

# 改进 DV-Hop 定位算法在动物监测中的应用

林惠强<sup>1</sup>, 周佩娇<sup>2</sup>, 刘才兴<sup>1</sup>, 徐东风<sup>1\*</sup>

(1. 华南农业大学信息学院, 广州 510640; 2. 南沙区畜牧服务中心, 广州 511458)

**摘要:** 为了避免无线传感器网络中由于节点在测距精度、时间同步、硬件与功耗等方面代价较高造成整个网络死亡, 同时提高定位精度, 该文基于饲养场的实际环境, 对无线传感器网络中典型的 DV-Hop 定位算法进行简化和优化改进, 通过仿真和实际节点试验对定位误差等性能指标进行评价。研究表明: 改进算法比原始三边测量算法的定位误差平均减少 3.17%, 能够监测到实际环境中“行走动物”节点的运动轨迹, 且定位平均误差为 0.33 m。改进算法不仅不需要 GPS 等硬件辅助, 而且减少了计算开销, 节省能耗, 提高了定位精度, 可以有效应用于实际环境。

**关键字:** 算法, 无线传感器网络, 动物, 监测, 定位算法, DV-Hop

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.09.034

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-9-0192-05

林惠强, 周佩娇, 刘才兴, 等. 改进 DV-Hop 定位算法在动物监测中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 192-196.  
Lin Huiqiang, Zhou Peijiao, Liu Caixing, et al. Implementation of improved DV-Hop localization algorithm for animal survey[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 192-196. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

近年来, 无线传感器网络以其广阔的应用前景而引起学术界与工业界广泛的关注和深入研究<sup>[1]</sup>。无线传感器网络技术是中国中长期发展规划中的重点发展方向之一, 作为一种新型无线网络, 正成为国际上近年来的研究热点<sup>[2]</sup>。其中畜牧业作为无线传感器网络应用的重要领域, 目前还没有得到应有的重视<sup>[3]</sup>。能否对饲养对象的实时健康状况进行监测, 及在疫情、疾病或发情等特殊情况下及时采取相应措施, 是个挑战的事情<sup>[4]</sup>。研究的瓶颈之一是如何对饲养动物进行定位监测, 如何确定无线传感器网络中传感器节点的位置信息<sup>[5]</sup>。

虽然目前 GPS 已经成为应用最为广泛的定位系统, 但受自身价格、功耗、适用范围以及体积等因素的制约, 使得其无法应用于大规模的无线传感器网络<sup>[6]</sup>。然而通过比较已有的 Centroid<sup>[7]</sup>、MDS<sup>[8]</sup>、APII<sup>[9]</sup>、DV-Hop<sup>[10]</sup> 等定位算法, 本研究提出基于非测距 (rang-free) 的典型定位算法 DV-Hop 算法结合实际场景进行简化和优化的方法对动物进行定位检测, 该定位算法不仅更能适应无线传感器网络, 而且避免了 RSSI、TOA、TDOA、AOA 等测距技术在测距精度、时间同步、硬件与功耗等方面的高代价<sup>[7]</sup>。

DV-Hop 算法获得距离的方法是通过网络中拓扑结构信息的计算而不是通过无线电波信号的测量, 不受节

点射程的约束。原始的 DV-Hop 算法由 3 个阶段组成<sup>[10]</sup>。开始阶段, 所有的“锚”节点向网络发出包括其位置、跳数 (初始值为 0) 的信息包。其他节点收到这样的信息包, 则将跳数加 1, 再进行转发。最后所有未知节点都获得每个锚节点的位置信息以及该节点到锚节点的跳数。锚节点根据收到的其他锚节点位置信息和相互间跳数, 计算网络内平均每跳距离, 并将该信息向网络广播。未知节点计算其与锚节点的跳数乘以每跳平均距离, 得到该节点到锚节点的估算距离。根据欧几里德距离公式, 可以得到一个方程组, 未知数是未知节点的坐标。以上可发现 DV-Hop 算法最大的不足是通信开销较大且定位精度有限<sup>[11-12]</sup>。为此, 基于饲养场的实际情况, 将网络中的相关运算集中到 Sink 节点, 分别从“基于等腰三角形计算”和“独立确定未知节点纵、横坐标”对 DV-Hop 定位算法进行改进和简化, 从而减少计算开销, 避免网络中的节点能耗过大而死亡, 且提高定位精度, 通过仿真试验对定位误差进行分析, 并在实际节点中测试验证和讨论。

## 1 基于动物行为跟踪的 DV-Hop 定位算法改进

### 1.1 基于 DV-Hop 定位算法的节点部署

传感器节点部署的策略很大程度上决定着网络感知质量, 减少成本和使能耗最小, 最终延长节点的寿命<sup>[13]</sup>。对于饲养场, 主要监控的参数是动物的体温、脉搏、运动频率等, 因此在每头动物的身上安装集成的传感器节点。由于饲养场不是人无法接近的环境, 可以根据饲养场的布局, 人工部署无线传感器节点。为了能够实现比较精确的定位, 在饲养圈的四周布置“锚”节点<sup>[14]</sup>。为了对动物进行监测, 需要对动物进行定位, 甚至行为跟踪。鉴于 DV-hop 算法依赖于无线网络的拓扑结构, 要求节点分布较为均匀与密集, 因此适应于饲养场的情景。

收稿日期: 2008-06-12 修订日期: 2009-05-12

基金项目: 华南农业大学校长基金 (2008K031); 国家 863 项目 (2006AA10Z246)

作者简介: 林惠强 (1981-), 男, 广东澄海人, 主要研究方向为无线传感器网络、信息处理技术。广州 华南农业大学信息学院, 510640, Email: jarod.lin@163.com

\*通信作者: 徐东风 (1963-), 男, 山西洪洞人, 副教授。广州 华南农业大学信息学院, 510640, Email: xdf123@scau.edu.cn

## 1.2 基于动物行为跟踪的 DV-Hop 定位算法改进策略

### 1.2.1 基于等腰三角形的计算

因为饲养场的锚节点部署可以规范化，可以将 3 个锚节点设置成等腰三角形，未知节点处于等腰三角形中，如图 1 所示。假设锚节点 1、2、3 的坐标分别为  $(X_1, Y_1)$ 、 $(X_2, Y_2)$ 、 $(X_3, Y_3)$ ，所求节点的坐标为  $(X_{node}, Y_{node})$ ， $L_1$  为未知节点到锚节点 1 的距离； $L_2$  为未知节点到锚节点 2 的距离， $L_3$  为未知节点到锚节点 3 的距离， $L$  为锚节点 1、2 之间的距离， $H$  为锚节点 1 到锚节点 2 的跳数， $h_1$  是未知节点到锚节点 1 的跳数， $h_2$  是未知节点到锚节点 2 的跳数。根据跳数公式(网络跳数修正值

$$C = \frac{\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}}{H} = \frac{L}{H} \text{ 可得}$$

$$\begin{cases} L_1 = C \times h_1 \\ L_2 = C \times h_2 \end{cases} \quad (1)$$

由余弦定理得  $\cos A = \frac{L_1^2 + L^2 - L_2^2}{2 \times L_1 \times L}$  (2)

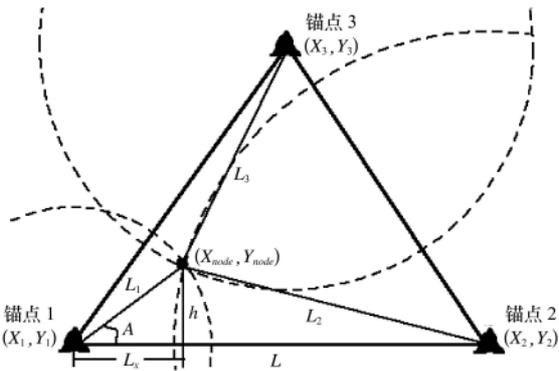


图 1 改进 DV-Hop 算法示意

Fig.1 Illustrate of the improved DV-Hop algorithm

设  $h$  为未知节点到三角形底边的高度，则

$$\sin A = \frac{h}{L_1} \quad (3)$$

由式 (2)、(3) 得

$$h = L_1 \times \sin[\arccos(\frac{L_1^2 + L^2 - L_2^2}{2 \times L_1 \times L})] \quad (4)$$

则未知节点的纵坐标为

$$Y_{node} = h + Y_1 \quad (5)$$

根据“最大似然估计”进行定位计算，则未知节点处于以锚节点 3 为圆心，半径为  $L_3$  的圆上一点。根据圆方程和式 (5) 得

$$X_{node} = \sqrt{L_3^2 - (Y_{node} - Y_3)^2} + X_3 \quad (6)$$

由对称性可知， $X_{node}$  有另一解为

$$X'_{node} = X_3 - (X_{node} - X_3) \quad (7)$$

则未知节点得坐标为

$$\begin{cases} (X_{node}, Y_{node}) & \text{当 } L_1 < L_2 \\ (X'_{node}, Y_{node}) & \text{当 } L_1 > L_2 \end{cases} \quad (8)$$

基于等腰三角形的计算量大大减少，但是不难推导出定位平均误差及波动性较大，虽然  $Y_{node}$  的值较为准确，但  $X_{node}$  坐标的计算方式与节点实际位置有较大的误差。主要原因是通过计算  $Y_{node}$  然后推出  $X_{node}$ ，然而计算  $Y_{node}$  时已发生误差，在此基础上， $X_{node}$  误差有可能增大。因此，若能分别单独计算横坐标和纵坐标，使其计算结果互不相关，则能有效减少误差。

### 1.2.2 独立确定纵、横坐标的计算

如图 1 所示，若求得图中  $L_x$  长度，则能较准确地求出未知节点的横坐标。线段定比分点坐标

$$\begin{cases} X = \frac{X_1 + \lambda \times X_2}{1 + \lambda} \\ Y = \frac{Y_1 + \lambda \times Y_2}{1 + \lambda} \end{cases} \quad (9)$$

其中  $\lambda$  为  $X_{node}$  截线段  $X_1X_2$  所成的比，则

$$\lambda = \frac{L_x}{L - L_x} \quad (10)$$

由式 (2) 可得

$$L_x = \frac{L_1^2 + L^2 - L_2^2}{2 \times L} \quad (11)$$

代入式 (9) 可得

$$X_{node} = X_1 + (X_2 - X_1) \frac{L_x}{L} \quad (12)$$

由勾股定理有

$$Y_{node} = \sqrt{L_1^2 - L_x^2} + Y_1 \quad (13)$$

则可得未知节点的坐标为

$$\begin{cases} X_{node} = X_1 + (X_2 - X_1) \frac{L_x}{L} \\ Y_{node} = \sqrt{L_1^2 - L_x^2} + Y_1 \end{cases} \quad (14)$$

因此，未知节点坐标  $(X_{node}, Y_{node})$  可通过锚节点 1、2 进行简化计算。同时基于多跳的路由策略，其覆盖范围为以锚节点 1 到锚节点 2 所构成的线段为底边的矩形区域。这样，可把节点部署进行相应的改进和优化，如图 2 所示。

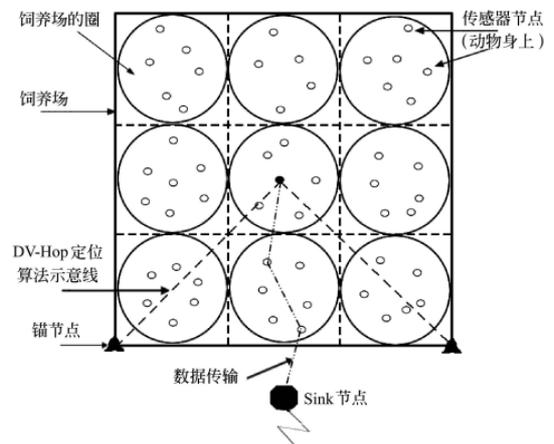


图 2 改进后的节点部署

Fig.2 Deploy of node after improved

## 2 仿真试验及结果分析

### 2.1 仿真试验的设计和实现

根据以上改进后的定位算法，结合实际情况的参数设置，基于 JDK5.0 平台，对 DV-Hop 改进定位算法进行设计和实现，主要设计和实现的类有：类 Jframe 和 WSNDisplay 为边界类，显示结果和输入参数；实现接口 Paint 和 Comm 分别是画图与与真实节点的链接；类 Node 派生出 Xnode 和 AnchorNode，分布表示未知节点和“锚”节点；类 Vector 用来存储节点的具体对象及相关结果。

系统仿真坐标系范围为 $[X \in (0,760), Y \in (0,540)]$ (单位为 m)。仿真过程中，随机生成  $n$  个节点，节点坐标随机产生，且单位面积内的节点数服从泊松分布。例如随机生成 100 个节点，节点射频距离预设 30 m，则计算得每跳平均距离的修正值为 28.16 m。

### 2.2 结果分析

定位算法有两个重要的衡量指标：定位误差和定位误差方差<sup>[15]</sup>。在射频距离为 25 m 的情况下，随机生成 20 到 160 个节点，观察其误差距离变化，如图 3、4 所示。

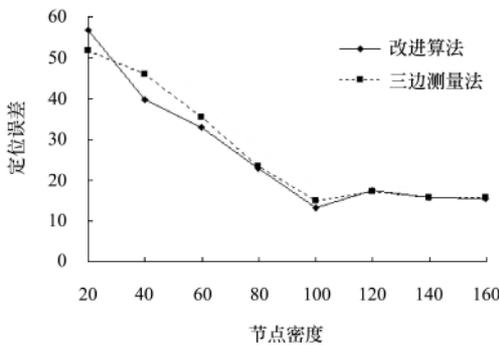


图 3 定位误差与节点密度

Fig.3 Location errors and density of nodes

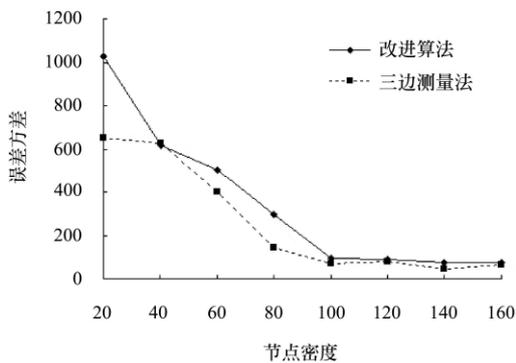


图 4 定位误差方差与节点密度

Fig.4 Variance of location errors and density of nodes

在图 3 中，改进算法的定位平均误差随节点密度增大而减少，在网络密度高于 100 的情况下平均误差会稳定在射频距离所对应定位误差范围内，显示该区域内 100 个节点的密度可满足定位要求，再增加节点密度则会出现抖动，表明在节点密度到达 100 后射频距离决定了定位精度。图 4 表明改进算法在不同密度情况下保留了三边测量算法的定位特点，并且保持了较好的鲁棒性，同

时简化了定位结构、通讯开销等。

为了研究射频距离与定位误差的关系，在节点密度为 100 的情况下，从射频距离 25 m 开始，不断递增，为了使得结果更具一般性，每种射频距离随机仿真 10 次并计算平均定位误差。

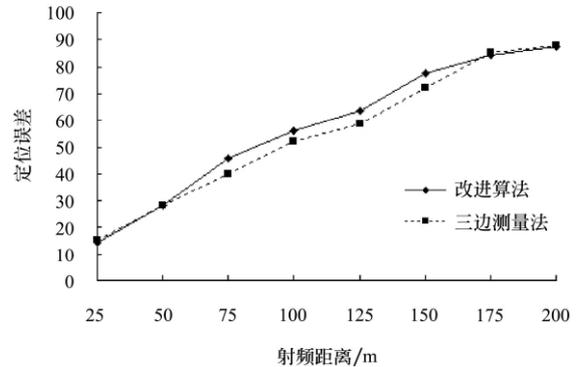


图 5 不同射频距离的定位误差对比

Fig.5 Contrast of location error based on difference distances of radio frequency

如图 5 所示，射频距离从 25~200 m 变化的情况下，由于节点之间信号的相互干扰，定位误差随着射频距离的增加而增大，同时，改进算法与原始三边测量算法相比，定位误差平均减少 3.17%。仿真结果表明，改进算法仍然保留了 DV-Hop 的定位特点，优化后仍能保证有效的定位结果，且改进算法由于减少了锚节点及相关的计算，降低定位成本、通信开销，能有效延长了网络的可用时间。

## 3 改进 DV-Hop 算法在实际节点中的测试

### 3.1 改进 DV-Hop 算法在实际节点中的设计和实现

实际节点采用的是宁波中科集成电路设计中心提供的 GAINS3-433M 无线传感器网络开发套件，GAINS3 节点的微控制器选用了 ATMEL 公司的低功耗微控制器 ATmega128L，速率为 4-8MIPS，它有 128 kB 的系统内可编程 Flash、4 kB 的 EEPROM、4 kB 的 SRAM，还有 8 通道 10 位 ADC，6 种软控省电模式，采用了低功耗射频收发器 CC1000。GAINS3 节点上的所有程序都是基于 C 语言编写的。GAINS3 开发套件中提供了节点运行所必需的操作系统，通过调用系统提供的 API 函数和基于模式设计的编程思想实现定位算法，不仅提高编程效率，而且实现代码重用。

其中，节点发送的包格式定义如下

```
typedef struct{
    uint8_t length;           // 包总长度
    uint8_t type;            // 包类型
    uint8_t toAddr;         // 目的地址
    uint8_t fromAddr;       // 源地址
    uint8_t group;          // 群号
    uint8_t h1;             // 各跳数信息
    uint8_t h2;
    uint8_t h3;
```

```

uint8_t c; //跳数修正值
int8_t data[MAX_PKT_LEN -
MAC_HEADER_LEN]; // MAC包数据部分
int16_t crc; // CRC16
} OSMACMsg;
    基站、锚节点、节点数据帧结构定义如下
typedef struct{
uint8_t length; // 包总长度
uint8_t type; // 包类型
uint8_t toAddr; // 目的地址
uint8_t fromAddr; // 源地址
uint8_t group; // 群号
uint8_t h1; //到锚节点1跳数
uint8_t h2; //到锚节点2跳数
int8_t data[MAX_PKT_LEN -
MAC_HEADER_LEN]; // MAC包数据部分
int16_t crc; // CRC16
} OSMACMsg;

```

系统设计为如下几层：物理层、MAC 层、应用层。物理层主要是实现信号的收发、Led 控制等；Mac 层主要负责了数据帧的初始化，收发与部分差错控制等功能，修改其中的相应函数内容实现节点定位所需要的计算等；应用层主要面向用户，接收和激活事件等。

在实际运行过程中，锚节点定时广播自身坐标信息，基站接收和处理锚节点和未知节点的信息，计算每跳平均距离，将计算结果封装到数据包中并广播给所有节点，同时，根据未知节点的信息，计算未知节点的坐标并进行后台的定位计算。未知节点接收和广播所接收的信息，定时将监测的数据（例如动物的体温、血压等）通过多跳方式发送到基站，并从基站得到坐标信息，流程如图 6 所示。

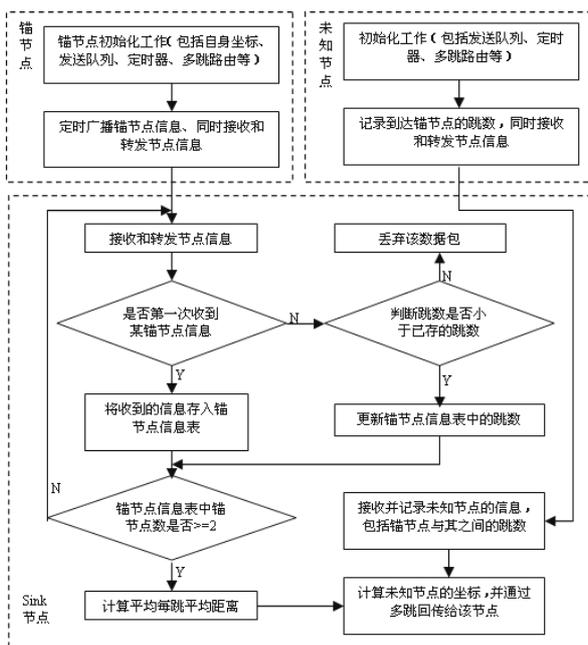


图 6 改进 DV-Hop 在实际节点中的运行流程图

Fig.6 Flow chart of reality nodes based on improved DV-Hop

### 3.2 实际节点定位结果分析

将实际节点根据图 2 进行模拟部署，并通过 Com 口将 Sink 节点链接到计算机进行数据的收集和统计。利用一个移动的节点模拟行走的动物，整个网络基于改进的 DV-Hop 算法进行定位。结果发现：节点实际坐标与定位坐标有一定关联性，若节点之间距离较近，由于移动节点的移动距离远远小于射频距离，跳数信息容易出现误差，导致定位精度降低。为了能够在较小的试验环境中实现 DV-Hop 算法，需要对节点的发射功率进行严格的控制，确保多数节点能够收到的跳数大于 1。对试验结果进行分析，系统能够监测到虚拟动物行走的节点运动轨迹，实际位置和测试位置的平均误差为 0.33 m，如图 7 所示。其中误差主要来自节点的能量、发送和接收信息的能力变化，导致某些节点无法获得正确的跳数信息，从而使得未知节点在网络中某区域的跳数出现偏差。

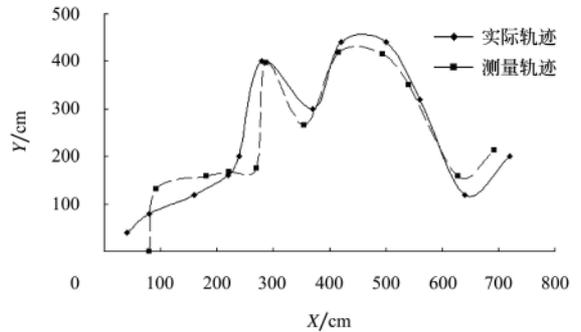


图 7 移动轨迹对比

Fig.7 Contrast of the moving contrail

## 4 结论

1) 基于饲养场的实际情况，结合 DV-Hop 定位算法进行节点部署，将网络中的相关运算集中到 Sink 节点，并基于等腰三角形的简化定位计算，减少计算的开销，节省了网络中节点的能耗，延长网络的生存周期。

2) 通过独立确定未知节点纵、横坐标的方法进行改进定位计算，在减少计算开销的同时，提高定位精度，通过仿真对改进算法与原始三边测量算法相比，定位误差平均减少 3.17%，且保持了较好的鲁棒性。

3) 利用 GAINS3 节点将改进算法在实际环境中测验，系统不需要借助 GPS 等硬件辅助的基础上能够监测到“虚拟动物行走的节点”运动轨迹，有效应用于实际环境，实际位置和测试位置的平均误差为 0.33 m。

4) 实际应用中，若节点之间距离较近，移动节点的移动距离远远小于射频距离，跳数信息容易出现误差，导致定位精度降低。因此需要对节点的发射功率进行严格的控制，确保多数节点之间的跳数大于 1，且硬件节点体积较大，还有待进一步改进。

### [参考文献]

[1] Ren F Y, Huang H N, Lin C. Wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2003, 14(2): 1148—1157.  
 [2] 李建中, 高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研

- 究与发展, 2008, 45(1): 1-15.
- Li Jianzhong, Gao Hong. Survey on sensor network research[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 1-15. (in Chinese with English abstract)
- [3] 乔晓军, 张馨, 王成, 等. 无线传感器网络在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 232-234.  
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 232-234. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘仁陆, 周佩娇, 朱事康. H5N1亚型禽流感病毒NS1基因的克隆及表达[J]. 中国兽医科技, 2005, 35(12): 942-945.  
Liu Renlu, Zhou Peijiao, Zhu Shikang, et al. Cloning and expression of NS1 gene of H5N1 avian influenza virus[J]. Chinese Journal of Veterinary Science and Technology, 2005, 35(12): 942-945. (in Chinese with English abstract)
- [5] Chong C Y, Kumar S P. Sensor networks: Evolutions, opportunities, and challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(8): 1247-1256.
- [6] Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing[J]. Computer, 2001, 34(8): 57-66.
- [7] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [8] Shang Y, Rumi W, Zhang Y, et al. Localization from connectivity in sensor networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(11): 961-974.
- [9] He T, Huang C D, Blum B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]//Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, USA: Association for Computing Machinery, 2003: 81-95.
- [10] Niculescu D, Nath B. DV-based positioning in ad hoc network[J]. Telecommunication Systems, 2003, 22 (1): 267-280.
- [11] 王建刚, 王福豹, 段渭军, 等. 无线传感器网络分布式节点定位算法研究[J]. 计算机应用, 2005, 11(4): 1001-9081.  
Wang Jiangang, Wang Fubao, Duan Weijun, et al. Distributed node localization algorithms of wireless sensor networks[J]. Computer Applications, 2005, 11(4): 1001-9081. (in Chinese with English abstract)
- [12] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [13] Tian H E, Huang C D, Br Ian M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]//Proceedings of the 9th annual international conference on mobile computing and networking (MobiCom). SAN D. California: ACM Press, 2003: 81-95.
- [14] 林惠强, 周佩娇, 刘才兴. 基于WSN的动物监测平台的应用研究[J]. 农机化研究, 2009, 31(1): 193-195.  
Lin Huiqiang, Zhou Peijiao, Liu Caixing. Application and Research of animal survey system based on Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(1): 193-195. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘克中, 王殊, 胡富平, 等. 无线传感器网络中一种改进DV-Hop节点定位方法[J]. 信息与控制, 2006, 35(6): 787-792.  
Liu Kezhong, Wang Shu, Hu Fuping, et al. An Improved dv-hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Information and Control, 2006, 35(6): 787-792. (in Chinese with English abstract)

## Implementation of improved DV-Hop localization algorithm for animal survey

Lin Huiqiang<sup>1</sup>, Zhou Peijiao<sup>2</sup>, Liu Caixing<sup>1</sup>, Xu Dongfeng<sup>1\*</sup>

(1. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China;

2. Servicing Department of Pasturage, Nansha, Guangzhou 511458, China)

**Abstract:** In order to avoid the whole wireless sensor networks (WSN) dead because of the high price of the measure precision, time-synchronization, hardware and power, so as to improve the precision of localization, an improved DV-Hop localization algorithm, which is simpler and better for the typical localization algorithm, is proposed based on the reality environment of breeding field. And its capability of localization error was evaluated by simulate and experiment. The results show that, the localization error of the improved algorithm is 3.17% less than that of the formerly algorithm, can measure the track of the moving sensor nodes as animals, and its average error is 0.33 m between reality position and the tested position. The improved algorithm is not only without any assistance of hardware such as GPS, but also cuts down the price of calculation, economizes the energy of sensor nodes, improves the precision of localization, applies available in the reality environment.

**Key words:** algorithm, wireless sensor networks, animal, survey, localization algorithm, DV-Hop