

· 光电工程系统技术 ·

## 激光与红外传感器联合跟踪算法研究

潘丽娜

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 红外传感器有着良好的测角性能, 激光传感器则有良好的测距、测角性能. 将两者联合起来跟踪目标可以发挥各自的优势. 提出一种红外传感器和激光传感器联合探测的模型. 将各自测得的信息进行时间配准和数据融合后, 用  $\alpha - \beta$  滤波器对目标进行滤波跟踪, 仿真结果表明可以得到较好效果.

**关键词:**  $\alpha - \beta$  滤波; 激光与红外; 数据融合; 联合跟踪

**中图分类号:** TN215; TN241

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2009)03-0025-04

### Algorithm of Combining Tracking of Laser and Infrared Sensors

PAN Li-na

(Naval Aeronautical and Engineering University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Infrared sensor is good at measuring angle while laser sensor is good at measuring distance and angle. Combining the two sensors can exert their predominance each other. A detection model of combining the infrared and laser sensors is put forward. After timely matching the information measured by every sensor and fusing the data, the targets are being tracked by  $\alpha - \beta$  filter, the simulation results show that the method is feasible and satisfying.

**Key words:**  $\alpha - \beta$  filter; laser and infrared sensors; data fusion; combine tracking

红外搜索系统作为被动式搜索系统, 一般只能获得目标所处位置的方位角和俯仰角信息, 缺乏距离信息, 在无测距装置的情况下, 只能依靠角度信息进行数据融合. 激光是一种主动式传感器, 它利用激光器发射的激光照射目标与目标回波之间的时间差取得目标的距离信息.

近年来, 多传感器的数据融合技术得到迅猛的发展<sup>[1]</sup>. 将激光测距和红外测角结合起来可以提高数据跟踪的精度, 发挥各自的优势. 文献[2, 3]对融合后的数据进行了 Kalman 滤波, 但是 Kalman 滤波存在容易引发滤波发散问题, 且实时问题比较难解决. 采用  $\alpha - \beta$  滤波可以简化增益, 解决这个问题.

### 1 $\alpha - \beta$ 滤波用于目标跟踪

$\alpha - \beta$  滤波器是针对匀速运动目标模型的一种常增益滤波器, 此时目标状态中只包含位置和速度 2 项, 亦即是针对直角坐标系中某一坐标轴的解耦滤波.  $\alpha - \beta$  滤波器与卡尔曼滤波器最大的不同点就在于增益的计算不同, 此时增益具有如下形式

$$\mathbf{K}(k+1) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta/T \end{bmatrix} \quad (1)$$

系数  $\alpha$  和  $\beta$  是无量纲的量, 分别为目标的位置和速度分量的常滤波增益,  $\alpha$  和  $\beta$  唯一地确定增益值. 这两个系数一旦确定, 增益  $\mathbf{K}(k+1)$  就唯一地被确定. 所以这时的协方差和目标状态估计的计算

收稿日期: 2009-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60572161); 国家自然科学基金资助项目(60672140);

全国优秀博士论文作者专项资金资助项目(200443)

作者简介: 潘丽娜(1964-), 女, 吉林人, 副教授, 研究方向为物理学、红外与光电传感器应用.

不再通过增益使它们交织在一起,它们是 2 个独立的分支,在单目标情况下不再需要计算协方差的一步预测、新息协方差和更新协方差.但是在多目标情况下由于波门大小与新息协方差有关,而新息协方差又与一步预测协方差和更新协方差有关,所以此时协方差的计算不能忽略.因此,在单目标情况下  $\alpha - \beta$  滤波器主要是由以下公式<sup>[4]</sup>组成的

状态的一步预测:

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) \quad (2)$$

状态更新方程:

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \mathbf{K}(k+1)\mathbf{v}(k+1) \quad (3)$$

其中新息:

$$\mathbf{v}(k+1) = \mathbf{z}(k+1) - \mathbf{H}(k+1)\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) \quad (4)$$

$\alpha - \beta$  滤波器的关键是系数  $\alpha$  和  $\beta$  的确定.由于采样间隔对于目标跟踪的时间一般很小,因此在每一个采样周期内过程噪声  $\mathbf{v}(k)$  可近似看成是常数,如果再假设过程噪声在各采样周期之间是独立的,则该模型就是分段常数白色过程噪声模型.下面给出分段常数白色过程噪声模型下的  $\alpha$  和  $\beta$  的值.为了描述问题的方便,定义机动指标  $\lambda$  为

$$\lambda = \frac{T^2 \sigma_v}{\sigma_w} \quad (5)$$

其中,  $T$  为采样间隔;  $\sigma_v$  和  $\sigma_w$  分别为过程噪声和量测噪声协方差的标准差.

位置和速度分量的常滤波增益<sup>[5,6]</sup>分别为

$$\alpha = -\frac{\lambda^2 + 8\lambda - (\lambda + 4)\sqrt{\lambda^2 + 8\lambda}}{8} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\lambda^2 + 4\lambda - \lambda\sqrt{\lambda^2 + 8\lambda}}{4} \quad (7)$$

由式(6)、式(7)可以看出,  $\alpha$  和  $\beta$  是指标  $\lambda$  的函数,若  $\lambda$  已知,则  $\alpha$  和  $\beta$  为常值.否则  $\lambda$  与  $T$ 、 $\sigma_v$ 、 $\sigma_w$  有关,通常情况下  $\sigma_w$  是已知的,而  $\sigma_v$  则较难获得,而且当  $\sigma_v$  误差比较大时,  $\alpha - \beta$  滤波器就不能使用,工程上常采用如下与采样时刻  $k$  有关的  $\alpha - \beta$  确定方法

$$\alpha = \frac{2(2k-1)}{k(k+1)} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{6}{k(k+1)} \quad (9)$$

$\alpha$  是从  $k=1$  开始计算的,  $\beta$  是从  $k=2$  开始计算的,但滤波器从  $k=3$  开始工作.可以证明,随着  $k$  的增加,  $\alpha$  和  $\beta$  都是减小的.对于某些特殊应用,可以事先规定  $\alpha$ 、 $\beta$  减小到某一值时保持不变.实际上,这时  $\alpha -$

$\beta$  滤波已退化成修正的最小二乘滤波<sup>[6]</sup>.

## 2 一种新的基于 $\alpha - \beta$ 滤波的激光与红外联合跟踪模型

假设红外探测与跟踪传感器和激光传感器处于同一平台(若处于不同平台则需要考虑布站优化问题),这样就不需考虑目标的空间位置融合.同时认为目标作任意机动,并且红外传感器和激光传感器的采样周期不同,需要做时间配准,为保证时间精度,红外传感器和激光传感器的系统时间均由 GPS 授时系统统一授时.

由传感器获得的数据经过融合后,就可以用  $\alpha - \beta$  滤波器进行滤波,并由此得到目标的跟踪轨迹.图 1 给出了基于  $\alpha - \beta$  滤波的激光与红外联合跟踪模型.

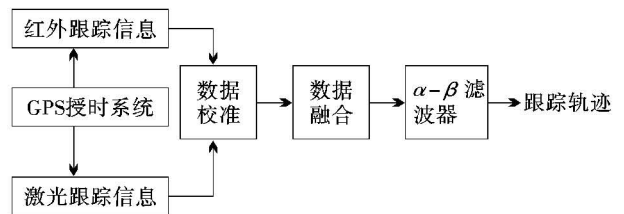


图 1 基于  $\alpha - \beta$  滤波的激光与红外联合跟踪模型

### 2.1 传感器测量的运动学模型

假设目标  $A$  在空间中  $k$  时刻的坐标为  $[x(k), y(k), z(k)]$ , 如图 2 所示.红外传感器所测得的参数是目标的方位角和高低角,假设目标亮度中心和质心重合,可知红外传感器测得的目标运动学模型为

$$\begin{cases} \theta_I(k) = \theta(k) + w_{\theta_I}(k) \\ \varphi_I(k) = \varphi(k) + w_{\varphi_I}(k) \end{cases} \quad (10)$$

其中,  $\theta_I(k)$ 、 $\varphi_I(k)$  为红外的测量值;  $\theta(k)$ 、 $\varphi(k)$  为真值;  $w_{\theta_I}(k)$ 、 $w_{\varphi_I}(k)$  均为零均值高斯白噪声,方差分别为  $\sigma_{\theta_I}^2$ 、 $\sigma_{\varphi_I}^2$ .

由图 2 可以计算出红外探测的目标方位角和高低角.

$$\begin{bmatrix} \theta_I(k) \\ \varphi_I(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan \frac{y(k)}{x(k)} \\ \arctan \frac{z(k)}{\sqrt{x^2(k) + y^2(k)}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{\theta_I}(k) \\ w_{\varphi_I}(k) \end{bmatrix} \quad (11)$$

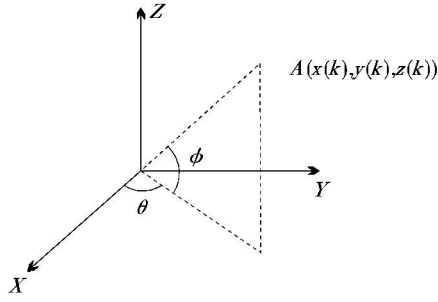


图2 目标在空间的几何位置

激光传感器可以同时测量目标的距离、方位角和高低角<sup>[7]</sup>.激光传感器测得的目标运动学模型为

$$\begin{cases} r_L(k) = r(k) + w_{r_L}(k) \\ \theta_L(k) = \theta(k) + w_{\theta_L}(k) \\ \varphi_L(k) = \varphi(k) + w_{\varphi_L}(k) \end{cases} \quad (12)$$

由图2可以计算出激光传感器探测的目标距离、方位角和高低角

$$\begin{bmatrix} r_L(k) \\ \theta_L(k) \\ \varphi_L(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x^2(k) + y^2(k) + z^2(k)} \\ \arctan \frac{y(k)}{x(k)} \\ \arctan \frac{z(k)}{\sqrt{x^2(k) + y^2(k)}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{r_L}(k) \\ w_{\theta_L}(k) \\ w_{\varphi_L}(k) \end{bmatrix} \quad (13)$$

当目标作非机动运动时,Kalman 滤波是理想的估算方法,但目标机动时,会造成目标状态值严重偏离真实状态,用  $\alpha - \beta$  滤波可以较好地解决这个问题.假设系统的状态矩阵为

$$\mathbf{X}(k+1) = \mathbf{F}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{w}(k) \quad (14)$$

并且

$$\mathbf{E}[\mathbf{w}(k)\mathbf{w}^T(j)] = \sigma_w^2 \delta_{kj} \quad (15)$$

其中

$$\mathbf{X}(k) = [x(k) \dot{x}(k)]^T \quad (16)$$

$$\mathbf{F}(k) = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\mathbf{\Gamma}(k) = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \quad (18)$$

### 2.2 时间配准

在对激光传感器和红外传感器的测量信息进行

数据融合之前,由于它们的采样周期不一样,所以必须统一它们的时间和空间参考点,以形成融合所需的统一时间和空间参考点,即进行时间和空间配准.如前假设,红外传感器和激光传感器在同一物理平台上,所以不存在空间布站融合问题.如图3所示,假设  $t_0$  时刻目标的状态为  $\mathbf{X}(k)$ ,  $t_0 + T$  时刻目标的状态为  $\mathbf{X}(k+1)$ ,  $t_0 - T$  时刻目标的状态为  $\mathbf{X}(k-1)$ .由于间隔周期  $T$  很小,  $\mathbf{X}(k)$  可以通过外延或内插的数值计算方法获得,以内插为例,得到

$$\mathbf{X}(k) = \frac{\mathbf{X}(k+1) - \mathbf{X}(k-1)}{2T} [t - (t_0 + T)] + \mathbf{X}(k+1) \quad (19)$$

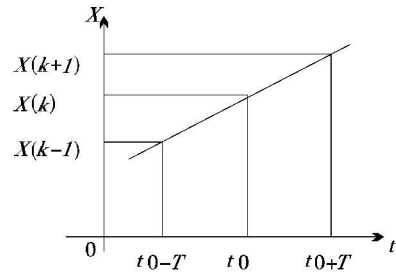


图3 目标时间配准内插示意图

### 2.3 数据融合

红外数据和激光数据经过时间配准后,就可以进行数据融合.采用加权平均的方法,根据融合后得到的测量信息均方根误差最小原则,得到融合后的测量值

$$\begin{cases} r_{IL}(k) = r_L(k) \\ \theta_{IL}(k) = \sigma_{\theta_{IL}}^2 \left( \frac{\theta_I(k)}{\sigma_{\theta_I}^2} + \frac{\theta_L(k)}{\sigma_{\theta_L}^2} \right) \\ \varphi_{IL}(k) = \sigma_{\varphi_{IL}}^2 \left( \frac{\varphi_I(k)}{\varphi_I^2} + \frac{\varphi_L(k)}{\varphi_L^2} \right) \end{cases} \quad (20)$$

其中

$$\begin{cases} \sigma_{r_{IL}}^2 = \sigma_{r_L}^2 \\ \sigma_{\theta_{IL}}^2 = \frac{\sigma_{\theta_I}^2 \sigma_{\theta_L}^2}{\sigma_{\theta_I}^2 + \sigma_{\theta_L}^2} \\ \sigma_{\varphi_{IL}}^2 = \frac{\sigma_{\varphi_I}^2 \sigma_{\varphi_L}^2}{\sigma_{\varphi_I}^2 + \sigma_{\varphi_L}^2} \end{cases} \quad (21)$$

## 3 仿真实验及结果分析

假设目标在  $x$  轴上做匀速直线运动,初始状态

的坐标为 (10, 88), 采样周期  $T = 1$  s, 过程噪声  $v(k)$  是零均值白噪声, 方差分别取为 9, 量测噪声  $w(k)$  也是零均值白噪声, 方差为 10 000, 2 个噪声序列是相互独立的, 且与  $\hat{X}(0|0)$  也是独立的. 取蒙特卡罗仿真次数为 50 次.

根据仿真条件所设, 可以得到图 4~图 7 的仿真结果.

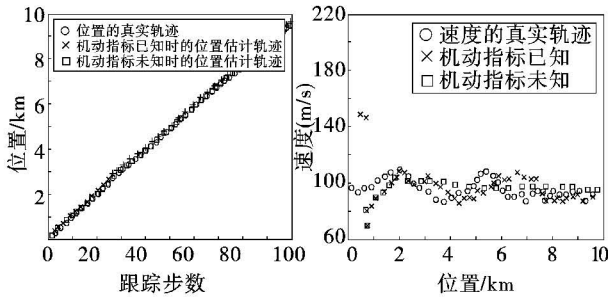


图 4  $\alpha - \beta$  滤波位置真实和估计的轨迹 图 5  $\alpha - \beta$  滤波速度真实和估计的轨迹

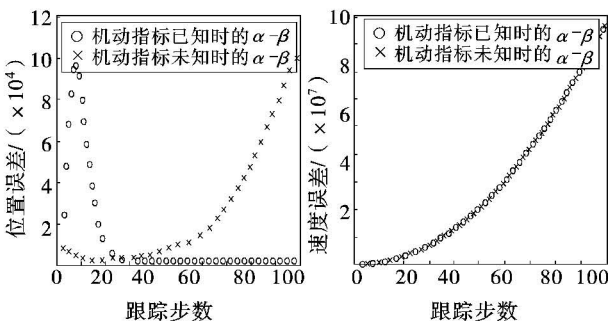


图 6  $\alpha - \beta$  滤波位置误差 图 7  $\alpha - \beta$  滤波速度误差

由仿真结果可以看出:  $\alpha - \beta$  滤波在机动指标已知时的位置的估计效果明显好于机动指标未知时,

但速度的估计效果相当, 机动指标未知时的滤波已发散. 同样地, 在失配滤波情况下, 可以预测  $\alpha - \beta$  滤波在机动指标已知时的位置的估计效果明显好于机动指标未知时, 速度的估计效果相当, 机动指标未知时的滤波发散.

## 4 结 束 语

红外单站传感器属于被动接收式传感器, 只能测角, 故不能对目标进行准确定位. 将红外与激光传感器结合起来进行时间配准和数据融合, 可以得到目标准确空间位置. 传统的 Kalman 滤波存在不能实时处理、容易发散等缺点, 用  $\alpha - \beta$  滤波, 能得到较好的滤波结果, 特别是在机动指标已知更是能对目标的位置和速度进行准确跟踪.

## 参考文献

- [1] 何友, 王国宏, 陆大等. 多传感器信息融合及应用. [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] 辛云宏, 杨万海. 基于红外辐射信息的IRST系统机动目标跟踪算法[J]. 红外技术, 2004, 26(3): 37-40.
- [3] 冯国强, 李伟仁, 李战武. 机载红外搜索跟踪系统被动定位滤波算法研究[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(5): 606-611.
- [4] 何友, 修建娟, 张晶炜, 等. 雷达数据处理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] Y Bar-shalom, T E Fortmann. Tracking and Data Association[M]. Academic press, 1988.
- [6] 陈晓荣, 蔡萍, 陈淑芬, 等. 卡尔曼滤波在激光跟踪测量系统中的应用[J]. 光学技术, 2004, 30(1): 98-100.
- [7] 王青, 黄燕, 石晓荣. 雷达/红外双模制导背景下的模糊目标跟踪器[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(8): 1152-1154.

(上接第 11 页)

进行了分析和计算. 在 10 W 激光功率, 发散角小于 16 mrad 条件下, 可得到识别 3~4 km 目标的图像, 并有可能探测到 6 km 目标. 如果进一步减小发散角到 4 mrad 以下, 采用长焦大口径光学系统和距离选通技术, 则可以实现对 10 km 以上 2 m 的目标进行成像识别.

## 参考文献

- [1] 王智, 金光, 杨简. 激光主动照明成像技术: 分析和实验证明[J]. 长春理工大学学报, 2004, 24(4): 101-104.

- [2] 乔亚. 激光主动侦察技术研究[J]. 光电技术应用, 2005, 20(3): 22-24, 35.
- [3] 徐效文, 郭劲, 于洋. 距离选通激光成像系统发展现状[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 616-618.
- [4] David Dayton, Steve Browne. Long Range Laser Illuminated Imaging[J]. Proc. SPIE, 2000, 4124: 232-243.
- [5] Kevin J Snell, Andre Parent. An Active Range-gated Near-IR TV system for All-weather Surveillance[J]. SPIE, 1997, 2935: 171-181.
- [6] 裴楠楠, 徐国范, 宋玲玲. 带激光辅助照明的微光夜视仪的研制[J]. 激光与红外, 2005, 35(12): 938-941.