



# 强干扰环境下性能优化的相互作用多 模型-概率数据关联算法<sup>1)</sup>

王明辉<sup>1</sup> 游志胜<sup>2</sup> 赵荣椿<sup>1</sup> 张建州<sup>2</sup>

(西北工业大学计算机系 西安 710072 E-mail: wangminghui99@163.net)<sup>1</sup>

(四川大学图像图形研究所 成都 610064)<sup>2</sup>

**摘要** 在大区域空中交通管制 ATM(Air Traffic Manage)调度多批次飞机时,由于各种干扰和虚警的存在,致使相互作用多模型-概率数据关联算法(IMM-PDA)的性能下降.为此,提出一个新颖的算法,即利用某些先验概率知识构造一个判断回波有效性的函数,通过该函数来估计无效回波、并将其排除在外,从而改善了算法的性能.最后,通过仿真给以验证.

**关键词** 空中交通管制(ATM),多目标跟踪,相互作用多模型-概率数据关联算法(IMM-PDA)算法.

## THE ADVANCED IMM-PDAF ALGORITHM IN A HEAVY CLUTTER ENVIRONMENT

Wang Ming-Hui<sup>1</sup> You Zhi-Sheng<sup>2</sup> Zhao Rong-Chun<sup>1</sup> Zhang Jian-Zhou<sup>2</sup>

(Department of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)<sup>1</sup>

(Institute of Image & Graphics, Sichuan University, Cheng'du 610064)<sup>2</sup>

(E-mail: wangminghui99@163.net)<sup>1</sup>

**Abstract** The performance of IMM-PDA algorithm can be decreased due to all kinds of clutter and false alarms during managing lots of planes in large region air traffic management(ATM). Hence, a novel algorithm is presented in this paper, that is, a function appraising the performance of IMM-PDA is set up with some prior probabilities measurements caused by clutter or other targets can be estimated efficiently and filtered out via this method, Then the performance of IMM-PDA is improved. At last, simulation for verification of the algorithm is given.

**Key words** ATM(Air Traffic Manage), multitarget tracking, IMM-PDA(Interact Multiple Mode-Probability Data Association) algorithm.

1) 国家自然科学基金重点资助项目(69732010).

## 1 引言

相互作用多模型-概率数据关联算法 (IMM-PDA) 是多目标多传感器跟踪系统 (MTMST) 的一个性能优良算法. 该算法是利用两个或多个模型组成的混合系统来描述目标的运动过程, 模型间的转换由一个有限态的马尔可夫过程控制. 理论上讲, IMM-PDA 算法是解决多目标跟踪问题的次优方法<sup>[1]</sup>; 但从工程实际出发, 它是一个在计算复杂度与跟踪性能之间成功的折中方案<sup>[2]</sup>, 即: 该算法的性能接近二阶多模伪贝叶斯 (GPB2), 同时计算复杂度只相当于 GPB1. 近几年, 该技术得到了快速发展并成功地应用在空中交通管制系统、空域监视系统、雷达跟踪等领域.

我们注意到, IMM-PDA 算法在目标状态更新时, 必须计算所有可能观测的各个运动模型的似然值, 以便确定最终的状态更新估计. 在强干扰、高虚警的环境中, 由于大量无效回波的存在, 给该算法带来的计算量会十分繁重, 这不仅严重影响算法的实时计算而且恶化了关联精度<sup>[4]</sup>. 可见, 有效去除无效回波, 这对 IMM-PDA 算法来说是极为重要的. 本文通过利用系统的某些先验知识 (如检测概率、新源密度、虚警率等等) 构造了一个评价算法性能的函数. 显然, 当该函数的解趋向最优时就等同于对回波进行了有效估计, 即有效地排除无效回波的数量. 仿真实验表明, 在强干扰环境中 IMM-PDA 算法的性能得到了明显改善.

## 2 问题描述

系统的状态方程和量测方程为

$$\mathbf{x}(k+1) = F(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k), \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

$$\mathbf{z}(k) = H(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k), \quad (2)$$

其中  $\mathbf{x}(k+1)$  表示  $k+1$  时刻的状态向量,  $F(k)$  表示状态转移矩阵,  $\mathbf{z}(k)$  表示观测向量,  $H(k)$  表示观测矩阵,  $\mathbf{w}(k)$ ,  $\mathbf{v}(k)$  表示噪声. 那么, 空域中目标  $t$  的状态更新估计和协方差为

$$\hat{\mathbf{x}}^t(k) = \sum_{j=1}^r \hat{\mathbf{x}}_j^t(k) \mu_j^t(k), \quad (3)$$

$$P^t(k) = \sum_{j=1}^r P_j^t(k) \mu_j^t(k) + \sum_{j=1}^r [\hat{\mathbf{x}}_j^t(k) - \hat{\mathbf{x}}^t(k)] \cdot [\hat{\mathbf{x}}_j^t(k) - \hat{\mathbf{x}}^t(k)]^T \mu_j^t(k), \quad (4)$$

其中  $\hat{\mathbf{x}}_j^t(k)$  表示第  $j$  个运动模型的状态估计 (具体计算见文献[3]),  $\mu_j^t(k)$ ,  $P_j^t(k)$  分别表示运动模型  $j$  的模型概率和协方差 (具体计算见文献[4]). 因此, 当由于各种干扰或虚警的存在而产生大量无效回波时, 将直接影响到 (3), (4) 式的实时计算及其准确性<sup>[3,4]</sup> (主要原因就是大量无效回波参与了计算). 所以, 本文研究了如何有效判断无效回波的方法.

## 3 基于先验知识的估计模型

理论上 IMM-PDA 算法是一种全邻域的算法, 即状态更新是由所有回波的贡献组

成,只是贡献大小不一,真正来自目标的回波贡献大而其余较小<sup>[3,4]</sup>.但为了保证算法的性能,必须对无效回波进行判断,将不可能的回波排除在外.由于干扰、虚警的不确定性,致使准确判断无效回波的难度很大,只能对其进行估计.随着数据关联算法的发展,已有相关的理论发表<sup>[4~6]</sup>.本文提出的方法与现有方法不同之处在于:利用了某些先验知识构造一个算法评价函数,通过搜索该函数的最优解来反向估计回波是否为干扰回波的可能性.显然,对于同一算法而言,当算法性能越发良好时,就表明代入该算法的干扰回波越少.

假设监视空域中新源(如新的真实目标、虚警等)服从泊松分布,即

$$P\{x = m\} = \frac{(\beta V)^m}{m!} e^{-\beta V}, \quad (5)$$

其中  $\beta$  是新源密度,  $V$  是跟踪门的体积.那么

$$P\{x = 0\} = e^{-\beta V}, P\{x \geq 1\} = 1 - e^{-\beta V}. \quad (6)$$

本文认为,一个性能优良的 IMM-PDA 算法应包含两个方面:首先,当目标被检测到时,算法能保证正确关联.其描述模型,第一要确定来自目标的回波落入到跟踪门内的概率  $P_G(M)$ ,这里以  $M=2$  的椭球门为例

$$P_G(M) = \int_0^G Z^{\frac{M}{2}-1} e^{-\frac{Z}{2}} \left/ \left( 2^{\frac{M}{2}} \Gamma\left(\frac{M}{2}\right) \right) \right. dZ; \quad (7)$$

第二如果此时跟踪门内的干扰回波为零,则算法必然能正确关联(当然,对于 IMM-PDA 这样的全邻域算法,允许部分噪声的加入,其对最终关联结果的影响还要看噪声回波在门内的具体分布状况,限于篇幅以及为描述问题的方便,这里暂略),其正确关联概率  $P_{CC}$  为

$$P_{CC} = P_D \int_0^G e^{-\beta V} Z^{\frac{M}{2}-1} e^{-\frac{Z}{2}} \left/ \left( 2^{\frac{M}{2}} \Gamma\left(\frac{M}{2}\right) \right) \right. dZ; \quad (8)$$

其次,当目标漏检时,算法能保证不发生关联,显然只有跟踪门内没有额外的回波才行,所以抑制错误关联的概率  $P_{NC}$  为

$$P_{NC} = (1 - P_D) e^{-\beta V}. \quad (9)$$

由此,可得到算法性能评价函数,即

$$f(G) = P_D \int_0^G e^{-\beta V} Z^{\frac{M}{2}-1} e^{-\frac{Z}{2}} \left/ \left( 2^{\frac{M}{2}} \Gamma\left(\frac{M}{2}\right) \right) \right. dZ + (1 - P_D) e^{-\beta V}. \quad (10)$$

实际上,跟踪门就是对回波进行估计的技术,即来自真实目标可能性较大的回波落入门内,反之排除在门外.最终,跟踪门内的回波将代入算法.可以证明<sup>[5]</sup>(限于篇幅,证明从略), $f(G)$  存在关于跟踪门  $G$  的最优值,并且  $f(G)$  处于最优时,算法的正确关联也趋向最优.

#### 基于先验概率的回波估计算法

Spet1. 对于(11)式,给定初值  $x_1$ ,步长  $\Delta x$ ,计算  $x_2 = x_1 + \Delta x$ ;

Spet2. 若  $f(x_1) > f(x_2)$ ,令  $x_3 = x_1 + 2\Delta x$ ,否则,  $x_3 = x_1 - \Delta x$ ;

Step3. 计算  $f(x_3)$ ;

Step4. 计算最小点,  $x = \frac{(x_2^2 - x_3^2)f(x_1) + (x_3^2 - x_1^2)f(x_2) + (x_1^2 - x_2^2)f(x_3)}{(x_2 - x_3)f(x_1) + (x_3 - x_2)f(x_2) + (x_1 - x_2)f(x_3)} \cdot \frac{1}{2}$ ;

Step5. 计算  $\min\{f(x_1), f(x_2), f(x_3)\} = f(x)$  中,若  $|\bar{x} - x| < \epsilon, \epsilon = 0.0001$ ,转

Step6;

否则, 计算  $f(\bar{x})$  并丢掉  $\{x_1, x_2, x_3, \bar{x}\}$  中的大点, 余下三点记为  $\{x_1, x_2, x_3, \bar{x}\}$  转

Step4;

Step6. 令  $G=x$ , 算法结束.

## 4 仿真实验

我们应用三部东芝航管雷达( $P_D=0.98$ , 有效监视半径200海里)的数据(100个班次)进行实验. 中心是空港, 所有航班从四个空港通道(A方向50个班次; B方向30个班次; C方向15个班次; 其余方向5个班次)实施进港和离港飞行. 四个通道的噪声强度是不同的, 以最优跟踪门(基于多假设树原理)为例, A方向目标跟踪门内平均落入5~8个干扰回波, B方向为3~5个, C方向为1~2个, 其余没有人为加入噪声. 应用本文的方法, 其结果显示, 在A, B, C三段内, IMM-PDA算法良好地跟踪了目标.

同时, 本文推导确定的有效回波区(即跟踪门)小于最优跟踪门. 尤其在强噪声的环境中, 本方法有效地减轻了算法的计算负荷. 如, 在A方向算法运算速度提高了近30%; 在B方向算法运算速度提高了近13%等等.

## 5 结 论

本文提出了一个基于先验概率知识来估计干扰回波的算法, 与现有方法相比, 本文方法不仅具有自适应性(见(11)式), 因为它考虑到了目标检测的两种情况以及监视空域的新源密度、检测概率等等因素; 而且求解简便(见算法描述, 以  $\epsilon=0.0001$  为例, 运算时间可忽略不计). 同时, 对于跟踪门内干扰回波的期望值不同, 本方法还可估计算法的关联性能, 因此具有一定的实用价值.

估计回波的有效性是数据关联算法的重要组成部分, 是有效提高关联算法性能的关键技术之一. 因此, 如何提高估计的有效性(即保证一定的接受正确回波的概率、并尽量排除无效回波)将是一个很有意义的研究课题.

## 参 考 文 献

- 1 Blom H A P, Bar-Shalom Y. The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients. *IEEE Trans. Automatic Control*, 1988, **AC-33**(8):780~783
- 2 Mazor E, Averbuch A, Bar-shalom Y, Dayan J. Interacting multiple model methods in target tracking: a survey. *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, 1998, **AES-34**(1):103~123
- 3 Bar-Shalom Y, Tes E. Tracking in a cluttered environment with probability data association. *Automatica*, 1975, **9**(11):451~460
- 4 Bar-Shalom Y, Li X R. *Multitarget-Multisensor Tracking: Principles and Techniques*. Storrs, CT: YBS Publishing, 1995:95~97
- 5 Blackman S S. *Multiple Target Tracking with Radar Applications*. Dedhman, MA: Artech House, 1986
- 6 Moshe K *et al.*. Efficient gating in data association with multivariate Gaussian distributed states. *IEEE Trans. Aerospace and Electronic System*, 1992, **AES-28**(3):909~920

**王明辉** 西北工业大学计算机科学与工程系博士研究生. 感兴趣的研究方向:多传感器数据融合, 图像处理与模式识别等.

**游志胜** 四川大学计算机科学系教授、博士生导师、图像图形研究所所长,中国图像图形学会副理事长. 主要研究领域:数据融合、图像处理与模式识别、计算机视觉等.

**赵荣椿** 西北工业大学计算机科学与工程系教授、博士生导师、中国电子学会信号处理分会副主任委员、中国体视学学会副理事长、中国航空学会测试专业委员会委员. 主要研究领域:信号、图像处理、数据融合、计算机视觉等.

(上接第179页)

### 《关肇直奖》奖励条例

关肇直教授是中国科学院院士、国内外知名的数学家和控制理论专家。他一生致力于数学、控制科学和系统科学的研究和发展,作出了重要的贡献。为了缅怀和纪念关肇直教授,推动我国控制科学的发展,特设立《关肇直奖》。奖励基金由国内外单位和个人捐赠,由《关肇直奖》基金委员会管理。《关肇直奖》的授奖对象为年龄不超过四十周岁的青年作者(包括合作者),在中国自动化学会控制理论专业委员会举办的中国控制会议上宣读的论文。《关肇直奖》每年评定一次,每次获奖名额不多于两名,凡申请《关肇直奖》的论文,需在投稿时注明,提交论文一式九份,并附工作证(或学生证)和身份证复印件及至少一份同行教授级专家推荐意见,论文需经会议审稿通过,然后交评奖委员会委员作书面评审,确定出候选论文。最后,在年会期间由评奖委员会根据论文质量及宣读水平,确定出获奖者,在会议闭幕式上宣布评奖结果并颁奖。

评奖委员会每年由《关肇直奖》基金委员会聘请国内知名控制理论及应用专家组成。

《关肇直奖》基金委员会下设主任一人,副主任若干人。基金委员会负责基金的筹集和管理,组织论文的评奖与颁发,以及决定其它有关事项。具体工作委托中国自动化学会控制理论专业委员会办理。本条例的解释权和修改权属于《关肇直奖》基金委员会。