

# 一种基于多重共线性的三维 DV-Hop 定位算法

严筱永<sup>1,2</sup> 钱焕延<sup>1</sup> 高德民<sup>1</sup> 于继明<sup>2</sup>

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>1</sup> (金陵科技学院信息技术学院 南京 211169)<sup>2</sup>

**摘要** 针对多边测距法的不足,考虑定位算法所应用的现实环境,在典型 DV-Hop 算法的基础上,提出了一种改进的三维定位算法。该算法除了将 DV-Hop 定位算法从二维空间移植到三维空间以外,着重考虑了信标节点拓扑关系和跳数对定位精度的影响,提出一种基于多重共线性的三维 DV-Hop 定位算法 MCB3D DV-Hop。该算法通过设置跳数阈值与多重共线性阈值两个阈值参数,挑选网络中好的信标节点组进行位置估计。理论分析和仿真实验结果表明了算法有较高的定位精度和稳定性。

**关键词** 多重共线性,三维定位,DV-Hop

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Multicollinearity-based 3D DV-Hop Localization Algorithm

YAN Xiao-yong<sup>1,2</sup> QIAN Huan-yan<sup>1</sup> GAO De-min<sup>1</sup> YU Ji-min<sup>2</sup>

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>1</sup>

(College of Information Technology, Jingling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)<sup>2</sup>

**Abstract** To overcome the disadvantage of multilateral ranging method, consider the location algorithm applied realistic environment, based on the characteristics of DV-Hop, an improved three-dimensional localization algorithm was proposed. The algorithm not only transplants DV-Hop localization algorithm from two dimensions to three-dimensional space outside, also taking into account the algorithm beacon node topology and hops on the localization accuracy, and a Multicollinearity-Based 3D DV-Hop Algorithm (MCB3D DV-Hop) was proposed. The algorithm sets two threshold parameters of hop and multicollinearity, and selects the good beacon node teams to realize the position estimate. Theoretical analysis and simulations results show that our proposed method works well.

**Keywords** Multicollinearity, Three dimensional localization, DV-Hop

## 1 引言

无线传感器网络综合了多项高新技术,由部署在监测区域内相互协作的大量廉价微型传感器节点组成。它们通过感知、采集、对信息进行处理,部署监测区域内环境或监测对象的信息,最后通过随机自组织无线通信网络以多跳中继的方式将所感知的信息汇聚到信息中心<sup>[1]</sup>。节点定位技术是传感器网络的关键技术之一,在大多数的应用中,缺乏位置信息的数据通常无法使用甚至没有意义<sup>[2]</sup>。

目前,国内外已开发了许多算法用于传感器网络的节点定位,这些算法一般可以分为基于测距技术的定位和无需测距技术的定位(Range-Based versus Range-Free)<sup>[3]</sup>。基于测距的定位算法需要测量相邻节点间的实际距离或方位来计算未知节点的位置,使用此类算法能够获得比较精确的距离,但对节点的硬件要求较高,消耗的能量相对较多,且容易受温度、障碍物等环境因素的影响,给具体应用带来了困难。无需测距的定位算法无需测量节点间的实际距离或方位,而是依

靠网络连通性等信息进行定位,这类算法无需额外的硬件支持,通信开销小,虽然获得的定位精度较低,但对于传感器网络的粗精度定位已经足够。因此与距离无关的定位技术越来越受到研究者的关注。

DV-Hop 算法是一种典型的无需测距技术的定位算法,它具有较好的分布性和可扩展性,它是利用距离矢量路由和 GPS 定位的思想提出的一系列分布式定位方法之一<sup>[3,4]</sup>。DV-Hop 算法的定位精度主要依靠估计的平均每跳距离的精确度,这与节点之间的实际距离相比较存在一定的误差,并且网络的拓扑结构也对定位的精度产生一定的影响,因此 DV-Hop 算法一般只适用于各向同性的密集网络。在二维网络环境下,用于定位的 3 个信标节点共线或者接近共线时,将导致较大的位置误差,可能导致最大误差可达 200%<sup>[5]</sup>。为此,在二维空间中引入共线性(collinearity)的概念<sup>[6]</sup>,以约束信标节点之间以及未知节点和信标节点的拓扑关系,同时计算量也大为减少,使节点更加节能。对于实际环境而言,要求节点分布于三维的网络空间,这样经典的二维定位算法不再适

到稿日期:2010-06-24 返修日期:2010-10-10 本文受江苏省教育厅省属高校自然科学基金(09KJD510008),金陵科技学院校科研基金项目(jit-n-201009)资助。

严筱永(1977-),男,博士生,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、信息安全和无线网络,E-mail: xiaoyong\_yan@126.com;钱焕延(1950-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络构建、网络技术、网络安全、信息安全、IPv6 网络技术、基于网络平台的各类应用等。

用。本文在考量二维空间的 DV-Hop 定位算法基础上将其扩展到三维空间中,引入多重共线性(multicollinearity)的概念,通过设定多重共线性阈值,筛选和排除定位误差过大的节点,使得经典 DV-Hop 定位算法在三维空间中同样具有良好的定位精度以及能耗和计算量较小的特点。

## 2 3D DV-Hop 定位算法

DV-Hop 定位算法<sup>[3,4]</sup>是美国路特葛斯大学(Rutgers University)的 Dragos Niculescu 等人提出的一种与距离无关的定位算法。其定位原理是:未知节点首先计算信标节点最小跳数,然后估计平均每跳距离,利用最小跳数与平均每跳距离相乘,得到未知节点与信标节点之间的估计距离,最后使用多边测量法或极大似然估计法计算未知节点的坐标<sup>[2]</sup>。

与普通 DV-HOP 算法类似,3D DV-Hop 算法也由 3 个阶段组成。首先使用典型的距离矢量交换协议,使网络中所有节点获得距信标节点的跳数;第二阶段在获得其他信标节点位置和相隔跳距之后,信标节点计算网络平均每跳距离,将其作为一个校正值广播至网络中,信标节点 $(x_i, y_i, z_i)$ 的校正值(平均每跳距离) $HopSize_i$ 表示为

$$HopSize_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_i} \quad (1)$$

式中, $(x_i, y_i, z_i), (x_j, y_j, z_j)$ 是信标节点  $i$  和  $j$  的坐标,而  $h_i$  是信标节点  $i$  和其他所有信标节点的跳数。当未知节点获得与 4 个或更多信标节点间的欧氏距离时,则可以进入第三阶段,即计算节点位置。

在第三阶段通常采用多边测量法或极大似然估计法进行位置估计。假设 $(x, y, z)$ 是某一未知节点  $U$  的坐标,其测得  $n$  个信标节点坐标的距离,第  $i$  个信标节点的坐标为 $(x_i, y_i, z_i)$ ,节点  $U$  到信标节点  $i$  的距离为  $d_i$ 。其计算公式为

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = d_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x-x_n)^2 + (y-y_n)^2 + (z-z_n)^2 = d_n^2 \end{cases}, n \geq 4 \quad (2)$$

上述方程组可以转化为  $AX=B$  的形式。其中

$$A = 2 \times \begin{bmatrix} (x_1 - x_n) & (y_1 - y_n) & (z_1 - z_n) \\ (x_2 - x_n) & (y_2 - y_n) & (z_2 - z_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (x_{n-1} - x_n) & (y_{n-1} - y_n) & (z_{n-1} - z_n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + z_1^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_n^2 + y_2^2 - y_n^2 + z_2^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + z_{n-1}^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (5)$$

当  $A^T A$  可逆时,方程可以用普通最小二乘法(OLS)<sup>[7]</sup>求得未知节点估计坐标:

$$\bar{X} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (6)$$

从上述 3D DV-hop 算法步骤描述可以看出,在使用 OLS 求解节点位置时, $A^T A$  必须可逆,若  $|A^T A| = 0$  或  $|A^T A| \approx 0$ ,则矩阵出现多重共线性(multicollinearity)现象,即在矩阵  $A$

中出现准确的线性关系或近似线性关系<sup>[7,8]</sup>。多重共线性包含完全(perfect)多重共线性和不完全(less than perfect)多重共线性两种类型。它的存在会对最后的定位精度产生不良的后果,当出现完全多重共线性时,多变测量法甚至会失效。而仅仅发生不完全多重共线性时,尽管可以求得位置的估计值,但它们是不稳定的,同时参数估计值的方差将变大,变大的程度取决于多重共线性的严重程度。本文将在以下部分详细叙述如何避免这种情况发生。

## 3 基于多重共线性的三维 DV-Hop 定位算法

### 3.1 三维拓扑分析

传感器节点在实际应用中常常是随机布放的,加上测距和干扰等因素产生的误差,使得四信标节点共面或近似共面,即  $|A^T A| = 0$  或  $|A^T A| \approx 0$ ,从而导致多边测距法失效。当四信标节点完全共面时,4 个球面的交点有两个,因而很难估计出节点的正确位置。如图 1 中,四信标节点在三维空间中呈现共面,在采用多边测量法时,未知节点  $A$  的位置可能是  $A$  也可能是  $A'$ 。

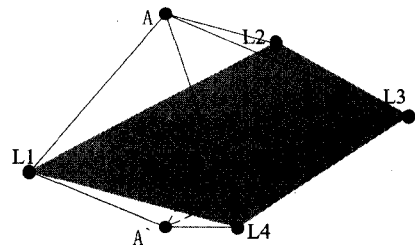


图 1 三维空间信标节点共面情况

而当  $|A^T A| \approx 0$  时,尽管可以得到位置的估计值  $\hat{X}$ ,但估计值很不稳定<sup>[8]</sup>。也可使用优化方法实现未知节点的位置估计值,但却需要较高的计算代价。

### 3.2 四面体网格质量度量准则

在二维空间中多重共线性程度对节点最终整体的定位精度至关重要,同样在三维空间中其多重共线性程度也极为重要。在二维空间中,多重共线性程度的评价常常是考量三信标节点所构成的三角形质量,其方法有多种,如三角形的内角的大小、三角形的三条高中最小值、三角形内切圆半径与外接圆半径的比值等。在三维空间中四信标节点的多重共线性程度则可以用四面体的网格质量来评价。

四面体可以认为是三角形在空间的推广。判断三角形质量的度量标准有多种,但度量四面体网格质量的标准与判断三角形网格质量标准截然不同。一个合理的四面体网格质量的度量准则应满足以下原则:单元的平移、旋转、反色、反射、均匀缩放均不应改变其度量值;当且仅当四面体为正四面体时其度量值取最大值;当四面体体积趋于零时,其度量值也接近于零<sup>[11]</sup>。

多年以来,人们从不同的角度提出了各种各样的判断和准则来评价四面体的质量。其中使用最多的有最小立体角  $\theta$  (minimum solid angle)、半径比  $\rho$  (radius ratio)、系数  $Q$  ( $Q$  Coefficient) 和系数  $\gamma$  (Coefficient) 等<sup>[9,10]</sup>,分别定义如下:

(1) 最小立体角  $\theta$

$$\theta = \min(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \quad (7)$$

式中, $\theta_i$  被定义为

$$\sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right) = \frac{12V}{\left(\prod_{2 \leq i < j \leq 4} [(l_{ij} + l_{ij})^2 - l_{ij}^2]\right)^{0.5}} \quad (8)$$

式中,  $V$  是由顶点  $A, B, C, D$  组成的四面体的体积,  $l_{ij}$  为连接顶点  $i$  和  $j$  的边的长度。同样  $\theta_2, \theta_3, \theta_4$  通过指标轮换得到。

(2) 半径比

$$\rho = 3r/R \quad (9)$$

式中,  $r, R$  分别为四面体内切圆和外接圆的半径, 文献[13]给出计算四面体内切球半径和外切球半径  $r$  和  $R$  的公式:

$$r = 3V / \sum_{i=0}^3 s_i \quad (10)$$

$$R = \frac{\sqrt{(a+b+c)(a+b-c)(a+c-b)(b+c-a)}}{24V} \quad (11)$$

式中,  $V$  为四面体的体积;  $s_i (i=0, 1, 2, 3)$  为第  $i$  个面面积;  $a, b, c$  分别为四面体三组对棱边长之积。结合式(10)和式(11)得半径比  $\rho$  的计算公式为:

$$\rho = \frac{216V^2}{\sum_{i=0}^3 s_i \times \sqrt{(a+b+c)(a+b-c)(a+c-b)(b+c-a)}} \quad (12)$$

其取值范围为  $1 \geq \rho > 0$ , 当  $\rho \rightarrow 0$  时四面体的 4 个定点共面, 当  $\rho = 1$  时四面体成正四面体。

(3) 系数  $Q$

$$Q = C_d \frac{V}{\left[\sum_{1 \leq i < j \leq 4} l_{ij}\right]^3} \quad (13)$$

式中,  $C_d = 1832.8208$  是为了使正四面体的质量度量值取最大值 1 而采用的比例系数。

(4) 系数  $\gamma$

$$\gamma = \frac{72\sqrt{3}V}{\left[\sum_{1 \leq i < j \leq 4} l_{ij}^2\right]^{1.5}} \quad (14)$$

文献[11]与文献[12]认为这几种度量准则都近似等价。文献[11]还论证了当四面体体积趋于零时, 其度量值也接近于零; 其最大值都使四面体转化为正四面体。

考虑到如上的几种度量准则近似等价, 同时考虑到计算的简便性, 本文采用了半径比的方法来度量在三维空间中四信标节点的多重共线性的程度。采用半径比来度量多重共线性, 其定义如下:

$$MC = \begin{cases} 0, & |A^T A| = 0 \\ \rho, & |A^T A| \neq 0 \end{cases} \quad (15)$$

### 3.3 多重阈值约束策略

如上所述, 在使用 DV-Hop 定位算法进行定位时, 可以通过使用半径比的方法设置多重共线性阈值滤除一些会造成不可定位或定位误差过大的信标节点组合。但是, 仅仅考虑信标节点的拓扑关系是不够的, 在使用 DV-Hop 定位算法时还需考虑节点之间的距离关系<sup>[14]</sup>。

在 DV-Hop 算法的第二阶段, 信标节点获得与邻近信标节点之间的距离和跳数信息之后, 计算平均每跳距离。此算法由于采用跳段距离之和代替实际距离, 在计算平均每跳距离时可能将很远的信标节点也包含进来, 因此随着跳段数的增加而误差增大。仿真研究也表明, 在算法的第三阶段, 未知节点和信标节点单元之间的距离越远, 多重共线性约束带来的定位影响越小, 定位误差也越大。因此, 本文在 3D DV-Hop 算法基础上加入两个阈值(多重共线性阈值  $thre\_mc$ 、跳数阈值  $thre\_hops$ )进行约束, 提出了基于多重共线性的三维 DV-

Hop 定位算法。

跳数阈值的设置限制接收大于门限跳数阈值的数据包, 确保了在定位过程中所有传感器节点只与阈值范围内的节点交换信息。由于设定了门限跳数阈值, 减少了数据通信量, 降低了节点能耗, 延长了节点的使用寿命, 因此定位精度也随之提高。多重共线性阈值则确保了在定位算法中只选择拓扑结构最好的信标节点单元。

### 3.4 MCB3D DV-Hop 算法描述

本文所提出的基于多重共线性的三维 DV-Hop 定位算法 MCB3D DV-Hop 是在普通 3D DV-Hop 定位算法基础上提出的, 其核心思想与普通 DV-Hop 算法一样, 使用跳数与平均每跳距离之积作为节点之间的距离, 而后使用多边测距法估计未知节点的位置。多边测距法是一种最基本的目标定位方法, 也是多种传感器网络定位算法的基础, 它用多个点与目标之间的距离来估计目标节点的位置。MCB3D DV-Hop 定位算法在普通 3D DV-Hop 定位算法中加入了跳数阈值和多重共线性阈值的约束, 阈值的加入提高了算法的定位精度, 同时也降低了定位算法的计算量。其算法的具体过程如下:

(1) 计算未知节点与限定跳数内的信标节点的最小跳数。

信标节点向邻居节点广播自身位置信息分组, 其中包括跳数字段(Hops)、自身坐标( $X, Y, Z$ )、自身 ID 号以及跳数阈值  $thre\_hops$ , 格式如下:

ID	Hop	X	Y	Z	thre_hops
----	-----	---	---	---	-----------

未知节点记录收到的信标节点的最小跳数, 忽略来自同一个信标节点的较大跳数分组。当未知节点收到的跳数分组值小于门限  $thre\_hops$  时, 节点将跳数值加 1, 并转发给邻居节点, 否则丢弃此分组拒绝转发。

(2) 计算未知节点与限定跳数内的信标节点的跳段距离。

每个信标节点根据记录的其它信标节点的位置信息和相距跳数, 采用 DV-Hop 方法估算平均每跳的实际距离, 并广播到网络中。未知节点仅记录收到的第一个每跳平均距离或跳段数最小的每跳平均距离, 从而未知节点可以从最近的信标接收每跳平均距离值, 根据记录的跳数, 计算到限定跳数内的信标节点的跳段距离。

(3) 利用节点定位基本原理中提到的节点定位方法计算自身位置。

首先未知节点将邻近所有信标节点按 4 个一组计算其 MC, 根据设置的  $thre\_mc$  排除掉 MC 小于  $thre\_mc$  的参考点组合, 然后根据多边测量法分别计算节点坐标, 最后取所有结果的平均值作为未知节点的最终位置坐标。

## 4 MCB3D DV-Hop 算法仿真与分析

节点的定位性能直接影响无线传感器网络的可用性和应用范围, 评价一个定位算法优劣程度的标准常有: 定位精度、功耗、适用环境与规模、信标节点比例、网络拓扑结构适应性、自适应和容错性等<sup>[15]</sup>。本文所提出的 MCB3D DV-Hop 算法是在 DV-Hop 算法基础上加以改进的, 其大部分特性等同于 DV-Hop 算法, 所以本文重点分析定位算法定位精度、定位的覆盖率以及算法的鲁棒性。本文用定位误差率(Localization Error ratio, LER)、可定为节点比例(Locatable node ratio, LNR)和不良定位节点比例(bad node ratio, BNR)这 3 个具体

性能参数指标考量算法的性能。这3个性能指标的定义分别如下：

(1) 定位误差率

定位误差率即所有未知节点平均定位误差与节点通信半径( $R$ )之比。定位误差率能够反映定位算法的稳定性以及定位的精度。在节点通信半径一定时,节点的平均定位误差越小,该算法的定位精度就越高,反之亦然。在三维空间中平均定位误差可有如下计算公式表示:

$$ALE = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2 + (\hat{z}_i - z_i)^2}}{n} \quad (16)$$

式中,  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)$  是第  $i$  个节点的估计坐标位置;  $(x_i, y_i, z_i)$  是第  $i$  个节点实际坐标位置;  $n$  为未知节点数量。此时,定位误差率表示为:

$$LER = \frac{ALE}{R} \times 100\% \quad (17)$$

(2) 可定位节点比例

可定位节点比例指可用于节点占未知节点的比例,定位比例反映了算法的定位覆盖率和鲁棒性。把定位比例记为:

$$LNP = \frac{n'}{n} \times 100\% \quad (18)$$

式中,  $n'$  为可定位节点数,  $n$  为未知节点数。

(3) 不良定位节点比例

定位误差大于节点通信半径的节点定义为不良节点,其与所有可定位节点的比例为不良节点比例。定位误差较大的点对定位基本无用,且影响算法的整体定位精度。其公式表示如下:

$$BNR = \frac{BN}{N'} \times 100\% \quad (19)$$

式中,  $BN$  为不良节点数量,  $N'$  为所有可定位节点数量。

仿真实验还需要配置的一些参数包括节点的数量、节点的通信半径、网络密度(网络平均连通度)、参考点比例等。其中网络密度可以通过调节节点的通信半径和增加节点的数量来改变。通过设置不同的网络密度和参考点比例来比较 MCB3D DV-Hop 算法和普通 3D DV-Hop 算法的性能。

仿真假设节点分布在  $50m \times 50m \times 50m$  三维区域,在环境中随机部署 100 个节点,节点的通信半径设置为 15m,信标节点所占比例分别为 10% 和 20%,跳数阈值分别取 3 和 4。设多重共线性阈值从 0 到 0.8,步长为 0.1。节点在三维区域内的分布图如图 2 所示。

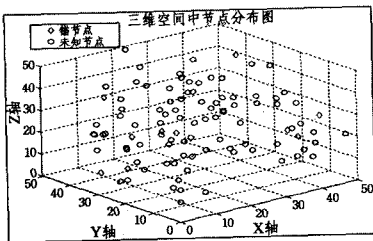


图2 节点在三维空间的分布拓扑图

本文采用统计方法进行算法仿真,即在同一网络环境下仿真 100 次,每次的试验里节点都将重新随机部署在检测区域内,统计试验结果作为试验依据。3 种性能指标的仿真结果如图 3、图 4 和图 5 所示。

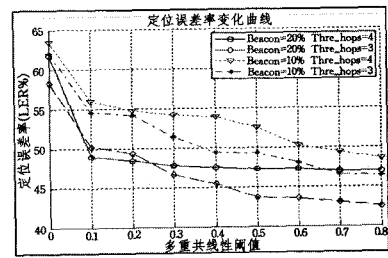


图3 定位误差率变化曲线

从图 3 中可以看出在设置  $thre\_mc$  值后定位误差率显著降低。当  $thre\_mc$  值为 0 时,相当于只使用普通的三维 DV-Hop 算法,其定位误差率最大达 63.43%,最小也有 58.29%。当设置  $thre\_mc$  值后定位误差率随着  $thre\_mc$  值的增大呈明显减少趋势,在  $thre\_mc$  值为 0.8 时,定位误差率降到最小,即 42.5%,最大也仅为 48.61%。这也论证了信标节点在空间的拓扑形状越接近正四面体,其定位精度越高,定位误差越小。同时可以看出,在相同比例信号节点和  $thre\_mc$  相同时,跳数越小,定位的精度就越高。此外节点比例的不同也对定位精度产生一定的影响。

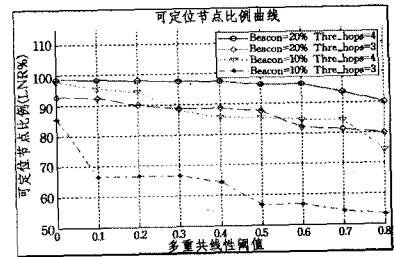


图4 可定位节点比例曲线

从图 4 中可以看出随着  $thre\_mc$  值的变大,可定位节点数量随之变少,在信标节点比例为 10%,跳数阈值为 3 时这种降低的幅度最大,当信标节点拓扑形状接近正四面体时,近 50% 的节点不可定位。在同等比例信标节点情况下,跳数阈值越低的,可定位节点比例降低趋势越明显。同样,信标节点比例的不同也对可定位节点比例产生一定的影响。

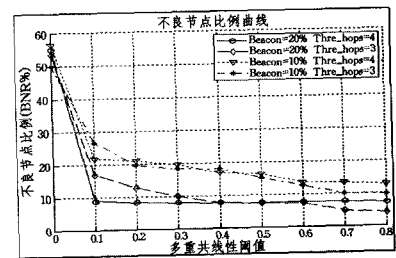


图5 不良节点比例曲线

从图 5 中可以看出,在  $thre\_mc$  值为 0 时,不良节点比例都大于 50%,这就使得在使用普通 DV-Hop 算法时,总体的定位误差过大。而在使用多重共线性阈值之后,由于避免了较差节点拓扑结构,使得不良节点比例有了明显的改善。当  $thre\_mc$  值取 0.1 时,不良节点的比例都小于 30%,在  $thre\_mc$  等于 0.3 时,不良节点的比例都小于 20%,因此设置多重共线性阈值之后可以认为基本避免了不良节点的产生。同时从图中可看出跳数的设置和信标节点比例能进一步降低不良节点的比例,但相对于多重共线性阈值,其效果并不明显。

(下转第 44 页)

**结束语** 首先对已有模型进行了分析,指出了其存在的不足。本文针对其不足提出了基于二维度的相互信任评价模型,并对模型进行了较详细的分析,对存在的问题进行了描述。借鉴人际关系的信任机制,分别从信誉与合作两个维度对网络节点的信任评价进行计算。由于已有模型存在信息淹没现象及信誉指标具有主观性,本文采取二元语义对信息进行了处理,得出了网络节点的信誉评价模型;由于合作指标具有一定的客观性,采取数据测量得出了合作评价模型;最后由信誉评价模型与合作评价模型得出了网络节点的相互信任评价模型。通过仿真实验,与线性加权信任评价模型相比,本文所提出的基于二维的相互信任评价模型具有两方面的优越性:1)提高了网络节点任务执行的成功率;2)减小了恶意节点对节点任务执行的影响。

网络中存在一定数量的恶意节点是不可避免的现象,但是可以采取一定的策略来惩罚或诱导恶意节点改邪归正,从而使其信任值不断增大,最终既使自己获利了,也使网络总的可信度提高了,这就是我们下一步要研究的激励机制与信任演化博弈工作。

### 参 考 文 献

[1] Hu Y J. Some thoughts on agent trust and delegation [C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Quebec, Canada, 2006

[2] Grandison T, Sloman M. Trust management tools for Internet applications[C]//Proceedings of the First International Conference on Trust Management, Greece, 2005

[3] Greenberg P S, Greenberg R H, Antonucci Y L. Creating and sustaining trust in virtual teams[J]. Business Horizon, 2007, 50

(4):325-333

[4] Lavrac N, Ljubic P. Trust modeling for networked organization using reputation and collaboration estimates[J]. Application and Views, 2007, 37(3):429-438

[5] Chen T Y, Chen L C, Chu H C. Developing a trust evaluation method between co-workers in virtual project team for enabling resource sharing and collaboration[J]. Computer in Industry, 2008, 59(6):565-579

[6] Herrera F, Martinez L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multi-granularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making[J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 2001, 32(2):227-234

[7] 唐文, 胡建斌, 陈钟. 基于模糊逻辑的主观信任管理模型研究[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(10):1654-1659

[8] 樊治平, 姜艳萍. 语言判断矩阵满意一致性的判定方法[J]. 控制与决策, 2004, 19(8):903-906

[9] Bharadwaj K K, Al-Shamri M Y H. Fuzzy computational models for trust and reputation systems[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2008, 32(8):37-47

[10] Ma'rmol F G, Pe'rez G M. Security threats scenarios in trust and reputation models for distributed systems[J]. Computers & Security, 2009, 28(1):545-556

[11] Li Jingyuan, Liu Yongming, Tian Guoqiang. A reputation strategic model of monetary policy in continuous-time[J]. Journal of Macroeconomic, 2008, 31(12):523-533

[12] Marias G F, Georgiadis P, Flitzanis D, et al. Cooperation enforcement schemes for MANETs: A survey[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2006, 21(6):319-332

[13] Perea N F, Puerto J, Fernández F R. Modeling cooperation on a class of distribution problems[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 11(198):726-733

(上接第 40 页)

从仿真试验的结果看出,本文所提出的 MCB3D DV-Hop 算法在提高定位算法的精度、减少系统的计算量以及延长节点的生存周期等方面效果明显,但也需要看到多重共线性阈值不是越高越好,同样,跳数阈值也不是越小越好。在实际应用中,节点的分布是随机的,这就使得过高的多重共线性阈值或较小的跳数阈值造成不可定位节点数量增加。因此,需结合实际才能找到一个权衡各个方面因素的最佳阈值。

**结束语** 本文从无线传感器网络定位技术存在的问题入手,着重分析了三维拓扑环境对定位算法的影响,在距离无关算法中的典型 DV-Hop 算法的基础上,提出了一种改进的三维定位算法 MCB3D DV-Hop。该算法除了将 DV-Hop 定位算法从二维空间移植到三维空间以外,还在算法中考虑到信标节点拓扑关系和跳数对定位精度的影响,并且通过仿真验证了算法有较高的定位精度和稳定性。此外,本文所提出的多重共线性阈值设定方法同样可以应用到其他使用多边测量的定位算法中,作为其提高精度和稳定性的优化策略。

### 参 考 文 献

[1] 倪明选,李明禄,薛广涛. 无线传感网络的基础理论及关键技术研究[A]//中国计算机科学技术发展报告 2007—庆祝“973”计划实施十周年[C]. 北京:清华大学出版社, 2008:384-413

[2] 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, 2005:3-25

[3] Niculescu D, Nath B. Ad-hoc positioning system(APS)[C]//Proc. of the IEEE GIOBECOM. San Antonio, 2001:2926-2931

[4] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad hoc Networks

[J]. Journal of Telecommunication systems, 2003, 22(1-4):267-280

[5] Tian Shuang, Zhang Xinming, Wang Xinguo, et al. A Selective Anchor Node Localization Algorithm for wireless Sensor Networks[C]//International Conference on Convergence Information Technology (ICCI). November 2007

[6] Poggi C, Mazzini G. Collinearity for sensor network localization [A]//Proceedings of 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference [C]. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2004:3040-3044

[7] Davidson R, Mackinnon J G. Econometric Theory and Methods [M]. New York:Oxford University Press, 2004

[8] Gujarati D N. Basic Econometrics ( Fourth Edition ) [M]. The McGraw-Hill Companies, 2004

[9] Sun S L, Liu J F. An efficient optimization procedure for tetrahedral meshes by chaos search algorithm[J]. J Comput. Sci. Technol. , 2003, 18(6):796-803

[10] 聂春戈, 刘剑飞, 孙树立. 四面体网格质量度量准则的研究[J]. 计算力学学报, 2003, 20(5):579-582

[11] Liu A, Joe B. Relationship between tetrahedron shape measures [J]. BIT, 1994, 34:268-287

[12] Lo S H. Optimization of tetrahedral meshes based on element shape measures[J]. Computer&Structures, 1997, 63(5):951-961

[13] Mitrinovic D S, Pecaric J E, Volencic V. Recent Advances in Geometric Inequalities [M]. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989

[14] 于宁. 无线传感器网络定位优化方法[D]. 北京:北京邮电大学

[15] Bulusu N, Heidemann J, Esirin D. GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices [J]. IEEE personal Communications, 2000, 7(5):28-34