

面向实时路况的云端调度算法研究*

陈磊¹, 蔡铭², 戴赞²

(1. 浙江大学医学院附属第一医院, 杭州 310003; 2. 浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘要: 针对现有的出行信息服务系统存在实时路况数据源不足、可视化感知手段缺乏、交互协作能力薄弱等问题, 通过提升信息分享“端”的路况实景获取能力及信息分发“云”端的智能调度能力, 设计了一种面向实时路况移动感知的出行信息服务系统交互模型 MMTIS, 以及基于“云”端调度模型的实现算法, 进行了仿真实验及移动终端样机测试, 研制完成了一套出行信息服务平台, 并开展了应用推广。

关键词: 出行信息服务; 实时路况信息; 可视化感知; 云端调度

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3629-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.029

Research of cloud scheduling algorithm for traffic information

CHEN Lei¹, CAI Ming¹, DAI Yun²

(1. The First Affiliated Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310003, China; 2. College of Computer Science & Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: To solve the lack of real-time traffic information source, visual sensing and interaction ability, this paper proposed a novel model of traveler information system—MMTIS, based on mutual interaction between cloud scheduling and intelligent terminal sensing. It mainly focused on the research of cloud scheduling algorithm, combined with simulation and model machine testing. This paper presented a traveler information system based on MMTIS, along with the industrialization case study.

Key words: traveler information system; real-time traffic information; visual sensing technology; cloud scheduling

0 引言

随着城市的快速发展,路网通行能力越来越无法满足需求,交通拥堵、交通事故频发、环境污染加剧已成为严重的城市病。据统计,中国目前百万人口以上的15个城市,居民平均单行上班时间比欧洲多消耗12分钟,合计4.8亿小时,每天约折合损失近10亿元。

智能交通系统是有效缓解上述城市发展瓶颈的技术手段之一,其中,出行信息服务系统(traveler information system, TIS)通过提供实时、直观、便利的出行支持服务,可以有效改善道路通行状况,提高交通系统的运行效率和服务优化水平,因而成为当前智慧城市及智能交通领域的研究和应用热点。

IBM提出的智能交通成熟度模型ITMM(intelligent transport maturity model)^[1]中,将出行信息服务成熟度划分为五个等级,由低至高分别为:第1级,静态交通信息发布;第2级,少量实时交通信息发布;第3级,多信道的交通信息发布;第4级,多模式、位置相关交通信息发布;第5级,多模式、位置相关交通信息主动推送。出行信息服务成熟度越高,则实时路况采集与感知、信息分发与互动,以及个性化互助诱导能力越强。目前,世界智能交通先进城市可达到第3级服务水平。

现有的实时路况采集与感知方法,一般存在两种技术途径:a)采用各种测流设备获取交通流量,包括磁感应线圈、视

频检测、超声波检测、微波检测、红外线检测、激光检测、地磁检测等;b)采用浮动车作为路况采集样本,统计获得交通流信息。

实时路况信息分发主要采用如下协议:a)RDS-TMC(traffic message channel)^[2]服务通过调频广播发送实时路况信息,包括交通拥堵、交通事故,以及事故发生地点与时间等信息;b)TPEG(traffic protocol experts group)^[3]是面向高速网络带宽的交通信息发布协议,可通过互联网、数字电视等网络媒体发布交通事件、交通拥堵、停车信息等;c)车辆信息与通信系统(vehicle information and communication system, VICS)^[4]可通过调频广播、射频信号发射器等手段,实时发送路况拥堵、交通管制及停车位信息。

总体而言,目前的实时路况采集、分发及分享技术,仍存在如下局限性:a)实时路况检测与采集区域,相对固定、局限,覆盖面欠丰富;b)实时路况采集样本量不足,统计分析存在偏差,无法全面、准确地反映路况拥堵实情;c)以采集与分发交通流量信息为主,缺乏对路况实景、路况视频等更为直观的可视化感知与分发手段;d)实时路况采集与分享节点间的交互,以广播群发或请求—分发方式为主,缺乏有效的命令应答、信息反馈,以及协同互助机制的引入。

为此,需要研究移动式的实时路况可视化感知、无线分发,并提供有效互动与反馈机制的技术手段,实现与现有的实时路况信息采集与发布方法互补。随着3G等无线网络带宽提升,

收稿日期: 2013-03-01; **修回日期:** 2013-04-15 **基金项目:** IBM大学共享研究项目;杭州市重大科技创新专项资助项目(20072313A02)

作者简介: 陈磊(1976-),女,信息工程师,硕士,主要研究方向为移动互联网、移动终端应用(smile_chenl@163.com);蔡铭,男,副教授,博士,主要研究方向为智能交通、移动互联网、实时操作系统;戴赞,女,硕士研究生,主要研究方向为电子地图、GIS、移动终端。

通信成本资费降低,采集、分发、推送路况实景等非结构化交通信息已成为可能。

本文从分析现有出行信息服务系统的交互模型入手,通过提升路况信息分享“端”的可视化感知能力及路况信息分发“云”端的智能调度能力,建立了一种新的交互模型,并重点研究了“云”端调度模型及实现算法,进行了仿真实验及终端样机测试。

1 系统交互模型与云端调度模型定义

1.1 系统交互模型设计

现有的出行信息服务系统中,实时路况信息采集、分发及分享主要采用如下交互手段,如图1所示。

a)集中式交互。信息采集节点获取的实时路况信息集中存放于信息分发节点进行分析计算^[5],采用广播或基于C/S的请求一分发方式,将信息发送给需求方。

b)分布式交互。采用P2P的车用自组网技术^[6,7],通过车辆节点之间,或节点与路边站之间自组织无线多跳通信,为出行者提供实时紧急交通信息和交通诱导信息。

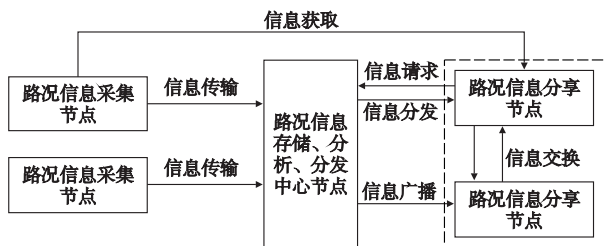


图1 现有的出行信息服务系统交互模型示意图

通过分析图1中的路况信息分享节点,可以将获取路况信息的设备划分为两大类:

a)路况信息分享I型节点。具有可移动、自定位、行车导航、接口易扩展能力的设备,如各类车载导航设备、智能手机等。

b)路况信息分享II型节点:位置固定、无定位功能的设备,如交通情报板、实时路况发布屏、交通信息发布网站等。

路况信息分享II型节点设备,仅作为实时路况接收终端之用;而路况信息分享I型节点设备是具有自定位及移动通信能力的智能终端,并伴随出行者行驶于道路网中。据此,本文考虑对该类设备扩展摄像头并进行控制,使其具有路况实景采集能力,并通过3G无线网络与其他节点设备分享实时路况,其效果等同于将出行者1的当前视线与出行者n分享,从而提供一种移动式、互助式、可视化的实时路况服务。

然而,如何控制I型设备进行有效的实时路况采集,存在如下的空间及时间约束难点:

a)城市路网结构复杂,尤其江南地区的道路折线、弯曲多,如何选取道路中较佳的视野拍摄点,获取、采集实时路况实景图片、视频等,是一个空间约束问题。

b)对于多名途径同一路段的出行者,如何避免在相近时间段内采集大量重复的路况实景,降低采集通信成本,是一个时间约束问题。

解决上述问题,仅依靠提升移动设备终端功能将限于局部范围,而对道路网络开展全局调度与优化处理,将可以较好地协调各移动终端采集行为,并优化实时路况感知的时空约束。

据此,本文提出一种面向实时路况移动感知的出行信息服务系统交互模型(mutual model for traveler information system, MMTIS),其结构如图2所示。

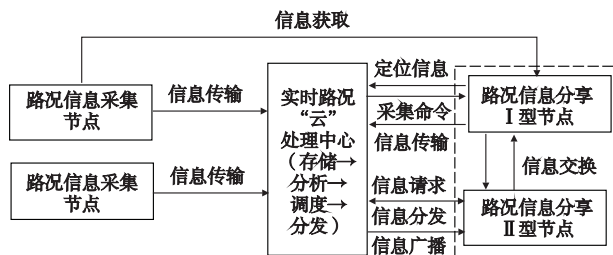


图2 MMTIS模型示意图

在MMTIS模型中,对传统的出行信息服务系统交互模型有如下改进:

a)将路况信息分享节点细分为I型和II型,其中,对I型节点设备加入其对路况的可视化感知功能,使其成为移动式的路况实景获取节点,可以提供路况数据源。

b)将路况信息分发节点升级为“云”处理中心,赋予其对I型节点设备的位置感知、实时路况采集与否判断、路况采集调度命令生成与下发、路况实景信息存储等功能。

c)“云”处理中心与I型节点设备交互增强,包括设备报告当前所在位置、路况实景采集点位命令下发、路况实景采集结果上载等。

实时路况“云”处理中心在MMTIS模型中处于核心地位,掌控并维护了道路网络全局信息,具有资源配置与调度、采集命令生成与下发、采集结果存储及资源更新等重要功能,移动终端则负责及时报告当前位置、执行采集命令,并上传采集结果等功能。因而,“云”调度模型及实现算法是实现MMTIS模型的关键,下文将重点对其开展研究。

1.2 云端调度模型描述

在给出云端调度算法之前,首先对云端调度模型相关概念及约束作形式化定义。

定义1 道路网络。一个道路网络可以表示为无向图 $G=(N,E)$,其中 N 是节点的集合, E 是边的集合。

定义2 路段。一个路段可以表示为 $l=(n,e,n_s,n_e,r,w)$,其中, $n \in N$,是道路网络 G 中节点 N 的子集; $e \in E$,是道路网络 G 中连通的有序集合; n_s 为路段起始节点; n_e 为路段终止节点; r 为路段编号; w 为路段等级,分为快速路、主干路、次干路、支路共四个等级; L 是一个道路网络 G 中所有路段 l 的集合,即 $l(l \in L)$ 。

定义3 采集点位。采集点位是路段中用于获取路况实景的一个节点,可以表示为 $c=(l,pos)$,其中, c 位于路段 l 中的边 $e(e \in E)$ 上; pos 是该采集点与路段 l 终止节点 n_e 之间的网络距离^[11]; C 是一个路段 l 中所有采集点位的集合,即 $c(c \in C)$ 。采集点位用于云端调度采集命令中指定一个路段中唯一确定的一个路况信息采集位置。

定义4 云端调度模型。云端调度模型可以表示为 $S=(G,R,C,F)$ 。其中: G 是云端可调度的道路网络; R 是移动终端进入新路段后上传至云端的路段编号集合; C 是云端针对路段编号 R ,调度生成的实时路况采集点位集合; F 是移动终端执行调度命令后采集上传的实时路况信息集合。

云端调度模型定义了移动终端与云端服务器之间的基本

交互单元,共包括三类交互:a)移动终端进入新路段时提供当前路段编号的定位信息;b)基于调度策略,云端生成并下发包含当前路段采集点位的路况采集命令;c)移动终端执行采集命令,并将实时路况信息上载至云端。

约束(路况采集命令的时间有效性约束):云端调度模型中路况采集命令具有一定的时间有效性约束,需满足 $T_L + T_s \ll T_v$ 。其中: T_L 为移动终端上传定位信息时间, T_s 为云端生成并下发该路段采集命令时间, $(T_L + T_s)$ 反映了采集命令的响应时间; T_v 为移动终端在同一路段的滞留时间。该约束表明,只有当车辆在一个路段的行驶时间远大于采集命令的响应时间,采集命令才有效;否则,由于车辆已错过采集点位,或者已进入新路段,而无法正确执行采集命令。据此,需要对道路网络 G 中的小路段进行精简,以满足时间有效性约束。

总体而言,云端调度模型基于道路网络,以路段为单位,在采集点位布局和时间有效性约束下,通过云端与移动终端之间的信息交互以及云端调度策略,实现了对路况的移动感知。

2 云端调度算法实现

根据云端调度模型,将实现算法划分为离线预计算与云端在线调度两部分实现,以提高系统执行效率。

2.1 离线预计算

离线预计算主要完成对道路网络的预处理工作,包括路段精简、采集点位生成、采集点位去重等工作。

a)根据云端调度模型的时间有效性约束,对道路网络中的路段进行精简,去除无法满足时间约束的短小路段;b)针对路段存在折线、弯曲等情况,对路段形态进行分析、过滤和提取特征点,并结合平坦路段的均分策略,确定路段中较佳的采集点位集合;c)根据获取的其他路况资源(如固定摄像、固定视频采集点等),对上述生成的采集点位进行去重处理;d)为每个路段配置实时路况信息采集阈值,供云端在线调度算法使用,以避免同一时间段采集大量重复信息。

经过上述离线预计算得到的数据,将有助于云端在线调度算法快速获取较佳的路网采集点位分布,提高路况采集命令有效性,并避免过多的重复信息采集。

对路段形态的特征点提取采用 Douglas-Peucke 算法^[8,9],其实质是一种折线的拓扑保持算法,基本思想为:对每一条折线的始末两节点虚连一条直线,求其间所有节点到直线的距离,并找到最大距离值 $d_{\max}$,将 $d_{\max}$ 与限差 D 相比:

a)若 $d_{\max} < D$,这条折线上的中间点全部舍去;

b)若 $d_{\max} > D$,保留 $d_{\max}$ 对应的坐标点,并以该节点为界,将折线分为两部分,对这两部分递归使用该算法。

限差 D 为经验值, D 越小,对路段形态特征提取越精细,需根据实验分析设定。

离线预计算在整个算法应用过程中只需执行一次。下面给出离线预计算法。

算法1 离线预计算法

输入:路段集合 L 。

输出:路段采集表 RST(road sensing table)。

a)对路段集合 L 进行精简,去除不满足时间约束的短小路段。

b)采用 Douglas-Peucke 算法抽取每个路段 $l(l \in L)$ 的特征点,保留路段基本形态。

c)步骤 b)中,若相邻特征点相距过长,根据路段等级,采用均分策略,补充追加采集点位分布。

d)对步骤 c)获得的采集点位进行过滤,去除与固定采集点的重复点位,并存入 C 中。

e)根据路段等级,配置各路段 $l(l \in L)$ 的采集阈值,并与路段采集点位一并存入路段采集表 RST。

其中,RST 表包含如下信息:a)路段编号 r ;b)采集点位集合 $\text{dist}[\text{num}]$, num 为该路段的采集点位数量;c)采集点位阈值 $\text{threshold}[\text{num}]$,每一个元素值代表该采集点位需采集的路况信息数量;d)信息采集状态 $\text{exist}[\text{num}]$,每一个元素值代表该采集点位已采集的有效信息及时间戳。

2.2 云端在线调度

在线调度部分,通过设计云端服务器与移动终端的交互协议,结合路况采集调度及状态更新策略,实现云端对终端路况采集行为的远程、动态调度,主要工作包括:终端定位信息采集与判定、路况采集命令生成与下发、路况采集信息接收与存储、路况采集状态更新等。

云端在线调度的工作原理及交互设计如图3所示,相关描述如下:

当一个移动终端进入新路段后,将向云端报告当前所在的路段编号;云端根据路段编号查询路段采集表 RST,确定采集点位的信息是否饱和;提取未饱和的采集点位,组装形成采集命令并下发至终端;终端接收采集命令后,根据采集点位信息,自主采集实时路况信息并上载至云端;云端接收、存储终端的上传信息,并更新路段采集表状态。

此外,为确保信息采集的新鲜度及时效性,云端负责周期性维护路段采集表状态,将时间过长的信息转移至备份区作为历史数据备查,并置路段采集表状态失效,以便及时调度终端,采集新的实时路况信息。

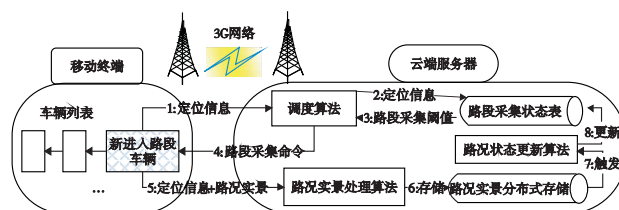


图3 在线调度算法运行示意图

算法2 云端在线调度算法

输入:路段编号 r ,路段采集表 RST。

输出:路况采集命令。

a)当移动终端进入一个新路段时,发送路段编号 r 至云端服务器。

b)云端根据路段编号 r 查询 RST 表入口,遍历该路段的采集状态及阈值信息。

c)计算该路段每个采集点位尚需的信息数量, $\text{need}[i] = \text{threshold}[i] - \text{exist}[i]$,若 $\text{need}[i] > 0$,则将该点位信息加入采集命令缓冲区。

d)若采集命令缓冲区不为空,则将采集命令缓冲区内容组装形成采集命令格式,下发至终端执行;否则,回应终端“无须采集”。

e)终端接收采集命令后,将不再发送相同的路段编号给云端,并在指定的采集点位自主采集路况信息,附加采集点位后上载至云端服务器。

f)云端存储终端的采集结果信息,附加时间戳,并更新路段采集表状态。

由在线调度过程可以看到,云端及终端需具有相同的道路

网络视图,基于一致的路段编号、采集点位等信息,可以确保车辆定位、采集命令及结果存储的准确执行。此外,在调度过程中,云端与终端配合、交互密切,云端负责调度所有终端的采集行为、结果存储及时效保证,终端具有智能性,可以发送当前定位、执行采集命令,并上传采集结果,从而在一定程度上降低云端工作压力及网络通信开销。

2.3 仿真实验

云端调度算法仿真实验针对杭州地区路网结构展开,分为离线预计算及在线调度模拟两个部分。地图数据基于易图通 2.2.4 版本(2010 年),杭州地区道路网络共包含节点 458 776 个,路段 71 693 个。

离线预计算处理过程如下:

1) 根据调度模型时间约束,进行道路网络数据精简

设平均车速 V 为 30 km/h,采集命令响应时间($T_L + T_S$)为 0.5 s,若要满足 $T_L + T_S \ll T_V$,则移动终端在一个路段上的行驶时间 T_V 应至少比采集命令响应时间高一个数量级,即 5 s。据此,可估算需过滤的短小路段长度为 $30 \times 1000 / 3600 \times 5 = 41.67 \approx 40$ m。因而,可以精简道路网络数据中不足 40 m 的路段,约占路段总数的 15%,如图 4 所示。

2) 确定 Douglas-Peucke 算法限差 D ,提取路段形态特征点

针对杭州道路的弯曲情况,对不同限差 D 进行实验分析,发现限差 D 取值在 3~10 个像素之间较为合理。图 5 截取了杭州市曙光路的局部,限差 D 分别为 3 像素、8 像素和 10 像素时的特征点提取情况。经过实验比较分析,确定限差 D 为 8 个像素,能较好地提取出路段的各类关键特征点。

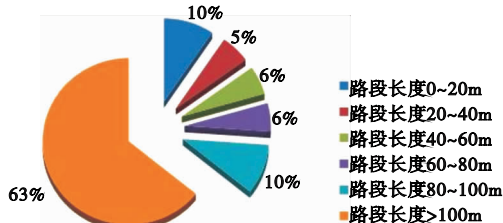


图4 杭州各路段长度分布比例示意图



图5 不同限差 D 值的采集点分布情况

3) 采用均分策略增加采集点位,并剔除重复采集点位

针对较为平坦路段采集点位不足的情况,采用均分策略补充采集点位,使得相距较远的两个采集点之间不会出现采集盲区。进而,考虑到杭州市已部署固定视频检测点 900 余个,为了避免信息重复采集,对采集点进行去重过滤。经处理,采集点位总计为 6 193 个。图 6 展示了杭州市西湖区部分路段采集点的分布情况,其中,红点表示一个采集点位(见电子版)。

4) 根据路段等级,配置各路段采集阈值,建立路段采集表 RST

根据路段中的四个等级(快速路、主干路、次干路、支路),配置各路段 $l(l \in L)$ 的采集阈值分别为 10、8、6、4,并与上述生

成的路段采集点位一并存入路段采集表 RST 中。

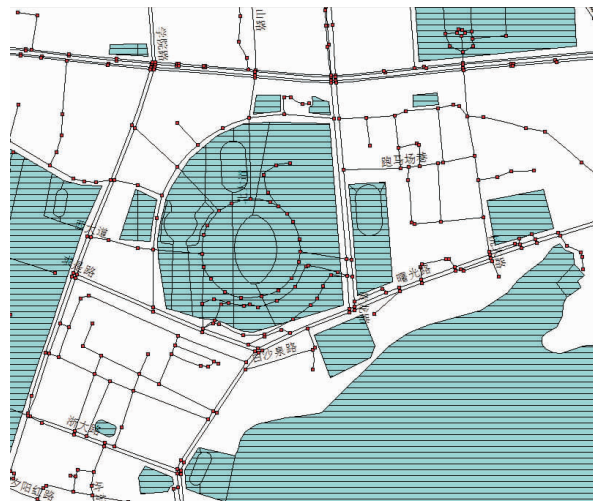


图6 杭州市西湖区采集点分布示意图

完成上述离线预计算工作后,开展在线调度仿真实验。采用课题组自主研制的实时路况采集行为仿真工具 Simulate Tool^[10]进行测试,如图 7 展示了 Simulate Tool 配置、管理多终端并发运行,以及模拟多终端在路段运行的效果。

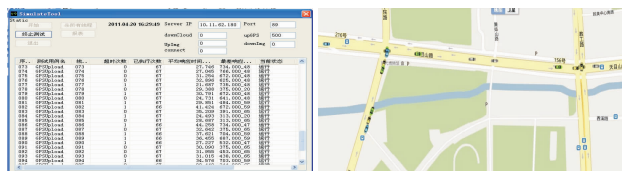


图7 实时路况采集行为仿真工具SimulateTool运行示意图

采用 Simulate Tool 模拟不同数量的移动终端对云端的并发访问及交互,对采集命令的平均响应时间及云端资源消耗情况作了压力测试。测试环境配置如下:CPU Intel Quad 双核 2.33 GHz、内存 4 GB、操作系统 Windows 7。

仿真测试结果如图 8 所示,测试说明如下:

a) 图 8(a) 显示了随着移动终端数量增加,采集命令平均响应时间呈线性增长。以道路网络数据精简实验中假设的采集命令响应时间 0.5 s 为例,可以接受的并发终端数量约为 2 500 个。

b) 图 8(b) 显示了随着移动终端数量增加,云端 CPU 资源消耗不断增长,但当终端数量达到一定值后(约 3 500 个),CPU 利用率增长逐渐趋缓。这是因为随着终端请求的并发量增加,网络通信压力开销已逐渐成为瓶颈,调度处理的执行代价比重相对下降,对照图 8(a),此时采集命令的响应时间迅速增长。

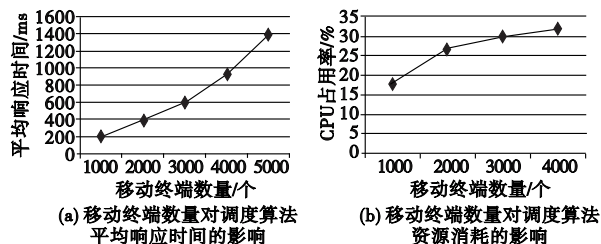


图8 在线调度算法压力测试

总体而言,在仿真实验中,采集点位总数为 6 193 个,当移动终端并发访问数量达到 5 000 个时,调度平均响应时间小于 1.5 s,CPU 利用率低于 50%,因而可以保证实时路况采集工作的正常开展与执行。

3 移动终端样机与系统应用

3.1 移动终端样机

基于本文研究完成的移动终端样机,如图9所示。硬件配置如下:RMI AU1200 开发板、CPU 660 MHz 主频、128 MB 内存、4 GB flash 存储卡、天翼 3G 上网卡、Colorvis 摄像头。软件配置如下:WinCE 6.0 操作系统、易图通电子地图、科大讯飞 TTS。



图9 移动终端样机示意图

采用上述移动终端,与“云”调度算法交互及配合,完成了路况的实地采集实验,通过对移动终端采集图片位置的记录,呈现出的调度算法效果如图10中图标所示。

由图10可知,随着道路的弯曲程度不同,移动终端及时执行了云端调度算法下发的路况采集命令,并在路段的拐点、转折点,以及平坦路段的间隔处均拍摄了路况实景,基本符合调度算法设计思想,取得了较好的路况实景采集效果。



图10 移动终端实时路况采样位置示意图

3.2 出行服务平台系统架构

基于本文提出的出行信息服务系统交互模型MMTIS,课题组联合杭州妙影微电子有限公司,与交警支队、交通局、杭州电信等合作,完成了一套基于“云—端”互动的城市出行信息服务系统——智慧通出行服务平台,并设计了电信套餐产品,在杭州开展了产业化推广应用。

系统采用“一云+三端”的总体架构,如图11所示。

a)以实时交通路况信息数据中心为“云”,接入了杭州市公安局交警支队的路况视频信息、杭州市交通局的浮动车信息、杭州电信的号码百事通信息,通过数据融合、海量存储、负载均衡、高性能并发访问等手段,实现对实时路况数据流的获取、过滤、融合、分析、存储与服务下发。

b)以具有物联感知的车载终端、智能手机,以及Web系统为出行服务的“三端”,其中,车载终端可实现对路况实景的动态采集。通过“云”与“端”基于3G网络的交互,实现路况实景查看、道路云图展现、道路流量显示、热点车辆跟踪、出租车扬招等出行服务功能。智能手机及车载终端的路况实景展现功能示意图如图12所示。

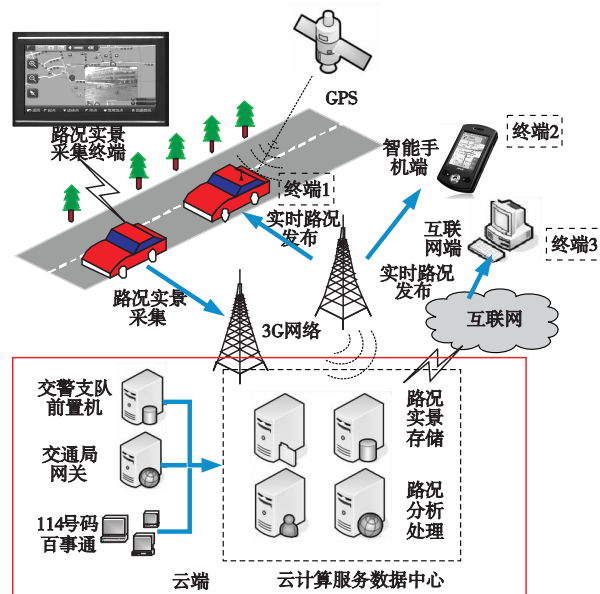


图11 智慧通出行服务平台系统架构



图12 实时路况实景展示示意图

4 结束语

本文在分析现有出行信息服务系统交互模型不足的基础上,通过提升路况信息分享“端”的可视化感知能力,及实时路况信息分发“云”端的智能调度能力,提出了一个新的交互模型MMTIS,重点研究了云端调度模型及实现算法,完成了仿真实验、系统原理样机实验,研制完成了一套基于“云—端”互动的出行信息服务系统,在杭州开展了产业化应用试点。

在城市道路中将会出现很多突发事件,如交通事故、临时管制等。如何将这类动态交通事件补充到采集点列表中,以适应突发事件的路况采集与信息分享,将是下一步的工作重点。

参考文献:

- [1] Intelligent transport: How cities can improve mobility [EB/OL]. <ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/pm/xh/n/gbe03232usen/GBE03232USEN.PDF>.
- [2] ISO 14819-2-2003, Traffic and traveller information (TTI) -TTI messages via traffic message coding part 2: event and information codes for radio data system-traffic message channel (RDS-TMC) [S]. Geneva:ISO, 2003.
- [3] ISO/TS 18234-5-2006, Traffic and travel information (TTI) -TTI via transport protocol expert group (TPEG) data-streams-part 5: public transport information (PTI) application [S]. Geneva:ISO, 2006.
- [4] DICS. Vehicle information and communication system [EB/OL]. <http://www.vics.or.jp/english/vics/index.html>.
- [5] ZHANG Xue-dan, HONG Jun, FAN Shuai, et al. A novel real-time traffic information system based on wireless mesh networks [C]//Proc of International Conference on Intelligent Transportation Systems. 2007:618-623.

(下转第3637页)

$$U_3 = k + (2P_1 - 2m - n)/l - (2z + 2\dot{z} + \ddot{z})/(5l) \quad (20)$$

在这组控制器下,对蔡氏电路进行跟踪仿真,得到图像如图 4~6 所示。

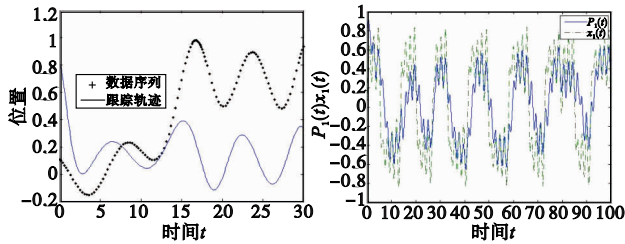


图3 QCNN系统对未知函数关系的非线性序列值跟踪

图4 x信号和跟踪信号

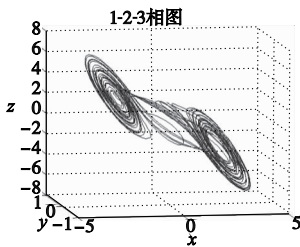


图5 蔡氏电路的三维双涡卷吸引子

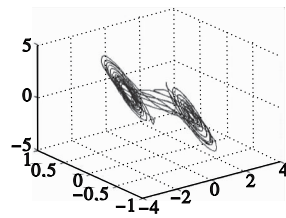


图6 QCNN跟踪所得的三维双涡卷吸引子

由仿真图像可以看出,跟踪系统能很好地实现对蔡氏混沌电路的跟踪。在实际应用时,数学模型中的蔡氏电路四个参数由蔡氏电路的元器件参数综合确定,其对应的变换关系参见文献[12]。实质上,通过该仿真问题的实现说明,QCNN 系统可以对多种不同电路参数的蔡氏电路实现跟踪,这无疑对蔡氏电路与其他系统的综合应用提供了一种新的思路。

4 结束语

本文首先对 QCNN 的原理进行了简要介绍,其次由 Lypunov 函数指数收敛的条件,设计了具有另外一种参数形式的控制器,进而指出 QCNN 系统的受控器具有形式上一致的统一形式。本文主要对三种非线性运动系统进行了 QCNN 系统跟踪研究:a)分别通过二元胞和三元胞的 QCNN 系统对一种确定性参数的非线性运动目标进行跟踪,仿真结果为 QCNN 系统用于跟踪时的系统复杂度与跟踪的及时性(仿真耗时的长短)之间关系提供了参考依据和有力的说明;b)对未知参数和函数变化关系的运动系统数据序列实现了跟踪,稳定跟踪时可以在形式上与原数据序列变化规律保持一致,只是幅度和相位有所偏移,但是可以通过相关的措施改进其性能;c)利用 QCNN 系统实现了对典型蔡氏电路的有效跟踪,其关键在于:(a)对体现非线性电阻函数关系式进行求导并连贯表示,而在仿真程

序中则可以用逻辑判断来表示;b)多维控制器的合理设计。文中所取得的仿真实验结果和一些处理方法为 QCNN 的研究提供了一种思路。关于文中对三种非线性系统的跟踪问题,有的地方还研究得不够深入。比如对未知参数的非线性运动的跟踪不理想之处尚缺乏定量的分析与改进;对蔡氏电路的跟踪还只是停留在数学模型研究方面,下一步可以对其电路结构级的实现进行相关研究,这也是后期应该着重考虑的问题。

参考文献:

- [1] WANG Wei, LIU Ming, HSU A. Hybrid nanoelectronics: feature of computer technology[J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2006, 21(6): 871-886.
- [2] LENT C S, TOUGAW P D, BERSTEIN G H. Quantum cellular automata[J]. *Nanotechnology*, 1993, 4(1): 49-57.
- [3] TANG Rui, ZHANG Feng-ming, KIM Y B. QCA-based nano circuits design[J]. *IEEE Trans on Nanotechnology*, 2005, 4(3): 2527-2530.
- [4] TOTH G, LENT C S, TOUGAW P D. Quantum cellular neural networks[J]. *Superlattices and Microstructure*, 1996, 20(4): 473-479.
- [5] CSURGAY A, POROD W, PAKOS B. Signal processing by pulse-driven molecular arrays[J]. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 2003, 31(1): 331-334.
- [6] TSAI T C, SUN Min, LIN Li-ju, et al. A new two-layer quantum-dot large-neighborhood cellular nonlinear network (QLN-CNN) using quantum-dot cellular automata[C]//Proc of the 2nd IEEE Conference on Nanotechnology. 2002: 355-357.
- [7] FORTUNA L, ROSA M L, NICOLSI D, et al. Nanoscale system dynamical behaviors: from quantum-dot-based cell to 1-D arrays[J]. *IEEE Trans on very Large Scale Integration Systems*, 2004, 12(11): 1167-1173.
- [8] 巫春玲, 韩崇昭. 一种新的非线性目标跟踪方法[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(7): 1-3.
- [9] WANG Sen, CAI Li, WU Gang. Tracking control and synchronization with diverse structure of the quantum cellular neural network[C]//Proc of IEEE International Conference on Control and Automation. 2007: 2210-2213.
- [10] 王森, 蔡理, 吴刚. 量子细胞神经网络超混沌系统的追踪控制与同步[J]. *控制与决策*, 2008, 23(2): 204-208.
- [11] 李亚, 张正明, 陶志杰. 一个超混沌六阶蔡氏电路及其硬件实现[J]. *物理学报*, 2009, 58(10): 6818-6822.
- [12] 高永毅, 李邦彦. 变参数非自治蔡氏电路的混沌同步[J]. *控制理论与应用*, 2011, 28(3): 389-394.

(上接第 3633 页)

- [6] LOCHERT C, SCHEUERMANN B, WEWETZER C, et al. Data aggregation and roadside unit placement for a VANET traffic information system[C]//Proc of the 5th International Workshop on Vehicular Inter-Networking. New York: ACM Press, 2008: 58-65.
- [7] STIBOR L, ZANG Yun-peng, REUMERMAN H J. Evaluation of communication distance of broadcast messages in a vehicular Ad hoc network using IEEE 802. 11p[C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2007: 254-257.

- [8] RATSCHER H. Robustness in GIS algorithm implementation with application to line simplification[J]. *Geographical Information Science*, 2001, 15(8): 707-720.
- [9] PEUCKER D. Algorithm for the reduction of number of points required to represent a digitized line or its caricature[J]. *Canadian Cartographer*, 1973, 10(2): 112-122.
- [10] 张久红. 面向城市实时交通互助系统的行为仿真与故障模拟技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [11] 赵亮, 陈华, 景宁, 等. 道路网中的移动对象连续 K 近邻查询[J]. *计算机学报*, 2010, 33(8): 1396-1404.