

内河运动船舶的准确检测跟踪技术研究

李 斌, 孙华峰

(扬州市职业大学, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 研究内河航运中运动船舶的准确检测跟踪. 利用采集的红外视频图像进行船跟踪时, 由于船舶的红外图像轮廓、形状和纹理特征不清晰, 其用于目标描述的灰度特征不明显, 传统的单一灰度特征检测跟踪方法不能有效描述灰度特征不明显的船舶目标, 造成船舶检测跟踪的准确度不高的问题. 为此, 提出特征融合的船舶检测跟踪方法. 将船舶的灰度特征和运动特征融合来描述运动船舶目标, 避免传统单一灰度特征方法不能有效描述特征不明显的船舶目标问题, 并利用粒子滤波算法构建观测概率模型, 完成运动船舶的检测跟踪. 实验表明, 特征融合的方法能够有效描述船舶运动目标, 准确完成船舶的检测跟踪, 取得了理想的结果.

关键词: 运动船舶; 检测跟踪; 灰度特征; 运动特征

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0180-05

Research the Inland River Motion Ships Accurately Detection and Tracking Algorithm

LI Bin, SUN Hua-feng

(Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Research in motion of inland water transport ship accurately detection of tracking. Using the infrared video image collection tracking the ship from the ship image, the infrared images of contour shape and texture features are not clear, gray characteristics used to describe the goal is not obvious. The traditional single gray feature detection and tracking method does not effectively describe ship goals of gray characteristics not obvious, causing the ship detection and tracking accuracy is not high. In order to solve this problem, this paper put forward the fusion feature detection and tracking of ship method. Combine the ship of gray characteristics and movement characteristics fusion to describe movement ship goals, avoiding the traditional single gray characteristics method does not describe effectively characteristics of not obvious ship target. And by using particle filter algorithm construct observation probability model, complete the movement of the ship detection and tracking. Experiments show that features fusion method can describe effectively ship moving targets, accurate detection and tracking of the complete ship, ideal result was obtained.

Key words: transport ship; detection and tracking; gray characteristic; movement characteristics

1 引言

随着我国经济的发展,内河的航运业越发繁荣,来往的运输船舶数也急剧增长,但大量的船舶为内河交通运输带来便利的同时,导致内河船舶航运事故发生的风险也随之增加,并影响着运输行业的发

展和威胁者航运人员的安全. 船舶之间互撞^[1]是常见的船舶航运事故,通过在内河行驶的船舶上、闸口、桥梁等事故可能发生的区域安装红外成像设备,实时采集内河航运的红外视频,并使用图像处理、目标检测和跟踪等技术,分析船舶的航行情况,以此指挥控制船舶运行是避免船舶互撞事故发生的重要技

术^[2]. 基于内河航运红外图像对运动船舶进行目标检测和跟踪以控制航运, 成为了人们研究的热点问题, 其中运动船舶的准确目标跟踪技术是研究重点.

利用采集的红外视频图像进行船跟踪时, 受红外成像设备的限制, 使得采集到的船舶红外图像中的船舶轮廓、形状和纹理特征不清晰, 这些不清晰的特征使得提取出的用于目标描述的灰度特征不明显, 灰度特征较难有效区别内河中的运动船舶^[3]. 而传统的单一灰度特征检测跟踪方法, 只是利用红外图像中船舶的单一灰度特征作为船舶识别标识, 不能有效描述红外图像中灰度特征不明显的船舶目标, 无法准确检测和跟踪运动船舶, 造成船舶检测跟踪的准确度不高的问题, 不能满足内河航运指挥系统对检测跟踪准确度的要求.

为提高运动船舶的检测跟踪准确度, 提出特征融合的船舶检测跟踪方法. 通过选取运动船舶的灰度特征和运动特征, 将两个特征融合来描述运动船舶目标, 避免传统单一灰度特征方法仅依靠单一的灰度特征不能有效描述特征不明显的船舶目标的问题, 然后利用粒子滤波算法构建运动船舶的观测概率模型, 并据此完成运动船舶的检测跟踪, 这种特征融合的方法能够保证有效描述船舶运动目标, 准确完成船舶的检测跟踪.

2 内河运动船舶的检测跟踪原理

2.1 内河运动船舶的检测跟踪实现过程

内河运动船舶的检测跟踪技术, 是通过船舶上、闸口、桥梁等区域安装的红外成像设备^[4]采集内河航运红外图像, 并基于红外图像对其中的运动船舶目标运用图像处理技术、目标检测提取技术、目标跟踪技术进行准确的检测跟踪, 据跟踪结果指挥内河中的船舶运行以避免船舶互撞航运事故的发生. 基于红外图像的内河运动船舶检测跟踪实现船舶防撞事故的实现过程示意图^[5]如图1所示.

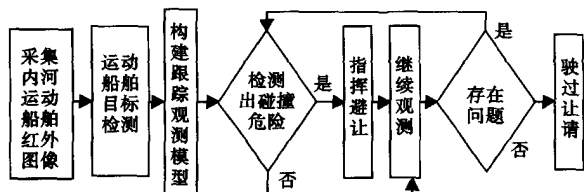


图1 运动船舶检测跟踪实现过程示意图

对内河船舶红外图像进行图像处理, 实现船舶检测跟踪的具体过程为:

(1) 利用采集设备得到内河航运的红外图像,

由于运动船舶肯定位于红外图像中天水线上, 因此对红外图像进行预处理, 采用迭代阈值分割算法分割出天水线区域的船舶图像:

$$\begin{cases} f(x, y) \geq R & f(x, y) = r \\ f(x, y) < R & f(x, y) = g(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $f(x, y)$ 是红外图像的像素点, R 是阈值分割的判别阈值, r 是固定的常系数值, 常取值 0.5, $g(x, y)$ 是图像的对应灰度值, 经过阈值分割得到图像中的天水线区域的船舶图像.

(2) 设定船舶检测识别的特征 $T(\cdot)$, 通过特征提取算法得到红外图像中船舶的特征, 根据特征区分内河中的运动船舶, 并完成船舶的检测和跟踪^[6]. 由船舶目标的特征表示相似性计算公式得:

$$S(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_x(i, j) f_y(x, y) / mn}{|T_x(\cdot) - T_y(\cdot)|} \quad (2)$$

式中, $S(x, y)$ 表示的就是船舶图像 x 和船舶图像 y 之间的特征表示相似性, 可见其相似性与两个船舶红外图像设定提取的特征 $T(\cdot)$ 有关.

(3) 据分割出的红外图像中船舶目标区域以及设定提取的船舶特征, 构建运动船舶的检测跟踪观测概率模型:

$$p(f_{ij} | X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{C}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_x(\cdot) \quad (3)$$

其中 $T(\cdot)$ 就是设定的船舶图像检测跟踪特征, 通过构建的船舶检测跟踪观测概率模型, 计算船舶的风险概率 $p(f_{ij} | X)$, 并据此风险概率检测船舶的碰撞危险, 通过指挥调控避免碰撞事故的发生.

2.2 弊端分析

由运动船舶检测跟踪的具体过程介绍, 并根据运动船舶检测跟踪准确度计算公式分析:

$$L = \frac{\|p(f_{ij} | X) F_x\|^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_y(i, j) / mn} e^{-S^2(x, y) / 2} \quad (4)$$

可以看出, 船舶检测跟踪的准确度 L 与船舶目标的特征表示相似性 $S(x, y)$ 成反比, 即相似性越高则检测跟踪准确度越低. 在实际的红外视频图像检测跟踪时, 受红外成像设备的限制, 使得采集到的船舶红外图像中的船舶轮廓、形状和纹理特征不清晰, 使得提取出的用于目标描述的灰度特征不明显, 灰度特征较难有效区别内河中的运动船舶. 然而传统的单一灰度特征检测跟踪方法, 仅仅利用红外图像中船舶的单一灰度特征作为船舶识别标识, 即 $T(\cdot) = \text{gray}f(i, j)$, 由于红外图像中船舶的灰度

特征不明显使得灰度特征差值很小,由表示相似性与特征差值反比关系知,这样造成船舶图像表示相似性很高,从公式(4)中表示相似性与检测跟踪识别准确度的反比关系,分析知传统方法不能有效描述红外图像中灰度特征不明显的船舶目标,无法准确检测和跟踪运动船舶,造成船舶检测跟踪的准确度不高的问题。

基于上述分析,提出特征融合的船舶检测跟踪方法。通过选取运动船舶的灰度特征和运动特征,将两个特征融合来描述运动船舶目标,通过融合特征表示来降低特征表示的相似性,避免传统单一灰度特征方法仅依靠单一的灰度特征不能有效描述特征不明显的船舶目标的问题,然后利用粒子滤波算法构建运动船舶的观测概率模型,并据此完成运动船舶的检测跟踪,这种特征融合的方法能够保证有效描述船舶运动目标降低船舶目标表述的相似性,准确完成船舶的检测跟踪。

3 特征融合的运动船舶检测跟踪方法实现

3.1 红外图像中船舶融合特征的提取

由于在采集到的红外图像中,大部分的运动船舶目标与内河背景交融在一起,直接利用目标与背景交融的红外图像进行检测跟踪,会给船舶目标的检测跟踪造成困难,因此要在检测处理前将背景分离提取出感兴趣的目标区域。在红外图像中,船舶目标一样处在水天线附近,所以通过分割算法提取出水天线区域。设定红外图像的灰度值函数为 $f(x, y)$,其图像像素的总数目为 $M \times N$,水天线所在区域的像素比为 R ,则水天线所在区域的灰度值函数是 $f_{M \times N \times R}(x, y)$,对水天线等感兴趣区域分割公式为:

$$\begin{cases} f(x, y) \geq f_{M \times N \times R}(x, y) & g(x, y) = r \\ f(x, y) < f_{M \times N \times R}(x, y) & g(x, y) = f(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

式中, r 表示的是像素点 (x, y) 周围的最低像素灰度值,取值一般为 0.05。通过感兴趣区域分割后得到的对应像素灰度值为 $g(x, y)$ 。这样通过红外图像的分割得到船舶目标所在的区域,去除了背景的干扰。

对预处理之后的船舶目标区域进行特征的提取,为避免传统方法采用单一灰度特征造成不能有效区别船舶目标的问题,采用将灰度特征和船舶目标的运动特征相融合的方法,利用融合特征实现船舶目标的准确识别。提取出红外图像中船舶目标的

灰度特征为:

$$p(l) = C \sum_{i=1}^M k \left(\left\| \frac{l - l_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[u] \quad (6)$$

式中, l 代表的是内河红外图像中船舶目标的灰度中心,设船舶目标区域用椭圆区域表示。 $\delta[u]$ 是船舶目标灰度特征的核函数,其核半径为 h , C 是一个归一化系数。红外图像中船舶目标的运动特征为:

$$YD = \frac{(h - h')^n}{|(x_0, y_0) - (x', y')|} \quad (7)$$

式中, YD 表示的就是运动船舶目标的运动特征, h 是当前帧椭圆区域核半径,且当前帧区域中心为 (x_0, y_0) , h' 是下一帧图像椭圆区域核半径,对应的下一帧图像椭圆区域中心为 (x', y') 。

将提取出的红外图像船舶目标的灰度特征和运动特征结合,作为船舶目标的融合特征:

$$XS = \alpha \cdot p(l) + (1 - \alpha) \cdot YD \quad (8)$$

XS 表示的就是运动船舶的灰度特征和运动特征的融合特征, α 是灰度权值系数, $p'(l)$ 是下一帧图像的灰度特征。

这样将运动船舶目标的灰度特征和运动特征相融合,避免了单一的灰度特征在表述特征不明显的船舶目标是存在的问题,虽然船舶的灰度特征不明显,但提取出的运动特征结合灰度特征能够有效识别运动船舶目标,根据公式(2)所示的特征表示相似性计算公式,分析可知,这种融合特征的表述方法能够降低船舶目标识别的相似性,准确完成船舶目标的检测识别,为后续的跟踪观测打下了良好的基础。

3.2 观测概率模型的构建和检测跟踪的实现

设定红外视频图像序列中,运动船舶目标的状态定义成 $X = \{x, y, \dot{x}, \dot{y}\}$,其中运动船舶目标的中心用 (x, y) 表示,而 $(\dot{x}, \dot{y})$ 表示的是运动船舶目标的运动速度。在对红外图像中运动船舶目标的运动情况进行设定后,基于上文提取出的运动船舶目标的融合特征,采用粒子滤波算法构建运动船舶目标的概率观测模型,利用粒子滤波算法,对船舶目标的运动参数进行贝叶斯估计:

$$\begin{cases} \bar{x} = E(x | \dot{x}) - \int x p(x | \dot{x}) dx \\ \bar{y} = E(y | \dot{y}) - \int y p(y | \dot{y}) dy \end{cases} \quad (9)$$

式中, $E(\cdot)$ 是粒子滤波目标函数, $p(x | \dot{x})$ 是运动参数 x 的后验概率密度函数, $p(y | \dot{y})$ 是运动参数 y 的后验概率密度函数。通过粒子滤波算法对船舶目标的运动参数进行滤波估计,得到准确的红外图像中船舶目标运动状态表示为 $\bar{X} = \{\bar{x}, \bar{y}, \dot{x}, \dot{y}\}$ 。

根据提取出的运动船舶目标融合特征,以及经过粒子滤波后得到的船舶目标的运动状态参数,构建运动船舶的观测概率模型。根据船舶目标的融合特征计算特征分布的巴特斯系数为:

$$\begin{cases} \rho[XS, \bar{X}] = \sum_{i=1}^m \sqrt{XS \cdot \bar{X}} \\ D(XS, \bar{X}) = \sqrt{1 - \rho[XS, \bar{X}]} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $D(XS, \bar{X})$ 是对融合入特征计算得到的巴特斯系数, $\rho[XS, \bar{X}]$ 是红外图像中运动船舶目标提取出的融合特征 XS 与粒子滤波得到的船舶目标运动状态参数 $\bar{X}$ 之间的相似性度量函数。则得到红外图像运动船舶的观测概率模型为:

$$p(\bar{X} | D) = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (XS - \bar{X}) \quad (11)$$

根据构建得到的观测概率模型,进行运动船舶目标检测跟踪的具体过程步骤为:

(1) 初始化各项参数,根据观测概率模型计算初始融合特征分布,设定先验分布 $p(X_0)$,并对初始状态参数赋值 $X_0 = X_{-1}$ 。

(2) 根据粒子滤波算法计算滤波后的船舶目标状态参数 $\bar{X}_t$,并对状态参数归一化:

$$X'_{t+1} = \bar{X}_{t+1} / \sum_{n=1}^N w_{t+1} \quad (12)$$

式中 w_{t+1} 是对应的归一化权值系数。

(3) 根据计算得到的运动船舶归一化权值 w_{t+1} ,对红外图像中提取出的船舶目标融合特征进行检测跟踪,并利用最大后验概率定义计算出运动船舶会发生船舶碰撞事故的风险概率:

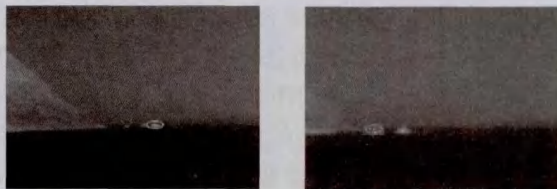
$$p(X_t | D) = \frac{C | \bar{X}_{t+1} - X_{t+1} |}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (XS' - X_t) \quad (13)$$

最终根据观测概率模型迭代检测跟踪,计算得到的运动船舶发生碰撞事故的风险概率,根据风险概率的值分析,完成内河运动船舶的航运指挥和控制。通过对运动船舶提取融合的特征,能够准确识别红外图像中特征不明显的船舶目标,准确完成的运动船舶检测跟踪,防止内河航运事故的发生。

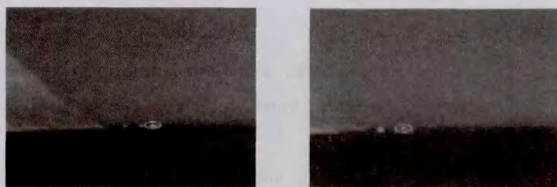
4 仿真实验及结果分析

为验证特征融合船舶检测跟踪方法的性能,并与传统方法比较,设计相同的仿真实验条件和平台进行对比实验分析。选取一个内河航运段,通过安装的红外设备采集 400 分钟的红外视频图像作为实验

数据集,红外成像设备安装位置与内河之间的距离为 500 到 1500 米。利用计算机图像处理技术,将传统船舶检测跟踪方法与特征融合的检测跟踪方法进行 Java 编程实现,分别对采集到的内河红外视频图像进行检测跟踪处理,并记录实验数据。两种方法对特征不明显的船舶跟踪结果图如图 2 所示。



(a) 单一灰度特征检测跟踪结果



(b) 融合特征检测跟踪结果

图 2 两种方法的船舶检测跟踪结果

根据记录的实验数据,并据公式(2)和公式(4)计算两种方法分别的特征表述相似度和船舶检测跟踪准确度,将实验数据列表进行比较,实验数据对比如表 1 所示。

表 1 实验数据对比

跟踪方法	特征表述相似度	跟踪准确度
单一特征法	3.6%	73.4%
融合特征法	0.7%	90.2%

由上述实验结果分析可知,传统的单一灰度特征检测跟踪方法,仅采用船舶图像的灰度特征作为检测跟踪的标识,在红外图像中船舶特征不明显时,特征表述相似度高达 3.6%,不能有效描述灰度特征不明显的船舶目标,由图 2(a)所示的跟踪结果图可以看出,跟踪一段时间后由于不能区分船舶特征而使得后续跟踪成其他船舶,这样就造成船舶检测跟踪的准确度不高,仅为 73.4%。而文中提出的特征融合的船舶检测跟踪方法,将船舶的灰度特征和运动特征融合来描述运动船舶目标,避免传统单一灰度特征方法不能有效描述特征不明显的船舶目标问题,使得特征表述的相似度降到 0.7%,由图 2(b)可以看出一直能够准确跟踪船舶。然后利用粒子滤波算法构建观测概率模型,完成运动船舶的检测跟

踪,使得检测跟踪的准确度提高到 90.2%,有效描述船舶运动目标,准确完成了船舶的检测跟踪,取得了理想的结果。

5 结束语

提出了特征融合的船舶检测跟踪方法.将船舶的灰度特征和运动特征融合来描述运动船舶目标,避免传统单一灰度特征方法不能有效描述特征不明显的船舶目标问题,并利用粒子滤波算法构建观测概率模型,完成运动船舶的检测跟踪.实验表明,特征融合的方法能够有效描述船舶运动目标,准确完成船舶的检测跟踪,为实际应用提供了可靠的参考。

参考文献:

- [1] Slob. W. Determination of risks on inland waterways [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 61(1-3): 363-370.
- [2] Talley, W. K., D. Jin, and H. Kite-Powell. Determinants of the severity of cruise vessel accidents [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008, 13(2): 86-94.

- [3] 赵江. 红外探测技术的现状与发展趋势[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(1): 3236.
- [4] 刘延武. 舰船红外图像的传输与识别[J]. 计算机仿真, 2011, 28(2): 316-319.
- [5] Xide C, Zuyuan L. Trajectory optimization for ship navigation safety using genetic annealing algorithm [C] // Third International Conference on Natural Computation, [s. l.]: IEEE, 2007: 385-392.
- [6] 张长城, 杨德贵, 土宏强. 红外图像中弱小目标检测前跟踪算法研究综述[J]. 激光与红外, 2007, 37(2): 104-107.

作者简介:



李 斌 男, (1978—), 硕士, 讲师. 研究方向为图像检索和计算机网络与通信。

孙华峰 男, (1955—), 副教授. 研究方向为多媒体和数据库。

(上接第 179 页)

5 结束语

目标跟踪技术一直是国内外研究的热点难点问题, 本文提出了一种粒子滤波优化图像帧视觉跟踪新技术. 算法引入了随机分布的运动突变影响算子, 在运动估计过程中作为惩罚因子出现, 同时采用粒子滤波视觉目标采样视频图像, 从而得到实时的跟踪. 算法具有非常高的实时性能。

参考文献:

- [1] 张根耀, 赵宗涛. 图像法识别运动目标技术[J]. 山西师范大学学报, 2002, (1): 33-37.
- [2] 毕华军, 梁家红, 吴冰. 粒子滤波器在图像序列目标跟踪中的应用[J]. 计算机仿真, 2006, 23(1): 184-186.
- [3] Wanc Xiaopeng. Aerodynamic parameter identification of fight vehicles based on adaptive genetic algorithm [J]. Journal of Astronautic, 2003, (3): 303-308.
- [4] 舒建生, 武键, 赵建波, 等. 基于改进粒子群算法的巡航高度优化[J]. 电光与控制, 2010, (2): 5-9.

- [5] S. Arulampalam and S. A. Maskell. Tutorial on Particle Filters for On-line Non-linear Non-Gaussian Bayesian Tracking [J]. IEEE Trans of Signal Processing (SI053-587X), 2002, 50(2): 174-188.
- [6] Miguez J, Bugallo M F, Djuric P M. A new class of particle filters for random dynamic systems with unknown statistics[J]. URASIP Journal on Applied Signal Processing, 2004(15): 2278-2294.
- [7] Iyengar R, Sikdar B. Scalable and distributed GPS free positioning for sensor networks [J]. Proc of IEEE Int'l Conf on Communications, Anchorage: IEEE Communications Society, 2003, 338-342.
- [8] Sundaram N, Ramanathan P. Connectivity based location estimation scheme for wireless ad hoc networks [J]. IEEE Global Telecommunications Conf, Taipei: IEEE Communications Society, 2002: 143-147.

作者简介:

孔素然 女, (1978—), 硕士. 研究方向为计算机图形图像。