

面向高速公路环境的 VANETs 中 V2V 链路时延的动态预测^①

王秀峰^{②*} 王春萌* 崔刚* 付中传* 莫毓昌** 暴健民***

(* 哈尔滨工业大学计算机学院 哈尔滨 150001)

(** 浙江师范大学计算机学院 金华 321004)

(*** 南京邮电大学物联网学院 南京 210046)

摘要 考虑到现有移动自组网络(MANETs)和车载自组网络(VANETs)链路时延理论分析方法太复杂,不适合动态预测实际 VANETs 中两车链路时延,提出了动态预测链路时延(DPLD)的数学模型,该模型考虑了两车相对速度分布、距离变化和交通流密度变化因素对两车之间链路时延的影响,能够预测预期要发生的两车的链路时延。该模型的实现取决于相对速度分布的估计方法、基于指数移动平均(EMA)的数据预先处理以及通过处理速度的变化解决交通密度对链路时延的影响。仿真结果表明此 DPLD 模型在预测高速公路上两车链路时延上具有很高的准确性。

关键词 车载自组网络, 链路时延, 预测模型

0 引言

车载自组网络(Vehicular Ad Hoc Networks, VANETs)对保证道路交通的安全性、增强交通系统运行的可靠性和提高交通系统的运行效率有重要作用。先进的无线通信技术和车载设备支持各种 VANETs 的安全应用。要实现安全应用,需要求车对车(vehicle-to-vehicle, V2V)通信数据实时、可靠、低延迟地传输,而链路时延是数据传输性能的关键属性和衡量指标,也是多跳信息传输选择中继节点的重要依据之一。从移动自组网络(Mobile Ad Hoc Networks, MANETs)到 VANETs,链路时延一直是被研究的重点,因为它是设计网络拓扑结构和最大化网络性能的重要指标。在 MANETs 中,由于节点的移动不受方向和区域限制且速度低,所以分析 MANETs 的方法不满足车载网络环境和应用的需求。有些基于 MANETs 的方法经过修改后被应用在高速公路环境^[1-5]。文献[6-8]研究了链路时延的概率分布。链路时延是指两个节点停留在彼此传输范围内的一段时间^[9]。本文研究了高速公路环境中行驶的任意两车 V2V 链路连接状态下的链路时

延的预测。与现有研究不同,本研究建立了动态预测链路时延(dynamic prediction link duration, DPLD)数学模型,该模型能够实时地预测在链路连接状态过程中的每一秒到链路断开时的链路时延,而以往建立的都是计算当前链路已经连接的时间延迟静态预测模型。此外,本研究在以往建立的链路时延模型考虑车辆节点的位置、速度、运动方向、两车之间的距离及节点密度、无线信号传输范围因素的基础上,进一步考虑了两车的相对速度分布和两车之间距离的动态变化,并且分析了密集和稀疏时车辆速度变化对链路时延造成的影响。

1 相关工作

研究人员对 MANETs 链路时延多有研究^[10-13],但是这些对 MANETs 中的链路延迟或链路连接性的研究不适合 VANETs,尤其在路由协议方面的研究(比如动态源路由(DSR)协议、无线自组网络按需距离矢量(AODV)协议、通用分组无线业务(GPSR)协议也不适合动态变化的 VANETs 的网络拓扑结构^[14-17])。由于受道路的拓扑结构和信息传播方向的限制,目前对 VANETs 中对链路时延的研

① 国家自然科学基金(61272130)资助项目。

② 女,1979 年生,博士;研究方向:车联网,移动自组网;联系人,E-mail: wxf@hit.edu.cn
(收稿日期:2014-09-26)

究只限于一维的高速公路环境和二维的城市环境,因此VANETs中链路时延的分析方法,不仅需要区分城市场景和高速公路场景,还要考虑影响链路时延的各种因素。

文献[1-4]针对高速公路交通场景提出了模型并分析链路时延。文献[1]提出的模型分析了高速公路场景中链路连接性的特点,同时给出了大量的模拟实验结果证明了其准确性。在文献[2]中Yan等人通过两车的速度、两车之间的距离研究链路时延,假设真实的无线传输范围和车间距离概率分布模型,结果发现链路时延能够用对数-正态分布近似。但是分析方法只限于两车的速度和加速/减速因子已知的情况。文献[3,4]提出了模型分析一维高速公路场景的链路时延和连接性时延。文献[5]采用车间距离建立了Markov模型,通过动态调整车间距离和信道随机性研究车辆移动性对VANETs链路时延的影响。Boban等人在文献[18]中针对城市和高速公路环境中链路连接较好的网络场景中的连接时延进行了研究。Bai等人对MANETs中的多跳路径时延统计进行了研究^[1],他们研究了随着移动性模型、相对速度、跳数和通信范围等参数的变化,多跳路径时延的概率密度函数怎样变化,结果发现,对于中、高速移动的节点,指数分布能较好地近似路径时延的分布。在文献[6]中,Zhu等人发现指数分布也能够近似VANETs中的链路时延的概率分布。在文献[7]中,Nekvoee等人在假设车辆之间的距离是恒定的情况下研究了链路时延的概率,在文献[8]中Sim等人在假设车速服从正态分布的情况下扩展了文献[7]的成果。

从目前的文献研究表明,本文是唯一一篇采用两车相对速度分布、两车间动态变化的距离,通过处理车辆速度的变化解决交通密度对链路时延的影响来建立动态预测链路时延(DPLD)模型的论文。本文提出的数学模型适合高速公路环境中的多种交通密度的任意两车链路时延的预测。

2 数学模型详细设计

2.1 车辆在路上行驶状况

本文只分析汽车在道路上同向行驶和对向行驶两种状况。图1给出了汽车在高速公路环境中的四车道双向行驶的状况。

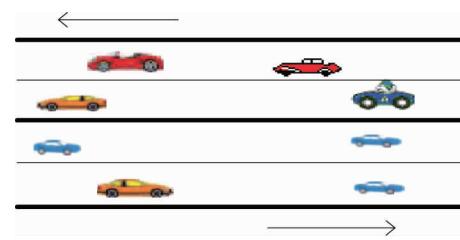


图1 汽车在高速公路行驶

2.2 链路时延模型的提出

为了精确实时地预测两车链路连接多久,DPLD模型必须随着车速变化动态地调整,为此我们提出采用两车相对速度的分布而不是汽车的瞬时速度来估计两车最可能的链路时延,也就是预期要发生的链路时延。

2.2.1 相对速度的分布

车辆在路上变速行驶,通过对车辆行驶轨迹的分析以及对以往资料研究表明,路上行驶的车辆的速度服从正态分布[7]。假定一个汽车的速度 v 是一个随机变量,那么 $v \sim N(u, \sigma^2)$,它的概率密度函数用下式表示:

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(v-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

如果汽车的速度是独立的随机变量,那么任意两车的相对速度仍然是正态分布。两车速度的概率密度函数分别为 $f(v_1) \sim N(u_1, \sigma_1^2)$ 和 $f(v_2) \sim N(u_2, \sigma_2^2)$,则两车相对速度的概率密度函数为 $f(v_{12}) \sim N(u_{12}, \sigma_{12}^2)$,其中 $v_{12} = v_1 - v_2, u_{12} = u_1 - u_2, \sigma_{12}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$ 。为了估计任意两车的相对速度的分布,我们首先需要知道任意一个汽车速度的分布参数 u, σ^2 ,连续采集一个汽车速度的样本集(v_1, v_2, \dots, v_n),估计 u 和 σ^2 采用最大化对数似然函数 $\ln L(u, \sigma^2)$ 的最大似然法,用下式表示:

$$-\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (v_i - u_i)^2 \quad (2)$$

由此衍生出 u 和 σ^2 服从最大似然估计。

$$\hat{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (3)$$

用 \hat{u} 估计 u ,它是所有样本的平均值。因为 \hat{u} 是同一最小方差的无偏估计,服从正态分布^[19],正态分布写成 $\hat{u} \sim N(u, \sigma^2/n)$ 。因此 \hat{u} 的标准误差是和 \sqrt{n} 成正比的,样本值越多,估计误差越小。

采用样本方差 s^2 估计 σ^2 ,因为样本方差是方差的无偏估计^[19],因而样本方差用下式表示:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v})^2 \quad (4)$$

为了避免存储器溢出,采用滑动窗口机制每一次预测只记录最近 10s 内的一个汽车的速度样本来估计 u 和 σ 。

2.2.2 链路时延预测的原则

我们把任意两车之间的链路时延看作一个随机变量 T , T 的主要分布取决于三个因素:(1)两车的相对速度;(2)两车之间的初始距离;(3)两车相对的移动方向。因为这些因素在两车链路连接过程中是变化的,因此 DPLD 模型需要实时调整原则才能获得更精确的预测结果。

为了确定 T 的分布,我们首先引进相对行驶距离 L 的概念。假设两车同向行驶,如果后面跟随的车速比前面的大,则 $L = R + d$, R 是通信范围,否则 $L = R - d$ 。当两车对向行驶,如果它们之间的距离逐渐增大,则 $L = R - d$, 否则 $L = R + d$ 。在链路连接过程中,两车行驶过的相对距离是变化的。

我们给出随机变量 T 的分布函数如下:

$$F(T) = P(T \leq t) = P\left(\frac{L}{v} \leq t\right) = 1 - P(v \leq \frac{L}{t}) \quad (5)$$

两边求导得到的 T 的概率密度函数为

$$f(t) = \frac{L}{t^2} f_v\left(\frac{L}{t}\right) \quad (6)$$

因为相对速度 v 服从正态分布,等式(6)可以写成

$$f(t) = \frac{L}{t^2 \sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(L-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

式中 u 和 σ 是相对速度的分布的平均值和标准差。因此,预期的链路时延能够通过下式计算:

$$E(t) = \int_0^\infty t(f(t)) dt \quad (8)$$

因为相对速度服从正态分布,所以 99.9% 的相对速度值都在 $[u - 4\sigma, u + 4\sigma]$ 区间内。所以最小相对速度和最大的相对速度最可能的取值分别为 $u - 4\sigma$ 和 $u + 4\sigma$, 因此定积分的区间缩小为 $[L/(u + 4\sigma), L/(u - 4\sigma)]$, 所以预期的链路时延通过下式计算:

$$E(T) = \int_{\frac{L}{u+4\sigma}}^{\frac{L}{u-4\sigma}} \frac{L}{t^2 \sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(L-u)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (9)$$

3 链路时延的预测过程

基于上节建立的链路时延的预测模型 DPLD,

任意一辆车都可以预测它和自己传输范围内的所有车辆的链路时延。

在某一时刻,假设汽车 n_i 和 n_j 之间的链路是连接的,基于两车的速度 v_i 和 v_j 分布和两车之间的相对距离,两车的链路时延就能够被估计。假设每车滑动窗口的大小为 10,那么汽车 n_j 存储了它最近 10s 内的速度样本 $(v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{j10})$ 。这 10 个速度样本就将在下一个信标周期内广播给 n_j 传输范围内所有汽车。因为 n_i 在 n_j 的传输范围内,所以它将收到这些样本。和它自己的速度对比, n_i 能够计算两车的相对速度 $(v_1, v_2, \dots, v_{10})$, $v_l = v_{il} - v_{jl}$, $l = 1, 2, \dots, 10$ 。根据 $(v_1, v_2, \dots, v_{10})$, n_i 和 n_j 相对速度的分布能够通过式(3)和(4)估计,在每一次的信标信息内包含了汽车的位置信息,所以 n_i 和 n_j 初始相对距离 L_{ij} 也能计算出来。用 u_{ij}, σ_{ij} 和 L_{ij} 替代(9)式中的 u, σ 和 L , n_i 和 n_j 之间的预期的链路时延能够计算。

一个汽车可能因为前面的车速而突然刹车,车速急剧下降,或者因为突然超车而车速突然增加,这样相对速度的突然变化会导致链路时延预测的结果较大的变化,为了避免这样的问题,我们采用了指数移动平均(Exponential Moving Average, EMA)方法预先处理速度的变化,如下式所示:

$$V_l = \alpha \times v_l + (1 - \alpha) \times V_{l-1} \quad (10)$$

V_l 和 v_l 是在 l 时刻处理的速度和瞬时速度。因为 V_l 是从 0 到 l 时刻的速度样本的线性组合,并且 v_0 到 v_l 服从正态分布,所以 V_l 仍然服从正态分布,换句话说,DPLD 模型可以应用于通过 EMA 法处理过的速度样本。

预测 n_i 和 n_j 两车的链路时延的过程遵循流程图 2 所示的流程。

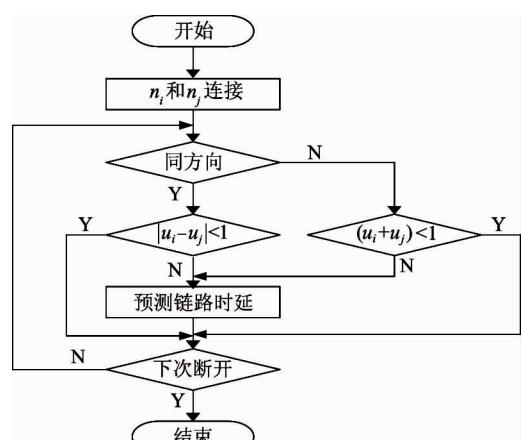


图 2 n_i 和 n_j 链路时延预测流程图

当汽车 n_i 收到一个来自 n_j 信标信息时,它首先检查 n_j 是否和它同向行驶,如果是则平均相对速度是 $u_i - u_j$,否则是 $u_i + u_j$ 。在一些特殊情况下, $u_i - u_j$ 和 $u_i + u_j$ 值非常小,比如,两车行驶状态非常接近,这时交通密度可能是密集型的,所以两车处于跟驰状态,此时预测链路时延意义不大,这时我们采取暂时不预测而是保留上次预测的值,这个相对的平均速度的阈值设置为1m/s,如图2所示。

4 DPLD 性能评价

因为汽车的移动性模型在VANETs中是影响DPLD模型精确性重要因素,我们通过VanetMobiSim^[20]产生汽车运动轨迹,它的移动性模式对于TSIS-CORSIM已经被证明是有效的,是一个非常有名的和有效的交通轨迹生成器。VanetMobiSim从微观和宏观层面描述真实的汽车移动性并且支持交通灯、换道和速度变化的规则。

面向高速公路环境的DPLD模型主要考虑相对速度分布和两车之间距离的变化。为了评价DPLD的性能,我们构建了高速公路的真实场景来反映这两因素对模型的影响。另外,两车的移动方向也极大地影响DPLD的性能。当两车对向行驶,两车相对距离可能先减少,然后过了相遇点后逐渐增加;或者两车无相遇,相对距离一直保持增加直到链路断开,DPLD能准确预测链路时延。不过当两车同向行驶并且两车状态比较接近时,DPLD的预测性能会下降,当然在可以接受和理解的范围内。本节采用的样本都是两车的链路从开始连接到链路断开。

在VanetMobiSim模拟器中,我们在长5000m 4车道的路上放了100辆车,设置了最大车速34m/s和最小车速18m/s,加速和减速因子分别设置为3和2,车流双向行驶,无线通信半径为250m,模拟时间为300s。为了更好地观察行驶方向对DPLD模型造成的影响,我们分同向行驶和对向行驶两个方向分别测试DPLD模型,在每一秒钟,每个汽车采集它邻居的速度分布并计算它和邻居节点的相对速度和距离,根据DPLD模型可以计算链路从开始连接到断开所用的时间。

4.1 同向行驶任意两车链路时延的预测

我们随机选择一对同向行驶的汽车,图3给出了随时间变化的两节点的平均速度和平均的相对速度。我们能够看出,两车的平均速度随时间几乎没有变化,因此它们之间的平均相对速度也有同样的趋

势。这表明车辆在高速公路上行驶状态变化不大,如图4所示。图4描述的是两车速度及相对速度的标准差,曲线虽然看上去变化大,但是从纵轴的单位很小看,说明车辆在路上速度变化小。

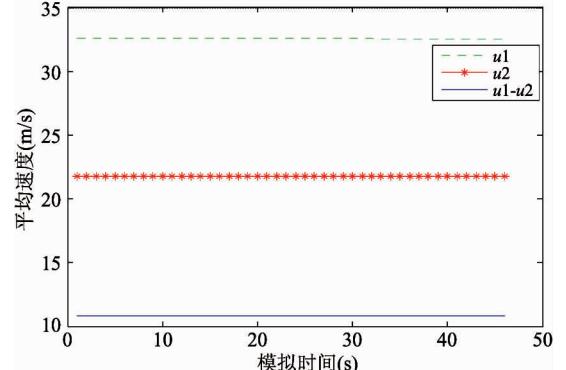


图3 两节点的平均速度及平均的相对速度

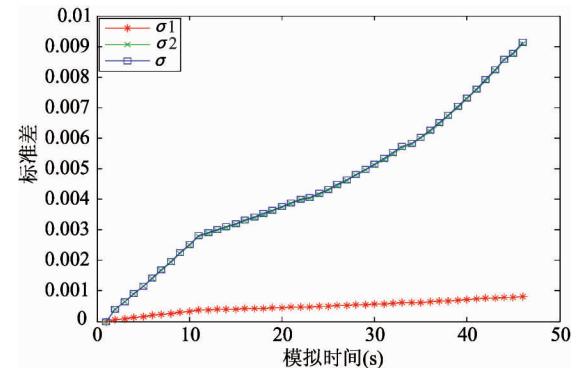


图4 两节点速度及相对速度的标准差

由于高速公路场景没有交通灯的影响,DPLD几乎能够准确地预测两车之间的链路时延,如图5所示。两车在从开始连接到46s断开。模型预测的链路时延和模拟时延很接近,这表明DPLD预测的结果误差很小。我们进一步分析了预测误差通过DPLD预测的链路时延和真实的链路时延差除以真

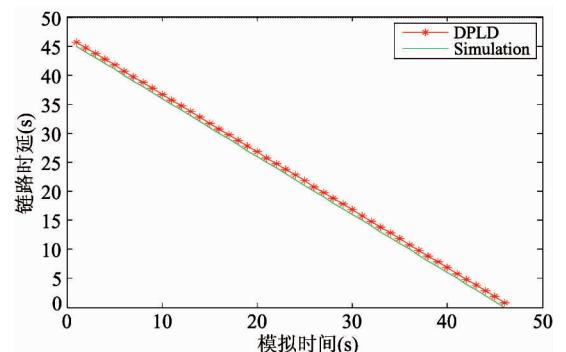


图5 两节点的链路时延

实的链路时延。DPLD 预测的链路时延的误差的分布函数如图 6 所示, 图中曲线变化清楚地表明,DPLD 预测的链路时延 85% 以上的误差小于 10%。

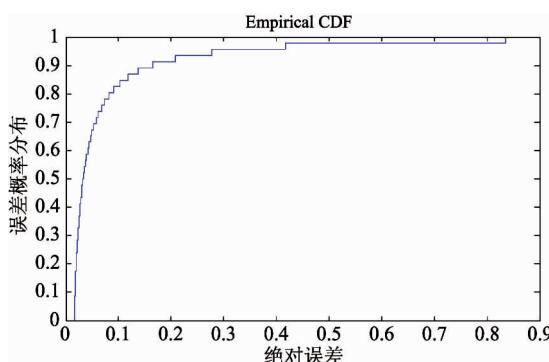


图 6 预测误差的概率分布

为了更深入地分析 DPLD 预测两节点间链路时延的总体趋势, 我们随机选择了 10 对同向行驶的汽车节点并给出了 DPLD 预测这 10 对节点链路时延平均误差的柱状图, 如图 7 所示。从图中看出, 绝大部分的平均预测误差小于 10%。这种精确性能够支持上文提到过的大部分应用。

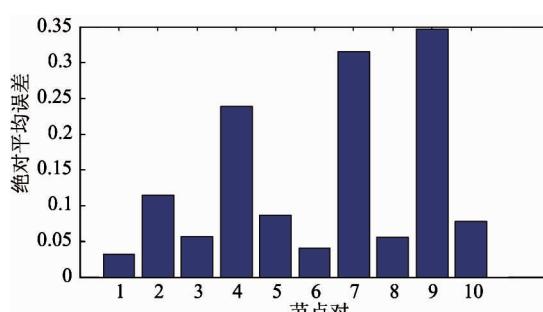


图 7 任意 10 对节点预测的平均误差

4.2 对向行驶任意两车链路时延的预测

当两车对向行驶时, 如果没有相遇点, 则两车之间的相对距离会持续增大直到链路断开。如果有相遇点, 则两车之间的相对距离会先减小, 直到相遇后持续增加直到链路断开。对向行驶的链路连接时间比同向行驶的两车链路连接时间短。DPLD 模型预测对向行驶的两车链路时延更精确, 为了证明 DPLD 预测的准确性, 我们随机选择了一对对向行驶的汽车节点并分析了 DPLD 预测的链路时延误差。

图 8 给出了两车的平均速度和平均的相对速度随时间变化。图 9 给出了两车速度和相对速度的标准差随时间的变化。从图 9 看出, 1 号车速度变化

小, 2 号车在 6s 后速度变化大, 但是从纵轴的单位看速度变化很小。从图 10 看两条曲线从链路连接直到链路断开很接近, 这表 DPLD 预测的链路时延准确性很高。图 11 进一步给出了 DPLD 的预测误差的概率分布函数 CDF 变化, 从图中看出大约 60% 的模型预测结果误差小于 1%, 最大的误差也小于 5%。

为了分析 DPLD 预测误差的总体趋势, 本文随机抽取 10 对节点的 DPLD 预测的平均误差制作了柱状图 12, 从图中看 DPLD 预测对向行驶的汽车的链路时延误差总体小于同向的。

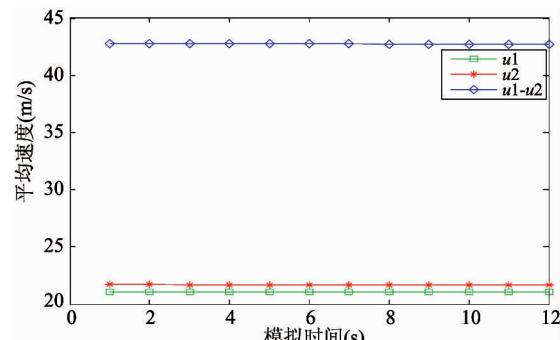


图 8 两节点的平均速度和平均的相对速度

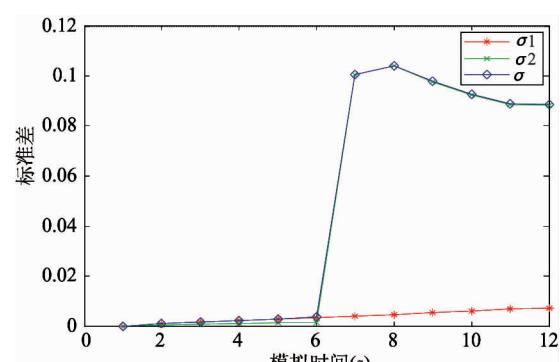


图 9 两节点的速度和相对速度的标准差

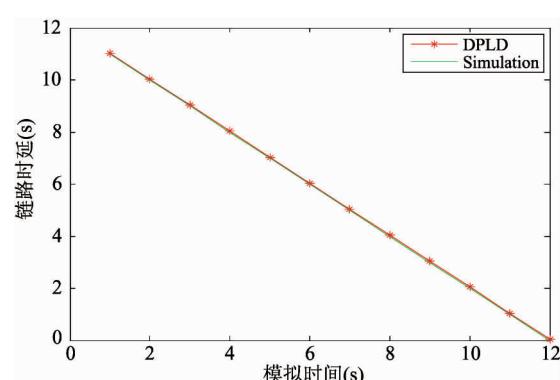


图 10 对向行驶的两节点的链路时延

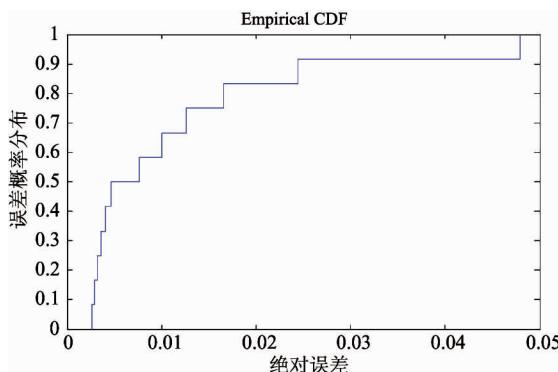


图 11 预测误差的概率分布

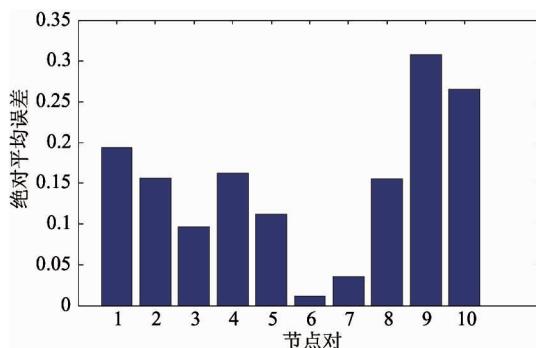
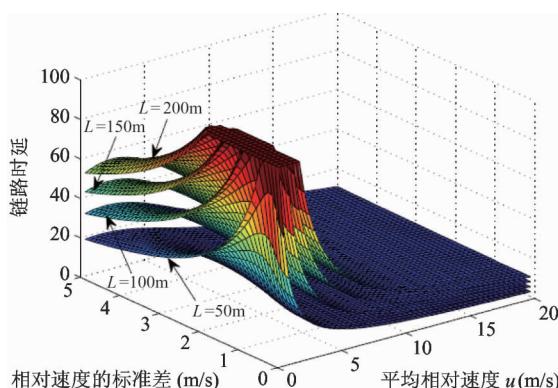


图 12 10 对节点预测的平均误差

4.3 DPLD 预测的链路时延的总体分析

图 13 给出了 DPLD 的执行结果随着不同参数 u, σ 和 L 的变化趋势。图中 $u \in (0, 20)$, $\sigma \in (0, 5)$, L 被设置 $50m, 100m, 150m, 200m$ 。我们从图中能够看出,当 L 和 σ 固定,链路时延随着 u 的减小而增加;当 $u \in (0, 10)$,链路时延变化剧烈。当 u 和 L 固定,链路时延随着 σ 减小而增加,当 σ 趋近于零时变化大。如果 u 和 σ 不变,链路时延随着 L 增加而增加,当 $u \geq 10$,不管 σ 和 L 怎样变化,链路时延的变化很小,因此我们发现 u 是影响链路时延的主要参数,其它两个次之。

图 13 u, σ 和 L 对链路时延的影响

5 结 论

对于前人的研究工作中所做的不切合实际假设,比如车辆速度恒定、节点密度恒定等因素,本文则采用节点密度和车辆速度随机产生,在此基础上提出了以两车相对速度的平均值及其标准差、两车之间变化的距离作为参数的 DPLD 数学模型,充分考虑两车的相互作用对链路时延的影响,也考虑了两车之间的不断变化的距离对链路时延影响,从车辆速度的变化上间接处理车辆密集时对链路时延的影响,使该模型可以解决稀疏型和密集型两种网络链路时延的预测。采用 VanetMobiSim 所获得真实车辆轨迹数据测试本文的数学模型,测试结果表明数学模型适合解决高速公路环境下的链路时延实时地预测问题,弥补了前人提出的计算链路时延数学模型的不足。本文根据两车的相对速速度、方向、位置及交通流密度动态地调整计算公式,全面考虑了两车在道路上同向和对向行驶的各种状态,对两车在各种行驶状态下特别是链路接近断开时的链路时延能做出几乎准确预测。综上所述,本文提出的数学模型能够很好地解决高速公路环境任意两车同向行驶和对向行驶的链路时延预测问题。

本文未来将要继续解决高速公路交叉口处转弯的链路时延问题,将提出一个完整的适合高速公路环境的解决链路时延的数学模型。

参 考 文 献

- [1] Wisitpongphan N, Bai F, Mudalige P, et al. Routing in sparse vehicular ad hoc wireless networks, *IEEE J Sel Areas Commun, Special Issue on Vehicular Networks*, 2007, 28(8): 1538-1556
- [2] Yan G, Olariu S. A probabilistic analysis of link duration in vehicular ad hoc networks. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 2011, 12: 1227-1236
- [3] Mathew Ninsi Mary, Neelakantan P C. Analyzing the network connectivity probability of a linear VANET in Nakagami fading channels, In: Proceedings of the 15th International Conference Distribute Computing and Networking, Coimbatore, India, 2014, 8314: 505-511
- [4] Artimy M M, Robertson W, Phillips W J. Connectivity in intervehicle ad hoc networks, In: Proceedings of the IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, Ontario, Canada, 2004, 1: 293-298
- [5] Hu M, Zhong Z, Wu H, et al. Effect of fading channel on link duration in vehicular ad hoc networks, In: Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Net-

- working Conference, Shanghai, China, 2013, 1687-1691
- [6] Zhu H, Fu L, Xue G, et al. Recognizing Exponential Inter-Contact Time in VANETs, In: Proceedings of the International Conference on Computer Communications, San Digeo CA, USA, 2010, 1-5
- [7] Nekovee M. Modeling the spread of worm epidemics in vehicular ad hoc networks, In: Proceedings of the Vehicular Technology Conference, Melbourne, Australia, 2006 spring, 2: 841-845
- [8] Sim M L, Nekovee M, Ko Y F. Throughput analysis of wi-fi based broadband access for mobile users on the highway, In: Proceedings of 2005 13th IEEE International Conference on Networks Jointly held with the 2005 IEEE 7th Malaysia International Conference on Communication, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005, 1: 21-26
- [9] Tsao C, Wu Y T, Liao W, et al. Link duration of the random way point model in mobile ad hoc networks, In: Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, LAS VEGAS NV, USA, 2006, 1: 367-371
- [10] Tonguz O K, Ferrari G. Ad hoc wireless networks: a communication theoretic perspective, Wiley & Sons, 2006. 10-15
- [11] Bai f, Sadagopan N, Krishnamachari B, et al. Modeling path duration distributions in MANETs and their impact on reactive routing protocols, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22 :1357-1373
- [12] Cho S, Hayes J. Impact of mobility on connection stability in ad hoc networks, In: Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, New Orleans LA, USA, 2005, 3:1650-1656
- [13] Camp T, Boleng J, Davies V. A surey of mobility models for ad hoc network research, In: Proceedings of the Wireless Communication and Mobile Computing, Boston, USA, 2002, 2(5) :483-502
- [14] Saha A K, Johnson D B. Modeling mobility for vehicular ad hoc networks, In: Proceedings of ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, Broadway , USA, 2004, 91-92
- [15] Lochert C, Hartenstein H, Tian J, et al. A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments, Beijing, China, In: Proceeds of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2003, 156-161
- [16] Potnis N, Mahajan A. Mobility models for vehicular ad hoc network simulations, In: Proceedings of the ACM Southeast regional conference, 2006, 746-747
- [17] Viriyasitavat Wantanee, Bai fan, Tonguz Ozan K. Dynamics of network connectivity in urban vehicular networks, *IEEE Journal on selected areas in communications*, 2011, 29:515-533
- [18] Boban M, Misek G, Tonguz O. What is the best achievable qos for unicast routing in vanets? In: proceedings of the IEEE Global Communications Workshops, New Orleans LA, USA, 2008 , 1-10
- [19] Krishnamoorthy K. Handbook of Statistical Distributions with Applications, ser. Statistics: A Series of Textbooks and Monographs. Taylor & Francis, 2010. 128-135
- [20] Harri J, Filali F, Bonnet C, et al. VanetMobiSim: Generating realistic mobility patterns for VANETs, In: Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, New York, NY, USA, ACM, 2006. 96-97

Dynamic prediction of V2V link duration in VANETs for highway environments

Wang Xiufeng^{*} , Wang Chunmeng^{*} , Cui Gang^{*} , Fu Zhongchuan^{*} , Mo Yuchang^{**} , Bao Jiangmin^{***}

(^{*}School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(^{**}School of Computer, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004)

(^{***}School of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046)

Abstract

A mathematic model for dynamic prediction of link duration (DPLD) in vehicular ad hoc networks (VANETs) is proposed because existing methods for theoretical analysis of link duration in both mobile ad hoc networks (MANETs) and VANETs are too complicated to be applied to a practical setting. The practical DPLD model considers the distribution of two vehicle's relative velocity, inter-vehicle distance and traffic density to estimate the expected link duration between any pair of connected vehicles. The implementation of the model depends on an approach for relative velocity estimation, an exponential moving average (EMA)-based data processing procedure, and the solving of the impact of the traffic density on link duration by processing the velocity change of vehicles. The simulation results show that the DPLD model can predict link duration with the high accuracy.

Key words: VANETs, link duration, prediction model