

# Research on Wireless Sensor Network Localization Algorithm Based on Mass-Spring Model

Huiyong Zhu, Yingsheng Zhang, Zhilong Shan

School of Computer, South China Normal University, Guangzhou  
Email: [75757231@qq.com](mailto:75757231@qq.com), [zhangys7981@sina.com](mailto:zhangys7981@sina.com), [zhilongshan@gmail.com](mailto:zhilongshan@gmail.com)

Received: Dec. 19<sup>th</sup>, 2013; revised: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2013; accepted: Dec. 30<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2014 Huiyong Zhu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Huiyong Zhu et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** MSRDH (Mass Spring and RSSI DV-Hop) localization algorithm based on mass-spring model is proposed in this paper. Using mass-spring model, the algorithm abstracts all nodes on the shortest path between the node and anchor node into a spring. The average coefficient of mass-spring is calculated through the establishment of the spring models between anchor nodes. Taking advantage of the average coefficient of mass-spring, the unknown nodes can compute their own localizations. Through extensive simulations, the results show that MSRDH algorithm has better performance than DV-Hop algorithm.

**Keywords:** Wireless Sensor Network (WSN); Mass-Spring Model; Dv-Hop Algorithm; RSSI

## 基于弹簧模型的无线传感器网络定位研究

朱慧勇, 张迎胜, 单志龙

华南师范大学计算机学院, 广州  
Email: [75757231@qq.com](mailto:75757231@qq.com), [zhangys7981@sina.com](mailto:zhangys7981@sina.com), [zhilongshan@gmail.com](mailto:zhilongshan@gmail.com)

收稿日期: 2013年12月19日; 修回日期: 2013年12月23日; 录用日期: 2013年12月30日

**摘要:** 本文提出了基于弹簧模型的定位算法 MSRDH (Mass Spring and RSSI DV-Hop)算法。该算法利用弹簧模型, 把节点与锚节点作为端点, 将这两个点间最短路径上的所有节点抽象成一个弹簧。通过建立锚节点之间的弹簧模型, 得到全网的平均弹簧系数, 并将平均弹簧系数应用到网络中未知节点的计算过程中。仿真结果表明, MSRDH 算法比 DV-Hop 算法有更好的性能表现。

**关键词:** 无线传感器网络(WSN); 弹簧模型; DV-Hop 算法; RSSI

### 1. 引言

WSN (Wireless Sensor Network)在目标追踪、交通监控、生态监控、从核反应堆测量辐射、探测地震活动以及轮船导航等等具有广泛的应用<sup>[1]</sup>。在这些应用中, WSN 中节点所获得的信息需要相应节点的位置信息, 否则, 这些信息就显得没有多少价值。节点自身的准确定位不仅是提供检测事件或目标位

置信息的前提, 也是提供网络拓扑自配置、提高路由效率、向部署者报告网络覆盖质量、实现网络负载均衡以及为网络提供命名空间等网络功能的基础<sup>[2]</sup>。因此有必要采取一定手段来实现无线传感器网络中节点的定位。

最简单的无线传感器网络定位是给每个节点装载全球卫星定位系统(Global Positioning System, GPS),

但不切实际。目前，定位算法主要是利用少量已知节点的位置信息来定位大量未知节点。定位算法可以分为两类，一类是基于测距的，另一类是基于非测距的。基于测距的算法主要有 TOA、TDOA、AOA、RSSI<sup>[3]</sup>等。基于非测距的定位算法主要有 DV-Hop 算法<sup>[4]</sup>，质心算法，APIT 算法，N-Hop multilateration 算法，SPA 算法<sup>[5]</sup>等等。基于非测距的算法不需要额外的硬件去获得距离信息，定位精确度不高，在成本和能耗上优于基于测距的算法。

DV-Hop 算法对锚节点数量要求少，算法简单，满足无线传感器网络部署低成本、节能高效的要求，成为了众多基于非测距定位算法中的研究热点。已有的众多 DV-Hop 改进算法主要是采用加权或者优选锚节点的方法来提高精度。本文提出的 MSR DH (Mass Spring and RSSI DV-Hop) 定位算法，将节点与锚节点间最短路径抽象成弹簧模型，然后利用弹簧模型改进了 DV-Hop 全网平均跳距和未知节点到锚节点的最小跳数的取值方法，并通过增加全网弹簧系数来提高定位精度。

本文的构成：第一部分为引言；第二部分介绍了 DV-Hop 算法以及改进算法；第三部分详细论述基于弹簧模型的定位算法 MSR DH 算法；第四部分为仿真结果及分析；第五部分对文章做了总结。

## 2. DV-Hop 算法以及改进算法

Niculescu 等人提出的 DV-Hop 算法，其定位过程依赖多跳信标节点的信息来进行节点间距离计算，最后采用最小二乘法进行位置估计。原始的 DV-Hop 定位算法可以分为三个过程为：第一过程是 WSN 中使用经典距离矢量交换协议来获得节点距锚节点的最小跳数；第二过程是每个锚节点根据与其他锚节点之间的距离和最小跳数，计算自己的平均跳距，并采用可控洪泛法向全网广播，保证未知节点仅收到一个广播值；第三过程是未知节点利用收到的广播值与至少三个的锚节点的最小跳距，来获得未知节点到锚节点距离，然后采用三边测量定位或者最小二乘法来得到自身的位置。

DV-Hop 算法主要根据平均跳距和最小跳数来估计节点间的距离，算法简单但是定位精度不高。众多的改进算法主要是采用加权或者优选锚节点的方法

来提高精度，文献[6]采用新的方式计算未知节点与锚节点的距离，提出锚节点信任度的概念，并利用加权最小二乘法计算节点坐标。文献[7]考虑使用多个锚节点估算的平均跳距离并且采用加权平均跳距代替传统算法中的平均跳距。文献[8]考虑全局及锚节点周围局部网络，改进平均每跳距离的估计算法，同时，对未知节点到锚节点之间的跳数进行修正。文献[9]提出对信标节点的平均每跳距离做出改进并对可参考信标节点数小于 3 的未知节点进行估计定位。

下面介绍四个特殊的改进算法。文献[10]利用无线信号在同种介质中传播速度的不变性，用计数器来测量锚节点间的传送时间以及锚节点与未知节点间的传送时间，并利用该时间比例来修正未知节点的估计距离。文献[11]提出锚节点通过放大或者缩小功率来改变通信半径，从而提高定位精度。文献[12]提出对 RSSI 值(RI)与跳数(Hop)进行多重回归分析，直到系数满足条件为止。文献[13]提出采用遗传算法对 DV-Hop 定位的误差进行修正，从而降低定位误差。

## 3. MSR DH 算法

DV-Hop 算法在计算平均跳距的时候，由于锚节点之间最短路径并不是一条直线，所以平均跳距并不准确，用它来估计未知节点到锚节点的距离也不准确。为了更准确的估计未知节点到锚节点的距离，提出基于弹簧模型的定位算法 MSR DH 算法。

锚节点 A 与锚节点 B 的最短路径如图 1 所示，像一根弹簧发生了伸缩形变。可以把节点 A, B 实际距离  $\hat{D}$  看成弹簧的弹性形变，把节点 A, B 估计距离  $d'$  看成弹簧伸缩的长度。弹簧模型中的胡克定律的表达式为：

$$F = k \cdot x \tag{1}$$

其中  $F$ (单位是牛)是弹性形变， $k$ (单位是牛/米)是弹簧系数。 $x$ (单位是米)是弹簧伸缩的长度。由式(1)，节点 A, B 之间的实际距离  $\hat{D}$  与估计距离  $d'$  的关系为：



Figure 1. The shortest path between anchor node A and B  
图 1. 锚节点 A 与锚节点 B 的最短路径

$$\widehat{D} = k \cdot d' \quad (2)$$

加入弹簧模型, 可以进一步反映出节点之间的位置关系, 从而使定位更准确。本文提出的算法利用锚节点之间的弹簧模型建立全网的平均弹簧系数, 并将这个系数应用到全网中进行定位。下面是该算法的详细步骤:

### 3.1. 计算全网的平均跳距

所有节点根据它的邻居节点的 RSSI 值, 计算邻居节点到它的距离  $D$ , 为了更方便的估计全网的平均跳距, 将距离划分五个等级<sup>[14]</sup>。

$$\begin{cases} \text{if}(0 < D \leq 0.2R), d = 0.2R \\ \text{if}(0.2R < D \leq 0.4R), d = 0.4R \\ \text{if}(0.4R < D \leq 0.6R), d = 0.6R \\ \text{if}(0.6R < D \leq 0.8R), d = 0.8R \\ \text{if}(0.8R < D < R), d = R \end{cases} \quad (3)$$

当所有节点都知道它的邻居节点到它的距离  $d$ , 统计五个等级的个数, 做出等级分布表 1。

其中  $P_t$  是第  $t$  等级的个数与全部等级个数的比值。于是, 全网的平均跳距  $\bar{d}$  可表示为:

$$\bar{d} = 0.2R \cdot p_1 + 0.4R \cdot p_2 + 0.6R \cdot p_3 + 0.8R \cdot p_4 + R \cdot p_5 \quad (4)$$

### 3.2. 计算全网的平均弹簧系数

锚节点  $i$  和锚节点  $j$  之间实际距离  $\widehat{D}_{ij}$  是可以通过锚节点的坐标直接求出来的, 锚节点  $i$  和锚节点  $j$  的估计距离  $d'_{ij}$ :

$$d'_{ij} = \bar{d} * \text{HopSize}_{ij} \quad (5)$$

其中  $\text{HopSize}_{ij}$  为锚节点  $i$  和锚节点  $j$  的最小跳距, 其求解方法和 DV-Hop 算法一样。

由式(2), 锚节点  $i$  和锚节点  $j$  之间的弹簧系数  $k_{ij}$  为:

$$k_{ij} = \widehat{D}_{ij} / d'_{ij} \quad (6)$$

锚节点  $i$  和其他锚节点的弹簧系数也可以通过式

**Table 1. The level distribution of distance  $d$**   
**表 1. 距离  $d$  等级分布**

$d$	0.2R	0.4R	0.6R	0.8R	R
概率	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$

(6) 求出, 通过求平均值可以计算出锚节点  $i$  的平均弹簧系数:

$$k_i = \sum_{j=1}^{m-1} \widehat{D}_{ij} / d'_{ij} / (m-1) \quad (7)$$

其中  $m$  为锚节点的个数。

根据每个锚节点的平均弹簧系数, 取平均值后可以得出全网的平均弹簧系数  $K$ :

$$K = \sum_{i=1}^m k_i / m \quad (8)$$

### 3.3. 计算未知节点到锚节点的最小跳数

在 DV-Hop 算法中, 邻居节点收到消息后, 跳数增加一跳并记录到一张表中, 但该方法只是粗略地计算未知节点与锚节点的最小跳数并且不够细化, 因此会引起误差。本文考虑在邻居节点收到消息后, 跳数增加细化为  $\text{HopSize}_i + d/R$ , 并将该跳数记录到一张表中, 最后得到的未知节点到锚节点  $i$  的最小跳数能够更精确地反应出未知节点与锚节点的跳数关系。

### 3.4. 计算未知节点的位置坐标

由式(2), 未知节点到锚节点  $i$  的估计距离  $\widetilde{d}_i$  可表示为:

$$\widetilde{d}_i = K * \bar{d} * \text{HopSize}_i \quad (9)$$

当未知节点获得与三个以上锚节点的估计距离  $\widetilde{d}$  后, 通过三边定位或者最小二乘法来计算自己的位置。

## 4. 仿真结果及分析

本文使用 MATLAB 对 MSRDH 算法进行仿真实验。仿真环境为 100 m × 100 m 的正方形区域, 随机部署 100 个传感器节点, 节点具有相同的通信半径  $R = 20$  m。为了抑制随机分布产生的误差, 所得仿真结果均为相同参数下仿真 100 次的平均值。

定位误差 Error 为未知节点估计位置坐标与其真实位置坐标之间的距离与通信半径的比值:

$$\text{Error} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} \sqrt{(x'_i - x_i)^2 + (y'_i - y_i)^2}}{(n-m)R} \quad (10)$$

其中  $(x'_i, y'_i)$  和  $(x_i, y_i)$  分别为第  $i$  个未知节点的估计位

置坐标和真实未知坐标,  $n$  为节点总数。

### 4.1. 锚节点个数对算法性能的影响

图 2 为锚节点数目对 DV-HOP 算法、MSRDH 算法定位精度的影响。随着锚节点个数的增加, MSRDH 算法和 DV-Hop 算法的定位精度都随之提高。当锚节点个数达到 15 时, 定位精度的提高基本保持稳定。MSRDH 算法的定位精度优于 DV-Hop 算法, 当锚节点个数为 25 时, MSRDH 算法按六个等级的定位精度比 DV-Hop 算法提高了 15%。按六个等级 MSRDH 算法使全网的平均跳距更精确一点, 并且最小跳数更细化了, 因此 MSRDH 算法比 DV-Hop 算法要精确。

### 4.2. 通信半径对算法性能的影响

图 3 为节点通信半径对 MSRDH 算法定位精度的

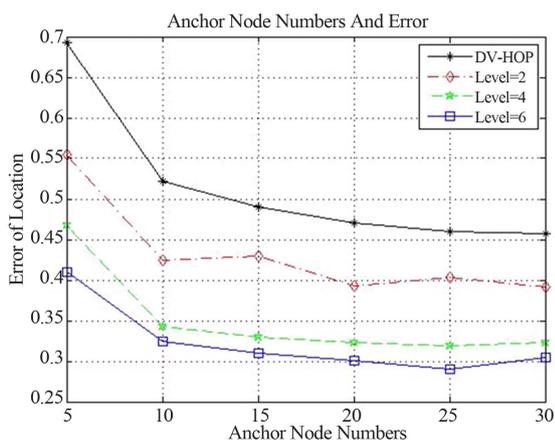


Figure 2. Relationship between the different number of anchor node and the localization error  
图 2. 不同锚节点数目时定位误差比较

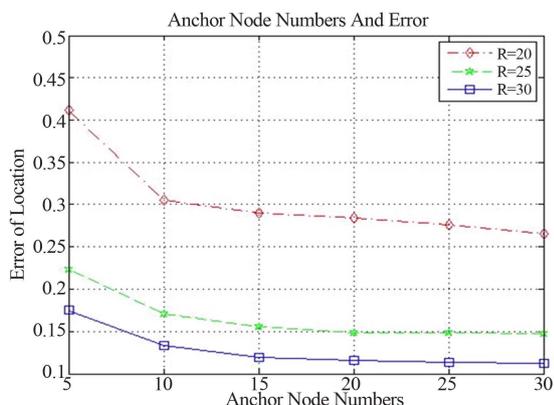


Figure 3. Relationship between the communication range and the localization error  
图 3. 通信半径变化时定位误差比较

影响。节点通信半径越大, MSRDH 算法的定位精度也就越高。当通信半径为 25 m 时, 算法的定位精度提高的幅度最大。当锚节点个数为 10 以后, 定位精度的提高幅度趋于渐缓。当锚节点个数为 15 时, MSRDH 算法通信半径 20 m 时的定位误差为 29%, 而 MSRDH 算法通信半径 30 m 时的定位误差为 12%。定位误差 12% 说明 MSRDH 算法是非常可行的。通信半径增加, 网络节点的连通度增加, 不管计算全网的平均跳距还是最小跳数, 都更精确, 定位精度也就提高了。

### 4.3. 节点数量变化对算法性能的影响

当传感器网络中节点总数增加时, MSRDH 算法的定位精度也随之提高, 特别是节点总数由 100 个变为 150 个时, 算法的定位精度得到大幅度的提高, 如图 4 所示。当锚节点个数为 15 时, MSRDH 算法的定位精度提高幅度逐渐变小。当节点总数增加时, 节点的连通度变大, 有利于节点定位。

## 5. 总结

WSN 节点定位是 WSN 研究热点之一, 本文提出的 MSRDH 算法通过引入弹簧模型, 利用全网弹簧系数来对未知节点进行定位。实验结果表明, MSRDH 算法比 DV-Hop 算法的定位误差最高能够提高 12%, 表明该算法有十足的可取性, 并且也能应用到实际环境中。该算法由于采用 RSSI 模型, 从某种程度来说, 也限制了该算法的应用。后续研究的重点是把该算法应用到未知环境中。

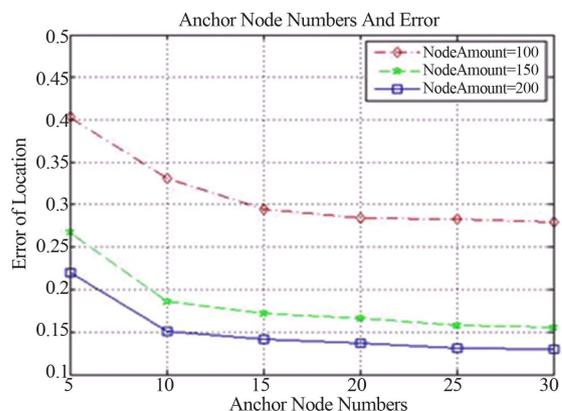


Figure 4. Relationship between the different number of node and the localization error  
图 4. 节点数量变化时定位误差比较

## 基金项目

国家自然科学基金(No.61102065), 广州市科技计划项目(No.2012J4100119), 广州市珠江科技新星专项(No.2011J2200083), 广东省教育部产学研结合项目(No.2011B090400520)资助, 广东省自然科学基金项目(No. S2012040010974)。

## 参考文献 (References)

- [1] Wang, J., Ghosh, R.K. and Das, S.K. (2010) A survey on sensor localization. *Journal of Control Theory and Applications*, **8**, 2-11.
- [2] 王福豹, 史龙, 任丰原 (2005) 无线传感器网络中的自身定位系统和算法. *软件学报*, **5**, 857-868.
- [3] Cheng, L., Wu, C., Zhang, Y., et al. (2012) A survey of localization in wireless sensor network. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **2012**, Article ID: 962523.
- [4] Niculescu, D. and Nath, B. (2003) DV based positioning in ad hoc networks. *Journal of Telecommunication Systems*, **22**, 267-280.
- [5] 彭宇, 王丹 (2011) 无线传感器网络定位技术综述. *电子测量与仪器学报*, **5**, 389-399.
- [6] 朱敏, 刘昊霖, 张志宏, 等 (2012) 一种基于 DV-HOP 改进的无线传感器网络定位算法. *四川大学学报: 工程科学版*, **1**, 93-98.
- [7] 王新生, 赵衍静, 李海涛 (2011) 基于 DV-Hop 定位算法的改进研究. *计算机科学*, **2**, 76-78.
- [8] 黄德楷, 游天童 (2012) 基于跳数估计的 DV-Hop 改进算法. *计算机与现代化*, **12**, 4-7.
- [9] 李辉, 熊盛武, 刘毅, 等 (2011) 无线传感器网络 DV-HOP 定位算法的改进. *传感技术学报*, **12**, 1781-1785.
- [10] 赵灵锴, 洪志全 (2011) 基于无线传感器网络的 DV-Hop 定位算法的改进. *计算机应用*, **5**, 1189-1192.
- [11] Shan, Z.L. and Huang, G.X. (2013) A localization method for WSN based on variable transmission power. *Advanced Materials Research*, **694**, 1055-1059.
- [12] 胡燕, 单志龙 (2011) 基于多重回归分析的 DV-Hop 定位算法研究. *计算机应用研究*, **10**, 3884-3886.
- [13] 张丽虹 (2012) 改进的 DV-Hop 无线传感网络节点定位算法. *微电子学与计算机*, **9**, 171-174.
- [14] Li, X., Shi, H. and Shang, Y. (2004) A partial-range-aware localization algorithm for ad-hoc wireless sensor networks. *29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, Tampa, 16-18 November 2004, 77-83.