

多目标跟踪综述^①

蒋恋华¹ 甘朝晖¹ 蒋旻² (1. 武汉科技大学 信息科学与工程学院 计算机科学与技术学院 2. 湖北 武汉 430081)

摘要: 多目标跟踪问题在军事和民用方面都有着十分广泛的应用。基于视频多目标跟踪的难点在于数据关联与遮挡。本文基于多特征融合与自适应模板、运动信息、3D 空间、数据关联和多算法混合, 对国内外多目标跟踪技术进行了归纳和比较, 并总结了未来技术的发展方向。

关键词: 多目标跟踪; 遮挡; 数据关联; 多特征; 3D 空间; 运动信息

Review of Multi-Target Tracking

JIANG Lian-Hua¹, GAN Zhao-Hui¹, JIANG Min² (1. School of Information Science and Engineering, School of Computer Science and Technology, China; 2. Wuhan University of Science and Technology of China, Wuhan 430081, China)

Abstract: Multi-target tracking have a very wide range of applications in military and civilian. Data association is one of the difficulties in multi-target tracking based video. This paper summarized and compared the main multiple targets tracking technology commonly used at home and abroad, based on multi-feature fusion and adaptive template, sports information, 3D space, data association and multi-algorithm mixture. It also pointed out the improvement of the multi-target tracking algorithms.

Keywords: multi-target tracking; occlusion; data association; multi-feature; 3D space; motion information

1 引言

多目标跟踪是当前计算机视觉领域的一个研究热点。多目标跟踪是指利用计算机, 在视频序列中确定感兴趣的、具有某种显著视觉特征各个独立运动目标的位置, 大小和各个目标完整的运动轨迹。近年来, 随着计算机数据处理能力的飞速增长及图像分析技术的发展, 对象的实时追踪技术脱颖而出, 它在视频监控、视频压缩编码、机器人导航与定位、智能人机交互、虚拟现实等领域有着非常重要的实用价值。同时, 在军事领域, 多目标跟踪已用于无人侦察机战场侦察, 巡航导弹末端制导, 弹道导弹防御, 海洋监视、战场监视等方面。基于视频的多目标跟踪技术已经成为国际上研究的热门方向。

然而, 由于多目标间的关联性, 背景的复杂性, 环境的变化(如光照变化等)使得多目标跟踪算法不具

有通用性, 跟踪的鲁棒性较差。本文主要针对多目标的视频跟踪技术的研究现状进行了系统的介绍, 包括问题描述、一般框架、关键问题、主要方法介绍, 并分析了各方法的优缺点。

2 多目标跟踪关键问题概述

跟踪系统是一个动态系统的估计问题, 利用的是目标在时间上的连续性和空间上的相关性。多目标跟踪系统一般框架如图 1 所示:

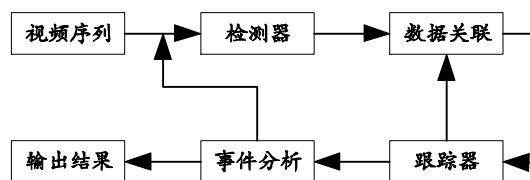


图 1 多目标跟踪系统框架

① 收稿时间:2010-04-13;收到修改稿时间:2010-05-16

目前,多目标跟踪算法的主要难点是数据关联问题。背景的复杂性,目标比例变化、目标颜色与背景颜色的相似程度、背景的稳定程度,多目标的交互及各种特殊情况的发生都会给多目标跟踪带来困难。当前多目标跟踪中存在的难题主要包括以下几个方面:

遮挡问题:遮挡是多目标跟踪中的常见情况,目标可能被背景中静止的物体遮挡,也可能被另外的目标遮挡,或者自遮挡,并且遮挡的程度也不同。目标被遮挡的过程一般可分为两个阶段:一是目标进入遮挡过程,这期间目标信息丢失越来越严重,二是目标出离遮挡过程,也即目标渐渐离开遮挡,这期间目标信息逐渐得到恢复。遮挡表现为目标信息的逐渐丢失,而跟踪算法的关键就是搜索到足够多的目标信息,判定目标所在,所以遮挡给目标跟踪的可靠性带来很大困难,可能导致跟踪的不稳定甚至丢失目标。如何有效的处理遮挡,特别是严重的遮挡,一直是多目标跟踪中的一个难点,目前多数系统都不能处理较严重的遮挡问题,也不能提供标准来判断何时停止及何时重新开始跟踪,且在目标丢失情况下没有相应的重新获取目标的引导方法。

目标数目的随机性:数目可变也是多目标跟踪中的常见问题。目标总数的变化来自于新目标的随机出现、旧目标的消失以及由于旧目标的分裂与合并(即遮挡)。目标总数的变化有两种情况:一是总数的增加,包括新目标的出现和旧目标的分裂;二是总数的减少,包括旧目标的消失和目标合并。如何准确得到当前帧的目标个数,是多目标跟踪中的又一个难点。

背景的复杂性:目标所处场景的复杂程度、稳定程度影响着目标跟踪的效果,背景中的干扰因素主要包括:光线亮度的变化,使背景颜色也发生变化;背景中物体的变动,当背景中增加、移去或者移动某些景物并持续一段时间时,背景发生变化,应及时更新背景;背景中存在与目标特征类似的物体时,将增加目标跟踪的难度,可能使跟踪收敛到干扰所在位置;阴影问题,阴影属于非运动目标区

域,但是与背景颜色上存在差别,给运动目标检测带来困难。

目标外观变化和不同目标外观的区分:目标外观特征包括目标形状和纹理等信息,对于非刚性目标,由于目标比例和形状的变化以及目标运动的不确定性(机动目标),导致目标信息的丢失,很容易发生跟踪失败。在监控视频中,目标外观往往非常相似,如何选择合适的特征以较好的区分不同目标外观来实现准确的数据关联。

实时性要求:视频图像含有大量的数据,要保证目标跟踪的实时性要求,必须选择计算量小的算法,但是目标跟踪另一个重要性能是跟踪的准确性,而准确性的保证往往是在复杂运算和处理的基础上的,这就造成了两者的矛盾。一个好的运动目标跟踪系统必须要兼顾两者,要对两个性能指标加以平衡。

3 多目标跟踪方法概述

正是由于上述问题的存在,研发具有鲁棒性、实用性的多目标跟踪算法一直是计算机视觉领域的难点。一个鲁棒的多目标跟踪算法应能有效解决上述问题,而目标总数的可变性(新目标的出现和旧目标的消失)和目标的遮挡(目标合并、分裂)是多目标跟踪中需要解决的两个核心问题。目前,国内外研究者都是针对这两个核心问题做相对应的研究,且取得一定的成果。随着其它学科(如生物学、计算机图形学、概率论与统计学、随机过程等)的发展,多目标跟踪的新思路、新方法层出不穷。以下对近年来国内外解决多目标核心问题的主流方法进行总结与分析,并比较各方法的优缺点。

3.1 基于多特征融合与自适应模板的多目标跟踪算法

视觉特征对于跟踪算法的性能有很重要的影响,所选的视觉特征应该能很好的区分跟踪目标与背景。针对单一视觉信息描述目标不够充分、跟踪目标不够稳定的缺点,出现了许多基于多特征融合的多目标跟踪算法^[1-5]。文献^[1]将颜色、纹理和运动

信息三个特征相结合描述目标,该算法采用固定不变的模板,然而当背景和外观变化时,易出现失跟。文献^[3]针对此问题提出了多特征融合与自适应模板相结合的多目标跟踪算法,能有效处理模板随时间变化的情况,但是算法计算量大。文献^[4]为了提高算法的实时性,基于在线自适应模板选择特征个数,计算量大大降低。上述文献都是将多特征用于目标描述。文献^[5](针对人脸)将多特征融合技术用于判断新目标的出现;基于在线学习的自适应模板以适应背景与目标外观的变化;以目标观测概率小于某一阈值判断旧目标的消失;对每一个目标单独建立一个粒子滤波器,实现多个目标的跟踪。该方法能在较简单场景下自动判断新目标的出现与旧目标的消失,处理目标部分遮挡及背景变化,但是未能处理目标的分裂与合并(严重遮挡)。

3.2 基于运动信息的多目标跟踪算法

目标总数可变一直是多目标跟踪中的难点,有效地对可变数量目标的判定取决于目标检测的准确度。目标的运动信息是目标检测中一项重要特征,运动检测技术包括光流法^[6-8]、差分法^{[1][9,10]}等。文献^[8]用光流场算法检测红外弱小多目标,再结合卡尔曼滤波实现多目标轨迹预测。光流法虽然在处理复杂背景下的小运动目标方面,准确性较好,但是光流法计算复杂,且抗噪性能差,如果没有特定的硬件支持,一般很难应用于视频序列中运动目标的实时检测。

目前,比较常用的是差分法。文献^[10]针对人的跟踪中常出现的变形、遮挡以及多目标跟踪中常出现的目标合并、分裂、消失、新增等情况。利用背景差分法,差分分别代表背景和目标。为了有效克服通常的固定分割阈值难以适应场景变化的缺点,结合背景实时更新保证目标检测的准确性。当目标数量发生变化时,采用基于相交区域面积的关联矩阵判断场景中各种特殊情况的发生。当目标轻微合并时,采用基于颜色直方图的均值漂移算法分别跟踪合并在一块的各个目标,当目标分裂时,要判断

分裂出的目标属于遮挡前的哪一个目标,用巴氏距离表示分裂前各目标和分裂后目标直方图的匹配度,取最大值者作为匹配目标。

3.3 基于 3D 空间的多目标跟踪算法

现实世界中的物体都是三维的,而人眼所获得的图像是二维的,对 2D 图像来说目标间容易出现遮挡,而对 3D 图像来说每个目标只有一个位置,可有效地解决多目标间遮挡问题。因此,有些研究者对基于 3D 的多目标跟踪算法^[11-13]进行了研究。这里的 3D 体现在:3D 模型描述目标,3D 状态空间。文献^[12]提出了基于粒子滤波的多摄像头 3D 单人跟踪算法,将 3D 模型和多目视频采集机制嵌入到粒子滤波框架中。利用目标空间位置的惟一性,能对严重遮挡的人进行较准确地跟踪。

3D 模型可有效地处理目标分裂与合并问题,文献^[13]提出了基于 MCMC 的 3D 多目标跟踪算法。由于多摄像头必须同步工作,且成本较大,文献^[13]中使用单摄像头机制。文中用两个椭圆体表示一个目标,用 3D 坐标表示状态向量。对多目标用联合状态空间表示。采用一阶动态模型传递状态,利用此状态参数得到模拟二值图,同时对背景建模,利用背景差分法得到背景提取二值图,计算两个二值图相交区域像素点个数与相并区域像素点个数的比值,此值作为状态权值,选择权值大的部分粒子的状态平均和作为目标的最优位置估计。

3.4 基于数据关联的多目标跟踪算法

数据关联算法的目的就是计算当前帧每一个观测值(来自于检测器)与其可能的各种跟踪目标(来自于跟踪器)相关联的概率。Cox^[14]提出了联合概率数据关联算法(JPDA)^[15-17]、多假设滤波(MHF)^[18-20]等数据关联算法,但这些数据关联算法只适合于简单场景且计算量随着目标数目的增加呈现指数级增长;Rasmussen and Hager^[22]提出了基于多特征融合描述目标与数据关联的多目标跟踪算法,但是仍不能解决目标合并与分裂问题;基于此,文献^[16]提出利用 JPDA 预估计多目标跟踪算法,当遮挡发生时,用 JPDA

算法跟踪目标；反之，用卡尔曼滤波跟踪目标。文献[18-19]采用多假设方法利用后帧中的信息更新假设状态和模板图；文献[20]将 MHF 与贝叶斯滤波结合。提出“门限”的概念，只计算位于“门限”内的观测值与目标的关联概率，这就大大减少了计算量，用观测位置与预测位置的距离解决目标冲突问题。基于数据关联的算法虽然能较准确判断目标新增，消失，合并，分裂的情况，但是，当目标数目增多时，目标与观测值之间的假设关联事件的数目将呈指数增长甚至出现“组合爆炸”现象，使其无法满足实际工程应用的需要。

3.5 混合跟踪算法

由于不同跟踪算法有些优缺点存在互补性，由两个或多个算法组成的混合跟踪算法成为目前研究的热点。文献[23]提出了一种基于 mean-shift 的多目标粒子滤波跟踪算法。将 mean-shift 与粒子滤波结合，利用目标间的距离作为遮挡的判断条件。当目标间无遮挡时利用 mean-shift 的简单快速匹配性跟踪目标；目标间发生遮挡时用粒子滤波跟踪目标，较好地解决了多目标跟踪中目标间的遮挡问题。

文献[24]提出了 Adaboost PF 多目标跟踪算法，将 Adaboost 算法与粒子滤波算法相结合。利用 Adaboost 算法对视频序列中各种形式的目标进行训练得到一个级联分类器 (cascaded classifier)，然后利用分类器对当前帧的像素分为前景和背景两类，能较准确检测出当前帧中目标个数。将 cascaded Adaboost 算法嵌入到粒子滤波框架中。在运动视频序列中得到了很好的应用。

4 多目标跟踪技术的未来发展方向

多目标跟踪技术是计算机科学、机器视觉、图像处理、人工智能、模式识别等多学科的结合，是一个尚在发展中的研究方向，还有很多技术难点有待解决。通过对多目标跟踪的难点及其相关方法的分析，多目标跟踪技术研究未来的发展方向为：一是目标建模。

目标建模一直是 MTT 技术的一个关键问题，将是 MTT 技术的一个主要研究方向。其中使得目标模型随着目标的运动具有自适应能力的研究是一个方面；二是数据关联。多目标跟踪系统的复杂度使得数据关联问题成为 MTT 技术研究的另一个关键问题，仍是以后研究的一个主要方向；三是多传感器多目标跟踪技术。多传感器的使用可以扩大监视的有效范围，进行三维姿势跟踪和恢复，多个不同的方向视角可用于解决遮挡问题；四是目标行为识别。对所跟踪的目标进行进一步的行为分析。

5 结束语

本文对多目标跟踪算法中相关的问题和技术进行了综述。目前，多目标跟踪算法的一般流程是：基于运动特征、差分法或分类器检测出目标，利用目标的运动信息、颜色、纹理等特征采用一定的方法判断目标是否遮挡、新增与消失，若没有上述情况出现，则用跟踪算法独立跟踪各个目标，若有情况出现，则修改跟踪算法。国内外众多研究者综合运用各学科知识，大胆尝试，多目标跟踪算法具有广阔的研究前景。

参考文献

- 1 Takala V, Pietikainen M. Multi-object tracking using color, texture and motion. VS, 2007:1-7.
- 2 Ma LL, Cheng Jian, Lu HQ. Multi-cue collaborative kernel tracking with cross ratio invariant constraint. ICCVGIP, 2008:665-672.
- 3 Kumar P, Brooks MJ. An adaptive bayesian technique for tracking multiple objects. Pattern Recognition, 2007:657-665.
- 4 Li Z., Gong HF, ZHu SC. Dynamic feature cascade for multiple object tracking with track ability analysis. EMMCVPR, 2007:350~361.
- 5 Pernkopf F. Tracking of multiple targets using online learning for reference model adaptation. IEEE Trans on SMC-B, 2008,38(6):1465-1475.
- 6 李海明, 陈新, 吴芳. 复杂背景下运动目标的光流

- 区域提取方法. 福州大学学报, 2001,29(4):101 – 106.
- 7 张会军. 基于图像的运动目标检测技术. 微计算机信息, 2007,23(8-1):299 – 300.
- 8 罗寰于, 雷廖俊, 穆中林. 复杂背景下红外弱小多目标跟踪系统. 光学学报, 2009,29(6):1536 – 1541.
- 9 Bose BW, Wang XG, Grimson E. Detecting and tracking multiple interacting objects without class-specific models. CSAIL, 2006.
- 10 常发亮, 马丽, 乔谊正. 视频序列中面向人的多目标跟踪算法. 控制与决策, 2007,22(4):418 – 422.
- 11 Osawa TS, Wu XJ, Wakabayashi KR. Human tracking by particle filtering using full 3d model of both target and environment using full 3d model of both target and environment. ICPR, 2006.
- 12 Yao Jian, Odobez JM. Multi-camera 3D person tracking with particle filter in a surveillance environment. EUSIPCO, 2008:25 – 29.
- 13 Osawa T, Sudo K, Arai H. Monocular 3D tracking of multiple interacting Targets. ICPR, 2008:1 – 4.
- 14 Cox IJ. A review of statistical data association techniques for motion correspondence. *Compute Vis*, 1993, 10(1):53 – 66.
- 15 Messaoudi Z, Ouldali A, Oussalah M. Joint multiple target tracking and classification using controlled based cheap JPDA-multiple model particle filter in cluttered environment. ICISP, 2008:562 – 569.
- 16 Lee HK, Ko HS. Predictive estimation method to track occluded multiple objects using joint probabilistic data association filter. *ICIAR*, 2005:852 – 860.
- 17 Shafique K, Lee MW, Haering NC. A rank constrained continuous formulation of multi-frame multi-target tracking problem. *CVPR*, 2008:1 – 8.
- 18 Chia AYS, Huang WM. Multiple objects tracking with multiple hypotheses dynamic updating. *ICIP*, 2006:569 – 572.
- 19 Chia AYS, Huang WM, Li LY. Multiple objects tracking with multiple hypotheses graph representation. *ICPR*, 2006:638 – 641.
- 20 Betke M, Hirsh DE, Bagchi A. Tracking large variable numbers of objects in clutter. *CVPR*, 2007:1 – 8.
- 21 Reid DB. An algorithm for tracking multiple targets. *IEEE Trans Automat Control*, 1979,AC-24(6):843 – 854.
- 22 Rasmussen C, Hager GD. Probabilistic data association methods for tracking complex visual objects. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2001, 23(6):560 – 576.
- 23 杨伟, 柴奇. 基于 mean-shift 的多目标粒子滤波跟踪算法设计. *航天电子对抗*, 2009,25(5):57 – 60.
- 24 Wei LL, Kenji O, James JL. Tracking and recognizing actions of multiple Hockey players using the boosted particle filter. *Image and Vision Computing*, 2008.