

基于蛙跳算法的 DV-Hop 定位改进

葛宇¹, 王学平², 梁静³

(1. 四川师范大学 基础教学学院, 成都 610068; 2. 四川师范大学 数学与软件科学学院, 成都 610068;

3. 成都电子机械高等专科学校 网络中心, 成都 610031)

(geyufly@yahoo.com.cn)

摘要:为减小 DV-Hop 算法在无线传感器网络节点定位中的误差, 针对 DV-Hop 中平均每跳距离的计算方式进行了改进, 利用蛙跳算法来求解平均每跳距离, 使其更接近实际值, 从而提高最终定位结果的精确度。仿真结果表明, 改进 DV-Hop 算法在不增加硬件开销的基础上, 能有效提高定位精确度, 降低定位误差, 具有较好的稳定性, 是一种实用的无线传感器网络节点定位方案。

关键词:无线传感器网络; 定位; DV-Hop 算法; 蛙跳算法; 平均每跳距离

中图分类号: TP393; TP18 **文献标志码:** A

Improvement of DV-Hop localization based on shuffled frog leaping algorithm

GE Yu¹, WANG Xue-ping², LIANG Jing³

(1. College of Fundamental, Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan 610068, China;

2. College of Mathematics and Soft Science, Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan 610068, China;

3. Network Center, Chengdu Electromechanical College, Chengdu Sichuan, 610031, China)

Abstract: In order to reduce the node localization error of DV-Hop algorithm in Wireless Sensor Network (WSN), a calculation method of average distance per hop was adjusted by using the shuffled frog leaping algorithm. The improved DV-Hop algorithm makes the average distance per hop closer to the actual value, thereby reducing the localization error. The simulation results indicate that the improved DV-Hop algorithm reduces localization error effectively and has good stability without additional devices; therefore, it is a practical localization solution for WSN.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); localization; DV-Hop algorithm; shuffled frog leaping algorithm; average one-hop distance

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种全新的信息获取和处理技术,已广泛应用于军事、目标追踪、环境检测和空间探索等领域。其中的节点定位技术是大多数应用的基础^[1],现有的无线传感器网络节点定位算法大体可分为基于测距和非测距两类^[2]。前者需要先通过实际测量方法(如:信号强度、到达时间、到达角度等)获得节点间的距离信息或角度信息,再使用三边测量法或极大似然估计法来计算节点的位置;后者无须实际测量,仅根据网络连通度等信息实现节点定位。基于测距的定位方法需要增加额外的硬件设备和通信量,这样加大了能耗和成本;而非测距定位方法无需额外的硬件设备,能降低对节点硬件的要求,更适合于大规模无线传感器网络的实际应用。因此,非测距定位方法(如:DV-Hop、质心法、APIT等)越来越受到国内外学者的关注^[3]。

DV-Hop是目前最受关注的定位算法之一,其基本思想^[4]是将待定位节点到参考节点(锚节点)之间的距离用两者间跳数和平均每跳距离的乘积来表示,然后使用节点位置计算方法(如:三边测量或极大似然估计法)求出待定位节点的位置信息。然而,DV-Hop以平均每跳距离和锚节点坐标作为算法输入,其中锚节点的坐标位置已知,所以DV-Hop的主要误差来源是平均每跳距离的计算^[5]。针对这一问题,林金朝等人^[6]通过锚节点自身计算出的误差修正了平均每跳距

离,同时结合“估计坐标修正”策略提高了定位精度;赵清华等人^[7]根据不同节点分布情况优化了平均每跳距离,并使用“Max-Min方法”改进了节点位置计算方法,降低了定位误差。不难看出,以上改进方案除了修正了平均每跳距离外,均结合了其他改进策略。和以上改进不同,本文结合蛙跳算法仅改进原DV-Hop的平均每跳距离的计算方式。仿真实验结果表明,改进后的算法有效降低了定位误差,具有较好的稳定性。

1 DV-Hop 定位算法

在指定了一定数量锚节点(已知位置信息的节点)的无线传感器网络中,DV-Hop算法的定位过程如下。

第一阶段 计算网络中所有节点到各个锚节点的最小跳数。令每个节点使用一个“锚节点列表”记录锚节点的信息,设ID表示锚节点的标识符,px和py表示锚节点坐标,h表示一节点到锚节点的最小跳数,列表中第i个锚节点的信息记为{ID_i, px_i, py_i, h_i}。开始时,锚节点向邻居节点发一广播包,其中包括该锚节点的ID、坐标(px, py)和跳数(初值为0)。邻居节点接收到此数据包后,记录下锚节点ID、(px, py)和它到锚节点的最小跳数h,忽略来自同一锚节点的较大跳数的数据包;然后将跳数值加1,并转发邻居节点。这样,网络中的所有节点都能够记录到每个锚节点的最小跳数。

第二阶段 计算平均每跳距离,进而计算出待定位节点与锚节点间距离。

收稿日期:2010-10-08;修回日期:2010-11-22。 **基金项目:**四川师范大学青年基金资助项目(10QN104)。

作者简介:葛宇(1981-),男,四川西昌人,讲师,硕士,CCF会员,主要研究方向:计算智能;王学平(1965-),男,四川遂宁人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:不确定性的数学理论及算法;梁静(1979-),女,四川泸州人,讲师,硕士,CCF会员,主要研究方向:图形图像。

1) 通过第一阶段的计算,每个锚节点根据其记录的其他锚节点位置和跳数信息,计算对应的平均每跳距离($Hopsiz_e$),计算公式如下:

$$Hopsiz_e = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(px_i - px_j)^2 + (py_i - py_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_{ij}} \quad (1)$$

其中: $Hopsiz_e$ 是锚节点 i 对应的平均每跳距离, h_{ij} 是锚节点 i 与锚节点 j 之间的跳数值。

2) 每个锚节点 i 计算出 $Hopsiz_e$ 后,将该值广播至网络中。待定位节点仅记录收到的第一个 $Hopsiz_e$,该策略确保绝大多数待定位节点从最近的锚节点接收 $Hopsiz_e$ 。

3) 用 $Hopsiz_e$ 和第一阶段算出的 h_i (待定位节点距锚节点 i 的最小跳数) 相乘,计算该待定位节点到锚节点的距离。

第三阶段 计算待定位节点的坐标。一旦待定位节点知道了它到至少三个锚节点的估计距离,该未知节点就执行三边测量法或极大似然估计法计算自身的位置。

2 结合蛙跳算法的 DV-Hop 改进

2.1 蛙跳算法

蛙跳算法是 Muzaffar Eusuff 和 Kevin Lansey 于 2003 年提出的一种全新的智能优化算法^[8],具有良好的灵活性、通用性等特点,在很多领域得到了广泛应用^[9-11]。蛙跳算法模拟了青蛙群体寻找食物时按子群分类进行信息交换的过程,将全局搜索与子群内部搜索相结合,使算法能朝全局最优方向进行。以下简要介绍蛙跳算法的数学模型。

1) 子群划分。

设群体内青蛙(解)个数为 N ,子群数为 k ,子群内解个数为 n ,则 $N = k \times n$ 。用 $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$ 表示第 j ($1 \leq j \leq N$) 个解, v 表示变量的个数(即解的维数)。对于随机产生的初始群体 $S = (X_1, X_2, \dots, X_N)$,按适应度降序排序后,使第 1 个解分入第 1 子群,第 2 个解分入第 2 子群, ..., 第 k 个解分入第 k 子群,第 $k+1$ 个解又分入第 1 子群,第 $k+2$ 个解分入第 2 子群,依此重复直到 N 个解分配完毕。

2) 子群内部搜索。

设 X_b 为一个子群中适应度最好的解, X_w 为一个子群中适应度最差的解, X_m 为所有子群中适应度最好的解。对每个子群进行内部搜索,即对子群中的 X_w 重复进行更新,更新策略公式如下:

$$X' = X_w + R \times (X_b - X_w) \quad (2)$$

其中: X' 为更新后的解, R 是 0 到 1 之间的随机数。如果 X' 优于 X_w ,则 $X_w = X'$;否则,式(2)中的 X_b 换为 X_m ,重复执行更新策略式(2)。若 X' 始终不能优于 X_w ,则随机产生一个解取代 X_w 。重复上述步骤,到迭代次数大于设定的子群内部迭代次数时终止。

3) 全局搜索。

当所有子群内部搜索完成后,混合所有子群中的解,重新执行子群划分和更新策略,如此反复直到满足终止条件(收敛到最优解或达到最大全局搜索次数)。

2.2 平均每跳距离分析及结合蛙跳算法的改进

文献[5]中分析了 DV-Hop 算法的定位精度主要依靠第二阶段中式(1)估算出的平均每跳距离的精确度。目前,DV-Hop 算法是基于无偏估计准则利用式(1)来计算平均每跳距离,然而,文献[12]中分析了基于均方误差准则计算平

均每跳距离比无偏估计准则更为合理。因此本文改进了原有平均每跳距离的计算方式,基于最小均方误差准则来构造计算平均每跳距离的数学模型,并利用蛙跳算法进行求解。

设 $Hopsiz_e$ 为锚节点 i 对应的平均每跳距离, ε 为 $Hopsiz_e$ 引起的误差, $d_{ij} = \sqrt{(px_i - px_j)^2 + (py_i - py_j)^2}$ 为锚节点 i 和锚节点 j 间实际距离, $Hopsiz_e \times h_{ij}$ 为锚节点 i 与锚节点 j 间的估计距离。合理的 $Hopsiz_e$ 应使 ε 最小,因此,基于最小均方误差准则的 $Hopsiz_e$ 计算就转化为如下最小值优化问题:

$$\text{Min } \varepsilon = \sum_{i \neq j} (d_{ij} - Hopsiz_e \times h_{ij})^2 \quad (3)$$

$$\text{s. t. } 0 \leq Hopsiz_e \leq \max(d_{ij})$$

结合蛙跳算法求解锚节点 i 对应的平均每跳距离 $Hopsiz_e$,采用如下适应度函数:

$$f(Hopsiz_e) = \sum_{i \neq j} (d_{ij} - Hopsiz_e \times h_{ij})^2; \\ Hopsiz_e \in [0, \max(d_{ij})] \quad (4)$$

基于以上分析,在利用蛙跳算法求解 $Hopsiz_e$ 时,先在解空间 $[0, \max(d_{ij})]$ 内随机生成初始种群(解集),并根据式(4)对解进行评价,随后再结合蛙跳算法的搜索策略寻找出 $Hopsiz_e$ 的最优解。结合蛙跳算法的改进 DV-Hop 定位流程如图 1、2 所示。

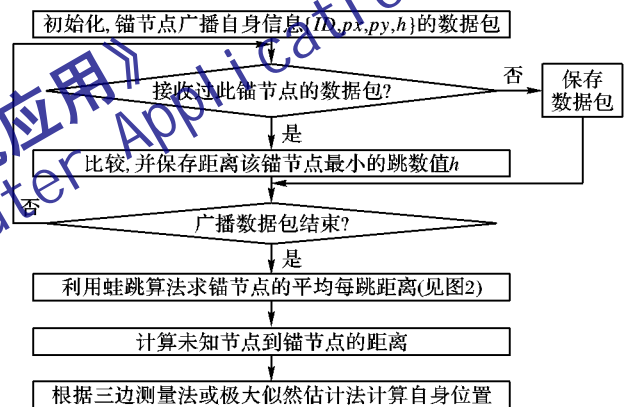


图1 基于蛙跳算法的 DV-Hop 定位流程

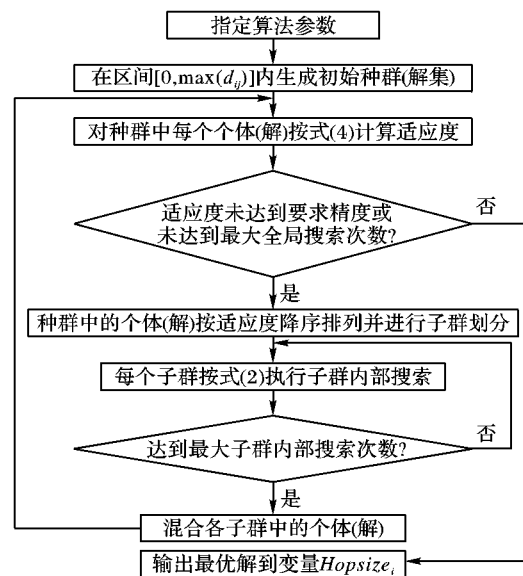


图2 蛙跳算法计算平均每跳距离流程

3 仿真实验

3.1 实验设计

本文的实验在 Matlab 7.8 平台上进行,为了检验改进算

法的性能,设节点随机布放在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 网络区域内;未知节点和锚节点的坐标随机产生;每个节点的通信半径 $R = 10\text{ m}$;蛙跳算法中种群大小 100,子群个数为 10,子群内最大搜索次数为 15,最大全局搜索次数为 200。将本文改进算法(简记为 IDV-Hop)与改进前算法(简记为 DV-Hop)进行了对比,从归一化平均定位误差和平均定位误差标准差两个指标分别来比较算法的定位精确度和稳定性。

设待定位节点数为 m ,第 i 个节点的实际坐标为 p_i ,计算出的坐标为 \hat{p}_i ,一次实验中所有待定位节点的平均定位误差为:

$$e = \left(\sum_{i=1}^m |p_i - \hat{p}_i| \right) / m \quad (5)$$

设 R 表示节点的通信半径,则基于 K 次实验的归一化平均定位误差为:

$$E = \left(\sum_{j=1}^K e_j \right) / KR \quad (6)$$

设 \bar{e} 为 K 次实验结果 e 的平均值,平均定位误差标准差为:

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^K (e_j - \bar{e})^2 \right) / K} \quad (7)$$

实验按如下两种情况进行:

- 1) 固定节点总数,分析锚节点个数与定位性能的关系;
- 2) 固定锚节点比例,分析节点总数与定位性能的关系。

以上每种实验都随机进行 200 次,再利用式(6)、(7)来进行算法定位性能评估。

3.2 实验结果及分析

3.2.1 锚节点个数与定位性能的关系

要得到精确度较高的定位结果,需要足够的锚节点数量,但是考虑到无线传感器网络成本的因素,锚节点数量往往受到一定的限制,因此实验比较了不同锚节点数量下算法的性能(节点总数为 200)。图 3 显示了锚节点所占比例在 10%~50% 时,由式(6)计算出的归一化平均定位误差变化情况;图 4 显示了锚节点比例变化时,由式(7)计算出的平均定位误差标准差变化情况。从图 3、4 可以看出:在节点总数和节点通信半径不变的情况下,两种算法的平均定位误差和标准差均都随着锚节点比例的增加而减小,并逐渐趋于平稳;另外,在相同条件下, IDV-Hop 的平均定位误差和标准差都明显小于 DV-Hop,具体地 IDV-Hop 平均定位误差比 DV-Hop 减小 9.78%~13.89%,标准差也对应减小 1.65~2.95。

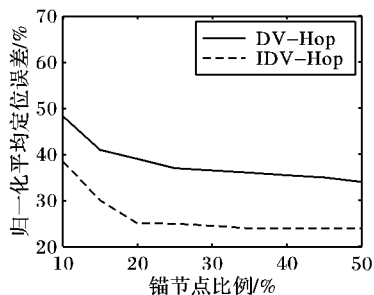


图3 锚节点比例与归一化平均定位误差

3.2.2 节点总数与定位性能的关系

实验固定锚节点比例为 10%,进行了不同节点总数下的算法性能比较。图 5 显示了节点总数从 100 到 500 时,由式(6)计算出的归一化平均定位误差变化情况;图 6 显示了节点总数变化时,由式(7)计算出的平均定位误差标准差变化

情况。从图 5、6 可以看出:在相同条件下, IDV-Hop 的平均定位误差和标准差都明显小于 DV-Hop,具体地 IDV-Hop 的平均定位误差比 DV-Hop 减小 10.33%~14.25%,标准差也对应减小 1.8~3.15。另外,两种算法的平均定位误差和标准差均都随着节点总数的增加而呈递减趋势,并在节点总数达到 300 后趋于平稳,此时该网络区域内的节点数据达到饱和,若再增加节点数量,平均定位误差不会有明显下降。

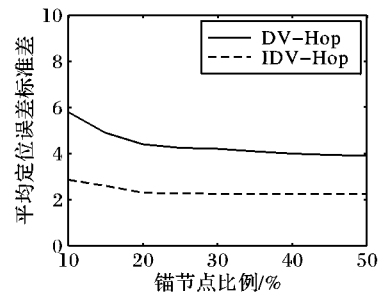


图4 锚节点比例与平均定位误差标准差

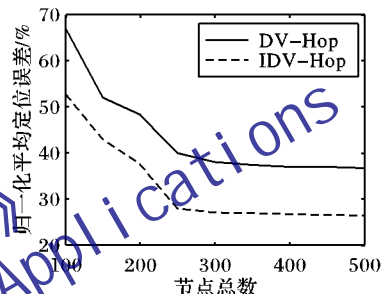


图5 节点总数与归一化平均定位误差

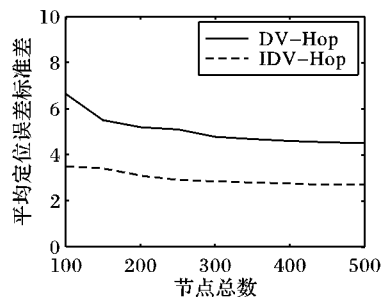


图6 节点总数与平均定位误差标准差

从以上实验不难看出, IDV-Hop 的定位精确度得到了有效提高,稳定性也优于 DV-Hop。另一方面,本文仅对平均每跳距离估算方式做了改进,实验效果已经接近文献[6~7]中使用了多种改进策略后的结果,说明本文提出的改进方案简单有效。

4 结语

本文将蛙跳算法应用于 DV-Hop 定位算法中,针对 DV-Hop 中主要误差来源(平均每跳距离)结合蛙跳算法进行了改进,在不增加硬件开销的情况下,提高了平均每跳距离的精确度,从而降低了算法的定位误差。仿真实验结果表明,本文改进有效提高了定位精确度,并具有较好的稳定性,对于无线传感器网络节点定位,是一种简单实用的解决方案。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005:146~168.
- [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.

(下转第 1002 页)

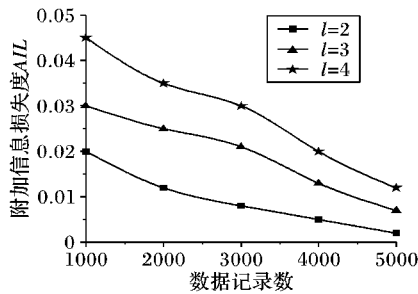


图1 附加信息损失度随 l 值和 $|T|$ 不同的变化情况

由图1知,随着 l 值和 $|T|$ 变大时,附加信息损失度变小,隐私保护程度提高。但在 d 和 $|T|$ 相同的条件下, l 的值越大,附加信息损失度也越大,这是因为数据集中各敏感属性不同取值的个数影响,使得整体的分组变差。当 l 和 d 相同时,随着 $|T|$ 的增加,各个敏感属性取值的多样化程度越来越好,使得分组的效果逐渐变好,附加信息损失度也在变小。相同条件下隐匿率变化也与附加信息损失度变化规律类似。

在随机产生的权值参数和多样性参数 $l=3$ 都固定不变,敏感属性个数 d 分别取2和3时,随着 $|T|$ 由1000增加到5000时,其实验结果如图2所示。

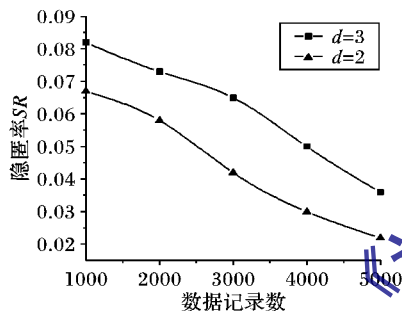


图2 隐匿率随 d 值和 $|T|$ 不同的变化情况

由图2可知,随着 d 由2变为3, $|T|$ 增大时,隐匿率变小,发布数据可用性好。但在 l 和 $|T|$ 相同的条件下,敏感属性的个数越多,隐匿率越大,这是由于复合敏感属性的维数越高,复合敏感属性每一维上都满足 l -diversity分组越困难造成的。相同条件下附加信息损失度变化也与隐匿率变化规律类似。

4 结语

隐私数据发布保护一直是安全领域研究的热点。现有的 k -匿名方法仅考虑单敏感属性数据保护,没有注意多个敏感属性、属性语义相似及属性值重要性对发布数据的影响,不适用于多敏感属性数据发布保护,若直接使用则不能达到隐私

保护的。为此,本文提出了基于语义相似和多维加权的联合敏感属性隐私保护方法,通过多维加权的联合敏感属性语义综合相似度进行反聚类,实现了联合敏感属性值和语义多样性划分,根据数据提供者应用的需要可灵活设置多敏感属性值的权值,为数据提供不同的隐私保护力度。实验结果表明,该方法可以有效解决相似攻击等多敏感属性隐私泄露问题,增强了数据发布的实用性。隐私数据发布保护问题中数据的准标识属性与多敏感属性存在的函数依赖关系对发布数据结果的影响,是下一步研究的主要工作。

参考文献:

- [1] SWEENEY L. k -Anonymity: A model for protecting privacy [J]. International Journal on Uncertainty, Fuzziness, and Knowledge-Based Systems, 2002, 10(5): 557-570.
- [2] TRAIAN T M, BINDU V. Privacy protection: p -sensitive k -anonymity property [C]// Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering. New York: ACM, 2006: 94-106.
- [3] AGGARWAL C C, YU P S. A condensation approach to privacy preserving data mining [C]// EDBT'04: the 9th International Conference on Extending Database Technology, LNCS 2992. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 183-199.
- [4] MACHANAVAJJHALA A, GEHRKE J, KEFER D. l -diversity: Privacy beyond k -anonymity [C]// ICDI 2006: Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering. Atlanta, Georgia: ACM, 2006: 24-35.
- [5] LI JINCHUI, LI TIANCHENG, VENKATASUBRAMANIAN S. l -Closeness: Privacy beyond k -anonymity and l -diversity [C]// ICDE'07, the 23rd International Conference on Data Engineering. Istanbul, Turkey: IEEE Computer Society, 2007: 106-115.
- [6] XIAO XIAOKUI, TAO YUFEI. Personalized privacy preservation [C]// SIGMOD'06: the 25th ACM SIGMOD International Conference on ACM Management of Data. Chicago, Illinois, USA: ACM, 2006: 229-240.
- [7] 王茜,曾子平. (p, a) -sensitive k -匿名隐私保护模型[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2177-2179.
- [8] 杨晓春,刘向宇,王斌,等. 支持多约束的 K -匿名化方法[J]. 软件学报, 2006, 17(5): 1222-1231.
- [9] 祁瑞丽,王可,郭学涛,等. 基于最大叶子子树优先策略的多敏感属性保护方法[J]. 燕山大学学报, 2009, 33(5): 432-437.
- [10] 杨晓春,王雅哲,王斌,等. 数据发布中面向多敏感属性的隐私保护方法[J]. 计算机学报, 2008, 32(4): 574-587.
- [11] BUDANITSKY A, GRAEME H. Evaluating WordNet based measures of semantic distance [J]. Computational Linguistics, 2006, 32(1): 13-47.
- [12] 刘平峰. 基于知识网络的电子商务智能推荐理论方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.

(上接第924页)

- [3] 史龙,王福豹,段渭军,等. 无线传感器网络 Range-Free 自身定位机制与算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(23): 127-130
- [4] NICULESCU D, NATH B. DV based positioning in Ad Hoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [5] 孙美玲. 基于遗传算法的无线传感器网络节点自身定位算法研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2009: 16-19.
- [6] 林金朝,刘海波,李国军,等. 无线传感器网络中 DV-Hop 节点定位改进算法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1272-1275.
- [7] 赵清华,刘少飞,张朝霞,等. 一种无需测距节点定位算法的分析和改进[J]. 传感技术学报, 2010, 23(1): 122-127.

- [8] EUSUFF M M, LANSEY K E. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm [J]. Water Resources Planning and Management, 2003, 129(3): 210-225.
- [9] MOHAMMAD B A, MAROOSI F A. Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 45(1/2): 199-209.
- [10] 杨祖元,徐姣,罗兵,等. 基于 SFLA-FCM 聚类的城市交通状态判别研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5): 1743-1745.
- [11] 郑仕铨,楼才义,杨小牛. 基于改进混合蛙跳算法的认知无线电协作频谱感知[J]. 物理学报, 2010, 59(5): 3611-3616.
- [12] 嵇玮玮,刘中. DV-Hop 定位算法在随机传感器网络中的应用研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(4): 970-974.