

当前统计概率数据关联算法

张晶炜, 熊伟, 何友

(海军航空工程学院信息融合技术研究所 山东 烟台 264001)

【摘要】目标跟踪领域的一个研究重点是如何解决在密集杂波环境下机动目标的跟踪问题。机动目标跟踪的关键是解决目标模型的不确定性, 而密集杂波环境则使这个问题变得更加复杂。针对这一问题, 提出一种当前模型概率数据互联算法。该算法将当前模型算法与概率数据互联相结合, 在使用概率数据互联算法的同时, 利用当前模型算法对目标出现的机动进行自适应滤波。最后, 给出了算法的仿真分析, 仿真结果说明该方法能够有效地跟踪杂波环境中的机动目标。

关键词 机动目标; 当前统计模型; 概率数据互联; 跟踪
中图分类号 TP274 **文献标识码** A

Current Statistical Probabilistic Data Association Algorithm

ZHANG Jing-wei, XIONG Wei, HE You

(Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical Engineering Institute Shandong Yantai 264001)

Abstract How to track a maneuvering target is a key problem of target tracking in clutter. The difficulties of the maneuvering target tracking lies in the uncertainty of state model, and the clutter make it more complex. The paper presents a current statistical probabilistic data association algorithm for tracking a maneuvering target in clutter. The algorithm combines current statistical algorithm with probabilistic data association algorithm. When this algorithm estimate the state of a maneuvering target with current statistical algorithm, the probabilistic data association algorithm is used to resolve association problem. At last, a Monte Carlo simulation is used to analyze the performance of the method. And the results suggests this algorithm can estimate a maneuvering target in clutter efficiently.

Key words maneuvering target; current statistical model; probabilistic data association; tracking

在目标跟踪领域, 如何解决密集杂波环境下的机动目标跟踪问题比较令人关注。在解决密集杂波环境下目标跟踪问题的算法中比较有代表性的是概率数据互联法(Probabilistic Data Association)^[1,2]。该算法自提出以来, 受到人们的普遍关注, 它在杂波环境中具有很好的跟踪性能。但是由于概率数据互联算法本身不具有跟踪机动目标的能力, 人们针对杂波环境下机动目标的跟踪问题提出了很多修正算法。这些修正算法主要是在概率数据互联的基础上结合机动目标跟踪算法, 推导出一种新算法以适用于密集杂波环境下的机动目标跟踪问题。机动目标跟踪的困难之处在于目标模型的不确定性, 解决机动目标跟踪问题主要有两大类方法: 改变滤波器的结构、改变滤波器的增益。前者的代表性算法主要有: 多模型算法^[2], 交互式多模型算法^[3], 变维滤波算法^[2,4]。后者的代表性算法主要有: 可调白噪声算法^[2], 当前模型算法^[5]。到目前为止,

收稿日期: 2003-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60172033); 全国优秀博士论文作者专项基金项目(200036); 高校骨干教师基金资助项目(3240)

作者简介: 张晶炜(1980-), 男, 硕士, 主要从事多目标跟踪、机动跟踪方面的研究。

针对杂波环境下的机动目标跟踪问题, 各类文献中出现的算法有: 交互式多模型概率数据互联算法^[3,6,7], 多维概率数据互联算法^[2,4], 可调白噪声概率数据互联算法^[2,8~10], 其中最具代表性的是交互式多模型概率数据上联算法。

在机动目标跟踪算法中, 文献[5]提出了一种当前统计模型算法。该算法在估计目标状态的同时估计机动加速度均值, 并对加速度分布进行实时修正, 通过状态估计协方差反馈到下一时刻的滤波增益中, 实现闭环自适应跟踪。当使用这种算法模型跟踪机动目标时, 如果不考虑杂波情况, 即每次只得到一个观测值, 能得到比较理想的跟踪效果。但是当考虑杂波环境时, 就必须首先处理杂波的问题, 否则算法的跟踪精度就会急剧下降以致丢失目标。这就需要在原算法基础上结合数据关联技术, 本文将当前模型与概率数据互联算法相结合, 利用这两种算法导出当前模型概率数据互联算法, 并对该算法与概率数据互联算法以及交互式多模型概率数据互联算法进行了性能比较。

1 当前模型概率数据互联

设目标运动规律在离散化状态方程的基础上可模拟为:

$$\mathbf{X}(k+1) = \mathbf{F}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{U}(k)\bar{a}(k) + w(k) \quad (1)$$

式中 $\mathbf{X}(k+1) \in R^n$ 为 $k+1$ 时刻目标的全局状态向量, $\mathbf{F}(k) \in R^{n \times n}$ 为状态转移矩阵, $\bar{a}(k)$ 为 k 时刻的加速度输入, $\mathbf{U}(k) \in R^{n \times n}$ 为加速度转移矩阵, $w(k)$ 为离散时间白噪声序列, 且:

$$\mathbf{Q}(k) = E[w(k)w^T(k)] = 2\alpha\sigma_a^2 \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 α 为自相关时间常数, σ_a^2 为目标加速度方差。测量方程可表示为:

$$\mathbf{Z}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{X}(k) + v(k) \quad (3)$$

式中 $v(k)$ 为零均值, 方差为 $R(k)$ 的高斯观测噪声。

根据文献[5]的推导结果可以获得采用状态方程(1)和测量方程(3)时, 当前模型概率数据互联算法的滤波方程为:

$$\hat{\mathbf{X}}(k|k-1) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k-1|k-1) + \mathbf{U}(k)\bar{a}(k) \quad (4)$$

$$\mathbf{W}(k) = \mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}(k)\mathbf{S}^{-1}(k) \quad (5)$$

$$\mathbf{S}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}^T(k) + \mathbf{R}(k) \quad (6)$$

$$\mathbf{P}(k|k-1) = \mathbf{F}(k)\mathbf{P}(k-1|k-1)\mathbf{F}^T(k) + \mathbf{Q}(k-1) \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k|k) = \hat{\mathbf{X}}(k|k-1) + \mathbf{W}(k)\mathbf{V}(k) \quad (8)$$

$$\mathbf{P}(k|k) = \beta_0(k)\mathbf{P}(k|k-1) + [1 - \beta_0(k)]\mathbf{P}^c(k|k) + \tilde{\mathbf{P}}(k) \quad (9)$$

式中 $\hat{\mathbf{X}}(k|k)$ 和 $\mathbf{P}(k|k)$ 分别为 k 时刻目标的状态向量和状态协方差矩阵, $\hat{\mathbf{X}}(k|k-1)$ 和 $\mathbf{P}(k|k-1)$ 分别为 k 时刻目标的状态预测估计向量和状态预测协方差矩阵, $\mathbf{W}(k)$ 为滤波增益矩阵, $\mathbf{S}(k)$ 为测量预测协方差矩阵。式(8)中, $\mathbf{V}(k)$ 为每个测量值的组合新息:

$$\mathbf{V}(k) = \sum_{i=1}^{m_k} \beta_i(k)V_i(k) \quad (10)$$

式中 $V_i(k)$ 为第 i 个测量值的新息, $\beta_i(k)$ 为该测量值的互联概率。

2 仿真分析

设定一种典型的杂波环境下机动目标运动情况, 将当前模型概率数据互联算法与概率数据互联算法以及交互式多模型概率数据互联算法进行性能比较。

2.1 仿真环境

1) 目标起始状态为 $\mathbf{X}_0 = [40\ 000, -40, 25\ 000, -50]^T$, $t = 45$ s时, 目标发生机动: $a_x = -20$, $a_y = -2$, 时间间隔 $T=1$ s, 仿真步数 $step=60$, 仿真次数 $num=50$ 。

2) 目标起始状态为 $\mathbf{X}_0 = [40\ 000, -40, 25\ 000, -50]^T$, $t = 45$ s时, 目标发生机动: $a_x = -20$, $a_y = -25$; $t = 80$ s时: $a_x=0$, $a_y=20$; $t = 120$ s时: $a_x=0$, $a_y = -20$ 。时间间隔 $T=1$ s, 仿真步数 $step=160$, 仿真次数 $num=50$ 。

2.2 参数设置

波门内平均杂波数 $m = 3$, 传感器测距误差 $\sigma_r = 100$ m, 测角误差 $\sigma_\theta = 0.01$ rad。探测概率 $P_d = 1$, 门概率 $P_g = 0.997$, 门限 $\gamma = 16$, 过程噪声 $q_1 = q_2 = 0.005$ 。

当前模型概率数据互联: 自相关时间常数 $\alpha = 1/20$, 最大加速度 $a_{\max} = 100$ m/s², $a_{\min} = -100$ m/s²。交互式多模型概率数据互联有3种模型, 每种模型过程噪声协方差系数: $q_1=1$, $q_2=0.01$, $q_3=0.005$, 模型先验概率: $\mu_0 = [1/3, 1/3, 1/3]$; Markov转移概率: $P_t = [0.8, 0.15, 0.05; 0.3, 0.4, 0.3; 0.05, 0.15, 0.8]$ 。

2.3 仿真结果

图1所示为当前模型概率数据互联算法与概率数据互联算法的均方根位置误差比较。从图中可以看出, 在目标发生机动前后者的跟踪效果略好于前者; 而当目标发生机动时, 概率数据互联算法的误差迅速增大并导致发散, 而当前模型概率数据互联算法则保持了较稳定的跟踪效果, 此时其性能明显优于概率数据互联算法。

图2所示为当前模型概率数据互联算法与交互式多模型概率数据互联算法的均方根位置误差比较。从图可以看出, 在目标不发生机动时, 后者的误差相对较小; 而在目标出现机动后, 交互式多模型概率数据互联的误差明显增大, 而当前模型概率数据互联的跟踪效果表现得较为平稳。因此从整个跟踪过程来说, 当前模型概率数据互联算法的跟踪性能较交互式多模型概率数据互联算法的更优。

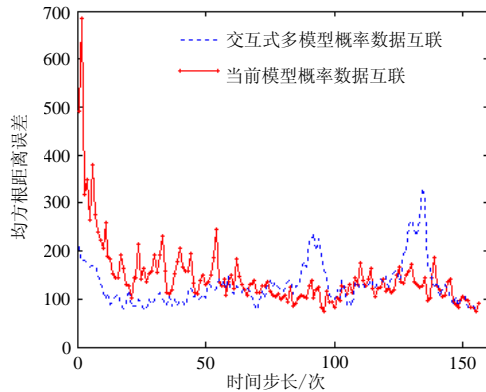


图1 与概率数据互联算法均方根位置误差比较图

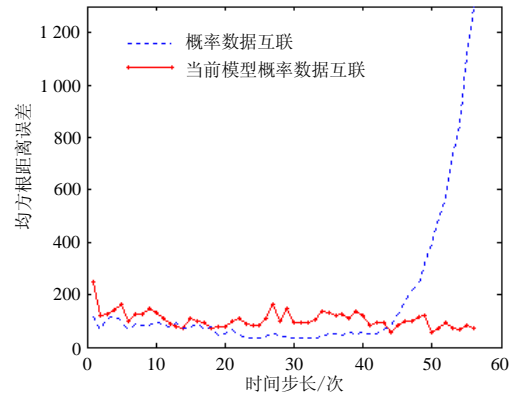


图2 与交互式多模型概率数据互联算法比较图

整个仿真程序采用Matlab6.1编写, 在主频2.0 G, 内存256 M的个人台式计算机上运行。当采用交互式多模型概率数据互联时, 平均每步所需的处理时间为5.4 ms, 而采用当前模型概率数据互联时, 平均每步所需的处理时间为1.3 ms, 说明当前模型概率数据互联算法在实时性方面更具有优越性。

3 结论

针对杂波环境中的机动目标跟踪问题, 本文提出的一种当前模型概率数据互联算法在使用概率数据互联算法的同时, 利用当前模型算法对目标出现的机动进行自适应滤波。计算机仿真结果说明该方法能有效地跟踪杂波环境中的机动目标, 并且其跟踪精度与实时性较交互式多模型概率数据互联更优。

参 考 文 献

- [1] 何友, 王国宏, 陆大绘, 等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 北京电子工业出版社, 2000
- [2] Bar-Shalom Y, Fortmann T E. Tracking and data association[M]. New York: Academic press, 1988
- [3] Kirubarajan T, Bar-Shalom Y. IMM-PDA for radar management and tracking benchmark with ECM[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronics, 1998, 1 115-1 132
- [4] Blom H A P. A sophisticated tracking algorithm for ATC surveillance data[C]. Proc.International Radar Conf., Paris, France, 1984
- [5] Bar-Shalom Y. Multitarget multisensor tracking, advanced application[M]. New York: Artech Houseinc, 1992
- [6] Birnirwal K, Bar-Shalom Y. Maneuver target tracking a cluttered environment with a variable dimension filter[J]. IEEE Trans.Aerospace & Electronic System, 1984, AES-20: 635-645
- [7] Fortmann T E, Bar-Shalom Y, Scheffe M, et al. Detection thresholds for tracking in clutter-a connection between estimation and signal processing[J]. IEEE Trans. Automatic Control, 1985, AC-30: 221-228
- [8] Fortmann T E, Bar-Shalom Y, Scheffe M, et al. Detection thresholds for multitarget tracking in clutter[C]. Proc.20th IEEE Conf. on Decision & Control, San Diego, CA, 1981
- [9] 周宏仁, 敬忠良, 王培得. 机动目标跟踪[M]. 北京: 北京国防工业出版社, 1991
- [10] Raraoq M, Bruder S. Information type filters for tracking a maneuvering target[J]. IEEE Trans. on AES, 1990, 26: 441-454

编辑 漆蓉

(上接第3页)

参 考 文 献

- [1] Yarovoy A G, Schukin A D, Kaploun I V. The dielectric wedge antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2002, 50(10): 1 460-1 472
- [2] Lestari A A, Yarovoy A G, Ligthart L P. Numerical and experimental analysis of circular-end wire bow-tie antennas over a lossy ground[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 47(1): 26-35
- [3] Yasuhiro Nishioka, Osamu Maeshima, Toru Uno. FDTD analysis of resistor-loaded bow-tie antennas covered with ferrite-coated conducting cavity for subsurface radar[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47(6): 970-977
- [4] Bourgeois J M, Smith G S. A full electromagnetic simulation of a ground penetrating radar: theory and experiment[J]. AP-S. Digest Antennas and Propagation Society International Symposium, 1994, 3: 1 442-1 445
- [5] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995

编辑 徐安玉