

# 基于多航迹处理的第三代电视跟踪算法

陈远知<sup>1</sup>, 张 鹏<sup>2</sup>

(1. 北京广播学院数字化工程中心, 北京 100024; 2. 电视电声研究所, 北京 100015)

**摘 要:** 为提高低空、对地跟踪性能, 本文提出了基于多航迹处理的新一代电视跟踪算法, 较之以前算法, 它利用了更为完备的信息. 本文介绍了多航迹相关算法结构, 解释了算法涉及的几个主要概念, 给出了主要子模块的具体计算方法, 最后分析了影响算法性能的因素, 简述了应用该算法实验结果.

**关键词:** 电视目标跟踪; 图像处理; 算法

**中图分类号:** TN953 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 03-0361-04

## The Third Generation of TV Tracking Algorithm Based on Multi-Trace Processing (TMTP)

CHEN Yuan-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>

(1. Beijing Broadcasting Institute, Beijing 100024, China; 2. Video & Audio Institute, Beijing 100015, China)

**Abstract:** To improve the performance of tracking the objects in lower altitude or on the ground, a new algorithm for TMTP is provided in this paper, which uses more perfect information than the old ones. The architecture is introduced, some sub-algorithms are explained, and the approaches are discussed in detail. At the end, some items are analyzed which may affect the performance, and application result is given.

**Key words:** TV objects tracking; image processing; algorithm

### 1 引言

电视跟踪技术在国防和民用领域都有较广泛的应用, 受到国内外普遍关注, 并进行了深入研究, 取得了很多研究成果<sup>[1~5]</sup>, 不少成果都已在工程中得到应用. 已广泛应用的电视跟踪算法可分为两代: 第一代为对比度跟踪算法, 第二代为单航迹相关跟踪算法.

对比度跟踪算法在电视图像中寻找灰度最大或最小像素点, 输出该点坐标实现电视图像跟踪<sup>[3]</sup>. 单航迹相关跟踪算法首先在电视图像中提取跟踪目标的几何特征<sup>[4,5,8,9]</sup> (如面积、周长、宽度、高度或傅立叶描绘子) 建立跟踪航迹的相关模板, 使用相关模板对从后续帧图像中分割的目标进行相关匹配, 选择跟踪目标实现电视图像跟踪. 对比度算法只适用于背景简单的高空场合, 在背景复杂的低空或地面场合几乎失灵; 单航迹相关虽然可应用于背景稍复杂的低空或地面目标跟踪场合, 但当跟踪目标被遮挡或者视场内出现多个形状相近目标时, 跟踪性能也大打折扣, 甚至完全丧失跟踪能力.

为了提高复杂背景下的跟踪性能, 很多研究人员在寻找目标更多几何特征方面进行了大量探索<sup>[6,7]</sup>. 但由于在复杂背景情况下, 跟踪目标灰度并不总是最强、可能存在多个尺寸相近图像目标、图像目标几何尺寸因光照突变而突变、跟踪目标会被遮挡或部分遮挡. 这些情况导致不能由图像目标灰度、几何尺寸等信息唯一确定目标. 因此, 进一步提高跟踪性能,

需要在跟踪处理中引入更多其它信息. 多航迹跟踪处理 (TMTP) 算法引入了图像目标的空间位置信息和运动信息, 从而提高了在复杂背景中的跟踪性能.

### 2 TMTP 算法结构

TMTP 算法需要建立所有图像目标航迹, 根据形状与位置相关度完成航迹与目标互连, 并由航迹延伸规律预测目标的合并与遮挡, 以帮助后续帧正确互连. 算法结构如图 1 所示.

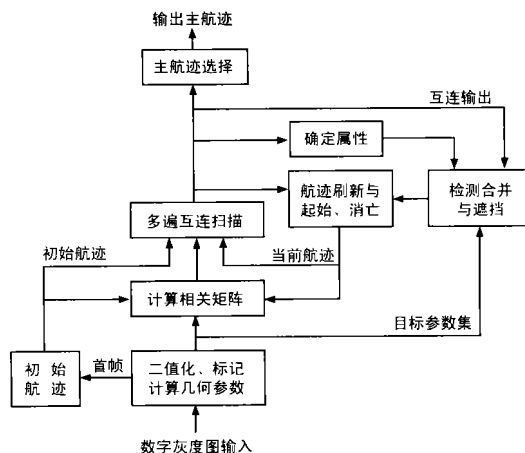


图 1 多航迹相关算法结构

在 TMTP 算法中,图像首先被二值化、标记、分割目标并提取几何参数;首帧目标记录为初始跟踪航迹,跟踪航迹与目标用于计算相关矩阵;互连扫描根据相关矩阵进行航迹与目标互连,结果由跟踪器输出,同时用于确定航迹属性、检测合并与遮挡事件、进行航迹维护;新航迹反馈回前级,与新目标参数集用来计算新的相关矩阵、进行新的互连扫描。

### 3 TMTP 算法的新概念

#### 3.1 航迹集

航迹集是全部图像目标几何尺寸、特征与属性参数矢量的历史记录,记为  $TRC(i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$  ( $M$ :航迹总数)。航迹由航迹参数矢量描述,航迹参数矢量为:  $[S_T, C_T, W_T, H_T, Y_{CT}, Z_{CT}, R_T, R_{OT}, P_{IT}]$ , 矢量中各参数含义见表 1。表中(1)航迹相对间距是指普通航迹相对主航迹的平面距离。

表 1 航迹参数矢量各参数含义

符号	含义	符号	含义	符号	含义
$S_T$	航迹面积	$H_T$	航迹高度	$R_T$	航迹相对间距 <sup>(1)</sup>
$C_T$	航迹周长	$Y_{CT}$	航迹水平中心	$R_{OT}$	前帧航迹相对间距
$W_T$	航迹宽度	$Z_{CT}$	航迹垂直中心	$P_{IT}$	航迹间距变化统计

#### 3.2 主航迹

主(跟踪)航迹是跟踪器所选瞄准目标形成的航迹,跟踪系统将以该航迹位置移动视场。主航迹通常在全部  $M$  个航迹中排定为 1 号航迹,即  $TRC(1)$ 。

#### 3.3 航迹属性

航迹属性是其它航迹相对于主航迹的运动趋势,分为相随、接近和远离三类。相随属性指某航迹与主航迹保持不变的位置关系,具有相随属性的航迹通常与主航迹为同一物理目标,只是光照原因在光学图像上被分开,主航迹消亡后可指定某一相随航迹为主航迹;接近属性指某航迹与主航迹在图像平面上的位置在逐帧靠近,具有接近属性的航迹可能导致遮挡事件;远离属性指某航迹与主航迹在图像平面上的位置在逐帧远离。

#### 3.4 合并事件

具有相随属性的航迹所对应目标与主航迹所对应目标连成一个图像目标的现象。这种情况通常发生在空中目标(如飞机)跟踪中,由于机翅阴影,飞机被分割为机头、机尾两个目标,但飞行姿态或光照变化致使阴影消失,飞机连成一个图像目标便发生合并事件。

#### 3.5 遮挡事件

具有接近属性的航迹所对应目标与主航迹所对应目标连接成一个图像目标的现象。此时,接近属性航迹对应目标成为障碍,当障碍的面积、宽度、高度等参数大于跟踪目标相应参数时,将影响跟踪目标形状匹配,需要进行障碍处理。

### 4 主要子算法模块说明

#### 4.1 目标几何参数矢量

目标集记为  $OBJ(j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$  ( $N$ :目标总数)。目标由目标参数矢量描述,目标参数矢量为:  $[S_O, C_O, W_O, H_O, Y_{CO}, Z_{CO}]$ , 矢量中各参数含义见表 2。

表 2 目标参数矢量各参数含义

符号	含义	符号	含义	符号	含义
$S_O$	目标面积	$W_O$	目标宽度	$Y_{CO}$	目标水平中心
$C_O$	目标周长	$H_O$	目标高度	$Z_{CO}$	目标垂直中心

#### 4.2 计算相关矩阵

相关矩阵描述航迹集中航迹与当前目标集中目标之形状、位置相关程度。 $M$  个航迹与  $N$  个目标的相关矩阵为:

$$COR = \begin{bmatrix} (B_{11}, R_{11}) & (B_{12}, R_{12}) & \dots & (B_{1N}, R_{1N}) \\ (B_{21}, R_{21}) & (B_{22}, R_{22}) & \dots & (B_{2N}, R_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (B_{M1}, R_{M1}) & (B_{M2}, R_{M2}) & \dots & (B_{MN}, R_{MN}) \end{bmatrix}$$

$$= [(B_{ij}, R_{ij})], \quad i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$$

$B_{ij}$  为  $i$  航迹与  $j$  目标的形状相关度,由航迹与目标的几何尺寸计算,计算公式为

$$B_{ij} = \text{MAX} \left\{ \frac{|S_O(j) - S_T(i)|}{S_T(i)}, \frac{|C_O(j) - C_T(i)|}{C_T(i)}, \frac{|W_O(j) - W_T(i)|}{W_T(i)}, \frac{|H_O(j) - H_T(i)|}{H_T(i)} \right\}$$

$R_{ij}$  为  $i$  航迹与  $j$  目标的位置相关度,由航迹与目标的位置计算,计算公式为:

$$R_{ij} = \sqrt{[Y_{CO}(j) - Y_{CT}(i)]^2 + [Z_{CO}(j) - Z_{CT}(i)]^2}$$

#### 4.3 互连扫描

互连就是将航迹与新提取的目标进行映射或对应,确定每一航迹在当前帧所对应的目标。互连扫描就是从航迹集  $\{TRC(i)\}$  中逐一选择航迹  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ), 检测  $i$  与所有目标相关度  $(B_{ij}, R_{ij})$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 是否满足互连条件,为  $i$  寻找正确的目标  $j$ 。本算法采用三遍互连扫描完成航迹与目标映射,第一遍扫描优先级最高,第三遍最低。

##### 4.3.1 第一遍扫描

第一遍扫描是完全形状关联扫描。设定形状相关阈值  $B_{GATE}$ 。

在  $(1, 2, \dots, M)$  中选择  $i$ , 计算

$$B_{ij} = \text{MIN}(B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{iN})$$

若  $B_{ij} < B_{GATE}$ , 则航迹  $i$  与目标  $j$  互连;否则,航迹  $i$  无互连目标。互连成功的航迹与目标从各自集合中剔除,剩余航迹与目标进行第二遍互连。

##### 4.3.2 第二遍扫描

第二遍扫描为位置关联扫描。在剩余航迹集中选择  $i$ , 计算  $i$  的图像覆盖范围  $(Y1_i, Y2_i; Z1_i, Z2_i)$ :

$$Y1_i = Y_{CT}(i) - W_T(i)/2; Y2_i = Y_{CT}(i) + W_T(i)/2$$

$$Z1_i = Z_{CT}(i) - H_T(i)/2; Z2_i = Z_{CT}(i) + H_T(i)/2$$

在  $(1, 2, \dots, N)$  中选择  $j$ , 如果满足:

$$Y1_i \leq Y_{CO}(j) \leq Y2_i; Z1_i \leq Z_{CO}(j) \leq Z2_i$$

则航迹  $i$  与目标  $j$  互连;如果不能找到合适的  $j$ , 则  $i$  无互连目标。互连成功的航迹与目标从各自集合中剔除,剩余航迹与目标进行第三遍互连。

##### 4.3.3 第三遍扫描

第三遍扫描为形状结合位置关联扫描。设定位置相关阈

值  $R_{GATE}$ . 在剩余航迹中选择  $i$ . 在剩余目标集中搜索满足:

$$R_{ij} < R_{GATE}$$

的所有目标,组成  $i$  的位置相关目标子集  $(1, 2, \dots, NS_i)$ , 若该子集为空集,则  $i$  无互连目标;否则,在该子集中计算:

$$B_{ik} = \min(B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{iK_i})$$

则  $i$  与  $k$  互连.

#### 4.4 确定属性

航迹参数矢量中:  $R_T$ 、 $R_{OT}$ 、 $P_{IT}$  几个参数用于确定航迹属性.  $R_T > R_{OT}$ ,  $P_{IT}$  加 1;  $R_T < R_{OT}$ ,  $P_{IT}$  减 1;  $R_T = R_{OT}$ ,  $P_{IT}$  不变. 其中  $P_{IT} \in [-Q, +Q]$ ,  $Q$  为自然数;  $P_{IT} = -Q$  后不再减小,  $P_{IT} = Q$  后不再增大.

航迹属性判别准则为:

$P_{IT} = 0$ , 航迹属性为相随;  $P_{IT} > 0$ , 航迹属性为接近;  $P_{IT} < 0$ , 航迹属性为远离.

#### 4.5 检测合并与遮挡

判定合并的依据为:

- (1) 主航迹或(与)至少 1 个相随航迹在当前帧互连失败;
- (2) 主航迹或某一相随航迹在当前帧所互连目标之几何尺寸相当于前一帧主航迹与某一或多个相随航迹几何尺寸之和.

判定遮挡的依据为:

- (1) 主航迹与某一接近航迹在前一帧的间距等于接近航迹之接近速度所对应的位移;
- (2) 主航迹或接近航迹在当前帧互连失败;
- (3) 主航迹或接近航迹在当前帧所互连目标之几何尺寸相当于前一帧主航迹与该接近航迹几何尺寸之和.

#### 4.6 航迹刷新与起始、消亡

航迹刷新是用互连目标参数值更新航迹矢量对应参数值,同时计算航迹与主航迹当前相对间距和相对运动速度并更新对应参数;航迹起始就是将互连剩余的目标以新航迹形式记录进航迹集;航迹消亡就是从航迹集中删除多帧皆不能互连成功的航迹.

### 5 影响算法性能的因素

#### 5.1 目标分割

目标分割的质量将影响目标尺寸参数和位置参数计算,从而影响目标与航迹的互连.

图像信号噪声、量化噪声、分割门限计算方法将影响目标分割,设计跟踪系统和跟踪算法时,需要最大限度降低噪声并优化分割门限.

#### 5.2 形状相关阈值 $B_{GATE}$

形状相关阈值  $B_{GATE}$  直接影响航迹与目标的互连.  $B_{GATE}$  控制较严时,漏连的可能性增加;  $B_{GATE}$  控制较宽时,误连的可能性增加.

$B_{GATE}$  是一个经验值,需要根据硬件系统噪声控制状况和应用情况确定. 如果噪声较低,参数提取误差小,  $B_{GATE}$  可以严格一些;如果噪声较大、参数提取误差大,  $B_{GATE}$  需要放宽一些;如果应用中航迹形状差异小,  $B_{GATE}$  可以严格一些;否则,

$B_{GATE}$  需要放宽一些.

#### 5.3 位置相关阈值 $R_{GATE}$

位置相关阈值  $R_{GATE}$  直接影响航迹与目标的互连.  $R_{GATE}$  控制较严时,漏连的可能性增加;  $R_{GATE}$  控制较宽时,误连的可能性增加.

$R_{GATE}$  是一个经验值,主要根据应用情况确定. 如果应用中的航迹运动速度小,  $R_{GATE}$  可以严格一些;否则,  $R_{GATE}$  应该放宽一些.

### 6 实验结果

我们在一个以 DSP 为核心的电视跟踪系统平台上实现了这个算法,电视跟踪系统组成如图 2 所示.

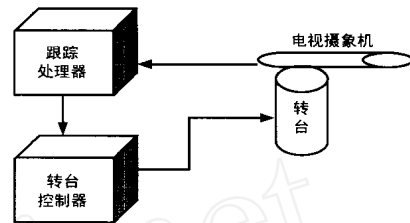


图 2 电视跟踪实验系统

在实验室跟踪实验中,人为设置一些形状相近与差异较大的目标,主跟踪目标处于运动状态,其它目标处于静止或运动状态,并在跟踪中设置各种遮挡情况. 对于这种人造环境,本算法跟踪性能很好,能稳定跟踪所选跟踪目标.

使用本算法进行实际低空飞机跟踪实验,在目标成像面积较大(大于 10 个像素点)、信噪比较高(信号高出 20mV)时,跟踪性能较前两代算法有显著提高;但目标成像面积较小、信噪比较低时,存在较高失败概率. 原因是目标成像面积小、信噪比低时,目标形状特征不突出,容易出现形状与运动位置相关度都很高的干扰物,造成互连错误.

#### 参考文献:

- [1] Sune R J Axelsson, One optimum algorithm for imaging tracking system [J]. Signal Processing: Theories and Application, 1980, 16(5): 352 - 358.
- [2] Morio Onoe, Masaru Saito, Automatic threshold setting for the sequential similarity detection algorithm [J]. IEEE Trans on Computer, Oct 1975, 8(9): 1386 - 1394.
- [3] 徐书文. 电视跟踪数字相关处理器研究[D]. 北京: 北京航空学院研究生院, 1988.
- [4] 丁有志. 用傅立叶描绘实时识别图像目标 [D]. 北京: 北京理工大学研究生院, 1992.
- [5] 吉亚林. 电视成像跟踪技术研究[D]. 北京: 北京理工大学研究生院, 2000.
- [6] 张天序, 李小文, 等. 复杂背景中的目标辨识方法研究[J]. 华中理工大学学报, 1994, 22(5): 1 - 6.
- [7] 张桂林, 张天序, 等. 基于边缘特征的运动目标提取与跟踪[J]. 华中理工大学学报, 1994, 22(5): 42 - 45.
- [8] 孙仲康. 数字图像处理及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [9] 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

## 作者简介:



陈远知 男,1966 年 5 月出生于湖南张家界,1994 年获北京理工大学信号与信息处理专业博士学位,现在北京广播学院数字化工程中心工作,副教授,曾获省部级一等奖 3 项、三等奖 1 项,发表论文十多篇,目前研究兴趣是广播电视系统数字音/视频处理技术、数字音/视频技术应用、实时信号处理等。



张 鹏 男,1972 年 10 月出生于四川广元,1994 年毕业于桂林电子工业学院,现在信息产业部电视电声研究所工作,主要从事电视跟踪技术及产品的研究、开发与生产,参与开发的第一、第二代电视跟踪器已生产 200 多部,并有几十部出口到海外市场,目前在进行第三代电视跟踪器研究开发与实验工作。

## 2003 年中国合成孔径雷达会议(CSAR-2003)

## 征 文 启 事

中国电子学会无线电定位技术分会决定于 2003 年 12 月上旬在安徽合肥国际会展中心召开“中国合成孔径雷达会议”(CSAR-2003),以对近期 SAR 技术取得的研究成果、理论、经验体会和未来设想进行广泛深入的交流,促进我国 SAR 技术的发展和协作。会议由中国电子学会无线电定位技术分会主办,中国电子科技集团公司第三十八研究所承办,国内主要 SAR 研究单位协办。录用论文将出版论文集,高水平论文将推荐到《电子学报》、《宇航学报》、《雷达科学与技术》等正式刊物发表。现将征文有关事项通知如下:

## 1. 征文范围

## A. SAR 系统

- 机载和星载 SAR 系统
- 下一代 SAR 系统原理
- 超宽带宽和甚低频 SAR 系统
- 多频段多极化 SAR 系统
- INSAR 和 DINSAR 系统
- SAR 技术的新概念
- 数据压缩和传输
- GMTI
- SAR 天线技术和相控阵、T/R 组件
- SAR 技术(波形产生,数据形成,记录)
- 各种平台的要求和影响
- SAR 系统的分析和仿真
- 定标技术
- SAR 的干扰和抗扰技术

## B. SAR 信号处理

- 实时 SAR 处理
- INSAR 和 DINSAR 的信号处理
- SAR 图像生成、运动补偿和地理编码

## C. SAR 图像评估和数据处理

- 后处理技术
- 图像滤波和图像增强
- 特征提取和评估
- SAR 图像的几何校正
- 图像融合
- 图像分类

## D. SAR 应用

## E. 其他

## 2. 投稿要求

- (1) 文稿应包括:题名(20 字以内),作者姓名,作者单位(含地区名和邮编),中文摘要(300)字左右,关键词(3~6 个),英文摘要。
- (2) 文稿篇幅限为 4 页(超页加收版面费)。文稿用 word 97 或 word 2000 排版,激光打印,投稿一式两份。
- (3) 来稿请注明作者的真实姓名、职务、学位或职称、工作单位、详细通信地址、邮政编码、联系电话和 E-mail 地址。
- (4) 投稿截止时间:2003 年 5 月 30;录用通知:2003 年 7 月初发出;会议通知:2003 年 11 月初发出。
- (5) 投稿地址

来稿请寄:安徽省合肥市 9023 信箱 60 分箱 邮政编码:230031

联系人:松炳超 联系电话:(0551)5162518 E-mail:qbzx@ecriee.ac.cn

中国电子学会无线电定位技术分会

中国电子科技集团公司第三十八研究所

2003. 1. 20