

基于多传感器信息融合的目标跟踪与防撞决策

廖传锦, 黄席樾, 柴毅

(重庆大学 自动化学院 导航制导实验室, 重庆 400044)

摘要: 为了实现汽车主动安全系统中的目标跟踪与防撞, 提出了混合式汽车防撞系统信息融合结构模型, 采用分级信息融合实现目标跟踪, 推导出了基于跟踪残留误差和预测残留误差共同校正的融合算法, 并给出了算法的实现结构. 在此基础上, 利用模糊积分方法融合多种相关信息, 确定了汽车应采用的安全运行模式, 实现了主动安全防撞决策. 大量实验表明, 该算法具有很好的稳定性和准确率.

关键词: 汽车防撞; 信息融合; 目标跟踪

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A

Target tracking and decision-making for collision avoidance based on multisensor fusion

LIAO Chuan-jin, HUANG Xi-yue, CHAI Yi

(Navigation & Guidance Lab, Automation College, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To realize target tracking and collision avoidance in the system of vehicle active safety, a hybrid information fusion structure model of vehicle collision avoidance system(CAS) is presented to implement the target tracking with the method of hierarchical fusion. A new algorithm for multisensor fusion based on residual track error and predicted residual error is proposed and the realization architecture for the new algorithm is also presented. Then, an information fusion method based on fuzzy integral is presented to make a decision for traveling model. The experiments show that the new algorithm is stable and exact.

Key words: vehicle collision avoidance; information fusion; target tracking

1 引言(Introduction)

据统计, 2002 年, 我国交通事故死亡人数达到 11 万人, 占有因安全事故致死人数的 80.1%. 对于公路交通事故的分析表明, 超过 23% 的车辆相撞属于追尾相撞^[1]. 因而车辆防撞系统(Collision avoidance system, CAS)为主的汽车主动安全系统有着重要的研究意义和应用空间.

汽车主动安全系统是近年来 ITS (Intelligent Transport System) 领域研究的重点. 德国慕尼黑联邦大学与奔驰汽车公司合作研制开发了 VaMP 实验车, 采用前向单目双焦摄像机, 系统的主要不足是摄像机的工作范围有限, 存在误报警问题^[2]. 美国 CMU 大学机器人研究所研制的 NabLab 系列实验车已发展到第 8 代^[3-5], 该系统障碍物检测主要依靠来自于激光雷达的距离信息, 但它基于道路平坦和弯道小曲率, 在弯道和有金属隔离带情况时, 鲁棒性较差. 意大利帕尔马大学研制的 ARGO 实验车是由一辆兰西亚 Thema 客车改装而成^[6,7], 它基于道路平坦假设, 使用单目视觉检测平行的车道线, 双目立

体视觉检测障碍物, 其主要的不足在于摄像机无法适应环境光照的快速变化, 对障碍物进行有效的跟踪.

常用的传感器有防撞雷达、远红外摄像机和普通摄像机. 它们对环境的适应性各有所长, 表 1、表 2 分别列出了三者在不同的天气和交通情况下的工作稳定性情况, “√”和“?”分别表示良好和不确定^[8-10]. 比如, 远红外摄像机可以在夜间获得很好的图像, 但在气温比较高的晴天, 由于路面温度很高, 与目标温度接近, 效果不理想.

表 1 传感器受天气条件的影响

Table 1 Influence of weather condition to sensors

传感器类型	特殊天气条件			
	雾天	晴天	夜间	大雨天
防撞雷达	√	√	√	√
普通摄像机	?	√	?	?
远红外摄像机	?	?	√	?
多传感器融合	√	√	√	√

根据防撞系统的需要,采用了混合式融合结构模型,设计了一个开放灵活的系统结构,它由各种传感器模块和信息融合模块在内的几个模块组成.

表2 传感器受交通条件的影响

Table 2 Influence of traffic condition to sensors

传感器类型	交通条件		
	低等级路面	金属隔离带	前方多目标
防撞雷达	?	?	?
普通摄像机	✓	✓	✓
远红外摄像机	✓	?	✓
多传感器融合	✓	✓	✓

系统的信息流程如图1所示.系统中,雷达和图像处理模块独立地提供候选目标给信息融合模块.信息融合处理后,认为满足同一目标要求,则求出距离,计算出当前行驶条件下发生碰撞的时间,并由此判断危险等级.如果不满足安全条件,报警决策模块将通过图文、声、光等形式给予警告.

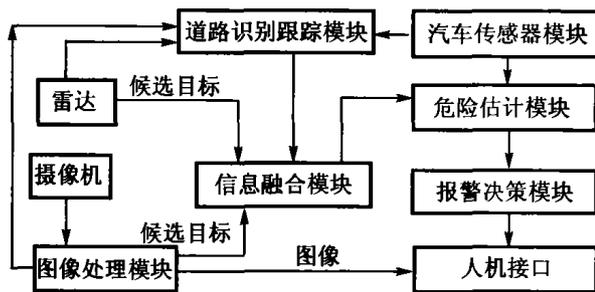


图1 系统信息流程图

Fig. 1 Flow chart of system information

本文对基于防撞雷达和普通摄像机的多传感器融合的目标跟踪进行研究,提出了系统的结构和跟踪算法.利用模糊积分方法融合多种相关信息,确定汽车应采用的安全运行模式,实现主动安全防撞决策.

2 基于分级信息融合的目标跟踪 (Target tracking algorithm based on multi-level information fusion)

对多传感器目标跟踪,分级信息融合需要两种处理结点:一种用于传感器层跟踪,另一种用于信息融合.常见的 Kalman 滤波器可以用于传感器层跟踪.

2.1 传感器层跟踪 (Tracking in sensor level)

在传感器层跟踪中,局部传感器获取的数据经过节点处理,得到一个本地状态估计.利用 Kalman 滤波器便得到了如下的状态空间描述^[11,12]:

$$X(t+1) = \Phi(t)X(t) + G(t)V(t). \quad (1)$$

其中 $X(t)$ 为 t 时刻目标状态向量,且

$$X(t) = (p_{xt}, p_{yt}, v_{xt}, v_{yt}, a_{xt}, a_{yt})^T. \quad (2)$$

其中: p_{xt}, p_{yt} 为 t 时刻在地球坐标系的位置; v_{xt}, v_{yt} 分别表示 t 时刻沿 x, y 方向的速度; a_{xt}, a_{yt} 分别表示 t 时刻沿 x, y 方向的加速度. $\Phi(t)$ 为状态转移矩阵, $G(t)$ 为过程噪声分布矩阵, $V(t)$ 为零均值白高斯过程噪声向量,即

$$E[V(t)] = 0, E[V(u)V^T(j)] = Q(t)\delta_{kj}. \quad (3)$$

对局部节点 i , 测量方程表示为

$$Z_i(t) = H_i(t)X(t) + W_i(t), \quad i = 1, 2, \text{下同}. \quad (4)$$

其中测量噪声也是零均值白高斯过程噪声:

$$E[W_i(t)] = 0, E[W_i(t)W_i^T(j)] = R_i(t)\delta_{kj}. \quad (5)$$

由文献[13]的结果可知,状态估计的一步预测方程为

$$\hat{X}(t|t) = \hat{X}(t|t-1) + P_i(t|t)H_i^T(t)R_i^{-1}(t) \cdot [Z_i(t) - H_i(t)\hat{X}(t|t-1)]. \quad (6)$$

其预测逆协方差(又称信息矩阵)为

$$P_i^{-1}(t|t) = P_i^{-1}(t|t-1) + H_i^T(t)R_i^{-1}(t)H_i(t). \quad (7)$$

2.2 信息融合跟踪 (Tracking based on fusion)

传感器层各个跟踪和状态估计的结果送到信息融合模块,经过融合得到一个全局状态估计,这个结果一方面作为输出结果,另一方面将反馈到传感器层各个节点.

这时,测量方程表示为

$$Z(t) = H(t)X(t) + W(t). \quad (8)$$

其中

$$Z(t) = [Z_1^T(t) \quad Z_2^T(t)]^T,$$

$$H(t) = [H_1^T(t) \quad H_2^T(t)]^T,$$

$$W(t) = [W_1^T(t) \quad W_2^T(t)]^T.$$

噪声 $W(t)$ 的协方差为 $R(t) = \text{diag}[R_1 \quad R_2]$. 类似地可以得到

$$\hat{X}(t|t) = \hat{X}(t|t-1) + P(t|t)H^T(t)R^{-1}(t) \cdot [Z(t) - H(t)\hat{X}(t|t-1)], \quad (9)$$

$$P^{-1}(t|t) = P^{-1}(t|t-1) + H^T(t)R^{-1}(t)H(t). \quad (10)$$

由式(9),(10),可以得到

$$P^{-1}(t|t) = P^{-1}(t|t-1) + \sum_{i=1}^2 [P_i^{-1}(t|t) - P_i^{-1}(t|t-1)], \quad (11)$$

$$P^{-1}(t|t)\hat{X}(t|t) = P^{-1}(t|t-1)\hat{X}(t|t-1) +$$

$$\sum_{i=1}^2 [P_i^{-1}(t|t)\hat{X}_i(t|t) - P_i^{-1}(t|t-1)\hat{X}_i(t|t-1)]. \quad (12)$$

为了便于算法的软件实现^[14],对式(11),(12)作进一步的推导,可以得到

$$\begin{aligned} P^{-1}(t|t)\hat{X}(t|t-1) = & P^{-1}(t|t-1)\hat{X}(t|t-1) + \\ & \sum_{i=1}^2 [P_i^{-1}(t|t) - P_i^{-1}(t|t-1)]\hat{X}_i(t|t-1), \quad (13) \\ \hat{X}(t|t) = & \hat{X}(t|t-1) + \\ & P^{-1}(t|t) \left\{ \sum_{i=1}^2 P_i^{-1}(t|t) [\hat{X}_i(t|t) - \hat{X}_i(t|t-1)] + \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^2 P_i^{-1}(t|t-1) [\hat{X}(t|t-1) - \hat{X}_i(t|t-1)] \right\}. \quad (14) \end{aligned}$$

其中

$$\hat{X}(t|t-1) = \Phi(t-1)\hat{X}(t-1|t-1), \quad (15)$$

$$P(t|t) = \Phi(t|t)P(t-1|t-1)\Phi^T(t|t) + G(t-1)Q(t-1)G^T(t-1). \quad (16)$$

方程(14)说明了移动目标的状态估计信息融合等价于状态估计与校正的融合结果之和.预测校正包括两部分.其一是局部传感器跟踪与预测差值(跟踪残留误差)的总和,每个差值由逆(预测)协方差加权;其二是全局预测与局部节点预测差值(预测残留误差)的总和,由局部逆(预测)协方差加权.

如果把局部节点的状态观测值作为融合中心的状态观测值,那么,由式(11),(14)~(16)构成的融合算法可以看作是多传感器信息融合系统的扩展 Kalman 滤波器.通常 Kalman 滤波器的应用中只用了一种残留误差——跟踪残留误差来校正状态估计的融合,但是这里采用了两种.跟踪残留误差反映了全局跟踪器中的不可预测的信息所带来的误差,因而用来校正全局状态估计.但是由于局部状态估计、局部跟踪器、全局跟踪器是相互关联的,所以跟踪残留误差不能完全反映不可预测的信息所带来的误差.因而式(14)中采用预测残留误差来修改校正项.显然,式(14)比式(12)具有更明确的物理意义,且更容易实现.融合算法对应的实现结构如图 2 所示.

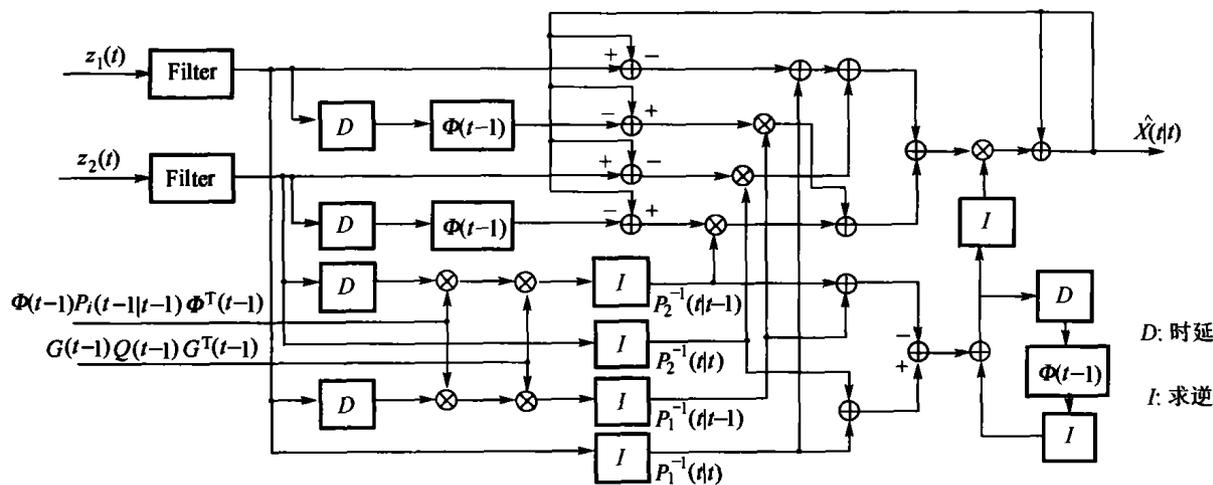


图 2 算法实现的物理结构
Fig. 2 Implementation structure of algorithm

3 融合多源信息的汽车安全运行决策 (Decision making for vehicle safety based on multi-information fusion)

3.1 汽车安全运行模式的划分 (Classifying the traveling model of vehicle)

驾驶过程中,由 5 个特征指标即本车车速 v_1 与前车车速 v_2 之比 x_1 ,与前车的车距 x_2 ,能见度 x_3 ,后车的超车信号 x_4 及路况 x_5 ,它们决定了高速公路上汽车的以下 5 种安全运行模式:

加速行驶(模型 1).此种运行模式是由于超车

道无车辆进入行车道,且与前车距离较远的情况下采取的一种运行模式;

跟车行驶(模型 2).此种运行模式是本车车速不大于前车车速或者是准备超车,但后有超车信号的情况下所采取的运行模式;

超车行驶(模型 3).此种运行状态是在本车的车速大于前车的车速且与前车的距离达到超车的范围,而后面又无车辆超车所采取的运行模式;

减速行驶(模型 4).此种运行状态是由于本车车速大于前车的车速且与前车距离较近,且有车

辆超车时所采取的运行模式;

刹车状态(模型5).此种运行状态是在前方有突发事件出现(前车速度为0),不能通行所采取的运行状态.

3.2 每种运行模式的特征向量(Eigenvector of each model)

由于5个特征指标的值决定了汽车的安全运行模式,但不同的驾驶员在采用同样的运行模式时,特征指标的取值不尽然相同,此时可采用抽样的方法求出每类运行模式样本的重心值作为该类运行模式的特征向量.采用动态聚类方法,获得了该特征向量,并对高速公路上行驶的小轿车按5种运行模式共提取了容量为233个样本,得到每类运行模式的特征向量如表3所示.

表3 5种运行模式的特征向量实验数据

Table 3 Experiment data of 5 models' eigenvector

运行模式 (样本数)	特征指标				
	x_1	x_2/m	x_3/m	x_4	x_5
加速(模型1)(56)	0.92	223	250	0	-0.32
跟车(模型2)(71)	0.98	75	141	0.72	-0.56
超车(模型3)(62)	1.27	61	109	0	0.37
减速(模型4)(30)	1.20	69	97	1	-0.33
刹车(模型5)(8)	∞	55	60	0	-0.25

上表中,特征指标 x_1, x_2, x_3, x_5 的取值可通过本车的摄像头摄到的图片可以获得,为便于专家系统知识推理调整运行参数值,约定

x_4 的取值:1(有超车),2(无超车);

x_5 的取值:3(上坡直道),2(下坡直道),1(平路直道),0(上坡弯道),-1(下坡弯道),-2(平路弯道).

3.3 特征指标对汽车运行模式的影响系数(Affect coefficient of eigenvector to traveling model)

5种运行模式是由特征指标的取值范围所决定的,由于每个特征指标对运行模式的影响程度不一,如影响系数选取不准,将影响信息融合的结果,甚至导致错误的结果,本文采用主成份分析法确定特征指标对运行模式的影响系数.

汽车在高速公路行驶的特征指标 x_1, x_2, \dots, x_5 对汽车运行模式的影响程度是不一样的.设第 i 个特征指标对运行模式的影响程度为 $w_i(1 \leq i \leq 5)$,设抽取的 n 个样本为 $X: x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_5^{(t)}(1 \leq t \leq n)$.现把5个特征指标综合成5个相互正交独立的主分量 y_1, y_2, \dots, y_5 ,写成矩阵形式为 $y = CX$.其中

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{25} \\ \vdots & & \dots & \\ C_{51} & C_{52} & \dots & C_{55} \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_5 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

由于 y_1, y_2, \dots, y_5 相互正交、独立,因此 n 个样本点对不同的 y_i, y_k 轴的协方差($i \neq k$)为0,即

$$yy^T = (CX)(CX)^T = CXX^T C^T = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_5). \quad (18)$$

假定 X 为已标准化处理后的数据矩阵,则 XX^T 为特征指标 x_1, x_2, \dots, x_5 的原始数据的相关矩阵,令 $R = XX^T$, R 是一个对称矩阵,它必定有一个最大正特征根 λ_1 和相应的特征向量 $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{15}$,所以有

$$y_1 = C_{11}x_1 + C_{12}x_2 + \dots + C_{15}x_5. \quad (19)$$

λ_1 反映了 y_1 对运行模式的影响程度,而 C_{1i} 反映了 x_i 对 y_1 的影响程度,因此 x_i 对运行模式的影响程度为 $C_{1i}\lambda_1$,故

$$w_1 = C_{11}\lambda_1, w_2 = C_{12}\lambda_1, w_5 = C_{15}\lambda_1. \quad (20)$$

本文以233个样本按此方法确定了特征指标 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 对运行模式的影响系数为

$$(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.39, 0.42, 0.10, 0.32, 0.12).$$

3.4 模糊积分融合安全运行的多源信息(Fusion of safety traveling information based on fuzzy integral)

下面,先简要介绍模糊积分与模糊测度的理论基础^[15,16].

定义1 设 (X, Σ) 是模糊可测空间,若映射 $g(\cdot), \Sigma \rightarrow [0, 1]$ 满足

- ① $g(\varphi) = 0, g(X) = 1$;
- ② $A \subset B \Rightarrow g(A) \leq g(B)$;
- ③ $A_1 \subset A_2 \subset \dots \subset A_n \Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} A_n)$;
- ④ $A, B \subset X, X \cap B = \varphi, \lambda > -1, g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A) \cdot g(B)$,

则称 $g(\cdot)$ 为 $g_\lambda(\cdot)$ 模糊测度.若 $\lambda \geq 0, g_\lambda(A)$ 反映了对集合 A 及 A 的子集的可信程度.若 $\lambda < 0, g_\lambda(A)$ 反映了包含 A 的辅助信息以及不被集合 \bar{A} 所排斥的似是而非的信息.

定义2 设 (X, Σ) 是模糊可测空间, $h: X \rightarrow [0, 1]$ 是一个可测函数,则在 $A \subset X$ 范围内的函数 $h(x)$ 相对于模糊测度 $g_\lambda(\cdot)$ 的模糊积分为

$$\int_A h(x) \circ g_\lambda(\cdot) = \sup(\min(\alpha, g_\lambda(A \cap F_\alpha))). \quad (21)$$

其中: $0 \leq \alpha \leq 1, F_\alpha = \{x \in X, h(x) \geq \alpha\}$.

对于有限集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 若 $h(x)$ 满足 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_m)$ (如果此条件不满足可以调整集合 X 中元素的次序使之满足该条件), 则 $h(x)$ 相对于 $g(\cdot)$ 的模糊积分

$$\int_x h(x) \circ g(\cdot) = \max_{i=1}^m \min(h(x_i), g(A_i)). \quad (22)$$

其中 $A_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$, 当 $g_\lambda(\cdot)$ 是模糊测度时, 设 $g^i = \{g(x_i)\}$, 则 $g(A_i)$ 的算法是

$$g(A_1) = g(x_1) = g^1, \quad (23)$$

$$g(A_i) = g^i + g(A_{i-1}) + \lambda g^i g(A_{i-1}), 1 \leq i \leq m. \quad (24)$$

λ 可由如下方程得到

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g^i), \lambda > -1, \text{ 且 } \lambda \neq 0, \quad (25)$$

由定理^[16]可知满足该方程的解存在并且唯一.

由于模糊积分是定义在模糊测度上的一种非线性函数, 它具有融合多源信息的能力, 现把它应用于高速公路上汽车安全行驶特征指标的多源信息, 判别汽车应采取的安全运行模式.

设第 j 类运行模式的特征向量为

$$\theta_j = (\theta_{j1}, \theta_{j2}, \dots, \theta_{j5}), 1 \leq j \leq 5.$$

首先定义一个在模糊可测空间上的一个取值于 $[0, 1]$ 上的可测函数 $h(x)$ 为

$$h_j(x_i) = 1 - \left| \frac{x_i - \theta_{ji}}{\max(x_i, \theta_{ji})} \right|, 1 \leq j \leq 4, 1 \leq i \leq 5. \quad (26)$$

此函数反映了汽车采集到特征指标信息 $x =$

(x_1, x_2, \dots, x_5) 属于第 j 类运行模式的信任程度, 由于第 5 类运行模式的第一特征指标的特征值为 ∞ , 只要出现这种情况, 则可由专家系统知识推理得出该汽车应处于刹车状态. 不用算出 $h_5(x_i) (1 \leq i \leq 5)$.

其次利用特征指标 x_1, x_2, \dots, x_5 对汽车运行模式的影响系数 w_1, w_2, w_5 构造一个模糊测度.

令 $(g^1, g^2, \dots, g^5) = (w_1, w_2, \dots, w_5)$, 特征指标的信息 $x = (x_1, x_2, \dots, x_5)$ 属于第 1, 2, 3, 4 运行模式的模糊值 e_1, e_2, e_3, e_4 . 若 $e_i = \max(e_1, e_2, \dots, e_5)$ 则汽车应采用第 i 类运行模式, 用专家系统的知识推理调整汽车可控运行参数的值, 从而达到汽车安全运行的目的.

4 实验结果 (Results of experiment)

4.1 目标跟踪 (Target tracking)

本文所描述的算法已经应用在作者的汽车主动安全系统中. 实验表明, 它能实现目标的实时跟踪定位, 并能实现相对速度、相对加速度的准确估计.

图 3、图 4 分别表示了系统实际上路实验的单目标和多目标跟踪结果. (在同一车道的目标车辆为实验用车. 其车载系统记录了相关的行驶数据.) 从 2002 年初到 2003 初的数十次近 5000 km 的实验记录来看, 准确跟踪率在 97% 以上, 在偶尔出现的错误跟踪和漏跟踪的情况下, 系统能在极短的时间内自动地加以校正. 图 3 表示了在前方其它车道无车辆行驶的情况. 图 4 表示了行驶过程中出现的前方多目标的情况, 系统不但可以自动实现多目标跟踪, 而且还能够准确地区分是否在同一车道.



图 3 单目标跟踪结果序列
Fig. 3 Image sequence of single target tracking results

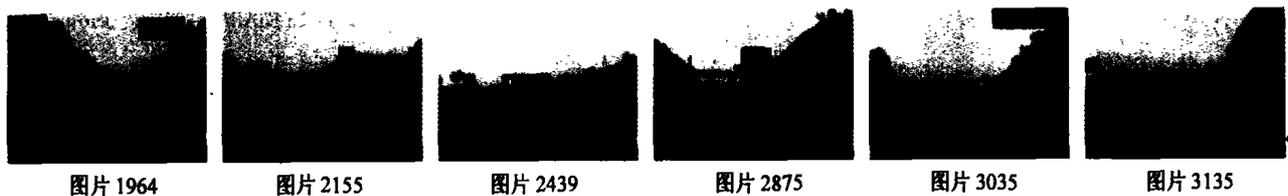


图 4 多目标跟踪结果序列图例
Fig. 4 Image sequence of multi target tracking results

表4说明了系统在采用信息融合跟踪算法前后的性能对比,表5说明了利用信息融合得到的前方车辆速度估计的结果.实验条件:PII 433 MHz CPU, 256 MB RAM.

表4 处理效率与准确率对比

Table 4 Comparison on processing efficiency and accuracy

目标数	未采用跟踪算法时处理效率/(帧·s ⁻¹)	采用跟踪算法时处理效率/(帧·s ⁻¹)	未采用跟踪算法时准确率/%	采用跟踪算法时准确率/%
1	4.8~7.2	7.9~10.2	98.8	98.2
2	4.3~6.7	7.0~9.3	98.1	97.6
3	4.0~6.2	6.6~8.7	97.6	97.1

表5 速度估计对比

Table 5 Contrast with estimation

实际速度/(km·h ⁻¹)	估计速度/(km·h ⁻¹)	误差/%
80	78.5	1.8
90	92	2.2
100	102.8	2.8

4.2 行驶模式决策(Decision making for traveling)

试验中,各种运行模式所对应的情况都可能出现,图5就是减速运行模式的情况.现针对这种情况,从试验记录中取5个特征指标的信息为

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1.15, 75, 170, 1, -2).$$

根据表3提供的特征向量和(21)式得出4种运行模式特征的 $h(x_i)$ 如表6.

表6 每种运行模式特征的 $h(x_i)$ Table 6 $h(x_i)$ value of each traveling model

运行模型	$h(a)$				
	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$	$h(x_5)$
模型1	0.8	0.336	0.68	0	0.16
模型2	0.852	1	0.82	0.72	0.54
模型3	0.905	0.813	0.64	0	0.85
模型4	0.958	0.92	0.57	1	0.165

再由式(20)得

$$(g^1, g^2, g^3, g^4, g^5) = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.39, 0.42, 0.10, 0.32, 0.12).$$

从而解出模糊测度,以及特征指标样本 $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1.15, 75, 170, 1, -2)$ 分别属于第1类、2类、3类、4类运行模式的模糊值为0.461, 0.732, 0.69, 0.848. 因为 $0.848 = \max(0.461, 0.732, 0.$

$69, 0.848)$, 所以汽车的安全运行模式应采取第4种运行模式,即减速行驶.从图4可以看出,车距较近,本车的速度大于前车速度,超车道上有车,也只能减速行驶.这说明利用模糊积分融合多源信息的结果与实际运行模式是一致的.

5 结论(Conclusion)

根据防撞系统的需要,采用了混合式融合结构模型,设计了一个开放灵活的系统结构.系统在硬件上采用了由双CPU构成的专用计算机和CAN总线实现汽车数据传输.采用分级信息融合实现目标跟踪.推导出了基于跟踪残留误差和预测残留误差共同校正的融合算法,使其具有更明确的物理意义和更强的可实现性;提出了基于模糊积分方法融合多种相关信息的汽车驾驶模式选择模型,经过数十次近5000 km的实验,结果表明该算法具有很好的稳定性和准确率.

参考文献(References):

- [1] JANSSON J, JOHANSSON J. Decision Making for Collision Avoidance System [C]// *Proc of 2002 Society of Automotive Engineers*. Pennsylvania: World Headquarters, 2002: 2002-01-0403.
- [2] MAURER M, BEHRINGER R, THOMANEK F, et al. A compact vision system for road vehicle guidance [C]// *Proc of the 13th Int Conf on Pattern Recognition*. Vienna, Austria: Technical University of Vienna, 1996: 313-317.
- [3] POMERLEAU D, JOCHEM T. Image processor drives across America [J/OL]. *Photonics Spectra*, 1996, 30(4): 80-85. <http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub-617.html>.
- [4] POMERLEAU D, JOCHEM T. Rapidly adapting machine vision for automated vehicle steering [J]. *IEEE Expert*, 1996, 11(2): 19-27.
- [5] BATAVIA P H. *Driver-adaptive lane departure warning systems* [D]. Robotics Institute; Carnegie Mellon University, 1999.
- [6] BERTOZZI M, BROGGI A. GOLD: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and land detection [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1998, 7(1): 82-81.
- [7] BERTOZZI M, BROGGI A, FASCIOLI A. ARGO and the Millemigliain automatic tour [J]. *IEEE Intelligent System*, 1999, 14(1): 55-64.
- [8] AMDITIS A, ANDREONE L, BEKIARIS A. Using aerospace technology to improve obstacle detection under adverse environmental conditions for car drivers [C]// *Proc of the 1st Int Conf on Universal Access in Human-Computer Interaction*. New Orleans, Los Angeles, USA: The European Research Consortium for Informatics and Mathematics, 2001, 1: 1425-1429.
- [9] ANAREONE L, AMDITIS A, BEKIARIS A, et al. EUCLIDE: Fusion data from radar and IR sensors for enhancing automotive driver's vision under night and adverse weather conditions [EB/OL]. [2003-12-22]. <http://i-sense.iccs.ntua.gr/EuclideFusingData.pdf>.

- [10] AMDITIS A, BEKIARIS E. Multiple-Sensor-Collision avoidance system for automotive applications using an IMM approach for obstacle tracking [C]// *Proc of the 5th Int Conf on Information Fusion*. Annapolis MARYLAND, USA: IEEE Georgia Technical Research Institute, 2002, 2: 812 - 817.
- [11] CARLSON N A. Federated square root filter for decentralized parallel processes [J]. *IEEE Trans on Aerospace & Electronic Systems*, 1990, 26(3): 517 - 525.
- [12] HE You, WANG Guohong, LU Dajin, et al. *Multisensor Information Fusion with Applications* [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2000.
- [13] Bar-SHALOM Y, FORTMANN T E. *Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Application* [M]. Vol. I. Decham, MA: Artech House, 1990.
- [14] SUN Hongyan, HU Wenlong, LIN Pingxing, et al. A study on an algorithm of multisensor data fusion [C]// *Proc of Aerospace and Electronics Conference*. Naecon: [s. n.], 1994, 1: 239 - 245.
- [15] RISSANEN J. Modeling by the shortest data description [J]. *Automatica*, 1978, 14(53): 465 - 471.
- [16] RISSANEN J. Minimum-Description-Length Principle [M]// KOTZ S. JOHNSON N L. *Encyclopedia of Statistical Science*. New York: Wiley, 1985: 523 - 527.

作者简介:

廖传锦 (1977—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为模式识别、信息融合理论及应用, E-mail: sail_to_hope@hotmail.com;

黄席樾 (1943—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事人工智能、专家系统等方面的研究, E-mail: xyhuang@cqu.edu.cn;

柴毅 (1963—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事人工智能方面的研究与教学工作, E-mail: chaiyi@cqu.edu.cn.

Special Issue on "Recent Advances in Power System Control" International Journal of Control, Automation, and Systems

(<http://www.ijcas.com>)

Today the high quality power supply is of essential in the economic development in a country. With the development of modern power systems and increasing demand for power supply, the electric power industry is facing a great challenge in meeting the increased load demand with highest reliability and security with minimum transmission expenditure.

Power system stability analysis and control is one of the most important issues in power systems. The problem becomes more and more serious in power systems with the development of modern power systems. The ability of a power system to maintain stability and to provide high quality power supply depends to a large extent on the controls available on the system. Consequently, the study and design of power system controls are very important for modern power systems. A special issue on recent advances in power system control will be published in International Journal of Control, Automation, and Systems (<http://www.ijcas.com>). This Special Issue aims at exhibiting the latest research achievement, findings and ideas in the areas of power system control.

Manuscripts will undergo a normal review process. Only manuscripts with minor modification will be accepted for publication in the Special Issue. Those manuscripts that need a major revision will be forwarded to the journal office for examining possible publication in regular issues.

Important Dates:

Submission of Manuscripts: 1 September, 2004

Notification of Acceptance: 1 December, 2004

Submission of Final Papers: 1 February, 2005

Publication: Mid. 2005

Guest Editors:

Prof. Youyi Wang

School of Electrical and Electronic Engineering

Nanyang Technological University Block S2

Singapore 639798

E-mail: eyywang@ntu.edu.sg

Prof. Shuzhi Sam Ge

Department of Electrical & Computer Engineering

The National University of Singapore

Singapore 117576

E-mail: eleges@nus.edu.sg

The manuscripts can be submitted in the electronic file (in PDF or WORD format) to one of Guest Editors.

All submission should include a title page containing the title of the paper, full names and affiliation, complete postal and electronic address, phone and fax numbers, an abstract and a list of keywords, followed by the main text (double-spaced format), references, list of figures and tables, figures, and tables. Once a paper is accepted, a manuscript template file will be sent to the authors. The corresponding author should be clearly identified.