

VANET 中基于 Doppler-RSS 的混合测距方法研究

夏向兰^{1,2}, 刘南杰^{1,2}, 黄波^{1,2}

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;
2. 南京邮电大学 网络基因工程研究所, 江苏 南京 210003)

摘要: 车辆协作定位技术可以用来提高现有定位技术的定位精度, 其关键是车辆间距离的测量。目前常用的测距方法是无线电测距, 其中备受关注的是接收信号强度(RSS)测距, 因其简单易实施, 但 RSS 技术的测量精度受限于路径损耗模型的选择。通过对现有协作定位测距技术的研究, 综合考虑车载环境, 提出了一种新的测距方法: 基于多普勒频移与接收信号强度(Doppler-RSS)混合的测距方法。通过将多普勒频移和接收信号强度相结合, 进行车辆间距离的测量。仿真结果表明, 该方法切实可行。

关键词: 协作定位; 多普勒频移; 接收信号强度; 测距

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)04-0225-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.04.052

Research on Hybrid Ranging Method Based on Doppler-RSS in VANET

XIA Xiang-lan^{1,2}, LIU Nan-jie^{1,2}, HUANG Bo^{1,2}

(1. Institute of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Network Gene Engineering Research Institute, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Cooperative Positioning (CP) can be used for improving positioning accuracy of the existing positioning techniques. However the key for the CP is measuring the distance between vehicles. Currently, there are many methods of radio range used for ranging. Among them, radio ranging based on Received Signal Strength (RSS) is popular for its simplicity. However, the accuracy of this method relies on the selection of channel loss model. Through investigating the present ranging techniques, and considering the vehicle network environments comprehensively, propose a new ranging method-Hybrid Doppler-RSS ranging. Through combining the Doppler shift and the received signal strength, estimate the distance between vehicles. The simulation results show that this method is feasible.

Key words: Cooperative Positioning (CP); Doppler shift; RSS; ranging

0 引言

全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite Systems, GNSS), 比如: 全球定位系统^[1-4](Global Positioning System, GPS) 可以为车辆提供全面的位置信息, 这些信息是现代车辆应用中的重要组成部分。在大部分的应用中, 如导航和智能交通系统, 都需要比较

精确的位置信息。事实上, GNSS 导航存在定位精度和适用性受限的局限, 这也促进了基于车与车(Vehicle to Vehicle, V2V)、车与基础设施(Vehicle to Infrastructure, V2I)之间通信的协作定位技术的快速产生和发展。

在协作定位技术中, 车辆之间的距离信息是实现

收稿日期: 2014-05-07

修回日期: 2014-08-12

网络出版时间: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61302100, 61101105, 61201162); 江苏省高校自然科学基金(12KJB510022, 12KJB510020); 南京邮电大学引进人才科研启动基金(NY211007, NY211006)

作者简介: 夏向兰(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为网络与应用技术、车辆协作定位; 刘南杰, 博士, 教授, 研究方向为泛在通信、车联网、智能交通; 黄波, 博士, 讲师, 研究方向为无线电定位、测距与导航、卫星导航定位。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150120.2202.038.html>

协作定位技术的重要参数。常用的协作定位测距方法有无线电测距:接收信号强度 (Received Signal Strength, RSS)、到达时间 (Time Of Arrival, TOA)、到达时间差 (Time Difference Of Arrival, TDOA) 等等。然而,现在常用的测距技术都有自身的局限,若考虑恶劣环境,这些测距方法的可行性有待商榷。例如: TOA/TDOA:根据信号传播的时间计算发射机和接收机之间的距离,这对同步要求较高。RSS:比较简单,但是精度不高,受限于选择的模型(路径损耗指数)。信号往返的传播时间 (Round Trip Time, RTT) 测距:必须求多个估计值的平均值,才能保证测量的准确,时间延迟越大,定位的精度越差。现实中,传播时间和处理时间不可能是固定值。传输接收机的延迟与接收机使用年限和温度有关,这些因素不能保证往返时间测量精度。到达方向角 (Angle Of Arrival, AOA):决定了一个发射机广播信号的方位,因为这种技术易受城市中多径影响,导致的定位误差达到几百米;虽然可以通过使用天线阵抵消误差,但是对于车载网络来说代价太大。多普勒频移 (Doppler Shift):通过接收机和发射机之间的载波相位差或者多普勒频移计算接收机和发射机的距离。多径和障碍物对多普勒频移影响较小。这点有利于在车载环境下使用。

基于上述分析,将 RSS、多普勒频移、AOA 等和基于时间的技术相结合,进行混合测距,以达到改善适用性和定位精度的目的。因为 RSS 受限于路径损耗指数,TOA/TDOA 受限于实现的复杂性,RTT 受限于可用性。而在当前的研究中,采用多普勒频移定位可以有效提高定位精度,若将其应用在测距中,也是很有潜力的。所以,综合考虑,混合测距方法可行的就是多普勒频移和 RSS 在未知路径损耗指数时的结合。为了应对上述无线电测距面临的挑战,文中提出一种混合测距方法—基于 Doppler-RSS 的混合测距方法。

1 基于 Doppler-RSS 的混合测距方法

文中提出的方法是在无线电测距^[5]基础上,根据接收机接收信号的载波频率偏移和接收信号强度的大小,进行车辆间距离的测量。而载波频率偏移是由于发射机和接收机的时钟漂移和多普勒效应造成的。因此,采用多普勒频移测距^[6-7],必须提取出多普勒信息,文中可采用文献[8-13]中的方法从频率偏移中提取多普勒偏移。采用多普勒频移测距时可以不知道参与节点的位置信息,仅通过接收信号强度和多普勒频移,采用如下方法实现测距,具体实现过程如下。

1.1 信道损耗模型

电磁波在自由空间中的传播模型称为信道损耗模型或者称之为路径损耗模型,如下^[7]:

$$P(r) = P(r_0) \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \tag{1}$$

其中, r 是发射机和接收机之间的距离; r_0 是与测得的功率 $P(r_0)$ 对应的已知距离。

式(1)可以简化为:

$$P(r) = K - 20\lg r \tag{2}$$

其中, K 是一个常数:

$$K = 10\lg\left(\frac{P(r_0)}{0.001w}\right) + 20\lg r_0 \tag{3}$$

如果在接收机端测量得到 $P(r)$, 可以通过上述公式求得距离 r , 然而真实的环境多变,属于非自由空间,尤其是在车载网络中,传输会遇到一定衰减,一般存在路径损耗的模型可以定义如下:

$$P(r) = K - 10\epsilon\lg r \tag{4}$$

非自由空间中,路径损耗指数 ϵ 随环境的变化范围是(2,5),同时路径损耗指数依赖相干带宽,因此对于不同的信号频率,取值不同。在未知路径损耗指数的情况下,很难确定发射机和接收机之间的距离,并且它会随环境的变化而变化,这就为 RSS 在测距中的应用提出了挑战。而 RSS 测距的原理简单,若能有效对 ϵ 进行测量,其实现更有前景。在 1.2 中,RSS 与多普勒频移的结合,为应对这种挑战提出了可能。

1.2 Doppler-RSS 混合测距方法

多普勒频移是由于发射机与接收机之间存在相对运动而产生的接收频率和发射信号实际频率之间的偏差,道路上行进的车辆间由于存在速度和位置的差异,必然存在多普勒频移。

图 1 中,假设车道环境是双向四车道, B_1 、 B_2 是运动中的两辆车,它们在同一条道路中的不同车道,运动方向相同或相反。分别以速度 \vec{v}_1 、 \vec{v}_2 进行运动,两车之间的距离未知,在此假设为 r 。如果 B_2 是发射机, B_1 是接收机,在 B_1 处的多普勒频移 Δf 模型^[7,14-15]为:

$$\frac{\Delta f}{f} \cong \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1| \cos\theta}{c} = -\frac{v \cos\theta}{c} \tag{5}$$

其中, f 是发射机端发射信号的频率; $\Delta f = f_0 - f$, f_0 是接收端的观测频率; v 是移动的两辆车沿道路方向的相对速度的大小; θ 是发射机与接收机相对运动的方向角; c 是光速。

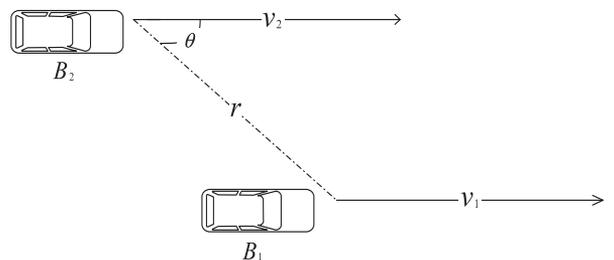


图 1 两个运动车辆

图2中,考虑 W 个时间间隔为 T 的情况。 $\delta_i = v_i T$ 是 B_2 在假设第 i 个时间间隔时的相对位移,在此假设 T 时间间隔内匀速运动。通过公式(5)和路径损耗模型(3),测量路径损耗指数和 B_1 与 B_2 之间的距离。如果考虑总数为 W , r_i 是车辆在第 i 个时间间隔时的车辆间距离:

$$P_i(r_i) = K - 10\epsilon \log |\vec{r}_1 + \vec{x}_i| + \xi_i, 1 \leq i \leq W \quad (6)$$

其中

$$|\vec{x}_i| = \begin{cases} 0, i = 1 \\ -\sum_{j=1}^{i-1} T v_j \cos\theta_j, 2 \leq i \leq W \end{cases} \quad (7)$$

$$|\vec{r}_1 + \vec{x}_i| = \sqrt{r_1^2 + x_i^2 - 2|\vec{r}_1||\vec{x}_i|\cos\theta_i} \quad (8)$$

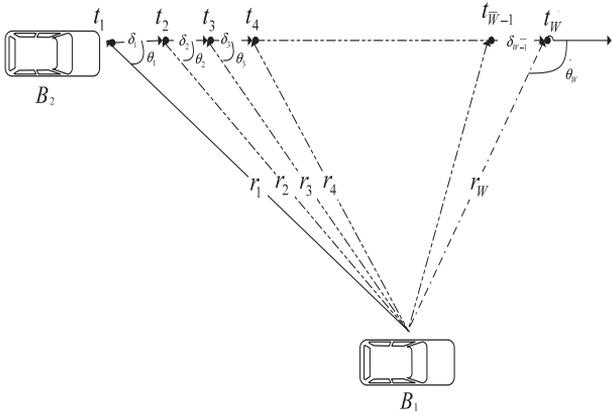


图2 瞬时相对运动

式(6)中, P_i 为在每个时间间隔内测得的 RSS; ξ_i 为测量得到的单位为 dBm(毫分贝)的高斯噪声功率,并且 $|\vec{x}_i|$ 可以通过式(5)计算得到:

$$|\vec{x}_i| = \begin{cases} 0, i = 1 \\ -\sum_{j=1}^{i-1} T \frac{c\Delta f_j}{f}, 2 \leq i \leq W \end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta f = \frac{-fv_j \cos\theta_j}{c} \quad (10)$$

如果路径损耗指数在 WT 时间内是常数,就可以得到 W 个等式,就可以求解未知参数 r_1 。由于距离的测量存在随机误差,据此计算不可能得到精确的解,文中通过以接收噪声平方和最小的最优解 r_1 作为近似车辆间的实际距离。在此假设 $W > 2$ 时,定义一个噪声最小平方和函数,依据该函数可以获得 r_1 的近似值。假设路径损耗指数在 WT 时间内是一常数,此时假设 T 足够小,如为 0.1 s 或者 0.01 s 时环境变化不大。可以考虑未知向量 $\psi = [\epsilon, r_1]$, 噪声平方和函数 J 可以定义如下:

$$M = \sum_{i=1}^{K-1} \xi_i^2(\psi, x_i, y_i) \quad (11)$$

其中

$$\xi_i = 10\epsilon \log |\vec{r}_1 + \vec{x}_i| - y_i \quad (12)$$

$$y_i = K - P_i(r_i) \quad (13)$$

使用最小二乘法^[16]进行求解,则路径损耗指数和两节点之间的初始值最优解可以由最小的 M 进行估计得到:

$$\hat{\psi} = \operatorname{argmin}(M) \quad (14)$$

已知 r_1 , 在 W 个时间间隔内的所有距离都可以计算。

2 仿真结果与分析

为了评估文中提出的基于 Doppler-RSS 混合测距方法的性能,文中采用 Matlab 工具进行仿真分析。在仿真实验中,对仿真环境作如下假设:在一个长 5 km 的双向四车道的城市道路中,每条车道宽为 3.75 m。两车在不同的车道不同的方向行驶;车辆间相对运动时的速度是 v , v_i 在第 i 时间间隔内是常量,测量速度标准差是 1 m/s;当车间距离为 $r_0 = 1$ m 时,对应接收功率为 $P(r_0) = 2$ W,根据公式(3)可以得到 $K = 33$; ξ_i 是服从正态分布 $N(0, \delta_7^2)$ 的高斯噪声,标准方差为 3 dBm。在每一个抽样中,考虑时钟漂移的影响,高斯随机变量的抽样具有 12 kHz 的标准差;DSRC 载波频率的误差是具有零均值且标准差 100 Hz。系统抽样频率为 10 Hz。

图3所示为运动车辆的相对速度是 40 m/s 时,抽样总数 W 对测量误差的影响。抽样总数 W 在 5 到 50 之间变动。结果表明 W 的大小影响车辆间距离的测量质量。 W 取值越大,测量误差越小。

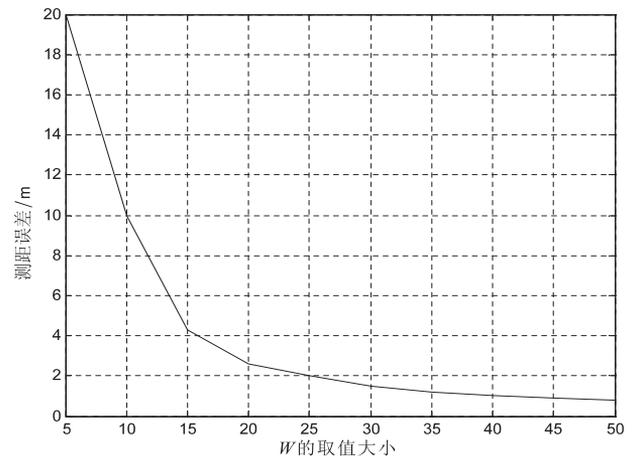


图3 W 的取值对 Doppler-RSS 混合测距误差的影响

图4是在车辆相对运动速度为 30 m/s 时,路径损耗指数未知情况下的测量误差对比。因 RSS 测距受限于路径损耗指数的选取,文中所提方法可以通过多普勒频移和接收信号强度的结合测量路径损耗指数,由此路径损耗指数噪声的误差明显降低。表明采用 Doppler-RSS 混合测距可以使现有 RSS 测距精度提高 80%。

图 5 为测量两车相对速度在 5 m/s 到 70 m/s 时的距离。在每个速度抽样时刻,测量 1 000 次。仿真结果是 1 000 次结果的平均值。从图中可以看到,在相对运动速度较低时,测量误差较大,随着相对运动速度加大,测量误差明显降低。也即是,相对运动速度越大,测量越精确。

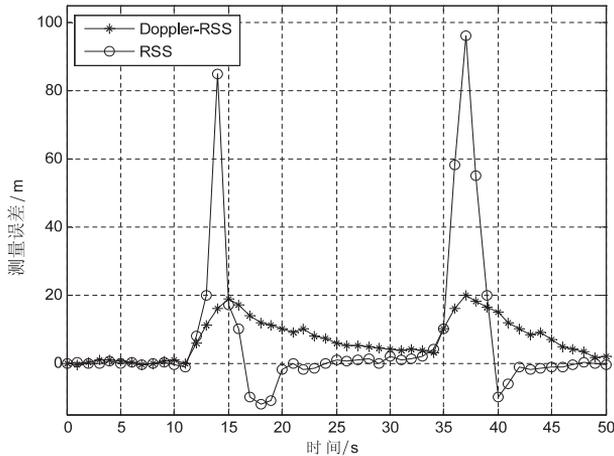


图 4 RSS 测距与 Doppler-RSS 混合测距误差性能

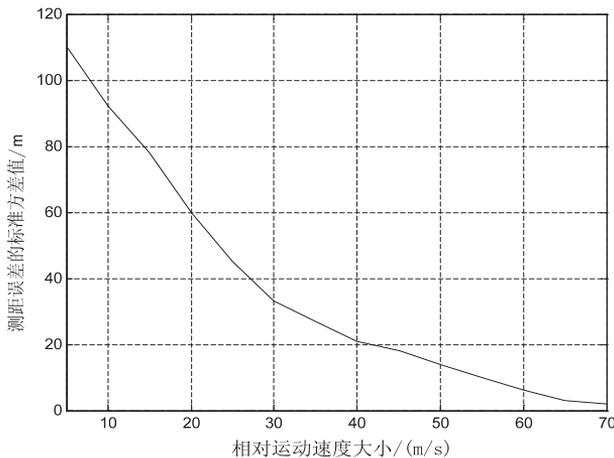


图 5 相对运动速度大小对 Doppler-RSS 混合测距影响

综上所述,文中的测距方法能有效提高 RSS 测距精度,可以大大降低未知路径衰耗指数对测距精度的影响,且基于该方法的测量误差更小。这是因为多普勒频移本身具有抗多径和障碍物的能力,再与 RSS 结合,抵消了未知路径衰耗指数对 RSS 测距的限制,更好地发挥两者的优势。

3 结束语

文中提出了基于 Doppler-RSS 的混合测距方法,可以动态测量车载环境下的车间距离。通过将多普勒频移与接收信号强度相结合,进行测距,避免了使用 RSS 测距必须预先知道路径衰耗指数的限制。该方法进行测距时,不需要预先知道车辆间的位置信息,可以对节点中的任意车辆进行测距。该方法适合车载环境中的运动车辆。仿真结果表明,通过该方法进行测距,

车辆间相对速度越大,性能越优。

参考文献:

- [1] 李华贵,项志华,何伟,等. 基于 GPS 和 GPRS 车载导航定位系统的实现[J]. 计算机技术与发展,2006,16(11): 241-242.
- [2] 赵洪蕾. TDOA/AOA 数据融合算法在铁路场景下的定位应用[J]. 计算机技术与发展,2013,23(4): 75-78.
- [3] 常青,杨东凯,寇艳红. 车辆导航定位方法及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005:88-92.
- [4] 周云峰,左青香,赵卫东. 基于数据库通知服务的车辆定位系统的研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(3): 89-91.
- [5] Alam N, Dempster A G. Cooperative positioning for vehicular networks: facts and future [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(4): 1708-1717.
- [6] 邵震洪,杨琼,吴怡,等. 一种基于协作和多普勒频移的车辆定位算法[J]. 东南大学学报:自然科学版,2013, 43(6): 1135-1140.
- [7] Alam N, Balaei A T, Dempster A G. Range and range-rate measurements using DSRC: facts and challenges [C] // Proc of IGNSS symposium. Surfers Paradise, Australia: [s. n.], 2009.
- [8] Cui Tao, Tellambura C. Joint frequency offset and channel estimation for OFDM systems using pilot symbols and virtual carriers [J]. IEEE Trans on Wireless Communication, 2007, 6(4): 1193-1202.
- [9] Lv Tiejun, Li Hua, Chen Jie. Joint estimation of symbol timing and carrier frequency offset of OFDM signals over fast time-varying multipath channels [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2005, 53(12): 4526-4535.
- [10] Tao Jun, Wu Jingxian, Xiao Chengshan. Estimation of channel transfer function and carrier frequency offset for OFDM systems with phase noise [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2009, 58(8): 4380-4387.
- [11] Chiavaccini E, Vitetta G M. Maximum-likelihood frequency recovery for OFDM signals transmitted over multipath fading channels [J]. IEEE Trans on Communication, 2004, 52(2): 244-251.
- [12] Schmidl T M, Cox D C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM [J]. IEEE Trans on Communication, 1997, 45(12): 1613-1621.
- [13] Tureli U, Liu H, Zoltowski M D. OFDM blind carrier offset estimation: ESPRIT [J]. IEEE Transactions on Communication, 2000, 48(9): 1459-1461.
- [14] 姜向远,张焕水,王伟. 一种基于非完全数据的路径损耗模型选择算法[J]. 电子与信息学报,2012,34(6): 1438-1444.
- [15] 钟锡华. 多普勒频移的普遍公式 [J]. 大学物理,1995, 14(10): 16-18.
- [16] 王宜举,修乃华. 非线性最优化理论与方法 [M]. 北京:科学出版社,2012.

VANET中基于Doppler-RSS的混合测距方法研究

作者: [夏向兰](#), [刘南杰](#), [黄波](#), [XIA Xiang-lan](#), [LIU Nan-jie](#), [HUANG Bo](#)
作者单位: [南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003](#); [南京邮电大学 网络基因工程研究所, 江苏 南京 210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2015(4)

引用本文格式: [夏向兰](#). [刘南杰](#). [黄波](#). [XIA Xiang-lan](#). [LIU Nan-jie](#). [HUANG Bo](#) [VANET中基于Doppler-RSS的混合测距方法研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(4)