

# 基于 DM648 的实时越界检测系统

舒君, 吕顺, 李飞, 何小海

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

**摘要:** 针对嵌入式越界检测系统的实时性问题, 提出了基于感兴趣区域(ROI)的码书背景建模算法, 并通过 ROI 进行下采样和二值化处理, 进一步提高算法的实时性和准确性。对 D1 格式的视频在 TI DM648 平台上进行测试, 本文算法速度可以达到 26 f/s, 准确率可以达到 92.65%, 满足工程应用的需要。

**关键词:** DM648; 感兴趣区域; 下采样; 实时; 码书背景建模

中图分类号: TN919.82

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)05-0043-04

## Real-time cross-border detection system based on DM648

Shu Jun, Lv Shun, Li Fei, He Xiaohai

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** The cross-border detection is proposed based on region of interest (ROI) codebook background modeling algorithm for embedded systems' real-time issue, and down-sampling in ROI and detecting by the binarization connected region in ROI to further improve the algorithm in real-time and accuracy. Through the D1 format video going on TI DM648 platform to test the proposed algorithm, its speed can reach 26 f/s and accuracy rate can reach 92.65%, which meet the needs of engineering applications.

**Key words:** DM648; region of interest; downsampling; real-time; codebook background modeling

随着社会的发展, 在一些重要的地区和区域(如军事边界、银行金库、自然保护区等), 为了防止非法人员的入侵或者其他外来破坏, 通常在外围设置一些屏障和阻挡物并配备人员进行巡逻或者安装周界探测报警系统。目前, 国内周界探测报警系统主要有两类: 一类是以微波、红外和激光灯为代表的对射面或对射线的报警系统; 另一类是以振动光纤、传感电缆、高压脉冲电网和泄露电缆等其他各种线缆式传感器为代表的报警系统。这些方法不仅耗费人力和财力, 而且检测效率不高, 容易出现失误, 因此难以适应现代安防需求。随着视频采集和视频信息处理在日常生活、军事、医疗和安防等许多领域的广泛应用, 利用视频监控周界报警逐渐的成为了一个新的趋势。

本文以 TI 公司 DM648 为核心构架硬件平台, 设计实现了基于 DM648 的周界实时越界监测系统, 通过提取以周界为核心的感兴趣区域 ROI(Region of Interest), 实时检测二值化后 ROI 中亮度值突变及白点的连通区域面积, 实现区域越界报警。

### 1 硬件平台介绍

DM648 是 TI 公司生产的达芬奇系列多媒体数字信号处理器, 其主频最高可达 1.1 GHz, 可同时处理 8 条指令, 处理速度最快为 8 800 MIPS。它的一级缓存包含 32 KB 的数据缓存(L1D)和 32 KB 程序缓存(L1P), 一级数据缓存和数据缓存共用一个 512 KB 大小的二级缓存。它内部集成了 5 个视频输入输出端口(VP0~VP4), 理论上可以同时采集 8 路视频。外围配以视频解码芯片 TVP5154、编码芯片 THS8200 和 SAA7105 构成典型的嵌入式图像采集显示系统, 同时外部存储器总线接口(EMIF)上扩展了 256 MB 的 DDR2 和 64 MB Flash。

通过模拟摄像头采集的视频信号经 TVP5154 芯片解码后转为 YUV 格式的数字视频数据送入 DM648 的 VP0 口, 然后通过 EDMA3 (Enhanced Direct Memory Access3) 将视频数据搬运到 DDR2 中进行处理, 将处理好的视频数据送入 VP1 口, 由 THS8200 接收数据并传给 SAA7105 芯片编码为标清模拟信号后输出到监视器显示。

DM648 图像处理平台硬件系统框架如图 1 所示。

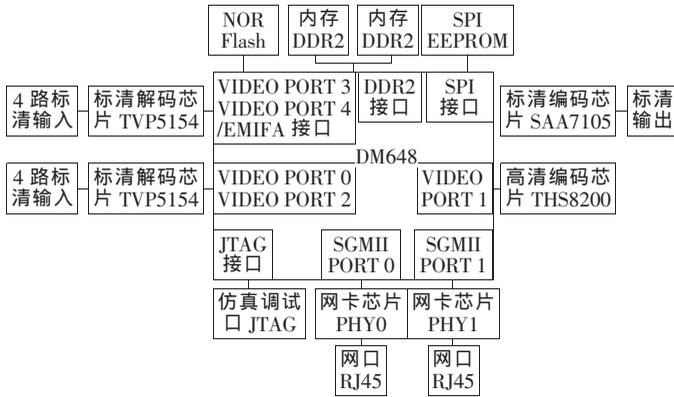


图1 硬件系统框架图

## 2 越界检测算法设计与实现

为了能检测是否有目标越界,就需要提取目标。常用的运动目标检测的方法主要有光流法、相邻帧差法和背景差分法。光流法支持摄像头移动,能够很好地检测运动目标的完整信息,但是其计算量非常大且计算复杂,目前难以在嵌入式平台上实现实时处理。相邻帧差法则算法简单、速度快,满足实时性要求,但是稳定性差,检测目标不准确,容易出现空洞现象。背景差分法相对光流法运算量小,相对相邻帧差法可靠性高,只要建立可靠的背景,就能够提取出准确的目标。因此,本文选择背景差分法进行运动目标的检测。

背景差分法的核心是背景模型的建立。常见的背景建模方法有中值背景建模、单高斯背景建模、混合高斯背景建模和码书背景建模等。中值背景建模和单高斯背景建模算法简单,但对环境适应能力差,如光照变化、树叶摇摆会造成提取的背景噪声比较大,检测准确率较低;混合高斯背景建模算法精度高,算法的运算量大,背景更新慢,很难在本文所用的嵌入式平台上做到实时处理;码书背景建模算法简单易于实现,更新速度快,检测效果好,因此本文选择码书背景建模。

为了实现实时越界检测,需要解决以下3个问题。(1)如何构建ROI,并对其进行处理以减少运算量;(2)如何改进简化码书背景建模以进一步减少计算量达到实时检测;(3)如何检测物体目标越界,提高检测准确率并对物体越界进行警示。本文的算法最后在DM648图像处理硬件平台上得以实现,该越界检测系统的核心算法流程图如图2所示。

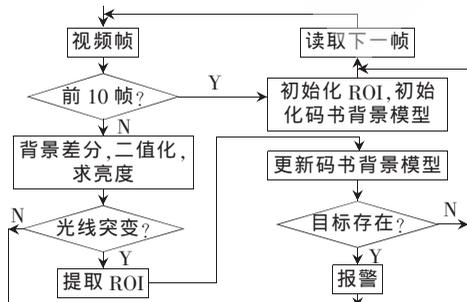


图2 核心算法流程图

### 2.1 ROI构建与处理

在越界检测系统中,ROI图像的信息只集中在需要进行检测的ROI中,去除冗余数据,提取出ROI以提高图像处理速度和准确度。只对ROI进行检测将会大大减少计算量。

首先对要处理的视频信息设置围界,如图3所示,用白色线条表示设定的界线,通过白色线条的边界点确定黑色的区域为ROI。

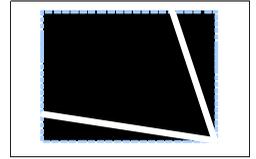


图3 ROI区域图

设定界线后,选取边界点 $\{B(x, y)\}$ 里面坐标值 $x$ 的最大值 $x_{\max}$ 和最小值 $x_{\min}$ 及 $y$ 的最大值 $y_{\max}$ 和最小值 $y_{\min}$ 构建矩形区域左上角点 $(x_{\min}, y_{\min})$ 和右下角点 $(x_{\max}, y_{\max})$ 。为了减少在硬件上的计算量,突显实时性,对ROI区域继续作下采样处理。

采用YUV颜色模型,使用水平和垂直两种分块方法对这两个方向上的亮度信息特征作处理,可以得到亮度值在这两种分块模型中分割区域的平均分布,如图4所示。



(a)水平

(b)垂直

图4 两种分块模型

每幅图像按水平和垂直被平均分为 $N$ 个区域,每个区域的像素数 $P = \frac{W \times H}{N}$ 。其中, $W$ 和 $H$ 分别表示图像的宽度和高度。若 $LUM$ 表示像素的亮度值, $LUM_{RA}$ 表示 $N$ 个区域的亮度平均值,则 $LUM_{RA} = \sum_{i=1}^P LUM(i)$ 。从这 $N$ 个区域中按照亮度特征差异选取 $N/2$ 个区域作为目标检测的计算区域。具体算法为:首先计算选取的 $N$ 个区域的平均值 $LUM_{RA}$ ,比较各个区域之间 $LUM_{RA}$ 的差值 $DIF_{RA}$ :

$$DIF_{RA}(i) = \left\{ LUM_{RA}(i) - \frac{\sum_{i=1}^N LUM_{RA}(i)}{N} \right\} (i=1, \dots, N) \quad (1)$$

最后,选取 $LUM_{RA}$ 最大的 $N/2$ 个区域作为判断亮度值突变及白点的连通区域面积的区域。

### 2.2 ROI码书背景模型建立

在ROI建立之后,由于需要检测的物体只与围界的范围相关,本文通过构建ROI模板来分别提取背景区域和要处理的视频区域,以减少背景建模和背景更新时的计算量。

码书背景建模对RGB空间的视频序列具有较好的检测效果,但有一些不足之处:视频采集设备(如网络摄像机、DV等)采集的视频序列大多是YUV格式的,如果按照原码书算法思想<sup>[4]</sup>,则需要从YUV空间到RGB空间的转换,该转换运算为浮点型运算,运算量大,而且DM648是一个定点数字处理器,不合作浮点运算。本

文越界检测只需对亮度信号进行处理, YUV 相比 RGB 色度空间更有优势。因此, 对原码书算法进行改进, 直接在 YUV 空间 Y 通道上进行码书背景建模, 不仅省去了大量的浮点型运算, 而且省去了计算色度失真度对码字的匹配, 只是在 Y 通道上进行像素值匹配。改进后的码书背景建模非常适合在嵌入式平台上进行实时处理。

改进后的码书建模模型是以一个长度为  $N$  的图像序列  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$ , 对码书模型进行训练, 一幅图像的码书表示为长  $L$  的码字序列  $\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ , 根据像素值的变化程度, 其码书长度或长或短。在基于 YUV 色度空间的码书模型中, 一个码字由一个均值亮度向量  $v = \bar{Y}$  和一个六元组  $aux = \langle I_m, I_M, f, \lambda, p, q \rangle$  构成, 其中  $I_m$  与  $I_M$  分别表示像素在某个范围内的最小亮度与最大亮度,  $f$  表示该码字在图像序列训练过程中出现的次数,  $\lambda$  表示码字最长没有出现的跨度,  $p$  与  $q$  分别表示码字第一次出现与最后一次出现的帧数。

改进后的码书模型建模的基本流程如下。

(1) 对每个像素的码字长度初始化为 0, 码书长度为  $L$ 。

(2) 对于图像序列  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$ , 像素亮度值  $I=Y$ 。

(3) 对于第  $n$  帧图像中的像素, 若对应码字为空, 则建立新码字, 以当前像素值设定亮度向量和六元组,  $p=q=n, I_m=I_M=I, \lambda=0$ ; 若码字不为空, 则计算亮度向量与码字亮度向量的亮度失真是否在一个阈值  $Th$  以内, 同时比较亮度值是否在六元组  $I_m$  和  $I_M$  以内更新码字。

(4) 若满足条件(3), 则更新码字:

$$v \leftarrow \left( \frac{f\bar{Y} + Y}{f+1} \right) \quad (2)$$

$$aux \leftarrow \langle \min\{I, I_m\}, \max\{I, I_M\}, f+1, \max\{\lambda, t-q\}, p, t \rangle \quad (3)$$

(5) 若不满足条件(3), 则  $\lambda+1$ , 其他值不变。

完成训练以后, 对码书中的码字进行整理, 对于  $\lambda$  比较大的码字予以去除, 阈值  $Th$  需根据实际情况进行调整。与混合高斯模型比, 码书模型由于其更新运算比较简单, 更为节省运算量, 因此非常适合运算资源与存储资源都比较有限的嵌入式平台。

### 2.3 目标提取

当训练完成时, 将得到 RQI 码书背景模型, 码书下每个码字都是一个像素亮度能量的集合, 因此码书背景不能单独直接显示在屏幕上。当一段连续视频的一帧被读取以后, 只需遍历整个码书来判断输入帧该点像素的亮度值  $I_{(x,y)}$  是否存在于码书的对应码字  $CB_{(x,y)}$  中, 若不存在, 则将该点判断为前景点。

$$I_{(x,y)} = \begin{cases} \text{背景点}, I_{(x,y)} \in CB_{(x,y)} \\ \text{前景点}, I_{(x,y)} \notin CB_{(x,y)} \end{cases} \quad (4)$$

采用 Ostu 最大类间方差法<sup>[5]</sup>求取由  $D_i(x,y)$  组成的前景图像最佳分割阈值  $T$ 。最后采用式(6)分割, 即可得到检测目标的二值图像  $(x,y)$  处的前景二值图像值

$G_i(x,y)$ 。

$$G_i(x,y) = \begin{cases} 1, D_i(x,y) \leq T \\ 0, D_i(x,y) > T \end{cases} \quad (5)$$

为了消除由背景差分和 Ostu 分割提取二值化前景图像而带来的噪声, 首先进行均值滤波, 再采用图像形态学腐蚀、膨胀操作消除目标图像中的点噪声。

本文采用该方法测试了两种场景环境下的图像, 并在混合高斯建模方法下提取的运动目标效果图进行了比较, 结果如图 5 和图 6 所示, 两种建模方法提取目标所用的时间对比如表 1 所示。



图 5 采用两种背景建模方法对图像 1 提取目标的效果图



图 6 采用两种背景建模方法对图像 2 提取目标的效果图

表 1 两种建模方法提取目标运行时间对照表

| 建模算法     | 运行时间/ms |
|----------|---------|
| 本文码书建模算法 | 16.67   |
| 混合高斯建模算法 | 27.79   |

从图 5、图 6 和表 1 可以看出, 使用本文简化改进的码书背景算法与混合高斯算法提取的目标效果图基本相同, 差别不大, 但是处理时间节省了 11.12 ms。

### 2.4 越界检测

为了检测到是否有目标闯入, 本文对已经检测到的 ROI 进行亮度检测来初步确定目标是否闯入。检测的算式为:

$$\text{crossAlarm} = \begin{cases} 1, M_Y \geq M_{th} \\ 0, M_Y < M_{th} \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $M_Y$  为检测区域的亮度值,  $M_{th}$  为检测区域门限值, 当  $M_Y > M_{th}$  时,  $M_{th}$  可以根据不同的场景进行更改。

若 ROI 的亮度发生突变, 不一定是目标闯入, 有可能是很多噪声点或者其他原因引发检测区域亮度突变。为提高检测准确度, 需要进一步对提取的目标进行连通区域面积的计算。本文采用相邻点循环扫描的方法按照从上向下、从左至右的顺序扫描 ROI 中的连通区域, 步骤如下。

(1) 提取 ROI 二值化图像,  $Flag=0$ , 从上向下、从左至右开始扫描。

(2) 如遇到白点, 相邻点循环扫描直到找不到白点, 统计白点数(连通区域面积)退出循环。

(3) 如果连通区域面积大于设定阈值 Num, 则 Flag=1 进入步骤(4); 否则检查扫描是否完毕, 如果没有则跳回步骤(2), 完毕则退出扫描。

(4) Flag=1 表示有目标存在, 报警后退出扫描。

### 3 实验结果及数据分析

使用 720×576 的 AVI 视频作为本文所设计的系统的测试视频, 结果如表 2 和表 3 所示。由表 2 实验数据可知, 当对 ROI 进行下采样处理时能做到 26 f/s, 由此可见对 ROI 进行下采样在实际应用中的意义之大。由表 3 可知, 本文通过先做亮度突变检测再进行白点的连通区域面积检测后的检测精度能达到 92.65%, 实用性很强。

表 2 实时性数据比较

| 实验条件     | 1 帧图像处理时间/ms | 播放帧率/(f/s) |
|----------|--------------|------------|
| ROI 下采样  | 37.57        | 26         |
| ROI 非下采样 | 58.53        | 17         |

表 3 检测正确率数据比较

| 实验条件 | 实际越界人数 | 检测目标人数 | 错误率/% | 准确率/% |
|------|--------|--------|-------|-------|
| 本文算法 | 2 000  | 1 853  | 7.35  | 92.65 |

本文越界检测系统效果图如图 7 所示, 在图中黑色线条表示警戒线, 当有目标经过 ROI 时, 系统会自动用矩形框出目标在 ROI 中的位置并发出警报。



图 7 直观效果图

本文设计了以 TI 公司 DM648 为核心的硬件图像处理平台, 设计实现了目标越界的实时监测, 通过提取以围界为核心的 ROI, 实时检测 ROI 中亮度值突变及白点的连通区域面积, 实现越界报警。实验结果表明, 本文所设计越界检测系统实时性好, 检测精度高。但当物体运动太快时候将会出现检测不到的情况, 需要进行改进。

### 参考文献

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [2] 齐美彬, 杨爱丽, 蒋建国, 等. 一种基于改进码本的车辆检测与跟踪方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(3): 406-412.
- [3] 郭志涛, 刘玉菲, 刘恩海, 等. 基于区域特征分析的层级有序码书目标检测算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(6): 1903-1906.
- [4] KIM K, CHALIDABHONGSE T H, HARWOOD D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model[J]. Real-Time Imaging, 2005, 11(3):172-185.
- [5] 齐丽娜, 张博, 王战凯. 最大类间方差法在图像处理中的应用[J]. 无线电工程, 2006(7): 25-26.
- [6] 李峰, 周荷琴. 融合码本和纹理的双层视频背景建模方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2012, 42(2): 99-105.

(收稿日期: 2013-11-14)

### 作者简介:

舒君, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统软硬件设计。

吕顺, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统软硬件设计。

李飞, 男, 1989 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统软硬件设计。