

基于物联网的智能交通流探测技术研究

刘唐^{1,2} 彭舰^{2,3} 杨进⁴ 汪小芬⁵

(四川师范大学基础教学学院 成都 610068)¹

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)²

(四川大学计算机学院 成都 610065)³ (乐山师范学院计算机学院 乐山 614000)⁴

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)⁵

摘要 为更好地分析和统计动态交通流以获得道路交通信息,将物联网技术与智能交通系统相结合,提出一种基于物联网的智能交通探测系统 ITFDS(Intelligent Transportation Flow Detection System Based on Internet of Things)。ITFDS 通过车载传感器节点获取原始交通参数并进行初次融合,汇聚点作为信息收集、分发与数据二次融合的中心节点,物联网中心控制机房则负责系统数据的统计与管理。仿真实验证明,ITFDS 能有效、即时地获得道路交通流量值并将其发送至各车辆,作为车辆选择行进线路的依据。

关键词 智能交通,物联网,交通流量探测

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Intelligent Transportation Flow Detection Technology Based on Internet of Things

LIU Tang^{1,2} PENG Jian^{2,3} YANG Jin⁴ WANG Xiao-fen⁵

(College of Fundamental Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)¹

(State key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)²

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)³

(Department of Computer Science, Leshan Normal University, Leshan 614000, China)⁴

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)⁵

Abstract In order to better analyze dynamic transportation flow so as to gain road traffic information, this paper combined the Internet of Things technology and the intelligent transportation system and proposed a new intelligent transportation detection system-ITFDS(Intelligent Transportation Flow Detection System Based on Internet of Things). ITFDS obtains original traffic parameters and initial data fusion by vehicle sensor nodes. The sink is the central node for information gathering, distribution and secondary data fusion, and the center engine room is responsible for statistics and management. Simulation results show ITFDS can effectively and timely obtain the value of road transportation flow and send it to the vehicle, based on which travel routes can be selected.

Keywords Intelligent transportation, Internet of things, Transportation flow detection

1 引言

近年来,交通运输效率成了全球关注的焦点。网络动态交通流的统计分析技术是获得道路交通信息的有效方法,是目前移动计算及智能交通系统领域的一个重要研究方向^[1]。许多研究着眼于利用车载自组网进行交通流探测与分析,并取得了许多有价值的研究成果。

但是车载自组网节点高速移动,导致网络拓扑频繁、大规模变化,网络拓扑呈现典型的非均匀分布,同时无线信道质量难以保障。因此,车载自组网很难保证交通探测与分析的实时性、可靠性和可达性^[2]。

物联网(Internet of Things)的出现为解决这一问题提供

了充分的可能性。国际电信联盟(ITU)在其名为物联网(the Internet of Things, IOT)的 2005 年年终报告中正式提出物联网的概念^[3]。2006 年 3 月,欧盟召开会议“From RFID to the Internet of Things”,对物联网做了进一步的描述^[4],并于 2009 年制定了物联网研究策略的路线图^[5]。物联网是指将各种信息传感设备及系统,如传感器网络、射频标签阅读装置、条码与二维码设备、全球定位系统和其它基于物-物通信模式的短距无线自组织网络,通过各种接入网与互联网结合起来而形成的一个巨大智能网络^[6]。目前国内众多城市已经确定在智能交通领域重点开展物联网示范应用。

利用物联网先进的识别技术、无线传感器网络(WSN)技术和车载设备,本文提出一种基于物联网的智能交通流探测

到稿日期:2010-10-27 返修日期:2011-02-24 本文受国家自然科学基金项目(61003310),网络与交换技术国家重点实验室开放项目(北京邮电大学)(SKLNST-2010-1-03),四川省教育厅科研项目(10ZB005)资助。

刘唐(1980—),男,硕士,讲师,主要研究方向为无线传感器网络, E-mail: criekey@163.com; 彭舰(1970—),男,博士,教授,主要研究方向为并行计算; 杨进(1980—),男,博士,副教授,主要研究方向为网络安全; 汪小芬(1982—),女,博士,讲师,主要研究方向为信息与网络安全。

系统 ITFDS(Intelligent Transportation Flow Detection System Based on IOT),使众多交通数据可以通过无线网络与互联网主动进行信息交换与计算。ITFDS 的主要创新点如下:

(1)构建了由车载传感器节点、汇聚点及物联网中心控制机房构成的智能交通探测系统。车载传感器节点负责实时收集交通动态原始数据,并进行第一次数据融合;汇聚点负责对车载节点数据的收集、数据二次融合及上传与分发;物联网中心控制机房则负责对整个系统的管理与数据的收集与分发;

(2)提出了一种基于移动对象的交通参数实时探测方法;

(3)提出了针对移动对象的数据组织与融合方法。

仿真实验结果显示,ITFDS 获得的道路交通流量值能准确反映道路的真实交通情况,并且在道路车辆数以较快速度持续变化、处于严重拥堵状态时依然可以非常有效、即时地获得道路交通流量值并将其发送至各车辆,作为车辆选择前行道路的依据。

2 系统构建与网络模型

2.1 系统构建

ITFDS 由车载传感器节点、汇聚点及物联网中心控制机房构成。

车载传感器节点部署于行驶道路上的每部车辆。它存储包括车道数、道路最高限速信息的道路地图。节点能量由车载电源获得,因此可以不考虑传感器节点能量消耗问题。通过车辆时速表,传感器节点可获得车辆的行进速度;通过车载 GPS,传感器节点可进行精确的时钟同步^[7]。每隔固定时间 t ,传感器节点向周围车辆进行广播,将其运行速度广播至通信范围内的所有其他节点。每个车载节点将其收集到的其它节点的广播数据进行融合,得出道路各路段的交通流量。

在每一交叉路口设置汇聚点,作为信息收集与数据二次融合的中心节点。经过汇聚点通信半径的车载节点将其计算出的各路段交通流量数据发送至汇聚点,汇聚点将收集到的所有流量数据进行二次融合,得出各路段的综合交通流量值。

各汇聚点通过 Internet 将收集计算出的数据传至网络中心控制机房,中心机房亦将其他路段交通数据传至各汇聚点。同时,汇聚点作为广播节点,将各路段交通流量广播到其通信范围内各车载节点,作为车辆选择通行道路的依据。

2.2 道路网络模型

为实现道路交通流量的智能探测,本文将系统中的道路划分成网格。设系统中的城市道路位于 $(M \times N)$ 区域内,每隔距离 s 进行网格划分。道路为单、双向通行均可。各网格内道路编号表示当前道路位置和道路方向,如 $x_i y_j, x_i y_k$ 。

网络具有如下特点:

(1)网络拓扑的动态性强。由于车载传感器节点随车辆高速移动,导致网络拓扑结构呈高动态变化^[8]。

(2)车辆状态可探测与可预测。虽然车载传感器节点快速移动,但由于受道路和前方车辆运动状态的约束,则其位置、运动方向和速率均是可以收集与预测的。

(3)车载节点信息获取与处理能力强。由于车载电源可为车载节点提供稳定持续的电源,并且车载 GPS 可为节点提供精确时钟同步与精准定位,因此节点可拥有较强的信息获取与处理能力。

(4)二级数据融合与分发。通过车载节点与汇聚点对收

集的数据进行二级融合,获得道路交通流量值。通过中心机房与汇聚点可将得到的交通流量信息分发至各车载节点,作为车辆选择通行道路的依据。

图 1 给出道路网络模型。

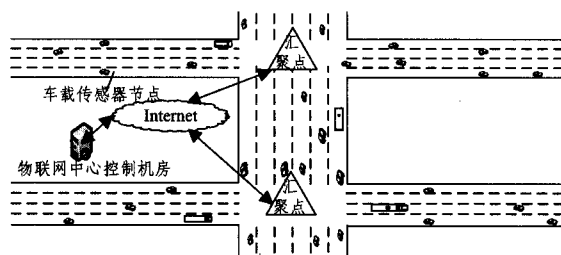


图 1 道路网络模型

3 数据收集与融合计算

3.1 车载传感器节点数据探测与计算

设某车载传感器节点 i 位于道路网格 $x_i y_j, x_i y_k$, 节点每隔 t 秒向外广播其速度信息 v_i , 并收到通信范围内车辆发送的信息。

3.1.1 道路车辆速度的探测与计算

令在当前周期,车载传感器节点 i 共收到 n 个其他车载节点的广播信息,则当前时刻道路交通平均流量速度信息 $V^{(n)}$ 计算如下:

$$V^{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^n v_j}{n} \quad (1)$$

每一辆汽车在同一路段上的行驶速度与司机的习惯有关,并受多种主、客观因素影响,因此,该车实际行驶时间不是一个精确的量。为保证通过这 n 个节点信息计算出的当前时刻道路交通流量速度信息真实可靠,本文引入道路交通流量速度标准差函数 $\omega(D(V^{(n)}))$:

$$\omega(D(V^{(n)})) = \sqrt{\frac{1}{D(V^{(n)})}} \quad (2)$$

式中, $D(V^{(n)})$ 为 n 部车辆的速度标准差:

$$D(V^{(n)}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (v_j - V^{(n)})^2}{n}} \quad (3)$$

进一步考虑节点 i 自身的速度 v_i 在道路交通流量速度的计算过程中应比其他节点的速度数据享受更高的权重,因此在计算过程中单独加入 i 的速度 v_i , 有:

$$V_i^{(n)} = \alpha \times \omega(D(V^{(n)})) \times V^{(n)} + \beta \times v_i \quad (4)$$

式中, α, β 为调节节点 i 在计算 $V_i^{(n)}$ 时所占的权重的计算因子。

为得出车载节点 i 的交通流量速度函数 $\omega(V_i^{(n)})$, 将节点 i 得到的道路交通流量速度值 $V_i^{(n)}$ 与当前道路最高限速 $V_{\max}$ 进行比较, $V_i^{(n)}$ 越接近道路最高限速 $V_{\max}$, 则表明道路交通越通畅, 因此有:

$$\omega(V_i^{(n)}) = \frac{V_i^{(n)}}{V_{\max}} \quad (5)$$

3.1.2 道路车辆密度的计算

对任意道路中的车辆,若其接收到越多节点的广播信息,则表明在其通信范围内的道路中行驶的车辆越多,道路拥堵的可能性也越大。

令任一道路中通行的车辆上的车载传感器节点 i 的通信半径为 r_i , 当前道路车道数为 m 。若 r_i 远大于车道宽度, 则可认为当前道路可探测范围内可通行道路总长度 L_i 为:

$$L_i = r_i \times 2 \times m \quad (6)$$

若节点 i 共收到来自 n 个节点的广播信息, 且平均车辆长度为 l , 则当前道路车辆密度函数为:

$$\bar{\omega}(c_i) = 1 - \frac{n \times l}{L_i} \quad (7)$$

3.1.3 道路网格内流量数据计算

车辆在经过道路中某一网格时, 可能会多次收集到其他节点发送来的数据。将这多次计算得出的车辆速度和车辆密度进行融合, 即可得到该段网格内的道路交通拥堵程度。

对行驶于 $x_i y_j, x_i y_k$ 的车辆 i , 在该段网格内共有 k 次数据收集和计算。对其中任意一次 h , 可计算交通流量为:

$$jam_h = \bar{\omega}(V_i^h) \times \bar{\omega}(c_i) \quad (8)$$

考虑到每段网格长度一致, 如果在某段网格内, 数据收集的次数越多, 则车辆通过该段道路用时越长, 道路拥堵的程度也越高。因此, 车载传感器节点对多次收集的数据进行初次融合时, 充分考虑数据收集的次数。令每段网格距离为 s , 道路最高限速为 v_{max} , 车载传感器节点每隔 t 秒收到一次广播, 则该段网格内道路交通流量为:

$$jam_{x_i y_j, x_i y_k} = \frac{\sum_{h=1}^f jam_h}{f} \times \sqrt{\frac{s}{\frac{v_{max} \times t}{f}}} \quad (9)$$

3.2 汇聚点数据收集与融合

道路中各车辆通过车载传感器节点收集到所经过的每段网格道路拥堵程度。各车辆继续行驶, 经过交叉路口的时候, 便会将收集的数据发送到汇聚点, 同时车辆删除发送数据。汇聚点对收集到的所有数据进行二次融合, 计算出各网格内的综合道路拥堵程度。

对汇聚点, 设置计算周期为 T , 根据周期 T 内收到的各节点发送的数据, 计算综合道路拥堵程度。

令在计算周期内共收到 n 个车载节点发送而来的 $x_i y_j, x_i y_k$ 路段的交通流量值, 可计算出该路段的交通流量值:

$$JAM_{x_i y_j, x_i y_k} = \frac{\sum_{i=1}^n jam_{x_i y_j, x_i y_k}}{n} \quad (10)$$

为保证道路流量数据的有效性, 及控制系统的数据冗余, 每一汇聚点只收集从前一路口到汇聚点所在路口之间道路的交通流量数据。车载节点在数据发送到汇聚点后便删除已发送数据。

3.3 数据汇总与分发

各汇聚点在计算出当前周期道路中各网格的交通流量数据后, 便将该值通过 Internet 发送回物联网中心控制机房。中心控制机房的服务器也以 T 为周期, 接收到最新的交通流量数据后, 对其数据库进行更新, 并将更新后的数据发送至各汇聚点。当车辆经过汇聚点时, 汇聚点将道路中各网格的交通流量数据发送至车载节点, 作为车辆选择行驶路线的依据。

4 仿真实验

4.1 仿真环境的建立

本文通过仿真实验分析所提出的 ITFDS 的性能。实验

中选用了成都市的部分市区真实地图(见图 2)。在这个区域内部署汽车, 每辆汽车上均安装车载传感器节点, 并加入智能交通流量探测系统。汇聚点设置于每个交叉路口。系统初始化的时候, 车辆被随机地放置到道路网络上。道路网络上的另一个随机点被选为车辆的目的地。当车辆到达目的地之后, 再另外随机地选择地图内一点作为目的地。这个过程不断重复, 直到仿真实验结束。

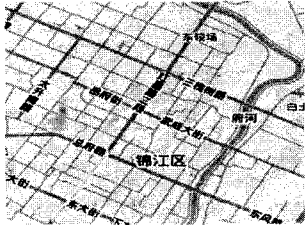


图 2 仿真实验选用地图

为充分模拟道路交通真实性, 根据各路段的宽度设置路段最高限速。支路(双向二车道)、次干路(双向 4 车道)设置最高限速为 40km/h, 主干路(双向 6 车道)为 60km/h。仿真实验中 30% 的道路为支路, 40% 为次干路, 其余道路为主干路。

车辆密度与车辆速度之间存在如下关系^[9]:

$$v = v_{max} (1 - k/k_{max}) \quad (11)$$

式中, v 表示瞬时车流速度, v_{max} 表示道路最高限速, k 表示瞬时车流密度(车流密度按单车道定义), k_{max} 表示最大车流密度(使得车辆不得不停下来的密度)。文献[10]指出, 交通流平均堵塞密度达到较高的 110 标准车/km, 车间距不到 10m, 使道路通行能力下降, 道路服务水平降低。因此, 本文设定实验中 $k_{max} = 110/\text{km}$ 。

为使网络中的车辆速度符合真实交通状态, 本文定义网络中的车辆在某时刻的瞬时速度服从标准分布 $v \sim N(\mu, \sigma^2)$, 其中, μ 为符合该时刻车流密度 k 的车辆速度, $\sigma = 1$ 。

实验的参数设置如表 1 所列。

表 1 仿真实验参数表

参数	值
单车道总里程(km)	146.8
网络尺寸(m)	(0,0)-(2000,2000)
参与车辆总数	1000,4000,8000
传感器通信半径(m)	150
网格划分距离 s(m)	100
车载节点广播周期 t(s)	5
汇聚点计算周期 T(s)	60
车辆长度 l(m)	4
α, β	0.9, 0.1

4.2 实验结果及分析

仿真实验首先考察逐渐增加网络中的车辆数时网络中平均交通流量的变化, 如图 3 所示。

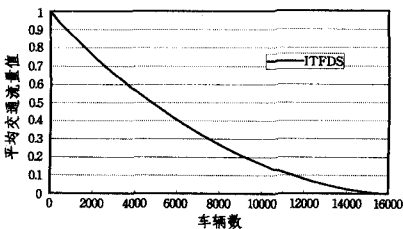


图 3 网络平均交通流量变化图

从图3可以看出,ITFDS给出的整个网络各路段交通流量值能准确反映道路的交通流量状况。随着网络中车辆数的增加,ITFDS给出的整个网络各路段交通流量平均值逐渐下降。

根据文献[11],城市交通路段平均行程速度可分为5个等级:1级表示运行最畅通,5级表示运行最拥堵。为便于仿真实验,本文将第1、2级称为畅通,3级称为轻度拥堵,4级称为中度拥堵,5级称为严重拥堵。对于本文仿真实验所采用交通模型,对应的道路平均速度如表2所列。

表2 交通速度等级表

等级	畅通	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵
道路平均速度(km/h)	>35	(25,35]	(15,25]	≤15

由式(11)可知,当网络中车辆总数为3510辆时,道路平均行程速度为35km/h;车辆总数为6702辆时,道路平均行程速度为25km/h;车辆总数为9893辆时,道路平均行程速度为15km/h。设置网络中车辆数分别为以上3值时,考察网络各路段交通流量平均值(见图4)。

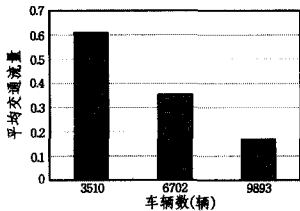


图4 交通状况等级图

对应于4种不同的交通路况,ITFDS给出整个网络各路段交通流量平均值分别为0.610,0.353,0.167。因此,可根据任一路段的交通流量位于不同区间 $[0, 0.167]$ 、 $(0.167, 0.353]$ 、 $(0.353, 0.610]$ 、 $(0.610, 1]$ 来确定道路交通平均行程速度等级。

在实际交通中,交通流量会不断变化。例如城市交通晚高峰通常出现在17:00—19:00之间。在晚高峰初期,参与交通车辆数明显增加;而在晚高峰末期,车辆数不断减少。在ITFDS中,车辆需要一定时间行驶到下一路口,以发送获取的数据给汇聚点并从汇聚点获得最新数据,同时汇聚点每隔60秒完成一次计算周期。而这段时间内,道路中车辆数已经发生变化,因此仿真实验进一步考察ITFDS在网络中车辆数目不断变化时车辆获取数据的精确程度。

考虑较坏情况。在交通高峰初期,道路1h内从通畅状态恶化为严重拥堵,对应仿真实验网络中车辆数从3510增加到9893,即平均每60s车辆数增加约106辆。为便于实验,我们设定1h内,网络中车辆数由3500辆增加到10000辆。在网络中随机选择一车辆,考察其通过路口时从汇聚点获得各路段交通流量平均值与该时刻网络即时交通流量平均值之间的比值 ϵ ,实验结果如图5所示。

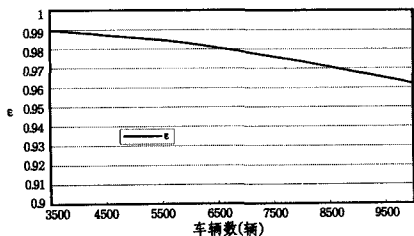


图5 ϵ 变化图

从图5可以看出,车辆数为3500时,比值 ϵ 在0.99附近,车辆获得的各路段交通流量值非常接近即时值。随着车辆数的不断增加,道路拥堵程度不断趋于严重,车辆速度逐渐降低。车辆收集到各网格交通流量数据后行驶到汇聚点,数据上传所需时间逐渐增加;同时在汇聚点计算周期内,也不断有新的车辆进入网络,而这些车辆数据并没有统计在上次计算出的交通流量数据中。这些都是造成 ϵ 随之减小的因素。当车辆数增加到10000时, ϵ 减小到最低,此时 ϵ 依然有0.962。因此,通过仿真可以证明,当道路中车辆数以较快速度持续变化,并且处于严重拥堵状态时,ITFDS各计算周期设置合理,可以非常有效、即时地获得道路交通流量值并发送至各车辆。

结束语 本文提出了一个基于物联网的智能交通流量探测系统ITFDS。ITFDS是由车载传感器节点、汇聚点和物联网中心控制机房组成的。其利用了物联网先进的识别技术、无线传感器网络(WSN)技术和车载设备,使众多交通数据通过无线网络互联网主动进行信息交换与计算,最终得出网络内每段道路的网络交通流量值,并发送到车载节点,作为车辆选择行进路线的依据。

仿真实验验证了ITFDS获得的道路交通流量值的真实性。在道路车辆数以较快速度持续变化,并且处于严重拥堵状态的恶劣状况下,ITFDS依然可以非常有效、即时地获得道路交通流量值并发送至各车辆。

参考文献

- [1] 丁治明,韩京宇,李曼,等.基于网络受限移动对象数据库的交通流统计分析模型[J].计算机研究与发展,2008,45(4):646-655
- [2] 李丽君,刘鸿飞,杨祖元,等.车用自组网信息广播[J].软件学报,2010,21(7):1620-1634
- [3] ITU Strategy and Policy Unit (SPU). ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. Geneva: International Telecommunication Union(ITU), 2005
- [4] Buckley J. From RFID to the Internet of Things—Pervasive networked systems[R]. Brussels: European Commission, DG Information Society and Media, Networks and Communication Technologies Directorate, 2006
- [5] http://ec.europa.eu/information_society/policy/rfid/documents/in_cerp.pdf
- [6] 刘强,崔莉,陈海明.物联网关键技术与应用[J].计算机科学,2010,37(6):116-126
- [7] 常促宇,向勇,史美林.车载自组网的现状与发展[J].通信学报,2007,28(11):116-126
- [8] 钟婷,秦志光.基于排序的高效交通信息分发算法[J].通信学报,2009,30(8):1-8
- [9] 韩维信,杨奇,林华铁,等.城市道路交通发展规划的数学模型[J].数学的实践与认识,2002,32(16):881-884
- [10] 孙宇星,陈德望,吴建平.北京市快速环路速度-密度模型研究[J].北京交通大学学报,2004,28(6):70-73
- [11] 城市道路交通拥堵评价指标体系[EB/OL]. http://www.tran-bbs.com/news/cnnews/Policies/news_67535.shtml