

一种VANET信息查询模式及分析

朱欣娟, 周千明

(西安工程大学计算机科学学院 西安 710048)

【摘要】提出了一种基于车载自组织网络的车辆实时信息查询模式。在该模式下,实时交通及设施服务信息和用户查询都采用自组织网络传染病路由的方式进行数据传输和发布,只有当查询和实时报告信息在某个节点匹配后,为了节省查询时间,将查询结果信息通过基础设施网络返回查询节点。针对该车辆实时信息查询模式建立了系统模型,对系统查询机制和延时进行了理论分析和推导,并在STRAW/SWANS环境下验证了推导结论,为系统的参数设置和优化提供了理论依据。

关键词 延时分析; 传染病路由; 信息查询模式; 车载自组织网络

中图分类号 TP393

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.06.019

VANET Information Query Mode and Its Analysis

ZHU Xin-juan and ZHOU Qian-ming

(College of Computer Science, Xi'an Polytechnic University Xi'an 710048)

Abstract A vehicular real-time information query mode based on vehicular Ad hoc network (VANET) is proposed in this paper. The real-time traffic information report, facilities service information report, user queries, etc., are disseminated via epidemic routing in the system. Only after a query and a report matched at a node, the report will be returned to the query node via infrastructure network to speed up the query efficiency. The system model is analyzed and the system delay is theoretically deduced. Furthermore, the derived conclusions are validated in STRAW/SWANS simulator, which provide a theoretical basis for parameters setting and optimization for the VANET system.

Key words delay analysis; epidemic routing; information query mode; vehicular ad hoc network (VANET)

车载自组织网络(vehicular Ad hoc network, VANET)是移动自组织网络在道路上的应用,它具有移动自组织网络的各种特点,如自治性和无固定结构、多跳路由、网络拓扑的动态变化、网络容量有限、良好的可扩展性等,但特殊的应用环境又使得VANET具有与一般自组织网络不同的特点。

首先,在VANET中汽车节点的运动会受到不同场景中地形的限制。道路的静态形状使得车辆移动受限,只能沿着车道单、双向移动,具有一维性。由于车辆行驶轨道一般是可以预测的,显著区别于普通的自组织网络节点的随机运动,因此需要专门针对VANET环境开发相应的仿真实验平台,来尽可能真实地反应现实场景特征的汽车节点移动模型,提高汽车自组织网络模拟实验的真实性和可信度。现有的VANET仿真实验平台,如STRAW (street random waypoint model)、MOVE(the mobility model

generator for vehicular networks)、GrooveSim等,可以加载美国人口普查局TIGER地图,在真实地图上模拟车辆行驶情况,使实验结果更可靠^[1]。其次,VANET还具有节点高速移动等特性,直接影响VANET网络的信息传输能力,使得丢包增加、延迟增大。实验表明VANET中使用传统的传输层协议(如TCP、UDP)和路由协议(如AODV、DSR、OLSR等),数据包的成功传输率不会超过50%,延迟大且延迟抖动剧烈^[2]。

目前在车载自组网中采用的路由策略有地理源路由协议GSR、限制洪泛区域的Geocast、贪婪转发与周边转发相结合的GPSR,以及对GPSR改进的空间感知路由协议SAR等。这些路由协议都能在某一道路环境中获得不错的效果^[3],但是这些协议的应用通常需要额外利用电子地图的信息进行计算。

由于VANET中各节点之间的连通性随着节点

收稿日期: 2012-04-05; 修回日期: 2012-09-03

基金项目: 国家自然科学基金(11172342); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-11-0674)

作者简介: 朱欣娟(1969-),女,博士,教授,主要从事智能信息处理方面的研究

的移动而频繁地变化,可以采用传染病路由的方式传送数据。当两个节点相遇时,两者建立无线连接,相互交换信息并将信息存储。随后将此信息转发至下一个遇到的节点,直至传送到目的节点。然而研究发现,传染病路由只适合于网络节点稀疏环境,当网络节点稠密时,传染病路由系统性能下降。因此,文献[4-5]对传染病路由进行了改进以提高系统性能。文献[6]建立VANET下的发布/订阅模型,通过计算车辆与移动订阅者的相遇概率,预测订阅者的移动分布,部署和调度广播令牌在网络中的转发,控制事件代理的分布,保证数据传递的有效性。

VANET研究的核心问题之一是正确认识和描述VANET中的通信应用需求,考虑真实道路交通环境下的系统数学建模,参数分析和优化,包含信息分发的概率模型和延时分析等^[7]。本文提出了一种基于VANET的车辆实时信息查询模式。

1 问题分析与系统模型

1.1 问题分析

在交通道路环境下,司机经常需要搜索实时交通资源信息,如附近是否有停车场,如果有是否还有停车位、附近的餐馆信息、某十字路口的交通状况等。这些信息一方面方便了人们的行程安排,另一方面对人们科学地选择交通路线,避免交通堵塞和无谓的时间浪费具有重要意义。

实现以上实时获取各种交通信息有两种途径。一种是通过client/server模式,车辆或设施传感器作为client端,感知可用信息,通过基础设施网络(Internet或蜂窝电话网)发送报告至中心服务器,供其他client端查询。随着传感器技术和无线通信技术的迅速发展,人们通过VANET的方式实时获取各种交通信息已经逐步变成事实。VANET即是由道路上的汽车之间(vehicle-to-vehicle, V2V)以及汽车与基础设施间(vehicle-to-infrastructure, V2I)通过短距离无线通信协议(如IEEE802.11、蓝牙等)组成的自组织网络。VANET技术可以实现事故告警、辅助驾驶、道路交通信息查询、乘客间通信和Internet信息服务等应用,这些信息通过多跳方式在大范围车辆间传递。从网络角度来看,这些应用涉及到了有效信息的获取、交换、扩散和处理机制^[6]。

将以上两种方式相比较,实现同样的交通信息查询服务,client/server模式费用高,速度快,但当基础设施不存在的时候,就不能够提供这些服务。特别是在灾害发生时,无线基础设施很可能被破坏,

这种情况下,VANET就能够给用户提供了交通、救助和撤离信息。VANET模式下,用户只需要为通讯模块的初始安装付费,自组织网络节点之间的数据通信是完全免费的。然而实际情况往往是人们愿意付费查询信息,不愿意付费提供相关信息。于是信息服务商通过在道路旁安放无线传感器的方式来收集相关交通信息,但是大规模安放无线传感器的费用太高,车载无线通信装置成为VANET中的重要节点。理想的实时交通信息查询模式为收集信息采用短距离无线通信,费用低;查询信息采用client/server模式,速度快。然而由于VANET不断产生各种实时交通信息,采用client/server模式进行数据查询和管理,必将产生网络堵塞。

因此,本文提出实时交通及设施服务信息和用户查询都采用自组织网络多跳数据传输和发布模式,只有当查询和实时报告信息在某个节点匹配后,为了节省查询时间,将查询结果信息通过基础设施网络返回查询节点。

1.2 系统模型

假设系统包含固定的 $N+1$ 个移动车辆节点,节点之间通过短距离通信协议(如IEEE802.11、蓝牙等)相互通信,节点的数据传输距离为 r ,即两节点的距离如果在 r 范围内,它们之间即可相互发送数据。

当两个移动节点 A 与 B 的距离小于 r 时,一个相遇事件发生。只要节点 A 与 B 保持在数据传输范围内,它们就不会再发生相遇事件。反之,如果它们之间的连接中断,即相互之间的距离大于 r 时,相遇事件就有可能再次发生。假设任何一对移动节点的相遇强度为 λ 的泊松过程表示,并且所有移动节点对的相遇过程都是相互独立的^[8]。文献[8]通过对普通的移动模型进行研究,证明了如果一对移动节点在一个有限的区域内移动,它们的传输范围相比这个区域而言足够小,并且它们的移动速度足够快,那么这对移动节点之间的相遇服从泊松分布,泊松分布的强度 λ 可以采用式(1)进行估算。本文第3部分在STRAW/SWANS环境下对该结论进行了仿真实验验证。

$$\lambda \approx \frac{2\omega r E[V^*]}{S} \quad (1)$$

式中, ω 是和节点移动模型相关的一个常数; r 为节点的数据传输距离, $E[V^*]$ 是两个节点之间的平均相对移动速度; S 是节点的移动区域面积。

除了近距离无线传输的能力,本文假设每一个节点还能够通过一个固定的基础设施网络(如蜂窝电话网或人造卫星)同所有其他节点进行通信。设从

一个节点到另一个节点的基础设施网络传输时间为常量 t_b 。

本文关注于特定报告和特定查询之间的匹配过程。假设在0时刻, 被称作报告产生者的一个随机网络节点产生了报告 R , 被称作查询发起者的一个随机网络节点发起了查询 Q 。如果 R 与 Q 具有相同的元数据, 则认为 R 与 Q 匹配。在从0时刻开始直到查询发起者接收到 R 的这个时间周期中, 当两个节点 A 和 B 发生了相遇事件, 如果 A 携带有 R 而 B 没有, 则节点 A 将成功地将 R 复制给 B , 使 B 感染 R 。同样, 对于 Q 也是如此。直观地, 这个假设意味着, 如果各移动节点的存储量及网络带宽充足, 那么当一个节点接收到 R (或 Q)的时候, 则该节点就具备了向它相遇的节点传输 R (或 Q)的能力。换言之, R (或 Q)的传播不会因其他报告或查询的传播而受到干扰。

文献[9]对Ad hoc网络传输和基础设施网络传输环境并存的传输方案进行了研究。通过比较分析, 文献[9]总结得出结合基础设施网络的P2P查询方案较其他方案在系统延时与系统能量方面更具优势。基于此, 本文采用如下方案: 报告与查询都通过Ad hoc网络传播, 而当报告与查询在某个节点匹配之后, 报告将通过基础设施网络被传回。

2 系统延迟分析

首先, 引入一个在文献[9]中被证明的定理, 这个定理将作为后续分析的基础。

定理 1 假设系统中仅有一个查询 Q 存在, 并且在0时刻该查询开始通过传染病路由传播。设变量 $P(t)$ 表示随意的一个非查询发起者在 t 时刻获得该查询的概率, 则有:

$$P(t) = 1 - \frac{N}{N - 1 + e^{\lambda N t}}$$

问题是在系统中仅存在一份报告和一个查询, 并且在0时刻这份报告和这个查询开始被传播, 那么什么时候查询发起者能够获得这份报告呢? 系统延迟将分为两个阶段: 在第一阶段, 查询和报告不断被传播复制直到它们在某节点相匹配; 在第二阶段, 报告通过基础设施网络被回传到查询发起者。

假定查询和报告在0时刻被创建, 设变量 $Q(t)$ 表示系统中任意的一个节点在 t 时刻第一次获得该查询和报告的概率, $Q(t+\Delta t)$ 表示系统中在 $t+\Delta t$ 时刻该查询和报告在节点 m 第一次匹配的概率(其中 Δt 为足够小的时间段), 则 $Q(t+\Delta t)$ 为下列互斥事件之一发生的概率:

1) 节点 m 在 t 时刻已经获得该查询和报告, 并且在时刻 t 到 $t+\Delta t$ 之间该节点没有获得任何新的查询或报告。因此, 系统中节点在 $t+\Delta t$ 时刻第一次获得该查询和报告的条件概率为 $Q(t+\Delta t)=Q(t)$ 。

2) 假设系统中没有任何节点在 t 时刻第一次获得该查询和报告($Q(t)=0$), 则系统中任意的节点在时刻 t 到 Δt 之间有如下3种可能第一次获得该查询和报告: ① 报告产生者遇到查询发起者。该事件发生的概率为 $\lambda\Delta t$ 。② 在 t 到 Δt 时刻, 报告产生者(或查询发起者)遇到余下 $N-1$ 个节点之一(该节点既不是报告产生者又不是查询发起者), 并且该节点已拥有查询(或报告)。该事件发生的概率为 $2\lambda\Delta t(N-1)P(t)$ 。

③ 系统中既不是报告产生者又不是查询发起者的节点在时刻 t 到 $t+\Delta t$ 之间相遇共有 $(N-1)(N-2)/2$ 种不同情况, 它们的相遇强度为 λ , 并且, 在 t 时刻它们已经感染该查询或报告的概率为 $P(t)$ 。因此, 系统在时间间隔 Δt 内存在某节点第一次同时感染该查询和报告的概率为 $\lambda\Delta t \frac{(N-1)(N-2)}{2} \times 2P(t)^2$ 。则有:

$$Q(t + \Delta t) = Q(t) + (1 - Q(t)(\lambda\Delta t + 2\lambda\Delta t(N-1)P(t) + \lambda\Delta t(N-1)(N-2)P(t)^2))$$

通过对上述多个差分方程的简化处理, 得出如下微分方程:

$$\frac{dQ}{dt} = (1 - Q(t)(\lambda + 2\lambda(N-1)P(t) + \lambda(N-1)(N-2)P(t)^2)) \quad (2)$$

由于在0时刻, 系统中任意的一个节点第一次获得该查询和报告的概率为0(初始条件)。由式(2)可得:

$$Q(t) = 1 - \frac{\left(\frac{N-1+e^{\lambda N t}}{N}\right)^{\frac{(N-2)^2}{1-N}-2}}{e^{\left(\frac{N(N-2)}{N-1+e^{\lambda N t}}\right)\frac{\lambda t}{N-1}-N+2}}$$

假设 T_1 表示通过P2P传播的报告和查询的数据包传输延迟, 即系统从一个查询和一份报告在源节点产生到它们首次在某节点相遇所经过的时间, 那么 $Q(t)$ 就成为它的累积概率分布函数(CDF), 即 $Q(t)=\text{Prob}(T_1 < t)$ 。由于 T_1 是一个非负的随机变量, 则 T_1 的期望值为:

$$E[T_1] = \int_0^\infty (1 - \text{Prob}(T_1 \leq t)) dt = \int_0^\infty (1 - Q(t)) dt = \int_0^\infty \frac{\left(\frac{N-1+e^{\lambda N t}}{N}\right)^{\frac{(N-2)^2}{1-N}-2}}{e^{\left(\frac{N(N-2)}{N-1+e^{\lambda N t}}\right)\frac{\lambda t}{N-1}-N+2}} dt \quad (3)$$

假设 T 表示通过P2P传播的报告和通过基础设施

网络电话短信返回报告的平均延迟。在这个方案中,该延迟包含两部分:第一部分为通过P2P传播的报告和查询的延迟,即式(3)中的 $E(T_1)$;第二部分为电话短信返回报告的延迟。则 T 可以计算如下:

$$T = E(T_1) + t_b = \int_0^{\infty} \frac{\left(\frac{N-1+e^{\lambda Nt}}{N} \right)^{\frac{(N-2)^2}{1-N}-2}}{e^{\left(\frac{N(N-2)}{N-1+e^{\lambda Nt}} \frac{\lambda t}{N-1} - N+2 \right)}} dt + t_b \quad (4)$$

3 仿真实验结果

本文对提出的车载自组织网络中的模型进行了仿真测试。通过STRAW平台模拟车辆的行驶状态,使用SWANS(scalable wireless ad-hoc network simulator)实现了对IEEE 802.11b的介质访问控制协议的仿真。STRAW提供了一个道路网中的微观车辆交通模型。在STRAW系统中,车辆运动在实际地图所定义的道路上。车辆的移动受限于每个路段的限速情况、车辆的跟随规则及交通控制机制(如停止标志、红绿灯等)。

本文实验选择美国Cook Country的一个76 km×24 km的区域地图进行仿真。实验中,STRAW装载了1 652个包括US公路、州道、州际高速公路在内的路段,部署了规模为4 000的车辆。车辆的平均时速约为65 km/h。在整个车群中随机挑选 $N+1$ 辆车参与查询处理系统, N 为一个系统参数,其变化范围为9~99。参与查询和报告处理的车辆被视为节点,并设定这些节点的传输范围为100 m。在仿真实验运行过程中,每辆车被放在道路网的一个随机位置,并且选择道路网中另一个随机位置作为目的地。于是,车辆通过最短路径由起点向目的地移动。当车辆到达目的地时,再为其随机选择另一个目的地。这个过程不断重复直到仿真结束。

在验证分析模型前,进行了用以证明在车辆移动模型中任意一对节点的相遇符合泊松过程的仿真实验。为此,设定 $N+1=2$ (即节点数为2),开始模拟1 000 h的仿真实验,并记录所有相遇间隔时间。相遇间隔时间即为连续两次相遇之间的时间段长度。

STRAW/SWANS环境下两节点相遇的累积概率分布函数如图1中的实线所示,该实线在Matlab中可以被一条指数分布曲线以平均系数1/0.24所拟合(如图1中虚线所示)。基于此,可以得出随意一对节点的相遇符合强度为0.24的泊松过程的结论。

当 $N+1$ 在10~100之间变化时,平均延迟的仿真

结果与理论结果的比较如图2所示。可以发现,本文的模型能够精确地预测车辆环境中的传输延迟。

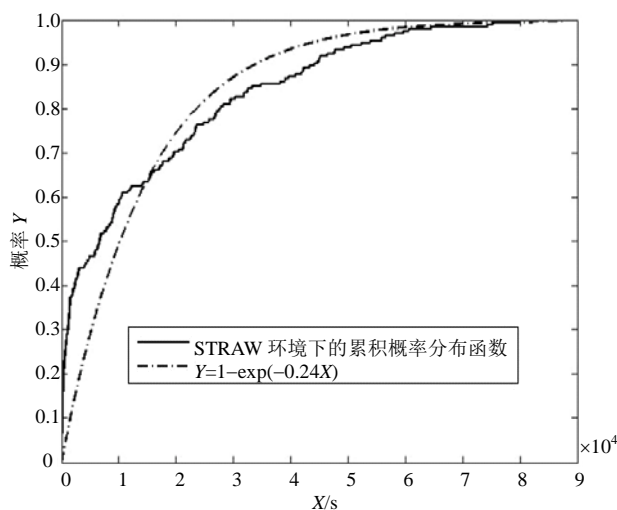


图1 两节点相遇间隔时间的累积概率分布函数

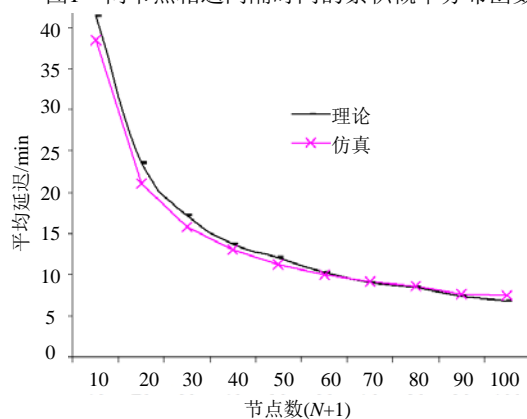


图2 当 $N+1$ 在10~100之间变化时的延迟比较

由式(1)可知,节点相遇强度 λ 和节点的活动区域大小成反比,与节点移动相对速度成正比,同时由式(4)可知, λ 又直接影响系统传输延迟的大小。由图2,在Cook Country 76 km×24 km区域,1 652个路段环境中,系统平均延迟在5 min以上,当该区域面积缩小、路段减少时,系统传输延迟也随之减小。

4 结论

本文提出了一种交通信息分发和查询的模式,在Ad hoc网络通信和基础设施网络通讯方式都具备的情况下,查询和报告信息都通过Ad hoc网络传输分发,而当查询和报告在某一节点匹配后,报告通过基础设施网络通信方式返回给查询节点。从理论上分析了系统的预期延迟,并在STRAW/SWANS环境下进行了仿真验证。系统延迟是VANET系统的一个重要指标,它的理论分析将为VANET系统交通资源信息存活时间(time to live, TTL)的设定提供重要

理论依据。然而, 实践证明在VANET中采用传染病路由进行数据分发当网络节点密度逐渐升高时, 系统传输效率下降很快^[10], 并由此产生大量传输开销消耗无线资源。解决该问题有两种思路, 可以考虑采用启发式的数据传输方法, 使系统根据不同的网络环境选择不同的数据传输模式, 随着网络密度变化, 在不同模式间动态切换, 从而达到使系统性能优化的目的。另一种思路^[5], 对传染病路由由算法进行改进, 通过限制信息的传输扩散范围, 降低网络的通信负载, 这些都是大规模车载自组织网络中需要进一步探索的问题

参 考 文 献

- [1] HARRI J, FILALI F, BONNET C. Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy[J]. Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(4): 19-41.
- [2] 陈立家, 江昊, 吴静, 等. 车用自组织网络传输控制研究[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1477-1490.
CHEN Li-jia, JIANG Hao, WU Jing, et al. Research on transmission control on vehicle ad-hoc network[J]. Journal of Software, 2007, 18(6): 1477-1490.
- [3] 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.
CHANG Cu-yu, XIANG Yong, SHI Mei-lin. Development and status of vehicular ad hoc networks[J]. Journal on Communications, 2007, 28(11): 116-126.
- [4] RAMANATHAN R, HANSEN R, BASU P, et al. Prioritized epidemic routing for opportunistic networks[C]//Proc of the ACM 1st Int'l MobiSys Workshop on Mobile Opportunistic Networking. San Juan: ACM Press, 2007: 62-66.
- [5] NEKOVEE M. Epidemic algorithms for reliable and efficient information dissemination in vehicular ad hoc networks[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2009, 3(2): 104-110.
- [6] 吴磊, 刘明, 王晓敏, 等. 移动分布感知的车载自组网络数据分发[J]. 软件学报, 2011, 22(7): 1580-1596.
WU Lei, LIU Ming, WANG Xiao-min, et al. Mobile distribution-aware data dissemination for vehicular ad hoc networks[J]. Journal of Software, 2011, 22(7): 1580-1596.
- [7] HARTENSTEIN H, LABERTEAUX P. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks[J]. Communications Magazine, 2008, 46(6): 164-171.
- [8] GROENEVELT R, NAIN P, KOOLE G. The message delay in mobile ad hoc networks[J]. Elsevier Journal of Performance Evaluation, 2005, 62(1-4): 210-228.
- [9] ZHU Xin-juan, XU Bo, WOLFSON O. Spatial queries in disconnected mobile networks[C]//ACM GIS 2008. Irvine, CA, USA, 2008: 337-346.
- [10] 陈鹏, 朱欣娟. 一种自适应无线移动自组织网络数据传输方法[J]. 西安工程大学学报, 2009, 23(6): 95-98.
CHEN Peng, ZHU Xin-juan. An adaptive data dissemination approach of wireless mobile ad hoc network [J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2009, 23(6): 95-98.

编辑 漆 蓉

(上接第879页)

- [8] CHEN Jian-hui, DENG Hai-xiao, GU Qiang, et al. Operating the SDUV-FEL with the echo-enabled harmonic-generation scheme[J]. Chinese Physics C, 2009, 33(8): 706-710.
- [9] JIN Xiao, LI Ming, XU Zhou, et al. Experiment study on the CAEP FIR-FEL[J]. HEP&NP, 2006, 30(1): 96-98.
- [10] DENG Hai-xiao. A proposed method to characterize high harmonic microbunching in EEHG operation of SDUV-FEL[J]. Chinese Physics C, 2010, 34(10): 1649-1654.
- [11] DAI Dong-dong, DAI Zhi-min. Beam dynamics design of an SP-FEL compact THz source[J]. Nuclear Science and Techniques, 2010, 21(5): 266-270.
- [12] LUO Feng, BEI Hua, DAI Zhi-min. Design study of an FEL oscillator with a waveguide[J]. Chinese Physics C, 2010, 34(4): 512-515.
- [13] DENG Hai-xiao, WANG Xing-tao, LI Dong-guo, et al. Nonlinear harmonic generation in Shanghai deep ultraviolet FEL[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2007, 19(10): 1603-1609.
- [14] COLSON W B. Theory of a free electron laser[J]. Phys Lett A, 1976, 59(3): 187-190.
- [15] TRAN M T, WURTELE J S. TDA-A three-dimensional axisymmetric code for free-electron-laser simulation[J]. Comput Phys Commun, 1989, 54(2-3): 263-272.

编辑 黄 莘