

新型嵌入式机器视觉系统设计研究

本文主要针对传统机器视觉系统采集存储速率慢, 外围电路连接导致系统不稳定等原因, 提出一种新型嵌入式机器视觉系统, 其核心芯片选取 TI 公司最新生产的的双核嵌入式芯片 TMS320DM8168, 实现三路不同分辨率的图像信号的高速采集处理、160 MB/s 高速固态硬盘写入及 Linux 操作系统下人机交互, 该系统具有良好的实时性和稳定性, 可以为机器视觉的研究和应用提供很好的视频采集与处理硬件平台。

0 引言

机器视觉系统, 是一种非接触式的光学传感系统。

它同时集成软硬件, 能够自动地从所采集到的图像中获取信息或者产生控制动作。自起步发展到现在, 机器视觉已有 15 年的历史, 主要经历了数字电路组成、PC 机和输出设备组成、嵌入式三个阶段, 其中, 嵌入式机器视觉系统依托专业计算机技术, 具有实时多任务操作系统、高效压缩芯片和功能强大的微处理器, 可将视频压缩、传输与处理工作全部内置到芯片上, 通过内部处理后可以直接连入以太网或广域网, 完成网络实时远程监控, 是目前的研究热点之一。

在国内外研究中, 嵌入式机器视觉系统实现方式主要有三种:

(1) 基于标准总线, 采用 DSP 作为运算和控制处理器的系统。DSP 芯片虽然能够处理大量信息和高速运行, 但其 I/O 接口单一, 不易扩展, 控制能力较弱, 尚存在一定局限性。

(2) 基于 DSP+FPGA 的机器视觉系统。FPGA 与 DSP 的结合, 可实现宽带信号处理, 大大提高信号处理速度, 但 FPGA 使用的是硬件描述语言, 其算法开发具有很大的难度, 功能实现由硬件控制, 系统受环境影响较大。

(3) 采用 ARM 微处理器或采用 ARM+DSP 构建方式的机器视觉系统, 这种构建方式人机交互功能强大, 集成度高、实时性好、支持多任务, 但该系统中 ARM 与 DSP 的数据交换方法仍采用外部电路连接, 增加了系统的不稳定性。

综合上述技术方案的优点和缺点, 本文提出了一种新型机器视觉系统, 实现图像信息的高速采集与存储。

其核心芯片选取 TI 公司最新生产的先进的双核嵌入式芯片, 将 ARM 处理器和 DSP 处理器集成在一个芯片中, 通过软件编程即完成 ARM 与 DSP 的协调工作。由该芯片构建开发的机器视觉处理系统, 凭借植入 Linux 系统的 ARM 处理器的优异的控制性能, 配合 DSP 的强大运算处理能力将保证系统拥有良好的实时性和稳定性, 可以为机器视觉的研究和应用提供很好的视频采集与处理硬件平台。

1 系统功能

本系统为一高速图像数据采集存储系统，通过软硬件设计能够实现：两路分辨率 640×480 ，帧频 60 f/s ， 12 b/pixel ；一路分辨率 1024×1024 ，帧频 60 f/s ， 12 b/pixel 三路输入信号实时采集。实时无压缩存储。

如图 1 所示，系统通过串口控制图像传感器，使三路图像数据信号、时钟以及各种同步信号按要求输入，系统依次进行图像信号的采集、数据处理、存储。系统利用自带的接口可实现显示、上位机通信、键盘控制等更多的功能，能够实现友好的人机对话。

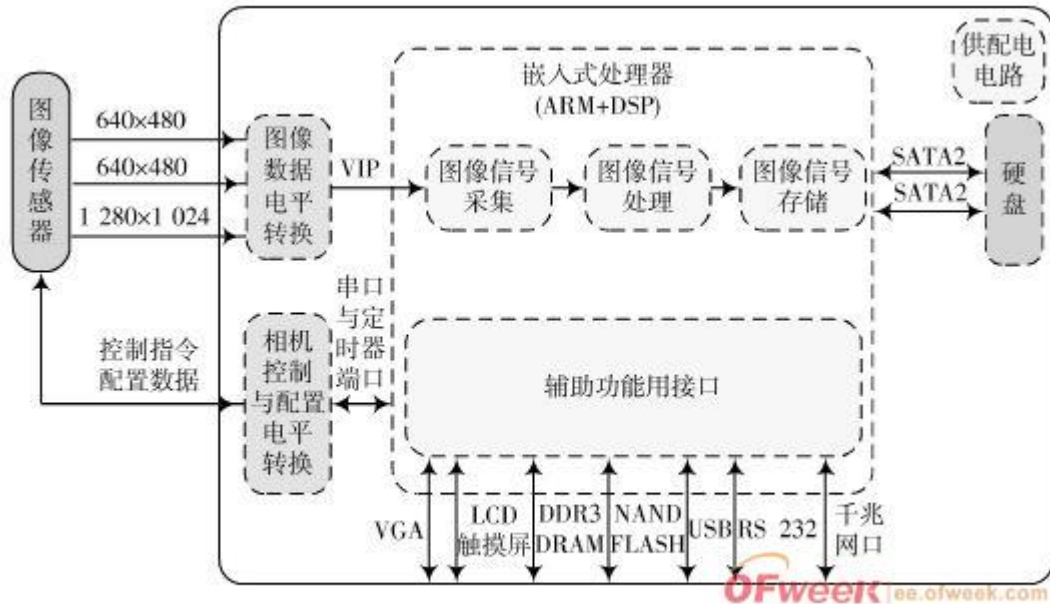


图 1 系统功能图

电子工程网

2 硬件设计

本系统选取 TI 公司达芬奇系列最新的 TMS320DM8168 芯片。此芯片集成了 1 GHz ARM Cortex-A8、1 GHz TI C674x 浮点 DSP、若干二代可编程高清视频影像协处理器、一个创新型高清视频处理子系统 (HDVPSS) 以及综合编解码器，支持包括高清分辨率的 H.264、MPEG-4 以及 VC1。并且包含千兆以太网、PCI Express、SATA2、DDR2、DDR3、USB 2.0、MMC/SD、HDMI 以及 DVI 等多种接口，可支持更多功能的扩展和复杂应用。

利用该芯片设计并实现两路或三路不同分辨率的图像信号的采集、处理与显示，硬件原理图如图 2 所示。实现该系统的开发与设计所涉及的硬件模块有：图像采集接口模块、图像采集模块、图像存储模块、外围接口模块。

2.1 图像采集接口模块

作为图像传感器和高速采集系统的连接模块，该模块可对 USB 接口相机或 Camera Link 接口相机进行图像采集与控制。USB 接口连接十分方便，由于系统

具有 USB 外围接口，按照 USB 标准协议连接即可。CameraLink 接口具有开放式的接口协议，使得不同厂家既能保持产品的差异性，又能互相兼容，因此系统中的图像采集接口模块采用了 Camera Link 接口协议。该模块分别使用了 DS90CR288A、DS90LV049、DS90LV047 完成图像传感器的控制、图像信息的采集及图像传感器与图像采集系统的双向通信。

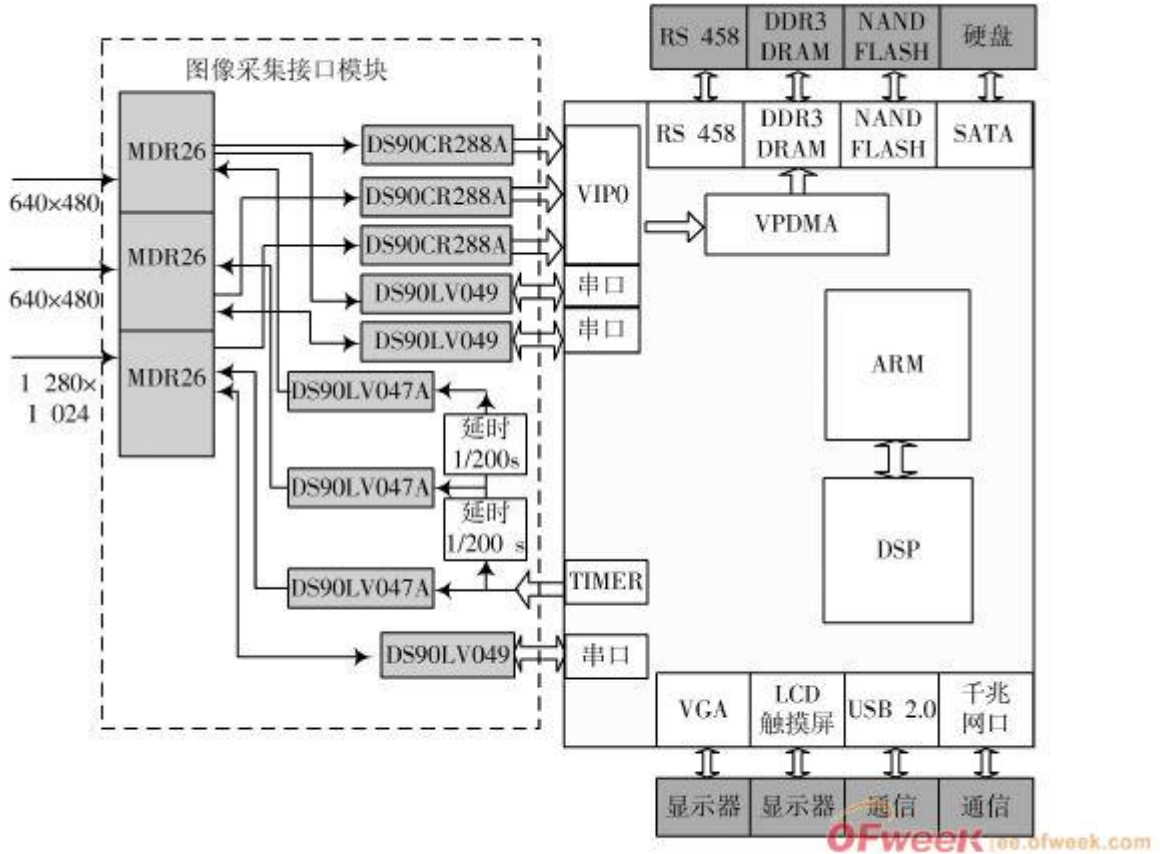


图2 硬件原理图

2.2 图像采集模块

TMS320DM8168 的 HDVPSS (HD Video Processing Subsystem) 提供了视频输入接口和视频输出接口。视频输入接口提供了外部图像设备 (如图像传感器、视频解码器等) 的接入。

HDVPSS 可支持高达 3 个 60 f/s 的 1080p 通道、同时支持 16 个通道的 CIF 数据流的 H.264 高画质 D1 编码与 8 通道 D1 解码；支持 2 个独立的视频捕捉输入端口，每个视频输入端口支持缩放、像素格式转换。两个视频输入捕捉端口均能以 1 个 16 b 输入通道 (带分离的 Y 和 Cb/Cr 输入)，或 2 个时钟独立的 8 b 输入通道操作 (带交织的 Y/C 数据输入)。第一个视频输入端口能以 24 b 模式操作以支持 RGB 捕捉。所有采集模式捕捉时钟高达 165 MHz，可满足高速率的图像采集。

高清视频处理子系统 (HDVPSS) 有两个独立视频捕捉输入端口 VIP0 与 VIP1。VIP0 可配置成 24 b、16 b、和两个独立的 8 b 模式，VIP1 可配置成 16 b、和两个独立的 8 b。从捕捉频率和各种配置模式可看出，针对不同的流量，可以有多种实现方法。为了存储设计简单，本方案将 VIP0 配置为 24 b 进行采集。在此模式下，最高流量为 $165\text{M} \times 24 \times 8 = 495 \text{ MB/s}$ ，可以满足流量要求。

从最高捕捉时钟可知，每次采集间隔在 $1/165\text{M}$ ，约为 6.1 ns。经计算，也为了设计方便，拟采用三个帧频均为 200 f/s 的 Base 配置的 Camera Link 相机，帧频控制均为外部触发方式，该 Camera Link 相机一次输出两个像素，每像素 12 b，即 $2 \times 12 \text{ b}$ ，刚好可以和 VIP0 的 24 b 匹配采集。以三路信号分时采集为例，如图 3 所示，3 路信号的采集方法为 3 个相机轮流采集，即一个循环内每个相机各采一帧，这就需要实现 3 路分时采集的时序信号。由定时器产生一个 $1/200 \text{ s}$ 的脉宽，经延时环节使帧频高电平分时分路送入三个相机；3 路采集信号时序关系为一个相机不进行延时，一个相机延时 $1/200 \text{ s}$ ，最后一个延时 $2/200 \text{ s}$ 。

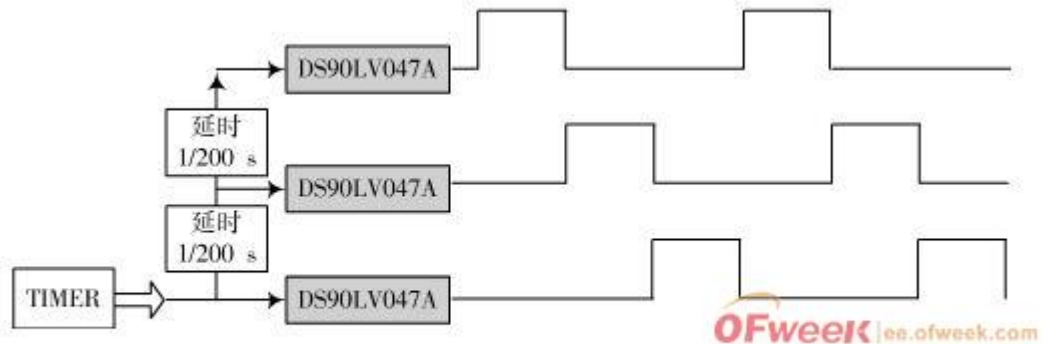


图3 分时采集时序图

相机通过 DS90LV047A 收到指令后，将拍摄到的图像数据分为 4 路 LVDS 数据信号和 1 路 LVDS 时钟信号，通过接口连接器 MDR26 传输到 DS90CR288A；DS90CR288A 将串行数据转换成 28 路并行信号和 1 路随路时钟信号，并传送至 TMS320DM8168 视频捕捉端口 VIP0 进行采集。

2.3 图像存储模块

从上述设计方案，系统存储速率约为 160 MB/s，数据量较大，可选择大容量、高速的固态硬盘，通过其 SATA2 接口写入。

数据采集结束后，通过配置 HDVPSS 子系统将数据送入 VPDMA，最后转入 DDR 内存，当 DDR 内存的数据量达到设定的数据量时产生中断，中断发生后，根据存放地址启动内存和固态硬盘之间的 DMA 传输，将采集的图像通过 SATA2 接口存储在 SSD 上，实现数据存储。

然后启动定时器产生下一个帧频脉冲，开始下一周期的数据采集。

外部扩展存储器选取系统支持的 DDR3 (1 600) 存储器。按照系统存储控制器位宽 32 b 来算, 内存速率可达 $32/8 \times 1\ 600\text{M} = 6.4\ \text{GB/s}$ 。在该模式下, 采集和存储可并行处理。缓存所采集的数据移动到 DDR3 内存, 其速率远高于端口采集的每秒数据量。因为该方案的采集方式是每帧轮流采集, 并且帧内数据已按顺序紧凑排列, 可大幅减少数据的重排工作, 仅需去除一些辅助数据。采集系统将其余相关信号全部置成一帧一行的形式, 让相机的时钟信号与系统采集端口的时钟信号通信, 图像信号前有少量的辅助数据, 设置 DMA 起始地址时直接跳过辅助数据。所以在本系统几乎不运行程序的情况下, 固态硬盘可以最少有 80% 的时间占据 DMA 控制权进行内存图像数据的存储。按所选取的硬盘的持续写入速率 250 MB/s 来算, $250 \times 0.8 = 200\ \text{MB/s}$ 大于 160 MB/s, 所以 1 s 采集的数据可以进行实时存储。数据上传后, 可以选择清除原有数据, 释放硬盘空间。

2.4 外围接口模块

基于 TMS320DM8168 芯片丰富的外设接口, 本系统能够灵活的进行外部接口设计来控制外围设备, 并实现与外部处理器的通信功能。根据需求可供选取的接口有: 2 个具有 GMII 和 MDIO 接口的千兆位以太网 MAC (10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 000 Mb/s); 2 个具有集成 2.0 PHY 的 USB 端口; 双 DDR2/3 SDRAM 接口等, 可参考图 2。

TMS320DM8168 的两个 USB 口可满足将采集的图像数据上传给上位机时连接键盘鼠标, LCD、VGA 接口可用来直接显示图像。串口亦可用来同上位机进行通信, 且可用来控制本设计方案用到的 Camera Link 相机。千兆网接口以其超高的速率可满足图像数据的高速传输。

上述技术的实现主要通过软件编程驱动外设接口来实现, 具体方案见软件设计。

3 软件设计

本系统采用 Linux 操作系统, 带有友好的界面, 使操作更加灵活自如, 能运行多任务。可以通过界面进行相机控制、图像的采集、停止、显示、图像上传等。这部分的开发可由两部分组成, 移植和自主开发。软件设计如图 4 所示。



图4 软件设计框图

3.1 移植的程序

移植的程序包括 Linux 内核、网卡驱动、USB 2.0 驱动、LCD 驱动、串口驱动、VGA 驱动、SATA2 驱动。在这个方面，TI 公司提供了很好的支持，有专门针对 DM8168 的 Linux 操作系统，版本为 Linux 2.6.37，可以通过 TI 公司提供的 Linux EZ 软件开发套件（EZ SDK）进行开发。

3.2 自主开发的程序

3.2.1 驱动程序

为了规范地在 Linux 操作系统下操作，图像采集的电路部分需要图像采集应用程序相关的驱动程序进行支持。采集电路可分为多个功能模块分别进行驱动程序的编写，其中包括相机采集驱动（相应于 VIPO 进入数据后的操作）；控制驱动（相应于对 Timer 进行控制）；如果要根据外界环境改变相机工作状态，还需该部分驱动支持。采集驱动实现 open, close 方法。控制部分实现 open, close, ioctl 方法。自适应速率调整要实现 open、close、ioctl、read 方法。在 /DEV 目录下分别建立设备节点，然后应用程序通过对设备节点进行操作。

3.2.2 应用程序

应用程序的开发拟采用 QT 开发工具。应用程序拟设计成一个多线程程序，一个主线程，一个自适应调节参数线程，应用程序主要实现采集程序，停止，显示，配置，上传程序，分别对应于相应按钮。

采集按钮相应程序调用设备节点的 open 方法，open 方法中对相应硬件进行配置，注册中断程序，启动 Timer 开始采集。流程如图 5 所示。

因为系统已经带有串口驱动，配置程序可以直接对串口编程。自适应环境速率调整程序由主界面程序开启一个新线程，该线程通过相应设备节点读取数据，判断是否调整，如需调整，通过上面所述串口设备节点或者控制设备节点进行重设。

4 结语

本文所构建的机器视觉系统是一个具有操作系统的独立、可控制的小型多功能系统，通过硬件设计和软件设计两部分实现，其功能模块包括视频图像采集与处理、视频图像存储、视频图像通信和视频图像显示等模块。采用先进的双内核嵌入式处理器，将多路图像传感器获取的视频图像信号高速并行采集，并根据需要进行图像无损压缩和图像融合，数据可大容量实时存储，并通过多种接口与上位机通信，具有友好的人机交互界面，可驱动多种显示屏幕完成高清显示和信息回放等功能。

由于该平台具有 Linux 操作系统，无需上位机即可完成系统参数设置、功能选择等操作。该系统可为机载、弹载、车载光电系统完成高速扫描、快速探测、主动识别、精确跟踪任务提供所需要的高清目标信息，并有望在平安城市、安防行业、工业控制、医疗教育、物流管理、电网运行、智能家居、智能汽车、食品安全等多领域得到应用。