

可信邻居距离估计的 DV-Hop 校准算法

江禹生, 陈 颢*, 李 萍

(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

(*通信作者电子邮箱 chenxian0530@163.com)

摘要:针对 DV-Hop 算法定位精度低的问题,提出了可信邻居距离估计的 DV-Hop(CDV-Hop)校准算法。通过将邻居节点间距离与连通性差异联系起来,定义了一种新的邻居距离估计方法,计算出更精确的邻居距离;根据不同未知节点与其最近锚节点独特的位置关系,增加了校准步骤,以可信邻居距离为校准标准对未知节点的估计位置进行修正。仿真结果表明,CDV-Hop 算法在不同的网络环境下表现稳定,随着锚节点比例的增加,与 DV-Hop 算法相比,定位精度提高了 4.57%~10.22%,与改进的 DV-Hop(IDV-Hop)算法相比,定位精度提高了 3.2%~8.93%。

关键词:无线传感器网络;定位;DV-Hop 算法;邻居距离;连通性差异

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A

Calibration based DV-Hop algorithm with credible neighborhood distance estimation

JIANG Yusheng, CHEN Xian*, LI Ping

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Concerning the poor localization precision of Distance Vector-Hop (DV-Hop), a calibration based DV-Hop algorithm with credible neighborhood distance estimation (CDV-Hop) was proposed, which defined a new measure to estimate the neighborhood distances by relating the proximity of two neighbors to their connectivity difference, and then calculated the more accurate neighborhood distances. According to the unique location relationship between the unknown nodes and their nearest anchor nodes, this algorithm added the calibration step, which took the credible neighborhood distances as the calibration standard to correct the position of unknown nodes. The simulation results show that the CDV-Hop algorithm works stably in different network environment. With the ratio of anchor nodes increasing, there is an improvement of 4.57% to 10.22% in localization precision compared with DV-Hop algorithm and 3.2% to 8.93% in localization precision compared with Improved DV-Hop (IDV-Hop) algorithm.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); localization; DV-Hop algorithm; neighborhood distance; connectivity difference

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)的多数应用都广泛依赖于节点的位置信息,此外,对于某些路由机制和覆盖技术,节点位置也是必不可少的^[1]。由于传感器节点受到成本、能耗和体积的限制,为无线传感器网络中的所有节点配备全球定位系统(Global Positioning System, GPS)进行定位是不现实的。因此,利用少数的锚节点来判定未知节点位置的定位算法成为了定位技术的研究重点。

根据是否需要测量节点之间的距离,定位算法可以分为基于测距定位算法和无需测距定位算法^[2]。与前者相比,后者不需要额外的硬件支持,成本和能耗较低,特别适合无线传感网络这种能量受限的应用场景。DV-Hop(Distance Vector-Hop)算法是无需测距定位算法的典型代表,但它存在定位精度低、性能易受环境影响的缺陷。文献[3-5]对其进行了改进:文献[3]提出了一种基于加权处理平均跳距的计算方法,每条路径的权值与这条路径的平均跳距和锚节点平均跳距的偏差程度归一化的结果成反比;文献[4]在计算未知节点到各个锚节点的距离时,增加了距离修正步骤;文献[5]利用补偿值对未知节点平均跳距进行修正,并且不再只接收最近锚

节点的平均跳距,考虑全网所有锚节点的影响。上述改进算法都比较注重对未知节点平均跳距的改进,以增加节点的通信开销为代价来提高算法的定位性能。本文在不增加通信开销的情况下,提出了可信邻居距离估计的 DV-Hop(Calibration based DV-Hop, CDV-Hop)校准算法,并通过仿真验证了其定位性能。

1 DV-Hop 算法

DV-Hop 算法是一种基于距离矢量路由机制的定位算法。算法的具体过程分为三个阶段^[6-7]。

1) 使用典型的距离矢量交换协议,网络中的锚节点向邻居节点广播包含自身位置信息的数据包。接收到该数据包的节点记录下锚节点的信息,继续向它的邻居节点转发,直至网络中的所有节点都记录下每个锚节点的位置信息和相应的跳数。

2) 各个锚节点得到其他锚节点的位置信息之后,通过式(1)估算平均每跳的实际距离:

$$Hopsize_i = \left(\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) / \sum_{j \neq i} h_{ij} \quad (1)$$

其中: (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 分别代表锚节点 i 、 j 的坐标, h_{ij} 是锚节点 i 到 j 之间的跳数。

收稿日期:2013-05-28;修回日期:2013-07-17。 基金项目:国家 863 计划项目(2011AA05A120)。

作者简介:江禹生(1961-),男,重庆忠县人,博士,副教授,主要研究方向:无线传感网、物联网、宽带移动 IP 技术; 陈颢(1989-),女,重庆梁平人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感网; 李萍(1987-),女,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感网。

锚节点将计算所得的平均跳距在全网内洪泛广播,未知节点仅接收第一个到达的平均跳距,并继续转发给邻居节点。未知节点将平均跳距与到各个锚节点的跳数相乘得到相应的距离。

3)未知节点利用计算所得的到各个锚节点的距离,使用三边测量法或极大似然估计法计算自身的坐标。

2 CDV-Hop 算法

引起 DV-Hop 算法定位精度低下的一个原因就是邻居距离模糊问题^[8-9],即未知节点到其一跳范围内锚节点的估计距离相同,事实上,由于节点随机分布的特性,它们的距离是各不相同的。DV-Hop 算法还面临未知节点估计位置偏离问题,未知节点在得到与各个锚节点的距离之后,多采用极大似然估计法对其进行定位。从宏观的角度来说,利用的到锚节点距离信息越多结果越精确,但由于误差累积,一些距离未知节点较远的锚节点将会对定位精度产生较大影响。针对以上问题,CDV-Hop 算法从两个方面着手:1)将邻居距离与连通性差异联系起来,提出一种新的基于连通性差异的邻居距离估计方法;2)在完成对未知节点定位之后,增加校准步骤,以可信的邻居距离为校准标准将未知节点的估计位置移动到更为合理的位置。

2.1 可信邻居距离估计

在 DV-Hop 算法中,节点 i 的连通性被认为是包含到各个锚节点最小跳数的矩阵。如对于未知节点 i ,其到锚节点 L_1, L_2, \dots, L_n 的连通性为 $H^i = (h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{in})$ 。每个节点都有唯一的连通性,两个邻居节点的连通性越相似,它们之间的距离就越小^[10]。因此可信邻居距离估计方法的核心思想就是利用连通性来描述邻居节点的相近程度。

为了更好地说明邻居距离的估计原理和过程,使用如图 1 所示的网络拓扑。将 15 个节点随机布撒在 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 的监测区域,8 个已知自身位置的锚节点 L_1, L_2, \dots, L_8 和 7 个待定位的未知节点 N_1, N_2, \dots, N_7 ,所有节点的通信半径都设为 20 m 。

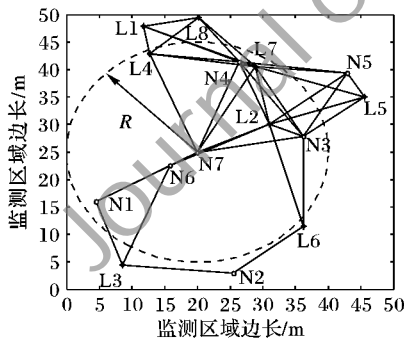


图 1 网络拓扑示例

网络中的所有节点通过第一阶段的信息交换获得彼此的连通性,并且,未知节点不仅记录自身的也要保留其邻居锚节点的连通性。将未知节点 N_7 作为研究对象来进行进一步说明。从图 1 中的拓扑结构中可以看出, L_2, L_4, L_7 是 N_7 的邻居锚节点,通过观察得到节点连通性,结果记录在表 1 之中。

表 1 N_7 及邻居锚节点的连通性

节点	连通性	节点	连通性
N_7	(2,1,2,1,2,2,1,2)	L_4	(1,2,3,0,2,3,1,1)
L_2	(2,0,2,2,1,1,1,2)	L_7	(1,1,3,1,1,2,0,1)

从表 1 可知,与坐标一样,每个节点都有自己独一无二的连通性,可以标识未知节点的位置,并且两个节点的连通性差异越小,节点之间的位置越接近。本文使用文献[11]中的方法,通过计算两个节点连通性的绝对差值之和来量化连通性差异,如对于未知节点 i 和邻居锚节点 k ,其连通性差异用 CD_{ik} 表示,通过式(2)得到:

$$CD_{ik} = \sum_j |h_{ij} - h_{kj}| \quad (2)$$

其中: h_{ij} 是未知节点 i 和锚节点 j 之间的最小跳数, h_{kj} 是 i 的邻居锚节点 k 和锚节点 j 之间的最小跳数。通过式(2),未知节点 N_7 与其邻居锚节点的连通性差异计算结果如表 2 所示。

表 2 N_7 与邻居锚节点的连通性差异和真实距离

邻居锚节点	连通性差异	真实距离/m
L_2	4	12.1003
L_4	6	19.3340
L_7	5	17.8524

比较表 2 的最右两列可知,较大的连通性差异总是代表着较远的邻居距离,并且邻居距离越大越接近通信半径。基于以上分析,将与未知节点 i 连通性差值最大的邻居距离设为通信半径 R ,第 k 个邻居锚节点与未知节点 i 的连通性差异与最大连通性差值的比值作为权值,与通信半径相乘得到第 k 个邻居锚节点到未知节点 i 的距离。计算公式如式(3):

$$d_{ik} = \frac{CD_{ik} * R}{CD_{imax}} \quad (3)$$

其中: CD_{ik} 是未知节点 i 和其邻居锚节点 k 之间的连通性差异, CD_{imax} 是未知节点 i 与所有邻居锚节点连通性差异 CD_{ik} 中的最大值。

依据式(2)和式(3)对 N_7 的邻居距离进行估计,将结果与 DV-Hop 算法计算所得的邻居距离记录在表 3 之中,并对两种方法计算的邻居距离定位误差进行比较。

表 3 两种方法定位误差比较

邻居锚节点	DV-Hop		CDV-Hop	
	邻居距离/m	定位误差/m	邻居距离/m	定位误差/m
L_2	13.6419	1.5416	13.3333	1.2330
L_4	13.6419	5.6921	20.0000	0.6660
L_7	13.6419	4.2105	16.6667	1.1857

从表 3 中可以明显看到,通过 CDV-Hop 算法计算所得的结果比 DV-Hop 算法的定位误差更小,定位精度更高。

2.2 基于可信邻居距离的节点位置校准

在 DV-Hop 中,未知节点的平均跳距是一个估计值并不是准确值。因此,随着未知节点与锚节点之间跳数的增加,估计距离误差也会增加,而误差较大的距离常常会影响未知节点的定位^[12]。为了改善以上情形,CDV-Hop 算法在得到未知节点估计位置之后增加了校准步骤,进一步提高定位精度。

未知节点位置校准的核心思想就是将未知节点的估计位置移动到一个更加合理的地方。基于 2.1 节所述,利用连通性差异对邻居距离可以进行有效的估计,邻居距离可信度大幅提升,使不同的未知节点到其最近锚节点都有独特的距离关系。因此,CDV-Hop 算法将未知节点到最近邻居锚节点的距离视为校准标准,来修正未知节点的估计位置。校准步骤分为两种情况,若未知节点有邻居锚节点,则执行校准步骤;否则,未知节点坐标不作改变。校准方法的具体过程如下:

如图 2(a) 所示,经过 DV-Hop 算法定位,未知节点 i 的估

计位置为 i' , 其坐标是 (x_i', y_i') , 最近锚节点 j 的坐标 (x_j, y_j) , 计算两节点之间的距离, 记为 d_{DV-Hop} 。通过式(3) 计算未知节点 i 到最近锚节点 j 的可信邻居距离, 记为 d_{cre} , 沿着 i' 和 j 的连线, 将未知节点的位置从 i' 移动到 i_{cre} , 如图 2(b)。校准后的未知节点坐标 (x_{cre}, y_{cre}) 通过式(4) 得到:

$$\begin{cases} x_{cre} = x_i' - \left(\frac{d_{DV-Hop} - d_{cre}}{d_{DV-Hop}} \right) * (x_i' - x_j) \\ y_{cre} = y_i' - \left(\frac{d_{DV-Hop} - d_{cre}}{d_{DV-Hop}} \right) * (y_i' - y_j) \end{cases} \quad (4)$$

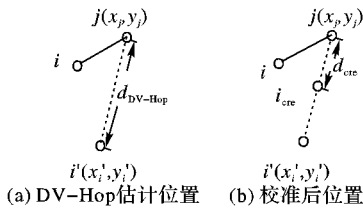


图 2 校准过程

2.3 CDV-Hop 算法步骤

CDV-Hop 算法如下:

1) 与传统 DV-Hop 算法相似, 使用典型的距离矢量交换协议获得到各个锚节点的最短路径。此外, 第一次信息广播后, 每个未知节点都获得了邻居锚节点的 ID 号, 此后的信息广播中, 未知节点不仅保存自身也保存邻居锚节点的连通性信息。

2) 锚节点按照式(1) 计算平均跳距, 并在全网内洪泛广播, 未知节点只接收第一个到达的平均跳距值。未知节点在计算到各个锚节点的距离时, 若锚节点是邻居节点, 运用式(2)、(3) 计算邻居距离, 否则用传统 DV-Hop 算法的估计方法计算距离。

3) 未知节点计算出到各个锚节点的距离后, 执行极大似然估计法计算自身位置坐标, 并增加校准步骤。若未知节点存在邻居锚节点, 则按式(4) 修正估计坐标; 否则忽略校准步骤。

3 网络仿真和分析

为了验证改进算法的定位性能, 对 DV-Hop 算法、文献[5] 中改进的 DV-Hop (Improved DV-Hop, IDV-Hop) 算法和 CDV-Hop 算法在 Matlab 平台上进行实验仿真, 并对结果进行比较分析。对于不同的场景, 分别进行 50 次网络仿真, 并取其平均值。在仿真过程实验中, 对算法的性能主要从相对定位误差方面进行评估, 其定义为未知节点估计位置与实际位置的距离与通信半径的比值。相对定位误差越小, 则定位精度越高, 定位性能越好。设节点 i 的真实位置为 L_i , 估计位置为 \hat{L}_i , 节点通信半径为 R , 未知节点的个数为 N , 所有节点经过 K 次仿真后的相对定位误差为:

$$error = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N \frac{|L_i - \hat{L}_i|}{KNR} \times 100\% \quad (5)$$

3.1 锚节点比例对定位精度的影响

仿真环境为所有节点随机布撒在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域中, 所有节点通信半径为 30 m , 网络中的节点总数为 200 , 锚节点比例分别为 $0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ 。

从图 3 中可以看出, 3 种算法的相对定位误差都随着锚节点比例的增大而减少, 这是因为锚节点数目增多, 使未知节点能通过更多的锚节点进行定位, 计算误差减少。进一步分析实验结果, 在相同的情况下, CDV-Hop 的相对定位误差要明显小于其他两种算法。CDV-Hop 算法的相对定位误差比

DV-Hop 定位算法减少了 $4.57\% \sim 10.22\%$, 比 IDV-Hop 算法减少了 $3.2\% \sim 8.93\%$ 。因此, CDV-Hop 算法的定位精度要高于其他两种算法。

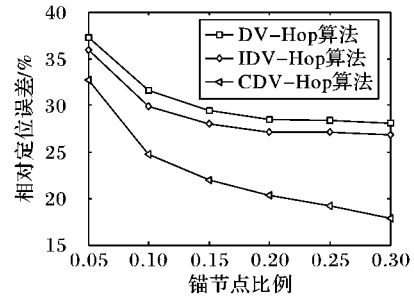


图 3 相对定位误差随锚节点比例的变化

3.2 节点总数对定位精度的影响

仿真环境为所有节点随机布撒在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域中, 所有节点通信半径为 30 m , 网络中的锚节点比例为 0.1 , 节点总数分别为 $100, 150, 200, 250, 300, 350$ 。

从图 4 中可以看出, 随着节点总数的增加, 3 种算法的相对定位误差都随之减少。这是因为节点总数增加时, 节点之间的距离减少, 误差累积问题得到了改善。对于 CDV-Hop 算法, 使用了新的邻居距离估计方法使定位精度得到了更为显著的提高。例如, 当节点总数为 250 时, DV-Hop 算法的相对定位误差为 30.05% , IDV-Hop 算法的相对定位误差是 28.63% , 而 CDV-Hop 算法的相对定位误差为 21.89% 。

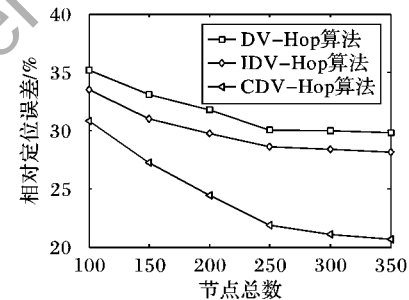


图 4 相对定位误差随节点数量的变化

3.3 通信半径对定位精度的影响

仿真环境为所有节点随机布撒在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域中, 网络中的节点总数为 200 , 锚节点比例为 0.1 , 节点通信半径分别为 $15, 20, 25, 30, 35, 40$ 。

从图 5 中可以看出, 随着通信半径的增加, 节点间直接通信的几率增大, 并且相对定位误差归一化计算的分子增大, 使相对定位误差随之减小。在 3 种算法中, CDV-Hop 算法的定位精度最高。例如, 当通信半径为 35 m 时, DV-Hop 的相对定位误差为 30.2% , IDV-Hop 算法的相对定位误差为 28.45% , CDV-Hop 算法的相对定位误差为 23.23% 。

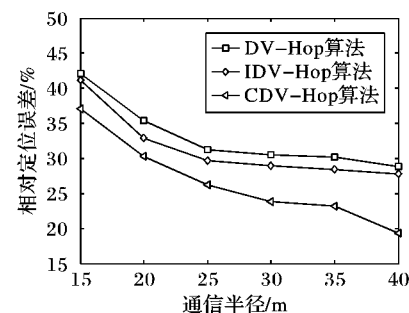


图 5 相对定位误差随通信半径的变化

文拟通过优化时隙分配等环节进一步提高 MAC-T 的接入性能。

参考文献:

- [1] 姚建铨. 太赫兹技术及其应用[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(6): 703 - 707.
- [2] IEEE. 802.15.3c-2009—IEEE standard for information technology telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements. Part 15.3: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for high rate wireless personal area networks (WPANs) amendment 2: millimeter-wave-based alternative physical layer extension [S]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 3 - 57.
- [3] IEEE. 802.15.3-2003—IEEE standard for information technology telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements. Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [S]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 8 - 182.
- [4] THOMAS K O, NAGATSUMA T. A review on terahertz communications research [J]. Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 2011, 32(2): 143 - 171.
- [5] YANG Y, MANDEHGAAR M, GRISCHKOESKY D R. Understanding THz pulse propagation in the atmosphere [J]. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 2012, 2(4): 406 - 415.
- [6] JACOB M, PRIEBE S, KVRNER T, *et al.* An overview of ongoing activities in the field of channel model, spectrum allocation and standardization for mm-wave and THz indoor communications [C]// Proceedings of the 2009 IEEE Conference on Globecom Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2009: 1 - 6.
- [7] BAYKAS T, SUM C S, ZHOU L, *et al.* IEEE 802.15.3c: the first IEEE standard for data rates over 1Gb/s [J]. IEEE Communication Magazine, 2011, 49(7): 114 - 121.
- [8] KWON J H, KIM E J, KANG C H. CAD-MAC: coverage adaptive directional medium access for mmWave wireless personal area networks [C]// Proceedings of the 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2012: 751 - 754.
- [9] 郭宇航. 基于 UWB 技术的高速无线个域网 MAC 协议研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [10] ALI K A, H MOUFTAH T. Wireless personal area networks architecture and protocols for multimedia applications [J]. Multimedia Ad Hoc and Sensor Networks, 2011, 9(4): 675 - 686.
- [11] SINGH H, YONG S K, OH J, *et al.* Principles of IEEE 802.15.3c: multi-Gigabit millimeter-wave wireless PAN [C]// Proceedings of the 18th International Conference on Computer Communications and Networks. Piscataway: IEEE Press, 2009: 1 - 6.
- [12] GONG M X, STACEY R, AKHMETOV D. A directional CSMA/CA protocol for mmWave wireless PANs [C]// Proceedings of the 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1 - 6.
- [13] CHAO H L, HSU M P. CTAP-minimized scheduling algorithm for millimeter-wave-based wireless personal area networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3840 - 3852.
- [14] PYO C W, HARADA H. Throughput analysis and improvement of hybrid multiple access in IEEE 802.15.3c mm-wave WPAN [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(8): 1414 - 1424.

(上接第 3018 页)

4 结语

在对 DV-Hop 算法的定位原理进行研究, 分析其存在的不足的基础上, 通过引入新的邻居节点估计方法和未知节点估计位置校准步骤, 提出了 CDV-Hop 算法。通过理论分析和仿真结果可以看出, 与 DV-Hop 算法及文献[5]中的 IDV-Hop 算法相比, CDV-Hop 算法受节点随机分布影响较小, 定位精度有了明显提高。并且较 DV-Hop 算法, 没有额外的通信开销, 继承了其低成本和低功耗的优势, 是无线传感器网络定位的一种可选方案。

参考文献:

- [1] HE T, HUANG C, BLUM B M, *et al.* Range-free localization schemes for large scale sensor networks [C]// Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2003: 81 - 95.
- [2] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857 - 868.
- [3] LI J, ZHANG J M. A weighted DV-Hop localization scheme for wireless sensor networks [C]// Proceedings of the Eighth IEEE International Conference on Embedded Computing and IEEE International Conference on Scalable Computing and Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 269 - 272.
- [4] YU W Q, LI H. An improved DV-Hop localization method in wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2012: 199 - 202.
- [5] BAO X R, BAO F P, ZHANG S, *et al.* An improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010: 469 - 471.
- [6] PANUAR A, KUMAR S A. Localization schemes in wireless sensor networks [C]// Proceedings of the Second International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2012: 443 - 449.
- [7] 胡峰松, 孟湘琴. 多维平均跳距值的 DV-Hop 定位算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(28): 42 - 44.
- [8] WU G, WANG S, WANG B, *et al.* A novel range-free localization based on regulated neighborhood distance for wireless Ad Hoc and sensor networks [J]. Computer Networks, 2012, 56(7): 3581 - 3593.
- [9] MA D, ER M J, WANG B. Analysis of hop-count-based source-to-destination distance estimation in wireless sensor networks with applications in localization [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(6): 2998 - 3011.
- [10] GUI L Q, VAL T, WEI A. Improving localization accuracy using selective 3-anchor DV-Hop algorithm [C]// Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Vehicular Technology. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1 - 5.
- [11] 郑吉平, 张永平, 赵国安, 等. 基于节点间连通性差异 DV-Hop 定位算法[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(6): 45 - 49.
- [12] 冯江, 朱强, 吴春春. 改进的 DV-Hop 定位算法研究[J]. 计算机工程, 2012, 38(19): 74 - 77.