

面向道路交通监控智能摄像头的自主协同跟踪模式

卢秀卿 张亚英 叶晨

(同济大学嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室 上海 200092)

摘要 在面向道路交通监控的嵌入式智能摄像头中引入动态角色和分布控制的思想,设计实现了一种摄像头自主协同目标跟踪模式。在本模式中摄像头之间能够动态组织对异常车辆目标的协同跟踪,跟踪过程由前端摄像头自主控制完成。这种分散控制模式能够有效减缓交通监控系统中后端服务器的工作压力,并降低大量实时视频数据在路网中传输对道路信息网络带宽的要求,同时又使监控系统具有较强的灵活性和容错能力。

关键词 智能摄像头,动态角色,分布式控制,协同跟踪

中图分类号 TP319 **文献标识码** A

Autonomous Collaborative Tracking Mode on Smart Camera for Traffic Monitoring

LU Xiu-qing ZHANG Ya-ying YE Chen

(Key Laboratory of Embedded System and Service Computing, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract This paper designed and implemented an autonomic collaboration tracking mode on embedded smart cameras for traffic monitoring by introducing dynamic roles and distributed control. Collaborative tracking for abnormal vehicle will be organized automatically in smart camera network and the autonomous tracking process is created and completed by smart cameras themselves. The decentralized control mode can effectively slow down the working pressure of service systems, reduce the requirements of network bandwidth for real-time video transmission, and make the system flexible and fault-tolerant.

Keywords Smart cameras, Dynamic roles, Distributed control, Collaborative tracking

1 引言

随着城市交通视频监控系统的不断扩大,交通视频信息量不断上升,但目前绝大多数视频监控系统仍停留在人为观察和手工操作的阶段,现有的视频监控系统已经不能满足交通领域的海量视频信息化应用需求,这在很大程度上限制了视频监控资源的有效利用,直接影响了交通监管效率。

基于摄像头的目标跟踪是智能交通监控领域的一个重要应用,国内外研究人员将大量图像识别算法和辅助设备应用到目标跟踪技术中,已取得了一定的成果。早期的目标跟踪模式大多利用传统光学摄像头拍摄图像,然后传输图像到后端来进行图像处理和路径分析,如 Mehmet 等利用 VAX 11-750 mini-computer 来对前端摄像头拍摄的图像进行基于窗口的目标路径跟踪^[1]。但这些方法只能对单一目标进行跟踪且跟踪范围较小。之后随着嵌入式技术的发展,陆续出现了许多基于多个嵌入式智能摄像头^[2]的跟踪方案,如 Ellis 等提出了一个多视野视频监控系统^[3]。由于该系统只对一个公共区域进行监控,因此系统的结构和布置场景都是固定的。

本文针对道路交通监控中异常车辆接力跟踪这项耗时费力的任务提出了一种基于嵌入式智能摄像头的跟踪模式。该模式使用前端嵌入式智能摄像头来对异常目标进行检测和跟

踪^[4],能够在监控系统中某一路口的摄像头发现异常车辆后,在道路摄像头网络中自发组织车辆沿途的摄像头对其进行协同跟踪,并在跟踪任务完成后将完整的事件信息记录下来。相较于目前智能监控领域应用较多的后端服务器集中控制模式,本模式采用前端分布式摄像头^[5]自主控制模式^[6],能够有效减缓监控系统中大量异常事件并发所引起的后端服务的工作压力,并降低大量实时视频数据在路网中传输对道路信息网络带宽的要求,同时本模式还能灵活地对系统中的摄像头,进行增减而无需对系统整体进行改动。

2 自主协同跟踪系统描述

2.1 智能摄像头与跟踪目标描述

本文假设区域道路网中的所有交叉路口都被智能摄像头覆盖,一个路口可以装有多摄像头,但它们各自具有非重叠的监控范围^[7],并且系统假设相邻两个摄像头之间只有一条通信链路。因此,将摄像头作为顶点 v ,它们之间的通路作为边 e ,能够构成一个连通的无向图 $G(V, E)$ 。集合 V 中每个顶点 v_i 都知道与自身相邻的顶点 v_j ,并能够互相通信、共享信息。同时,每个智能摄像头都具有较强的处理性能,能够同时跟踪多个目标。

系统假设被跟踪的目标车辆只能在区域内的道路上行

本文受上海市科技创新行动计划(10DJ1400300),国家国际合作专项(2012DFG11580),国家自然科学基金项目(61003221)资助。

卢秀卿(1989—),女,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统, E-mail: xiaofei_410@hotmail.com; 张亚英(1975—),女,博士,副教授,主要研究方向为网络与分布式计算; 叶晨(1980—),男,博士,讲师,主要研究方向为嵌入式系统。

表 1 相邻摄像头表

摄像头 A		摄像头 B	
相邻摄像头	对应边界区域	相邻摄像头	对应边界区域
B	3,4,5	A	1,8,7

2.4 基于动态角色的自组织跟踪策略

基于动态角色的自组织跟踪策略角色状态与事件的流程图如图 3 所示,具体策略描述如下:

1) 系统初始化。系统中所有摄像头进入事件侦测状态,每个摄像头中角色数目为 m (m 值根据摄像头处理性能而定),都设置为空闲角色。

2) 某摄像头发现异常事件,锁定事件目标,对目标进行身份识别。在该摄像头的非空闲角色中匹配目标信息。若目标未被建立跟踪任务,将一个空闲角色转换为主跟踪者,跟踪任务建立,转向 3)。若目标已被建立跟踪任务,则在原有任务中添加此次事件信息。

3) 主跟踪者在自身的监控范围跟踪目标,并不断搜集更新目标信息,如颜色直方图等。

4) 当目标快要离开监控范围时,主跟踪者根据其运动轨迹预测出目标可能走的通路并向这些通路另一端的摄像头申请从跟踪者角色。

5) 相邻摄像头收到从跟踪者请求,将一空闲者转换成从跟踪者,并向主跟踪者告知从跟踪者建立成功,开始共享目标信息。若从跟踪者建立不成功,则向主跟踪者返回失败信息,主跟踪者对此进行记录。

6) 目标离开主跟踪者监控范围,主跟踪者向本任务的所有从跟踪者发出通知。从跟踪者根据自身与主跟踪者之间的物理位置,在监控范围内划定目标发现区域并在该区域内不断进行目标检测。同时,主跟踪者也在目标离开前的相应区域划定目标发现区域进行目标检测。

7) 某从跟踪者在目标发现区域内发现目标,它通知主跟踪者转换身份,自身转变为主跟踪者。主跟踪者收到通知,通知其余从跟踪者转变为空闲角色,自身变为空闲角色,转向 3)。

8) 经过 Δt 时间主跟踪者和从跟踪者均未发现目标,转向 9)。

9) 目标跟踪任务完成,主跟踪者记录目标停留位置,将完整的目标跟踪信息送入数据服务器。主跟踪者通知所有从跟踪者转换为空闲者,同时自身也转换为空闲者,转向 2)。

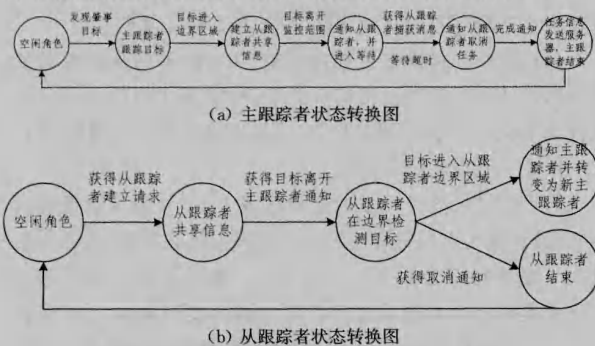


图 3 基于角色的自组织跟踪策略流程图

由于该跟踪策略不需要后台总体控制,每个跟踪任务都是由摄像头完成的独立个体,而角色的移交也只是在相邻摄像头之间完成,因此任何一个摄像头故障都会导致个别跟踪

任务提前结束,而不会影响到整体系统的运作。同时,任务对系统规模的扩展可以通过改动个别相关摄像头的相邻摄像头表来实现,不会对整体系统产生影响。

3 自主协同跟踪系统结构

3.1 硬件架构

自主协同跟踪系统主体由一系列具有较高图像处理性能的嵌入式智能摄像头组成,这类摄像头除了基本的图像传感器外还配置多种外围设备接口,如以太网口、串口、模拟信号输出等,以通过图像分析算法识别车辆。本系统还设有一组数据服务器用于记录具体的车辆信息和事件信息。如图 4 所示,系统中所有设备连入一个专用的局域网络,摄像头通过网络通讯对异常目标进行协同跟踪,跟踪任务完成后通过网络将目标信息记录在数据服务器中,而同样连入局域网的客户端则向用户提供了对各个摄像头进行配置、管理数据服务器等功能。

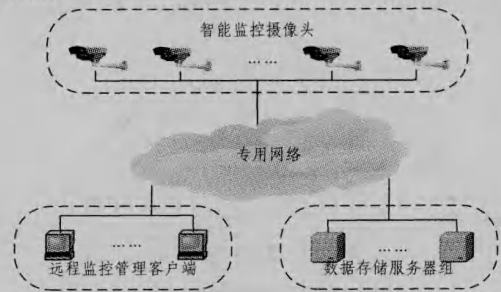


图 4 硬件架构图

3.2 智能摄像头软件结构

系统中智能摄像头是集成了高性能嵌入式芯片的数字摄像头。摄像头能将拍摄的模拟图像信号转变为数字信号,并能通过嵌入式芯片对数字图像进行处理。系统利用摄像头这一特性,在摄像头嵌入式芯片上架设用于协同跟踪的软件系统,使摄像头能自主完成协同跟踪等任务。

智能摄像头的软件系统分为三层,分别是底层与操作系统交互负责管理软硬件资源的资源管理层、负责主要跟踪任务的应用层和负责对外通讯的网络通讯层,如图 5 所示。

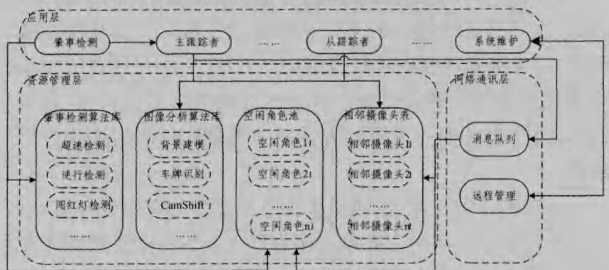


图 5 软件结构图

资源管理层主要用于对算法资源和角色资源的管理,并向应用层提供调用接口。该层包括异常事件检测算法库、图像分析算法库、空闲等待角色池和相邻摄像头表 4 个资源库,它们对库中的算法和角色进行统一的资源分配管理^[9],使其在不被使用时占用很少的资源。肇事检测算法库和图像分析算法库中的算法既可为图像分析算法也可为由硬件完成的功能性算法,但是都必须具有相同的对外接口以便应用层使用。这两个库中的算法均可动态更改。空闲角色库中的空闲角色

是一系列经过初始化的备用角色,其数量需进行适当调整以防同时工作的角色数量过多而降低系统整体实时性。相邻摄像头表信息如 2.3 节中表 1 所列,包括每个摄像头的网络地址、与本摄像头的相对物理位置等信息,用于主跟踪者组织协同跟踪以及从跟踪者判定目标检测区域。

应用层主要负责系统实时运行的模块,有系统维护、肇事检测及一系列主跟踪者和从跟踪者。系统维护模块负责系统的初始化以及一些例行维护工作,能够通过网络通讯层和远程控制主机进行通信,根据主机发送的指令对系统进行更新维护。肇事检测模块根据配置调用肇事检测算法库中的部分算法,通过不断对算法运行结果进行组合分析实时地对监控范围进行异常事件侦测。当有异常事件发生时,将向空闲角色库申请空闲角色,并根据已有的异常事件信息对空闲角色进行配置,将其转变为主跟踪者。主跟踪者能够调用图像分析算法库中的算法,不断从图像中获取目标的有用信息,它是这个目标追踪任务的唯一信息记录者和协调跟踪的组织者,当主跟踪者在摄像头网络之间进行转移时,这些数据信息将完整转移。同时,主跟踪者模块还能通过网络通讯层将完整的事件信息发送给服务器或与其他从跟踪者进行目标信息共享。从跟踪者是由其他摄像头上的主跟踪者通过网络通讯层建立的,它与主跟踪者共享目标信息,在目标离开主跟踪者监控范围后能够调用图像分析算法库中的算法在指定区域内进行目标检测,一旦发现目标,自身将转变为主跟踪者。

在应用层,由于空闲角色数目有限,因此一旦所有空闲角色都被投入使用,当系统要继续申请空闲角色时就会发生角色抢占。每个目标跟踪任务根据异常事件的不同会有不同的跟踪优先级,当发生角色抢占时,高优先级的任务抢占低优先级的角色。若被抢占角色为主跟踪者,则原跟踪任务被强行结束,将所有信息发送给服务器,原主跟踪者变为空闲角色。当被抢占的角色为从跟踪者,则直接将其变为空闲角色并通知相应的主跟踪者。当所有已有跟踪任务优先级都高于新任务,则直接将异常事件信息发送给服务器。

网络通讯层完成系统所有的对外通讯以及消息分配功能,包括负责与管理控制端通信的远程管理模块和用于角色通信的消息队列模块。消息队列模块中又包含两个单向消息队列,一个用于接收所有外界发送来的消息,并根据消息的任务 ID 将消息分发给应用层的各个模块。一个用于接收应用层各模块的消息发送请求,并不断将队列中的消息封装发送。

本系统根据所选的芯片方案不同具有不同的分布结构:

- 1) DSP 作为主控芯片:三层均基于 DSP/BIOS 之上。
- 2) ARM 作为主控芯片, DSP 作为运算芯片:资源管理层中的图像分析算法库和肇事检测算法库在 DSP 端基于 DSP/BIOS,其余均在 ARM 端基于 Linux Kernel。

本文采用第一种 DSP 作为主控芯片的方案。

4 系统实现及结果分析

4.1 系统实现

本文实验系统架设于实验室内,如图 6(a) 所示,采用 ROSEEK 公司的 EagleEye3 系列智能相机作为实验用智能摄像头,它具有逐行扫描 CCD 传感器,内嵌主频 900MHz 的 TMS320DM648 嵌入式 DSP 芯片,配置 256M DDR2 和 16M Flash 以及 64K EEPROM,同时提供串口、数字 IO 口等多种外设接口^[10]。其硬件实现 H. 264 高清压缩录像,能够不占

用 DSP 资源向外传输视频。

由于智能摄像头采用纯 DSP 芯片,因此软件结构的三层均基于 DSP/BIOS 之上。在具体图像分析算法上,实验系统简化了一些算法的具体实现,如异常事件检测算法库中的检测算法只使用了背景差值法^[11]和颜色直方图算法,而图像分析算法库中使用了 CamShift 算法^[12]。空闲角色库中空闲角色数量初始化为 3。

4.2 实验结果及分析

实验如图 6 所示,红色小车作为肇事车辆从摄像头 A 的监控区域驶向摄像头 B 的监控区域。为了简化场景,我们只为摄像头 A 和 B 划定了边界区域 5 和 8,其它边界区域均为空。摄像头 A 的相邻摄像头表中边界区域 8 对应于摄像头 B,而摄像头 B 的相邻摄像头表中边界区域 5 对应于摄像头 A。白色小框为肇事检测框,能够识别特定目标。红色小框为车辆跟踪框,为了减小运算量,我们将其大小限定为 200 * 200 像素以内。如图 6(b) 所示,红色小车在摄像头 A 中被识别为肇事车辆,系统开始对其跟踪。当其进入摄像头 A 的边界区域 8 后,摄像头 B 中产生一个从跟踪者进行信息共享。当其离开摄像头 A 后,摄像头 B 开始对其边界区域 5 进行目标侦测。当小车进入摄像头 B 的边界区域 5,摄像头 B 成功捕捉到红色小车,原来的从跟踪者转变为主跟踪者,继续对其进行跟踪,如图 6(c) 所示。此时,摄像头 A 中的原主跟踪者已取消。同时,我们将黑色小车作为干扰车分别驶入两个摄像头的监控区域,摄像头并未对其进行跟踪。

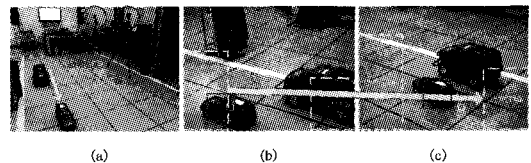


图 6 系统运行结果图

我们又安排多辆肇事小车驶入监控区域以对系统进行总体性能测试,系统也能够同时准确地执行多个跟踪任务。以上实验表明相较于传统的单目标跟踪,系统所采用的多角色跟踪策略能够使各个摄像头同时对多个目标进行正确追踪,其系统运行测试数据表如表 2 所列。从数据中可以看出主跟踪由于要承担复杂的图像算法,占用大部分系统资源。而从跟踪者在和主跟踪者共享信息时占很少的系统运算资源,但是一旦目标从主跟踪者处离开,从跟踪者开始进入检测目标状态,由于检测目标也需要进行大量图像运算,它的计算资源占有量大幅增加。

表 2 系统运行测试数据表

系统启动时间	7 秒		
划定边界区域			
	CPU 使用率	所占内存	帧率
系统只运行肇事侦测	24.6%	60M	11 帧/秒
系统存在 1 个主跟踪者	52.6%	65.2M	9 帧/秒
系统存在 2 个主跟踪者	82.9%	70.2M	7 帧/秒
系统存在 3 个主跟踪者	99.7%	75.2M	5 帧/秒
系统存在 1 个从跟踪者(共享信息)	25%	65M	11 帧/秒
系统存在 1 个从跟踪者(目标检测)	49.6%	65.2M	9 帧/秒
未划定边界区域(即检测范围为全屏 1216 * 1024 像素)			
系统存在 1 个从跟踪者(目标检测)	100%	65.2M	2 帧/秒

(下转第 317 页)

empirical study[M]. Center for applied science computing Lawrence Livermore National Laboratory, July 2001

- [5] Coifman R R, Donoho D L. Translation-invariant de-noising [C]// Antoniadis A, Oppenheim G, eds. Wavelets and Statistics, volume 103 of Springer Lecture Notes in Statistics. New York: Springer-Verlag, 1995: 125-150
- [6] Sahracian S M E, Marvasti F. An improved image denoising technique using cycle spinning [C]// IEEE International Conference on Communications Telecommunications and Malaysia, 2007: 686-690
- [7] Eslami R, Radha H. The contourlet transform for image denoising using cycle spinning [C]// Signals, Systems and Computers, 2003. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on, 2003, 2: 1982-1986
- [8] Eslami R, Radha H. Image denoising using translation invariant

contourlet transform [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005, 4: 557-560

- [9] Fietcher A K, Ramchandran K, Goyal V K. Wavelet denoising by recursive cycle spinning [C]// Proc IEEE International Conference Image Processing. NY, 2002: 873-876
- [10] 梁栋, 沈敏, 高清维, 等. 一种基于 Contourlet 递归 Cycle Spinning 的图像去噪方法 [J]. 电子学报, 2005(11)
- [11] 贾建, 项海林. 基于剪切不变的递归 Contourlet 变换图像去噪 [J]. 计算机科学, 2009(5)
- [12] Do M N, Vetterli M. Contourlet: A directional multiresolution image representation [C]// IEEE International Conference on Image Processing. Rochester, NY, 2002: 357-360
- [13] Brox T, Bruhn A, Papenberg A. High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping [C]// Proceedings of European Conference on Computer Vision. 2004: 25-36

(上接第 291 页)

系统在角色变换、网络通信以及算法库管理等方面所占的资源较少,但随着跟踪者数量的增多,跟踪者所配置的图像处理算法大量地消耗运算资源和存储资源,以致最后影响了系统的实时性。因此,在算法的选取和配置上需要谨慎考虑,要对每个跟踪者所采用的算法数量进行限制,同时也要在算法的实现上进行尽可能的优化以便达到可接受的最佳效果。同时,采用高运算性能的芯片和适度降低图像分辨率也能提高系统的总体实时性。

系统采用划定边界区域的方式进行角色移交也可以大幅节省系统资源。如表 2 所列,当边界区域未被配置,从跟踪者在进行目标检测时所搜索的范围就从很小的边界区域扩大至全屏,其算法运算量大幅增加以致所有运算资源都被耗尽。而对于主跟踪者,若边界区域未被划定,则不得不一发现跟踪目标就在所有相邻摄像头中建立从跟踪者以共享信息。这样不但严重增加了网络带宽的压力,还不必要地占用了其他摄像头中的有限角色资源。

由于实验环境所限,我们测试了两个摄像头的情况,但是本系统可以不加改动而扩展成具有多个智能摄像头的系统。每个摄像头都是独立的,每添加一个摄像头,只需向其逻辑位置上的相邻摄像头的配置表中添加一条信息即可,并且这一工作可以通过远程配置来完成。因此,系统具有较高的可扩展性。

结束语 将异常事件识别、目标追踪放入前端智能摄像头系统中,能够有效减轻后端服务器计算和网络带宽的压力,改善整体系统的处理性能,并能更好地构建可扩展大规模交通监控网络。本文提出了动态角色和分布控制相结合的智能摄像头前端自主协同目标跟踪模式,这种自主发现、自主追踪目标的模式可以用来构建智能化的交通监控管理服务平台,提高交通异常事件处理的效率。

参 考 文 献

- [1] Celenk M, Reza H. Moving object tracking using local windows

[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Intelligent Control, 1988. Arlington, 1988: 180

- [2] Wolf W, Ozer B, Lv T. Smart cameras as embedded systems [J]. Computer, 2002, 35(9): 48
- [3] Ellis T. Multi-camera video surveillance [C]// Proceedings of the International Carnahan Conference on Security Technology, 2002. NEW JERSEY, 2002: 228
- [4] 孙双. 基于嵌入式的目标检测与跟踪技术研究与实现 [D]. 南京: 南京师范大学, 2010
- [5] Bramberger M, Doblender A, Maier A, et al. Distributed embedded smart cameras for surveillance applications [J]. Computer, 2006, 39(2): 68
- [6] Quaritsch M, Kreuzthaler M, Rinner B, et al. Autonomous Multicamera Tracking on Embedded Smart Cameras [J]. EURASIP Journal on Embedded Systems, 2007, 2007(1): 35
- [7] 陈伟宏. 基于多摄像头的目标跟踪算法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2005
- [8] 谭申强, 龚华军, 王彪, 等. 基于面向对象 Petri 网的无人机协同追踪系统建模 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(3): 971
- [9] Chang Hong-lin, Wolf M, Koutsoukos X, et al. System and software architectures of distributed smart cameras [J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 2010, 9(4): 38
- [10] 上海锐势机器视觉科技. EagleEye3 系列智能相机 [OL]. <http://www.roseek.com/cn/products/eagleeye3.htm>, 2013-06-18
- [11] Zhu Fang, Jiang Ping, Wang Zhao-bin. ViBeExt: the extension of the universal background subtraction algorithm for distributed smart camera [C]// 2012 International Symposium on Instrumentation & Measurement, Sensor Network and Automation, 2012. Sanya, 2012: 164
- [12] Shen Long-yun, Pan Wei-dong, Quan Yin-hua, et al. Improved tracking strategy with CamShift algorithm [C]// 2012 International Conference on Systems and Informatics, 2012. Yantai, 2012