

车联网中基于伪距双差的车辆定位技术

赵海涛¹ 朱洪波^{1,2} 刘南杰¹ 杜艾芊¹

(1. 南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京, 210003; 2. 南京邮电大学物联网技术与应用协同创新中心, 南京, 210003)

摘要: 为满足车联网中定位精度的要求, 本文提出了一种伪距双差车辆相对定位算法, 该算法通过车辆间伪距信息的车到车(Vehicle-to-vehicle, V2V)交互, 抵消了公共误差及不同接收机的时钟偏移量, 提高了伪距双差的车辆定位精度。通过对比分析伪距双差算法与全球定位系统(Global position system, GPS)单点定位算法的距离误差均方根, 证明了伪距双差算法的定位精度。仿真结果表明采用伪距双差算法(Double differencing relative, DDR)的相对定位技术在公共可见卫星数大于4时, 其相对定位性能优于GPS单点定位方法。

关键词: 车联网; 车辆定位; 伪距双差; 车到车

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Vehicle Positioning Technology Based on Pseudorange Double Difference in Internet of Vehicles

Zhao Haitao¹, Zhu Hongbo^{1,2}, Liu Nanjie¹, Du Aiqian¹

(1. College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003, China; 2. Jiangsu Innovative Coordination Center of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003, China)

Abstract: To achieve the accuracy required in Internet of vehicles, a global position system (GPS)-based pseudorange double differencing relative positioning algorithm is proposed. The pseudorange information of the proposed algorithm between vehicles is exchanged through vehicle-to-vehicle (V2V) communication. Furthermore, the satellite public error and receiver clock offset are eliminated so that the positioning precision of the vehicle can be improved. It is proved that the pseudorange double difference algorithm can highly improve the positioning accuracy by analyzing and comparing the distance error root mean square (RMS) with that of GPS single-point positioning algorithm. Simulation results verify that the relative positioning performance of pseudorange double difference algorithm significantly outperform that of GPS single-point positioning algorithm when there are more than four common and visible satellites.

Key words: internet of vehicles; vehicle relative positioning; pseudorange double difference; vehicle-to-vehicle (V2V)

引言

车联网中,许多车辆的应用都需要获知车辆的位置信息,如智能交通系统的碰撞避免和基于位置的服务等。全球定位系统(Global position system, GPS)是全球导航卫星系统(Global navigation satellite system, GNSS)中的一种,它是车联网中最常使用的一种定位工具。对于车载通信中的交通安全及相应的信息广播等传输需求,尤其是面向交通道路等级的各种应用需求,其 GPS 提供的精度和可靠性很难得到满足。另外,有些应用例如盲区检测,它只需知道车辆间的相对距离而不需要知道车辆的绝对位置信息。现有的各种基于接收信号强度或到达时间差等^[1-2]测距方法的精度都难以满足要求,且其测距方法在实际的应用中均具有一定的局限性。文献[3]提出高精度 GPS 定位需要建立准确的随机模型,模型中考虑了空间相关和时间相关因素、GPS 观测量序列的异方差等对定位精度的影响,研究并探讨了 GPS 观测量的时间序列随机特性。文献[4]针对粒子滤波(Particle filter, PF)算法在粒子抽样过程中存在退化的问题,在 GPS 定位数据处理中采用了粒子滤波算法,使接收机定位状态的估计精度得到有效改善。文献[5]为了提高对车辆目标的定位精度和跟踪响应速度,利用模糊自适应算法实时地选择机动模型和调整系统噪声协方差矩阵。文献[6]对北斗卫星导航系统(Beidou navigation satellite system, BDS)伪距差分定位模型进行了探讨,对该模型和 GPS 伪距差分定位模型进行了对比分析,通过伪距差分计算对现有的方法进行了对比分析。

本文面对多跳车载通信中基于无线电技术实现距离测量的局限性,提出一种利用全球定位系统的伪距双差(Double differencing relative, DDR)算法实现节点的精准定位技术。有些公共误差^[7](如相同的对流层和电离层延迟)通常会影响到邻近 GPS 接收机的观测数值,但可以通过相对定位抵消公共误差带来的影响,最终提高相对定位的精度。本文假设所有车辆都配备标准的单频 GPS 接收机和车-车(Vehicle-to-vehicle, V2V)^[8]间通信的无线设备。由于每辆车的伪距值都可以通过自身定位系统的接收设备进行感知,所以相邻车辆间的伪距值可以利用端到端的通信方式来获取。

1 DDR 的车辆节点相对定位算法

1.1 数学模型

根据文献[9],汽车 m 的 GPS 接收机与卫星 a 之间的伪距 ρ_m^a 可以表示为

$$\rho_m^a = R_m^a + c \cdot (t_m - T_a) + \epsilon_m^{a,\text{eph}} + \epsilon_m^{a,\text{trop}} + \epsilon_m^{a,\text{ion}} + \delta_m^a \quad (1)$$

式中: R_m^a 为 a 与 m 之间的距离(a 为汽车, m 为卫星), c 为光的传输速率, t_m 为定位系统滞后于定位系统接收机时钟的时间变化量, T_a 为 GPS 定位系统的卫星时钟超越于定位系统时的时间变化量, $\epsilon_m^{a,\text{trop}}$ 为定位系统的对流层偏差, $\epsilon_m^{a,\text{eph}}$ 为定位系统的卫星星历偏差, δ_m^a 为定位系统的卫星接收机传输干扰误差, $\epsilon_m^{a,\text{ion}}$ 为 GPS 定位过程中的电离层偏差。在 GPS 定位过程中,利用每个卫星的广播电文具有的校正量补偿作用,可以弥补定位卫星的时钟信息与 GPS 系统的卫星偏移误差,所以 T_a 是可知的,式(1)可进一步表示为

$$\rho_m^a = R_m^a + c \cdot t_m + \epsilon_m^{a,\text{eph}} + \epsilon_m^{a,\text{trop}} + \epsilon_m^{a,\text{ion}} + \delta_m^a \quad (2)$$

同理,汽车 n 的 GPS 接收机与卫星 a 之间的伪距 ρ_n^a 为

$$\rho_n^a = R_n^a + c \cdot t_n + \epsilon_n^{a,\text{eph}} + \epsilon_n^{a,\text{trop}} + \epsilon_n^{a,\text{ion}} + \delta_n^a \quad (3)$$

对于相邻区域内的两辆不同汽车,当计算其伪距值时会受到其相邻车辆的公共误差的影响。为消除该误差影响,利用相邻两辆车的定位系统接收时间,针对同一颗卫星的伪距值差分计算来抵消相邻车辆的公共误差影响。则

$$SD_{m,n}^a = \rho_m^a - \rho_n^a = (R_m^a - R_n^a) + c \cdot (t_m - t_n) + (\delta_m^a - \delta_n^a) = \Delta R_{mn}^a + c \cdot (t_m - t_n) + (\delta_m^a - \delta_n^a) \quad (4)$$

式中: $SD_{m,n}^a$ 为伪距单差, ΔR_{mn}^a 为汽车 m 和 n 到卫星 a 的实际距离之差。由于汽车 m 和汽车 n 之间的距离 d_{mn} 远远小于导航卫星距离汽车的距离 d_{am} 和 d_{an} , 所以在图 1 中, 从卫星 a 到汽车 m 的向量 d_{am} 和从卫星 a 到汽车 n 的向量 d_{an} 可近似看作两条平行向量。由图 1 可知, ΔR_{mn}^a 可重新表达为

$$\Delta R_{mn}^a = e^a d_{mn} \tag{5}$$

式中: e^a 为由车辆 m (或 n) 指向卫星 a 的单位向量, d_{mn} 为车辆 m 与车辆 n 间的相对距离向量。

通过利用相邻车辆的接收机相对于导航卫星的距离可以计算卫星的伪距单差。为了计算伪距双差, 同时也为了进一步消除不同接收机的时钟偏移量, 将相邻车辆的接收机相对于导航卫星的伪距单差 $SD_{m,n}^a$ 和 $SD_{m,n}^b$ 继续差分, 可进一步得到不同车辆间相对于两颗卫星的伪距双差 $DD_{m,n}^{a,b}$, 则

$$DD_{m,n}^{a,b} = SD_{m,n}^a - SD_{m,n}^b = (\Delta R_{mn}^a - \Delta R_{mn}^b) + [(\delta_m^a - \delta_n^a) - (\delta_m^b - \delta_n^b)] = (e^a - e^b) \cdot d_{ab} + \alpha_{mn}^{ab} \tag{6}$$

式中 $DD_{m,n}^{a,b}$ 通过计算车-车通信方式获得的邻近车辆的伪距数据和车辆自身的伪距测量值得到。由于汽车之间的定位误差相对于汽车到卫星的距离可以忽略不计, 所以单位向量 e^a 和 e^b 可通过任一车辆收发机的位置与卫星星历获取。式(6)中 α_{mn}^{ab} 为伪距双差计算中存在的噪声影响。图 2 给出了用于计算伪距双差时的相对位置关系几何图。

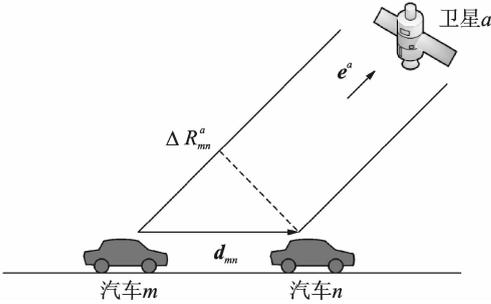


图 1 基于伪距单差的车辆相对定位图

Fig. 1 Vehicle relative positioning based on pseudorange single difference

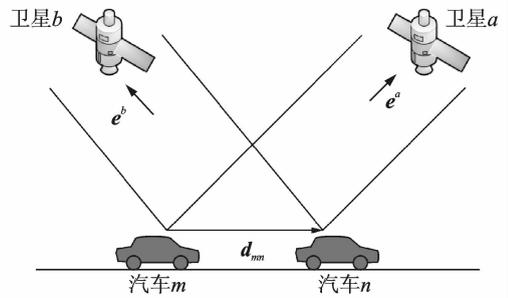


图 2 用于伪距双差计算时的车辆和卫星的相对位置关系几何图

Fig. 2 Vehicle relative positioning geometric graph based on pseudorange double difference

1.2 误差分析

本文对 DDR 算法和 GPS 单点定位方法这两种方法所测得的车辆相对位置的距离均方根 (Distance root mean square, DRMS) 进行对比分析, 对两种方法的性能进行了评估。算法性能的优劣程度通常通过 Cramer-Rao 下界来衡量。文献[10]指出 Fisher 信息矩阵 (Fisher information matrix, FIM) 的逆矩阵即为 Cramer-Rao 下界, Fisher 信息矩阵为

$$F_Z(\omega) = E \left\{ \left[\frac{\partial \ln(f(Z | \omega))}{\partial \omega} \right]^T \cdot \left[\frac{\partial \ln(f(Z | \omega))}{\partial \omega} \right] \mid \omega \right\} \tag{7}$$

式中: Z 为定位系统的观察值, ω 为定位系统的状态值, $f(Z | \omega)$ 为状态值 ω 下的条件概率密度函数, $E\{\cdot\}$ 为随机变量的数学期望。假设公共可见卫星颗数为 M , 汽车为 K 辆, 每辆车都能将自身的 GPS 伪距测量值向周围广播发送, 其他 $K-1$ 辆车通过车与车之间的信息交互来获取邻居车辆的伪距测量值, 最后将从车辆本身及周围车辆获取的测量信息进行融合处理。假设目的车辆 k 对应的可见公共卫星为卫星 m , 车辆 k 与邻近所有车辆的相对位置可通过 DDR 获取。状态向量、观测向量和噪声向量^[11]分别可以表示为

$$\omega_K = [d_{k1}, \dots, d_{kK}]^T \tag{8}$$

$$Z_K = [DD_{k,1}^{m,1}, \dots, DD_{k,1}^{m,M}, \dots, DD_{k,K}^{m,1}, \dots, DD_{k,K}^{m,M}]^T \tag{9}$$

$$\boldsymbol{\alpha}_K = [\alpha_{k1}^{m1}, \dots, \alpha_{k1}^{mM}, \dots, \alpha_{kK}^{m1}, \dots, \alpha_{kK}^{mM}]^T \quad (10)$$

并且

$$\mathbf{Z}_K = \mathbf{Q}_K \cdot \boldsymbol{\omega}_K + \boldsymbol{\alpha}_K \quad (11)$$

式中

$$\mathbf{Q}_k = \begin{bmatrix} s & z & \cdots & \cdots & z \\ z & s & z & \cdots & z \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z & \cdots & \cdots & z & s \end{bmatrix}_{(M-1)(K-1) \times 3(K-1)} \quad (12)$$

式中

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} e^k - e^1 \\ \vdots \\ e^k - e^{(k-1)} \\ e^k - e^{(k+1)} \\ \vdots \\ e^k - e^M \end{bmatrix} \quad (13)$$

\mathbf{z} 为一个 $(M-1) \times 3$ 零矩阵,为了计算 $f(\mathbf{Z}_K | \boldsymbol{\omega}_K)$,需要知道 \mathbf{Z}_K 的协方差。式(11)可以改写为

$$\mathbf{Z}_K = \mathbf{Q}_K \cdot \boldsymbol{w}_K + \mathbf{R}_K \cdot \bar{\boldsymbol{\alpha}}_K \quad (14)$$

式中

$$\bar{\boldsymbol{\alpha}}_K = [\alpha_1^1, \dots, \alpha_1^M, \dots, \alpha_K^1, \dots, \alpha_K^M]^T \quad (15)$$

$$\mathbf{R}_K = \begin{bmatrix} \mathbf{r} & -\mathbf{r} & \mathbf{z}' & \cdots & \cdots & \mathbf{z}' \\ \mathbf{r} & \mathbf{z}' & -\mathbf{r} & \mathbf{z}' & \cdots & \mathbf{z}' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{r} & \mathbf{z}' & \cdots & \cdots & \mathbf{z}' & -\mathbf{r} \end{bmatrix}_{(M-1)(K-1) \times MK} \quad (16)$$

\mathbf{z}' 为一个 $(M-1) \times M$ 零矩阵,并且

$$\mathbf{r} = [\mathbf{I}_{(M-1) \times (M-1)} - \mathbf{E}_{(M-1) \times (M-1)}] \quad (17)$$

矩阵 \mathbf{r} 中的 \mathbf{I} 表示一个元素全为 1 的 $(M-1) \times (M-1)$ 矩阵, \mathbf{E} 表示一个 $(M-1) \times (M-1)$ 单位矩阵。假设任意两车辆间测得的伪距值误差为独立同分布, σ_p 为其标准差,则式(14)中 \mathbf{Z}_K 的协方差可表示为

$$\mathbf{C}_K = \sigma_p^2 \mathbf{r}_K \mathbf{r}_K^T \quad (18)$$

由文献[12]可知, \mathbf{Z}_K 的条件概率函数 $f(\mathbf{Z}_K | \boldsymbol{\omega}_K)$ 近似服从高斯分布,可得

$$f(\mathbf{Z}_K | \boldsymbol{\omega}_K) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{Z}_K - \mathbf{Q}_K \boldsymbol{w}_K)^T \mathbf{C}_K^{-1}(\mathbf{Z}_K - \mathbf{Q}_K \boldsymbol{w}_K)\right\}}{2\pi \frac{(M-1)(K-1)}{2} \sqrt{\det(\mathbf{C}_K)}} \quad (19)$$

通过联立式(7,19)可知, Fisher 矩阵可利用式(20)来表达, Cramer-Rao 下界可表示为

$$\mathbf{F}_{\mathbf{Z}_K} = \mathbf{Q}_K^T \mathbf{C}_K^{-1} \mathbf{Q}_K \quad (20)$$

$$\mathbf{CR}_{\text{DDR}} = \mathbf{F}_{\mathbf{Z}_K}^{-1} \quad (21)$$

通过联立式(12,18)可知, Cramer-Rao 下界可通过利用已知卫星位置和伪距测量值的误差函数来表达。对应于 Cramer-Rao 下界,汽车 k 通过伪距双差定位算法测得的相对位置能达到的最佳距离均方根可表示为

$$\mathbf{DR}_{\text{DDR}}(k) = \text{sqrt}(\mathbf{CR}_{\text{DDR}}(2k-1, 2k-1) + \mathbf{CR}_{\text{DDR}}(2k, 2k)) \quad (22)$$

针对 GPS 单点定位算法,其距离均方根可以看成是一个常数, $DR_{GPS} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = 15 \text{ m}$, 其中 σ_x 和 σ_y 为沿 x 轴和 y 轴误差的标准差。通过将两辆车的 GPS 测得的绝对位置距离相减可计算出它们之间的相对距离。基于车辆节点 GPS 接收机获取的车辆定位距离误差的相对独立性,通过利用全球定位系统的单点定位算法来获取车辆相对位置的距离均方根可表示为

$$DR_{GPSR} = \sqrt{2\sigma_x^2 + 2\sigma_y^2} = \sqrt{2} \cdot DR_{GPS} = 21.21 \text{ m} \quad (23)$$

2 仿真结果

车载通信中通常采用的通信协议为 IEEE 802.11p^[13],其通信频段为 5 800 MHz,包含 3 个传输通道且每个通道相互独立,具有 V2V 和 V2I 两种通信模式,V2V 通信可以实现在车辆间交换伪距信息。车载节点的一跳传输范围理论上可达 250 m,实际传输范围通常与周围传输环境(如建筑遮挡、机械干扰等)密切相关。通信中通过控制信道^[14]保证数据的安全性,实现快速可靠的数据传输。在仿真中,汽车以 1~10 Hz 的广播频率发送合作感知消息(Cooperative awareness messages, CAM),相邻车辆间可以通过收发信标消息实现车辆位置、车辆速度和车辆加速度等自身状态信息的共享,本文在信标消息中加入了整合后的需要交换的伪距信息。本文通过仿真对所提出的伪距双差 DDR 算法和贪婪周边无界路由(Greedy perimeter stateless routing, GPSR)算法进行对比分析,GPSR 算法是网络中节点采用 GPSR 协议后能获得自身的地理位置,它是一种基于位置的路由协议,网络节点能利用贪婪算法沿直线建立路由并转发数据^[15]。为更好地进行仿真实验分析,本文设 $k=3$ (k 表示在伪距双差定位计算中使用的车辆数目), $\sigma_p = 3 \text{ m}$ 。图 3 为当分别存在 4,5,6,7 个公共可见卫星数目时,伪距双差算法与 GPS 算法测得的相对位置的距离均方根仿真结果。图 3 说明随着公共可见卫星数目的增加,DDR 的性能可以得到改善。本文提出的伪距双差算法中,卫星造成的公共误差和不同接收机的时钟偏移量会通过伪距双差抵消,所以其相对定位性能尤其是在公共可见卫星数大于 4 时,会明显优于 GPS 算法。

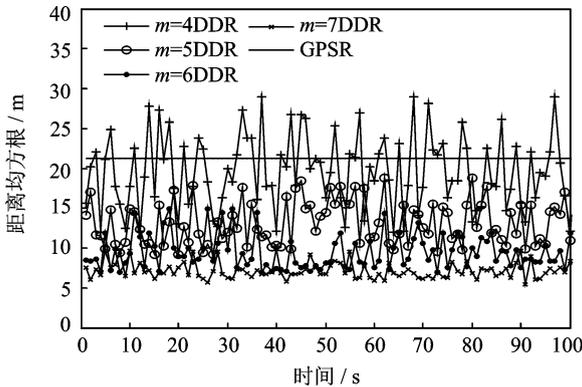


图 3 伪距双差与 GPS 测得的相对位置的距离均方根

Fig. 3 Distance RMS of relative position measured by pseudorange double difference and GPS

针对于不同卫星组合的情形,若距离均方根的平均值用 DR_{DDR} 来表示,则本文提出的伪距双差算法的性能指标可表示为

$$p = (1 - \frac{DR_{DDR}}{DR_{GPSR}}) \times 100\% \quad (24)$$

基于上述公式可以得到本文提出的伪距双差算法能够计算的精度相对于传统的 GPS 单点定位算法计算精度的提高点。表 1 给出了本文提出的算法在可用卫星数分别为 4,5,6,7 时的性能比较。从表

1 中可以看出,当 $M \geq 4$,由于接收机的时钟偏移量和公共误差被抵消,车辆相对位置的距离均方根精度可以得到较大改善,伪距双差算法的相对定位性能比 GPS 单点定位方法可以提高 50% 左右。

3 结束语

车载通信中众多基于位置的服务,诸如车辆的安全信息广播、交通拥堵诱导等,通常都通过利用 GNSS 尤其是 GPS 来获取车辆位置信息,但由于 GNSS 的精度和可靠性有限,且基于邻近的 GPS 接收机的观测量通常会受到相同的对流层和电离层延迟等公共误差的影响^[16],因此本文主要研究利用 GPS 伪距双差实现车辆节点的更准确相对定位,通过利用相对定位抵消定位过程中产生的公共误差,使得相对向量定位相比于绝对定位更为精确。该算法通过 V2V 通信在车辆间交换伪距信息,基于伪距双差的相对定位消除了不同接收机的时钟偏移量,降低了卫星间的公共误差对位置定位的影响,通过对基于伪距双差的车辆相对定位算法与 GPS 单点定位方法所测得的车辆相对位置的距离均方根进行对比分析,得出伪距双差相对定位算法的定位精度更高。仿真结果表明,随着卫星数目的增加,伪距双差算法测量的距离均方根的平均值越来越小,精度百分比值越来越高,定位精度有显著提高。尤其是当公共可见卫星超过 4 颗时,由于接收机的时钟偏移量和公共误差被抵消,车辆相对位置的距离均方根精度可以得到较大改善,因此基于伪距双差计算的汽车间的相对位置与利用两个独立的 GPS 绝对位置计算的结果相比,伪距双差算法的相对定位性能显著优于 GPS 单点定位方法。因此,本文所提出的伪距双差车辆相对定位算法能显著改善车联网中车辆定位的性能。

参考文献:

- [1] Parker R, Valaee S. Vehicular node localization using received-signal-strength indicator[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007,56(6):3371-3380.
- [2] Alam N, Balaie A T, Dempster A G. Dynamic path loss exponent and distance estimation in a vehicular network using Doppler effect and received signal strength[C]//2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference: VTC2010-Fall. Ottawa, Canada, IEEE, 2010:1-5.
- [3] 吕志成,刘增军,王飞雪. GPS 观测量随机特性分析[J]. 数据采集与处理,2012,27(S1):77-82.
Lü Zhicheng, Liu Zengjun, Wang Feixue. Stochastic characteristic analysis of GPS observation[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2012,27(S1):77-82.
- [4] 王尔申,蔡明,庞涛. MCMC 粒子滤波的 GPS 定位数据处理算法[J]. 数据采集与处理,2013,28(2):213-218.
Wang Ershen, Cai Ming, Pang Tao. GPS positioning data processing algorithm based on MCMC particle filter[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2013,28(2):213-218.
- [5] 邵震洪,李文峰,吴怡,等. 基于改进当前统计模型的模糊自适应车辆定位算法[J]. 通信学报,2013,34(7):184-190.
Shao Zhenhong, Li Wenfeng, Wu Yi, et al. Fuzzy adaptive algorithm based on modified current statistical model for vehicle positioning [J]. Journal on Communications, 2013,34(7):184-190.
- [6] 戴伟,李明峰,吴继忠. 北斗卫星导航系统伪距差分定位技术研究[J]. 全球定位系统,2015,40(2):36-39.
Dai Wei, Li Mingfeng, Wu Jizhong. Positioning technology of BDS pseudorange difference [J]. GNSS World of China, 2015,40(2): 36-39.
- [7] Obst M, Richter E, Wanielik G. Accurate relative localization for land vehicles with SBAS corrected GPS/INS integration and V2V communication[C]//24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2011 (ION GNSS 2011). Oregon, USA:[s. n.], 2011: 363-371.

表 1 伪距双差算法性能随卫星数目的变化值
Tab. 1 Performance of pseudorange double difference algorithm changes with satellite number

公共可见 卫星数目 M	性能参数	
	DR _{DDR}	$P/\%$
4	19.568 9	8
5	12.747 8	40
6	9.362 6	56
7	7.423 6	65

- [8] Biswas S, Tatchikou R, Dion F. Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2006, 44(1): 74-82.
- [9] Kaplan E D, Hegarty C J. Understanding GPS: Principles and applications[M]. US: Artech House Publishers, 2006.
- [10] Obeid N, Heddebaut M, Boukour F, et al. Millimeter wave ultra wide band short range radar localization accuracy[C]// Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2009). Barcelona, Spain: IEEE, 2009: 1-5.
- [11] Julier S J, Durrant-Whyte H F. On the role of process models in autonomous land vehicle navigation systems[J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2003, 19(1): 1-14.
- [12] 于秦, 肖志辉, 姜微. 基于 WLAN 和 WSN 的异构网络协同定位[J]. *电信科学*, 2013, 29(7): 83-89.
Yu Qin, Xiao Zhihui, Jiang Wei. WLAN and WSN-Based heterogeneous network collaborative localization[J]. *Telecommunications Science*, 2013, 29(7): 83-89.
- [13] Jiang D, Delgrossi L. IEEE 802. 11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments[C]// Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2008). Singapore: IEEE, 2008: 2036-2040.
- [14] Stanica R, Chaput E, Beylot A L. Properties of the MAC layer in safety vehicular Ad Hoc networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2012, 50(5): 192-200.
- [15] Jiang D, Delgrossi L. IEEE 802. 11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments[C]// Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2008). Singapore: IEEE, 2008: 2036-2040.
- [16] Stanica R, Chaput E, Beylot A L. Properties of the MAC layer in safety vehicular Ad Hoc networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2012, 50(5): 192-200.

作者简介:



赵海涛 (1983-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 无线多媒体通信、车联网等。



朱洪波 (1956-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 物联网与下一代网络技术。



刘南杰 (1956-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 车载通信技术。



杜艾芊 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 移动通信与无线技术、车联网。

