

## 单个锚节点的路径规划机制及定位方法研究

王茂臣<sup>1</sup>, 樊秀梅<sup>2</sup>

(1. 天津科技大学计算机科学与信息工程学院, 天津 300222; 2. 北京理工大学计算机学院, 北京 100081)

**摘要:** 为使锚节点在定位中距离待定位节点更近, 从而更精确定位, 提出单个锚节点的禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制. 该机制充分利用待定位节点的分簇信息, 优先将簇头点作为锚节点移动的目标点. 针对单个锚节点在路径规划机制下的移动, 提出利用 RSSI 测距与 AOA 角度定位相结合的定位方法. 仿真结果表明: 与禁忌搜索路径规划机制相比, 该机制可以使待定位节点与距其最近的信标点的距离更短; 与质心定位算法和 DV-HOP 定位算法相比, 本文方法的定位精度和定位时间都有很大提高.

**关键词:** 无线定位; 单个锚节点; 路径规划; 分簇

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2013)02-0074-05

## Research on Path Planning Mechanism and Location Method Using a Single Anchor Node

WANG Maochen<sup>1</sup>, FAN Xiumei<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China; 2. School of Computer, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to make the anchor node closer to the nodes to be positioned so as to acquire more precise positioning, a dynamic path planning mechanism was designed using a single anchor node, which combines tabu search and clustering. Clustering information of the nodes to be positioned was taken full advantage of by the mechanism, and the cluster head was taken as a prior target point of the anchor node. For the movement of an anchor node based on the dynamic path planning mechanism proposed in this paper, a combining positioning algorithm was proposed which combines the multi-power circle using RSSI measurement and AOA angle positioning technology. Simulation results show that, compared with the path planning mechanism of tabu search, the new mechanism can make nodes to be positioned closer to their closest anchor nodes. The positioning accuracy and time are greatly improved compared with centroid positioning algorithm and DV-HOP algorithm.

**Key words:** wireless location; a single anchor node; path planning; clustering

节点定位技术是无线传感器网络技术中的关键技术之一, 正确定位是传感器网络中节点确定感知的事件发生位置的前提. 节点定位一般是已知锚节点的位置信息, 通过测量其与待定位节点的距离或者跳数信息, 或者通过确定待定位节点的所在区域来实现定位. 为提高定位精度, 降低定位成本, 利用少量甚至单个锚节点在待定位节点的区域中进行移动来获得待定位节点的位置信息, 研究人员已经进行了许多

基于移动锚节点的路径规划机制与定位算法研究.

锚节点的路径规划机制按照路径是否预先设定可以分为静态路径规划和动态路径规划. 静态路径规划是指锚节点的移动路径预先设定, 在定位过程中移动路径不再改变. Koutsouilas 等<sup>[1]</sup>提出了 SCAN、Double-SCAN 及 HILBERT 的静态路径规划机制, 适用于在节点分布均匀的情况下对节点进行定位, 但是存在信标点共线性的问题. Huang 等<sup>[2]</sup>通过引入 S 型

收稿日期: 2012-11-06; 修回日期: 2013-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272509)

作者简介: 王茂臣(1987—), 男, 山东济南人, 硕士研究生; 通信作者: 樊秀梅, 教授, xmfan@sina.com.

路径代替直线路径,解决了信标点共线性的问题,但是仍然只适用于节点分布均匀的情况。

由于静态路径规划机制的锚节点移动路径预先设定,无法适应节点无规则分布的情况。西南交通大学的梁甲金<sup>[3]</sup>提出单个移动锚节点的动态路径规划机制,即禁忌搜索路径规划机制,使锚节点可以根据未知节点的分布情况实时改变移动路径。

在单个移动锚节点的定位机制中,将锚节点的停留点作为信标点,信标点距离待定位节点越近,定位就会越准确。本文在禁忌搜索路径规划机制的基础上引入分簇机制,提出单个移动锚节点的禁忌搜索与分簇相结合的动态路径规划机制。如果多个待定位节点之间距离较近,可以作为一簇,锚节点根据分簇信息确定簇头作为锚节点的目标点,即优先选择从一群集中点的中心通过,从而在尽量不增加锚节点移动距离的情况下,缩短锚节点与待定位节点的距离,提高定位的精度。

针对单个移动锚节点在禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制下移动,本文还研究了利用 RSSI 测距<sup>[4]</sup>与 AOA 角度测量<sup>[5]</sup>相结合的定位方法,该方法可以定位全部的待定位节点,定位误差小于常用的质心算法<sup>[6]</sup>和 DV-HOP 算法<sup>[7]</sup>。

## 1 禁忌搜索与分簇相结合路径规划机制

禁忌搜索路径规划机制的基本思想是假定移动锚节点比未知节点的通信距离远,以网络中任意未知点作为起始点向未知节点移动,其传播半径  $2/3$  范围内的节点划入禁忌集,禁忌集以外的传播范围内的节点为边缘节点。边缘节点将自己通信范围内的禁忌集以外的未知节点的数量作为自己的权重,锚节点将自己的运动前方权重最大的点作为自己的移动目标,如果在运动前方找不到边缘点,就将禁忌集中的次优节点作为移动的目标点,从而使锚节点移动较短的距离覆盖尽量多的未知节点,减少了系统开销。

### 1.1 禁忌搜索与分簇相结合路径规划

单个锚节点的禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制的算法步骤是:

(1) 在锚节点进入未知区域进行定位之前,未知节点之间相互通信以确定簇头。设簇半径为  $R$ ,每一个节点计算周围  $R$  半径范围内的未知节点的数量。若某节点的周围节点数量多于规定的数量  $n$ ,则分成一簇,此节点作为簇头。将所有簇头节点按照各

簇内节点数量从多到少进行排序,并放入节点矩阵  $g$  中。在两个簇交叉的情况下,保留节点数量多的簇的簇头。选择簇头的程序伪代码如下:

```
while g 不为空
    i = 1 // g 中的数量最多的节点的编号
    cutou = cutou + g(i) // 将 g 中第一个节点的坐标放入簇头集合 cutou 中
    for j = 2: shuliang // shuliang 为 g 中簇头节点的数量
        dis = distance(g(i), g(j)) // 求出剩余节点与第一个节点的距离
        if dis <= 2*R
            g = g - g(j) // 将 g(j) 点从 g 中删除
        end
    end
    g = g - g(i) // 将 g(i) 点从 g 中删除
    shuliang = size(g)
end
```

经过以上程序处理后  $cutou$  中便包含了所有节点数量最多且不交叉的簇的簇头节点。

(2) 确定禁忌集与边缘集。锚节点进入要定位的区域,将锚节点传播半径范围内距离锚节点较近的一定区域内的节点放入禁忌集,禁忌集以外的覆盖范围内的节点为边缘节点。为了既能够将锚节点前方的节点放入禁忌集,又能够保证边缘集中有足够可选的边缘点作为目标点,应该使禁忌集与边缘集面积相差不大,可以将锚节点传播半径的  $2/3$  区域内的节点划入禁忌集<sup>[3]</sup>。

(3) 选择运动方向前方(即与前进方向的方向向量夹角不超过  $90^\circ$  的区域)的边缘节点作为目标点。如图 1 所示,锚节点在  $b$  点,锚节点的前进方向为正右方,为了不重复覆盖已经经过的区域,应该选择右侧的点作为目标点,如图中的  $a$  点。这些可能目标点与锚节点形成的方向向量与原运动方向的夹角最大为  $90^\circ$ 。

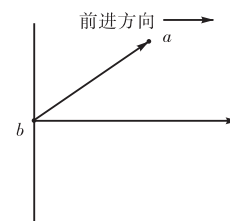


图 1 锚节点的运动方向说明图

Fig. 1 Diagram of the movement of the anchor node

(4) 确定簇头点作为锚节点移动的目标点. 先在 *cutou* 中剔除已经被锚节点覆盖的簇头节点. 对 *cutou* 中剩余的簇头点, 按顺序计算其分别与搜索到的前进方向范围内的每一个边缘点的距离. 如果 *cutou* 中有簇头点与前进方向范围内的某一个边缘点的距离小于或等于  $R$ , 则将其作为一个可能的目标点. 如果有两个或两个以上这样的簇头节点, 则将簇内节点数量最多的簇头点作为锚节点移动的目标点; 如果多个簇头节点的簇内节点数量最多且相同, 则将它们坐标的平均值作为锚节点移动的目标点.

(5) 如果边缘集内没有簇内点, 则按照一般禁忌搜索的方法将在边缘节点通信范围内但在锚节点禁忌集之外的节点数量作为每个边缘节点的权重, 权重最大的边缘节点作为锚节点的运动目标. 如果有多个边缘节点的权重最大且相同, 则取这些边缘节点坐标的平均值作为锚节点移动的目标点.

(6) 如果没有合适的边缘节点, 则将当前锚节点禁忌集中的节点划入边缘集, 重复(3)、(4)、(5)步骤.

(7) 如果禁忌集中也没有合适的节点作为目标点, 则沿原方向继续向前移动一定距离  $k$ , 然后重复(2)、(3)、(4)、(5)步骤.

(8) 如果锚节点在没有覆盖设定的节点数量之前已要移动出设定的区域, 则假定剩余的节点坐标的平均值为下一步移动的目标点, 向该目标点移动  $2k$  距离, 以防止锚节点进入网络区域外时一直向前运动而形成死循环.

将锚节点在步骤(7)、(8)发生的移动称为锚节点的“自救”移动.

### 1.2 禁忌搜索与分簇相结合路径规划仿真实验

采用 Matlab7.10 软件进行仿真. 根据经验<sup>[3]</sup>, 禁忌搜索路径规划机制和禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制都比较适用于待定位节点分布相对集中的区域, 而不适合于待定位节点均匀分布的情况. 为了减少回环路径造成的巨大误差, 在  $200\text{ m} \times 200\text{ m}$  的网络区域内选定一“C”型区域, 如图2所示. 利用函数 *rand* 随机生成的待定位节点分布于“C”型区域.

设待定位节点个数为  $N$ , 移动锚节点的通信距离为  $R_m = 60\text{ m}$ , 待定位节点的通信半径为  $R_1 = 40\text{ m}$ , 簇半径为  $R = 20\text{ m}$ ,  $k = 10\text{ m}$ . 每个簇的簇头周围最少的节点数量  $n = 5$ , 初始坐标为  $(200, 0)$ .

取待定位节点个数分别为 80、100、120、140、160、180、200. 利用 Matlab 随机生成函数 *rand* 各随

机生成 50 次待定位节点网络.

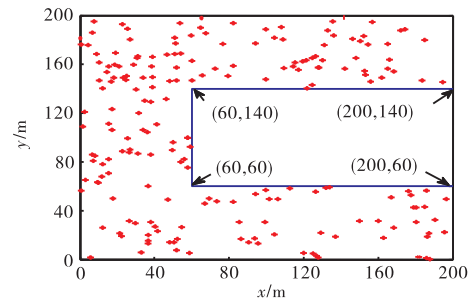
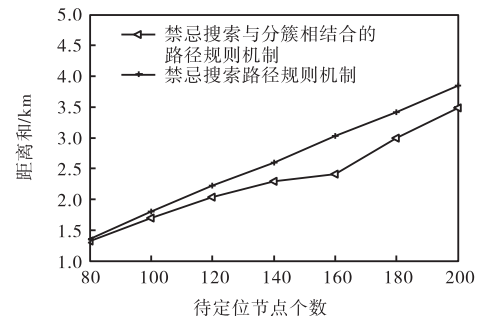


图2 节点分布示意图

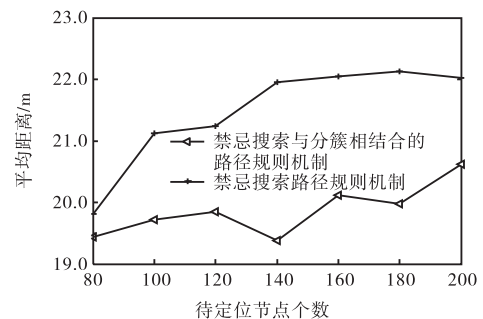
Fig. 2 Diagram of node distribution

虽然设定待定位节点的分布区域为“C”型区域, 但是因为待定位节点随机分布, 要定位所有的节点, 锚节点的移动路径仍会有很多回环, 造成结果无效. 所以假定最终未定位的节点的数量不能等于或多于待定位节点总数的 20%.

记录分别用禁忌搜索路径规划和禁忌搜索与分簇相结合路径规划机制覆盖这些节点时, 每一个待定位节点与距其最近的信标点的距离和与平均距离, 并剔除因为锚节点发生“自救”移动而使路径回环严重时的结果, 求  $N$  为每一个数值时距离和与平均距离平均值, 结果见图3.



(a) 待定位节点与距其最近的信标点的距离和



(b) 待定位节点与距其最近的信标点的平均距离

图3 两种路径规划机制仿真结果比较

Fig. 3 Comparison of simulation results using two different planning mechanisms

从图中可以直观的看出,在待定位节点数量少时,两种规划机制下的结果相差不大.随着待定位节点的数量增多,本文提出的禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制优势明显.主要是因为,节点数量较多时簇的数量较多,锚节点可以有更多机会选择簇头作为目标点,使锚节点从节点群的中心经过,锚节点经过的信标点距离待定位节点更近,从而锚节点对待定位节点的观测更精确.

## 2 RSSI测距与AOA角度测量相结合的定位方法

### 2.1 原理

RSSI测距与AOA角度测量方法相结合定位方法的原理如图4所示.

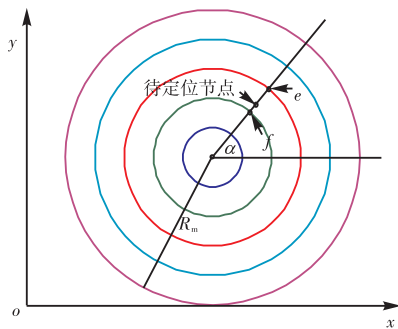


图4 RSSI测距与AOA角度测量相结合的定位示意图

Fig. 4 Combination positioning schema of RSSI measurement and AOA angle positioning

锚节点在圆心位置,假定锚节点的天线测量角度没有误差,RSSI测距不产生误差,待定位节点总是可以直接或间接向锚节点发送信号.锚节点依次向周围发送功率不断增大的信号,功率小的传播距离近,功率大的传播距离远.图中不同半径的圆表示各种功率的信号的传播范围.且这些探测信号的半径是按从小到大依次等大小递增,将锚节点的覆盖半径 $R_m$ 等分成 $p$ 份.待定位节点能够接收到刚刚超过其与锚节点的距离的功率圆信号,待定位节点将这个信号发送给锚节点.锚节点根据信号可以知道待定位节点的距离介于两个功率圆半径之间.锚节点利用AOA技术测得锚节点到待定位节点的方向角度为 $\alpha$ ,可以计算出经过锚节点沿此方向的射线与距离待定位节点最近的两个功率圆的交点 $e$ 与 $f$ .

设 $l$ 为两个相邻功率圆的半径差, $(x, y)$ 为图4中圆心坐标, $e$ 的坐标为 $(x_e, y_e)$ , $f$ 的坐标为 $(x_f, y_f)$ ,

待定位的节点坐标设为 $(x_o, y_o)$ ,则有

$$l = R_m / p \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_e = x + p_e l \cos \alpha \\ y_e = y + p_e l \sin \alpha \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_f = x + p_f l \cos \alpha \\ y_f = y + p_f l \sin \alpha \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_o = 1/2(x_e + x_f) \\ y_o = 1/2(y_e + y_f) \end{cases} \quad (4)$$

通过以上公式可以求得 $e, f$ 两点的中点坐标,作为待定位节点的估计坐标.

### 2.2 仿真实验

假定 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 区域分布着200个待定位节点, $R_m = 60\text{ m}$ , $R_1 = 40\text{ m}$ , $R = 15\text{ m}$ , $n = 3$ , $k = 10\text{ m}$ .将锚节点的每一个目标点作为一个固定的锚节点.锚节点以禁忌搜索与分簇相结合的路径规划机制移动.在待定位节点随机分布的情况下进行50次仿真,测得质心定位算法、DV-HOP算法与本文方法各自的误差、定位节点数及定位所需时间,并分别求平均值,结果见表1.

表1 不同定位方法的结果比较

Tab. 1 Comparison of different positioning methods

定位算法	定位节点个数	误差/m	定位时间/s
质心算法	51	11.058	0.013 2
DV-HOP	187	43.472	0.583 0
本文方法	187	3.010	0.007 4

从表中可以看到质心定位算法定位的节点数量较少,主要是因为可作为信标点的锚节点经过点的数量少,所以可定位的节点数量较少,计算量下降,用时较少. DV-HOP算法虽然将锚节点覆盖的节点都定位了,但是定位误差大,且定位所需时间较长,主要是因为算法所需循环较多,复杂度较高.

在不考虑RSSI测距误差和AOA测角度误差的情况下,相比较质心定位算法和DV-HOP算法,本文方法的定位误差要小;而且实现对所有锚节点覆盖节点定位的用时最少,主要是因为其依靠定位设备进行定位,算法中循环少,复杂度低.

## 3 结 语

本文提出了禁忌搜索与分簇相结合路径规划机制,可以使锚节点在覆盖待定位节点时距待定位节点

更近,便于锚节点对待定位节点的观测.对于单个锚节点的节点定位问题,本文提出了RSSI测距与AOA角度测量相结合的方法,可以实现对所有锚节点所覆盖节点的定位,且定位精度很高.但是,这种节点定位方法是在不考虑RSSI测距误差和AOA测角度误差的情况下得到的,还需要结合实际进行检验和改进.

#### 参考文献:

- [1] Koutsouilas D, Das S M, Hu Y Charlie. Path planning of mobile landmarks for localization in wireless sensor networks[J]. Computer Communication, 2007, 30(13): 2577-2592.
- [2] Huang Rui, Gergely V Z. Static path planning for mobile beacons to localize sensor networks[C]//Proceeding of the 5th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. Piscataway: IEEE, 2007: 323-330.
- [3] 梁甲金. 基于移动锚节点的无线传感器网络定位技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2010.
- [4] Wu R H, Lee Y H, Tseng H W, et al. Study of characteristics of RSSI signal[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. Piscataway: IEEE, 2008: 1-3.
- [5] Niezgoda G H, Ho K C. Geolocalization by combined range difference and range rate difference measurements[C]// Proceedings of the IEEE international Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Piscataway: IEEE, 1994: 357-360.
- [6] Bulusu, N Heidemann J, Estrin D, et al. GPS-less low cost outdoor location for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [7] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks[J]. Telecommunication Systems, 2003, 22(1): 267-280.

责任编辑:常涛