仪器。为此,依据籽棉品级文字标准,研制收获前籽棉品级检验仪,在田间抽样检验收获前籽棉的主体品级,可保持籽棉的自然形态,及时、定量地表征感官检验的结果,能够适应棉花品种的多样性,减少掺杂使假事件、棉包一致性差现象,提高棉花品级的相符率,从源头上解决我国棉花收购质量问题。

随着信息化、智能化、网络化的发展,嵌入式技术以其灵活性、兼容性、实时性和可移植性等特点获得了广阔的发展空间^[4]。ARM 微处理器具有比较强的事务管理功能,常用于执行用户界面程序,控制和管理嵌入式系统。数字信号处理器(DSP)通常采用哈佛总线结构,用不同的总线分别存取指令和数据,并具有独特的乘法器,一条指令即可完成乘加运算,可快速地处理大量数据。本文基于 ARM 和 DSP 设计嵌入式收获前籽棉分级系统。

1 硬件构架

嵌入式终端以 ARM9 (TMS320DM365) 为主处理器,以 DSP(TMS320DM6437)为从处理器,还包括视频解码器(TVP5146)、存储器(DDR2 型 SDRAM、Flash)、串口通信接口(SPI)、显示器等(图1)。摄像头采集模拟视频信号,用视频解码器转换成数字视频信号,同时送入 ARM 和 DSP 等待处理。在 ARM 上显示视频信息,通过 SPI 向 DSP 发送视频处理请求,并等待显示处理结果;DSP 收到处理请求信号后进行视频处理,并通过 SPI 向 ARM 返回处理结果。

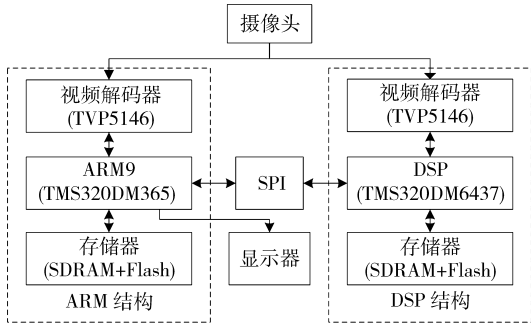


图1 嵌入式终端结构框图

Fig.1 Embedded terminal structure diagram

1.1 视频解码器

TVP5146 是一款多通道视频解码芯片^[5],最多允许输入10路模拟视频信号,具有独立的4路10位A/D转换器(图2)。解码芯片与电源、晶振连接

后,DSP/ARM 通过内部 I²C 总线接口访问、控制其内部寄存器,完成解码芯片的初始化;摄像头采集的模拟视频信号经滤波去噪后送入解码芯片,转换成 YCbCr 数字视频流,在同步信号(SB)的控制下,经并行数据总线(DB)送入 DSP/ARM。

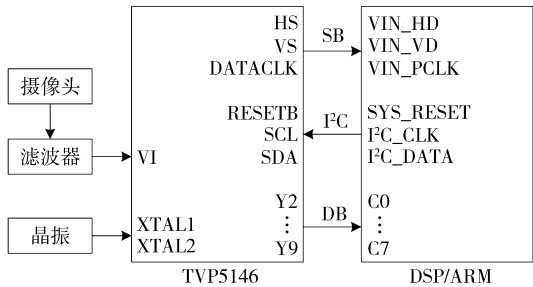


图2 解码器接口示意图

Fig.2 Decoder interface schematic diagram

1.2 双处理器结构

TI 公司开发的达芬奇技术处理器芯片 TMS320DM365 (ARM)^[6] 和 TMS320DM6437 (DSP)^[7]专用于数字媒体和视频应用,具有高性能、低成本等特点。

TMS320DM365 芯片内核以 ARM926EJ-S 为主处理器,以 HDVICP 为 H.264 协处理器,以 MJCP 为 MPEG-4/JPEG 协处理器,ROM 中存储 bootloader, MMU 为操作系统提供虚拟内存并管理页表,CPI5 对 Cache、MMU 等进行配置和控制^[8];利用系统总线连接片上丰富的外围资源(图3)。

TMS320DM6437 芯片内核以第3代超长指令集结构的32位定点 TMS320C64x + DSP 为处理器(主频600 MHz),采用 L1、L2 二级 RAM 结构,部分 RAM 可配置成 Cache,支持8/16位的并行乘加运算,因而运算速度高达4800 MIPS^[9];利用资源交换中心控制丰富的外围接口(图3)。

这两款芯片在专门的视频处理系统中处理视频流(图3)^[10]。摄像头/解码器输出的视频流在 CCD 视频接口(ISIF)的控制下进入视频处理前端,获取 YCbCr 视频流(PIPE),根据同步信号接口的参数配置视频流的尺寸(Resizer),统计视频流信息以获取自动曝光、白平衡和聚焦的参数(H3A)。在视频处理后端,叠加需要显示的视频流等多种信息(OSD-on screen display),根据显示器参数对叠加后的信息编码(VENC)并输出。

1.3 串行接口 SPI

SPI 是一种同步串行外设接口,以串行方式实现主从机之间的全双工通信^[11],一般使用以下4条线通信:串行时钟线(SCLK)、主从机双向数据线(MOSI、MISO)和低电平有效的从机选择线SS。在

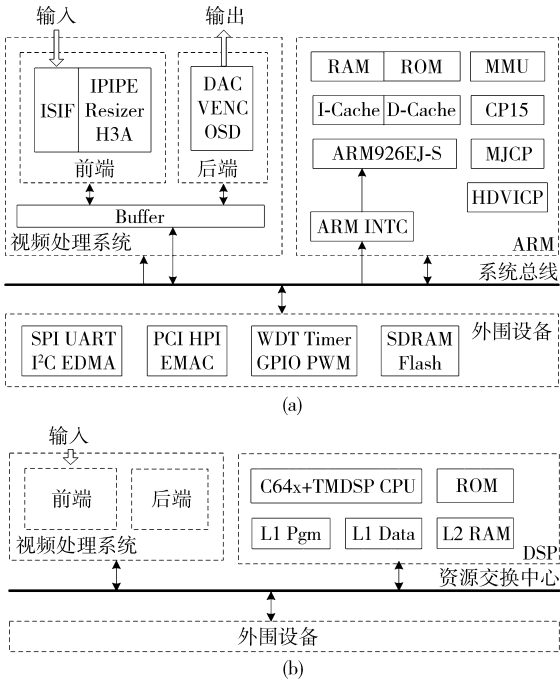


图 3 功能模块框图

Fig. 3 Function block diagram

(a) TMS320DM365 (b) TMS320DM6437

点对点的 ARM 和 DSP 芯片之间的通信中,不需要寻址,因而该接口电路非常简单,数据传输速度比 UART、I²C 快得多(图 4)。

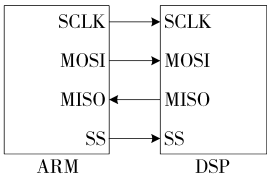


图 4 SPI 接口

Fig. 4 SPI interface

2 系统环境

在 PC 机上搭建嵌入式系统开发平台的具体操作如下:

(1) 安装 Linux 操作系统及其基本服务

在 PC 机上,安装 uBuntu 9.04 操作系统,在操作系统上安装应用程序的交叉编译工具、文件传输服务(TFTP)以及文件共享服务(NFS)(图 5)。

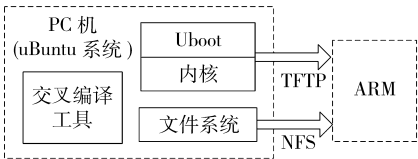


图 5 Linux 操作系统环境

Fig. 5 Linux operation system environment

(2) 编写解码器驱动

调用视频设备驱动程序(V4L-Video 4 Linux)的

底层接口函数(open、read、write、fclose),以便对 ARM 的视频处理系统(VPSS)进行初始化、读取视频流、存入缓冲区、内存释放等操作。

(3) 编译 Uboot 和 Linux 内核

在 PC 机上,编译 Uboot 文件,在基本 Linux 内核中加载解码器驱动、图形界面等应用,重新编译成新内核文件。通过 TFTP 服务将内核文件连同 Uboot 一起烧录到 ARM 的 Flash 中。ARM 加电后,自动加载 Uboot,完成初始化硬件设备等操作,并解压缩、拷贝内核文件到 SDRAM 中以启动操作系统。

(4) 制作文件系统

使用精简的 busybox 工具制作 Linux 文件系统,并通过 NFS 服务挂载到 ARM 上。

3 应用程序设计

启动 ARM 的系统环境,在主进程中执行用户界面程序,显示视频流,并进行人机交互以触发 DSP 进行视频处理。为了不影响用户界面程序的正常执行,用一个线程采集视频流,并返回主进程。

3.1 用户界面程序

在 QT 环境^[12]下设计用户界面(图 6),其基本功能为:从线程中读取视频流并显示;若有“暂停”键,向 DSP 发送读取请求,并显示当前帧;若选择“继续”键,放弃当前帧处理,重新显示视频流;若选择“分级”键,向 DSP 发送处理请求,等待显示处理结果;若再有“继续”键,刚重新显示视频流(图 7)。



图 6 用户界面

Fig. 6 User interface

3.2 视频处理程序

在 CCS 集成开发环境下开发 DSP 视频处理程序,其基本流程为:初始化处理器,以启用 DSP 并执行程序;配置视频处理前端,以采集视频流并存入缓冲区;对有处理请求的当前帧进行处理并返回结果(图 8)。当前帧的处理包括图像分割、特征提取和判别 3 个阶段。

3.2.1 获取籽棉区域

为了适应田间照明不均的场合,并与人眼的色彩感知相吻合,将 YCbCr 当前帧线性变换至 RGB,

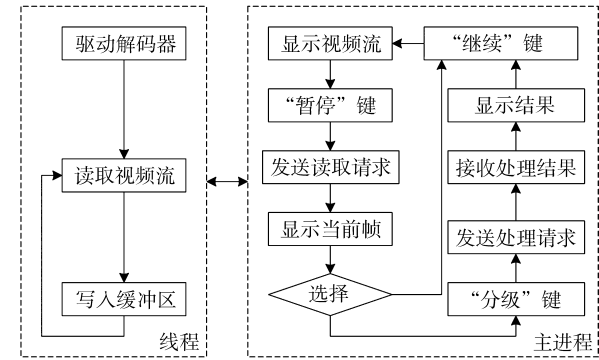


图 7 ARM 用户界面执行流程图

Fig. 7 Flow chart of user interface execution on ARM

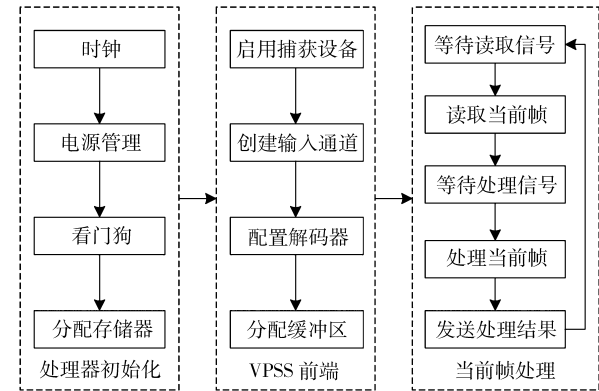


图 8 DSP 视频处理流程图

Fig. 8 Flow chart of video process on DSP

再转换成 HSI,以分离色调 H 、饱和度 S 与亮度 I 。转换公式为

$$\begin{cases} H = \arccos\left(\frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}\right) \\ S = 1 - \frac{3\min\{R, G, B\}}{R + G + B} \\ I = \frac{R + G + B}{3} \end{cases} \quad (1)$$

统计各种白棉、黄染棉、污染棉、僵瓣棉区域以及铃壳、绿叶、根茎、土地等背景区域各 20 000 个像素的颜色分量(图 9)可知,棉花与背景区域的 H 重叠,棉花区域的 $I > 108$ 、 $S < 28$ ^[13],以此为阈值将棉花从复杂背景中分割出来,得到一幅含有背景噪声的二值图。形态学滤波去噪的方法是:标记二值图的连通域,选取合适的结构元素对其进行形态学开运算,以开运算的结果为种子提取标记图中的连通域,获取精确的籽棉区域二值图(图 10)。

3.2.2 提取纹理、形状特征

以籽棉区域二值图为模板提取籽棉彩色图,以去除复杂的自然背景(图 11)。籽棉的基本色调为黄偏红,可用亮度 I 和饱和度 S 表示其白度和黄度,棉花越白, I 越大;棉花越黄, S 越大。为了准确度量

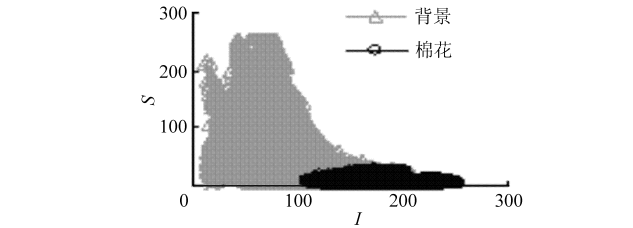


图 9 棉花、背景像素的颜色散点图

Fig. 9 Color scatter plot of pixel of cottons and their background

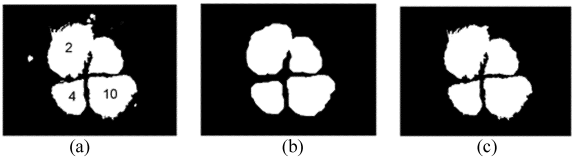


图 10 形态学滤波去噪

Fig. 10 De-noising based on morphological filter

(a) 标记图 (b) 开运算结果 (c) 二值图

籽棉的色泽,应尽可能地模拟室内光照环境,必须进行以下颜色修正: $I + 255 - \max(I)$ 、 $S - \min(S)$ ^[14],使籽棉彩色图的最大亮度和最小饱和度达到标准值($I = 255$ 和 $S = 0$),以去除户外光照噪声的干扰,适应天气的阴晴变化。

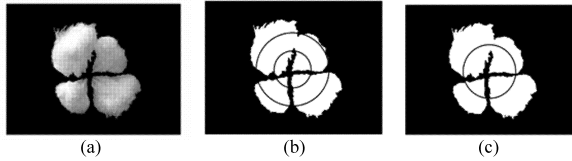


图 11 籽棉区域及其径向切割

Fig. 11 Cotton region by radial cutting

(a) 彩色图 (b) 三等分 (c) 二等分

籽棉的品级越高,则棉瓣越大,白棉越多,黄染棉越少,雨锈、轻霜和僵瓣等污染棉越少^[15]。为了客观地评价籽棉的品级,用 1 个最优特征子集^[14]定量地表征籽棉的白度、黄度、杂质和大小等纹理、形状特性。

基于彩色图的纹理特征有: I 的平滑度、 S 的标准差、 S 的平滑度(图 11),记作 $\{x_1, x_2, x_3\}$ 。

平滑度计算公式为

$$R_r = 1 - 1/(1 + \sigma^2) \quad (2)$$

其中
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 p(z_i)}$$
 (3)

式中 z_i ——灰度 L ——灰度级数

$p(z_i)$ ——灰度级直方图

m ——灰度均值 σ ——灰度标准差

基于二值图的形状特征有:棉瓣数、径向切割区域特征(用 2 个圆径向三等分切割棉瓣,计算外圈面积与中圈面积之比)(图 11)、圆周向切割区域特征(用 1 个圆径向二等分切割棉瓣,计算内圈面积

占其所在圆面积的比例)、计盒维数(以不同尺度 r 的栅格度量籽棉区域,统计栅格数量 $N(r)$,计算线性回归系数),记作 $\{x_4, x_5, x_6, x_7\}$ 。其中,计盒维数

$$D = \ln N(r) / \ln r$$

(4)

3.2.3 品级判别

Fisher 判别函数基于 Bayes 准则利用各类的先验概率、类条件概率密度函数 $p(\boldsymbol{x} | w_i)$ 和 Bayes 公式计算后验概率 $p(w_i | \boldsymbol{x})$,并将变量 $\boldsymbol{x}$ 归入后验概率最大的类别。

$$p(\boldsymbol{x} | w_i) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{u}_i)^T \boldsymbol{s}_i^{-1}(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{u}_i)\right)}{\sqrt{(2\pi)^l |\boldsymbol{s}_i|}}$$

(5)

$$p(w_i | \boldsymbol{x}) = \frac{p(\boldsymbol{x} | w_i)p(w_i)}{\sum_{i=1}^c p(\boldsymbol{x} | w_i)p(w_i)}$$

(6)

式中 $\boldsymbol{u}_i, \boldsymbol{s}_i, p(w_i)$ —— w_i 类的均值、协方差矩阵、先验概率

若 $p(\boldsymbol{x} | w_i)$ 服从多元正态分布,并且各类协方

差同质,可获取 Fisher 线性判别函数。

$$\begin{cases} y_1 = b_{10} + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \cdots + b_{1l}x_l \\ y_2 = b_{20} + b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \cdots + b_{2l}x_l \\ \vdots \\ y_c = b_{c0} + b_{c1}x_1 + b_{c2}x_2 + \cdots + b_{cl}x_l \end{cases}$$

(7)

其中 $\boldsymbol{x} = \{x_1, x_2, \cdots, x_l\}$

$$\boldsymbol{b}_i = \{b_{1i}, b_{2i}, \cdots, b_{ci}\}$$

式中 c ——类别数量

用参与最优特征子集选择的 262 幅籽棉图像^[14]作为训练集(1~7 级样本量为 12、32、27、48、50、41、52),提取其特征集 $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$ 作为判别变量 $\boldsymbol{x}$,假设各变量近似服从多元正态分布,大样本时忽略各类协方差同质性假设,各类取相同的先验概率,基于 Bayes 准则计算 Fisher 线性判别函数的系数(表 1)。

将当前帧中提取的 7 个特征值作为判别变量,输入 Fisher 线性判别函数,并归入函数值最大的类别。

表 1 Fisher 线性判别函数系数
Tab.1 Fisher's linear discriminant function coefficients

系数	y						
	1	2	3	4	5	6	7
b_0	-2 240	-2 164	-2 140	-2 203	-2 155	-2 077	-2 046
b_1	3 922	4 234	4 229	4 049	4 105	4 175	5 077
b_2	80.619	75.661	79.586	88.477	85.379	85.575	84.088
b_3	-347 900	-326 500	-343 600	-382 400	-366 800	-360 200	-363 200
b_4	-9.132	-10.045	-7.368	-9.378	-5.684	-4.966	-5.236
b_5	34.772	26.321	23.051	17.455	19.523	14.480	15.868
b_6	239.706	196.981	215.665	212.248	208.025	214.994	186.157
b_7	1 415	1 408	1 389	1 407	1 390	1 358	1 355

4 田间试验

2010 年秋,在南京农业大学江浦农场苏棉 12 号试验田,分批次请棉花专家标记并评定早、中、晚期收获前籽棉的品级,同时用嵌入式终端进行如下对比试验。将嵌入式终端上的摄像头(分辨率 720×480)对准籽棉正面于 10 cm 处采集视频信息,拍摄时注意避免遮挡物和阴影的干扰。观察用户界面上实时显示的视频流,并进行以下人机交互:单击“暂停”按钮,用户界面定格为当前帧,若捕获的当前帧图像清晰可见(图 6),则单击“分级”按钮,记录显示的品级,再单击“继续”按钮,重新显示视频流;否则直接单击“继续”按钮。对 63 朵籽棉重复以上试验获得了 90.48% 的正确识别率,1~7 级正确识别率分别

为 100%、100%、66.7%、90%、100%、80%、100%,系统易误判中等品级的籽棉(图 12)。

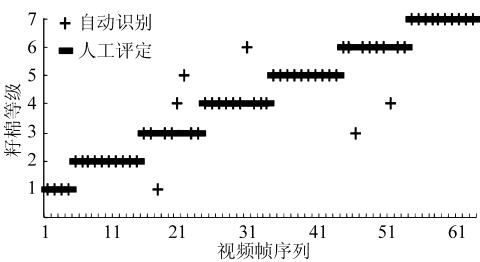


图 12 嵌入式终端与人工分级结果

Fig.12 Grading results of embedded terminal with human

对于其他品种的籽棉,必须参照文献[13~14]中介绍的方法选择 1 个最优特征子集建模,并重新编写视频处理程序烧写入 Flash 中,才能进行田间

试验,以适应棉花品种的多样性。

5 结束语

结合嵌入式技术和视频处理算法,提出了一种基于 ARM 和 DSP 的嵌入式收获前籽棉分级系统的总体设计方案,在嵌入式终端上实现了视频的采集、

解码、显示以及图像处理和模式识别等功能,并在用户界面上显示了视频处理的结果。田间试验表明,系统能够实时地显示视频,并能够以 90.48% 的正确识别率快速地判别籽棉品级,系统易误判中等品级的籽棉,符合人眼的视觉特性。

参 考 文 献

- 1 GB1103—2007 棉花—细绒棉[S]. 2007.
- 2 万少安. 棉花品质调查与分析[J]. 中国棉花加工, 2000(5): 18~21.
- 3 程隆棣. 中国棉花质量检验之路何在[J]. 中国纺织, 2004(8): 75~77.
- 4 苑玮琦, 贾琦. 基于 DM6437 的驾驶员疲劳检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2010(5): 51~53, 55.
Yuan Weiqi, Jia Qi. Driver fatigue detection system based on DM6437[J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(5): 51~53, 55. (in Chinese)
- 5 李永健, 葛友华, 崔治. TMS320DM6437 视频采集系统电路设计[J]. 机电工程技术, 2009, 38(12): 58~60.
Li Yongjian, Ge Youhua, Cui Zhi. Circuit design of TMS320DM6437 video acquisition system[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2009, 38(12): 58~60. (in Chinese)
- 6 Texas Instruments Incorporated. TMS320DM365 digital media system-on-chip (DMSoC) [EB/OL]. Texas Instruments Incorporated, 2009: 1~5 [2011-08-23]. <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320dm365.pdf>
- 7 Texas Instruments Incorporated. TMS320DM6437 digital media processor[EB/OL]. Texas Instruments Incorporated, 2008: 1~5 [2011-08-23]. <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320dm6437.pdf>
- 8 宋建勋, 刘峰. 基于 TMS320DM365 多平台实时视频传输系统的设计与实现[J]. 电视技术, 2011, 35(7): 32~35, 40.
Song Jianxun, Liu Feng. Design and implementation of real-time video transmission system for multi-platform based on TMS320DM365[J]. Video Engineering, 2011, 35(7): 32~35, 40. (in Chinese)
- 9 贾浩, 崔慧娟, 唐昆. 基于 TMS320DM6437 平台的视频系统设计与实现[J]. 电视技术, 2010, 34(11): 43~47.
Jia Hao, Cui Huijuan, Tang Kun. Design and implementation of video system based on TMS320DM6437 platform[J]. Video Engineering, 2010, 34(11): 43~47. (in Chinese)
- 10 秦臻, 曹剑中. 基于 TMS320DM365 的高速网络摄像机的设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(10): 121~124.
Qin Zhen, Cao Jianzhong. Design of high speed IP camera based on TMS320DM365[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(10): 121~124. (in Chinese)
- 11 Texas Instruments Incorporated. TMS320DM643x DMP multi-channel buffered serial port (McBSP) interface user's guide [EB/OL]. Texas Instruments Incorporated, 2007: 53 [2011-08-23]. <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ug/spru943c/spru943c.pdf>
- 12 熊迎军, 沈明霞, 张祥甫, 等. 农用飞机防治病虫害作业导航系统设计与地面模拟测试[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 153~156, 146.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Zhang Xiangfu, et al. Navigation system for preventing pests and diseases using agricultural aircraft[J], Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 153~156, 146. (in Chinese)
- 13 王玲, 王萍, 陈兵林, 等. 基于颜色阈值的田间籽棉图像分割技术[J]. 作物学报, 2010, 36(3): 502~507.
Wang Ling, Wang Ping, Chen Binglin, et al. Image segmentation technique of field cotton based on color threshold[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(3): 502~507. (in Chinese)
- 14 王玲, 陈兵林, 刘善军, 等. 基于图像特征选择识别田间籽棉品级[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 190~195.
Wang Ling, Chen Binglin, Liu Shanjuan, et al. Quality grading of raw cotton based on image feature selection [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 190~195. (in Chinese)
- 15 李宁, 刘东波, 臧英明. 中国棉花分级标准与国外棉花分级标准差异的研究[J]. 大连轻工业学院学报, 2001, 20(4): 309~312.