

基于 WPD-PSO-ESN 的城市交通感应信号控制系统设计

李靖丰

(西安交通工程学院 交通运输学院, 西安 710300)

摘要: 传统城市交通感应信号控制系统缺少对交通流量的预测, 导致信号控制效果较差; 为此, 设计基于 WPD-PSO-ESN 的城市交通感应信号控制系统; 在系统硬件设计中, 将 PC 作为上位机, PLC 作为下位机; 使用 S7-226 型号 PLC 控制器连接 EM221 数字输入模块与 EM223 组合输入/继电器, 移除 I/O 终端; 选择 AT89S51 型号采集器, 将其接收到的指令向 S7-226 PLC 控制器发送数据信息; 安装单环自愈 RS-485 多机通信接收发送器, 自动修复单回路; 在软件设计中, 设计手动、闪光控制模块子程序流程, 实现信号控制系统状态检测; 建立 WPD-PSO-ESN 交通流量预测模型, 结合 PSO 算法优化参数, 以交通流量预测结果为依据, 分析交叉口的通行能力, 确定不同信号相位绿灯时间, 设计感应信号控制流程; 由实验结果可知, 该系统车流量共计为 310, 与交叉口历史平均交通流量统计结果一致, 说明系统信号感应较为精准, 对实现实时交通控制具有现实意义。

关键词: WPD-PSO-ESN; 城市交通; 感应信号; PSO 算法

Design of Urban Traffic Sensing Signal Control System Based on WPD-PSO-ESN

Li Jingfeng

(School of Transportation, Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China)

Abstract: The traditional urban traffic induction signal control system lacks prediction of traffic flow, resulting in poor signal control. Based on the non-linear characteristics of short-term traffic flow, the urban traffic induction signal control system based on WPD-PSO-ESN is designed. In the system hardware design, PC is used as the upper computer, and PLC is used as the lower computer. Use the S7-226 model PLC controller to connect the EM221 digital input module and the EM223 combination input / relay, remove the I / O terminal; select the AT89S51 model collector, send the information it receives to the S7-226 PLC controller; install Single-loop self-healing RS-485 multi-machine communication receiver transmitter, self-repairing single loop. In the software design, the manual and flash control module subprogram flow is designed to realize the state detection of the signal control system. Establish WPD-PSO-ESN traffic flow forecasting model, combine PSO algorithm to optimize parameters, based on traffic flow forecasting results, analyze the capacity of intersections, determine the green time of different signal phases, and design inductive signal control process. It can be seen from the experimental results that the total traffic flow of the system is 310, which is consistent with the historical average traffic flow statistics at the intersection, indicating that the system signal sensing is more accurate and has practical significance for real-time traffic control.

Keywords: WPD-PSO-ESN; urban traffic; inductive signals; PSO algorithm

0 引言

交通拥堵问题不仅仅存在于大城市, 有些二线城市有时比一线城市更加拥挤, 都市交通问题日益凸显^[1]。城市交通问题的日益严重, 在一定的城市道路建设容量的前提下, 道路拥堵现象也越来越明显, 人们的出行压力也逐步增大^[2]。为了实现基于实时交通状态的交通信号控制, 首先要解决的一个问题就是精确控制城市交通感应信号。

文献 [3] 提出基于递归技术的自回归模型和统计方法

的城市交通感应信号控制方法。通过有序聚类控制交通时段划分, 通过动态递归策略识别最小损失值突变, 得出最优规划方案。该方法能够提升交通运行效率, 但易受外部条件干扰。短时车流变化是一个非平稳、非线性随机过程, 其不仅与当前监测点前几个时段交通流量有关, 而且受上下游监测影响, 在雨雪天气下更易发生交通事故, 控制效果不佳。文献 [4] 提出基于相位切换规则模型的交通信号控制方法。使用传统耦合映射相关模型, 结合时滞反馈信号控制器设计出了抑制交通拥挤、减少二氧化碳排放的控制方案。虽然该方案在抑制交通拥挤、减少二氧化碳排放方面效果良好, 但需要额外的硬件支持, 实用性及运行效率较差。

为此, 设计了基于 WPD-PSO-ESN 城市交通感应信号控制系统。通过构建 WPD-PSO-ESN 模型预测交通流量, 实现实时交通控制。

收稿日期: 2020-05-25; 修回日期: 2020-06-17。

基金项目: 陕西省教育厅专项科学研究计划立项项目 (18JK1037)。

作者简介: 李靖丰 (1989-), 男, 陕西咸阳人, 硕士, 讲师, 主要从事交通运输规划与管理方向的研究。

1 系统总体架构及原理

WPD-PSO-ESN 是融合了小波包分解 (wavelet packet decomposition, WPD)、粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 及回声状态网 (echo state network, ESN) 的一种算法, WPD 能够对交通流数据进行预处理, 将其分解为不同频段的子序列, 通过 PSO 算法检测粒子信息, 提高对交通流量信号控制的寻优能力; 最后, 优化 ESN 的参数, 提高其泛化能力及预测精度。基于 WPD-PSO-ESN 城市交通感应信号控制系统设计分为硬件部分及软件算法, 硬件部分包括控制器、采集器及多机通信接收发送器, 实现交通流数据的采集及传输, 软件部分利用 WPD-PSO-ESN 算法实现交通感应信号控制, 其总体架构如下。

基于 WPD-PSO-ESN 城市交通感应信号控制系统总体架构设计如图 1 所示。

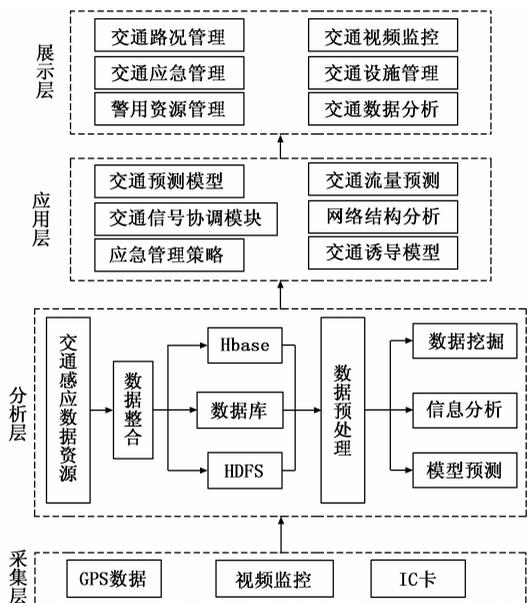


图 1 系统总体架构

该平台的结构分为 4 个层次, 分别是数据收集层、数据分析层、应用层和展示层。其中数据收集层和分析层是基于 WPD-PSO-ESN 模型存储和处理交叉口交通数据的; 应用层是交通流量预测模型、交叉口信号控制模型集成模块, 为交通感应提供信号控制决策条件; 展示层是实时展示交通感应信号控制结果模块。

2 硬件结构设计

整个设计过程中, 综合考虑了系统可靠性、经济性要求, 确定了如图 2 所示的系统结构。

该系统设计充分考虑到成本问题, 采用 PC 作为上位机, PLC 作为下位机, 采用单片机作为传感器信号采集装置, 组成现场总线控制系统^[5]。上位机实现对整个系统的集中监控, 以可视化人机操作为主界面, 使用可编程控制器可靠性高, 能够在各种恶劣环境中进行, 并以此作为下位机进行信号控制^[6-8]。

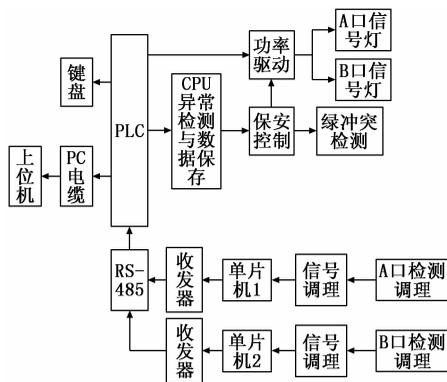


图 2 硬件结构

下位机能实时读取各种信号, 逻辑判断并计算控制量, 控制交通感应信号, 其还向上位机发送各种感应信号及信号控制量以监控交通流量^[9]。作为底层数据采集和分析部分, 单片机主要实现两个功能: 一是逐个读取每个通道传感器值, 将采集和处理的交通流量数据输入到指定寄存器之中; 二是接收 PLC 发出的中断信号后, 通过串行通信将处理过的数据发送给 PLC, 并将其存储在数据寄存器之中^[10-11]。

2.1 S7-226PLC 控制器

以 S7-226PLC 为核心控制芯片, 实现数据接收、方案制定。小型可编程控制器是由德国西门子公司 57-200 系列 PLC 组成的小型可编程控制器, 其强大功能得到了充分发挥, 其优点体现在以下几个方面: 丰富指令集、操作方便, 具有很强实时性, 通信能力强, 丰富扩展模块^[12]。CPU 采用了 CPU226AC/DC/继电器模块, 如图 3 所示。

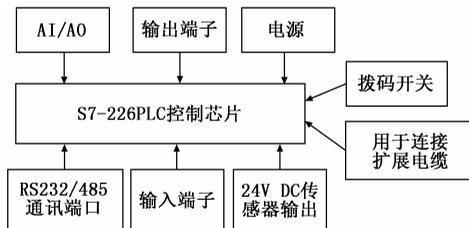


图 3 S7-226PLC 控制器

该系统可将 EM221 数字输入模块与 EM223 组合 24 VDC 输入/继电器连接起来, 扩展 I/O 点以满足控制系统要求, 57-226 PLC 可以连接到 248 个数字 I/O 点。程序和数据存储空间为 26 K 字节, 采用 PID 控制器具有独立 30kHz 高速计数器和 20 kHz 高速脉冲输出。RS485 通信/编程端口 2 个, 具备 PPI 通信协议、MPI 通信协议、自由通信功能, 可方便地将 I/O 终端整体移除, 适用于对控制系统要求高。

2.2 AT89S51 采集器

选择由 ATMEL 公司生产的 Flash 系列 8 位单片机, 以 AT89S51 为交通感应信号采集设备, AT89S51 单片机的主要包括: 8031 兼容 MCS-51 汇编语言, 4k 字节编程闪存 (日常使用: 1000 写/周期)、三级程序内存安全锁、128 * 8 位内部 RAM、32 条可编程 I/O 线。

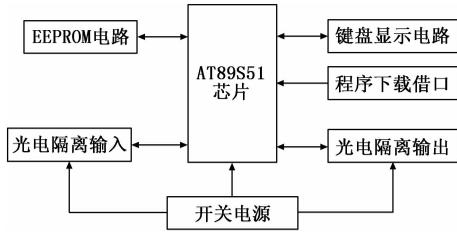


图 4 AT89S51 采集器

单片机 AT89S51 具有如下结构：程序内存在 4 k 字节的 Flash 芯片上、随机访问内存 (RAM) 128 字节的数据、32 外部双向输入/输出端口、中断优先级、16 位可编程定时计数器、时钟振荡器。采集和处理交通流数据，将采集器接收到的指令向 S7-226PLC 控制器发送数据信息。其特点是指挥系统丰富、规模小、可扩展性强，被广泛应用于控制领域。

2.3 RS-485 多机通信接收发送器

为了实现 S7-226PLC 和 AT89S51 之间通信功能，需要在 S7-226 上安装单环自愈 RS-485 多机通信接收发送器，见图 5。

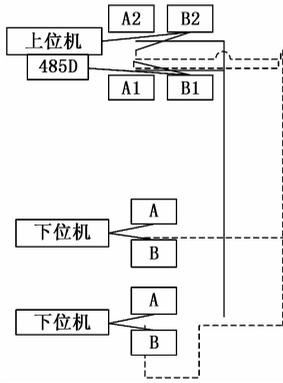


图 5 单环自愈 RS-485 多机通信接收发送器

485 D 的 Bosch 系统是单通道 RS-232 到 2 通道的转换器，具有单回路自修复功能。RS-485 总线可能是直的，也可能是弯的，但不是圆的，使用 Bosch485D 转换器将一个 RS-232 转换成两个 RS-485 转换函数，然后将两个 RS-485 输出分成两个，在远端闭合。它是单回路自修复的 RS-485 网络。在图 5 中可以看到，尽管在图中有两条 RS-485 信号线 (线 A 和线 B)，但它们实际上是 RS-485 信号的环形，因此被称为单环。自修复特征：当 RS-485 信号线坏了，如连红线和蓝线都断开连接时，任何一个下位机信号仍然可以从没有断开部分的线 A 和线 B 连接到 A1、A2 和 B1、B2。

3 软件程序设计

因为系统需要通过软件来实现多种功能，所以程序非常复杂。若把所有功能模块都编译进主程序中，不但会增加程序编写难度，而且会大大延长程序调试周期，系统工作效率下降。因此，在实际程序设计中，将功能模块写进

子程序，然后通过子程序命令，将有关各个子程序命令从主程序中检索出来，并将这些子程序连接在一起，组成一个有机整体，实现城市交通感应信号控制功能。主程序模块主要功能包括：周期性扫描输入信号，确定控制方式。

3.1 手动、闪光控制模块子程序设计

在模块子程序中存在一个手动控制模块子程序和一个闪光控制模块子程序，在手动控制模式下，每次按下步进键时，交通感应信号控制会向前移动一步，然后控制相应的红绿灯状态。通过手动控制，可以将交通信号灯以一定的速度固定在相应状态，从而实现信号控制系统状态检测。

手动、闪光控制模块子程序流程如下所示：

首先判断红绿灯状态，是否为绿闪情况？如果是，则直接控制系统程序；否则判断是否需要切换按钮。如果是，则该相位绿灯闪烁，如果不是，则直接控制系统程序；判断绿灯闪烁时间是否达到 5S？如果是，则转到下一相位绿灯，否则直接控制系统程序。

3.2 WPD-PSO-ESN 模型构建与预测

建立了 WPD-PSO-ESN 交通流量预测模型，见图 6。

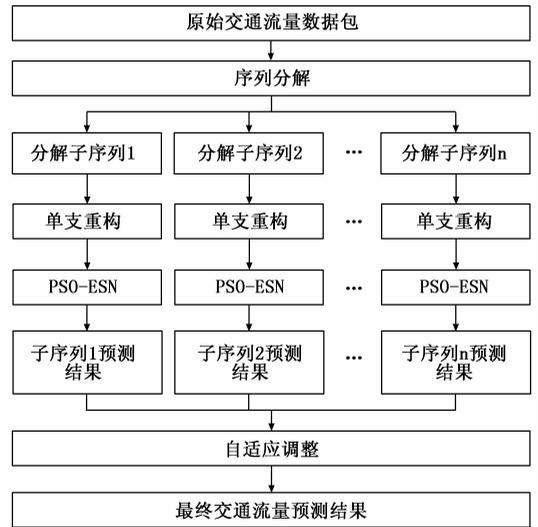


图 6 WPD-PSO-ESN 交通流量预测模型

其基本原理是：首先利用 WPD 将时间序列分解为低频和高频两个部分，利用该方法可以得到低频成分时间序列的相关信息，利用该高频成分可以解决初始 ESN 矩阵问题；然后同时输入低频成分和高频成分信号刺激回声状态网络，采用 PSO 算法对其参数进行优化，以提高预测精度；最后利用状态响应信号线性组合逼近期望输出。

采用 PSO 算法优化 WPD-PSO-ESN 模型参数，可有效地防止模型陷入局部最优，从而提高模型预测精度。PSO 算法优化原理为：

设由 n 个粒子组成的种群：

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_n) \tag{1}$$

其中第 i 个粒子为：

$$S_i = (S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ic}) \tag{2}$$

其中： c 表示搜索空间维数，假设第 i 个粒子优化速

表 1 交叉口历史平均交通流量统计结果/辆

方向		a 街	b 街	c 街	d 街
西进口	左转	330	—	740	300
	右转	1600	1800	1010	1150
	直行	335	150	305	200
东进口	左转	520	—	650	500
	右转	1450	—	1020	—
	直行	250	—	375	350
南进口	左转	—	—	780	350
	右转	580	—	450	—
	直行	350	220	320	420
北进口	左转	310	450	280	240
	右转	1150	1200	430	470
	直行	230	350	310	450

4.3 控制时序研究

根据交通流逻辑关系连接好系统设备，为了验证系统性能，对其进行功能仿真，如图 9 所示。

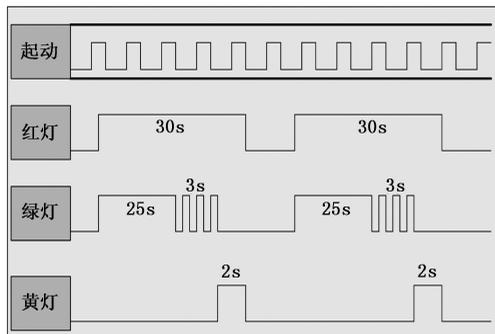


图 9 交流感应信号灯控制时序图

当启动系统时，交通信号灯开始工作，首先是南北通行，当南进口为红灯，北进口为绿灯时，绿灯亮 25 s，并闪烁 3 s，黄灯亮 2 s，此时南进口红灯亮 30 s。

分别使用文献 [3] 方法、文献 [4] 方法和基于 WPD-PSO-ESN 系统对北进口 c 街道三个转向车流量控制情况进行对比分析，结果如表 2 所示。

表 2 三种系统车流量控制情况对比分析

车流量/辆		文献[3]	文献[4]方法	WPD-PSO-ESN 系统
一次循环 60s	红灯	0	0	0
	绿灯	95	94	98
	黄灯	1	1	1
二次循环 60s	红灯	0	0	0
	绿灯	100	92	105
	黄灯	0	0	0
三次循环 60s	红灯	0	0	0
	绿灯	95	91	105
	黄灯	1	1	1

由表 2 可知：使用文献 [3] 方法在三次 60 s 循环情况下，通过北进口 c 街道直行的车流量为 292 辆；使用文献

[4] 方法的车流量共计为 279 辆；基于 WPD-PSO-ESN 系统车流量共计为 310，与交叉口历史平均交通流量统计结果一致，且在三次循环下通过车辆数较为稳定，说明系统信号感应较为准确，系统控制效果较为精准。

5 结束语

在智能交通控制中，交通感知信号控制至关重要。为提高城市交通感知信号控制的精度，设计了基于 WPD-PSO-ESN 的城市交通感应信号控制系统。采用 WPD-PSO-ESN 模型，实现了控制参数的调节。试验结果表明，系统取得了良好的控制效果。人们越来越重视城市交通信号的诱导与智能化，为国家建设智慧城市提供了强有力的智能交通保障。

虽然该系统控制效果很好，但仍有一些方面需要改进：

1) 控制交通感应信号，收集足够多历史数据，并进行聚类分析，根据外界因素情况，适当标记训练数据，以增强系统的鲁棒性。

2) 信号自适应控制对交叉口的交通流量采集能力有较高的要求。今后，可在车载通信网络环境下实现交叉口信号控制。

3) 通过对粒子群学习与推理研究，进一步深化多交叉口的协调控制，避免发生交通事故。

参考文献：

[1] 万玉龙, 李新春, 周红标. 基于 WPD-PSO-ESN 的短期交通流预测 [J]. 公路交通科技, 2019, 36 (8): 144-151.

[2] 张 梦, 赵靓芳, 全 星. PSO-ESN 在城市内涝点降雨积水预测中的应用 [J]. 中国农村水利水电, 2019, 5 (6): 56-59.

[3] 李文婧, 孙 锋, 李茜瑶, 等. 采用递归有序聚类的信号控制时段划分方法 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2018, 52 (6): 1150-1156.

[4] 花 彬, 王安麟, 钟馥声, 等. 自组织交通信号控制中自适应相位切换规则构建 [J]. 机电一体化, 2018, 24 (9): 45-50.

[5] 刘 毅, 宋余庆, 刘 哲. 基于有理四次 Hermite 插值和 PSO 的 EMD 包络线拟合算法 [J]. 电子学报, 2018, 46 (11): 2761-2767.

[6] 张俊武, 王德林, 陈 斌, 等. 基于 PSO-GSA 算法的含 DFIG 互联系统 AGC 优化控制研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2018, 7 (13): 48-54.

[7] 林天仁, 李 勇, 麦瑞坤. 基于 LCL-S 拓扑的感应电能传输系统的建模与控制方法 [J]. 电工技术学报, 2018, 33 (1): 104-111.

[8] 江 虹, 王新远, 王奉宇, 等. 基于 PSO-GWO-SVM 的周界安防信号识别研究 [J]. 激光与红外, 2018, 48 (3): 396-400.

[9] 胡 晓, 刁保卫, 李 杰, 等. 河弧菌中群体感应系统相关基因及信号分子检测 [J]. 南京农业大学学报, 2019, 42 (4): 682-688.

[10] 阮玮琪, 贾文红, 郑丽芳, 等. 运动位置传感器信号实时解析与控制系统设计 [J]. 传感技术学报, 2018, 31 (9): 64-68.

[11] 郑佐雄, 王 勇, 雷建明. 基于层次分析的综合待行区全感应控制策略研究 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (11): 96-103.

[12] 杨 乐, 周 平. 基于激光传感数据的拥堵路口交通信号灯控制 [J]. 计算机工程与应用, 2018, 54 (11): 225-229.