# 基于聚类最近数据关联的多目标跟踪算法

丁文锐 李红光

(北京航空航天大学 无人驾驶飞行器设计研究所, 北京 100191) (北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

李新军

(北京航空航天大学 无人驾驶飞行器设计研究所, 北京 100191)

**摘 要**: 提出了一种基于聚类最近数据关联的多目标跟踪算法. 建立了基于目标位置、目标大小和目标灰度的 3层匹配距离,将 3个距离加权综合得到目标匹配的距离函数. 以目标链为基准寻找与其存在最小匹配距离关系的观测目标作为目标链的数据后继,再以此观测目标为基准寻找与其存在最小匹配距离关系的目标链作为该目标的数据前驱. 当且仅当匹配对象之间前驱与后继关系同时成立时认为二者匹配成功. 将已有目标链分为 4类,将当前帧观测目标分为 2类. 分析各类数据间可能存在的匹配关系,利用上述方法进行匹配运算. 对于目标遮挡等情况,基于目标运动轨迹的瞬时直线性和均值滤波原理,将某时间段内的目标质心坐标作为输入数据得到回归直线,预测下一时刻的目标质心位置. 目标大小和灰度预测数据由该时间内均值滤波得到. 本算法在多人体跟踪实验中取得良好效果.

**关 键 词**: 多目标跟踪; 数据关联; 目标预测

**中图分类号**: TP 391

**文献标识码**: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)12-1487-04

## Multi-target tracking based on cluster min-distance data association

Ding Wenrui

(Research Institute of Unmanned Aerial Vehicle, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Li Hongguang

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Li Xinjun

(Research Institute of Unmanned Aerial Vehicle, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: A multi-target tracking algorithm based on cluster min-distance data association was proposed. Three matching distances about target position, target size and target gray value were established, weighted and integrated into final target matching distance function. The algorithm searched for the target list's follow-up data which had min-matching distance relationship with observed target and the observed target's precursor data which had min-matching distance relationship with target list. Only when the follow-up relationship and the precursor relationship were both true, the matching relationship was true between them. All the target lists were divided into four clusters. All the observed targets were divided into two clusters. The probable relationships between all clusters were analyzed, with carrying out the above computation. If the target was blocked, a target forecasting algorithm was executed. Based on the theory of instantaneous linear and mean filtering, the position data of target list were input to gian a regression line for forecasting the target's position of next frame. The target's size and gray value data were gained by mean filtering for the moment. A good result was presented on multi-human tracking.

Key words: multi-target tracking; data association; target prediction

**收稿日期**: 2008-12-01

**基金项目**: 航空基金资助项目 (2008ZC51029)

**作者简介**: 丁文锐 (1971-),女,辽宁鞍山人,高级工程师, ding@buaa.edu.cn.

视频图像多目标跟踪技术在民用和军用的很多领域都有重要的应用价值,如人体行为监控、交通监视、客流量统计、防空预警和空中交通管制等.一套完整的多目标跟踪算法(multiple target tracking)可以分为3部分:跟踪启动,数据关联及跟踪维持,跟踪终结.数据关联是多目标跟踪的核心,有3种常用方法.最近邻算法(nearest neighbor)简单容易实现,但当杂波密度大时,错误关联多;多假设跟踪算法(multiple hypothesis tracking)[1-2]将每个观测量与已存在的每条轨迹均关联起来,将关联概率最大的假设认为是实际的关联,该方法错误关联率较低,但当目标数目多时计算量非常大;联合概率数据关联算法(joint probability data association)[3-5]将关联变量认为是随机变量,通过估计关联概率确定实际关联,该方法效果较好,但计算复杂.近年来,遗传算法、蚁群算法等一些新的算法尝试从人工智能的角度处理数据关联的问题[6].

由于目标跟踪过程中的环境噪声和目标遮挡等问题的存在,目标预测也成为多目标跟踪的一项关键技术.比较典型的滤波方法有适用于线性系统Kalman滤波[7-8]和适用于非线性系统的粒子滤波[9],还有一些同时适用于线性和非线性系统的,如文献[10]中提出的级联神经网络滤波器.

## 1 算法框架

本文所述的基于聚类最近数据关联的多目标跟踪算法包括两个重点:

1) 提出了一种聚类最近数据关联算法.该算法以聚类分析的方法对所有目标链数据和观测数据进行聚类,考虑了各类数据之间的关联.不但涉及了目标链与目标观测量的关联,还包括了目标链之间的关联.从而进一步明确了可能关联的对象,有效减少了后续计算的复杂度.在数据匹配运算中,本算法融合了一种基于目标位置、大小和灰度特征采用双向匹配的计算方法,大大提高了数据匹配精度.

2) 在扩展Kalman滤波算法观测向量的基础上,综合短时间内轨迹的直线性、综合线性回归原理和均值滤波原理,提出了一种新的目标预测算法,有效地解决了目标遮挡等问题.

基于聚类最近数据关联的多目标跟踪算法的总体流程如下:

1) 建立(或更新)混合高斯背景模型,与当前帧图像数据差分得到前景像素,判断连通或邻近前景像素,标定目标跟踪窗口.

2) 利用聚类数据关联和3层双向匹配算法判断目标链与观测数据间的匹配关系,对目标链和数据进行处理.

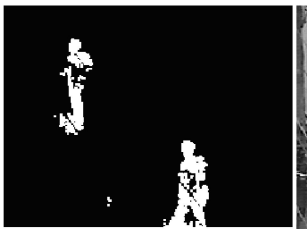
3) 利用目标预测算法对处于遮挡等情况的目标数据进行预测,并对相关数据进行处理.

4) 更新目标轨迹.

## 2 聚类最近数据关联

### 2.1 3层双向最近数据匹配

本文采用混合高斯模型对背景进行建模得到背景图像,将其与当前帧图像差分得到二值图像.如图1所示.判断二值图像的连通或邻近前景像素作为同一目标区域,并在当前帧标出作为该目标的跟踪窗口,如图2所示.



色表示前景,黑色表示背景.

图1 二值图像



白色矩形框是目标跟踪窗口.

图2 实时图像

本算法为了增强数据的稳定性和可靠性,将Kalman[7-8]滤波算法中观测向量 $Z$ 扩展为目标状态向量 $Z$

$$\left.\begin{aligned} Z' &= [x, y, l_x, l_y]^{\mathrm{T}} \\ Z &= [x, y, l_x, l_y, g]^{\mathrm{T}} \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

其中,目标观测数据 $x, y, l_x, l_y, g$ 分别是目标跟踪窗口质心横坐标、质心纵坐标、宽度值、高度值、平均灰度值. $Z$ 比 $Z'$ 增加了目标的灰度信息,从而丰富了目标的描述特征.

利用观测向量中目标质心、大小和灰度信息,可以从3个层面定义目标间的距离函数.第 $k$ 帧的第 $i$ 个目标的质心和第 $k+1$ 帧的第 $j$ 个目标的3层距离函数为:质心距离函数 $C(i, j)$、大小距离函数 $A(i, j)$ 和灰度距离函数 $G(i, j)$,公式如下:

$$\left.\begin{aligned} C(i,j) &= \frac{|x_{k+1}^j - x_k^i| + |y_{k+1}^j - y_k^i|}{\max(|x_{k+1}^j - x_k^i| + |y_{k+1}^j - y_k^i|)} \\ A(i,j) &= \\ &\frac{|l_{x(k+1)}^j - l_{x(k)}^i| + |l_{y(k+1)}^j - l_{y(k)}^i|}{\max(|l_{x(k+1)}^j - l_{x(k)}^i| + |l_{y(k+1)}^j - l_{y(k)}^i|)} \\ G(i,j) &= \frac{|g_{k+1}^j - g_k^i|}{\max(|g_{k+1}^j - g_k^i|)} \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

考虑到不同特征因素对目标匹配的影响程度不同将其加权综合得到目标匹配的距离函数,如式(3)所示.

$$\left.\begin{aligned} D(i,j) &= \alpha C(i,j) + \beta A(i,j) + \gamma G(i,j) \\ \alpha &+ \beta + \gamma = 1 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

实验验证,$\alpha > \beta > \gamma$; $C(i,j)$越小说明目标间的位置越接近; $A(i,j)$越小说明目标间的形状越接近; $G(i,j)$越小说明目标间的灰度越接近. 故距离函数 $D(i,j)$值越小, 两个目标有对应关系的可能性越大.

目标数据匹配实际上是判断已有目标链与当前帧观测数据间的前驱与后继关系. 为确保匹配精度,本文采用双向匹配方法,当前驱与后继关系同时被确认时才定义匹配成功. 首先计算得到第 $k$帧目标链 $i$在第 $k+1$帧中存在最小匹配距离 $D_{\min}(i,j)$关系的数据后继 $j$然后计算目标 $j$在第 $k$帧中存在 $D_{\min}(i,j)$关系的数据前驱 $k$若 $k$与 $i$是同一条目标链,则认为链 $i$和 $j$匹配成功,否则认为匹配失败.

### 2.2 聚类数据关联

为充分研究数据间的逻辑关系,本算法运用聚类分析的方法在对已有目标链与当前观测数据聚类的基础上,有效地分析了各类数据间的关联,并考虑到了目标遮挡、新目标出现、目标消失等情况,大大提高了匹配精度.

将已有目标链分为 4类: $A$为正确匹配链, $B$为新开辟链, $C$为预测链, $D$为待匹配链.

将当前帧观测数据分为两类: $E$为未匹配数据, $F$为已匹配数据.

在新的一轮匹配算法开始前将所有目标链类型置为 $D$,将所有观测数据类型置为 $E$.

匹配运算与数据处理过程主要包括 3步.

1) 初次匹配 $D$链与当前 $E$数据. 若匹配成功,将数据 $E$存入 $D$链中,将该链类型置为 $A$,将该数据类型置为 $F$. 否则,不变. 将所有 $D$链依次经行上述匹配运算.

2) 考虑到目标遮挡等情况需要进行二次匹配. ①匹配目标链中的 $C$链与当前 $E$数据. 若匹配成功,说明该目标经过遮挡重新出现后与预测轨迹匹配成功,将数据 $E$存入 $C$中,将该链类型置为 $A$,将该数据类型置为 $B$. 否则,不变. ②匹配 $C$链与 $A$链. 若匹配成功,说明该目标出现一段时间后重新与曾经的预测轨迹匹配成功,将 $C$中相关数据存入 $A$中,将 $C$链类型置为 $A$正确匹配链,将 $A$链消除. 否则,不变.

3) 对目标链及当前观测数据进行最后检验处理. ①检验当前数据中是否还有代表新出现目标的 $E$数据,为其分别开辟一个 $B$链并存储(跟踪启动). ②检验目标链中是否还含有 $D$链,分别按预测公式(5)～(7)计算其在当前帧的预测状态向量并存储,将其类型置为 $C$. ③检验预测链的预测节点是否超出最大允许预测点数,若存在,说明该目标一段时间都没出现,判断其消失,将该预测链消除(跟踪终结).

## 3 目标预测

为了解决由于目标遮挡造成的目标偶尔消失等问题,对于符合一定条件(如稳定存在)的目标链,本文在短时间内对目标观测向量进行预测. 大量实验数据表明目标短暂时间内的质心轨迹是呈线性分布的.

为了滤掉环境噪声,本文利用线性回归的方法,将一定时间内同目标的质心数据作为输入,利用回归直线对该目标下一时刻的状态向量 Z中的质心坐标 $x$和 $y$进行预测. 目标窗口大小 $l_x$, $l_y$和窗口平均灰度 $g$的预测由均值滤波得到. 该预测算法运用了线性回归和最小二乘逼近原理,本质上属于线性逼近滤波算法[11].

假设短暂时间 $t$内目标的质心坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \cdots, (x_n, y_n)\}$, $n$为目标已出现的次数.

回归预测直线表示为

$$\left.\begin{aligned} y &= ax + b \\ b &= \frac{\sum x \cdot \sum y - n\sum xy}{\sum x \cdot \sum x - n\sum x^2} \\ a &= \left(\sum y - b\sum x\right) \Big/ n \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

第 $k$帧的第 $i$个目标在第 $k+1$帧的预测状态向量数据为

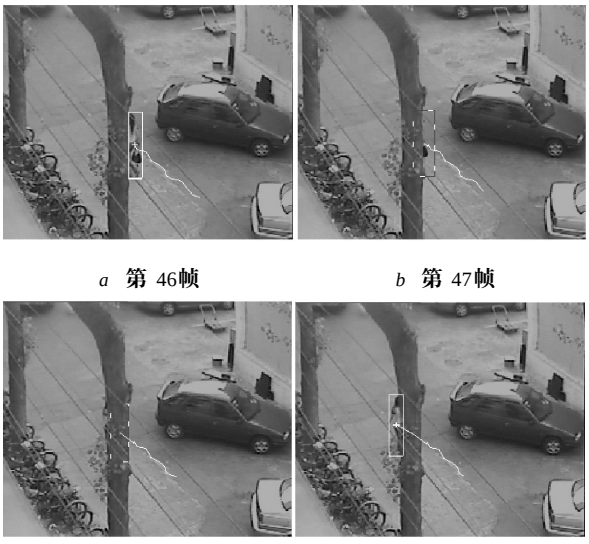
$$\left.\begin{aligned} x^j_{k+1}{}' &= x^i_k + (x^i_k - x^i_{k-(n-1)})/(n-1) \\ y^i_{k+1}{}' &= f(x^i_k) + (f(x^i_k) - f(x^i_{k-(n-1)}))/(n-1) \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

$$\left.\begin{aligned} l^i_{x(k+1)}{}' &= \sum_{m=0}^{n-1} l^i_{x(k-m)}/n \\ l^i_{y(k+1)}{}' &= \sum_{m=0}^{n-1} l^i_{y(k-m)}/n \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

$$g^i_{k+1}{}' = \sum_{m=0}^{n-1} g^i_{k-m}/n \quad (7)$$

其中 $n$代表该目标已经出现的次数($n>1$).

如图 3所示,本预测算法能有效解决目标遮挡问题.



*a* 第 46帧 *b* 第 47帧

*c* 第 50帧 *d* 第 51帧

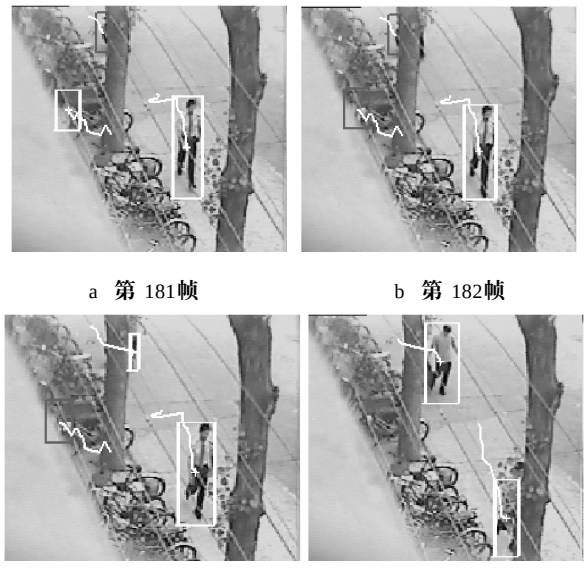
白色线框为观测目标跟踪窗口,黑色线框为预测目标跟踪窗口.

图 3 预测算法效果图

## 4 算法实现与验证

本算法实现的软件环境为VC ++6.0,硬件环境为 DH300图像采集卡、SONY-D100P摄像头和Dell530SPC机.

如图 4所示,目标由上到下记为 1, 2, 3.目标在各帧中的运动状态如表 1所示.



a 第 181帧 b 第 182帧

c 第 183帧 d 第 192帧

白色线框为观测目标跟踪窗口,黑色线框为预测目标跟踪窗口.

图 4 算法整体实验效果图

表 1 多目标跟踪状态表

| 目标序号 | 图像帧序 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 181 | 182 | 183 | 192 |
| 1 | 预测状态 | 预测状态 | 观测状态 | 观测状态 |
| 2 | 观测状态 | 预测状态 | 预测状态 | 消失状态 |
| 3 | 观测状态 | 观测状态 | 观测状态 | 观测状态 |

## 5 结束语

本文提出的多目标跟踪算法能够有效地解决多种状态综合的目标跟踪问题.该算法的优点是思路简捷实现方便,适合静态背景多目标平稳运动情况下的跟踪.本文提出的预测算法也可以用于目标状态向量和轨迹的优化,以提高目标运动剧烈时的跟踪效果.但当目标运动过于剧烈时目标质心的线性分布较差,预测算法会受到一定影响.

## 参考文献 (References)


[1] Reid D B. An algorithm for tracking multiple targets [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1979, 24(6): 843 - 854

[2] Poore A B, Gadaleta S. Some assignment problems arising from multiple target tracking [J]. Mathematical and Computer Modeling, 2006, 43: 1074 - 1091

[3] Fortmann T E, Bar-Shalom Y, Scheffe M. Multi-target tracking using joint probabilistic data association[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control. Piscataway, NJ: IEEE, 1980, 2: 807 - 812

[4] Fortmann T E, Bar-Shalom Y, Scheffe M. Sonar tracking of multiple targets using joint probabilistic data association [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1983, 8(3): 173 - 184

[5] Chen B, Tugnait J K. Tracking of multiple maneuvering targets in clutter using IMM/JPDA filtering and fixed-lag smoothing [J]. Automatica, 2001, 37(2): 239 - 349

[6] 康莉,谢维信,黄敬雄.一种基于蚁群算法的多目标跟踪数据关联方法[J].电子学报, 2008, 36(3): 586 - 589
Kang Li, Xie Weixin, Huang Jingxiong. ACA based data association method for multi-target tracking[J]. Journal of Electronics, 2008, 36(3): 586 - 589 (in Chinese)

[7] Perry S W, Guan L. A recurrent neural network for detecting objects in sequences of sector-scan sonar images [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2004, 29(3): 857 - 871

[8] 邵明礼.视频运动目标跟踪算法研究[D].西安:西安电子科技大学机电工程学院, 2006
Shao Mingli. Algorithm research on video moving object[D]. Xi'an: School of Mechano-Electronic Engineering, XiDian University, 2006 (in Chinese)

[9] Deng X L, Xie J Y, Guo W H. Bayesian target tracking based on particle filter[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2005, 16(3): 545 - 549

[10] 赵海军,崔梦天,李明东.回波抵消中级联神经网络滤波器的研究[J].通信学报, 2008, 29(8): 105 - 110
Zhao Haijun, Cui Mengtian, Li Mingdong. Research of an cascaded neural net filter applied in echo-cancellation[J]. Journal on Communications, 2008, 29(8): 105 - 110 (in Chinese)

[11] 田阗.一种多目标跟踪算法的研究与实现[D].西安:西安电子科技大学通信工程学院, 2006
Tian Tian. Study and implementation of multi-target tracking algorithm[D]. Xi'an: School of Telecommunications Engineering, XiDian University, 2006 (in Chinese)


(编 辑:文丽芳)