

无线传感器网络节点定位的同心圆改进算法

姜志鹏 高随祥

(中国科学院研究生院数学科学学院 北京 100049)

摘要 定位技术是无线传感器网络的关键技术之一。同心圆定位方法是新近提出的一种精度较高的定位方法,未知节点根据锚节点广播的信息确定自己在以该锚节点为圆心的哪个圆环内,把若干包含自己的圆环的交集的质心估计为其位置。提出一种改进的同心圆定位方法,在原方法的基础上,利用相邻圆环内的未知节点间的通信减小包含未知节点的圆环的宽度,从而更精确地估计出了未知节点的位置。该方法只比原方法增加很少的能耗。同时仿真结果表明,该方法在理想环境和有干扰环境下其定位精度都明显高于原方法。

关键词 无线传感器网络,节点定位,定位算法,同心圆定位方法

Improved Version of Concentric Anchor Beacon Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks

JIANG Zhi-peng GAO Sui-xiang

(Department of Mathematical Sciences, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Localization is one of the key technologies for wireless sensor networks. Concentric Anchor Beacon proposed recently is a localization scheme with high precision. Each sensor node determines in which annular ring they are located within each anchor according to the broadcast information from the corresponding anchor. Each node uses the approximated center of intersection of the rings as its position estimate. This paper proposed an improvement for Concentric Anchor Beacon scheme. Based on the original algorithm, each sensor node can reduce the width of the annular ring they have determined through the broadcast information from the sensor nodes in the adjacent rings. So they can get a more accuracy position estimate than the original scheme. The improved scheme only needs to increase a little energy consumption than the original scheme. The simulation result shows that the improved scheme is more accuracy than the original scheme in an ideal environment or an interference environment.

Keywords Wireless sensor networks, Node localization, Localization algorithm, Concentric anchor beacon localization algorithm

1 引言

近年来,无线传感器网络技术受到越来越多的关注,应用范围和领域越来越广泛。定位技术是无线传感器网络的支撑技术之一。目前研究的无线传感器网络定位方法有多种分类,其中最主要的一种分类是基于测距的定位方法和基于非测距的定位方法。基于测距的定位方法定位精度高,但对传感器节点的硬件要求高,开销大。由于大多数无线传感器网络的应用对定位精度的要求并不高,因此出于成本和能耗等方面的考虑,人们更多的是采用非测距的定位方法对传感器节点进行定位。

目前,非测距定位技术主要有两大类方法:一种是距离估计法,即利用节点间跳数和连通度等信息来估计节点间的距离,然后用三边测量法、三角测量法或极大似然估计法等计算节点的位置,如 Amorphous^[5]算法、HCRL^[6]算法、DHL^[7]算法等。另一种是区域估计法,计算出包含未知节点的一个区

域,用该区域的质心来作为节点的位置,如质心算法、APIT算法、Bounding Box算法等。

在质心算法^[9]中,未知节点把自己的若干邻近锚节点组成的多边形的质心作为自己的位置估计。文献[2]对质心算法进行了改进,提出了一种密度自适应 HEAP 算法,通过在锚节点密度低的区域增加锚节点来提高定位精度。近似三角形内点测试法(APIT)^[3]首先确定多个包含未知节点的三角形区域,这些三角形区域的交集是一个多边形,它确定了更小的包含未知节点的区域;然后计算这个多边形区域的质心,并将质心作为未知节点的位置。文献[4]中提出了 Bounding Box 算法,该算法的基本思想是每个节点落在所有锚节点的 Bounding Box 的交集中。锚节点 b 的 Bounding Box 是中心在 (x_b, y_b) 、边长为 $2d_b$ 的正方形。

同心圆定位方法^[1]是新近提出的一种精度较高的区域估计定位方法,未知节点首先根据锚节点广播的信息确定自己在以该锚节点为圆心的哪个圆环内,若干包含该未知节点的

到稿日期:2008-11-27 返修日期:2009-03-05 本文受国家自然科学基金(10831006,10671024),中国科学院知识创新工程重要方向项目(kjcx-yw-s7)资助。

姜志鹏 男,博士生,主要研究方向为无线传感器网络定位技术,E-mail:jiangzhipeng06@mails.gucas.ac.cn;高随祥 男,教授,博士生导师,主要研究方向为网络最优化。

圆环的交集就是包含该未知节点的区域。本文提出一种改进的同心圆定位方法,利用未知节点间的通信来缩小包含未知节点的区域,从而提高了定位精度。该方法只比原方法增加很少的锚节点的能耗,而且每个未知节点增加的能耗也很小。仿真结果表明,该方法在理想环境和有干扰环境下都能有效地提高同心圆方法的定位精度。

2 同心圆定位方法

文献[1]中提出了节点定位的一种同心圆方法,用来确定包含未知节点的区域。其基本思想为:未知节点根据锚节点连续的不同功率的广播信息确定自己在以锚节点为圆心的哪个圆环内。当未知节点确定了两个或两个以上这样的圆环后,就以这些圆环的交集作为包含自己的区域。其具体过程为:

1)每个锚节点连续以不同的功率广播信标信号(该信号中包括该锚节点ID、该锚节点位置、当前的广播功率 P ,以及计算出来的广播半径)。具体方法如下:对任意锚节点,开始时该锚节点以功率 P_1 广播信标信号;之后,该节点以功率 P_2 广播信标信号;然后该节点以功率 P_3 广播信标信号。以此类推。

2)每个未知节点根据接收到的信号确定自己关于该锚节点的位置,具体如图1所示。圆环宽度为 R ,其中 R 可以根据初始的发送能量 P_1 计算出来。若某未知节点接收到含有能量信息 P_i, P_{i+1}, \dots, P_n 的信号(n 为该锚节点总共广播的不同能量信号的数量),而没有接收到含有能量信息 P_{i-1} 的信号,则它位于第 i 个圆环内。

3)若某个未知节点对3个以上锚节点得到上面的位置信息,则该未知节点计算这些位置区域的相交区域,并把该区域的质心坐标作为自己的估计位置坐标。如图2所示,浅灰色的区域为某未知节点估计自己相对于3个锚节点的位置。3个浅灰色区域的交集的质心位置即图中黑点的位置,就为该未知节点的估计位置。

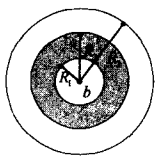


图1 同心圆模型

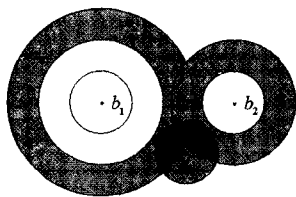


图2 三个圆环的交

3 同心圆定位方法的改进

3.1 基本思想

提高同心圆方法定位精度的基本方法是增加每个锚节点的广播次数,减小圆环宽度,但这样会明显增加锚节点的能耗。同时,圆环的宽度越小,定位精度受环境因素影响越大,因此这样提高同心圆方法的定位精度是不实用的。我们考虑另一种提高同心圆方法的定位精度的方法。其基本思想为:锚节点以由小到大的不同功率广播信标信号,未知节点首先确定自己在每个锚节点的哪个圆环内,然后未知节点广播精确化信息,每个未知节点根据收到的其他未知节点的精确化信息对自己之前确定的圆环再进行划分,划分为宽度更小的圆环,从而确定出更加精细的圆环的交集。

如图3所示,所有未知节点以半径 $\frac{R}{2}$ 广播精确信息时,

每个节点只能收到以自己为圆心、 $\frac{R}{2}$ 为半径的圆形区域内的节点广播的信息。于是,对于任一节点,有下面3种情况:

①位置如 u_1 的节点。若节点能够收到其所在圆环外层的圆环 a_2 内节点的广播信息,则可以利用这些信息对自己所在的圆环进行精确化,判断自己在原来所在圆环的外端一半圆环 c_1 中;

②位置如 u_2 的节点。若节点能够收到其所在圆环内部的圆环 a_1 内节点的广播信息,则可以利用这些信息对自己所在的圆环进行精确化,判断自己在原来所在圆环的内端一半圆环 c_2 中;

③如果某节点只能收到自己所在圆环内的节点的广播信息,则无法进行精确化,确定自己仍然在原来所在圆环内。

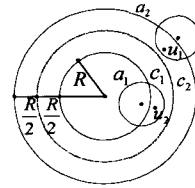


图3 节点区域精确化说明

3.2 节点位置区域的精确化过程

对某一锚节点,将自己编号为0。对每个未知节点,若该节点在这个锚节点的第 i 层同心圆环内(半径为 R_{i-1} 和 R_i 之间的圆环,若 $i=1$ 则为中间的圆),则将自己编号为 i 。

(1)给每个未知节点设置一个精确化标识符 f ,初始值为1。该标识符用来表示未知节点是否可以继续进行精确化。 $f=1$ 表示可以继续进行精确化, $f=0$ 表示不可以。给每个节点设置一个精确化次数 n ,初始值为0。

(2)若存在未知节点 $f=1$,则令所有 $f=1$ 未知节点和锚节点以半径为 $\frac{R}{2}$ 广播自己的编号信息。

(3)每个未知节点根据收到的其他节点广播的编号信息,按照下面的3种情况之一对自己相对于该锚节点的位置进行精确化:

①若编号为 $i(i=1,2,\dots)$ 的未知节点在时间 t 内接收到编号为 $i-1$ 的节点广播的信息,则该未知节点确定自己在第 i 层圆环的内一半圆环中,即在以该锚节点为圆心、半径为 $(i-1)R$ 和 $(i-1)R+\frac{R}{2}$ 的圆之间。如图3中($i=2$)区域 a_1 。同时该未知节点把自己的编号改为 $2i-1$,并令 $n=n+1$ 。

②若编号为 $i(i=1,2,\dots)$ 的未知节点在时间 t 内接收到编号为 $i+1$ 的节点广播的信息,则该未知节点确定自己在第 i 层圆环的外一半圆环中,即在以该锚节点为圆心、半径为 $(i-1)R+\frac{R}{2}$ 和 iR 的圆之间。如图3中($i=2$)区域 a_2 ;同时该未知节点把自己的编号改为 $2i$,并令 $n=n+1$ 。

③若编号为 $i(i=1,2,\dots)$ 的未知节点在时间 t 内既没有收到编号为 $i-1$ 的节点广播的信息,也没有收到编号为 $i+1$ 的节点广播的信息,则该未知节点对自己相对于该锚节点的位置估计保持不变,即仍然在第 i 层圆环内,并令 $f=0$ 。

令 $R=\frac{R}{2}$,重复步骤(1)、(2)、(3)。

当所有未知节点的 f 都为 0 后,算法中止。每个未知节点根据自己关于该锚节点的编号和精确化次数,确定自己关于该锚节点的相对位置。例如,若某个未知节点关于该锚节点的编号为 k ,精确化次数为 n ,该锚节点的初始发射半径为 R ,则该未知节点确定自己在以该锚节点为圆心、半径为 $(k-1)\frac{R}{2^n}$ 和 $k\frac{R}{2^n}$ 的圆之间。

3.3 节点位置区域的精确化过程

第一步 每个锚节点通过广播信息确定 3 层宽度为 R 的圆环,即所有锚节点分别以半径 R 、 $2R$ 和 $3R$ 连续进行广播。广播信息中包括锚节点自己的编号 b 、自己的坐标 (x_b, y_b) 和广播半径 r_b 。

第二步 每个未知节点根据收到的某一锚节点的广播信息,判断自己对于该锚节点的相对位置,并生成六元组 $(b, x_b, y_b, i_b, n_b, f_b)$ 。其中 b 为该锚节点编号; (x_b, y_b) 为该锚节点坐标; i_b 为未知节点在这个锚节点下的编号,等于这个锚节点确定的圆环的层数; n_b 为精确化次数,初值为 0; f_b 为未知节点在该锚节点下是否可继续进行精确化的标识($f_b=1$ 表示可继续精确化, $f_b=0$ 表示不能继续精确化),初值为 1。每个未知节点最多纪录自己关于 3 个不同锚节点的相对位置和相应的六元组。

第三步 所有记录了自己关于锚节点 b 的相对位置的未知节点,按照下面的算法对这个相对位置进行精确化:

```

r=R;
while 存在未知节点  $f_b=1$ 
     $r=\frac{r}{2}$ ;
if(1) 节点为锚节点  $b$ 
    广播编号 0;
else
    if(2)  $f_b=1$ 
        广播自己的编号  $i_b$ ;
    if(3) 收到编号为  $i_b+1$  的节点发来的信息
         $i_b=2i_b; n_b=n_b+1$ ;
    else if 收到编号为  $i_b-1$  的节点发来的信息
         $i_b=2i_b-1; n_b=n_b+1$ ;
    else
         $f_b=0$ ;
    end if(3)
end if(2)
end if(1)
end while

```

第四步 精确化结束后,每个未知节点得到了最新的六元组,记录了两个或 3 个六元组的未知节点可以进行定位。以 3 个为例,设某个未知节点分别记录了关于锚节点 b_1 、 b_2 和 b_3 的六元组。该未知节点可以按照下面的算法进行定位:

```

left =  $\max_k(x_{tk} - i_{tk} \times \frac{R}{2^{n_{tk}}})$ ;
right =  $\min_k(x_{tk} + i_{tk} \times \frac{R}{2^{n_{tk}}})$ ;
up =  $\min_k(y_{tk} + i_{tk} \times \frac{R}{2^{n_{tk}}})$ ;
down =  $\min_k(y_{tk} - i_{tk} \times \frac{R}{2^{n_{tk}}})$ ;
N=0; X_total=0; Y_total=0;
ys=down;

```

```

while(1)  $y \leq up$ 
     $xs=left$ ;
    while(2)  $x \leq right$ 
        if 坐标  $(xs, ys)$  在三个六元组确定的圆环的交集内
             $X_{total}=X_{total}+xs$ 
             $Y_{total}=Y_{total}+ys$ ;
             $N=N+1$ ;
        end if
         $xs=xs+d$ ; ( $d$  为步长,可以根据具体情况确定)
    end while(2)
     $ys=ys+d$ ;
end while(1)
该未知节点的坐标  $(x, y)$  为
 $x = \frac{X_{total}}{N}; y = \frac{Y_{total}}{N}$ 

```

4 算法性能分析

4.1 定位精度分析

4.1.1 理想的信号传播环境

在理想的信号传播环境下(无干扰),本文提出的方法对定位精度有明显改进。

我们用 matlab 进行仿真,仿真环境为:在 10×10 的方形区域内随机分布 1000 个节点,每个锚节点确定 3 层宽度为 1 的圆环(以自己为圆心,半径分别为 1、2 和 3 的圆确定的圆环)。

能够确定自己关于 3 个或 2 个不同锚节点的相对圆环位置的未知节点可以进行定位(无法确定 3 个的,确定 2 个也可以,只能确定 1 个的无法定位),该未知节点把这 3 个或 2 个圆环的交集的质心估计为自己的坐标。

我们分别对原方法和本文的改进方法进行仿真,共进行 20 次实验,锚节点比例从 5% 到 20%,每次增加 5%。分别计算出每次两种方法的平均定位误差(平均误差为所有可定位未知节点的定位误差的平均值)。

仿真结果如图 4(a)所示,图中横坐标表示锚节点占节点总数的百分比,纵坐标表示定位误差,实线为原方法的结果,虚线为使用改进方法的结果。从图中可以看出,本文提出的改进方法明显提高了定位精度。

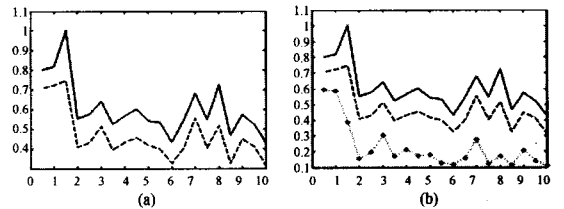


图 4 理想环境下的仿真结果

4.1.2 有干扰的信号传播环境

不利用未知节点间的通信信息,锚节点本身也可以进行精确化。锚节点可以通过改变广播半径和广播次数使它确定的每个圆环的宽度变小。在 4.1.1 节中的仿真环境下,让每个锚节点确定 12 层宽度为 $1/4$ 的圆环,这样也可以提高定位精度。仿真结果表明,在理想的信号传播环境下,这个方法也可以明显提高定位精度。如图 4(b)所示,图中实线和虚线的

(下转第 54 页)

[2] Tu Rui, Su Jinshu, Meng Zhaowei, et al. UCEN: User Centric Enterprise Network[C]// IEEE ICACT 2008. Phoenix Park, Korea, 2008; 66-71

[3] Meyer D. The Locator Identity Separation Protocol(LISP)[J]. The Internet Protocol Journal, 2008, 11(1): 23-36

[4] Meyer D, Fall K. Report from the IAB Workshop on Routing and Addressing. Internet Draft, 2006

[5] Andersen D, Kaashoek F, Morris R. Resilient Overlay Networks [C] // 18th ACM Symp. on Operating Systems Principles (SOSP). Banff, Canada, 2001; 131-145

[6] Ong L J Y. An Introduction to the Stream Control Transmission Protocol(SCTP). RFC 3286, 2002

[7] Nordmark E M B. Shim6: Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6. Internet Draft, 2008

[8] S 'ebastien Barr 'e O B. Improved Path Exploration in shim 6 - based Multihoming[C]//SIGCOMM 2007 Workshop "IPv6 and the Future of the Internet". 2007; 61-68

[9] Farinacci D, Hanks T L S, Mayer D, et al. Generic Routing Encapsulation(GRE). RFC 2784, 2000

(上接第 48 页)

意义与(a)相同,星号点线表示用锚节点自身提高定位精度的方法的结果。

但是实际中理想的信号传播环境是不存在的,信号传播会受到外界环境的干扰。干扰有时可能很强,在通信半径内的节点可能会收不到发射节点发出的信号。这时就会出现图 5 的情况,图中在不规则的实线圆环内的节点会根据收到的锚节点的广播信号确定自己的相对位置在虚线的规则圆环内。

这种情况对定位精度影响较大,特别是当锚节点确定的圆环宽度较小、圆环较多时,对定位精度影响会很大。这时,用锚节点自身进行精确化的方法会得到更大定位误差。而我们的方法有很好的稳定性,可以有效地避免传播环境的干扰对定位的影响。在 4.1.1 节中的仿真环境下,增加信号传播的干扰因素,再次进行仿真,得到的结果很好地证明了这一点。仿真结果如图 6 所示。

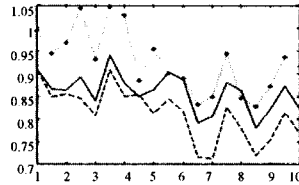
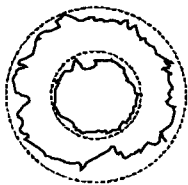


图 5 有干扰条件下的同心圆模型 图 6 有干扰环境下的仿真结果

4.2 能量分析

传感器节点以半径为 r 广播消耗的能量为 $E = cr^k$, $2 \leq k \leq 4$ 。其中 c 为系数,与广播数据量等参数有关。因此,若锚节点的初始发射半径为 R ,则对于某一锚节点精确化次数为 n 的未知节点在精确化过程中消耗的总能量为

$$E = \sum_{j=1}^n c \cdot \left(\frac{R}{2^j}\right)^k \leq c \cdot \left(\sum_{j=1}^n \frac{R}{2^j}\right)^k \leq c \cdot \left(\sum_{j=1}^{\infty} \frac{R}{2^j}\right)^k = c \cdot R^k$$

设每个锚节点初始时确定 3 个宽度为 R 的圆环,则每个锚节点确定这 3 个圆环消耗的能量为 $E = c \cdot R^k + c \cdot (2R)^k + c \cdot (3R)^k \geq 14cR^k$ 。如果由锚节点自身进行精确化,将每个圆环的宽度变为原来的 $1/3$,确定 9 个宽度为 $\frac{R}{3}$ 的圆环,则每个

锚节点确定这 9 个圆环消耗的能量为 $E' = \sum_{j=1}^9 c \cdot \left(j \cdot \frac{R}{3}\right)^k \geq 30cR^k$,比初始消耗的能量多了 $16cR^k$ 。如果确定的圆环的宽度变得更小,如圆环的宽度变为原来的 $1/6$,则要消耗更多的能量。这样锚节点在定位结束后就耗尽能量而失效。如果锚节点在网络中所占比例比较大的话,则锚节点的失效会影响

整个网络的性能。

结束语 节点位置区域估计方法是一类重要的无线传感器网络定位非测距定位方法。同心圆定位方法是新近提出的具有代表性的一种区域定位方法。本文提出一种改进的同心圆定位方法,在原方法的基础上,利用相邻圆环内的未知节点间的通信减小包含未知节点的圆环的宽度,从而更精确地估计出了未知节点的位置。该方法只比原方法增加很少的能耗,同时在理想环境和有干扰环境下其定位精度都明显高于原方法。

参考文献

[1] Vivekanandan V, Wong V W S. Concentric anchor beacon localization algorithm for wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(5): 2733-2744

[2] Bulusu B, Heidemann J, Estrin D. Density adaptive algorithm for beacon placement in wireless sensor networks[C]// IEEE ICDCS'01. Phoenix, AZ, April 2001

[3] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization scheme for large scale sensor networks[C]// Proc. 9th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. San Diego, CA, 2003; 81-95

[4] Savvides A, Han C-C, Srivastava M B. Dynamic fine-grained localization in adhoc networks of sensors[C]// Proceedings of the 7th Annual Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2001; 166-179

[5] Nagpal R. Organizing a global coordinate system from local information on an amorphous computer[R]. AI Memo 1666. MIT AI Laboratory, August 1999

[6] Yang Sungwon, Yi Jiyoung, Cha Hojung. HCRL: A Hop-Count-Ratio based Localization in Wireless Sensor Networks[J]. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2007, 18(21): 31-40

[7] Wong Sau Yee, Lim Joo Ghee, Rao S V, et al. Density-aware Hop-Count Localization (DHL) in Wireless Sensor Networks with Variable Density[C]// Wireless Communications and Networking Conference. Volume 3. March 2005; 1848-1853

[8] Stojmenovic I. Handbook of Sensor Networks—Algorithms and Architectures[M]. a john wiley & sons, inc. , publication

[9] 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

[10] 陈文萍. 无线传感器网络节点的协同定位策略[J]. 计算机科学, 2007, 34(9): 97-101