

基于跳数修正的 DV-Hop 定位的改进算法

郑久虎 钱焕延 高德民 严筱永

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

摘 要 DV-Hop 算法是一种最典型的非测距的节点定位算法。为了提高 DV-Hop 算法的精度,引入了前序节点(Previous Node, PN)和总平均每跳距离这两个概念,设计了改进的 MHDV-Hop 算法,它只需很低的信标节点比例,不改变 DV-Hop 算法的过程,也不需要额外硬件支持,通过 PN 的数量计算出未知节点到信标节点跳数的修正系数,使得定位精度有很大提高。

关键词 无线传感器网络,节点定位,DV-Hop,前序节点

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Improved DV-Hop Positioning Algorithm Based on Modifying Hop Counts

ZHENG Jiu-hu QIAN Huan-yuan GAO De-ming YAN Xiao-yong

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract DV-Hop algorithm is one of the most classic range-free localization algorithms in wireless sensor networks. In order to enhance the localization accuracy of the DV-Hop algorithm, this paper introduced two terms of the previous node and Total HopSize, and designed an improved MHDV-Hop algorithm. In the improved algorithm, the correction factor of unknown node to beacon node hops is calculated based on the number of PN. It not only doesn't change the positioning process of the DV-Hop algorithm at lower ratio of beacon nodes and without additional hardware support, but also greatly improves the localization accuracy.

Keywords Wireless sensor networks, Node localization, DV-Hop, Previous node

节点定位技术是无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)的核心支撑技术之一,节点所提供的信息往往与其位置结合才具有实际意义,缺少位置信息的感知信息往往是没有意义的^[1]。WSN 由于受节点硬件条件和能量限制,节点定位时要根据精度要求和实际情况选择合适的定位算法。

WSN 节点定位技术分为基于测距(Range-based)定位算法和无需测距(Range-free)定位算法^[2]。基于测距的定位算法要求节点自身具有测量距离或测量角度的能力,其定位精度较高,但其对节点硬件要求也较高。而无需测距的定位算法则根据网络连通性^[3]、未知节点和信标节点位置关系、节点间跳数等信息来计算未知节点到信标节点之间的距离。无需测距定位算法定位精度不如基于测距定位算法,但其因不需要额外的硬件支持且大多数无线传感器网络对节点定位精度要求不很高,无需测距定位算法就能满足,而得到了广泛的应用。DV-Hop^[4,5]算法是最常用的一种无需测距定位算法。

目前有很多 DV-Hop 改进算法,它们主要在以下几个方面进行了改进:(1)平均每跳距离计算方法的改进。文献[6]应用最小方差来计算信标节点的平均距离;文献[7-9]引入最小二乘法来计算信标节点的平均每跳距离;(2)文献[10-12]用 RSSI 测距技术代替未知节点到信标节点一跳距离来提高

定位精度;(3)文献[13]采用移动信标节点方法来构造均匀分布的信标节点以提高定位精度;(4)文献[13]提出了利用夹角修正未知节点到信标节点的距离的 ARDV-hop 算法;(5)文献[6]提出了利用未知节点与参考节点的范围作为约束条件,采用信赖域系列二次规划法(SQP)优化求解节点位置;文献[10]、文献[14,15]使用 2-D Hyperbolic 算法代替三边法和极大似然估计法来计算节点位置;文献[16,17]采用模拟弹簧方法来计算节点坐标。

上述的 DV-Hop 改进算法对定位精度有一定程度的提高,但有的计算复杂度大大提高,有的引入了 RSSI 测距技术需额外的硬件支持。本文引入了前序节点和总平均单跳距离概念,通过前序节点的数目与到信标节点的距离对未知节点到信标节点的跳数进行修正,并用总单跳距离代替平均单跳距离,从而减小未知节点到信标节点距离的误差,以提高定位精度。本文的算法可在信标节点比例很小的情况下,使定位精度得到较大的提高。

1 DV-Hop 改进算法

1.1 DV-Hop 算法

DV-Hop^[4]定位过程分为 3 个阶段:

(1)计算信标节点到其他节点的最小跳数:每个信标节点

到稿日期:2012-07-01 返修日期:2012-11-07 本文受国防科工委应用基础资金资助。

郑久虎(1974—),男,博士生,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、信息安全研究,E-mail:zhjiuhu@163.com;钱焕延(1950—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为网络技术和信息安全研究。

向邻居节点广播自身位置信息分组,每个节点都维护着一个表 $\{X_i, Y_i, h_i\}$,记录信标节点*i*的位置和该节点到信标节点*i*的跳数,初始值为0。邻居节点收到信标节点*i*广播信息后,将跳数值 h_i 加1,并转发给邻居节点。接收节点记录到每个信标节点的最小跳数,而忽略来自同一信标节点的较大跳数。通过这个机制,每个节点都获得到每个信标节点的最小跳数。

(2)计算未知节点与信标节点的实际跳段距离,每个信标节点在获得了其他信标节点的位置和与它们之间的最小跳数后,计算平均单跳距离校正,然后广播到整个网络。每个未知节点只接收第一个校正,然后转发给其邻居节点。第*i*个信标节点的平均单跳距离校正表示为:

$$HopeSize_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_j} \quad (1)$$

未知节点接收到平均每跳距离校正后,根据记录的跳数,计算到每个信标节点的距离,任意未知节点*i*到任意信标节点*j*的距离表示如下:

$$d_{ij} = HopeSize_i * h_j \quad (2)$$

(3)利用三边测量法或极大似然估计法计算自身位置:未知节点根据第二阶段中计算的到各个信标节点的距离,利用三边法或极大似然估计法计算自身坐标估计值。

1.2 DV-Hop 算法分析

DV-Hop 采用平均每跳距离校正与跳数乘积来计算未知节点到信标节点的距离。由于通信距离内都算作一跳,并且矢量是有方向的,节点的分布情况也会对计算结果产生较大的影响,因此 DV-Hop 算法还有很多方面需要改进。目前对 DV-Hop 算法提出的改进主要有:对平均每跳距离修正较多,辅助以不同的计算节点位置的方法,而对跳数的修正研究几乎没有;对平均每跳距离的修正是从局部考虑,没有考虑节点总体分布情况。然而,通过改变信标节点位置的方法会增加硬件开销并带来很大的计算工作量。只有对跳数的修正才是从网络的具体分布情况考虑,更具有针对性,可在增加一小部分计算工作量的基础上,使定位精度得到很大的提高。由于对跳数进行修正是从全局考虑的,采用整个无线传感器网络总平均单跳距离来代替平均单跳距离能提高节点间距离的误差,从而使跳数修正后的 DV-Hop 算法的定位精度得以提高。本文提出一种对跳数进行修正且所有节点使用相同的总平均单跳距离的 MHDV-Hop 算法。

1.3 基于跳数修正的 MHDV-Hop 算法

定义 1(前序节点, Previous Node, PN) 设 h_{AB} 表示节点 A、B 之间的最小跳数,若对于任意不同节点 A、B、X, $\exists h_{AB} = 1$ 且 $h_{BX} = h_{AX} - 1$, 则节点 B 是节点 A 到节点 X 的前序节点。如图 1 所示,节点 B、C 是节点 E 到信标节点 X 的前序节点。

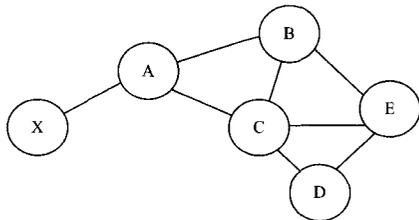


图 1 前序节点示意图

定义 2(总平均单跳距离, Total HopeSize, THopSize)

亦即全部信标节点平均每跳距离的平均值,如式(3)所示,其

中 n 为信标节点个数。

$$THopSize = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n HopSize_i \quad (3)$$

1.3.1 算法设计思想

用传统的 DV-Hop 方法计算未知节点到信标节点的距离时,由于没有考虑未知节点的周围节点分布情况,按照相同的每跳距离乘以跳数的算法存在着较大的误差。通过对大量的实验数据研究发现,未知节点到某个信标节点的前序节点的数量与该未知节点到此信标节点的距离的误差有着密切的关系,而且两节点的跳数越少,关系越密切。如图 2 所示,未知节点的通信半径为 R ,未知节点 A 到信标节点 X 的跳数为 n ,节点 B、C、D、E 是 A 的通信半径内的邻节点,点 X_B 、 X_C 、 X_D 、 X_E 是点 B、C、D、E 在直线 AX 上的投影。图中节点之间的距离只考虑其在节点 A 到节点 X 之间直线水平方向投影的距离,矢量垂直方向的距离与 AX 距离无关,故不考虑。用 d_{AX} 表示节点 A 到节点 X 的距离。

现把距离误差 E_{AX} 分为两个部分,分别是最后一跳误差 E_{last} 和前 $n-1$ 跳误差 E_{n-1} 。当 $h_{AX} = 1$ 、前序节点数量 h_p 为 0 时,在本算法中不考虑一跳距离的误差,规定此时距离误差 E_{AX} 为 0。 E_{AX} 计算公式如下:

$$E_{AX} = \begin{cases} 0, & h_p = 0 \\ E_{last} + E_{n-1}, & h_p > 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, E_{last} 根据节点 A 的前序节点数量计算得到。 E_{n-1} 可由 A 节点的所有前序节点定位误差的平均值代替。

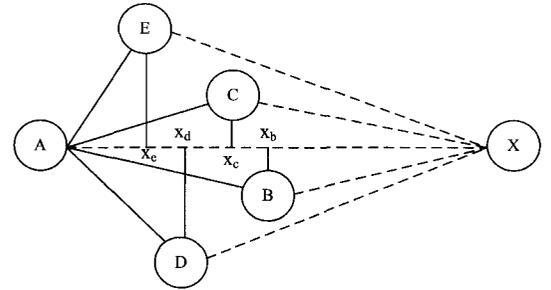


图 2 未知节点与信标节点关系示意图

在考虑 E_{last} 时,不重复考虑前序节点的定位误差。如图 2 所示,如果只有 B 是节点 A 到节点 X 的前序节点,则 A 到 X 的最后一跳距离为 Ax_b ;如果只有 B、C 两个节点是 A 到 X 的前序节点,则 A 到 X 最后一跳距离为 Ax_c ;如果只有 B、C、D 3 个节点是 A 到 X 的前序节点,则 A 到 X 最后一跳距离为 Ax_d ;同样,如果 4 个节点都是前序节点,则 A 到 X 的最后一跳距离为 Ax_e 。可见,随着前序节点数量的增加,最后一跳的距离会逐渐减小,而且当前序节点密度增加到一定值 K 时,减小的量会不明显。未知节点到信标节点的距离的误差有正数也有负数,可以设置一个 K 值,当前序节点的数量 n_p 小于 $\lfloor \frac{K}{2} \rfloor$ 时,其误差绝大多数为正值,而 n_p 大于 $\lfloor \frac{K}{2} \rfloor$ 时,其误差绝大多数为负值,然后对其进行相应修正,可降低未知节点到信标节点的距离误差,从而提高定位的精度。式(5)给出一个 E_{last} 的计算模型。

$$E_{last} = \begin{cases} \frac{2}{K} (\lfloor \frac{K}{2} \rfloor - n_p), & n_p < K \\ \frac{2}{K} (\lfloor \frac{K}{2} \rfloor - K), & n_p \geq K \end{cases} \quad (5)$$

式中, n_p 是前序节点数量, K 是阈值。 K 值为正奇数, K 的取

值与节点通信半径和节点分布区域大小有关, K 取值可为 7, 9, 11。如 K 取值过大, 则要求平均网络连通度更高, 否则精度提高的效果会不明显。假设节点分布区域内最长直线距离(如圆的直径、矩形的对角线)与节点通信半径的比值为 t , 当 $t \leq 20$ 时, K 值可取 7; 当 $20 < t \leq 30$ 时, K 值可以取 9; 当 $t \geq 30$ 时, K 值可取 11。当该比值太大时, 为了提高定位速度, 可将若干个 t 值划分在 20 到 40 之间区域, 在每个区域用本方法进行定位。以下模拟实验中 t 值小于 20, 故 K 值取 7, 则 $\lceil \frac{K}{2} \rceil$ 值为 4。

前 $n-1$ 跳误差 E_{n-1} 由式(6)计算得出。

$$E_{n-1} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} E_{ix} \quad (6)$$

式中, i 是节点 A 到节点 X 的前序节点, E_{ix} 是节点 i 到节点 X 的距离误差, n_p 是 A 到 X 的前序节点数量。

由于考虑到整个节点分布情况, 还要考虑到计算的定位误差与跳数的关系, 并且平均每跳距离也要从全局来考虑, 下面将以原平均每跳距离 $HopSize_i$ 和用总平均每跳距离 $THopSize$ 两种情况加以描述, 并进行对比。

1.3.2 算法描述

在运算过程中, 计算各节点跳数方法和平均每跳距离的方法与 DV-Hop 相同, 设信标节点为 a , 未知节点为 i , 具体计算描述如下:

①计算所有节点到信标节点的前序节点数目: 遍历所有节点, 统计所有节点到信标节点的前序节点数目。 i 节点到信标节点 a 的前序节点集合记为 P_{ia} , i 节点到信标节点 a 的前序节点数目记为 n_p 。

② K 值取 7, 用式(5)计算未知节点到信标节点的 E_{last} 。

③令 $n=1$, 用式(4)计算出到未知节点为 1 跳的未知节点的修正系数 E_{AX} 均为 0。

④令 $n=n+1$, 用式(6)计算出到未知节点前 $n-1$ 跳的修正系数 E_{n-1} 。

⑤用式(4)计算出到未知节点的修正系数 E_{AX} 。

⑥如果还存在其他到信标节点 X 跳数为 n 的未知节点, 按⑤—⑥计算该节点到信标节点的修正系数 E_{AX} 。

⑦如果存在其他信标节点, 重复②—⑥。

⑧计算各节点到信标节点的距离, 每个信标节点的平均每跳距离计算方法与 DV-Hop 方法相同, 未知节点 A 最先接收到的信标节点的平均每跳距离记为 $HopSize_A$, 未知节点 A 到信标节点 X 的跳数记为 h_{AX} , 未知节点 A 到信标节点 X 的距离记为 d_{AX} , 则:

$$d_{AX} = HopSize_A * (h_{AX} + E_{AX}/h_{AX}) \quad (7)$$

⑨按⑧依次计算各未知节点到各信标节点的距离。

⑩用极大似然估计法计算各未知节点的位置。

在采用总平均每跳距离的时候, 在⑦后加一步用式(3)计算 $THopSize$, 然后在第⑧步计算 d_{AX} 时在式(7)中用 $THopSize$ 代替 $HopSize_A$, 用式(7)计算出距离 d_{AX} , 最后用极大似然估计法计算出未知节点的位置。在下面的仿真分析中使用 $HopSize$ 的算法称为 MHDV-Hop($HopSize$), 使用 $THopSize$ 的算法称为 MHDV-Hop($THopSize$)。

1.3.3 算法的额外开销

通过以上计算过程和计算公式可知, 本改进算法与 DV-Hop 算法相比, 每个节点增加的额外开销主要包括:

- 1) 存储开销: 修正系数 E_{AX} 、前序节点 ID、总平均单跳距离;
- 2) 通信开销: 平均每个节点传递数据包不大于 3 次;
- 3) 计算开销: 设信标节点数为 m , 其前序节点数为 n_p 。

增加的计算主要包括: 计算 E_{Ax} 要进行 m 次加法, 计算 E_{last} 要进行 m 次乘法和减法, 计算 E_{n-1} 要进行 $m * n_p$ 次加法和 m 次除法, 计算 d_{AX} 要进行 m 次除法、加法和乘法。

以上数据说明, 改进后的算法增加的存储、通信和计算额外开销都很小。

2 仿真分析

为了验证基于跳数修正系数的 MHDV-Hop 改进算法的有效性, 采用 MATLAB7.0 进行仿真实验, 并将改进的用 $THopSize$ 计算的 MHDV-Hop 算法以及用 $HopSize$ 计算的 MHDV-Hop 算法与 DV-Hop 定位算法进行比较, 对实验结果进行分析和说明。

仿真分析的网络模型的标准参数如下: 设定节点随机分布在边长为 500m 的正方形区域, 节点的射频通信距离为 100m。在相同网络场景下, 通过改变节点总数和信标节点的数目, 实现相同场景条件下不同网络情况的仿真实验情况。为消除随机产生的误差, 仿真结果均为相同参数条件下 100 次结果的平均值。

定位精度用误差值与节点通信半径的比例表示, 定位误差(Localization Error, E_L) 公式为:

$$E_L = \sqrt{(X_{ha} - X_a)^2 + (Y_{ha} - Y_a)^2} \quad (8)$$

式中, (X_{ha}, Y_{ha}) 为未知节点 a 的估算位置; (X_a, Y_a) 为未知节点 a 的实际位置。在节点分布区域和通信距离不变的相同网络场景下, 分别在节点总数不变、信标节点比例不变和信标节点数不变几种网络情况下的仿真实验情况如图 3—图 6 所示。

图 3 给出了在总节点数不变的情况下, 本文的两种算法与 DV-Hop 算法在信标节点比例变化时定位误差的比较结果。从图中可以看出, 本文的两种算法定位误差均大大低于 DV-Hop 算法。当信标节点比例大于 3% 时, 两种改进算法的平均定位误差降低了约 27%~36%; 当信标节点比例提高到 5% 以上时, 改进后的 MHDV-Hop($HopSize$) 算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 27%~32%, 改进后的 MHDV-Hop($THopSize$) 算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 33%~36%, 改进后的 MHDV-Hop($THopSize$) 算法的定位精度比 MHDV-Hop($HopSize$) 略高, 表明使用总平均每跳距离要好于使用平均每跳距离。随着参考节点比例的增大, 各个算法的定位误差逐渐减小, 在达到 8% 的比例后, 定位误差变化较小并逐渐趋于平稳。

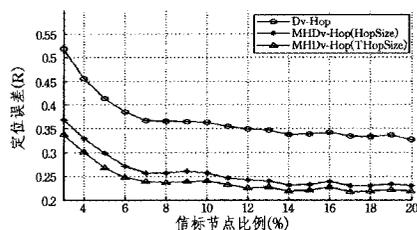


图 3 改变信标节点比例的定位精度比较 (节点总数为 200)

图 4 给出了在信标节点比例不变的情况下, 本文的两种

算法与 DV-Hop 算法在信标节点数变化时定位误差的比较结果。从图中可以看出,本文的两种算法定位误差均大大低于 DV-Hop 算法。当信标节点数大于 10 时,两种改进算法的平均定位误差降低了约 35%~40%;当信标节点数提高到 10 以上时,改进后的 MHDV-Hop(HopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 32%~39%,改进后的 MHDV-Hop(THopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 38%~41%,改进后的 MHDV-Hop(THopSize)算法的定位精度比 MHDV-Hop(HopSize)略高,表明使用总平均每跳距离要好于使用平均每跳距离。随着参考节点数的增大,各个算法的定位误差逐渐减小,在达到 14 时后,定位误差变化较小并逐渐趋于平稳。

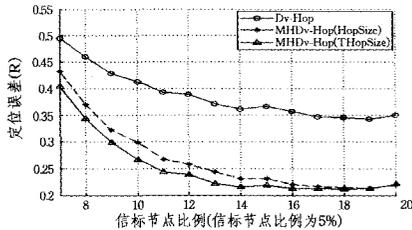


图 4 改变信标节点数的定位精度比较(信标节点比例为 5%)

图 5 给出了在信标节点数不变的情况下,本文的两种算法与 DV-Hop 算法在总节点数变化时定位误差的比较结果。从图中可以看出,本文的两种算法定位误差均大大低于 DV-Hop 算法。当总节点数大于 200 时,两种改进算法的平均定位误差降低了约 29%~41%;当信标节点数提高到 220 以上时,改进后的 MHDV-Hop(HopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 32%~38%,改进后的 MHDV-Hop(THopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 38%~41%,改进后的 MHDV-Hop(THopSize)算法的定位精度比 MHDV-Hop(HopSize)略高,表明使用总平均每跳距离要好于使用平均每跳距离。随着参考节点数的增大,各个算法的定位误差逐渐减小,在总节点数达到 240 时后,定位误差变化较小并逐渐趋于平稳。以上数据可以说明,在不增加信标节点的情况下,增加未知节点的个数也能保证增加的未知节点的定位精度与原先的未知节点定位精度相当,这样就可以在一个现有的无线传感器网络中增加一些新未知节点,从而扩大网络的规模,大大节省成本。

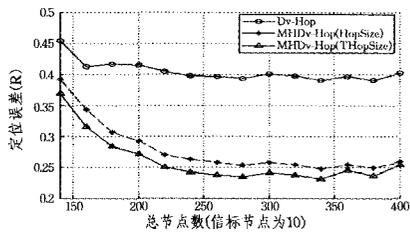


图 5 改变节点总数的定位精度比较(信标节点数为 10)

图 6 给出了在信标节点比例不变的情况下,本文的两种算法与 DV-Hop 算法在网络平均连通度变化时定位误差的比较结果。从图中可以看出,本文的两种算法定位误差均大大低于 DV-Hop 算法。当网络平均连通度大于 20 时,两种改进算法的平均定位误差降低了约 29%~41%;当网络平均连通度 20 以上时,改进后的 MHDV-Hop(HopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 29%~37%,改进后的 MHDV-

Hop(THopSize)算法的精度比 DV-Hop 算法提高了约 35%~41%,改进后的 MHDV-Hop(THopSize)算法的定位精度比 MHDV-Hop(HopSize)略高,表明使用总平均每跳距离要好于使用平均每跳距离。随着参考节点数的增大,各个算法的定位误差逐渐减小,在总节点数达到 24 时后,定位误差变化较小并逐渐趋于平稳。通过以上数据可以说明,平均网络连通度的提高有助于提高定位精度。

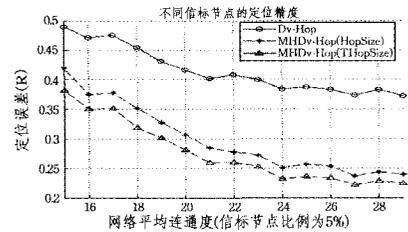


图 6 改变网络平均连通度的定位精度比较(信标节点比例为 5%)

此外,在设定节点随机分布在边长为 800m 的正方形区域、节点的射频通信距离为 50m、节点总数量为 2000(其中信标节点数为 20)的情况下,信标节点比例为 1%,网络平均连通度约为 23, DV-Hop 算法的定位精度为 0.4343,而改进后的 MHDV-Hop 定位精度为 0.3416,定位精度提高了 21.3%。

上述仿真实验表明,本文所用的基于跳数修正的 DV-Hop 改进算法在只增加了极少量的计算和通信开销的计算量的情况下,并在平均连通度为 20 以上时,能提高定位精度约 35%以上。而且改进的算法对信标节点的数目和比例要求也不高,通常只要 5%。而使用 GPS 定位的信标节点费用通常比普通节点高两个数量级^[18],使用改时后的 MDDV-Hop 算法可在不增加信标节点的情况下,通过增加未知节点数量来提高定位精度,从而大大节约网络的成本,并扩大网络覆盖区域。

结束语 文中针对 DV-Hop 算法在无线传感器网络节点定位中的局限性,提出了一种基于跳数修正的 MHDV-Hop 定位改进算法,针对最能代表节点分布情况的前序节点数量和未知节点到信标节点的跳数,引入跳数修正系数对未知节点到信标节点的跳数进行修正,并应用总平均每跳距离使未知节点到信标节点间的距离误差更小。由仿真结果可见,该改进算法只增加了极小部分通信和计算开销,其平均定位误差远低于原算法,并且在信标节点比例很小的情况下也能拥有良好的定位精度,大大节省无线传感器网络的开销。本文算法在考虑较好定位精度的同时,将减小第一跳的误差、降低通信开销和计算量等纳入下一步研究。

参考文献

- [1] Neal P, Joshua N. Location the nodes; Cooperative localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(4): 54-69
- [2] He T, Huang C D, Blum B M, et al. Range-Free localization schemes in large scale sensor networks[C]// Proc. of the 9th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking, San Diego; ACM Press, 2003; 81-95
- [3] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868
- [4] Nicolescu D, Nath B. Ad-hoc positioning systems (APS)[A]// Proc of the 2001 IEEE Global Telecommunications Conf[C].

- [5] Nicolescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks [J]. *Journal of Telecommunication Systems*, 2003, 22(1-4): 267-280
- [6] Ji Wei-wei, Liu Zhong. Study on the application of DV-Hop localization algorithms in random sensor networks [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2008, 30(4): 970-974
- [7] Chen Dai, Wang Wei, Zhou Yong. An Improved DV-Hop Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks [C] // 2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering (CCTAE 2010). Volume 2, School of Computer Science China University of Mining and Technology. Xuzhou, China, 2010
- [8] Lin Jin-zhao, Chen Xiao-bing, Liu Hai-bo. Iterative algorithm for locating nodes in WSN based on modifying average hopping distances [J]. *Journal on Communications*, 2009, 30(10): 107-113
- [9] Zhu Min, Liu Hao-lin, Zhang Zhi-hong, et al. An improved localization algorithm based on DV-HOP in WSN [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2012, 44(1): 93-98
- [10] Liu Yan-heng, Liu Bing-ri, Sun Da-yang, et al. Improved DV-Hop algorithm in localization accuracy in WSN [J]. *Journal of Jilin University; Engineering and Technology Edition*, 2010, 40(3): 763-768
- [11] Liu Yan-wen, Wang Fu-bao, Duan Wei-jun, et al. A localization

system based on DV-Hop localization algorithm and RSSI ranging technique [J]. *Journal of Computer Applications*, 2007, 27(3): 516-518

- [12] Li Rui-xue, Fang Zhi-yi, Yi Ting-ting. Improved DV-Hop localization algorithm based on regularly moving anchor (RMAN) and received signal strength indicator (RSSI) and its performance analysis [J]. *Journal of Jilin University; Engineering and Technology Edition*, 2011, 41(2): 435-441
- [13] 赵虹, 孙光, 秦姣华, 等. 夹角修正的 DV-hop 传感器网络节点定位研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(13): 100-102
- [14] Chen Hong-yang, Sezaki K, Deng Ping, et al. An improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks [C] // *Proc of the 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. Singapore: IEEE, 2008; 1557-1561
- [15] Chan Y T, Ho K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1994, 42(8): 1905-1915
- [16] Arias J, Lazaro J, Astarloa A. Location algorithm for wireless sensor networks in industrial applications [C] // *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. Vol. 2, Hammamet (Túnez), 2004; 757-762
- [17] 田金鹏, 施惠昌. 无线传感器网络节点定位改进算法 [J]. *上海大学学报: 自然科学版*, 2009, 15(3): 225-229
- [18] Spec; Smartdust chip with integrated RF communications [OL]. http://www.jhllabs.com/jhll_cs/spec/, 2001

(上接第 44 页)

很有吸引力。

参 考 文 献

- [1] Chen Chi-yuan, Chao H-C. A survey of key distribution in wireless sensor networks [J]. *Security and Communication Networks*, 2011, doi: 10.1002/sec.354
- [2] Huang D, Mehta M, Medhi D, et al. Location-aware Key Management Scheme for Wireless Sensor Networks [C] // *Proc. SASN'04*. Washington, DC, USA, 2004; 29-42
- [3] Younis M F, Ghumman K, Eltoweissy M. Location-Aware Combinatorial Key Management Scheme for Clustered Sensor Networks [J]. *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*, 2006, 17(8): 865-882
- [4] Liu Fang, Rivera M J, Cheng Xiu-zhen. Location-aware Key Establishment in Wireless Sensor Networks [C] // *Proc. IWCMC'06*. British Columbia, Canada, 2006; 21-26
- [5] Ren Kui, Lou Wen-jing, Zhang Yan-chao. LEDS: Providing Location-aware End-to-end Data Security in Wireless Sensor Networks [C] // *Proc. INFOCOM*, 2006; 1-12
- [6] Stoleru R, He T, Stankovic J. Walking GPS: A practical solution for localization in manually deployed wireless sensor networks [C] // *Proc. 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*. Tampa, Florida, USA, 2004; 480-489
- [7] Mi Q, Stankovic J, Stoleru R. Secure Walking GPS: A secure localization and key distribution scheme for wireless sensor networks [C] // *Proc. the third ACM conference on wireless network security (WiSec'10)*. Hoboken, New Jersey, USA, 2010;

163-168

- [8] Eschenauer L, Gligor V D. A key-management scheme for distributed sensor networks [C] // *Proc. the 9th ACM Conference on Computer and Communication Security*. Washington, DC, USA, 2003; 41-47
- [9] Chan H, Perrig A, Song D. Random key pre-distribution schemes for sensor networks [C] // *Proc. the 2003 IEEE Symposium on Security and Privacy*. Berkeley, CA, USA, 2003; 197-213
- [10] Shan T, Liu C. Enhancing the key pre-distribution scheme on wireless sensor networks [C] // *Proc. the 3rd IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing*. Yilan, Taiwan, China: IEEE Computer Society, 2008; 1127-1131
- [11] Liu D, Ning P. Establishing pairwise keys in distributed sensor networks [C] // *Proc. the 10th ACM Conference on Computer and Communication Security*. Washington, DC, USA, 2003; 52-61
- [12] Du W, Deng J, Han Y, et al. A pairwise key pre-distribution scheme for wireless sensor networks [C] // *Proc. the 10th ACM Conference on Computer and Communication Security*. Washington, DC, USA, 2003; 42-51
- [13] Du W, Deng J, et al. A key management scheme for wireless sensor networks using deployment knowledge [C] // *Proc. the 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies*. Hong Kong, China, 2004; 586-597
- [14] Jr M A S, Barreto P S, et al. A survey on key management mechanisms for distributed Wireless Sensor Networks [J]. *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 2010, 54(15): 2591-2612