

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

基于多分辨率建模的车路协同系统 仿真场景设计与实现

张 含¹, 蔡伯根¹, 上官伟^{1, 2}, 李四辉¹

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044;

2. 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

摘 要: 车路协同技术是当今国际智能交通领域的前沿技术, 是城市交通问题的有效解决方案。多分辨率建模方法是研究复杂系统仿真的一种重要手段, 特别适用于车路协同系统的复杂性、层次性特性。基于多分辨率思想, 从交通流信息、多车与地面设备间的信息交互、单车的车车、车路信息交互三种层次构建了车路协同系统多分辨率模型以及基于高层架构体系(HLA)的车路协同系统仿真框架; 通过分析车路协同系统多分辨率层次需求, 从高分辨率及中分辨率下的车队排队时间延误、低分辨率下路段平均行驶时间建立完整的路段关联度体系, 可以从多层次、不同分辨率对车路协同系统中路段间关联度进行更加准确的描述; 结合遗传算法将车路协同系统解聚为动态控制区域, 分析了不同分辨率下的子系统和不同模式的数据交互信息及其耦合关系, 实现区域最佳协调控制效果。从多层次、不同分辨率更加准确地定义了路段关联度, 更好地进行动态控制子区的划分。

关键词: 车路协同; 高层架构体系(HLA); 多分辨率; 动态控制子区; 遗传算法

MR-based CVIS Scenario Design and Implementation

ZHANG Han¹, CAI Baigen¹, SHANGGUAN Wei^{1, 2}, LI Sihui¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Cooperation Vehicle-Infrastructure System (CVIS) is the cutting-edge technology in current international intelligent transportation field and effective solution for urban transportation problems. Multi-Resolution Modeling (MRM) is one important means for complex system simulation research, especially fits for the complexity and hierarchical characteristics of CVIS. Models of traffic flow information, information interaction between multi-vehicle and ground equipment, vehicle-vehicle, vehicle-road information interaction, and High Level Architecture (HLA)-based CVIS simulation framework were built up. Through analysis of vehicle line-up delay time, average driving time in low resolution, a multi-resolution correlation system was established; a more specific description of correlation among CVIS links was given in multi-level and multi-resolution. Combined with Genetic Algorithm (GA), CVIS could be disaggregated into dynamic control areas. The results show an

基金项目: 铁道部科技开发计划资助项目(2011X021-D, 2011X012-B); 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2011AA110405, 2011AA110401); 国家自然科学基金资助项目(61104162); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011JBZ001, 2012JBZ009)

accurate definition of links correlation, a better dynamic control subareas division, an effective reduction of average delay time in the coordinated area, and realization of optimized coordinated control.

Key words: cooperation vehicle-infrastructure system (CVIS); high level architecture (HLA); multi-resolution modeling (MRM); dynamic control subareas; genetic algorithm (GM)

1 引言

近年来随着机动车辆总量的快速增加,我国面临着严重的交通拥挤、能源、环境等问题。车路协同技术是目前智能交通领域发展的趋势和热点,也是满足现代道路交通发展需要、提升道路交通智能化水平和通行能力的有效解决方案。车路协同系统是基于先进的全时空动态信息采集、融合技术,通过全方位实施车车、车路动态实时信息交互进行车辆主动安全控制和道路协同管理,形成人车路有效协同的安全、高效和环保的道路交通系统。

车路协同系统是一个多层次、复杂大系统,必须从不同层次、不同时间、不同空间等多个方面对系统进行建模,多分辨率思想从不同分辨率针对不同角度建立系统模型并开展研究,是一种行之有效的途径。多分辨率建模是近年来国际上建模与仿真领域的研究热点,是未来复杂系统分布式交互仿真的关键技术之一。Taylor 等将基于兰彻斯特方程的作战分析仿真和基于实体的战术仿真结合起来; Michihiko Ogata 等研究了多分辨率建模在城市交通系统仿真中的应用。国内对多分辨率建模理论的研究起步较晚,李伯虎等指出多分辨率建模是未来仿真的重点研究方向之一。刘宝宏等对基于 HLA 的多分辨率建模框架的设计与实现方法进行了研究。蔡伯根等采用多分辨率建模思想对 CTCS-3 级列控系统进行了建模和仿真实现,取得了较好的仿真效果^[1-3]。

虽然多分辨率建模在理论上和技术上都还存在亟待解决的问题,但已经出现的一些成功应用显示了多分辨率建模广泛的应用前景。本文运用多分辨率建模的方法对复杂的车路协同系统进行研究分析,重点研究车路协同系统的多分

辨率模型构建、多分辨率建模的聚合解聚等问题。

2 车路协同系统的多分辨率建模研究

目前国内外研究学者根据各自不同研究领域对多分辨率建模提出了自己的理解,尚未对多分辨率建模的概念形成统一的认识。

本文基于已有的常用定义给出自己的理解:对于车路协同系统来说,多分辨率模型是同一实体的不同分辨率模型的集合,这些模型实质上描述的是同一个系统,即车路协同系统。本文将车路协同系统的多分辨率建模定义为:

在车路协同系统的建模和仿真过程中,根据车路协同系统的层次性特点,建立车路协同系统的不同分辨率模型,这些不同分辨率的模型相互作用,协调运行来完成车路协同系统的仿真,以达到提高仿真逼真度或提高仿真效率的目的。

目前多分辨率建模常用的方法包括聚合解聚法、UNIFY 方法(又称分辨率实体法)、视点选择法、IHVR 方法。针对车路协同系统的层次化特征,论文拟采用聚合解聚法来对车路协同系统进行多分辨率建模。

2.1 车路协同系统概述

车路协同系统是基于信息处理技术、定位导航技术、通信技术、电子传感技术、数据挖掘技术、人工智能技术等技术获取车辆和道路信息,旨在通过出行者、智能车载单元和智能路侧单元之间的实时、高效和双向的实时信息交互,并在全时空动态交通信息采集与融合的基础上开展车辆主动安全控制和道路协同管理,充分实现人车路的有效协同,为交通参与者提供全时空的、可靠的交通信息,实现人-车-路的充分协同,形成的安全、高效和环保的道路交通系统。车路协同系统结构如图 1 所示。



图1 车路协同系统示意图

Fig.1 CVIS structure

2.2 基于 HLA 的车路协同系统仿真框架

车路协同仿真系统主要是为实际的车路协同系统模块的设计及其应用提供仿真参考环境,验证车路协同系统不同模块的功能,面向典型应用场景进行仿真环境下的车路协同系统测试与验证。基于 HLA 联邦的设计思想,车路协同系统的联邦结构如图 2 所示。

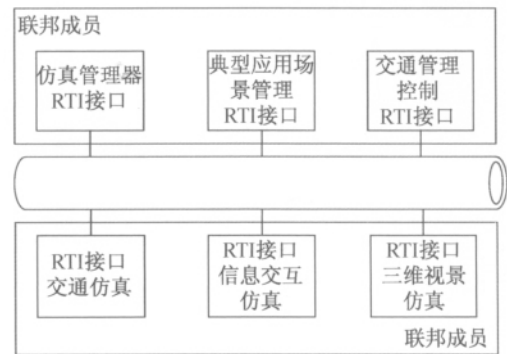


图2 基于 HLA 的 CVIS 仿真联邦逻辑模型

Fig.2 HLA-based CVIS simulation

federal logical model

由图 2 可知, CVIS 仿真联邦共由六个联邦成员构成, 仿真管理器、典型应用场景管理、交通管理控制、PARAMICS 交通仿真、OPNET 信息交互仿真、VEGA 三维视景仿真。上述联邦成员间实现 CVIS 仿真的信息流如图 3 所示(忽略仿真管理控制过程)。

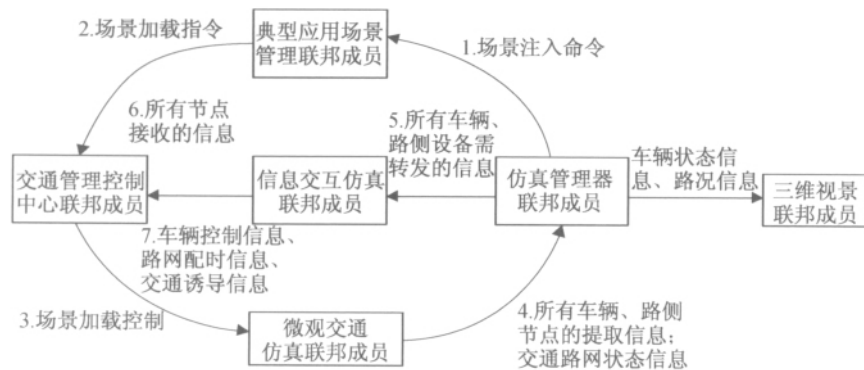


图3 CVIS 联邦成员仿真信息流示意图

Fig.3 Information flow among CVIS federal members

2.3 车路协同系统典型交通场景多分辨率建模

由于车路协同系统仿真涉及各种因素和多层次的复杂关系,对于仿真精度要求较高,通过多分辨率建模从多个层次出发,建立各个层次之间的无缝对接的模型能够把不同的交通模型整合在一起,进行有机组合,形成多层次的车路协同仿真模型系统^[4-6]。

2.3.1 宏观低分辨率模型

在宏观交通流模型中,交通流被视作由大量车辆组成的连续流体介质,主要用于关注车辆集

体的综合平均行为。连续交通流的特性可以用交通流量、平均速度和交通密度三个参数予以描述。三参数之间的关系式可以表示为:

$$Q = vK \quad (1)$$

其中: Q 为平均流量(辆/h); v 为区间平均车速(km/h); K 为平均密度(辆/km)。

式(1)关系适用于所有稳定的交通流,图 4 是 GREENSHIELDS-BD 根据实际调查数据获得的交通流速度、密度、流量之间的关系图。

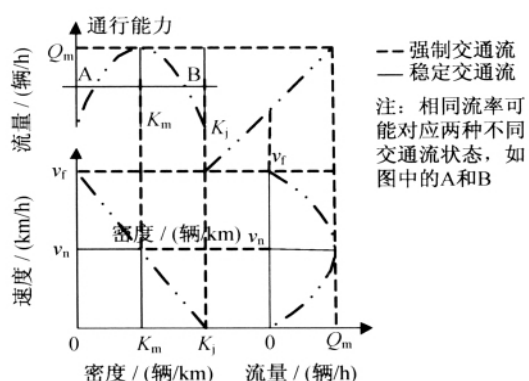


图4 速度-密度-流量基本关系

Fig. 4 Fundamental relationship of velocity-density-flow

2.3.2 中观中分辨率模型

中观交通仿真在宏观交通网络的基础上,将个体车辆放入宏观交通流中进行分析,对个体车

辆按照一定的条件进行分组,再对每组车辆的速度、位置及其他属性进行标识。中观交通仿真模型对交通系统的要素及行为的细节描述程度较高。其对交通流的描述以若干辆车构成的队列为单元,描述队列在路段和节点的流入流出行为。

2.3.3 微观高分辨率模型

微观交通仿真把每一辆车作为一个研究对象,对所有个体车辆都进行标识和定位。本文中采用基于距离控制和速度控制的车辆跟驰模型,认为当车头时距小于5 s时,跟驰车处于无意识的跟车状态。距离控制阶段可以分为减速驰近和加速紧跟两个不同的方面,本文认为当车头时距处于2~5 s时,跟驰车处于这样一个阶段。

不同分辨率交通仿真模型如表1所示。

表1 不同分辨率交通仿真模型

Tab. 1 Traffic simulation models of different resolutions

模型	多分辨率仿真模型			模型特点
	微观	中观	宏观	
车路协同控制模型	单个车辆实体模型	车路协同应用场景模型,按队列驱动。包括:跟驰模型、换道模型/排队模型、动态分配模型等应用模型	将车辆拟为流体或气体。以宏观交通流特性描述系统	根据需求可动态改变对象,整合不同分辨率模型的一致性维护模型

3 信息模型聚合解聚研究

与多分辨率建模密切相关的问题是模型的聚合与解聚,如图5所示。模型的聚合是指在满足平滑一致性的条件下,从高分辨率的细粒度模型到低分辨率的粗粒度模型的转化过程,解聚则是相反的过程。通过模型的聚合和解聚过程,同一对象的不同分辨率模型能够为人们提供具有一致性和连贯性的信息和决策依据。

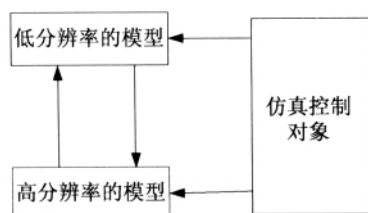


图5 聚合与解聚

Fig. 5 Aggregation and disaggregation

车路协同仿真系统中模型的聚合主要包括高分辨率的车辆实体聚合为中分辨率下的跟驰单元,高分辨率下的车辆实体和中分辨率下的跟驰单元共同聚合为低分辨率下的交通流模型。

在车路协同仿真框架下,高分辨率模型中,路侧设备实时获得来自于交通仿真模块(Paramics)的管辖区域内的车辆行驶状态信息,如表2所示。

其中车辆类型信息包括独一无二的车辆ID以及车辆类型,说明了该车辆是小汽车、公共汽车或者是货车,车辆位置包括车辆的经纬度以及所在车道,车辆状态信息包括车辆速度、加速度,附属信息包括与前车距离、前后车ID以及目的地。

当车辆与前导车的车头时距小于5 s行驶于普通路段(直道、弯道)的同一车道时,进行聚合过程,路侧设备将该跟驰场景下的车辆聚合为跟驰单元。在跟驰单元行驶过程中,当与前车或者后车的车头时距小于5 s时,将合并为一个跟驰

单元,车辆的聚合过程如图6所示。

表2 高分辨率下车辆行驶状态信息

Tab.2 Driving status information of vehicles under high resolution

属性	数据类型
sim_time	float
vehicle_id	unsigned short
Veh_type	unsigned short
lane	Int
Latitude	float
Longitude	float
velocity	float
Acceleration	float
Headlights	unsigned short
preceding_veh	unsigned short
following_veh	unsigned short
destination	unsigned short

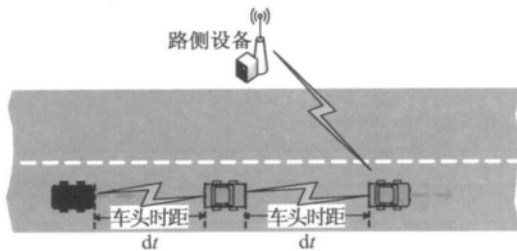


图6 车辆的聚合过程

Fig.6 Aggregation process of vehicle

在图6中,当车辆A与跟驰单元B的车头时距小于5s时,车辆A与跟驰单元B将会合并形成新的跟驰单元。中分辨率下的跟驰单元的运行状态信息如表3所示。

表3 中分辨率下跟驰单元的运行状态信息

Tab.3 Driving status information of vehicles under middle resolution

属性	数据类型
sim_time	float
CarFollow_id	unsigned short
CarFollow_Len	unsigned short
CarFollow_Num	unsigned short
lane	Int
Latitude	float
Longitude	float
velocity	float
Acceleration	float
Headlights	unsigned short
preceding_veh	unsigned short
following_veh	unsigned short
destination	unsigned short

其中跟驰单元信息包括独一无二的跟驰单

元ID、跟驰单元长度信息以及跟驰单元中车辆数量信息,其他信息与高分辨率下车辆行驶状态信息一致。

中分辨率下跟驰单元内部车辆间的车/车通信将被忽略,跟驰单元内部所有车辆将按照同一速度行驶,车车间距同为一固定值。车/地通信中跟驰单元将按照一个个体以新的独一无二的ID与路侧设备进行信息交互。

当中分辨率下跟驰单元中某车辆换道、与前后车辆间的车头时距大于5s时,跟驰单元解聚为两个车辆或者跟驰单元。跟驰场景下的聚合解聚过程如图7所示。

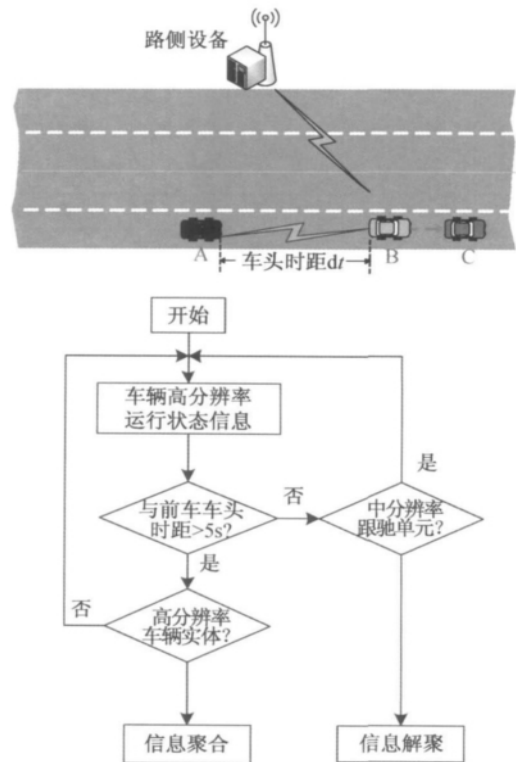


图7 跟驰场景下的聚合解聚过程

Fig.7 Aggregation and disaggregation process in car following scenario

高分辨率下的车辆信息以及中分辨率下的跟驰单元信息聚合为路侧设备管辖区域内的交通流统计信息。

根据交通流的特性,即交通流量、平均速度和交通密度三个参数之间的关系式为

$$Q = vK$$

$v = \frac{\sum_{i=0}^j v_i}{j}$ 为路侧设备管辖范围内所有车辆的平均车速 (km/h), 其中 j 为路侧设备管辖范围内的车辆总数。

$K = \frac{j}{l}$ 为平均密度 (辆/km), 其中 l 为路侧设备管辖范围的长度。

4 基于遗传算法的控制区域解聚研究

对于车路协同系统来说, 由于其结构复杂, 变量和仿真个体较多, 且仿真实体间信息交互频繁, 因此从车路协同系统仿真和优化控制的需要出发, 本文基于车路协同系统仿真框架, 针对车路协同仿真系统中动态控制区域展开多分辨率研究。

4.1 基于多分辨率模型的路段关联度分析

道路网络关联性的本质是交通流路径的关联性。路段关联度综合考虑相邻交叉口间路段交通量及交叉口信号配时参数对相邻交叉口关联性弱弱的不同影响, 是控制交通小区解聚的必要基础参数。

综合考虑相邻路侧设备间距、路段交通量对相邻路侧设备关联性强弱的不同影响, 本文采用相邻路侧设备间的交通量关联度来表示路侧设备之间能够或需要进行协调控制的需求程度。交通量关联度越大, 则对协调控制的需求程度越高。

4.1.1 高分辨率交通波排队

如图8所示, 假设有一个交通波以速度 u_w 沿车道向右传播。波阵面 S 左边交通流密度为 k_1 、速度为 u_1 , 波阵面右边交通流密度为 k_2 、速度为 u_2 , 根据交通流量守恒可以推理得交通波基本方程:

$$u_w = (q_2 - q_1) / (k_2 - k_1) \quad (2)$$

根据格林希尔的速度-密度线性关系:

$$u = u_f (1 - k/k_j) \quad (3)$$

式中: u 为车速 (m/s); u_f 为自由流车速 (m/s); k 为堵塞密度 (veh/m); 引入标准化密度 η , 记 $\eta_i = k_i/k_j$, 代入上式, 得到标准化密度表示的波速公式:

$$u_w = u_f [1 - (\eta_1 + \eta_2)] \quad (4)$$

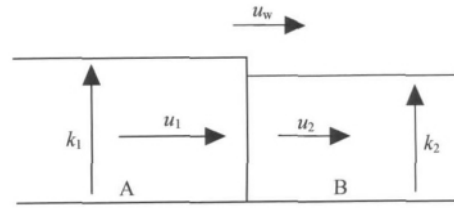


图8 两种密度下车辆运行示意图

Fig. 8 Vehicle driving in two densities

考察一列停在信号灯交叉口入口停车线后的车队, 当信号变为绿灯的情况。此时, 车队中的头车开始启动, 于是就有一个象征发车的交通波从前向后传播。设车队初始速度为 0, 密度为 k_j , 标准化密度为 1, 波传过后, 速度变为 u_2 , 密度变为 k_2 , 标准化密度变为 k_2/k_j 。则由式(3)得

$$u_w = -(u_f - u_2) \quad (5)$$

u_2 是刚启动时的车速, 其值很小, 近似计算中可以忽略不计。于是发车产生的交通波可以近似认为以 u_f 的速度沿车队从前向后传播, 负号表示波的传播方向与车队行驶方向相反, 表明车辆消散, 即 $u_w = -u_f$ 。

在 $t = t_g$ 时刻交叉口 n 信号由红灯变为绿灯, 排队停留的车队长度为 $u_f \eta_1 t_g$, 启动波以速度 u_f 沿交叉口 n 排队车辆从前向后传播, 排队车辆以 u 的速度通过交叉口 n , 波传过后车队密度记为 k_1 , 设 t_d 为排队车辆完全消散时间 (即车队开始启动) 则有:

$$t_d = t_g \eta_1 / (1 - \eta_1) \quad (6)$$

则排队停留的车队平均消散时间为:

$$t_a = t_d / 2 = t_g \eta_1 / 2(1 - \eta_1) \quad (7)$$

高分辨率下的车辆信息以及中分辨率下的车队单元信息聚合为路侧设备管辖区域内的低分辨率交通流统计信息。

4.1.2 低分辨率平均行驶时间

根据交通流的特性, 即交通流量、平均速度和交通密度三个参数之间的关系式为

$$Q = vK \quad (8)$$

$v = \frac{\sum_{i=0}^j v_i}{j}$ 为路侧设备管辖范围内所有车辆的

平均车速(km/h) ,其中 j 为路侧设备管辖范围内的车辆总数。

$K = \frac{j}{l}$ 为平均密度(辆/km) ,其中 l 为路侧设备管辖范围的长度。

$t_r = \frac{l}{v}$ 为该路段上车辆平均行驶时间。

对于一个由 n 个交叉口 $I_1, I_2, \dots, I_{n-1}, I_n$ 与 m 条相连路段 $R_1, R_2, \dots, R_{m-1}, R_m$ 组成的连通性控制区域。对于从上游交叉口 I_1 到下游交叉口 I_2 方向,交叉口 I_1 与交叉口 I_2 之间的交通量关联度定义为:

$$D_{(I_1 \rightarrow I_2)} = \frac{(N_{q(I_1 \rightarrow I_2)} t_a + N_{A(I_1 \rightarrow I_2)} t_r) L_c}{n_{(I_1 \rightarrow I_2)} L_{r(I_1 \rightarrow I_2)} t_c} \quad (9)$$

式中: $D_{(I_1 \rightarrow I_2)}$ 为 $I_1 \rightarrow I_2$ 方向的路段交通量关联度; $N_{q(I_1 \rightarrow I_2)}$ 为 $I_1 \rightarrow I_2$ 方向路段上已存在的排队车辆数; t_a 为车队平均排队时间; $N_{A(I_1 \rightarrow I_2)}$ 为 $I_1 \rightarrow I_2$ 方向路段上来自上游交叉口的车辆数目的总和; t_r 为路段上车辆平均行驶时间; L_c 为平均车辆长度; $n_{(I_1 \rightarrow I_2)}$ 为 $I_1 \rightarrow I_2$ 方向路段上的关联车流占用车道数; $L_{r(I_1 \rightarrow I_2)}$ 为 $I_1 \rightarrow I_2$ 方向路段车道总长度; t_c 为 I_2 游交叉口的绿灯时间。

4.2 基于遗传算法的控制区域解聚

控制区域动态解聚是根据控制区域内路侧交叉口与相连路段的空间几何特征和动态交通流特性,运用关联性分析方法、最优化理论以及计算机技术,将整个控制区域合理解聚为若干个控制子区,通过子区内与子区间的协调控制设计实现区域最佳协调控制效果。与此同时,随着路网交通状况的实时变化,控制区域内的子区解聚方式与协调控制策略需要做出相应调整,以适应路网交通流量的快速变化。因此本文通过已经建立的基于关联度分析模型,设计一套能快速动态解聚控制子区的智能优化方法,以分析不同分辨率下的子系统和不同模式的数据交互信息及其耦合关系。

4.2.1 协调控制子区快速动态解聚

遗传算法作为一种自适应全局优化概率搜索方法,具有应用范围广、鲁棒性强、执行效率高、学习能力好、隐并行性显著等特点,可适用于对控制子区解聚方案的快速优化求解。根据控

制子区解聚模型与解聚方法的特点,通过将相连路段关联属性定义为基因、控制子区解聚方案定义为染色体、方案评价指标函数映射变换为适应度函数,运用子区划分层扩散算法并参照遗传算法处理流程,可以设计出一类基于遗传算法的控制子区快速动态解聚算法。

算法设计思路如下:

(1) 采用子区解聚的路段总关联度,作为最优解。

(2) 变异方法为随机路段关联度举证中两点 i, j 的交互位置法。随机两点交互足以产生新的模式样本。较大地提高变异率就会产生大量的新样本,全局最优样本出现的概率随之提高。

(3) 当相邻交叉口 I_x 与交叉口 I_y 之间的关联度 $D_{(I_x, I_y)}$ 小于等于相邻交叉口分离阈值 D_{TNS} 时,交叉口 I_x 与交叉口 I_y 将无条件分离在不同控制子区。

(4) 当交叉口 I_x 与交叉口 I_y 之间的关联度 $D_{(I_x, I_y)}$ 大于等于相邻交叉口合并阈值 D_{TNC} 时,交叉口 I_x 与交叉口 I_y 将无条件合并在同一控制子区。

(5) 控制子区组合关联度 D_A 应大于分离阈值 D_{TMS} 。

4.2.2 模型解聚实现

本文运用 Paramics 微观交通仿真软件构建廊坊市某区域部分实际路网实现车路协同场景,包括 9 个交叉口 I_A, I_B, \dots, I_I 与 12 条相连路段 $R_{AB}, R_{BC}, \dots, R_{HI}$ (图 9)。

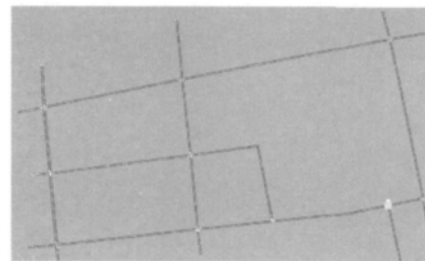


图 9 Paramics 路网建模区域图

Fig. 9 Road network modeling in Paramics

经过计算,控制区域路网结构与各个路段交通量关联度大小如式(10)所示。

$$\begin{bmatrix}
 1.00 & 0.14 & 0 & 0.20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0.14 & 1.00 & 0.25 & 0 & 0.56 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0.25 & 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.67 \\
 0.20 & 0 & 0 & 1.00 & 0.83 & 0.48 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0.56 & 0 & 0.83 & 1.00 & 0 & 0.45 & 0.38 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0.48 & 0 & 1.00 & 0.57 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0.45 & 0.57 & 1.00 & 0.34 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0.38 & 0 & 0.34 & 1.00 & 0.32 \\
 0 & 0 & 0.67 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.32 & 1.00
 \end{bmatrix} \quad (10)$$

根据多次试算,确定遗传算法中的各控制参数设置如下:种群规模 $N=50$,最佳个体保留个数 $n_r=5$,交叉概率 $p_c=0.9$,变异概率 $p_m=0.1$,最大进化代数 $l_{\max}=100$ 。

使用遗传算法进行控制子区解聚的运算过程如图 10 所示,其中横坐标表示进化代数,纵坐标表示各代种群中最优个体对应方案的评价指标。

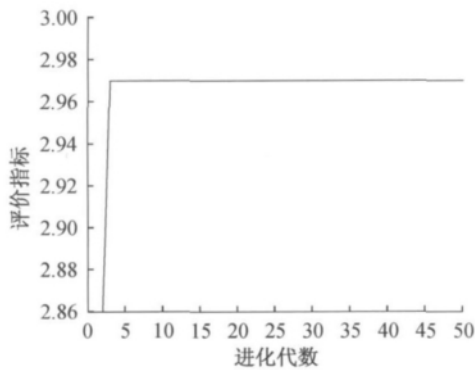


图 10 遗传算法进化速度曲线

Fig. 10 Evolution speed curve of GA

在此利用遗传算法对上述算例进行了 10 次模拟计算,结果一致表示算法获得最优解。

动态控制子区能显示子区内的路侧设备状态信息,并能对子区内的路侧设备进行协调控制。动态控制子区可以解聚为控制子区内指定的路侧设备,进一步显示路侧设备与外部其他实体间的详细信息交互内容(图 11)。

本文将基于遗传算法的动态控制子区解聚方法应用于构建的仿真路网中,并通过 Paramics 仿真软件进行了仿真。在基于遗传算法的动态控制子区的控制下,各个路段的平均延误时间如

图 12 所示,结果显示解聚后的各个路段平均延误时间为 5.70 s,小于解聚前的 11.03 s,表明本文提出的基于多分辨率模型的路段关联度为优化目标的遗传算法的动态控制子区解聚方法能够较好兼顾考虑车辆排队长度和路口通行能力,是协调区域内的车辆平均延误有明显的减小。

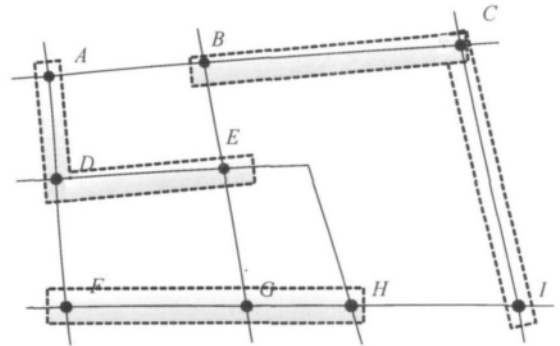


图 11 动态控制子区解聚方法在某一仿真时刻的解聚结果

Fig. 11 Dynamic control subareas division at certain simulation time

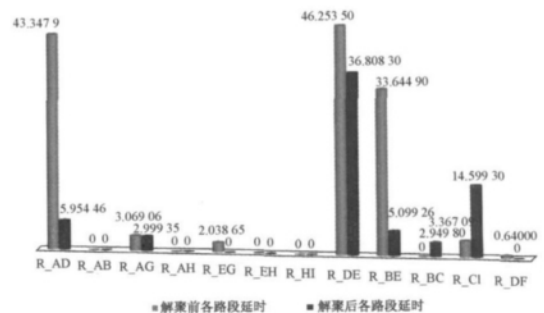


图 12 基于遗传算法的动态控制子区下的各个路段平均延误时间

Fig. 12 Link delay before and after subareas dynamic division

通过分析车路协同系统多分辨率层次需求,从高分辨率及中分辨率下的车队排队时间延误、低分辨率下路段平均行驶时间建立完整的路段关联度体系,可以从多层次、不同分辨率对车路协同系统中路段间关联度进行更加准确的描述。运用遗传算法以控制子区内路径关联度之和为最优,在其他解聚策略为约束条件动态对交通区域进行控制子区解聚控制。

5 结 语

本文构建了交通流信息、多车与地面设备间的信息交互、单车的车车、车路信息交互构建了车路协同系统三种分辨率模型以及基于 HLA 的车路协同系统仿真框架;通过分析高分辨率下的车队排队时间延误、低分辨率下路段平均行驶时间建立路段多分辨率关联度体系,可以从多层次、不同分辨率对车路协同系统中路段间关联度进行更加准确的描述;结合遗传算法将车路协同系统解聚为动态控制区域,结果显示能有效减少协调区域内的平均延误时间,实现区域最佳协调控制效果。本文研究内容可以从多层次、不同分辨率更加准确地描述了车路协同系统中路段间关联度,运用遗传算法可以获得更好的动态控制子区划分结果。本文的下一步工作将深化多分辨率理论应用于更多车路协同应用场景中,对于应用模型仿真过程中的模型间的一致性问题进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘宝宏,黄柯棣. 多分辨率建模的研究现状与发展[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6): 1150-1154.
LIU Baohong, HUANG Kedi. Formal description specification for multi-resolution modeling (MRM) based on DEVS formalism [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(6): 1150-1154.
- [2] 隽志才. 交通系统建模与仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
JUN Zhicai. Modeling and simulation of transportation system [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [3] 孙健,黄玮南. 交通系统多分辨率仿真框架研究. 中国科技论文在线 [R/OL]. 2009. <http://www.paper.edu.cn>.
SUN Jian, HUANG Weinan. Research of MRM framework of transportation system. Chinese Science and Technology Papers Online [R/OL]. 2009. <http://www.paper.edu.cn>.
- [4] 卢凯,徐建闽,郑淑鉴,等. 协调控制子区快速动态划分方法研究[J]. 自动化学报, 2012, 38(2): 279-286.
LU Kai, XU Jianmin, ZHENG Shujian, et al. Research on fast dynamic division method of coordinated control subarea [J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(2): 279-286.
- [5] Anderson R E, Hicks C. Highlights of contemporary microsimulation [J]. Social Science Computer Review, 2011, 29(1): 3-8.
- [6] 蔡伯根,刘大为,上官伟,等. 基于多分辨率建模方法的 CTCS-3 级列控系统仿真技术[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(4): 105-111.
CAI Baigen, LIU Dawei, SHANGGUAN Wei, et al. MR-based simulation technology of CTCS-3 train control system [J]. China Railway Science, 2010, 31(4): 105-111.



张 含 女(1987-), 河北石家庄人, 硕士生, 主要研究方向为交通信息工程及控制。



蔡伯根 男(1966-), 江苏如皋人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能交通系统。