粒子滤波器在船舶海天背景下目标跟踪技术的应用

狄晨旭，孙文涛
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所，吉林 长春 130000)

摘　要：船舶在海天背景下的目标跟踪技术在军事侦察、目标搜寻和海上监控等领域有重要的应用，近年来引起了研究人员的广泛关注。随着图像处理技术和计算机技术的迅速发展，目标追踪技术的理论与技术基础更加完善。本文以船舶在海天背景下的目标跟踪技术为研究对象，结合粒子滤波跟踪算法，研究和开发新型的船舶目标跟踪系统，显著提高了船舶的目标跟踪精度和跟踪效率。

关键词：海天背景；目标跟踪；粒子滤波；图像处理
中图分类号：U661.3　　**文献标识码：**A
文章编号： 1672 – 7649(2017)8A – 0121 – 03　　**doi：**10.3404/j.issn.1672 – 7649.2017.8A.041

Application of particle filter in target tracking of ship under sea sky background

DI Chen-xu, SUN Wen-tao
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130000, China)

Abstract: The target tracking technology of ships in the Haitian background has important applications in military reconnaissance, target search and Marine Surveillance, and has attracted extensive attention of researchers in recent years. With the rapid development of image processing technology and computer technology, the theory and technology base of target tracking technology are more perfect. In this paper, the ship in the sea and the sky background, the target tracking technology as the research object, combined with the particle filter tracking algorithm, the research and development of new ship target tracking system, improves the ship tracking accuracy and tracking efficiency.

Key words: haitian background；target tracking；particle filter；image processing

0　引　言

运动目标的跟踪技术在各行各业都有非常广泛的应用，比如现代监控系统、雷达探测技术和机车障碍规避领域。目标追踪技术的目的在于运动物体的信息处理，从而获取运动目标的位置、数量、运动轨迹和运动趋势等信息。海天背景下的目标跟踪技术对舰船的正常运行有重要意义，在舰艇的军事侦察、海上目标搜寻和海上监控等领域有重要的应用

粒子滤波算法起源于蒙特卡罗方法[1]，是一种用粒子集表征概率的滤波算法。该算法在非线性、非高斯系统中的应用最为广泛，能够适用于任何环境下的状态转换。同时，粒子滤波技术通常需要大量的样本数量才能得到近似系统的概率密度，因此在样本处理和计算方面较复杂。

本文针对复杂海天背景下的舰船目标跟踪技术，结合粒子滤波算法和卡尔曼滤波算法，对舰船目标跟踪过程的特征提取、数据处理、舰船的位置与运动轨迹提取等内容进行了系统介绍。

1　粒子滤波器的研究与发展现状

在现代目标跟踪领域，大多数系统是非线性、非高斯系统，粒子滤波算法是应用最广泛的一种概率算法。

为了更系统地描述粒子滤波器的工作原理，定义系统的状态方程为：

$$X_t = f_{t-1}(X_{t-1}) + V_{t-1}。\tag{1}$$

式中：X_t 为目标的状态向量；n 为向量的维数，t 为时间，$t \in R$；f_t 为状态向量的转移函数；V_{t-1}为系统的干扰噪声。

粒子滤波器的观测方程为：

收稿日期: 2017 – 06 – 09
作者简介: 狄晨旭(1992 –)，男，硕士研究生，研究方向为计算机应用技术。

$$W_t = h_t(X_t) + z_t。$$

式中：W_t 为观测向量；h_t 为状态向量的已知函数；z_t 为系统的噪声信号，且噪声信号服从高斯分布。

当系统 $t-1$ 时刻的状态方程和观测方程均已知，由 Kolmogorov 方程可得 $t-1$ 时刻系统的后验概率密度函数 $p(X_{t-1}|W_{t-1})$ 如下式：

$$p(X_{t-1}|W_{t-1}) = \int p(x_t|x_{t-1})p(x_{t-1}|W_{t-1})\mathrm{d}x_t。$$

粒子滤波器的原理如图 1 所示。

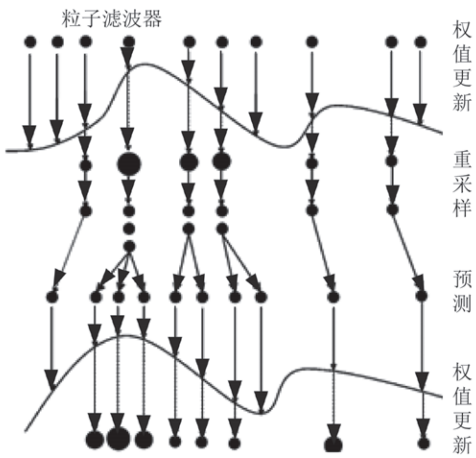


图 1 粒子滤波算法的原理图

Fig. 1 Principle diagram of particle filter algorithm

通常，粒子滤波算法包括信号输入、权值更新、重采样、预测概率密度函数、二次权值更新等环节，用后验概率中抽取的随机状态粒子来表达系统的分布，是一种顺序重要性采样法[2]。

2 基于粒子滤波器的船舶海天背景下目标跟踪技术研究

2.1 卡尔曼滤波算法和海图背景下的图像处理技术

舰船目标跟踪技术的应用环境通常为海天背景，即大海和蓝天组成。通常，海面的灰度等级较低，由于太阳高度角和海浪反光等因素的影响，海面的辐射温度分布不均匀，而天空相对于海面具有较高的辐射温度。

为了提高船舶在海天背景下的目标跟踪精度，本研究将目标跟踪过程的线性系统与非线性系统分开处理。对于线性系统，本研究采用卡尔曼滤波技术进行目标信号的追踪和噪声信号的过滤；对于非线性系统，本研究采用粒子群滤波算法进行系统的分析和过滤。

卡尔曼滤波算法同样需要利用状态方程和观测方程来描述一个动态系统，是一种线性最小方差估计的算法。卡尔曼滤波算法的状态方程与观测方程为：

$$\begin{cases} x(k) = \boldsymbol{A}x(k+1) + u(k), \\ w(k) = \boldsymbol{H}x(k) + v(k)。 \end{cases}$$

式中：$\boldsymbol{A}$ 为线性系统的状态矩阵；$\boldsymbol{H}$ 为系统的观测矩阵；$u(k)$ 和 $v(k)$ 为系统的噪声，满足高斯分布。

卡尔曼滤波的流程如下：

1）卡尔曼滤波增益的计算

$$K_p = P_k H^{\mathrm{T}}\left(HPH^{\mathrm{T}} + R\right)^{-1};$$

2）更新状态估计值

$$\widehat{x}_k = \widehat{x}_{k-1} + K(z_k - H\widehat{x}_{k-1});$$

3）卡尔曼滤波的协方差矩阵

$$P_k = [1 - KH]\,p_k^{-}。$$

受到阳光和海上气象条件的影响，海天背景下的目标图像信噪比更加明显，因此就需要对图片先进行基于卡尔曼滤波的预处理，过滤掉部分噪声和干扰。然后利用边缘检测技术增强图像，并利用阀值分割方法进一步过滤干扰信号，最后对目标进行提取，

具体流程如图 2 所示。

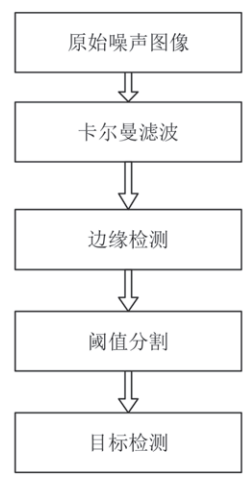


图 2 海图背景下的图像处理流程图

Fig. 2 Flow chart of image processing under chart background

2.2 海天背景下的粒子滤波跟踪技术

粒子滤波器在船舶海天背景下的目标跟踪具有重要作用，相对于其他滤波算法，粒子滤波算法具有灵活性强、实用性强和精确度高等优点。

本研究针对海天背景下的船舶目标跟踪过程，建立了目标对象的观测模型，并利用粒子群滤波算法进行了海天背景下的目标追踪和确认[3]。具体的目标跟踪流程如图 3 所示。

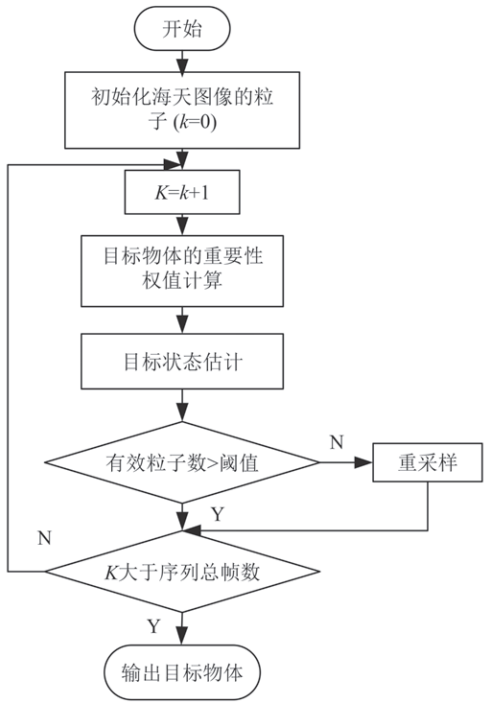


图 3　基于粒子滤波算法的目标跟踪流程图

Fig. 3　Flow chart of target tracking based on particle filter algorithm

由图 3 可知，基于粒子滤波算法的船舶目标跟踪流程需要设定一个误差均方差，也就是一个阈值。当粒子群滤波算法得到的有效粒子个数大于阈值时，此时的有效粒子才能作为目标物体的信息输出；如果有效粒子的个数低于阈值，则继续进入粒子滤波循环。

为了得到最终的有效粒子个数和目标跟踪误差均方根，需要对 n 维粒子空间进行积分变换。本文采用蒙特卡罗积分计算多维粒子空间 $I = \int_X f(x)\mathrm{d}x$。具体计算过程如下：

首先将被积函数 $f(x)$ 分解为 $f(x) = p(x)h(x)$。其中，$p(x)$ 满足 $\int_x p(x)\mathrm{d}x = 1$，是概率密度函数。

进而得到多维粒子空间的积分式为：

$$I = \int_X f(x)\mathrm{d}x = \int_X p(x)h(x)\mathrm{d}x \approx \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} h(x_i),$$

已知分解函数 $h(x)$ 的有限方差为：

$$\sigma^2 = \int (h(x)-1)^2 p(x)\mathrm{d}x,$$

可得粒子滤波算法的误差均方根为：

$$D^2 = \frac{1}{N^2}\sum_{i=1}^{N}\left\{\int (h(x_i)-1)^2 p(x_i)\mathrm{d}x_i\right\}。$$

本研究对基于卡尔曼滤波算法的目标跟踪技术（曲线 1）、基于粒子群算法的目标跟踪技术（曲线 2）和传统的船舶目标跟踪方法（曲线 3）进行了仿真分析，三者的误差均方根曲线如图 4 所示。

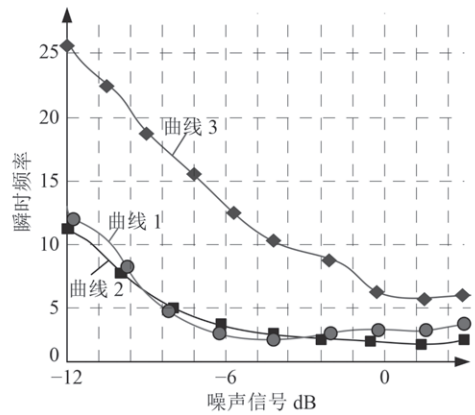


图 4　三种方法的均方根误差变化曲线

Fig. 4　The root mean square error variation curve of the three methods

3　结　语

海天背景下的目标跟踪易受到海杂波、折射光等因素的影响，目标跟踪的效率和精度较差。本文系统介绍了粒子群滤波算法的原理，并在此基础上研究了基于粒子群滤波算法的船舶海天背景的目标跟踪技术。仿真分析表明，基于粒子群滤波算法的船舶目标跟踪技术具有效率高、误差小等优点。

参考文献：

[1] 蔡念, 张楠, 张海员. 基于空间直方图的海杂波背景下红外目标跟踪[J]. 激光与红外, 2010, 40(8): 910–916.

[2] 张才千, 葛磊, 韩东. 基于目标跟踪的粒子群粒子滤波算法研究[J]. 计算机仿真, 2014, 31(8): 392–396.

[3] 尹宏鹏, 刘兆栋, 罗显科, 等. 一种基于粒子群优化的目标跟踪特征选择算法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(17): 164–168.