

# 基于嵌入式多核 DSP 的加速软件系统

蔡玉鑫 汤志伟 赵博 杨明 吴禹非

公安部第三研究所 上海 200000



**摘要** 近几年,随着智能视频监控的高速发展,对各类视频采集设备产生的视频数据处理成为公安行业的一项重要工作,而目前视频数据处理大多采用后端服务器模式,该模式对视频传输的带宽要求较高,且存在后端服务器资源不足等问题,为此,文中提出利用嵌入式多核加速板卡代替服务器完成部分任务的方案,将耗费服务器资源的各类图像处理算法从后端服务器中剥离,放入前端嵌入式加速板卡中计算,从一定程度上节省了服务器资源,提高了服务器工作效率。最后,文中对方案进行测试,结果发现,利用嵌入式多核加速板卡对分辨率不低于 200 万像素的图片进行目标检测,平均每张图片的处理能力不低于 200ms,24 小时内处理能力达 130 万多张,由此可见,采用多核嵌入式板卡代替服务器完成图像处理方案有一定的可行性。

**关键词:** 视频监控;图像处理;嵌入式多核;加速板卡;目标检测

**中图法分类号** TP391

## Accelerated Software System Based on Embedded Multicore DSP

CAI Yu-xin, TANG Zhi-wei, ZHAO Bo, YANG Ming and WU Yu-fei

The Third Research Institute of Ministry of Public Security, Shanghai 200000, China

**Abstract** In recent years, with the rapid development of intelligent video surveillance, the processing video data generated by various video capture devices has become an important task in the public security industry. At present, most video data processing adopts the back-end server mode, which has a high requirement for bandwidth of video transmission and has problems such as insufficient back-end server resources. For this reason, this paper proposes to use the embedded multi-core acceleration board instead of the server to complete part of the task, and various image processing algorithms that consume server resources are stripped from the backend server, and they are put into the front-end embedded acceleration board to calculate, to a certain extent, it can save server resources and improve server efficiency. Finally, the scheme is tested in this paper. The target multi-core acceleration board is used to detect the target with a resolution of at least 2 million pixels. The test result shows that the average processing power of each image is not less than 200ms, and it can process more than 1.3 million pictures within 24 hours. It can be seen that it is feasible to use a multi-core embedded board instead of a server to complete the image processing solution.

**Keywords** Video monitor, Image processing, Embedded multi-core, Acceleration board, Target detection

## 1 引言

目前,国内智能视频监控系统有基于前端和后端服务器两种模式,其中前端服务器处理模式对嵌入式处理器提出了很高的要求,包括处理能力和功耗等;后端服务器处理模式比前端处理模式应用更为广泛,该模式对视频传输的带宽要求较高,并且对服务器的处理能力要求比较严格。

国内智能监控系统使用的后端服务器模式存在一些问题:1)视频数据由于其数据量巨大而导致分析、处理的过程消耗资源较多,工程技术人员在采用后端服务器模式时,发现服务器的资源不够用且处理能力达不到要求;2)目前国内著名厂商相继推出各种视频服务器,行业竞争压力较大。

鉴于以上问题,考虑提出一种方案,把视频处理的一些功能从服务器中解脱出来,由视频加速板卡代替服务器完成部

分任务,从一定程度上极大提高服务器的工作效率。

同时,结合视频结构化、产业化项目在实际工程部署中遇到的问题,针对静态图片中机动车(包括各类小汽车、面包车、卡车等)检测、摩托车(包括摩托车、电瓶车、自行车)检测、行人检测算法在服务器的运算开销中占用大量计算资源和时间的问题,本项目研制并开发了一套基于多核 DSP 的视频加速软件,将耗时的检测算法从服务器中剥离出来,放入视频加速板卡中进行计算,同时重点对这些算法进行基于 c6678 多核 DSP 系统的加速优化,以减小服务器的开销,提高整个系统的运算速度。

## 2 系统总体架构

基于嵌入式多核 DSP 的加速软件的应用架构如图 1 所示,视频数据通过采集板卡汇入视频服务器,视频服务器将数

本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0821603)

This work was supported by the National Key R&D Program of China (2017YFC0821603).

通信作者:蔡玉鑫(caiyuxin\_good@163.com)

据通过 PCI-E 接口传递给视频加速板卡,视频加速板卡中集成了各种视频加速算法,将取代服务器完成机动车检测、摩托车检测、行人检测等功能,将处理结果通过 PCI-E 传给服务器,系统可以通过插入多块视频加速板卡来完成更复杂的任务。

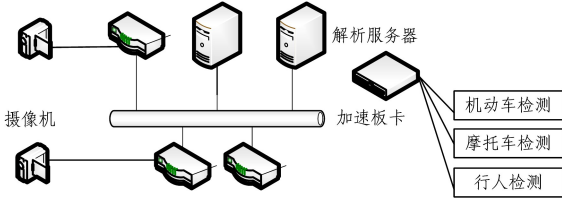


图 1 系统应用架构图

Fig. 1 Diagram of system application architecture

### 3 系统功能设计

本文系统软件部分主要由服务器端调度程序、板卡驱动 PCI-E 通信程序和视频加速算法等组成。服务器端调度程序负责控制整个板卡,板卡驱动解析各类指令,并控制底层的 PCI-E 进行板卡通信。PCI-E 通信程序是最底层的硬件控制,使得数据按照 PCI-E 协议进行通信。服务器端调度程序通过调用板卡驱动程序完成板卡控制,视频数据流通过 PCI-E 进行通信,板卡在接收到视频数据后调用检测算法程序对视频图像进行处理。系统模块如图 2 所示。

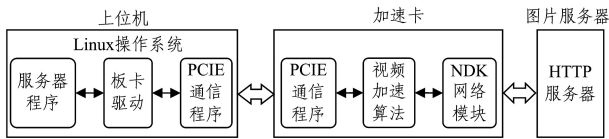


图 2 系统模块图

Fig. 2 Diagram of system module

#### 3.1 服务器调度功能设计

服务器端调度程序负责控制整个板卡,包括启动板卡,向板卡发送各种命令等。为此,本系统软件实现 Linux 服务器端两个应用工具的开发:LoadUrl 和 StartDpm,如图 3 所示。其中,LoadUrl 用于服务器端控制 DSP 板卡程序完成从 HTTP 图片服务器上拉取图片的功能;StartDpm 用于服务器控制 DSP 板卡程序启动 DPM 目标检测算法完成图像的检测功能。这两个应用工具的开发,不仅为开发者测试本系统的 PCI-E 驱动程序、算法程序以及通信程序提供了测试方法,也为非开发人员更快地理解、使用本系统奠定了基础。

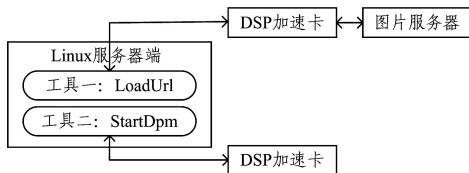


图 3 应用层工具

Fig. 3 Application layer tool

StartDpm 的具体实现流程与 LoadUrl 相似,都是通过查询并控制寄存器的方式操作 DSP 加速卡,这里就不详细描述。Linux 服务器端首先打开驱动设备,从 URL 列表文件中获取 URL 信息,完成 mmap 内存映射,之后一直轮询等待 DSP 是否初始化完毕,若查询寄存器检测到 DSP 初始化完毕

后,则开始往输出缓冲区放入要下载的图片的 URL 信息,之后改变寄存器的值设置输入缓冲区可被写入,最后一一直等待 DSP 完成图片加载操作发来的中断信号,接收到中断后即可读取下载图片成功与失败的相关信息。

#### 3.2 Linux 服务器与 DSP 的通信功能设计

Linux 服务器与 DSP 的通信功能主要包括数据交换和功能控制两部分。为此, Linux 系统在内核空间申请一块“共享内存区”,如图 4 所示,该共享内存区分为 3 个部分:寄存器区、输出缓冲区和输入缓冲区。共享内存区通过 PCI-E out-bound 配置被映射到 DSP 端,同时利用 mmap 系统调用将其映射到用户空间,如此,通信双方可以对同一片内存进行操作,完成数据交换与功能控制。

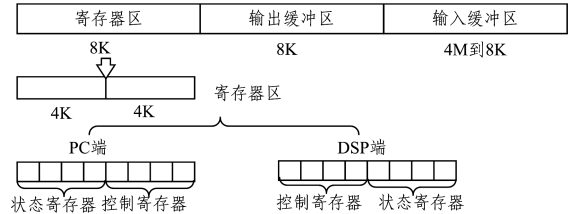


图 4 Linux 服务器与 DSP 板卡通信的共享内存区

Fig. 4 Shared memory area for communication between Linux and DSP

在功能控制的实现过程中,本文将寄存器区分为状态寄存器区和控制寄存器区,如表 1 所列。控制寄存器区能被写入,而状态寄存器只可以被读出,寄存器区在被映射到 Linux 用户空间和 DSP 时,控制寄存器和状态寄存器正好相反,这样做的目的是更好地实现单向控制,避免 Linux 用户空间程序和 DSP 同时对同一区域进行写入。例如,在程序运行时, Linux 服务端向控制寄存器写入数据, DSP 则可以查询相应地址下状态寄存器的值是否发生变化,反之亦然,以此完成双方通信的功能控制。

表 1 寄存器设计

Table 1 Register design

```

typedef struct _tagLinkLayerRegisterTable
{
    // 状态寄存器.(4k)
    volatile uint32_t DPUBootStatus;
    volatile uint32_t writeStatus;
    volatile uint32_t readStatus;
    .....
    volatile uint32_t reserved0[0x1000 / 4-8];
    // 控制寄存器.(4k)
    volatile uint32_t DPUBootControl;
    volatile uint32_t writeControl;
    volatile uint32_t readControl;
    .....
    volatile uint32_t reserved1[0x1000 / 4-6];
} LinkLayerRegisterTable;
    
```

在数据交换的实现过程中,本文定义了输出缓冲区和输入缓冲区,如表 2 所列。其中,输出缓冲区用于 Linux 服务器端写入要加载图片的 URL 路径;输入缓冲区用于存放 DSP 板卡执行完目标检测算法的结果数据,具体为原图像数据、子图像数据、请求图像在 HTTP 服务器的 URL 路径以及检测出的子图像所在的位置坐标信息等 4 项。在程序执行过程中,首先, Linux 服务器端向输出缓冲区写入图像在 HTTP 服

务器上的 URL 路径,之后向 DSP 发送中断信号,DSP 收到中断信号时,读取输出缓冲区的 URL 数量以及内容,根据 URL 信息从 HTTP 服务器加载图片用于目标检测算法处理。其次,DSP 板卡独立完成图像检测算法。最后,DSP 将结果数据写入输入缓冲区,发送中断,通知 Linux 服务器端数据已处理完毕,Linux 服务器端读取输入缓冲区数据并存入本地硬盘。至此,完成了二者的数据交换。

表 2 缓冲区设计  
Table 2 Buffer design

```
typedef struct _tagLinkLayerHandler
{
    LinkLayerRegisterTable * pRegisterTable; // 寄存器区
    uint32_t * pOutBuffer; // 输出缓冲区
    uint32_t * pInBuffer; // 输入缓冲区
    uint32_t outBufferLength;
    uint32_t inBufferLength;
} LinkLayerHandler, * LinkLayerHandlerPtr;
```

### 3.3 视频加速算法

本系统使用的视频加速算法为 DPM 目标检测算法,DPM 算法是一种基于部件的检测方法,对目标的形变具有很强的鲁棒性。该算法采用了改进后的 HOG 特征、SVM 分类器和滑动窗口检测思想;针对目标的多视角问题,采用了多组件的策略;针对目标本身的形变问题,采用了基于图结构的部件模型策略。此外,将样本所属的模型类别、部件模型的位置等作为潜变量,采用多示例学习来自动确定。本系统进行目标检测时的流程如图 5 所示。

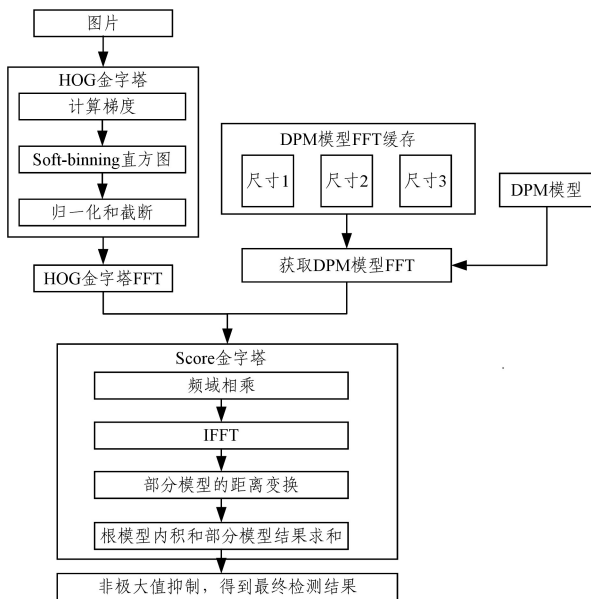


图 5 DPM 物体检测流程图

Fig. 5 Flow chart of DPM object detection

## 4 实验

本文测试的硬件环境:研华基于 TMS320C66x DSP 的嵌入式多核板卡 1 块,图片服务器 1 台。调度服务器 1 台;软件环境:调度服务器安装 Linux14.04 操作系统。针对分辨率不低于 200 万像素的机动车、摩托车、行人等 3 类对象进行,输入为原始图片,输出为带标记框的结果图片及目标所在具体位置坐标,位置坐标采用(左上角  $x$  轴坐标,左上角  $y$  轴坐标,

长,宽)的方式记录。同时,完成单模型、单对象情况下的对象检测,平均耗时不高于 200 ms/每张,详细测试信息如表 3 所列。

表 3 测试结果  
Table 3 Test results

测试对象	测试结果
图片处理大小	200 万像素
单模型单对象机动车检测	不高于 200 ms/每张
单模型单对象摩托车检测	不高于 200 ms/每张
单模型单对象行人检测	不高于 200 ms/每张
单模型单对象检测率/%	不低于 90
单图像内最大对象提取数	2 个

此外,本文还针对嵌入式单核与多核 DSP 加速卡进行测试,结果如图 6 所示。实验证明,24 小时内多核加速卡(单芯片 C6678)与多核加速卡(4 芯片 C6678)在 24 小时内能处理分辨率为  $1600 \times 1200$  的图片,其处理能力分别达到 32 万多张和 130 万多张,多核加速卡的处理性能与一般服务器处理性能相差无几,以其替代服务器完成图像处理算法完全可行。

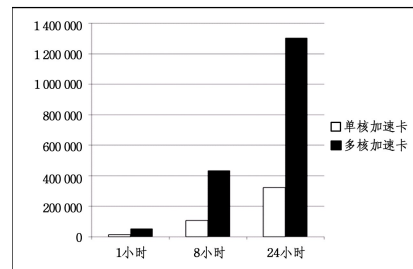


图 6 嵌入式单核与多核 DSP 加速卡测试

Fig. 6 Embedded single-core and multi-core DSP accelerator card test

**结束语** 本文针对海量监控视频的传统后端服务器处理模式,提出了利用嵌入式多核板卡代替服务器进行算法处理的方案,在方案中实现了基于 PCI-E 的服务器端与加速卡的通信,且完成了服务器的调度机制,图像处理采用了 DPM 目标检测算法。本方案的提出解决了图像处理算法占据大量服务器资源和时间的问题,减小了服务器的资源开销,提高了整个系统的运算速度和经济效益。下一步工作重点在于依托智慧公安和公安大数据,进一步推出处理性能更强大的硬件加速板卡软硬件一体化方案。

## 参考文献

- [1] 余毅.一种基于物联网的改进型智能视频监控设备的设计[J].物联网技术,2019(2):60-61.
- [2] 崔家礼,张明丽,陈富强.基于 DPM 与神经网络后验的人脸关键点检测算法[J].北方工业大学学报,2018,30(5):31-37,51.
- [3] 王春雷.基于多核 DSP 的专用嵌入式系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2017.
- [4] 周梦.基于多核嵌入式 DSP 的并行编程模型研究[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [5] 周黎.基于千兆网的高性能嵌入式图像处理技术研究[D].成都:中国科学院研究生院(光电技术研究所),2016.
- [6] 姚洪猛.运动物体检测与跟踪的设计与实现[D].石家庄:河北科技大学,2019.
- [7] 林志洁,罗壮,赵磊,等.特征金字塔多尺度全卷积目标检测算法

- [J]. 浙江大学学报(工学版),2019(3):1-7.
- [8] 刘鹏,常振杰. 基于 PCIe 的无线电数据传输接口实现[J]. 西安邮电大学学报,2018,23(6):68-73.
- [9] 金锐. 一种基于 PCIe 接口的高速安全芯片设计[C]//数字中国能源互联——2018 电力行业信息化年会论文集. 中国电机工程学会电力信息化专业委员会:人民邮电出版社电信科学编辑部,2018:4.
- [10] 许少榕. 基于 DPM 的图像视觉目标识别改进算法[J]. 济宁学院学报,2018,39(2):31-38.
- [11] 孙营,王波涛. 基于可变形部件改进模型的夜间车辆检测方法[J]. 计算机工程,2019,45(3):202-206.
- [12] 杨亚涛,张松涛,李子臣,等. 基于 Zynq 平台 PCIE 高速数据接口的设计与实现[J]. 电子科技大学学报,2017,46(3):522-528.
- [13] 侯宁. 嵌入式多核处理器设计与实现关键技术研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.
- [14] 杨川. MPCore 多核处理器并行计算方法的研究与实现[D]. 成都:西南交通大学,2014.
- [15] 政越伟. 嵌入式多通道监测系统通信技术研究与实现[D]. 北京:北方工业大学,2013.
- [16] 王庆. 面向嵌入式多核系统的并行程序优化技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [17] 张沁馨. 基于 PXIe 高速接口的高速数据传输平台的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2018.
- [18] 黄丹萍. 基于 PCIe 的高速数据采集模块的软件设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2018.



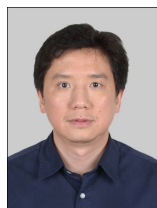
**CAI Yu-xin**, born in 1989, master, senior engineer. Her main research interests include mobile police and image processing.

(上接第 611 页)

- [6] WINDYG A, PIOTR S. Fast impulsive noise removal[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(1):173-179.
- [7] YOU Y, BADAL S P, SHELLEY J T. Automatic Analyte-Ion Recognition and Background Removal for Ambient Mass-Spectrometric Data Based on Cross-Correlation[J]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2019, 30:1720-1732.
- [8] HONG S, FENG S. A Real-Time Algorithm for Moving Objects Detection in Video Images[C]// Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2004.
- [9] 闫河,王鹏,杨晓龙,等. 一种新的 Ada Boost 人脸检测方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(2):106-110,161.
- [10] LONG X Z, LU H T, PENG Y, et al. Graph regularized discriminative non-negative matrix factorization for face recognition [J]. Multimedia Tools and Applications, 2014, 72(3):2679-2699.
- [11] 李天煌. 基于级联结构的人脸检测若干方法研究[D]. 南京:东南大学,2018.
- [12] SUNG M K, SOO J P, CHEE S W. Image Retrieval via Query-by-Layout Using MPEG-7 Visual Descriptors[J]. ETRI Journal, 2007.
- [13] 徐检. 浅议 MPEG-7 标准及应用[J]. 有线电视技术, 2005(3):39-43.
- [14] SARNO R, RIDOAN J A, KOM S, et al. Classification of Music Mood Using MPEG-7 Audio Features and SVM with Confidence Interval[J]. International Journal of Artificial Intelligence Tools, 2018, 27.
- [15] 卢成浪,吴宗大,李桂玲. 基于 MPEG-7 视频检索系统的设计与实现[J]. 西北大学学报(自然科学版),2018,48(3):369-375.
- [16] DING S T, QU S R, XI Y L, et al. A long video caption generation algorithm for big video data retrieval[J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 93:583-595.
- [17] 王治,韩祥. 视频结构化解析技术在公安警务实战中的建设与应用[J]. 警察技术,2018(5):63-66.
- [18] SURYONO S, PUTRO S P, WIDOWATI, et al. System on chip (SOC) wi-fi microcontroller for multistation measurement of water surface level using ultrasonic sensor[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2018, 27(5).



**ZHAO Bo**, Ph.D. Her main research interests include signal and information processing and artificial intelligence, IoT technology.



**YANG Ming**, associate professor. His main research interests include IoT security and artificial intelligence, IoT technology.