Modern Transportation
September 2013, Volume 2, Issue 3, PP.50-57

Analysis for Road Network's Simulation of the Self-Organizing Traffic Information System

Hao Zheng[1], Qi Zhang[2#]

1. School of Computer & Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, 100083, China

2. School of Automation & Electrical Engineering, University of Science & Technology Beijing, 100083, China

#Email: zhqi@ustb.edu.cn

Abstract

A mode of self-organized traffic information system has been proposed in this study based on inter-vehicle communication in reaction to the release and collection of real-time congestion information, aiming at the realization of automatic acquisition, rapid dissemination, data integration and updating. Further, the traffic simulation and evaluation under complex road network have been performed by means of the second development of VISSIM (traffic simulation software), which has verified the effectiveness and feasibility of the mode.

Keywords: Intelligent Traffic; Self-organizing Traffic Information; Traffic Congestion; Traffic Simulation; VISSIM

自主式交通信息系统的路网仿真分析*

郑昊[1]，张崎[2]

1. 北京科技大学计算机与通信学院，北京市 100083

2. 北京科技大学自动化学院，北京市 10083

摘要：针对实时交通拥堵信息的采集与发布问题，本文研究提出一种基于车车通信的自主式交通信息系统模式，旨在实现交通拥堵信息的自主采集，快速传播，数据融合及动态更新；进而通过对交通仿真软件 VISSIM 的二次开发，实现了复杂路网条件下的交通仿真及评价，分析并验证了该系统模式的有效性和合理性。

关键词：智能交通；自主式交通信息系统；交通拥堵；交通仿真；VISSIM

引言

随着城市化进程加快，人们生活水平提高，城市交通需求呈现迅猛增长态势，道路交通拥堵[1]已成为制约城市经济和社会发展的重大“瓶颈”。为此，研究开发和建设实时交通信息系统已成为减少交通拥堵、合理利用交通资源、方便车辆出行、提高路网运行效率等不可或缺的一种有效解决方式。目前，常见交通信息系统多为基于交通信息中心的集中式信息处理与发布模式，此模式依赖于庞大的固定式信息采集与发布设施，同时需要投资庞大的通信基础设施，以将采集信息汇聚于交通信息中心统一进行数据融合及处理，并分发给各种信息发布设施。由此可见，集中式交通信息系统具有造价成本高，数据处理能力依赖于计算机性能，应对自然灾害等特殊情况的能力较弱等局限性。而随着无线互联网和传感网络技术的发展，将 Ad-hoc 网络应用于交通系统，构建自组织交通信息系统已然成为研究热点。2006 年欧洲信息技术委员会启动了 SAFESPOT 项目[2] ,旨在开发一个“安全间隔辅助”系统，通过车车通信方式扩展驾驶员视野，将周围环境和各种意外状况及时告知驾驶员。美国加州大学 Irvine 分校交通研究所提出了一种基于车间无线通信的交通管理、信息及控制系统 Autonet[3]。Tomotaka WADA 等[4]提出一种基于车载自组网的实时道路拥堵检测方法。Biddlestone S, Redmill K 等[5]将交通模拟仿真器 VaTSim 与网络模拟仿真器 NS3 整合来仿真不同道路布局及建筑配置对 802.11p 通信的影响。上海交通大学提出基于 ad-hoc 无线网络的自主式道路通行状况系统概念[6] 。

*基金资助：受北京市自然科学基金项目支持资助(4122048)。

从近年来的相关研究来看，基于车车通信的交通信息系统研究尚处于探索阶段，其交通拥堵信息的采集方式、信息融合处理精度、信息传播速率及传播范围、以及实际应用时的适用性等方面皆有待进一步深入研究和补充完善[7]。为此，本文研究提出一种基于车车通信的新型自主式交通信息系统模式，针对交通拥堵信息的采集、传播、融合及更新过程，设计了相应的系统模型，并通过对 VISSIM 交通仿真软件的二次开发，实现了路网条件下该系统模式的仿真及分析评价，验证了其有效性及合理性。

1 系统模型

1.1 交通信息系统整体架构

针对交通路况信息的采集和传播，本文研究提出一种基于车载自组网（VANET：Vehicular Ad Hoc Networks）的新型自主式交通信息系统模式，其整体架构如图 1 所示：

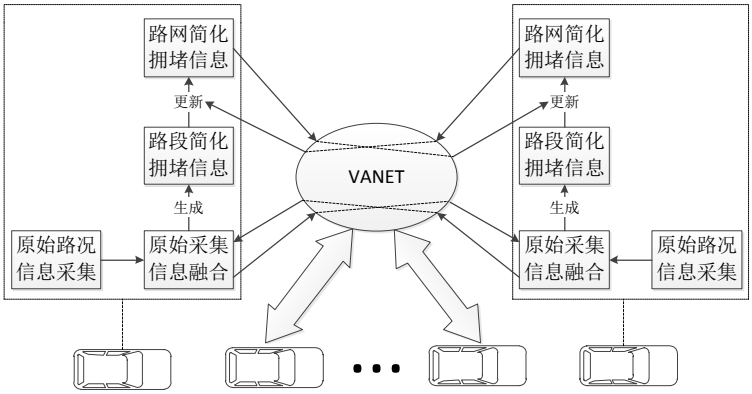


图 1 下一代自主式交通信息系统总体架构

在本系统中，交通信息主要分为 2 类，一类是原始采集信息，另一类是简化拥堵信息。每辆车辆采集、传播、融合及更新交通路况信息是按路段各自独立进行的。其总体流程如下：当车辆通过某路段后自动采集到该路段的原始路况信息（平均行驶速度），同时车辆通过 VANET 接收来自其他车辆传来的其自身拥有的原始采集信息集合及路网简化拥堵信息。由此，车辆一方面将自身采集信息与接收到的其它车辆原始采集信息集合中的采集信息进行融合，进而生成该路段简化拥堵信息；另一方面，将该路段简化拥堵信息与其它车辆传播而来的路网各路段拥堵信息一同更新到自身车辆中的路网简化拥堵信息中。最后将融合后的原始采集信息集合以及更新后的路网简化拥堵信息通过 VANET 的广播方式一同播报给周围车辆。各车辆每隔一段时间按此流程进行一次交通信息的收发、融合及路网简化拥堵信息的更新。

1.2 原始路况信息采集模型

原始路况信息的采集可以利用车载 GPS 终端和道路电子地图，通过获取车辆经过某路段起点与终点位置的时刻，来获得车辆通过该路段的行驶时间，继而计算出车辆通过该路段的平均行驶速度。如图 2 所示，设车辆 k 通过路段 i（长度为L_i）的起点时间为$Tb_k(i)$，终点时间为$Tf_k(i)$，则车辆 k 通过路段 i 的行驶时间为：$T_k(i) = Tf_k(i) - Tb_k(i)$，平均行驶速度为：$V_k(i) = L_i/T_k(i)$，即原始路况信息为：

$$\{(V_k(i), Tf_k(i)) \mid k=1,2,3\ldots,N,\ i=1,2,3,\ \ldots,M\} \quad (1)$$

其中：k 为车辆编号，i 为路段编号。

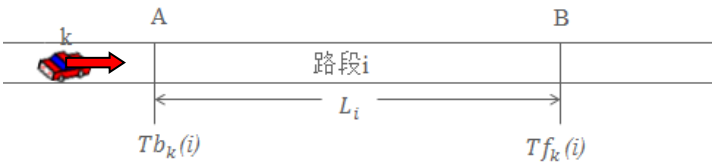


图 2 原始路况信息采集

1.3 原始采集信息融合模型

由于路网中行驶车辆是通过车载自组网进行相互间的信息传递，则车辆通过信息广播向其他车辆发布其自身拥有的原始采集信息集合的同时，也接收来自其他不同车辆传播而来的关于同一采集路段的原始采集信息集合。由此将会造成多次重复接收某车辆自身采集的原始路况信息的情形。为此，其融合处理过程将分为如下二步进行：

1) 滤除重复接收部分的原始采集信息及时间较长的过期原始采集信息；即：$C_k(i) = C_k^{'}(i) \cup R_k(i)$，其中：

$$C_k(i) = \{(V_p(i), Tf_p(i)) \mid p \in D_k(i), t - Tf_k(i) < T\},\ C_k^{'}(i) = \{(V_p(i), Tf_p(i)) \mid p \in D_k^{'}(i)\}$$

其中：$C_k(i)$、$C_k^{'}(i)$分别为车辆 k 关于路段 i 滤除重复信息后及之前的原始采集信息集合；$R_k(i)$为车辆 k 接收到的其它某车辆关于路段 i 的原始采集信息集合；$D_k(i)$、$D_k^{'}(i)$分别为$C_k(i)$和$C_k^{'}(i)$的信息采集车辆集合；t 表示当前时刻，T 表示原始采集信息的保留时间（有效期）。

2) 对滤除重复信息后的原始采集信息集合计算平均行驶速度。

$$\bar{V}_k(i) = \frac{n_k(i) * L_i}{\sum_{p \in D_k(i)} T_p(i)} \tag{3}$$

其中：$\bar{V}_k(i)$为采集车辆 k 对采集路段 i（长度L_i）进行信息融合处理后获得的平均行驶速度；$n_k(i)$为信息采集车辆集合$D_k(i)$的车辆总数。

为简单起见，也可采用将车辆 k 拥有的原始采集信息集合$C_k(i)$中所有平均行驶速度信息进行平均，由此得到该路段简化处理的平均行驶速度。即：

$$\bar{V}_k(i) = \frac{\sum_{p \in D_k(i)} V_p(i)}{n_k(i)} \tag{4}$$

1.4 简化交通拥堵信息生成与更新模型

原始采集信息经融合处理后得到当前采集路段的平均行驶速度，即当前采集路段的路况信息。为了减少信息传输量，避免由信息拥塞而引起的广播风暴等问题，可依据目前集中式交通信息系统对道路交通拥堵速度的划分范围，对采集路段融合处理后的路况信息进行简化处理，由此生成简化交通拥堵信息$V_k^{'}(i)$，同时记录其生成时间$t_k^{'}(i)$。即简化交通拥堵信息为：

$$\{(V_k^{'}(i), t_k^{'}(i)) \mid \text{k=1,2,3…,N , i=1,2,3, …,M}\}$$

$$V_k^{'}(i) = \begin{cases} 0 & \bar{V}_k(i) \geq V_s \text{(畅通)} \\ 1 & V_c \leq \bar{V}_k(i) < V_s \quad \text{(缓慢)} \\ 2 & 0 \leq \bar{V}_k(i) < V_c \quad \text{(拥堵)} \end{cases} \tag{5}$$

其中，$V_k^{'}(i)$,$t_k^{'}(i)$表示车辆 k 中关于路段 i 的简化交通拥堵信息及其生成时间。

由于路网中的行驶车辆不仅互相传递各自拥有的原始采集信息，而且也传递其拥有的各路段简化交通拥堵信息（即路网简化拥堵信息）。同时，当车辆 k 接收到其他车辆(例如 q)传来的路网简化拥堵信息时，将自动对车辆自身拥有的路网简化拥堵信息进行相应更新。即：

1) 当车辆 k 尚无路网中路段 i 的简化交通拥堵信息，而接收车辆 q 传播而来的信息中含有相应信息时，则更新车辆 k 的路网简化拥堵信息。即：使$V_k^{'}(i) = V_q^{'}(i)$，$t_k^{'}(i) = t_q^{'}(i)$。
2) 当车辆 k 和车辆 q 已存在路段 i 的简化交通拥堵信息，但车辆 q 的相应信息较新时，即$t_k^{'}(i) < t_q^{'}(i)$，则将车辆 q 的相应信息更新到车辆 k 的路网简化拥堵信息中。即：使$V_k^{'}(i) = V_q^{'}(i)$，$t_k^{'}(i) = t_q^{'}(i)$，反之不更新。
3) 当车辆 k 存在一段时间 T 内仍无更新的简化交通拥堵信息时，考虑到拥堵信息的时效性，则予以消除。即当：$t - t_k^{'}(i) > T$ 时，删除$V_k^{'}(i)$。

1.5 交通路况信息传播模型

交通路况信息动态传播模型主要是描述某车辆 k 通过 VANET 广播方式，不断及时地将自身拥有的交通路况信息（包括原始采集信息集合和路网简化拥堵信息）向车载自组网内其它车辆自动传播的过程。而在车载自组网内，车辆 k 传播的对象车辆被分为 2 类：一类是与 k 属于同一采集路段的车辆，另一类则为不同采集路段的车辆。

1) 当车辆 q 与车辆 k 属于同一采集路段 i 时，车辆 q 接收到车辆 k 传来的所有信息内容后，首先滤去车辆 k 关于路段 i 的简化拥堵信息$V_k^{'}(i)$，然后对原始采集信息进行融合，同时更新采集路段 i 以外其它路段的拥堵信息。

2) 当车辆 q 与 k 属于不同采集路段时，车辆 q 接收到车辆 k 传来的所有信息内容后，首先滤去车辆 k 的原始采集信息集合，而后进行路网拥堵信息的更新。

2 仿真环境搭建

2.1 VISSIM 软件 COM 接口

VISSIM 是评价分析众多交通问题的一个强大仿真软件。其外接模型算法及其仿真都可通过 Vissim 提供的 COM 接口实现。VISSIM 软件 COM 接口提供了众多对象列表（Links，Nodes，Vehicles 等），每个对象都提供一系列相应的数据读取及控制方法。其中“Vehicles”对象表示仿真时所有车辆对象的集合，其提供的“GetVehicleByNumber”可取出每辆车的“Vehicle”对象，从而可实现进一步调用和读取各车辆内部的世界坐标、行驶速度、当前路段号等相关信息。

2.2 主仿真模型构建

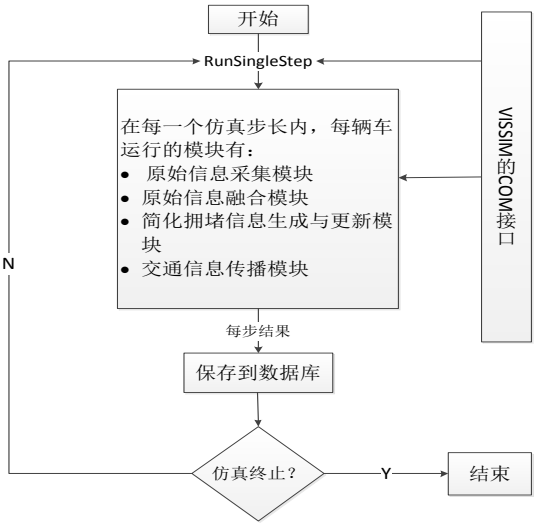


图 3 基于 Vissim 软件 COM 接口的主仿真模型

VISSIM 的 COM 接口给外部程序控制 VISSIM 仿真过程提供了一系列方法。首先，通过构建外部程序调用“Vehicle”对象可实现本系统模型中的车辆原始信息采集模块、信息融合模块、车车通信模块（交通路况信息传播模块）、简化拥堵信息生成及更新模块，而后通过调用“RunSingleStep”可实现单步仿真，并在每一步仿真中将构建好的这些模块嵌入到每辆车中，从而赋予每辆车的信息采集、数据融合、信息更新及通信能力，最后将每一步仿真结果保存在 ACCESS 数据库中，供仿真分析之用。本系统的主仿真模型如图 3 所示。

3 系统仿真评价

为了验证上述自主式交通信息系统模式及其系统模型的可行性和合理性，本文基于交通仿真软件 VISSIM 的 COM 接口进行了二次开发，通过将相关模型嵌入其中，实现了基于 VANET 的复杂路网情形的交通仿真，进而从拥堵信息的传播时间、传播速率及路网覆盖率等方面进行了综合分析与评价。

3.1 仿真环境

① 路网设定：以一般城市路网为虚拟仿真对象，设置路口 6 个，路段 36 个，路段长度 850m（其中：车辆等待红灯时的最大正常排队距离设为 60m，各采集路段长度为 790m），道路限速 60km/h。在路段 7 中部设置减速带模拟拥堵地段。（减速带设定为施工路段，长度 400m，通行速度 4-6km/h）。具体如图 4 所示，

② 信号灯设定：周期为 90s，四相位；各信号灯无相位差。具体设置如图 5 所示。

③ 车车通信方式：采用 VANET 广播协议，广播通信范围 300m，车辆每隔 1 秒进行一次信息发布与接收。

④ 道路交通流：各入口发生的车流量如图 4 所示，发生车辆均为小汽车；为了分析车流量对交通拥堵信息传播的影响，拟分别对各入口车流量增加 50%和 100%的情形进行仿真。进入各路口的车辆，按直行 50%、左右转各 25%的占总量设定。

⑤ 仿真时间：预运行时间 15 分钟，实际仿真时间 20 分钟，拥堵设定时间：10 分钟（实际仿真开始 5～15 分钟）。

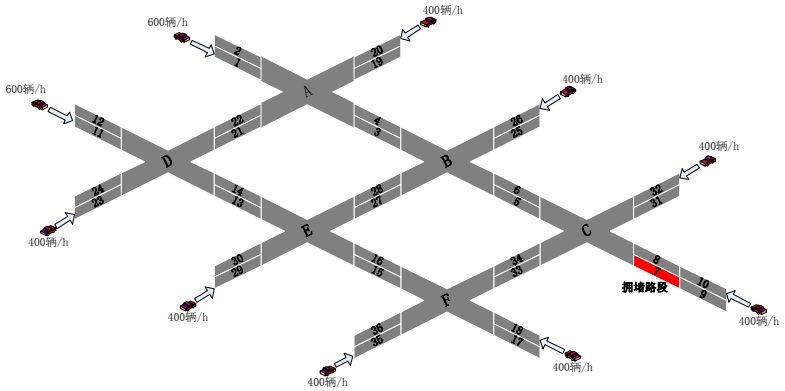


图 4 路网示意图

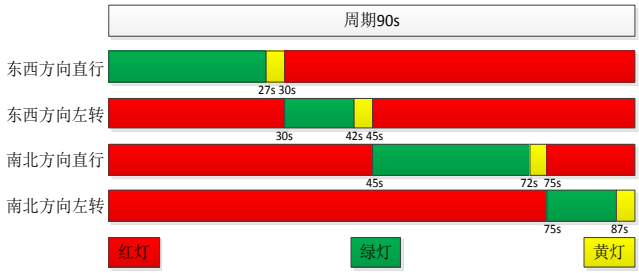


图 5 信号灯设置

3.2 结果分析

由于拥堵路段的后方车辆对前方拥堵信息有较大需求，则本文在此重点分析拥堵路段的拥堵信息向后方传播的仿真效果。

当路段 7 发生拥堵后，其交通拥堵信息通过不同行驶方向的车辆迅速向周围进行传播扩散，对应不同仿真情形的最短（或最快）传播时间如图 6(a)、图 6(b)，图 6(c)所示。各路口及路网边缘路段旁侧的数字表示拥堵信息由路段 7 传递到该地点的最短时间。

由图 6(a)(b)(c)可以看出，拥堵信息不仅在各直线路段上进行传播，同时也跨越交叉路口向路网其它路

段扩散传播。各路段根据距拥堵路段的距离以及路网车流密度及分布的不同，其拥堵信息传播到路网各路段所需的时间也有所不同。相对来说，距拥堵路段越远、车流密度越小、车流分布越不均匀，其所需的传播时间也越长。

对比图 6(a)(b)(c)不同情形下的仿真结果，在初始流入车流量的情形下，拥堵信息从路段 7 传播到路段 23 入口处的最短时间为 47s；当各路口流入车流量整体增加 50%时，最短传播时间缩短为 32s；而当其整体增加 100%时，则最短传播时间仅需 19s。由此看出，通常情况下，随着进入路网车流量的增加，拥堵信息传播到各个地方所需的最短时间相对减短。

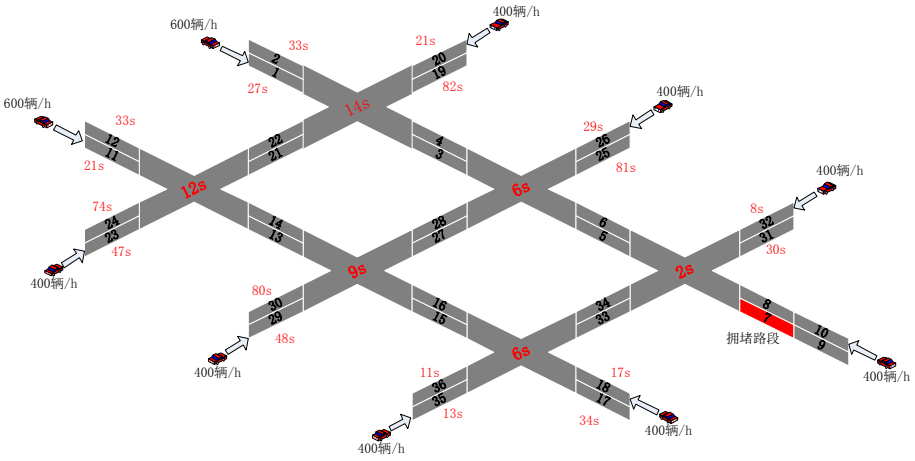


图 6(a) 初始流入车流量时交通拥堵信息的最短传播时间

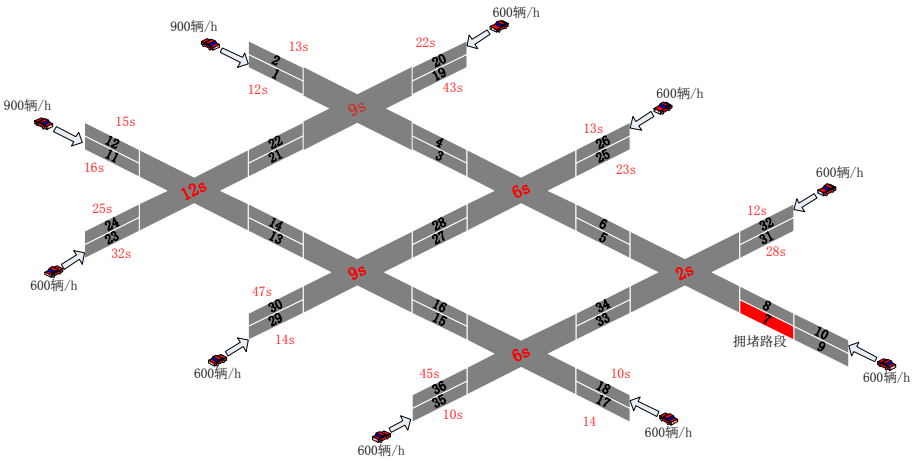


图 6(b) 增加流入车流量 50%时交通拥堵信息的最短传播时间

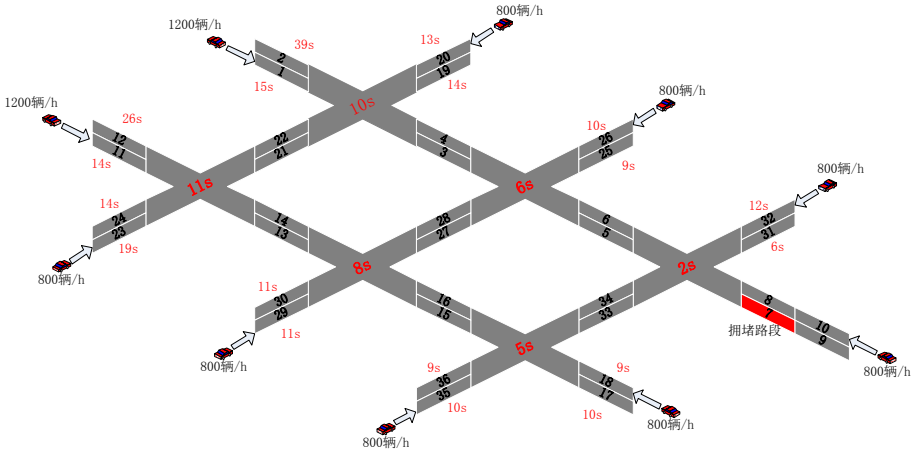


图 6(c) 增加流入车流量 100%时交通拥堵信息的最短传播时间

图 7 为初始流入车流量时各路段接收到拥堵信息的车辆数与通过该路段车辆总数的比率。由图 7 看出，距拥堵路段 7 较近，直接受到该拥堵路段的影响，且行驶车流量较大的后方路段（路段 5、3；33、35；32 等），接收到交通拥堵信息的车辆比率较大。而随着距拥堵路段的距离增加，同时考虑路口车流分流比例造成的路网车流密度及分布的不同，远离拥堵地点的路段能够接收到拥堵信息的车辆比率相对减少。

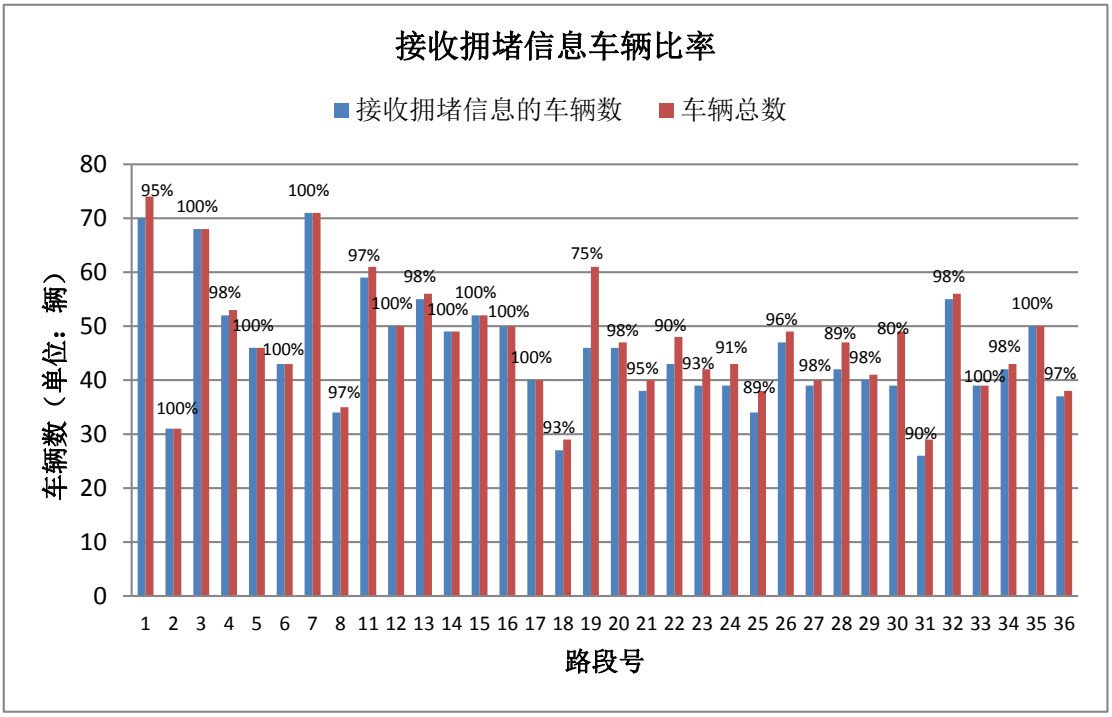


图 7 初始流入车流量时各路段接收拥堵信息的车辆比率

4 结束语

针对城市交通拥堵信息的实时采集及动态发布，本文提出了一种新型的基于车车通信的自主式交通信息系统模式，并基于 VISSIM 交通仿真软件 COM 接口的二次开发，实现了不同车流量时复杂路网情形下的交通仿真，同时从交通拥堵信息最短传播时间和各个路段接收拥堵信息车辆比率这两个方面重点对该系统模式进行了分析评价。仿真结果表明，该系统模式下交通拥堵信息在复杂路网中的传播具有较好效果。作为下一步研究，将继续改进相关模型，并进一步分析路网车流密度不同、信号周期及相位差不同、信息传播丢包率等对拥堵信息的传播影响。

REFERENCES

[1] Bing Yu, Sha Reng, et al. Research of City Traffic Congestion[J]. Logistics Technology.2011,30(6):4-6

[2] Schubert, R., Schlingelhof, M., Cramer, H., Wanielik, G. Accurate Positioning for Vehicular Safety Application-The SAFESPOT Approach. In Proceedings of Vehicular Technology Conference,VTC2007-Spring.IEEE 65th,2007:2506-2510

[3] W.Jin, W.Recker. Instaneous Information Propagation in a Traffic Stream through Inter-vehicle Communication[J]. Transportation Research Part B,40(3): 230-250

[4] Tomotaka Wada, Junya Fukumoto, Kazuhiro Ohtsuki, Hiromi Okada. A Novel Real-Time Recognition Method of Vehicular Traffic Congestion by VANET[J].IEICE Transactions on communications,2011,E94-B(1)

[5] Biddlestone, S., Redmill, K., Miucic, R., Ozguner, U. An Integrated 802.11p WAVE DSRC and Vehicle Traffic Simulator with Experimentally Validated Urban (Los and NLos) Propagation Models[J]. IEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012,13(4):1792-1802

[6] Xi Lu. Research and Simulation of Self-organized Traffic Information System Based on Ad-Hoc Wireless Network [D].Shanghai

Jiao Tong University, Master's Degree Thesis，2007

[7] Zhang Q., Zhao J.H.”A Model for Automatic Collection and Dynamic Transmission of Traffic Information Based on VANET”. [C]. Intelligent Transportation System(ITSC),15th International IEE Conference, September 2012,373-378

【作者简介】



[1] 郑昊（1988-），男，汉，硕士，研究方向：智能交通，学习经历：2010 年本科毕业于北京科技大学，2011 年 9 月至今，于北京科技大学攻读硕士。Email:anqingzheng@126.com

[2] 张崎（1960-），男，汉，工学博士，副教授，研究方向：智能交通、系统工程、电子信息；学习经历：1982 年北京钢铁学院自动化系电气自动化专业毕业获工学学士学位，1985 天津大学系统工程研究所系统工程专业毕业获工学硕士学位 1998 年日本大阪市立大学大学院土木工学研究科交通规划专业毕业获工学博士学位。Email: zhqi@ustb.edu.cn