

文章编号: 1002-0411(2001)05-460-05

多传感器信息融合的智能交通控制系统研究

李秀平 刘智勇 尹征琦 吴今培

(五邑大学交通工程与自动化系 江门 529020)

摘要: 针对城市道路交通网络的交通信号控制, 构造了一种基于多传感器信息融合技术的智能交通控制系统. 相对于传统的基于单一车辆传感器信号控制系统而言, 该系统具有信息的完整性、统一性、多样性和容错性等优点. 在多传感器信息融合的基础上, 讨论了多种可行的智能控制方案. 通过对城市区域交通的多方位控制, 达到全面提高控制效果和有效疏导交通的目的. 给出的仿真结果表明了其优越性和有效性.

关键词: 车辆传感器; 交通信号控制; 多传感器信息融合

中图分类号: TP13

文献标识码: B

AN APPROACH TO INTERSECTION INTELLIGENT TRAFFIC SIGNAL CONTROL BASED ON MULTISENSOR INTEGRATION AND FUSION TECHNOLOGIES

LI Xiu-ping LIU Zhi-yong YIN Zheng-qi WU Jin-pei

(Traffic Engineering & Automation Department, Wuyi University, Jiangmen, Guangdong 529020)

Abstract: An intelligent traffic signal control system is presented based on multisensor integration and fusion technologies. The proposed system has the advantages of completeness, unity, variety and fault-tolerance of information compared with traditional ones. Furthermore, the available ways of intelligent control are also discussed by the use of multisensor integration and fusion technologies. Finally, the goals of enhancing the traffic signal control effects are reached by the versatile controls of urban area traffic. Simulation results presented show its advantages and effectiveness.

Keywords: vehicle sensor, traffic signal control, multisensor integration and fusion

1 引言(Introduction)

智能交通信号控制是用智能信息处理方法, 将车辆传感器所获得的交通流数据反馈到控制器进行分析、推理, 给出交通信号灯的信号控制参数, 从而对路口各方向的交通流实施控制, 以达到安全、畅通、高效、有序的目的. 目前, 国内外都在大力开展智能交通控制系统的研究, 并已出现了一些有价值的智能交通控制方法^[1-8]. 从控制手段来看, 主要应用了模糊控制、大系统递阶控制和神经网络控制等理论, 使得信号控制系统能模拟交警的推理思维进行智能控制. 上述方法所使用的车辆传感器主要是环形线圈. 环形线圈使用时必须安装在车道路面下, 其特殊的工作环境使其容易因受压而损坏, 容易造成开环, 可靠性较差. 此外, 传统的基于单一车辆传感器的系统一般只能检测到一定范围内的车流速度、

车流密度和车辆数, 所检测到的车流信息不确切, 不能全面反映道路的实际交通状况, 无法在大范围内实施多方位控制.

为获取被检测对象的全面和完整的信息, 可采用多个传感器对同一对象进行多方位检测. 多传感器系统中, 多源信息的表现形式具有多样性、复杂性、互补性以及大容量性, 其信息处理技术不同于单传感器的信息处理技术. 多传感器系统能精确、有效地反映被检测对象的特征, 消除信息的不确定性, 从而提高检测的可靠性. 对多个传感器的检测信息进行分析 and 集成处理的方法称为多传感器信息融合技术^[9]. 由于不同传感器的检测信息只反映了被检测对象的某一方面的特征, 且这些信息往往还具有一定的不确定性, 所以对这些不确定信息的融合处理过程实质上是一个不确定的推理过程. 依据推理方

法不同, 多传感器的信息融合推理方法有贝叶斯估计、卡尔曼滤波、D-S 证据推理、模糊推理和神经网络推理等方法。

对于较大范围内的区域信号控制系统, 传统的数量单一的环形线圈检测器显然不能全面真实地反映道路的实际交通状况, 必须使用较大量的检测器, 以便从不同侧面和不同角度获取道路的交通流数据和状态估计。本文正是在这一背景下提出了一种基于多传感器信息融合技术的城市道路交通区域控制系统, 给出了系统结构、信息融合计算方法和可行的交通控制方案。最后, 还就某一路段出现交通事故的特殊情况进行了仿真, 并与传统的单一传感器系统作了比较。

2 系统结构(System structure)

假设所研究的区域控制系统内各路段均已安装适量的车辆传感器, 各传感器的空间分布形态依路段的几何形状、重要性、车流分布情况以及事故率等而异, 主要用于测量路段的车流空间分布情况、车流量、车流速度、排队长度和事故状态等交通参数。本文提出的基于多传感器信息融合技术的城市道路交通区域控制系统的结构如图 1 所示。

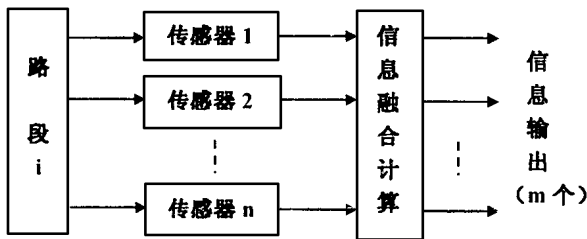


图 1 基于多传感器信息融合技术的城市道路交通区域控制系统结构图

Fig. 1 Structure of the proposed traffic signal control system

其中, 信息输出的维数为 m , 表示有 m 个要得到的信息。信息融合计算(推理)实际上实现了一种由 n 维空间到 m 维空间的非线性映射, 通常情况下该非线性是未知和非常复杂的。融合计算(推理)过程就像人脑利用自身的感官信息进行综合信息处理一样, 充分利用多个传感器的数据信息资源, 通过某些先验知识对这些信息进行合理支配和使用, 把多传感器在空间或时间上可冗余或互补的信息, 依据某种准则来进行组合和推理, 以获得被测对象的一致性解释和描述。

在该系统中, m 个信息输出可表示某路段的综合交通信息, 如车流量、车流速度、拥挤程度、排队长

度以及是否发生交通事故等。这些信息既可传至上—级的交通监控中心进行进一步分析和综合, 以便向交通信息台、车载交通显示仪和路口交通诱导指示仪等发送整个或相邻区域的交通状况, 实施交通诱导控制, 也可作为反馈信号送至低端信号控制器, 以实施交通信号的闭环控制。

3 信息融合计算(Information fusion computation)

在基于多传感器信息融合技术的城市道路交通区域控制系统中, 信息融合计算环节是其核心的部分。它的作用是将车辆传感器送来的信息进行综合分析、计算和推理, 得出道路的车流量、车流速度、排队长度以及事故状态等交通信息。

假设路口间路段的传感器位置分布图如图 2 所示。

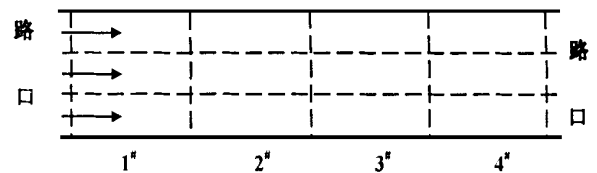


图 2 路口间路段的传感器位置分布图

Fig. 2 Layout of the sensors

在上图中, 将路段按长度等分成了 4 个区域。每个区域的 3 条车道两端均装有环形线圈检测器(图中纵向虚线处), 用以检测每条车道的交通参数。由于路况特征、车流分布、车辆中途进出和交通事故等因素影响, 单一传感器所测得的交通参数往往不能真实反映实际的交通状态, 因此需要用多个传感器进行测量。数据融合的目的是依据较充分的传感器资源, 减少测量中的不确定性, 以获得更准确、更可靠和更丰富的测量结果。此外, 由于采用了多传感器数据融合处理, 当系统中的某些传感器失效时, 可依赖其它正常传感器提供的信息, 通过数据融合计算获得准确的交通信息, 即多传感器信息融合系统具有很强的容错性。

一般说来, 对目标运动状态的观测, 存在数据融合的时间性与空间性问题。时间融合表示按时间顺序对被测对象在不同时间(段)的检测数据进行融合, 而空间融合表示对同一时刻(段)不同空间位置的多传感器检测数据进行融合。本文中的数据融合计算将同时考虑其时间性和空间性。

设 i 条车道第 j 区第 k 时段的车流量、车流速度和排队长度测量值分别为 $Q_{ij}^{(k)}$ 、 $S_{ij}^{(k)}$ 和 $L_{ij}^{(k)}$, 其中 i

$= 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, 4, k = 1, 2, \dots$, 时段长度 k 可根据具体情况任意设定(一般可取为信号周期的某一倍数). 则该路段的数据融合计算公式如下:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_i^{(k)} &= \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r Q_{ij}^{(k)} & \bar{S}_i^{(k)} &= \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r S_{ij}^{(k)} \\ \bar{L}_i^{(k)} &= \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r L_{ij}^{(k)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \bar{Q}_i^{(k)} & \bar{S}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \bar{S}_i^{(k)} \\ \bar{L}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \bar{L}_i^{(k)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}_i &= \frac{1}{(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \bar{Q}_i^{(k)} \\ &= \frac{1}{r(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \sum_{j=1}^r Q_{ij}^{(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= \frac{1}{(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \bar{S}_i^{(k)} \\ &= \frac{1}{r(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \sum_{j=1}^r S_{ij}^{(k)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_i &= \frac{1}{(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \bar{L}_i^{(k)} \\ &= \frac{1}{r(p_2 - p_1 + 1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} \sum_{j=1}^r L_{ij}^{(k)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^3 \bar{Q}_i \quad \bar{S} = \sum_{i=1}^3 \bar{S}_i \quad \bar{L} = \sum_{i=1}^3 \bar{L}_i \quad (6)$$

相应的标准差分别为:

$$\hat{q}_i^{(k)} = \frac{1}{(r-1)} \sum_{j=1}^r (Q_{ij}^{(k)} - \bar{Q}_i^{(k)})^2 \quad (7)$$

$$\hat{s}_i^{(k)} = \frac{1}{(r-1)} \sum_{j=1}^r (S_{ij}^{(k)} - \bar{S}_i^{(k)})^2 \quad (8)$$

$$\hat{l}_i^{(k)} = \frac{1}{(r-1)} \sum_{j=1}^r (L_{ij}^{(k)} - \bar{L}_i^{(k)})^2 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \hat{q}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \hat{q}_i^{(k)} & \hat{s}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \hat{s}_i^{(k)} \\ \hat{l}^{(k)} &= \sum_{i=1}^3 \hat{l}_i^{(k)} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\hat{q}_i = \frac{1}{(p_2 - p_1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} (\bar{Q}_i^{(k)} - \bar{Q}_i)^2 \quad (11)$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{(p_2 - p_1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} (\bar{S}_i^{(k)} - \bar{S}_i)^2 \quad (12)$$

$$\hat{l}_i = \frac{1}{(p_2 - p_1)} \sum_{k=p_1}^{p_2} (\bar{L}_i^{(k)} - \bar{L}_i)^2 \quad (13)$$

$$\hat{q} = \sum_{i=1}^3 \hat{q}_i \quad \hat{s} = \sum_{i=1}^3 \hat{s}_i \quad \hat{l} = \sum_{i=1}^3 \hat{l}_i \quad (14)$$

其中, $r \leq 4$ (r 表示某一车道中传感器能正常工作有效区域数) $i = 1, 2, 3, p_1, p_2$ ($p_2 > p_1$) 表示计量的时段范围, 可任意设定. $\bar{Q}_i^{(k)}, \bar{S}_i^{(k)}$ 和 $\bar{L}_i^{(k)}$ 分别表示第 i 条车道在第 k 时段中的平均车流量、平均车流速度和平均车辆排队长度. $\bar{Q}^{(k)}, \bar{S}^{(k)}$ 和 $\bar{L}^{(k)}$ 分别表示该路段在第 k 时段中的平均车流量、平均车流速度和平均车辆排队长度. \bar{Q}_i, \bar{S}_i 和 \bar{L}_i 分别表示第 i 条车道在计量时段 $[p_1, p_2]$ 内的平均车流量、平均车流速度和平均车辆排队长度. \bar{Q}, \bar{S} 和 \bar{L} 分别表示该路段在计量时段 $[p_1, p_2]$ 内的平均车流量、平均车流速度和平均车辆排队长度. $\hat{q}_i^{(k)}, \hat{s}_i^{(k)}$ 和 $\hat{l}_i^{(k)}$ 分别表示第 i 条车道在第 k 时段中的流量标准差、速度标准差和排队长度标准差. $\hat{q}^{(k)}, \hat{s}^{(k)}$ 和 $\hat{l}^{(k)}$ 分别表示该路段在第 k 时段中的流量标准差、速度标准差和排队长度标准差. \bar{q}_i, \bar{s}_i 和 \bar{l}_i 分别表示第 i 条车道在计量时段 $[p_1, p_2]$ 内的流量标准差、速度标准差和排队长度标准差. \hat{q}, \hat{s} 和 \hat{l} 分别表示该路段在计量时段 $[p_1, p_2]$ 内的流量标准差、速度标准差和排队长度标准差.

4 控制方案(Control methods)

如图 1 所示, 基于多传感器信息融合技术的智能交通控制系统工作时, 先将控制区域内各路段的多传感器数据分别进行融合计算, 得到各路段(各车道)的交通流数据. 根据这些数据反映的不同交通状况, 可采取如下的控制措施:

(1) 路口的智能信号控制.

对路口实施智能信号控制的方法很多^[2-6], 一般是根据多传感器的测量数据计算出各进口道某时段内的平均车辆排队长度 \bar{L}_i 和 \bar{L} , 用模糊控制或神经网络控制方法计算出下一时段的信号控制参数, 从而实施信号控制. 如果某路段严重塞车或发生交通事故, 则可进行信号控制的结构调整, 比如在上行路口的信号控制方案中删除进入该路段的相位(必要时可结合诱导控制方法进行), 在下行路口的信号控制方案中减少该路段的绿信比等. 虽然传统的单一传感器系统也能进行信号控制, 但因其传感器的测量空间有限, 因而其测量数据存在“饱和”现象, 一旦排队长度超出测量范围, 所得数据就会失真, 从而导致控制效果变差. 另外, 单一传感器系统的传感器因长期受压而容易损坏, 可靠性较差, 容易造成开环. 而多传感器系统则不同, 部分传感器失效不会显

著降低系统的性能,具有很强的容错性。

(2) 子区域的交通诱导控制

上述交通参数 \bar{Q} 、 \bar{S} 和 \bar{L} 均可传送至高端控制中心进行综合分析、显示和信息发布,以实施诱导控制。诱导指示仪可安装在重要路口的入口处,用来显示邻近路段的交通状况,并提供可行的行车建议。也可将信息通过交通信息电台发送出去,驾驶员可根据车载接收器播出的信息选择行车路线。更高级的诱导控制还可通过车载电脑、GPS 和 GIS 进行,通过将交通信息显示在道路网络的电子地图中,使驾驶员对整个区域的交通状况了如指掌,以便选择最佳的行车路线,缩短行车时间。

(3) 交通指挥控制中心的宏观调控

城市的交通指挥控制中心位于交通控制系统的最顶层,其作用是对整个城市的交通状况进行宏观监督、评估和事故状况下的应急反应等。实现这些功能的一部分前提就是控制区域内道路交通状况的数据采集和数据融合推理。例如可由 $\hat{q}_i^{(k)}$ 、 $\hat{s}_i^{(k)}$ 、 $\hat{l}_i^{(k)}$ 和 \hat{q}_i 、 \hat{s}_i 、 \hat{l}_i 及 \hat{q} 、 \hat{s} 、 \hat{l} 的大小变化来评判某一路段是否发生了交通事故。因为发生交通事故时,车流在事故点附近的流量和速度会减小,排队长度则会增加,因而上述指标均会不同程度的变大。通过对这些指标的综合分析即可判断出该路段(甚至该路段的某条车道)是否发生了交通事故以及事故的严重性程度等,这就为交通指挥控制中心对紧急事态及时做出反应

提供了依据。

5 仿真研究(Simulation research)

实际的交通系统结构和状况都是非常复杂的。为简单起见,仿真时只考虑具有四个交叉路口的区域信号控制系统。每个路口均采用两相位的信号控制方式,且右转车流的通行不受灯色限制。假设进入该区域的 8 个进口方向的车流均服从二项分布^[7],且到达每个进口的平均车流量均相同。仿真研究时,取直行车道的饱和流量为 1000 辆/h(指 PCU 小客车当量,下同),左转和右转车道的饱和流量为 800 辆/h。车流到达路口后,均以 25%、50% 和 25% 的比例进行左转、直行和右转分流。每个周期的绿灯损失时间为 8s,仿真连续进行的时间长度为 5 万个信号周期。仿真平台为 Delphi 5.0。为验证本文提出的基于多传感器信息融合技术的智能交通控制方案(简称方案 1)的控制效果,仿真时还将其与传统的单传感器交通控制方案(简称方案 2)的控制效果进行了比较。两种方案的信号控制均采用模糊控制算法,并假设在某一路段出现了交通事故(假设其效果相当于减少了一条车道),仿真结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出,由于多传感器信号控制系统具有信息融合推理能力,可检测出路段的交通事故或严重塞车状态,进而采取相应的信号控制措施,所以其整体控制效果优于单传感器信号控制系统。

表 1 方案 1 与方案 2 的控制效果比较

Tab. 1 Comparison of control results between approach 1 and approach 2

区域交通量(辆/h)	各进口道平均队长(辆/周期)		区域交通量(辆/h)	各进口道平均队长(辆/周期)	
	方案 1	方案 2		方案 1	方案 2
< 3200	< 8	< 8	5600	69.20	86.22
3500	11.04	15.52	5900	83.36	105.02
3800	15.71	20.19	6200	96.11	129.70
4100	21.25	25.87	6500	114.23	153.13
4400	28.33	34.06	6800	130.83	187.55
4700	36.67	42.83	7100	152.37	226.18
5000	45.85	55.08	7400	187.28	287.03
5300	56.19	69.62	7700	225.44	352.06

6 结论(Conclusion)

本文将多传感器信息融合技术引入城市道路智能交通控制系统中,构造了一种道路的多传感器空间分布方案,在此基础上提出了相应的多传感器信

息融合算法,并进一步讨论了几种可行的智能控制方案。文中给出的仿真实例只是针对某一交通状况(某一路段出现交通事故)进行的,并以此说明新方法的优越性,但这并不意味着其只有这类优越性。事

实上,基于多传感器信息融合技术的智能交通控制系统还有很多其它方面的应用.相对于传统的单一传感器信号控制系统而言,本文所构造的系统具有信息的完整性、统一性、多样性和容错性等优点,特别适合作为城市道路 ITS 系统的子系统.当然,该系统也有其缺点,就是成本相对较高,但这是为提高性能所必需付出的.

参 考 文 献 (References)

- 1 Pappis C P, Mamdani E H. A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 1977, 7: 707~ 717
- 2 Dusan Teodorovic, Katarina Vukadinovic. Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach (International Series in Intelligent Technologies, 13), Kluwer Academic Publishers, 1998
- 3 徐冬玲,方建安,邵世煌.交通系统的模糊控制及其神经网络实现.信息与控制,1992,21(2): 74~ 78
- 4 刘智勇,吴今培,李秀平,万百五.城市交通大系统递阶模糊神经网络控制.信息与控制,1997,26(6): 441~ 448
- 5 刘智勇,吴今培,李秀平,万百五.城市交通干线递阶模糊控制.公路交通科技,1997,14(3): 17~ 23
- 6 刘智勇,朱 劲,李秀平,尹征琦.单交叉路口的多相位模糊控制.信息与控制,1999,28(6): 453~ 458
- 7 李秀平,刘智勇,吴今培.平面交叉路口的神经网络自学习控制方案.信息与控制,2001,30(1): 76~ 79
- 8 陈 洪,陈森发.单路口交通实时模糊控制的一种方法.信息与控制,1997,26(3): 227~ 233
- 9 滕召胜,罗隆福,童调生.智能检测系统与数据融合.北京:机械工业出版社,2000
- 10 丹尼尔 L 鸠洛夫等,将璜等译.交通流理论,北京:人民交通出版社,1983

作者简介

- 李秀平(1963-),男,博士,副教授.研究领域为容错控制、智能控制、智能交通.
- 刘智勇(1961-),男,博士,教授.研究领域为大系统理论,智能控制、智能交通.
- 尹征琦(1947-),男,硕士,教授.研究领域为智能控制、智能交通、工业过程控制.

(上接第 459 页)

统的各个状态进行估计,并根据估计结果设计物理上可实现的控制器,从而回避了系统之间的不确定性,达到了具有参数失配但结构相同及不同结构的混沌系统同步的目的.

参 考 文 献 (References)

- 1 Wu C W, Tao Y etc. Int. J. Bifu. and Chaos 1996, 6: 455
- 2 di M, Bernardo. Int. J. Bifu. and Chaos 1996, 6: 557
- 3 L. OIChua, T. Yang. etc. Int. J. Bifu. and Chaos 1996, 6: 189
- 4 Ricard Fem at. Jose Alvarez-ram irez. etc. Physica D 2000, 139: 231~ 246
- 5 Ricardo Fem at. Jose Alvarez-Ram irez. etc. Physica D 139 (2000), 231 - 246; Ricardo Fem at. Jose Alvarez-Ram irez. Physics Letters A 236(1997): 307~ 313
- 6 Ricard Fem at. Jose Alvarez- Ram irez. Physics Letters A 236 (1997), p307- 313
- 7 V. Toronov and V. Derbov, Phys. Rev. E 55, 3689(1997)
- 8 Naresh Sharma and Edward OTT. Inter. Jour. Of Bifu. and Chaos. 2000, 10(4): 777

作者简介

- 杨 涛(1972-),上海交通大学自动化系博士生,主要研究领域为混沌控制,混沌同步及其混沌保密通信.
- 冯晓东(1972-),上海交通大学自动化系博士生,主要研究领域为过程控制,基于 Internet 的控制.
- 邵惠鹤(1936-),上海交通大学自动化系教授,博士生导师,主要研究领域为工业过程模型与优化控制.研究领域为.