

A Novel DV-Hop Localization Algorithm *

JIANG Yusheng^{*}, FENG Yanhao

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A novel DV-Hop algorithm which is a rang-free location algorithm in WSNs and has more high accuracy is proposed. A weight is introduced into the algorithm to improve the average hop-distance, and then the calculated distance through using the average hop-distance will be closer to real distance. And then the anchor node teams which have better topology and are closer to the unknown node are selected through collinearity threshold NCD and hop threshold THD to estimate location and get a series of locations. Finally, the final coordinates can be got through using Centroid algorithm. Simulation results show that the novel DV-Hop algorithm can provide more accurate location estimation and without needing any additional hardware and the complexity of the algorithm is reduced.

Key words: wireless sensor networks; DV-Hop localization algorithm; average hop-distance; collinearity; localization accuracy

EEACC: 6150P

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2010.12.029

一种新的 DV-Hop 定位算法 *

江禹生^{*}, 冯砚毫

(重庆大学通信工程学院, 重庆 400044)

摘要:提出了一种新的基于非测距的 DV-Hop 高精度无线传感网节点定位算法。通过引入权重,改进计算未知节点平均跳距的方法,使计算出的平均跳距更加合理,用此平均跳距计算出的距离能更接近实际距离;通过引入共线性阈值 NCD 和跳数阈值 THD,选择拓扑关系好的且距离未知节点较近的锚节点组进行位置估计得出的一系列位置;最后通过质心算法得出最终的位置坐标。仿真结果表明新算法能在不需要任何额外硬件的支持下,在降低算法复杂度的同时,能提供比 DV-Hop 算法更精确的位置估计。

关键词:无线传感网;DV-Hop 定位算法;平均跳距;共线性;定位精度

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1004-1699(2010)12-1815-05

无线传感网是由部署在监测区域内大量的廉价微型并装备有低能耗收发器和有限数据处理能力的传感器节点通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络^[1-2]。在无线传感网中,节点位置信息是非常重要的。然而,由于传感器节点尺寸、能量和成本的限制,能有效地满足无线传感网定位精度要求的定位算法是节点定位技术的难点。近年来,越来越多的关于无线传感网的定位算法被提出来。现有的定位算法分为基于测距的和基于非测距的算法两类。基于测距的算法需要节点的测距信息(距离或角度),虽然通过测量获得的距离能够进行精确定位,但传感器节点需要装备用于作为测距的硬

件^[3-7];基于非测距的算法不需要任何特定硬件去获得距离信息,因此基于非测距的算法更经济有效,适用于大规模的无线传感网^[8-18]。

DV-Hop (Distance Vector-Hop) 算法是由 Niculescu and Nath^[12-13]在 Navigate 项目中提出的一种分布式基于非测距的定位算法。DV-Hop 算法的优势在于它的简单性和不依赖于测量误差的事实,但该算法存在定位精度不高的缺点。为了提高定位精度,已经有许多改进的 DV-Hop 算法^[9-11,16-20]被提出来,文献[17]介绍了一种加权 DV-Hop 算法,该算法通过计算距离权值而得出较精确的位置估计;文献[21]中提出了一种基于共线度的定位算法,文

项目来源:重庆市科技攻关计划重点资助项目(CSTS,2009AB2145)

收稿日期:2010-05-24

修改日期:2010-07-27

献[18]把文献[21]中提出的共线度引入到了 DV-Hop 中从而提出一种基于共线度的 DV-Hop 算法。尽管这些改进算法在某种程度上提高了定位精度,但大多数存在着定位精度提高幅度不大,或者是算法复杂度较高,或者是需要增加额外的硬件设备的缺点。本文在前人研究基础上,对 DV-Hop 定位算法做出进一步改进,提出一种新的 DV-Hop 算法,即引入权值改进计算平均跳距的方法,使其更加合理,利用拓扑关系对锚节点进行选取,最后用质心算法进行位置估计。该算法能够在不需要任何额外硬件的支持下,降低算法复杂度,减小定位误差。

1 DV-Hop 算法及其存在的不足

1.1 DV-Hop 算法

DV-Hop 算法由三部分组成^[12-13,16]。首先,利用典型的距离矢量交换协议使网络中所有节点获得距离锚节点的最小跳数。然后,计算网络平均每跳的距离(简称平均跳距),并将其作为一个校正值广播到整个网络,当未知节点收到这个值的时候计算出到锚节点的距离。最后,未知节点通过三边定位或多边定位计算它们的位置。

第1步 每个锚节点广播一个信标信息到整个网络中,此信标信息包含了一个初始化为1的跳数值。每个收到此信息的节点将保留它所收到的每个锚节点的所有信标信息中包含最小跳数值的信息,而丢弃较大值的信息。通过这种机制,网络中所有的节点将得到距离每个锚节点的最小跳数值。

第2步 一旦一个锚节点得到了距离其它锚节点的最小跳数值,它就估计网络中平均跳距,然后采用可控泛洪法将其值广播到整个网络中。当未知节点收到平均跳距和距离其它锚节点的跳数后,它们将用平均跳距乘以跳数从而估计出到它们所能收到的所有锚节点的距离。锚节点*i*用下面的公式估计平均跳距:

$$\text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{ij}} \quad (1)$$

这里 (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 是锚节点*i*和*j*的坐标, h_{ij} 是锚节点*i*和*j*之间的跳数。

每个未知节点将收到的第一个平均跳距值作为它的平均跳距并抛弃来自其它锚节点的其它平均跳距值。这样可保证大多数节点可接收获得第一个平均跳距值。这一步的最后,未知节点基于平均跳距和距离锚节点的最小跳数可计算出到锚节点的距离为:

$$d_{ij} = \text{HopSize}_i \times h_{ij} \quad (2)$$

这里 h_{ij} 是锚节点*i*和未知节点*j*之间的最小跳数

第3步 每个未知节点计算它的位置坐标。假设 (x, y) 和 (x_i, y_i) 分别是未知节点*D*和第*i*个锚节点位置坐标。用 d_i 表示第*i*个锚节点到未知节点*D*的距离,可得到下面的公式:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (3)$$

未知节点位置*X*可通过式(3)求得(此处*M*表示锚节点个数):

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ \vdots \\ (x_M - x)^2 + (y_M - y)^2 = d_M^2 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)可展开为

$$\begin{cases} x_1^2 - x_M^2 - 2(x_1 - x_M)x + y_1^2 - y_M^2 - \\ \quad 2(y_1 - y_M)y = d_1^2 - d_M^2 \\ \vdots \\ x_{M-1}^2 - x_M^2 - 2(x_{M-1} - x_M)x + y_{M-1}^2 - \\ \quad y_M^2 - 2(y_{M-1} - y_M)y = d_{M-1}^2 - d_M^2 \end{cases} \quad (5)$$

用矩阵形式,如下:

$$\mathbf{AX} = \mathbf{b} \quad (6)$$

此处

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_M) & 2(y_1 - y_M) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{M-1} - x_M) & 2(y_{M-1} - y_M) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_M^2 + y_1^2 - y_M^2 + d_M^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{M-1}^2 - x_M^2 + y_{M-1}^2 - y_M^2 + d_M^2 - d_{M-1}^2 \end{bmatrix}$$

*X*的最小二乘估计是

$$\bar{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (7)$$

1.2 DV-Hop 算法的不足

(1)平均跳距误差 在 DV-Hop 中,往往假设距离未知节点最近的锚节点能为其提供最精确的平均跳距,但事实上并非如此^[17],通过存在误差的平均跳距获得的节点间的距离会有很大的误差。

①如果在到其它锚节点最短路径上某些锚节点相距太近,就会严重影响平均跳距的精度。

②当有许多锚节点时,来自锚节点的平均跳距信息在很大程度上被浪费掉了。如果许多锚节点自身特有的平均跳距信息被浪费掉,也会严重影响平均跳距的精度。

(2)节点拓扑关系对定位精度的影响 一般来讲,未知节点选择的锚节点越多,估计的精度应该越高。但许多情况下并非如此。事实上,锚节点之间

的拓扑关系和锚节点与未知节点之间的拓扑关系在很大程度上将影响未知节点的定位^[18,21]。以 3 个锚节点为例:

①当三个锚节点几乎在一条直线上时,定位误差将会是很大的。

②当任何两个锚节点相距太近且它们又距离未知节点较远时,更容易导致较大的定位误差。

③当三个锚节点很接近时,且未知节点距离它们比较远时,无论它们组成什么三角形,将导致一个很大的定位误差。

2 新的 DV-Hop 算法

传统 DV-Hop 算法有 3 个阶段,新设计的算法也按 3 个阶段进行。

2.1 跳数计算

本阶段的目标是网络中的节点获得距离每个锚节点的最小跳数 s_i , 与传统 DV-Hop 算法相同。

2.2 平均跳距和权值的计算

所有节点获得平均跳距和距离锚节点的距离,按以下 3 步进行。

第 1 步:计算每个锚节点的平均跳距。

$$\textcircled{1} \text{HopSize}_{ij} = \frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}}{h_{ij}} \quad (8)$$

这里 (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 是锚节点 i 和 j 的坐标, h_{ij} 是锚节点 i 和 j 之间的跳数。 HopSize_{ij} 表示锚节点 i 和 j 之间的平均跳距。

$$\textcircled{2} \text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \text{HopSize}_{ij}}{N - 1} \quad (9)$$

这里 N 是锚节点的数量, HopSize_i ^[10,20] 表示锚节点 i 与所有其它锚节点间平均跳距求平均。

③然后,锚节点 i 计算锚节点 j 的平均跳距权值^[17]和锚节点 i 的平均跳距:

$$Wd_{ij} = 1 - \frac{(\text{HopSize}_{ij} - \text{HopSize}_i)^2}{r^2} \quad (10)$$

这里, r 是节点的通信距离。

$$\text{DHop}_i = \frac{\frac{1}{Wd_{ij}} \text{HopSize}_j}{\sum_j \frac{1}{Wd_{ij}}} \quad (11)$$

DHop_i 表示锚节点 i 的平均跳距。

④最后锚节点 i 广播 DHop_i 到网络中所有的节点。

第 2 步:第 1 步广播后,所有节点得到了所有锚节点的 DHop 。未知节点 i 计算锚节点 j 的距离权值 Wh_j 和平均跳距 HopSize 如下:

$$Wh_j = \frac{1}{h_{ij}} \quad (12)$$

$$\text{HopSize}_i = \frac{Wh_j}{\sum_k Wh_k} \text{DHop}_j \quad (13)$$

这里 N 是锚节点的数量, DHop_i 为锚节点 k 算出的平均跳距, h_{ij} 是未知节点 i 和锚节点 j 之间的最小跳数。

最后,通过 $s_i \cdot \text{HopSize}_i$ 求出距锚节点的距离。

2.3 位置估计

这一阶段计算未知节点的位置坐标。

(1) 共线性

文献[19]分析了锚节点拓扑关系对定位精度的影响,并为提高定位精度而提出了通过采用由锚节点组成的三角形的 3 个高中最小值作为判定 3 个锚节点是否共线的参数来选择合适的三角形组合;文献[18,21]不仅仅再次定义共线性的概念并且把锚节点拓扑关系引入到了多跳传感器网络中,其采用角度的余弦值中最大者作为三个锚节点是否共线的参数。事实上,三角形更多的基本参数是三角形的内部角。因此本文采用文献[18,21]中的判定方法,可以通过三角形余弦定律去获得:

$$C_A = \left| \frac{b_{C,A}^2 + b_{A,B}^2 - a_{B,C}^2}{2b_{C,A}c_{A,B}} \right| \quad (14)$$

$$C_B = \left| \frac{a_{B,C}^2 + c_{A,B}^2 - b_{C,A}^2}{2a_{B,C}c_{A,B}} \right| \quad (15)$$

$$C_C = \left| \frac{a_{B,C}^2 + b_{A,B}^2 - c_{A,B}^2}{2a_{B,C}b_{C,A}} \right| \quad (16)$$

A, B, C 代表了由锚节点 A, B, C 组成三角形的三个角。 $a_{B,C}, b_{C,A}, c_{A,B}$ 分别代表角 A, B, C 相对应的边。因此我们能立刻得到三个一组锚节点的共线性:

$$\text{NC} = \max\{C_A, C_B, C_C\} \quad (17)$$

三角形最小角的余弦值是判断是否共线的依据,它的范围是 0.5 到 1.0 (相应的角度是 0 到 60°)。通过共线性可以选择好的锚节点组去实现较精确的位置估计。

(2) 执行计算

计算过程有如下 4 步是必须的:

①未知节点收集所有锚节点的信息。

②随机选择三个锚节点为一组,计算每一组的 NC ,然后用小于或等于特定共线阈值的 NC 和小于或等于特定跳数阈值的跳数 TH 选择好的锚节点组。

③通过对选定的锚节点组使用三边定位法得到一系列的位置。

④通过质心算法处理第 3 步得到的一系列位置

得到最终的位置估计。

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{\sum_{j=1}^K \bar{x}_j}{K}, \frac{\sum_{j=1}^K \bar{y}_j}{K} \right) \quad (18)$$

在此, (\bar{x}, \bar{y}) 表示最终位置估计, (\bar{x}_j, \bar{y}_j) 表示第三步中求出的第 j 个位置, K 表示求出的位置总数。

这种机制可能会在改善定位精度的同时导致差的覆盖范围,但随着网络连接度和通信半径的改进,覆盖范围能很快增加到一个好的百分比。

3 仿真验证

为了验证新算法,仿真场景为在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域中随机部署 200 个传感器节点(其中锚节点暂定为 20)组成无线传感网,其通信半径暂定为 60 m。仿真中有两个阈值需要设定:NC 的阈值 NCD 和跳数(TH)阈值 THD。跳数阈值的设定通过使用被选定的三个锚节点距未知节点的跳数总和来设定。

如图 1 所示为节点分布图。图 2 是在 $\text{NCD} = 0.8, \text{THD} = 5$ 的条件下的误差分析图,此时通过 DV-Hop 算法得出的平均定位误差为 15.643 4,定位精度为 0.260 7;通过新的 DV-Hop 算法得出的平均定位误差为 11.585 6,定位精度为 0.193 1。由此可以很清晰地看出新的改进 DV-Hop 算法在定位误差和定位精度上要优于 DV-Hop 算法。

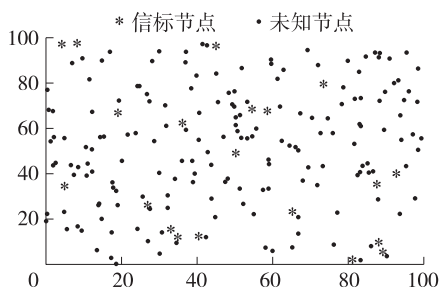


图 1 节点分布图

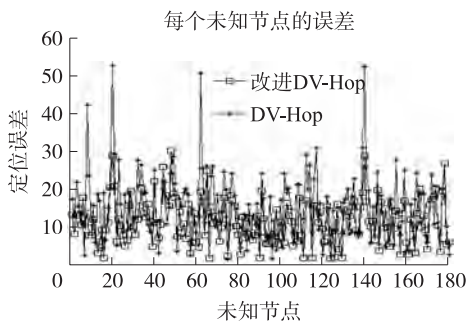


图 2 误差分析图(NCD = 0.8, THD = 5)

图 3 和图 4 分别给出了 NC 阈值和 TH 阈值对定位精度的影响。对于定位精度两个阈值的选择是

很关键的。当 THD 固定时, NCD 的选择将决定定位精度,如果 NCD 选的太小了将没有锚节点被选中用来定位,当选得太大时, NCD 就失去了应有的作用,只有选择恰当的 NCD 才能获得好的定位精度;相应的,当 NCD 固定时, THD 的选择也将是很重要的。

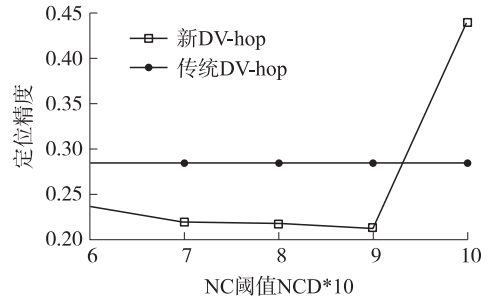


图 3 NC 阈值对定位精度的影响(THD = 5)

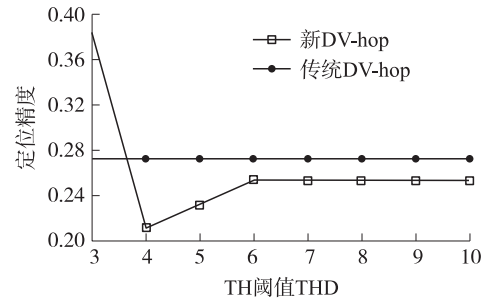


图 4 TH 阈值对定位精度的影响(NCD = 0.8)

图 5 和图 6 表示的是网络覆盖率。图 5 是当 NCD 为 0.9,通信半径为 15 时随跳数阈值 THD 的改变网络覆盖率的变化情况,可以看出随着跳数阈值的增加覆盖率也随着增加,当为 10 时达到 100%。图 6 是当 THD 为 5,通信半径为 15 时随着 NC 阈值的改变网络覆盖率的变化情况,当 $\text{NCD} = 1$ 时覆盖率最大 75%左右,最大也达不到 100%。由于覆盖率受到 NCD 和 THD 共同限制,只有当阈值选择合适时才能达到高的覆盖率和好的定位精度。通信半径也会对各方面的参数产生影响,当通信半径增加时覆盖率会相应的增加,但这同时造成大的能量消耗。

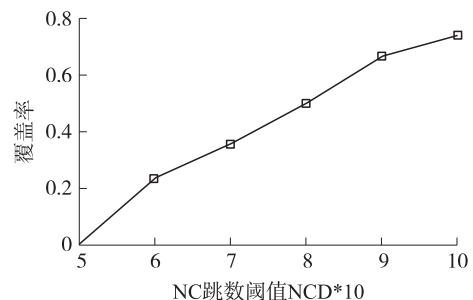


图 5 NC 阈值对网络覆盖率的影响(THD = 5, r = 15)

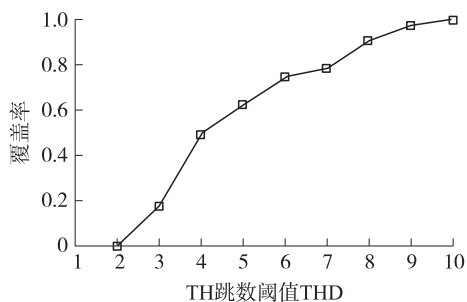


图 6 TH 阈值对网络覆盖率的影响($NCD=0.9, r=15$)

4 结论

本文基于传统 DV-Hop 算法,改进了计算平均跳距的方法,然后引入共线性再融合质心算法进行位置估计,实现了更精确的节点定位。实验仿真结果表明了新的 DV-Hop 算法的有效性和精确的位置估计。但是正如上述提到的由于两个阈值的引入可能导致较低的覆盖率。因此接下来的工作重点为设计引入一种有效的虚拟锚节点升级机制去提高覆盖率。

参考文献:

- [1] Sun L M, Li J Z. Wireless Sensor Network[M]. Beijing: Tsinghua University Publisher, 2005: 1-3.
- [2] Song W, Wang B, Zhou Y B. Technology and Application of Wireless Sensor Network[M]. Beijing: The Electronics Industrial Publisher, 2007: 2-6.
- [3] Shang Y, Ruml W, Zhang Y. Localization from Mere Connectivity [C]//Proc. of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. Anna-polis, USA: ACM, 2003: 201-211.
- [4] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA[C]//Proc. of the 22nd Annual Joint Conf of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'2003), 2003(3): 1734-1743.
- [5] 章坚武,张璐,应瑛. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报,2009,22(2):285-288.
- [6] 黄浩,卢文科. 无线传感器网络中基于锚节点反馈的多跳测距定位算法改进[J]. 传感技术学报,2009,22(2):269-272.
- [7] Savvides A, Han C C, Srivastava M B. Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors [C]//Proceedings of MOBICOM'01. 2001, Rome, Italy, July2001.
- [8] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5): 28-34.
- [9] 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.
- [10] Chen Hongyang, Karo Sezaki, Ping Deng. An Improved DV-Hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks [C]//IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA2008), 2008: 1557-1561.
- [11] 刘少飞,赵清华,王华奎. 基于平均跳距估计和位置修正的 DV-Hop 定位算法 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(8): 1154-1158.
- [12] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) [C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conf (GLOBECOM01), 2001: 2926-2931.
- [13] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks [J]. Journal of Telecommunications Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [14] 刘新华,李方敏,郑鹏. 一种分布式的无线传感器网络 Range-free 节点定位算法 [J]. 传感技术学报, 2008, 21(1): 154-157.
- [15] Tian Shuang, Zhang Xinming, Wang Xinguo. A Selective Anchor Node Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks [C]//Proc. of International Conference on convergence Information Technology (ICCIT'07), 2007: 358-362.
- [16] 丁江鹏,陈曙. 一种基于跳数比的无线传感器网络定位算法 [J]. 传感技术学报,2009,22(12):1823-1827.
- [17] Li Jian, Zhang Jianmin. A Weighted DV-Hop Localization Scheme for Wireless Sensor Networks [C]//Proc of the Eighth IEEE International Conference on Embedded Computing and IEEE International Conference on Scalable Computing and Communications, June, 2009: 269-272.
- [18] WU Lingfei, Meng Max Q H. An Improvement of DV-Hop Algorithm Based on Collinearity [C]//Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Information and Automation, 2009: 90-95.
- [19] Poggi C, Mazzini G. Collinearity for Sensor Network Localization [C]//Proceedings of 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 3040-3044.
- [20] Xiao Yi, Yu Liu, Lu Deng, et al. An Improved DV-Hop Positioning Algorithm with Modified Distance Error for Wireless Sensor Network [J]. 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, 2009: 216-218.
- [21] 吴凌飞,孟庆虎,梁华为. 一种基于共线度的无线传感器网络定位算法 [J]. 传感技术学报,2009,22(5):722-727.



江禹生(1961-),男,重庆市忠县人,重庆大学通信工程学院副教授,博士研究生。曾先后主持并完成了省部级及以上科研项目4项,主要研究方向为无线传感网理论与技术,宽带无线接入理论与技术,宽带移动IP技术等,jys@cqu.edu.cn;



冯砚毫(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络,514674@163.com。