

一种基于无线传感器网络的目标跟踪调度算法^{*}

王新¹, 李晓娟¹, 方贵明², 张伟功¹

(1. 首都师范大学信息工程学院, 北京 100048; 2. 中国科学院软件研究所多媒体实验室, 北京 100080)

摘要: 基于无线传感器网络的 IPv4/IPv6 混合组网的视频监控系统的调度算法可以有效地增强视频监控的智能控制功能。在综合考虑无线传感器网络的自身特性和监控系统功能扩展清晰度要求的基础上, 对原有的后来先服务调度(LCFS)算法进行改进, 并设计和实现了一种简单有效的目标检测和跟踪方案, 提出了清晰度最优负载平衡的调度算法(DOLB)。理论分析及实验结果表明, 该算法性能明显优于原有的调度算法。

关键词: 视频监控; 无线传感器网络; 调度算法; 清晰度; 负载平衡

中图分类号: TP393.09 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)05-1740-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.05.038

Scheduling scheme for tracking based on wireless sensor network

WANG Xin-lu¹, LI Xiao-juan¹, FANG Gui-ming², ZHANG Wei-gong¹

(1. College of Information Engineering, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Multi-media Lab, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The scheduling scheme of the IPv4/IPv6 hybrid network video surveillance system based on wireless sensor networks can effectively enhance intelligent controls of the system. This paper considered the features of wireless sensor networks, expanded the functionality requirements, improved LCFS scheduling scheme, designed and implemented a simple and effective object detecting and tracking solution, proposed DOLB scheduling scheme. Theoretical analysis and experimental results show that the scheme is superior to the original scheduling scheme.

Key words: video monitor; wireless sensor network; scheduling scheme; definition; load balance

0 引言

随着社会生活水平的提高,视频监控网络广泛应用于基础设施的监控和保护等安防领域。通过综合应用无线传感器的监控网络,将会使得下一代安防工作更具保密性、有效性、舒适性和安全性^[1]。

为了实时监控网络状态,最通用的解决方案是使用高性能的摄像头覆盖一座建筑,通过操作员控制监控系统,一个或多个操作员从网络摄像头里观察视频,通过观察的动态情况调控摄像头完成监控任务,这受限于操作人员的精力和反应能力,会给整个系统带来显著的脆弱性和复杂性。在实践方面,一些文章使用各种辅助技术和设备实现监控,如大部分自治系统用结构光、标定组件、移动机器人,或者测量路标,但是开销大且可靠性不强、对实验环境有太多的限制。所以,为了减少系统开销,降低环境限制,增加系统可靠性,本项目采取了一个综合的解决方法:构建一个混合感知监控系统^[2],将现有系统中由人眼识别判断重点区域事件的工作改为由通过携带有热红外传感器的无线传感器节点完成,综合处理低消耗的红外传感器组成的密集网络传来的上下文信息和稀疏摄像头网络的视频信息,实现自动配置每一个摄像头到一些红外传感器组成的网络区域;通过调度算法协同无线传感器网络和视频监控摄像头

网络,实现自动地对移动人物^[3]进行跟踪、定位和识别,收集相应的视频。

任何调度策略的目标都是尽量处理更多的网络覆盖区域的人物^[4],获取视频资料信息不仅可以避免事件发生并且可以用于事后的调查取证,其考虑的问题是在平衡协作中如何更好地配置和利用资源为识别工作提供条件。因此本文在综合无线传感器网络的自身特性和监控系统功能扩展清晰度要求的基础上,通过应用摄像头运动原理,在一个给定的感知集合内收集高分辨率的人物图像信息用于识别工作。通过改良原有的后来先服务调度算法(last come first served, LCFS),提出一种在无线传感器网络和视频监控摄像头网络的混合监控系统中的清晰度最优负载平衡的调度算法(definition optimal load balance, DOLB),通过传感器网络及时获取的目标人物的动态信息,动态控制摄像头获取图像,通过综合评定区域和距离权重因子,优化了调度任务分配问题,降低了视频抖动和识别丢失率。

1 后来先服务调度算法

后来先服务调度算法是一种在视频监控系统中常用的静态最优调度算法。它基于系统记录里最新的报警有效性和最新出现的活动现象的重要性,赋予最新的报警最高的优先级,

收稿日期: 2009-10-09; **修回日期:** 2009-11-05 **基金项目:** 国家发改委 CNGI 示范工程基金资助项目(CNGI-06-02-05);北京市“优秀人才培养”项目(20081D0501600187);北京市教委科技发展研究计划项目(KZ200710028014);北京市属高等学校人才强教计划资助项目 PHR(IHLB)

作者简介: 王新 (1984-),女,河南鹤壁人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络应用、多媒体技术(wangxinlu119@tom.com);李晓娟(1968-),女,副教授,硕导,主要研究方向为图像分析与理解、传感器网络;方贵明(1966-),研究员,硕导,主要研究方向为多媒体通信、嵌入式系统;张伟功(1967-),研究员,博士,主要研究方向为嵌入式系统。

次新的报警次高的优先级的后来先服务调度算法^[5]。

算法过程如下:假定当前传感器节点对应的元区域集合为 R , 元区域的信息由控制中心按照报警时间先后次序排列; 当前能够被调度的摄像头集合为 C , 如果 R 或者 C 为空, 则不需要调度; 选择 R 中报警时间最新的元区域 R_i , 假设 $C_j \in C$, 选择 C_j 中相对于元区域 R_i 权重最大的预置点 j , 记 j 相对于 R_i 的权重为 W_{ij} ; $\max\{W_{ij} | C_j \in C\} = W_{rs}$, 它对应第 C_r 个摄像头的第 s 个预置点, 因此调度结果是将第 C_r 摄像头调度到第 s 个预置点; 将 R_i 从 R 中移除, 将 C_r 从 C 中移除, 如果 R 或者 C 为空, 则调度结束, 否则继续此步^[6]。

这是一个贪婪调度算法, 它仅仅考虑到单个人进入覆盖区域时, 调度可用的摄像头到有目标出现的位置, 但是并没有考虑这个摄像头相对于目标人物位置是否是最优的选择; 特别当在检测区域同时出现多个人的负载增加情况, 会出现严重抖动, 并且调度算法就失去了效应, 从而使目标信息的丢失导致识别目标人物工作无法进行。

2 清晰度最优负载平衡的调度算法

此算法根据混合监控网络中的调度特点, 重点解决原算法遗留的问题, 包括: a) 处理当多人进入监控网络时, 实现调度清晰度最优化, 更好地完成监控任务; b) 如何能更好地解决降低现有算法的抖动和丢失率高的问题。

2.1 清晰度分析

图像的清晰度通常用图像的分辨率来表示。理论上摄像头分布的密度和每个摄像头的图像分辨率构成了覆盖区域的分辨率。在无线传感器网络中, 给定一个有限集合的感知资源, 合理利用这些资源可得到整体的最高覆盖分辨率。

设计部署环境很少能提供一个各项同性的没有障碍的感知中心。明确地说, 摄像头可以应用运动原理来减少障碍信息的干扰。此外, 当多个摄像头通过应用动作操作来减少重叠区域的照射, 从而能关注小范围区域, 提供一个更加高分辨率的目标区域图像^[7]。摄像头运动相对于传感器所在区域的权重越大, 表示当该区域传感器报警时, 选择该摄像头的特定运动会得到更好的调度结果。本算法综合考虑区域因素的重要性和区域目标到云台的距离影响, 得到基于清晰度的调度算法的综合权重。

2.2 权重评价因子

1) 区域重要性

每一个摄像头运行对每个人物运动事件的实现调度算法, 需要考虑目标人物的负载信息。

在实现调度时, 定义每个摄像头的工作集合 J_i , 对于每个人物运动事件 $P_j \in J_i$, P_j 是在 $[t, \tau]$ 时刻, 红外传感器获取人物信号, 并由两个 R_i 组成的一个二元组, $P_j = \{R_x[t], R_y[\tau]\}$ 。根据传感器警报信息规律估计拓扑, 对 P_j 元组应用时间规律算法^[8], 去预测每一个接受探访的人的最可能的趋向, 趋向不同的区域代表不同的负载趋向信息, 负载信息用于设定处理的优先级。负载越高, 分类的优先级越高, 那么这个区域的重要性就越高, 对应的权重信息就越大。如果一个人的趋向是离开这个监控网络, 那么定义它将移动到一个摄像头负载为无限的状态, 这样会分配到最高优先级。

2) 人与摄像机的距离

人与摄像机镜头之间的直线段距离是判断这个摄像头运动调节性能权重的重要标准^[9], 摄像头 c_i 距离目标人物 p_i 越远, 意味着调度 c_i 的优先级越低。人由于距离摄像机镜头距离不同而产生近大远小的透视效果, 根据人物矩形高度大致计算距离值 l 。因为对摄像头 zoom 值的调节会导致画面中矩形高度的映射尺寸不一样, 在此需要考虑的除了人物矩形像素高度 length 之外, 还要考虑镜头的伸缩姿态 zoom_factor, 从而大致地计算距离值 l 的函数为

$$l = k_2^{-1} \left[\frac{\text{length}_{\text{STD}} \times k_1 (\text{zoom_factor})}{\text{length}} \right] \quad (1)$$

其中: $\text{length}_{\text{STD}}$ 为实际平均标准人物矩形尺寸的厘米数, 可变系数 k_1 的单位为 pixels/cm, 以伸缩姿态的放大倍数为变量, 表征 5 m 处物体在不同伸缩姿态下每厘米映射的画面像素。可变系数 k_2 没有量纲, 以距离值 l 为变量, 表征确定伸缩姿态下不同距离物体与 5 m 处物体在画面中的映射尺寸比例。

可变系数 k_1 与 k_2 的取值通过预先多次试验测量和计算得到, 取值函数曲线如图 1、2 所示。

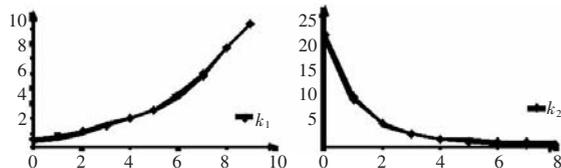


图 1 可变系数 k_1 与 zoom_factor 对应关系曲线

图 2 可变系数 k_2 与 l 对应关系曲线

由于涉及可变系数 k_2 的运算是反函数, 同时根据上图的比例数值, 在运算时插值公式可以得到距离值 l ^[10]。

$$l = \frac{k_2(A) - k_2(l)}{k_2(A) - k_2(B)} + A \quad (A \leq l \leq B, A = B - 1) \quad (2)$$

2.3 调度算法

设计这个调度算法, 本文考虑到在后来先服务的贪婪调度算法基础上进行改良。算法通过综合评定区域重要性和人与摄像机的距离重要性的权值参数, 增加基于清晰度最优化权重处理。改良了原来算法贪婪调度原则, 当多人进入监控网络时, 通过剪枝技术, 每次递归尝试有限次数的调度组合综合权值进行比较, 平衡摄像头的工作负载, 增加调度的稳定性, 能降低现有算法的抖动和丢失率, 更好地完成监控任务。如果把当前的可调度的摄像头集合表示为 $\text{Camera_Set} = \{C_i | C_i \in \text{RegionAvailableCamera}\}$, 最优调度结果集合 $\text{Best_View_Set} = \{C_i, \text{Viewpoint}\}$, 主要算法伪代码描述如下:

CAMERASCHEDULEFUN;

INPUT:

Camera_Set: 区域可用摄像头集合

Camera_Set_Iter: 当前摄像头调度计数

Pruning: 剪枝数

Present_Weight: 当前评估权值

Present_View_Set: 当前摄像头对应变换角度集合

OUTPUT:

Best_Weight: 最优调度权值

Best_View_Set: 最优摄像头调度集合

PROCEDURE:

if Camera_Set_Iter = TOTAL_CAMERA_NUM then

if Present_Weight > Best_Weight then

Best_Weight ← Present_Weight;

Best_View_Set ← Present_View_Set;

end if

return

end if

```

This_Weight, This_View ← GeneratedMapWeightFUN; /* Generated-
MapWeightFUN 为权重评估函数,根据这个函数得到这次的评估权值 */
for Circulating 0 to Pruning do
    CALL CAMERASCHEDULEFUN ( Camera_Set - Ci; /* 从摄像头
    集合中移除已分配过的 */
    Camera_Set_Iter + 1, Pruning, Prentent_Weight + This_Weight,
    /* * 更新当前评估权值和角度集合 */
    Prentent_View_Set + This_View) /* 递归循环执行调度函数 */
end for

```

3 实验环境

3.1 系统总体框架

本文介绍的 IPv4/IPv6 混合组网间数据通信的智能安全监控系统结合了传统网络与无线传感器网络,如图 3 所示,由热红外检测节点、汇聚节点组成的无线传感器网络、云台组成的有线视频网络、由消息代理子系统、节点监控系统 and 视频监控子系统组成的安全监控管理站以及客户端组成。

系统的主要任务是首先与云台前端服务器建立连接,在连接成功后接收视频数据,红外人体探测接收人体热红外波形,判断检测信息,生成信号并进行发送。节点监控统计传感器网络消息,并根据调度算法发送对摄像头云台的控制命令,从而实现了对云台监视器的控制。

3.2 实验环境

本系统监控的环境为实验室,当然它也应该能够适应一般环境,测试所用监控环境是将楼道和办公室内部划分为若干个元区域,每个元区域部署若干个红外传感器节点。根据云台部署的方位,云台视野范围内可能包括多个元区域。系统布置如图 4 所示,在(10 × 15) m² 的实验室空间环境下,布置标号为 a、b 和 c 的三个摄像头,标号为 1 ~ 10 的红外传感器节点。传感器网络包括无线传感器节点,每个节点包括一个 2.4 GHz 射频发生器、一个处理器和一个被动的红外动作检测器。与此同时,每个摄像头可以在一个固定的高度设置不断观察通过这块空地的方位角位置的离散集。深色区域表示的是可以随意走动的走道和楼道区域,实验室有 30 个员工和学生,每个人的运动数据都会实时记录下来,为实验提供了大量的有效数据,用来对比分析两种不同的跟踪调度策略。

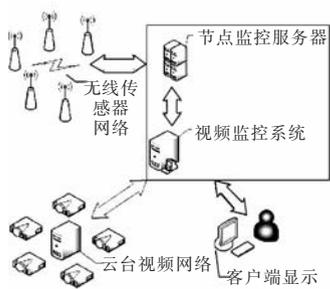


图 3 智能监控系统总体框架

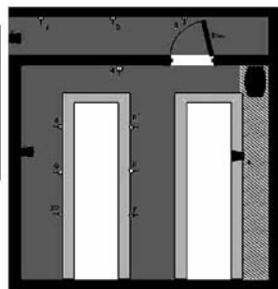


图 4 具体实施的实验环境

4 调度算法性能评估

1) 时间性能评估

活动延迟是系统设计一个很重要的权衡标准。红外传感器节点发出信息和调度程序接到要处理的信息之间的延迟是毫秒级别。但是,以考虑当节点监控模块接收到报警消息后再等待一段时间,以收集同一时刻发送出来的所有传感器网络消

息,然后综合考虑调度,这样不可避免地增加了行动延迟。经过测量,对于节点监控模块接收到的传感器报警消息,能够在 100 ms 内完成分析处理并生成相关结果消息,在 50 ms 内完成实现调度算法并生成调度命令。这惟一的操作延迟是摄像头运动调节水平、垂直和伸缩的行动延时。假设检测算法在分辨率 R_{det} pixels/m 下运行,最终应用分辨率是 R_{sense} pixels/m。zoom 范围 $z = R_{sense}/R_{det}$ 。Zoom 调节变化时间需要实际测量,通过实际实验环境测量,结合 pan 和 title 的变化范围得到 zoom 放大倍数与时间的曲线如图 5 所示。根据图 5 得出放大倍数与时间关系发现,最坏的时间延迟是 1.2 s^[7]。

2) 实验效果对比评估

选择实验在摄像头区域,当有多个人的负载时,图 6(a)和 (b)分别对应 LDFS 和 DOLB 算法的实现效果情况。例子中的两人以相同的速度和轨迹分别两次验证不同算法的实现状态,起始状态两人从相反方向穿过 6 传感器节点区域,分别走向 5、4、8 感应区和 6、7、8 感应区。因为 LDFS 调度算法仅仅基于最新报警节点以及仍处于报警状态的历史报警节点,它的调度受到传感器网络通信影响,同一时刻传感器网络发送的报警消息在节点监控模块处的接收顺序不同,调度结果就会有很大差别,所以从图 6 中可以看出 LDFS 算法导致摄像头抖动严重,使得图像不稳定,不利于识别工作。DOLB 算法考虑到清晰度最优的负载平衡,男生的走向是摄像头无法覆盖的区域优先级高,意味着系统可能无法再次得到这个人物的信息,从而需要增加跟踪目标男生的时间,提高识别效率。因此该算法通过邻居节点的负载判断男生的优先级高,从而重点跟踪男生的轨迹,降低了摄像头抖动,同一目标图像稳定出现为识别工作提供了条件。此后,图像中女生又出现在 a 摄像头区域,从而系统仍然可以及时跟踪得到目标的图像信息。



图 6 对比观察举例

两种算法的工作效率曲线如图 7 所示。图 7 说明了 LDFS 和 DOLB 算法在 8 小时工作时间内,特定实验网络情况下,没有跟踪检测成功的工作量的累积。随着时间的推移,工作数量会不断地减少,这两条曲线反映了两种算法的效率,DOLB 比 LDFS 算法的检测率提高了大约 10%。

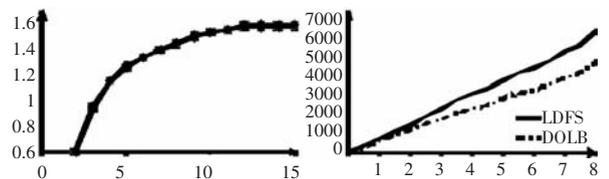


图 5 Zoom 参数变化与时间关系

图 7 两种算法工作效率曲线

5 结束语

目前整套系统已经开发完成,在实际使用中发现,通过智能安全监控系统调度算法的设计与使用,实现对云台监视器的自动控制操作,降低了处理当多人进入监控网络时,出现降低抖动和丢失率高的问题,实现了调度清晰度最优化更好地完成了监控任务,后期可在基于人工智能化的调度方面,进一步优化调度的自适应。

首先给出多层次故障诊断的树型结构,然后说明如何利用决策树进行推理,实现故障诊断。

3.1 多层次故障的决策树

简单地讲,多层次故障的故障现象与故障原因构成一个树,以故障现象为树的顶节点,以故障原因为树的中间节点,以基本故障原因为树的底节点。这里举例说明:设故障 A 为顶节点,引起 A 故障的三个故障原因用节点 A_1 、 A_2 、 A_3 表示,而引起 A_1 故障的两个基本故障原因用底节点 A_{11} 、 A_{12} 表示;而引起 A_3 故障的两个基本故障原因用底节点 A_{31} 、 A_{32} 表示,从而可以建立如图 1 所示的树型结构。

3.2 故障表的建立及故障知识的更新

依据 3.1 节中所建立的树型结构,利用决策树所蕴涵的逻辑关系建立故障规则表,从而完成故障知识学习前的准备,具体可参见表 2 的格式。故障规则表会随设备的使用而不断更新。在设备的使用期间,不断有新的故障案例加入,故障表也不断地丰富。

在录入故障案例后,利用贝叶斯融合方法去动态更新故障置信度,从而实现故障知识的更新。这种故障知识包含了以前故障专家的知识,而且也融合进了设备自身的特性。具体的做法是:在增加故障案例时,根据树的逻辑联系,对故障原因和故障现象进行自行统计。例如,新的故障案例为:发生故障 A , A 的故障由 A_1 造成,而 A_1 的故障是由 A_{11} 造成。此时可增加故障表中 A 、 A_1 、 A_{11} 相应的次数,然后利用贝叶斯融合方法去更新置信度。利用这种方法,即使对于小子样的故障样本,也可以不断获取新的故障知识,从而实现对本样本最大程度的利用。

3.3 故障诊断的推理及结果呈现

故障推理的主要思想是:出现故障现象后,根据相应故障原因的置信度进行推理,依据各故障原因置信度的大小,给出一个故障排除建议。由于决策树有多个层次,从而形成多个路径。在图 2 中,列出两条路径如 (A, A_1, A_{11}) 、 (A, A_3, A_{32}) ,而各个路径对顶节点所对应故障的贡献不同,所以在进行推理时,需制定一个推理的准则。

本文制定的准则是:从顶节点开始,以下一级置信度最大的节点作为下一层搜索的顶点,直至搜索至底节点;最后根据底节点置信度大小进行排序,得出故障诊断的排序。

现举例说明,图 2 中给出了各个节点的置信度。具体的搜索过程是:从 A 开始向下一层搜索,由于在下一层节点 A_1 的置

信度最大,进而搜索 A_1 的下一层节点,比较 A_{11} 和 A_{12} 两个底故障原因的置信度,得到基于父节点 A_1 的故障排序为 $A_{11} > A_{12}$ 。进而,通过搜索整个决策树,最后给出故障排序为 $A_{11} > A_{12} > A_2 > A_{31} > A_{32}$ 。

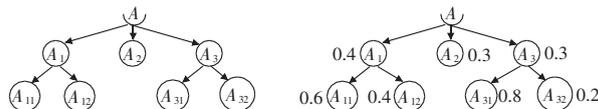


图 1 以顶故障 A 建立的树型结构

4 结束语

本文针对大型设备故障诊断的特点,设计了一种基于贝叶斯融合技术的,具有自学习能力的故障诊断方法。该方法能够利用设备的现场故障信息,融合专家的先验知识和设备独特性的故障知识,实现故障知识的自学习。该方法并不局限于小子样故障情况下设备故障诊断,利用现场故障信息,采用方法中的贝叶斯融合技术也可对基于规则的诊断知识进行不断的修正。同时,该方法能对多层次的故障进行诊断,且易于工程实现。该方法已成功运用于某大型装备的故障诊断中,取得了良好效果,为进一步研究存在非确定性逻辑关系及共因故障情形下的故障诊断方法奠定了基础。

参考文献:

- [1] 冯静,刘琦,周经伦,等.小子样复杂系统保守可靠性增长模型[J].中国空间科学技术,2004,24(2):59-63.
- [2] 刘琦,周经伦,冯静,等.小子样复杂系统可靠性增长试验评定的 Bayes 方法[C]//Proc of ICRMS.北京:华夏出版社,2004:269-273.
- [3] KAVURI S N, VENKATASUBRAMANIAN V. Neural network decomposition strategies for large scale fault diagnosis[J]. International Journal of Control, 1994, 59(3):767-792.
- [4] RENGASWAMY R, BRAMANIAN V. A fast training neural network and its updation for incipient fault detection and diagnosis[J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24(2-7):431-437.
- [5] KU W, STORER R H, GEORGAKIS C. Disturbance detection and isolation by dynamic principal component analysis[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1995, 30(1):179-196.
- [6] 陈文伟. 决策支持系统及其开发[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [7] PETER C B. Bayesian model selection and prediction with empirical applications[J]. Journal of Econometrics, 1995, 69(1):289-331.
- [8] 张金槐,唐雪梅. Bayes 方法[M].长沙:国防科技大学出版社,1990.

(上接第 1742 页)

参考文献:

- [1] YANG Qiang. Activity recognition: linking low-level sensors to high-level intelligence[C]//Proc of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2009:20-25.
- [2] YIN Jie, YANG Qiang, SHEN Dou, et al. Activity recognition via user trace segmentation[J]. ACM Trans on Sensor Network, 2008, 4(4):1-34.
- [3] TSUKAMOTO, UEDA K. Design of wireless sensor network for multi-point surveillance of a moving target based on the relationship between tracking probability and sensor density[C]//Proc of the 6th Consumer Communications and Networking Conference. 2009.
- [4] COSTELLO C J, WANG I J. Surveillance camera coordination through distributed scheduling[C]//Proc of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference. 2005.
- [5] COSTELLO C J, DIEHL C P, BANERJEE A, et al. Scheduling an ac-

- tive camera to observe people[C]//Proc of the 2nd ACM International Workshop on Video Surveillance and Sensor Networks. 2004:39-45.
- [6] 康波. 视频监控业务管理子系统的软件设计[D].北京:中国科学院软件所,2008.
- [7] KANSAL A, KAISER W, POTTIE G, et al. Virtual high-resolution for sensor networks[C]//Proc of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. 2006:43-56.
- [8] CHRISTOPHER R, WREN U, MURAT ERDEM, et al. Functional calibration for pan-tilt-zoom cameras in hybrid sensor networks[J]. ACM Multimedia Systems Journal, 2006, 12(3):255-268.
- [9] QURESHI F Z, TERZOPOULOS D. Surveillance in virtual reality: system design and multi-camera control[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2007:1-8.
- [10] 任雍. 基于人脸检测的自动摄像跟踪系统开发研究[D].北京:中国科学院软件所,2008.