

文章编号: 1001-0920(2004)01-0092-04

## 道路条件下车辆跟踪的多目标数据关联与决策

党宏社, 韩崇昭, 段战胜

(西安交通大学 电信工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 介绍一种根据证据理论和模糊数学实现航迹与量测之间数据关联的方法。利用模糊逻辑确定量测与航迹之间的mass函数,再用证据合成规则得到信度函数阵,最后根据最大信度原理确定量测与航迹的关联关系。蒙特卡洛仿真表明该方法具有较好的关联效果,与最近邻方法相比,可提高正确关联的概率。

**关键词:** 多目标; 证据合成; 数据关联

中图分类号: TN 953.1 文献标识码: A

## Multi-target data association and decision for vehicle tracking in road situation

DANG Hong-she, HAN Chong-zhao, DUAN Zhan-sheng

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Correspondent: DANG Hong-she, E-mail: hsdang@sohu.com

**Abstract:** Based on the evidence theory and fuzzy mathematics, a new method of data association between the tracks and the measurements is proposed. The mass function is determined by using fuzzy mathematics, and a belief matrix is produced according to the evidence combination rule. Then the decision is made by means of the maximum belief. The Monte Carlo simulation results indicate that the new method has a good association capacity. Compared with NN (nearest-neighbor) method, the new method increases the correct correlation probability.

**Key words:** multi-target; evidence combination; data association

### 1 引言

随着道路车辆的不断增加,车辆安全问题成为人们越来越重视的问题。发展各种类型的车辆行驶辅助系统,建立驾驶员与车辆之间良好的交互关系,是提高车辆行驶安全的重要措施之一。而准确地跟踪车前多个车辆(目标)的状态,及时估计行车的危险程度,是车辆行驶辅助安全系统的一项主要任务。目前,大多数多目标跟踪算法是为跟踪空中目标而设计的,而道路车辆所处的环境,如机动状态、背景噪声和环境杂波等,与空中目标的环境大不相同,在道路上除了行驶的车辆外,还有静止(停驶)车辆、隔

离栏、桥梁和树木等,它们都会对传感器的输出产生影响。因此,常规的跟踪空中目标的多目标跟踪算法并不适合于道路目标的跟踪,道路车辆安全报警系统需要一种新的或改进的多目标跟踪算法<sup>[1]</sup>。

近年来,D-S证据理论作为一种不确定性推理方法,日益受到人们的关注。D-S证据理论不仅比概率论能满足更弱的公理系统,在区分不确定和未知证据及精确反映证据收集过程等方面显示出很大的灵活性,而且不需要使用先验信息,可提供一个非常有用的合成公式,能够融合多个证据源提供的证据,为有效地处理车载传感器数据的不精确性和不确定

收稿日期: 2002-10-10; 修回日期: 2002-12-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(2001CB309403)。

作者简介: 党宏社(1962—),男,陕西武功人,副教授,博士生,从事多传感信息融合、智能车辆系统等研究;韩崇昭(1943—),男,陕西乾县人,教授,博士生导师,从事数据融合理论、非线性频谱分析等研究。

性,提高数据关联的效率,文献[2,3]提出了利用证据理论和模糊逻辑对多个传感器的数据进行处理,以便重构智能车辆的动态环境,提高对环境感知的可靠性

本文在文献[2,3]的基础上,将证据推理的方法用于基于汽车雷达跟踪的多目标匹配(数据关联),有效地解决了量测(新测目标)与航迹(已知目标)的关联问题.数字仿真表明,该方法的关联效率和跟踪精度比最近邻方法有了较大的提高,并能适应目标数目不断变化的需要

### 2 数据关联问题描述

车辆行驶时,为保证行车安全,需要及时了解前方的行驶环境,并根据前方车辆的行驶状态,及时采取相应的措施.车辆跟踪中的数据关联问题实质上是一个分配问题,即将在某一时刻*t*所得到的*n*个测量结果(量测),分配给*m*个已知的目标(航迹).为减少计算量,增加实时性,在收到一组量测后,只将量测与根据已获量测得出的结果(如利用卡尔曼滤波器估计等)进行比较,从而产生目标的轨迹.这种方法可降低计算量,能满足实时计算的需求

数据关联的目的是将每个量测值  $x_i$  ( $s$  维向量,  $i = 1, 2, \dots, n$ ) 分配给与其最接近的已知航迹的目标估计值  $v_j$  ( $s$  维向量,  $j = 1, 2, \dots, m$ ). 因此,在将量测  $x_i$  分配给航迹  $v_j$  前,必须确定它们之间的亲疏关系

### 3 数据关联的 D-S 实现

#### 3.1 框架的定义

为利用证据理论解决数据关联问题,必须建立识别框架.设在某个时刻检测到车前有一个目标,为将它与已知的 3 个目标相关联,定义识别框架

$$\Theta = \{Y_1, Y_2, Y_3, *\} \quad (1)$$

其中  $Y_j$  表示量测  $X$  源于目标  $J$ . 为保证空间的完备性,增加一个假设  $*$ , 表示没有量测与已知的任何目标关联.其可能的状态有

$$2^\Theta = \{\phi, *, Y_1, Y_2, Y_3, Y_1 \ Y_2, Y_1 \ Y_3, Y_2 \ Y_3, Y_1 \ Y_2 \ Y_3, Y_1 \ *, Y_2 \ *, Y_3 \ *, Y_1 \ Y_2 \ *, Y_1 \ Y_3 \ *, Y_2 \ Y_3 \ *, \Theta\};$$

$$2^{\Theta^c} = \{\phi, *, Y_1, Y_2, Y_3, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, Y_1 \ Y_2, Y_2 \ Y_3, Y_1 \ Y_3, Y_1 \ Y_2 \ Y_3, Y_1 \ *, Y_2 \ *, Y_3 \ *, \Theta\}.$$

mass 函数的定义如下:

$m_{i,j}(Y_j)$ : 表示命题“量测  $X_i$  源于目标  $j$ ”的 mass 函数;

$m_{i,j}(\bar{Y}_j)$ : 表示命题“量测  $X_i$  不源于目标  $j$ ”的 mass 函数;

$m_{i,j}(\Theta)$ : 表示命题“不知道量测  $X_i$  是否源于目标  $j$ ”的 mass 函数;

$m_{i,\bullet}(\ast)$ : 表示命题“量测  $X_i$  不与任何已知目标有关系”的 mass 函数

在上述关系式中, $m$  的第 1 个下标  $i$  表示量测,第 2 个下标  $j$  表示已知的目标,“ $\bullet$ ”表示所有的已知目标

#### 3.2 公式描述

根据 mass 函数合成的 Dempster 规则,利用递阶合成的方式,得到  $N$  个证据源合成的结果为

$$m_{i,\bullet}(Y_j) = K_{i,\bullet} \cdot m_{i,j}(Y_j) \prod_{k=1, \dots, n} (1 - m_{i,k}(Y_k)),$$

$$m_{i,\bullet}(\ast) = K_{i,\bullet} \cdot \prod_{j=1, \dots, n} m_{i,j}(\bar{Y}_j),$$

$$m_{i,\bullet}(\Theta) = K_{i,\bullet} \cdot \left[ \prod_{j=1, \dots, n} (1 - m_{i,k}(Y_k)) - \prod_{j=1, \dots, n} m_{i,j}(\bar{Y}_j) \right].$$

系数  $K_{i,\bullet}$  根据  $m_{i,\bullet}(\ast) = 1$  计算,即

$$m_{i,\bullet}(Y_1) + m_{i,\bullet}(Y_2) + \dots + m_{i,\bullet}(Y_n) + m_{i,\bullet}(\ast) + m_{i,\bullet}(\Theta) + m_{i,\bullet}(\phi) = 1,$$

$$1 - m_{i,\bullet}(\phi) = \sum_{j=1}^n m_{i,\bullet}(Y_j) + m_{i,\bullet}(\ast) + m_{i,\bullet}(\Theta),$$

$$1 - m_{i,\bullet}(\phi) = \prod_{j=1, \dots, n} (1 - m_{i,j}(Y_j)) \left[ 1 + \sum_{j=1}^n \frac{m_{i,j}(Y_j)}{1 - m_{i,j}(Y_j)} \right],$$

$$K_{i,\bullet} = \frac{1}{1 - m_{i,\bullet}(\phi)} = \frac{1}{\prod_{j=1, \dots, n} (1 - m_{i,j}(Y_j)) \left[ 1 + \sum_{j=1}^n \frac{m_{i,j}(Y_j)}{1 - m_{i,j}(Y_j)} \right]}.$$

#### 3.3 不确定性的处理

由于环境的复杂性和传感器测量的不确定性,在数据关联过程中,存在一定的模糊性或混乱性,表现为:

1) 在信度关联矩阵中,可能存在这样的结果,即一个已知目标与两个以上的新测目标相关,或一个新测目标与两个以上的已知目标相关;

2) 利用最大值决策法,从第 1 行可能推断新测目标  $X_k$  与已知目标  $Y_j$  关联,而从第 2 行则可能推断

二者不关联,两个结果自相矛盾

为尽量减少这种决策模糊性或混乱性,提高决策的可靠性,通过两类向量位置的互换,得到两个信度矩阵,分别进行决策,取决策一致的结果为最终的结果

### 3.4 数据的产生<sup>[5]</sup>

证据合成所用信度函数根据两个量的模糊相似性,通过距离变换并利用模糊逻辑的方法生成 其中:  $\mathbf{J}$  表示两个变量(新测目标与已知目标)的相似性,  $d_{i,j}$  是相似性的距离表示 最后根据距离得到有关的信度函数

有关的关系式为

$$\mathbf{J} = \frac{X_i - Y_j}{\min(X_i, Y_j)},$$

$$d_{i,j} = \pi[2(1 - \mathbf{J}) - 1],$$

$$m_{i,j}(Y_j) = \alpha_0 \left[ 1 - \frac{\sin(d_{i,j}/2) + 1}{2} \right],$$

$$m_{i,j}(\bar{Y}_j) = \alpha_0 \frac{\sin(d_{i,j}/2) + 1}{2},$$

$$m_{i,j}(\ominus) = 1 - \alpha_0$$

### 4 计算步骤

根据上述思路,利用D-S方法实现数据关联的步骤如下:

1) 根据给定的mass函数,计算量测向量  $X$  与航迹向量  $Y$  之间的信度矩阵  $M_{i \cdot}$ ,如表1所示

表1 计算量测向量  $X$  与航迹向量  $Y$  间的信度矩阵  $M_{i \cdot}$

$M_{i \cdot}$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_c$	*	$\ominus$
$X_1$	$m_{1 \cdot}(Y_1)$	$m_{1 \cdot}(Y_2)$	...	$m_{1 \cdot}(Y_c)$	$m_{1 \cdot}(\ast)$	$m_{1 \cdot}(\ominus)$
$X_2$	$m_{2 \cdot}(Y_1)$	$m_{2 \cdot}(Y_2)$	...	$m_{2 \cdot}(Y_c)$	$m_{2 \cdot}(\ast)$	$m_{2 \cdot}(\ominus)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$X_n$	$m_{n \cdot}(Y_1)$	$m_{n \cdot}(Y_2)$	...	$m_{n \cdot}(Y_c)$	$m_{n \cdot}(\ast)$	$m_{n \cdot}(\ominus)$

2) 根据给定的mass函数,计算航迹向量  $Y$  与量测向量  $X$  之间的信度矩阵  $M_{\cdot,j}$ ,如表2所示

表2 计算航迹向量  $Y$  与量测向量  $X$  间的信度矩阵  $M_{\cdot,j}$

$M_{\cdot,j}$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$	*	$\ominus$
$Y_1$	$m_{\cdot,1}(X_1)$	$m_{\cdot,1}(X_2)$	...	$m_{\cdot,1}(X_n)$	$m_{\cdot,1}(\ast)$	$m_{\cdot,1}(\ominus)$
$Y_2$	$m_{\cdot,2}(X_1)$	$m_{\cdot,2}(X_2)$	...	$m_{\cdot,2}(X_n)$	$m_{\cdot,2}(\ast)$	$m_{\cdot,2}(\ominus)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$Y_c$	$m_{\cdot,c}(X_1)$	$m_{\cdot,c}(X_2)$	...	$m_{\cdot,c}(X_n)$	$m_{\cdot,c}(\ast)$	$m_{\cdot,c}(\ominus)$

3) 确定决策结果:量测向量  $X$  与航迹向量  $Y$  的关联,可看作航迹向量  $Y$  与量测向量  $X$  的关联,矩阵  $M_{i \cdot}$  和  $M_{\cdot,j}$  分别描述航迹  $Y$ (已知目标)与量测  $X$ (新测目标)之间的关系(信度值).根据信度值最

大的原则,分别得到两个矩阵的决策结果,当两个矩阵的决策一致时,决策有效;否则,决策无效

### 5 数字仿真

为验证上述方法的有效性,利用文献[1]给出的数据进行计算,并与最近邻法进行比较 设在某一时刻,车前有4个目标车辆在不同位置匀速向前运行,车辆的运动模型为

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & T \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ T \end{bmatrix} v(k).$$

其中:  $x(k)$  是由距离和速度组成的状态矢量,  $T = 0.1$  s 是系统的采样间隔,  $v(k)$  是均值为零、协方差为零的白噪声 4个目标车辆的初始位置和速度分别为(95, -4.2), (92, -5), (65, 4), (70, 5)(单位分别为m和m/s).

利用车载扫描雷达对车前目标进行测量和跟踪,雷达只能给出距离信息,距离的测量方差为  $\sigma^2 = 0.5$  m<sup>2</sup>.考虑桥梁、隔离栏、交通指示牌等对雷达测量的影响,在每个测量时刻,叠加4个均匀分布于传感器有效量测范围的杂波 目标运动的实际轨迹(实线)、量测轨迹(圆点)和杂波(星号)的分布如图1所示

50次蒙特卡洛仿真的结果分别如图2和图3所示 图2是目标的真实轨迹(实线)与利用证据合成方法估计的目标轨迹(点线);图3是证据合成方法的正确关联概率(实线)与最近邻方法的正确关联

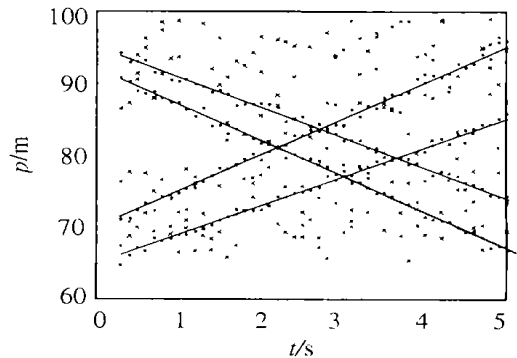


图1 仿真所用信号

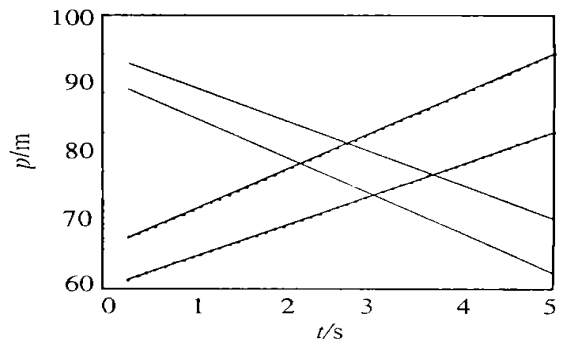


图2 实际轨迹与估计轨迹

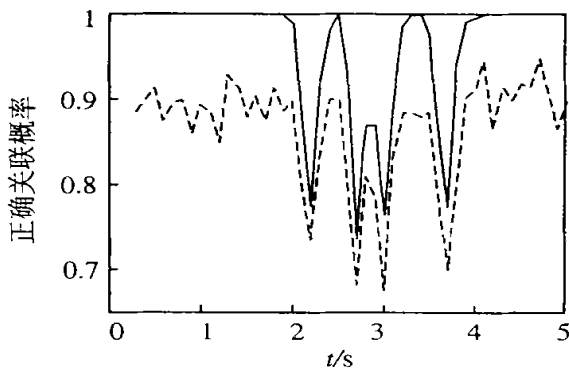


图 3 正确关联概率的比较

概率(虚线)的比较

从上述蒙特卡洛仿真结果可以看出, 基于证据合成的方法可保证对多目标的跟踪精度, 与车辆跟踪常用的最近邻方法相比, 该方法的目标正确关联概率有了较大的提高

### 6 结 论

本文针对道路条件下的目标跟踪问题, 提出了量测与已获目标航迹之间关联的新方法, 仿真结果表明这一方法是有效的, 该方法不需要大量的先验知识, 能适应目标的产生和消失等状况, 适合于车辆

跟踪等环境下的实时应用, 该方法的研究只考虑了相对理想的情况, 当应用于实际时, 还需要与其他方法配合, 以解决环境不确定的问题

### 参考文献(References):

[1] Lee M S, Kim Y H. New data association method for automotive radar tracking[J]. *IEE Proc Radar, Sonar Navig*, 2001, 148(5): 296-301.

[2] Gruyer D, Berge Cherfaoui V. Multi-sensor fusion approach for driver assistance systems[A]. *IEEE Int Workshop on Robot and Human Interactive Communication*[C]. Paris, 2001. 479-485.

[3] Rombaut M. Decision in multi-obstacle matching process using theory of belief[A]. *AVCS 98*[C]. Amiens, 1998. 63-68.

[4] 段新生. 证据理论与决策, 人工智能[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1993. 35-50.

[5] Rombaut M, Berge Cherfaoui V. Decision making in data fusion using Dempster-Shafer's theory[A]. *3rd IFA C Symp on Intelligent Components and Instrumentation for Control Applications*[C]. Annecy, 1997. 375-379.

(上接第 91 页)

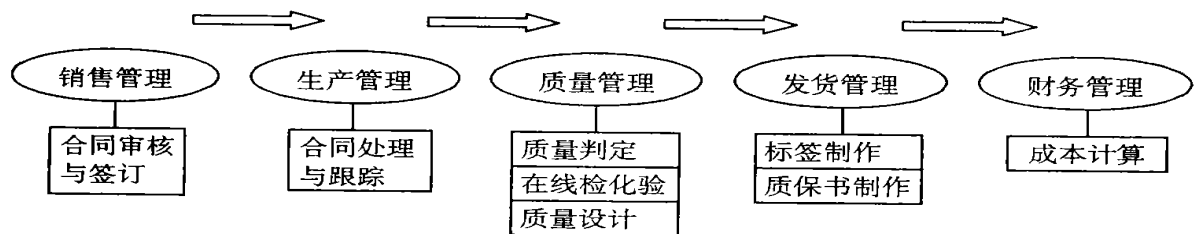


图 4 MIC 系统支持的企业业务范围

### 6 结 论

MIC 系统的使用, 使生产组织方式发生了根本性的转变, 由预测驱动转向用户需求驱动, MIC 系统支持合同的审核、处理和跟踪, 提供对各加工工序状态的实时跟踪和质量监控, 并能快速调整生产计划, 从而提高生产管理的响应速度, 降低库存, 缩短生产周期, 提高生产管理的效率, MIC 系统是企业过程重组的结晶, 是钢铁企业实现 CMS 的核心技术

### 参考文献(References):

[1] 王人骅. 计算机集成生产管理——MRP-II 的原理与方

法[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.

[2] 吴光宇, 徐心和. MRP-II 适合钢铁企业吗[J]. *冶金自动化*, 2001, (1): 69-70.  
(WU Gang-yu, XU Xin-he. Is MRP-II fit for iron-steel enterprises [J]. *Metallurgical Industry Automation*, 2001, (1): 69-70.)

[3] 吴光宇, 徐心和. 基础自动化是 CMS 的基础[J]. *控制工程*, 2002, 9(5): 5-7.  
(WU Gang-yu, XU Xin-he. Basic automation is the base of CMS[J]. *Control Engineering*, 2002, 9(5): 5-7.)