

数字视频监控系统中实时运动检测系统的研究

艾金慰¹, 刘 克²

(1. 北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083; 2. 国家自然科学基金委员会 信息科学部, 北京 100085)

摘 要: 在数字视频监控系统中, 从视频流里捕获出序列图像并进行实时运动检测是一项重要的功能。采用两个进程分别实现视频图像的捕获和运动检测, 命名管道作为两个进程之间数据通信的桥梁。提出了一种基于帧差交集快速视频分割法、阈值面积算法结合数学形态学运算提取运动目标区域的数字图像处理算法, 然后再进行运动目标的跟踪定位, 实现实时运动检测。

关键词: 数字视频监控系统; 运动检测; 数字图像处理

中图法分类号: TP274+.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)09-0183-03

Research of Real-time Motion Detection System in Digital Video Supervisory System

AI Jin-wei¹, LIU Ke²

(1. School of Information Engineering, Beijing University of Science & Technology, Beijing 100083, China; 2. Dept. of Information Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

Abstract: In digital video supervisory system, it's an important function that captures image sequence from video-stream and detects the moving objects in real time based on image sequence. This paper creates two processes to capture the image sequence and implement real-time motion detection. The named pipe method is used for two processes to communicate. A novel digital image processing algorithm is presented, which is fast video segmentation method based on intersection of frame differences and threshold area algorithm combined with morphological operation to extract moving region. After the moving region was obtained, the motion object can be tracked and the real-time motion detection algorithm was implemented.

Key words: Digital Video Supervisory System; Motion Detection; Digital Image Processing

随着计算机技术、通信技术、图像处理技术的不断发展, 数字视频监控系统已经逐渐发展为一种重要的安全防范手段。数字视频监控系统具有功能集成化、数字化、使用简单化、监控智能化、控制网络化等优势, 它的发展是与图像处理技术、计算机通信技术的发展密切相关的。因此, 如何利用先进的图像处理技术和通信技术来不断地发展数字视频监控系统, 使其更好地满足安全防范要求, 是本项研究的主要任务。

运动检测是运动图像分析、智能监控、可视人机交互中的重要处理步骤, 通过运动检测可以得到图像中的运动信息, 提取图像中的运动人物或目标, 然后进行定位跟踪, 在需要安全防范的应用场合下具有十分重要的意义。

本文以某军事仓库为研究背景, 主要讨论在具体的数字视频监控系统中对由静态摄像机捕获的场景图像序列进行的运动检测。实际上图像序列的亮度分量已经包含了物体运动的绝大部分信息, 因此运动检测采用的图像数据是灰度图像序列^[1]。

1 硬件结构

本文选用信号和功能齐全的 MPEG-4 数字视频服务器 DVS(Digital Video Server)作为硬件核心设备构建数字视频监

控系统 DVSS(Digital Video Supervisory System), 将摄像机采集的视/音频信号接入视频服务器, 视频服务器配有 10M/100 Mbps 自适应的 RJ45 网络端口, 通过五类双绞线接入宽带局域网, 与监控中心的监控终端进行网络通信。监控中心由网络服务器和多台视频主机(PC机)组成, 连接形式为多级星型结构, 网络协议为 TCP/IP。DVSS 采用基于 Internet 技术的 Client/Server 体系结构, 每一台视频服务器都拥有独立 IP 地址, 而视频主机和其他网上用户则处于客户端。视频主机作为监控终端, 运行 Client 端监控程序, 可实现 1/4/9/16 画面的视频监视和相应的控制^[2]。DVSS 的硬件结构如图 1 所示。

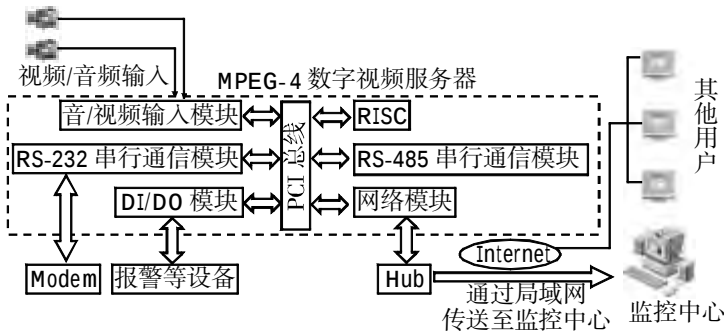


图 1 数字视频监控系统(DVSS)的硬件结构

2 客户端运动检测软件系统

客户端运动检测软件系统主要由三个模块构成, 即序列图像捕获、管道传输和运动检测, 其中运动检测是核心模块(图

2)。首先由静态摄像机完成视频信号的光电转换,再送到视频服务器,视频服务器将输入的视频信号进行 A/D 转换、量化编码和 MPEG-4 数据压缩,再打包成 IP 数据包通过 TCP/IP 通信端口发送给监控中心。监控中心运行所开发的软件,利用视频服务器的 SDK(Software Development Kit) 进行序列图像的捕获,再利用管道传输技术将捕获的图像序列数据传输到运动检测进程。运动检测进程完成序列图像预处理,采用基于帧差交集快速视频分割法提取粗糙的运动目标区域^[4],经过阈值面积算法将运动区域连通,再经过数学形态学运算去掉图像中的孤立散点得到比较完整的运动区域,然后进行运动区域跟踪定位,实现实时运动检测。



图 2 客户端运动检测软件工作流程

2.1 序列图像捕获

由于视频数据量大,对系统资源要求高,为了满足实时性要求,本文在构建视频监控系统时采用杭州海康威视 DS-8000 嵌入式网络硬盘录像机作为数字视频服务器。其硬件由通用芯片和专用芯片经特殊设计而成,软件则采用嵌入式实时操作系统(Real Time Operation System, RTOS) VxWorks, 以保证监控系统运行的可靠性、实时性和稳定性^[2]。在所提供的 SDK 中,函数 Bool ClientCapturePicture(Long StockHandle, char * m_cFilename) 实现图像捕获并存储为 24 位真彩色 BMP 位图; m_cFilename 用于保存捕获到的 BMP 图像文件的文件名; 返回值 True 表示成功, False 表示失败。

2.2 管道传输

命名管道技术(Named Pipe) 用于一个节点或多个节点内进程之间的数据通信。利用命名管道实现进程间的通信,不依附于具体协议,支持可靠的、单向或者双向数据通信,特别适合于组网环境下数据量大、实时数据通信。由于图像数据量大,并且考虑到实时性的要求,因此本文选择命名管道作为图像捕获、运动检测两个进程之间通信的桥梁。其操作示意图如图 3 所示。

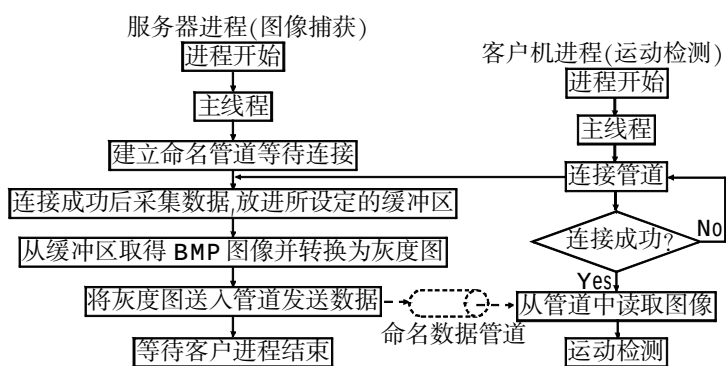


图 3 命名管道操作示意图

2.3 运动检测

目前对序列图像分析的主要方法有:

(1) 基于特征的序列图像分析方法。这种方法从图像中抽取一些与物体的某些三维特征相对应的二维特征,如点、直线、曲线以及区域等,然后建立起相邻帧间图像特征的对应关系以确定二维图像中二维特征的位移。根据这些位移信息可以计算出实际物体的运动参数和运动轨迹^[3]。

(2) 基于图像灰度信息的运动分析方法。它主要又分为差分图像法、互相关分析法和时空梯度法几种方法。差分图像

法是将两幅图像做差分运算,如果某像素点上差分结果的绝对值超过某一门限,则将其置为 1,否则就置为 0。互相关分析法的主要思想是:给定两幅图像及第一幅图像上的小窗口区域,将这个区域在第二幅图像上做相关运算,则具有最大相关系数的区域与第一幅图像上给定的区域相匹配。时空梯度法利用的是每个像素在时间轴和空间轴的偏导,进而求得每个像素的运动速度。后两种方法实现起来运算量比较大,不适合实时性应用。

(3) 短序列图像分析算法。一般仅用少数几幅序列图像建立一组关于物体运动的方程,然后在一定的约束条件下解出那些描述物体运动的参数。由于所用信息少,这种方法所面临的最大的问题之一就是噪声干扰,它影响着解的稳定性和可靠性。

图像序列的亮度分量已经包含了物体运动的绝大部分信息,因此本文采用的图像数据是灰度图像序列。处理速度和可靠性是运动检测算法要解决的两个基本问题,也是衡量各种算法优劣的两个重要标准^[5]。针对该目标,本文提出了一种基于帧差交集快速视频分割法提取粗糙运动目标区域,然后利用阈值面积算法、数学形态学运算将运动区域完善,再进行运动目标的跟踪定位,实现实时运动检测。其流程图如图 4 所示。

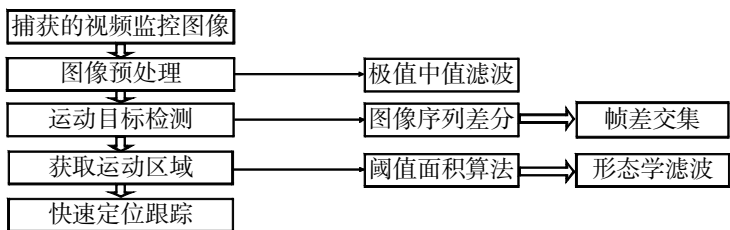


图 4 基于帧差交集实现运动检测流程图

本文提出的算法具体描述如下:

(1) 对序列图像进行 3 × 3 中值滤波预处理,去掉图像随机噪声。

(2) 在动态图像中,取三帧图像,其中前一帧图像 $F_{i-1}(x, y)$,当前帧图像 $F_i(x, y)$,下一帧图像 $F_{i+1}(x, y)$ 。

(3) 计算当前帧与前一帧的差得前向帧差 $FD_b(x, y)$ 。

(4) 计算下一帧与当前帧的差得后向帧差 $FD_f(x, y)$ 。

(5) 求帧差 $FD_b(x, y)$ 、 $FD_f(x, y)$ 的交集得到运动目标的粗糙的运动区域图像。

(6) 对所得到的粗糙运动区域图像进行阈值面积消去处理和数学形态学运算使得运动区域封闭、连续、完整,并去掉背景中的噪声。

(7) 对得到的较完整的运动区域图像进行定位跟踪,实现实时运动检测。

帧差计算算法为

$$FD_b(x, y) = \begin{cases} 1 & |F_i(x, y) - F_{i-1}(x, y)| > T \\ 0 & |F_i(x, y) - F_{i-1}(x, y)| \leq T \end{cases}$$
$$FD_f(x, y) = \begin{cases} 1 & |F_{i+1}(x, y) - F_i(x, y)| > T \\ 0 & |F_{i+1}(x, y) - F_i(x, y)| \leq T \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 T 为阈值。对于给定视频序列的连续两帧图像 $f_k(x, y)$, $f_{k+1}(x, y)$ 而言,假设像素点 k 处没有运动,其帧差 d_k 服从均值为 0、方差为 σ^2 的 Gauss 分布 $N(0, \sigma^2)$:

$$P(d_k | H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left(-\frac{d_k^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

式(2)中, H_0 表示无运动假设, σ^2 是帧差的统计方差, 通常认为它等于摄像机噪声方差 σ_c^2 的两倍。根据概率统计学假设检验“ 3σ ”法则, 并依据“正确的阈值 T 应该能消除大部分噪声”的原则^[6]。由试验测试得阈值 T 在本文特定的应用背景下可以选在 5 ~15 之间。

帧差交集算法的思想是: 通常认为运动目标在连续三帧图像内运动方向几乎保持不变。这样, 在当前帧中运动目标的运动方向相对前一帧和相对后一帧而言是几乎相反的。因此, 在后向帧差中新出现的背景区域相对前向帧差和后向帧差而言是相反的方向。两幅帧差交集可以精确提取视频序列中运动目标的运动区域^[4]。如果前向帧差和后向帧差在像素点(x , y) 处灰度值都是 1, 相交后的值仍为 1, 否则为 0(1 代表白色, 灰度值为 255; 0 为黑色, 灰度值为 0)。

由帧差图像相交得出的运动区域图像仍然不够完整、连续、封闭, 背景中有零散的噪声区域等。通过阈值面积算法处理和数学形态学运算可以很好地解决上述问题。阈值面积算法的思想是: 设定一个阈值面积 S_T ; 寻找图像中运动区域的不完整和不封闭区域(空穴), 统计空穴的像素个数得到空穴面积; 如果空穴的面积小于阈值 S_T , 则把该空穴设成与运动区域同色。阈值 S_T 的选择取决于图像运动区域的连通程度, 试验中 $S_T \geq 1\,000$ 。

- 阈值面积算法实现步骤如下:
- (1) 初始化。将所有白色像素标记为 0, 所有黑色像素标记为 - 1, 空穴数置 0。
 - (2) 寻找一个空穴的初始像素(标记为 - 1), 将其标记改为当前空穴数, 空穴数加 1。
 - (3) 正向和反向分别搜索所有像素, 找到标记为 - 1 的像素, 正向(上侧和左侧)、反向(下侧和右侧) 搜索其周围有没有标记值为当前空穴数的像素。如果有, 将当前像素标记改为空穴数的值。如果正向、反向都没有搜到满足条件的像素, 表示当前空穴所有像素已被遍历, 转步骤(2)。
 - (4) 如果步骤(2) 中没有寻找到开始像素, 表示所有的空穴已被遍历。
 - (5) 统计空穴像素个数, 小于阈值 S_T 则置成与运动区域同色。

这样处理后, 运动区域变得完整、封闭, 然后通过数学形态学闭运算处理可以使得运动区域边缘光滑、连续、完整, 并且背景中的噪声得到了有效的抑制。根据背景中的噪声特征进行

数学形态学闭运算处理, 结构因子选为
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}。$$

最后进行运动区域定位跟踪。经过阈值面积算法和数学形态学闭运算处理后的运动区域图像较为完善, 背景基本上都是黑色, 运动区域均为白色。以图像左下角为原点建立直角坐标系, 向右为横轴, 向上为纵轴, 取得运动区域两组值($X_{\min}$, $X_{\max}$) 和($Y_{\min}$, $Y_{\max}$)。从左到右逐列扫描图像, 统计每列白像素的个数 λ , 当 λ 两次经过阈值 λ_T 时横坐标位置就是 $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 。同样, 从上到下逐行扫描图像, 统计每行白像素的个数 μ 当 μ 两次经过阈值 μ_T 时纵坐标位置就是 $Y_{\min}$ 和 $Y_{\max}$ 。经过

试验, 阈值 λ_T , μ_T 可以选 15 ~20。以($X_{\min}$, $Y_{\min}$) 和($X_{\max}$, $Y_{\max}$) 为对角顶点画一个长方形, 将运动目标包含进来, 实现定位跟踪。

3 试验结果

为验证本文所提出的算法, 根据本文提出的思路进行试验。捕捉到的试验图像序列的时间间距为 130. 8ms, 大小为 352 ×288 像素, RGB24。在处理算法的入口和出口分别获取系统时钟, 其差值就是算法的处理时间。在 CPU 为 P4 2. 4MHz, 内存为 DDR 512 MB 的处理平台上, 得到算法的处理时间为 430 ms, 即延迟时间不足 0. 5 s, 满足一般的实时性要求。由此证明: 本文所提出的方法是正确有效的, 特别是当视频目标运动的速度不是特别快时能很好地满足实时性、精确性应用要求, 此外, 背景的复杂性不会影响最后的结果。具体结果如图 5 所示。



4 总结

本文从硬件结构到软件结构研究了基于序列图像分析的实时运动检测算法在数字视频监控系统中的应用。提出了一种基于帧差交集快速视频分割法、阈值面积算法、数学形态学运算来提取运动目标区域, 然后再进行运动目标的跟踪定位, 实现实时运动检测的方法。试验结果证明该方法是行之有效的, 满足一般的实时应用要求。

参考文献:

- [1] 胡俊, 苏祥芳, 刘立海, 等. 图像序列运动检测算法的研究及其应用[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 2000, 46(5): 613-616.
- [2] 刘灿, 刘克. 数字化综合安防系统的整体构建[J]. 计算机应用, 2003, 23(11): 46-48.
- [3] A Alatan, L Onural, M Wollborn, *et al.* Image Sequence Analysis for Emerging Interactive Multimedia Services: The European COST 211 Framework[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. , 1998, 8(7): 802-813.
- [4] C Gu, MC Lee. Semiautomatic Segmentation and Tracking of Semantic Video Objects[J]. IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol. , 1998, 8(5): 572-584.
- [5] A G Bors, I Pitas. Prediction and Tracking of Moving Objects in Image Sequences[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(8): 1441-1445.
- [6] T Meier, K N Ngan. Video Segmentation for Content-based Coding [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. , 1999, 12(9): 1190-1203.

作者简介:

艾金慰(1980-), 男, 湖北浠水人, 硕士研究生, 主要研究方向为多媒体监控系统、网络集成技术、面向对象程序设计; 刘克(1965-), 男, 河南郑州人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为复杂系统、多媒体监控系统、网络集成技术、面向对象程序设计。