

车载自组网中基于路侧单元预测的可靠路由算法

任 智, 吕昱辉, 张 勇

(重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 现有利用地图和 RSU(Roadside Unit)辅助的路由算法在利用 RSU 对目的节点的位置进行预测过程中, 没有考虑节点速度为零, 导致对目的节点的预测范围不准, 且 RSU 在对节点进行预测后, 利用地图选取的到目的节点的最短路径不是最优路径, 对此提出 RRRP(Reliable Routing with Roadside-aided Prediction in Vehicular Ad Hoc Networks)机制. RRRP 采用可靠预测机制, 确保数据包的成功发送, 利用密度感知机制, 使 RSU 计算的到目的节点的路径是最优路径. 仿真结果表明, RRRP 机制能有效提高数据的传送成功率和吞吐量, 降低消息的平均端到端时延.

关键词: 车载网络; 贪婪转发; 可靠预测; 密度感知

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)04-0058-05

Reliable Routing with Roadside-aided Prediction in Vehicular Ad Hoc Networks

REN Zhi, LV Yu-hui, ZHANG Yong

(Chongqing Key Lab of Mobile Communications Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: To solve the problem that the existing routing algorithms, which use digital map and roadside units, have not considered the situation that the node's velocity is zero with roadside-aided predicting the node's destination. The situation will cause the prediction range out of date. And the route using the digital map to construct, which is made up of the shortest roads, is not the most optimal routing path. A Reliable Routing with Roadside-aided Prediction in Vehicular Ad Hoc Networks (RRRP) is proposed. RRRP use the reliable prediction and density aware mechanism to make sure the data successfully delivered to the destination. The simulation shows that RRRP can improve the packet deliver ratio and the throughput, reduce the end to end delay.

Key words: Vehicle Ad-hoc Networks; GPSR; reliable prediction; density aware

1 引言

与传统 Ad Hoc 网络^[1]相比, 车载自组网^[2]具有自己的特点, 车辆节点运动速度快, 导致拓扑变化速度极快, 网络易于割裂等. 但另一方面, 车辆节点的运动又受到道路拓扑的限制, 这使得车辆的轨迹有一定规律, 有一定的预测性, 车载网中车辆可以加载数字地图, 能通过 GPS 获取位置信息, 还可以与

路侧设备 RSU 通信.

近年来, 关于车联网领域中基于 RSU 辅助的数据传输策略已经有了大量的研究. 在对位置的预测算法方面, Li Z 等提出基于实时位置的路由^[3], 假设车辆节点持续单播自己的位置和状态给中心服务器, 需要发送数据的节点从中心服务器获取目的节点的状态和位置进行预测, 这种方式将产生大量的延时. Li L 等提出根据节点运动趋势预测的路

收稿日期: 2017-06-18; 修回日期: 2017-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61379159); 重庆市基础与前沿研究计划资助项目(cstc2015jcyjBX0085); 长江学者和创新团队发展计划基金资助项目(IRT1299)

由^[4],车辆在通过十字路口后向自己的邻居广播自己的状态,所以节点都通过这样的方式让所有的车辆接收到网络中的车辆的信息,用来进行预测,这种方式会产生大量的开销. Khaleel M 等提出 CAN DELIVER 算法^[5],利用 RSU 对目的节点位置进行预测,网络中每个节点都向离自己最近的 RSU 发送 Beacon 消息,报告自己的状态,这样得到的预测相对比较实时,预测到目的节点位置后贪婪转发数据包,但没有考虑道路出现不连通的情况. 本文在以 CAN DELIVER 算法为代表的算法的基础上提出一种(Reliable Routing with Roadside-aided Prediction in Vehicular Ad Hoc Networks, RRRP)机制. 本文的主要贡献:(1) RSU 对目的节点位置预测不准的情况进行改进;(2) RSU 在对节点进行预测后,利用地图选取的到目的节点的最短路径不是最优路径的问题进行改进.

2 系统模型与问题描述

算法主要分为两个部分:从源节点到最近的 RSU 的路由和从 RSU 到目的节点的路由.

2.1 模型与假设

定义 1(消息注册) 网络中的节点周期性地发送 Beacon 消息(包含自己的位置、速度、方向、时间戳等信息)给离自己最近的 RSU,这些信息可以用来为离目的节点最近的 RSU 预测目的节点提供数据.

定义 2(路径计算模型) 当节点有数据需要发送时,如果是从节点到 RSU 的路由,则节点会根据地图计算一条从节点到 RSU 的最短街道组成的最短路径;如果是从 RSU 到目的节点的路由,则根据 RSU 根据地图计算一条从 RSU 到目的节点之间的最短街道组成的最短路径.

定义 3(预测模型) 当节点发送数据给有目的节点的位置信息 RSU 后,RSU 根据接收的目的节点最后一次 Beacon 消息预测目的节点的位置,并把消息传送给目的节点.

为方便后续工作的展开,本文做出如下假设:

假设 1 由于原算法采用地图计算路径,因此,本文中的节点和 RSU 都预先加载了全网的地图,且节点装备有 GPS 系统,另外,节点从地图上可以知道所有 RSU 的位置.

假设 2 由于原算法采用 RSU 预测目的节点的位置,因此,RSU 具备有比较强大的计算能力,且不考虑计算的时延.

假设 3 节点在道路上服从均匀分布.

2.2 问题描述

CAN DELIVER 算法中每个节点都需要和离自己最近的 RSU 发送 Beacon 消息,目的 RSU 会根据接收到的目的节点最新的 Beacon 预测目的节点的位置,然后目的 RSU 根据地图计算目的节点的最短街道,在此基础上组成最短路径,贪婪转发数据包给目的节点.

该算法主要存在以下两个方面的问题.

(1)目的 RSU(接收到目的节点发送的 Beacon 消息,离目的节点最近的 RSU)在对目的节点的位置进行预测时,没有考虑目的 RSU 接收到的最新的目的节点的 Beacon 消息中节点速度为零的情况. 道路中行驶节点可能会遇到红绿灯、突然启动、突发交通事故等,进而出现节点速度为零的情况. 这种情况会导致 CAN DELIVER 算法对目的节点的位置预测不准确,从而导致目的 RSU 无法将数据包传递给目的节点,产生大量的时延,大大降低数据包的传送成功率.

(2)CAN DELIVER 算法在发送数据包给目的节点时,利用地图计算一条最短路径,在路径上转发时采用贪婪转发思想,CAN DELIVER 算法根据地图计算的由离目的区域最近的道路组成的各段街道而形成最短路径,算法没有考虑道路的不连通情况,因此不是最优的路径. 另外,根据算法对目的节点的预测机制可知,目的节点的位置属于一个范围,因此最短路径可能不只一条,而各条道路上的车辆密度分布不一样,也会导致算法计算的最短路径不是最优路径.

3 RRRP 算法

上述问题对现有车载自组网中采用 RSU 辅助,并利用贪婪转发的路由算法的时延、吞吐量和成功率会造成不利影响. 为解决这两个问题,本文提出一种基于 RSU 预测的可靠路由算法(RRRP).

3.1 RRRP 新机制

3.1.1 可靠预测机制

(1)RRRP 位置预测子机制(RSU 接收到目的节点的 Beacon 消息中目的节点速度不为零情况): RSU 根据接收到的目的节点的 Beacon 消息,可以知道目的节点的位置、方向和速度,分为两种情况,即目的节点靠近 RSU 和目的节点离开 RSU. 如图 1 所示,RSU 有数据包需要发送时,则可以根据式(1)计算 RSU 最近一次接收到目的节点的 Beacon

消息到现在需要发送数据包这段时间所走的距离 d_t , 根据式(2)计算 RSU 把数据包传递给目的节点的传输时间 t_c , 根据式(3)计算在 t_c 时间段内车辆所走的距离 d_c , 则可以根据式(4)计算车辆在这个过程中所走的距离为 d_{tot} , 然后根据地图, 看车辆节点在运动 d_{tot} 的距离内是否经过十字路口或者交叉路口, 如果没有则可以预测目的节点的位置并把数据包传递给目的节点, 如果有, 则以经过的第一个十字路口为圆心, 以剩下的距离为半径, 形成目的节点的预估区域, 在发送数据包时, 数据包到了预估区域采用洪泛的机制, 把数据包传递给目的节点。

$$d_t = v \times (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中, t_1 为接收到目的节点的最新 Beacon 时间; v 为节点的速度; t_2 为 RSU 需要发送数据包的时间。

$$t_c = \frac{(d_1 \pm d_t)}{r + d} \times (c + \frac{d}{v}) \quad (2)$$

式中, d_1 为接收到目的节点的最新 Beacon 时, 目的节点离 RSU 的距离; r 为节点的传输范围; d 为车辆携带包的平均时间; c 为两个邻居节点一跳的传输时间。

$$d_c = v \times t_c \quad (3)$$

$$d_{tot} = d_1 \pm (d_t + d_c) \quad (4)$$

式中, t_c 为 RSU 把数据包传递给目的节点的传输时间; d_c 为车辆节点在 t_c 时间段内车辆所走的距离。

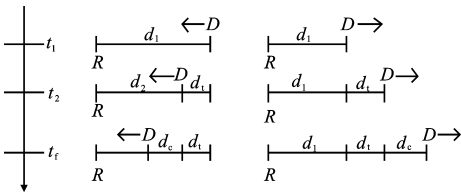


图1 RSU 对目的节点的预测图

(2)RRRP 预测子机制(接收到的目的节点 Beacon 消息中目的节点速度为零情况): RSU 接收到的目的节点最新速度为零, RSU 根据这个速度预测目的节点的位置, 而节点发送 Beacon 后, 马上启动了, 导致实际上车辆的速度并不为零, 从而导致预估的目的节点的位置不准确。对此 RSU 采取结合地图定位车辆位置的方式, 提取当前道路上的最大限速为预测目的节点位置的速度, 根据 RRRP 预测子机制中目的节点不为零的情况重新计算 d_{tot} , 可以分为以下两种情况。

1)如图2所示, RSU 接收到目的节点的速度为零时, 位置处在 D 处, 根据 RRRP 预测机制, 预测到目的节点的位置处在 D' 处, 即根据 RRRP 预测机制

预测的距离, 车辆在行驶过程中没有经过分叉路口, 则 RSU 以 D' 为目的节点的位置, 贪婪转发数据包给目的节点。



图2 预估距离车辆不经过分叉路口

2)如图3所示, RSU 接收到目的节点的速度为零时, 位置处在 R_1 道路上的 D 处, 根据 RRRP 预测机制, 预测到目的节点的位置可能处在 R_2, R_3, R_4 道路的 D' 处, 即根据 RRRP 预测机制预测的距离 d_{tot} , 车辆在行驶过程中会经过分叉路口, 即 $d_{tot} > d_1$, 则 RSU 根据地图提取 R_1, R_2, R_3, R_4 各路段的最大限速并分别计算出 d_1, d_2, d_3, d_4 , 以十字路口的中心 A 为圆心, 选取 d_2, d_3, d_4 中最大的一个为半径, 形成目的节点的预估区域。从 RSU 到目的区域范围外时采用传统的贪婪转发过程, 当预估区域范围内有节点接收到数据包时, 采用洪泛的方式把数据包转发给目的节点。

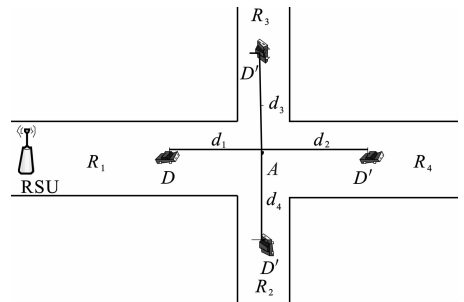


图3 预估距离车辆不经过分叉路口

3.1.2 密度感知机制

如图4所示, 采用 CAN DELIVER 算法计算的最短路径为 $RSU-J_1-J_5-J_2-J_4-D$, 而从图中我们可以看出, 最短路径并不只一条, 路径 $RSU-J_1-J_3-J_6-J_4-D$, $RSU-J_1-J_5-J_6-J_4-D$ 也是最短路径, 由于网络中的节点都需要向离自己最近的 RSU 发送 Beacon 消息, 因此当目的 RSU 有消息需要发送给目的节点时, 把各条最短路径中的十字路口抽象成图的顶点, 十字路口之间的道路抽象成边, RSU 根据接收到各个街道的节点所发送来的 Beacon 中带有车辆节点的位置信息, 根据地图知道每条道路的长度, 以道路上车辆的数目和道路的长度的比值为每条边的权值, 形成一张从 RSU 到目的节点之间所有最短道路的连通度图, 选取最短路径中连通度总和最大的为最优路径。

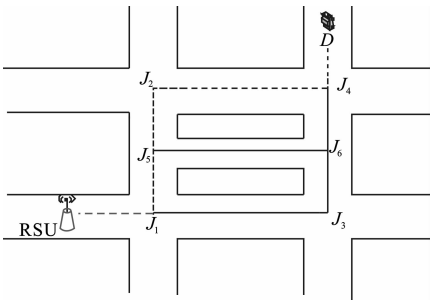


图 4 最短路径图

但仅根据上述算法机制,并不能唯一确定一条最优路径,即存在两条路径权值相等,如图 5 所示,假设路径 RSU-J₁-J₂-J₄-D 和路径 RSU-J₁-J₃-J₅-J₄-D 的权值总和相等,则此时可以根据式(4)求得权值的平均值,根据式(5)求得路径的方差,而我们知道方差是表征组内个体之间的离散度,方差越小,则路表明该路径的连通度越高,路径越稳定,因此选取方差小的路径为最优路径。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \tag{5}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \tag{6}$$

式中, N 为路径中的道路条数; x_i 为第 i 跳道路的权值。

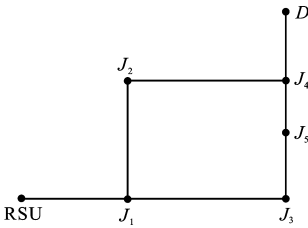


图 5 权值相等的多路径图

3.2 RRRP 算法操作流程

RRRP 算法主要分为两部分,从节点到 RSU 的路由和从 RSU 到目的节点的路由. 主要操作步骤如下。

Step 1: 当节点有数据需要发送时,首先根据自己的 L 表,判断是否需要经过 RSU 进行辅助传送,如果不需要则直接发送数据包,如果需要,则把数据包传递给 RSU。

Step 2: RSU 接收到数据包后,查找自己的 L 表,如果有目的节点的信息,则根据 RRRP 预测机制,预测目的节点的位置,贪婪转发数据包给目的节点. 如果没有目的节点的信息,则向所有的邻居发送 RREQ,以此类推,最终把数据包发送给有目的节点

信息的目的 RSU。

Step 3: 目的 RSU 接收到数据包后根据 RRRP 预测机制,预测目的节点的位置,然后 RSU 根据已加载的地图,计算到目的节点的位置的所有路径,并选出由最短的街道组成的所有路径。

Step 4: RSU 根据接收到的 Beacon 消息,估算道路的权值,形成一张以路径中的十字路口为顶点,以相邻两个十字路口之间的道路为边,以道路上的密度为权值的连通度图。

Step 5: 根据连通度图,计算出最优路径,并把数据包按照计算的最优路径转发给目的节点。

4 仿真实验及结果分析

本文采用 OPNET^[6] 仿真软件,搭建场景大小为 10 km×10 km 的区域,选取 GPSR 算法和 CAN DELIVER 算法作为参考算法,在网络条件相同的情况下,验证分析它们的消息传送成功率、消息端到端时延、车辆平均流量及网络吞吐量等性能。

4.1 仿真参数设置

主要仿真参数如表 1 所示。

表 1 主要仿真参数设置

参数	默认值
场景大小	10 000 m×10 000 m
街道平均长度	600 m
RSU 数量	10
节点传播半径	300 m
节点移动速度	0~45 m/s
数据包间隔	30 s
Hello 及 Beacon 间隔	2 s
仿真时间	1 200 s

4.2 仿真结果分析

(1) 消息的传送成功率

从图 6 可知,RRRP 算法的消息传送成功率高于 GPSR 算法和 CAN DELIVER 算法,与传统的 GPSR 算法相比,RRRP 算法采用 RSU 骨干网(高带宽,低时延)传送数据包,时延低且更可靠,与 CAN DELIVER 算法相比,RRRP 算法采用了可靠预测机制,避免了像 CAN DELIVER 算法那样因为预测不准导致的数据包无法成功传递给目的节点,同时,RRRP 算法采用了密度感知机制,选取最优路径,一定程度上可以减少消息的转发跳数,提高了消息成功传递给目的节点的概率,因此,RRRP 算法提高了消息的传送成功率。

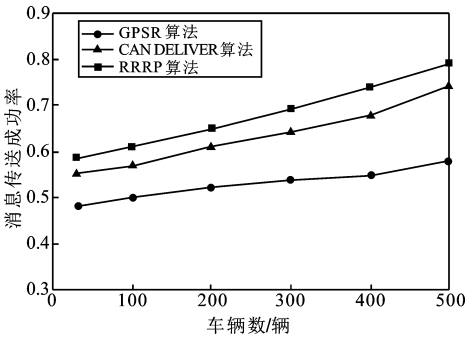


图 6 消息传送成功率比较图

(2)消息的平均端到端时延

从图 7 可知,RRRP 算法的平均端到端时延低于 GPSR 算法和 CAN DELIVER 算法,与传统的 GPSR 算法相比,RRRP 算法采用地图充分利用全局信息规划路径,能减少节点的转发跳数,RRRP 算法采用 RSU 传递数据包,RSU 是由高带宽,低时延的骨干网组成,降低了时延,与 CAN DELIVER 算法相比,由于 CAN DELIVER 算法没有考虑节点数为零的情况,所以目的节点不在预测范围内,这造成数据包无法转发给目的节点,大大增加了时延,因此,RRRP 算法降低了消息的平均端到端时延。

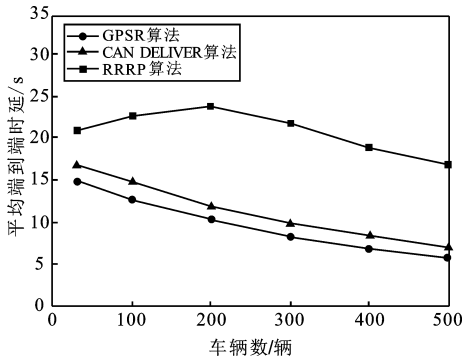


图 7 平均端到端时延比较图

(3)车辆平均流量

从图 8 可知,RRRP 算法的车辆平均流量低于 GPSR 算法,这是因为 RRRP 算法采用 RSU 骨干网能把数据包传送到更远的地方,同时 RRRP 算法采用地图规划最短路径,这两个过程大大减少了转发节点的数量,降低了车辆的平均车流量,与 CAN DELIVER 算法相比,RRRP 算法的车辆平均流量略高,这是因为 RRRP 考虑了节点速度为零的情况,提高了预测的准确性,但适当扩大了预测的范围,增加了这个范围内数据包转发的车辆数。

(4)网络吞吐量

从图 9 可知,算法的网络吞吐量随着数据传送

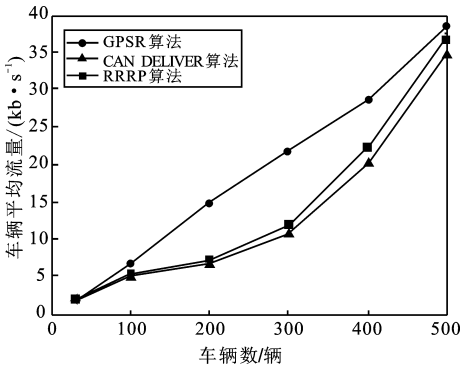


图 8 车辆平均流量比较图

率的提高,网络吞吐量增大,最后趋于稳定,RRRP 算法的网络吞吐量高于 GPSR 算法和 CAN DELIVER 算法,与 GPSR 算法相比,RSU 骨干网保证了数据传送了可靠性、快速性,利用地图规划路径,降低了数据包传送距离,提高了网络的吞吐量,与 CAN DELIVER 算法相比,由于采用准确预测机制,使数据包能成功传送到目的节点,采用密度感知机制保证了路径的最优性,降低了目的节点接收到数据包的时延,提高了网络的吞吐量。

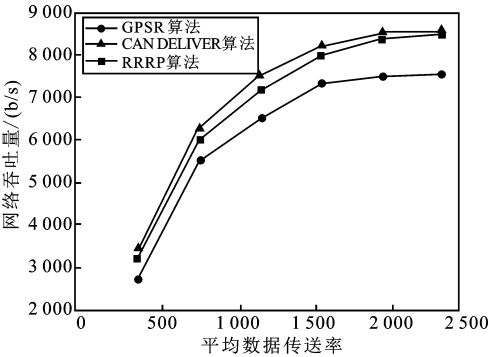


图 9 网络吞吐量比较图

5 结束语

提出 RRRP 算法,由仿真结果可知,RRRP 算法通过可靠的预测机制和最优路径的选择,能有效提高车辆节点的消息传送成功率,降低消息的平均端到端时延,提高网络的吞吐量。

参考文献:

[1] 陈林星,曾曦,曹毅. 移动 Ad Hoc 网络:自组织分组无线网络技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

[2] Paul B, Ibrahim M, Bikas M A N. VANET routing protocols: pros and cons[J]. International Journal of Computer Applications, 2012, 20(3):28-34.

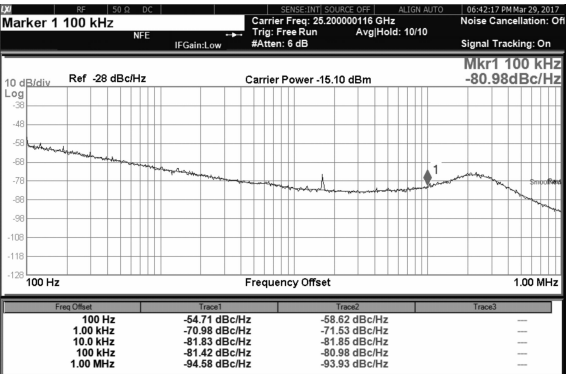


图 8 频率为 25.2 GHz 时频率综合器的相位噪声曲线

表 1 VCO 及 CPPLL 在频偏点处的相位噪声值

	@1kHz	@10kHz	@100kHz	@1MHz
VCO	-13.42 dBc	-41.64 dBc	-72.51 dBc	-100 dBc
CPPLL	-70.98 dBc	-81.83 dBc	-81.42 dBc	-94.58 dBc

6 结束语

本文采用混频原理重点分析并建立了尾电流源管噪声贡献的数学模型,基于该模型合理优化了 LC-VCO 的相位噪声.本文介绍的 LC-VCO 应用于 25.2 GHz 整数电荷泵锁相环中,并进行流片和测试.测试结果表明,该压控振荡器能够同时满足 CP-PLL 的输出频率范围以及带外相位噪声的要求.表 2 为采用本文所设计 VCO 的锁相环在带外 1 MHz 频偏处的相位噪声与其他文献的对比结果.

表 2 在带外 1 MHz 频偏处锁相环的相位噪声对比

文献	[9]	[10]	本文
工艺/nm	65	90	90
	CMOS	CMOS	CMOS
参考频率/MHz	36	108	45
输出频率/GHz	17.5~20.94	24.1~28.2	22.77~28.5
PN/(dBc/Hz@1 MHz)	-100	-92.18	-94.58

(上接第 62 页)

[3] Li Z, Zhu Y, Li M. Practical location-based routing in vehicular ad hoc networks[C]//Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, IEEE,2009;900-905.

[4] Li L , Sun L. Seer: Trend-prediction-based geographic message forwarding in sparse vehicular networks[C]// IEEE International Conference on Communications, Cape Town;IEEE,2010;1-5.

[5] Khaleel M, Hassan A, Mario G. We can deliver messages to far vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012,13(3):1099-1115.

参考文献:

[1] Razavi B. RFMicroelectronics [M]. ACM, 2012;289-395.

[2] 卢磊. 射频接收机中分数分频频率综合器的研究与设计[D]. 上海:复旦大学,2009.

[3] Hajimiri A, Lee T H. Phase noise in CMOS differential LC oscillators[C]//VLSI Circuits, 1998. IEEE, 1998;48-51.

[4] Darabi H, Abidi A A. Noise in RF-CMOS mixers: a simple physical model[J]. Solid-State Circuits, IEEE Journal of, 2000, 35(1):15-25.

[5] Andreani P, Sjoland H. Tail current noise suppression in RF CMOS VCOs[J]. Solid-State Circuits, IEEE Journal of, 2002, 37(3):342-348.

[6] Rael J J, Abidi A A. Physical processes of phase noise in differential LCoscillators[C]// Custom Integrated Circuits Conference, 2000. IEEE Xplore, 2000;569-572.

[7] Nikpaik A, Nabavi A. Analysis of flicker noise conversion to phase noise in CMOS differential LC oscillators[J]. International Journal of Circuit Theory & Applications, 2016, 44(2):398-417.

[8] Hegazi E, Sjoland H, Abidi A. A filtering technique to lower oscillator phase noise [J]. Solid-State Circuits, IEEE Journal of, 2001, 36(12):364-365.

[9] Richard O, Siligaris A, Badets F. A 17.5-to-20.94GHz and 35-to-41.88GHz PLL in 65nm CMOS for wireless HD applications[C]// Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers. IEEE, 2010;252-253.

[10] Luo J, Zhang L, Zhang L, et al. A 24GHz low power and low phase noise PLL frequency synthesizer with constant KVCO for 60GHz wireless applications[C]// IEEE International Symposium on Circuits and Systems. IEEE, 2015;2540-2543.

作者简介:

武照博 男,(1992-),硕士研究生.研究方向为模拟/射频集成电路设计. E-mail:18810409719@163.com.

[6] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

作者简介:

任智 男,(1971-),博士后,教授.研究方向为宽带无线移动通信网络原理与技术.

吕昱辉(通讯作者) 男,(1993-),硕士研究生.研究方向为太赫兹无线个域网定向 MAC 协议. E-mail:lvyuhui_cqupt@126.com.

张勇 男,(1988-),硕士.研究方向为车载自组网路由算法.