



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102209382 A

(43) 申请公布日 2011. 10. 05

(21) 申请号 201110129034. 7

(22) 申请日 2011. 05. 18

(71) 申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区 2 号大街

(72) 发明人 王建中 蔡优笔 王瑞荣 薛安克 葛铭

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 杜军

(51) Int. Cl.

H04W 64/00 (2009. 01)

H04W 84/18 (2009. 01)

H04B 17/00 (2006. 01)

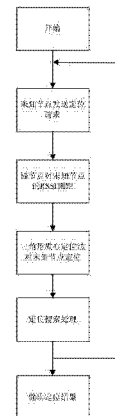
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法。传统的方法精度不高, 容易受环境的干扰。本发明方法在 RSSI 值读取方面, 使用高斯分布函数模型选择有效 RSSI 值, 一定程度上去掉了 RSSI 测量时的小概率事件, 提高了节点间 RSSI 值的精确度; 采用三角形定位法得到未知节点的坐标, 并通过未知节点的分布概率模型对未知节点循环求精, 找出其中分布概率最大的一个点作为最终的定位坐标。本发明引入锚节点与锚节点之间的信号强度和距离信息作为参考, 通过未知节点的分布概率模型找出未知节点坐标, 提高了未知节点与锚节点之间的测距精度和定位精度, 且不易受环境干扰。



1. 一种基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法,其特征在于该方法包括如下步骤:

步骤 1: 建立数组 Beacon_val_i[], 用来保存锚节点 B_i 接收到的未知节点 M 的信号的 RSSI 值;

步骤 2: 计算数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的均值 m ,

$$m = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r x_k \quad (1)$$

其中 x_k 为数组 Beacon_val_i[] 中第 k 个 RSSI 值, r 为数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的个数;

计算数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的方差 σ^2 ,

$$\sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (x_k - m)^2 \quad (2)$$

建立高斯分布函数模型 $F(x)$,

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

以及条件式

$$a \leq F(x) \leq 1$$

其中 a 为高斯分布函数模型的临界点;

对数组 Beacon_val_i[] 中的每个 RSSI 值代入高斯分布函数模型计算, 认定 $a \leq F(x) \leq 1$ 的 RSSI 值为数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值; 建立数组 Beacon_val_effective_i[], 用来保存数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值, 计算数组 Beacon_val_effective_i[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_i$;

步骤 3: 建立数组 Beacon_val_ij[], 用来保存锚节点 B_i 接收到的锚节点 B_j 的信号的 RSSI 值;

步骤 4: 对数组 Beacon_val_ij[] 中的每个 RSSI 值代入步骤 2 所述的高斯分布函数模型计算, 得到数组 Beacon_val_ij[] 中的有效 RSSI 值; 建立数组 Beacon_val_effective_ij[], 用来保存数组 Beacon_val_ij[] 中有效的 RSSI 值; 计算数组 Beacon_val_effective_ij[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_{ij}$;

步骤 5: 以 d_{ij} 表示锚节点 B_i 和 B_j 之间的距离, d_{iM} 表示未知节点 M 和锚节点 B_i 之间的距离, 则无线信号的对数与距离路径损耗模型为

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (4)$$

其中 $P_L(d)$ 为无线信号经过路径 d 后的路径损耗, $P_L(d_0)$ 为无线信号经过路径 d_0 后的

路径损耗, n 为路径损耗系数, d 为发射节点与接收节点之间的距离, d_0 为参考距离, X_e 为均值为 0, 标准差为 σ 的高斯分布;

对式(4)作同等变换得:

$$P(t) - RSSI = P(t) - A + 10n \lg \frac{d}{d_0} + X_e \quad (5)$$

其中 $P(t)$ 为发射节点的信号强度, A 为距发射节点距离为 d_0 时的无线信号强度;

将步骤 2 和步骤 4 所得的 $RSSI_i$, $RSSI_j$, 未知节点 M 与锚节点 B_i 之间的距离 d_i , 锚节点 B_i 与锚节点 B_j 之间的距离 d_{ij} 代入式(5), 取 $d_0 = 1$ 米, 得:

$$RSSI_i = A - 10n \lg(d_i) \quad (6)$$

$$RSSI_j = A - 10n \lg(d_{ij}) \quad (7)$$

其中 A 为与发射节点距离为 1 米时, 即 $d_0 = 1$ 米时的无线信号强度;

由公式(6)得:

$$d_i = \frac{1}{\frac{RSSI_i}{A}} \times 10^{\frac{A}{10n}} \quad (8)$$

由公式(7)得:

$$d_{ij} = \frac{1}{\frac{RSSI_j}{A}} \times 10^{\frac{A}{10n}} \quad (9)$$

$$\text{所以 } 10^{\frac{A}{10n}} = 10^{\frac{RSSI_j}{10n}} \times d_{ij} \quad (10)$$

将公式(10)代入公式(8)得:

$$\text{未知节点 } M \text{ 与锚节点 } B_i \text{ 之间的距离 } d_i = 10^{\frac{RSSI_j - RSSI_i}{10n}} \times d_{ij}$$

步骤 6: 选择三个最小的 d_i 以及对应的锚节点 B_i , 即寻找三个距离未知节点最近的三个锚节点, 运用三角形质心定位法得到未知节点的坐标 $M(x_0, y_0)$;

步骤 7: 建立未知节点的分布概率模型, 得到未知节点在无线传感器网络中每个位置的分布概率;

$$P(x, y) = \sum_{i=1,2,3} \frac{n}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left[-\frac{(\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - r_i)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (11)$$

其中, $P(x, y)$ 是未知节点在无线传感器网络中 (x, y) 处的分布概率, (x_i, y_i) 是第 i 个锚节点的坐标信息, r_i 是未知节点到第 i 个参考节点的距离, σ_0 是功率测量误差方差;

步骤 8: 以步骤 6 所得的未知节点定位坐标 $M(x_0, y_0)$ 为初始位置、以 L_1 为步长进行定

位搜索处理,根据步骤7所述的分布概率分别计算坐标 (x_0, y_0) , $(x_0 + L_1, y_0)$, $(x_0, y_0 + L_1)$, $(x_0 - L_1, y_0)$, $(x_0, y_0 - L_1)$ 的分布概率,并找出分布概率最大的坐标作为此次的定位结果,记为 (x_1, y_1) ;

步骤9:以步骤8获得的未知节点的第一次定位结果 (x_1, y_1) 为初始位置、以 L_2 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第二次定位结果 (x_2, y_2) ,其中: $L_2 < L_1$;

步骤10:重复步骤9,以第(N-1)次的定位位置为初始位置、以 $L_n < L_{n-1}$ 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第N次定位位置;当第N次定位结果与第(N-1)次定位结果相同时,停止定位搜索,并将第N次定位结果作为待测节点的最终位置结果。

一种基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线传感器网络技术领域,具体是一种基于 RSSI (Received Signal Strength Indication, 接收信号强度指示)的无线传感器网络节点定位方法。

背景技术

[0002] 在无线传感器网络中,位置信息对无线传感器网络的监测活动至关重要,没有位置信息的数据是毫无意义。例如目标监测与跟踪、智能交通、物流管理等许多应用都要求网络节点预先知道自身的位置,并在通信和协作过程中利用位置信息完成应用要求。

[0003] 传感器节点的微型化和有限的电池供电能力使其在节点硬件的选择上受到很大限制。为所有网络节点安装 GPS 模块受到成本、功耗、扩展性等问题的限制。因此传感器节点的定位问题成为无线传感器领域的一个热点问题。

[0004] 一般的,在无线传感器网络中,根据是否需要测量实际节点的距离,可将定位方法分为两类:基于距离的定位和距离无关的定位方法。前者通过测量节点间点到点的绝对距离或方位,使用三边测量、三角测量或极大似然估计法计算节点位置,例如:到达时间(TOA)、到达时间差(TDOA)、到达角度(AOA)、无线信号强度指示(RSSI);后者定位则无需测量节点间的绝对距离或方位,而是利用节点间的估计距离计算节点位置,例如:凸规划、质心算法、DV-hop 算法、Amorphous 算法、APIT 算法等。

[0005] 近年来通过节点之间有限的信息传输来获取节点的位置信息成为了该领域的一个重要应用方向。将位置信息未知的节点称为未知节点,而位置信息已知的节点称为锚节点。其中基于 RSSI 测距的定位技术是一个比较有代表性的实现方案。基于 RSSI 测距的工作原理是将发射节点发射时的信号强度与接收节点收到的信号强度作比较,再将信号在传播过程中的损耗考虑进去,使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转化为距离。常用的传播路径损耗模型有:自由空间传播模型、对数-常态分布模型、对数-距离路径损耗模型、哈它模型等。由于 RSSI 测距的定位技术定位原理简单,且无需额外的硬件开销和网络通信开销,得到了人们的青睐和研究。

[0006] 基于 RSSI 测距及定位的精度不高,容易受环境的干扰。例如无线信号传播过程中的多径干扰、绕射、障碍物、非视线等不定因素都会影响无线信号强度指示,从而影响节点之间的测距和定位。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术存在的问题,提供一种定位精度高,不易受环境影响,硬件易于实现,成本较低的基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法。

[0008] 本发明的包括以下步骤:

步骤 1: 建立数组 Beacon_val_i[], 用来保存锚节点 B_i 接收到的未知节点 M 的信号的 RSSI 值。

[0009] 步骤 2: 通过公式(4) 计算数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的均值 m。

$$[0010] \quad m = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r x_k \quad (1)$$

其中 x_k 为数组 Beacon_val_i[] 中第 k 个 RSSI 值, r 为数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的个数。

[0011] 通过公式(2)计算数组 Beacon_val_i[] 中 RSSI 值的方差 σ^2 。

$$[0012] \quad \sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (x_k - m)^2 \quad (2)$$

建立高斯分布函数模型,

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

以及条件式

$$\alpha \leq F(x) \leq 1 \quad (4)$$

其中式(4)中 α 为高斯分布函数模型的临界点。

[0013] 对数组 Beacon_val_i[] 中的每个 RSSI 值代入高斯分布函数模型计算, 认定 $\alpha \leq F(x) \leq 1$ 的 RSSI 值为数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值。建立数组 Beacon_val_effective_i[], 用来保存数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值。计算数组 Beacon_val_effective_i[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_i$ 。

[0014] 步骤 3: 建立数组 Beacon_val_ij[], 用来保存锚节点 B_i 接收到的锚节点 B_j 的信号 RSSI 值。

[0015] 步骤 4: 对数组 Beacon_val_ij[] 中的每个 RSSI 值代入步骤 2 所述的高斯分布函数模型计算, 得到数组 Beacon_val_ij[] 中的有效 RSSI 值。建立数组 Beacon_val_effective_ij[], 用来保存数组 Beacon_val_ij[] 中有效的 RSSI 值。计算数组 Beacon_val_effective_ij[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_{ij}$ 。

[0016] 步骤 5: 以 d_{ij} 表示锚节点 B_i 和 B_j 之间的距离, d_i 表示未知节点 M 和锚节点 B_i 之间的距离。无线信号的对数-距离路径损耗模型为

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma_0} \quad (5)$$

其中 $P_L(d)$ 为无线信号经过路径 d 后的路径损耗, $P_L(d_0)$ 为无线信号经过路径 d_0 后的路径损耗, n 为路径损耗系数, d 为发射节点与接收节点之间的距离, d_0 为参考距离, X_{σ_0} 为均值为 0, 标准差为 σ_0 的高斯分布。

[0017] 对公式(5)作同等变换得:

$$P(t) - RSSI = P(t) - A + 10n \lg \frac{d}{d_0} + X_{\sigma_0} \quad (6)$$

其中 $P(t)$ 为发射节点的信号强度, A 为距发射节点距离为 d_0 (通常取 $d_0 = 1$ 米) 时的无线信号强度;

将步骤 2 和步骤 4 所得的 $RSSI_i$, $RSSI_j$, 未知节点 M 与锚节点 B_i 之间的距离 d_i , 锚节点 B_i 与锚节点 B_j 之间的距离 d_{ij} 代入(6)式, 取 $d_0 = 1$ 米, 得:

$$RSSI_i = A - 10n \lg(d_i) \quad (7)$$

$$RSSI_j = A - 10n \lg(d_{ij}) \quad (8)$$

其中 A 为与发射节点距离为 1 米时, 即 $d_0 = 1$ 米时的无线信号强度。

[0018] 由公式(7)得:

$$d_i = \frac{1}{10^{\frac{RSSI_i - A}{10n}}} * 10^{\frac{A}{10n}} \quad (9)$$

由公式(8)得:

$$d_{ij} = \frac{1}{10^{\frac{RSSI_j - A}{10n}}} * 10^{\frac{A}{10n}} \quad (10)$$

$$\text{所以 } 10^{\frac{A}{10n}} = 10^{\frac{RSSI_j}{10n}} * d_{ij} \quad (11)$$

将公式(11)代入公式(9)得:

$$\text{未知节点 } M \text{ 与锚节点 } B_i \text{ 之间的距离 } d_i = 10^{\frac{RSSI_j - RSSI_i}{10n}} * d_{ij}$$

步骤 6: 选择三个最小的 d_i 以及对应的锚节点 B_i , 即寻找三个距离未知节点最近的三个锚节点, 运用三角形质心定位法得到未知节点的坐标 $M(x_0, y_0)$ 。

[0019] 步骤 7: 建立未知节点的分布概率模型, 得到未知节点在无线传感器网络中每个位置的分布概率;

$$P(x, y) = \sum_{i=1,2,3} \frac{n}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left[-\frac{(\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - r_i)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (12)$$

其中, $P(x, y)$ 是未知节点在无线传感器网络中 (x, y) 处的分布概率, n 是路径损耗系数, (x_i, y_i) 是第 i 个锚节点的坐标信息, r_i 是未知节点到第 i 个参考节点的距离, σ_0 是功率测量误差标准差。

[0020] 步骤 8: 以步骤 6 所得的未知节点定位坐标 $M(x_0, y_0)$ 为初始位置、以 L_1 为步长进行定位搜索处理, 根据步骤 7 所述的分布概率分别计算坐标 (x_0, y_0) , $(x_0 + L_1, y_0)$, $(x_0, y_0 + L_1)$, $(x_0 - L_1, y_0)$, $(x_0, y_0 - L_1)$ 的分布概率, 并找出分布概率最大的坐标作为此次的定位结果, 记为 (x_1, y_1) 。

[0021] 步骤 9 :以步骤 8 获得的未知节点的第一次定位结果 (x_1, y_1) 为初始位置、以 L_2 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第二次定位结果 (x_2, y_2) , 其中 : $L_2 < L_1$;

步骤 10 :重复步骤 9,以第 (N-1) 次的定位位置为初始位置、以 $L_n < L_{n-1}$ 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第 N 次定位位置。当第 N 次定位结果与第 (N-1) 次定位结果相同时,停止定位搜索,并将第 N 次定位结果作为待测节点的最终位置结果。

[0022] 本发明的有益效果是 :引入锚节点与锚节点之间的信号强度和距离信息作为参考,通过未知节点的分布概率模型找出未知节点坐标,提高了未知节点与锚节点之间的测距精度和定位精度,且不易受环境干扰。

附图说明

[0023] 图 1 为未知节点的定位流程图 ;

图 2 为锚节点与锚节点之间的信号强度和距离为参考的未知节点测距图 ;

图 3 为三角形质心定位方法图。

具体实施方式

[0024] 以下根据附图对本发明的方法作进一步描述。

[0025] 一种基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位方法,涉及无线传感器网络中的锚节点和未知节点,坐标位置已知的节点称之为锚节点,坐标位置未知的节点称之为未知节点。该定位方法的特别之处在于 :在 RSSI 值读取方面,使用高斯分布函数模型选择有效 RSSI 值,一定程度上去掉了 RSSI 测量时的小概率事件,提高了节点间 RSSI 值的精确度 ;能够有效通过锚节点之间的距离和 RSSI 值作为参考,得到未知节点与锚节点之间的距离,提高了未知节点与锚节点之间的测量精度 ;采用三角形定位法得到未知节点的坐标,并通过未知节点的分布概率模型对未知节点循环求精,找出其中分布概率最大的一个点作为最终的定位坐标。定位方法的流程图如图 1 所示,包括以下步骤 :

步骤 1 :建立数组 Beacon_val_i [], 用来保存锚节点 B_i 接收到的未知节点 M 的信号的 RSSI 值。

[0026] 步骤 2 :通过公式 (16) 计算数组 Beacon_val_i [] 中 RSSI 值的均值 m。

$$[0027] \quad m = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r x_k \quad (16)$$

其中 x_k 为数组 Beacon_val_i [] 中第 k 个 RSSI 值, r 为数组 Beacon_val_i [] 中 RSSI 值的个数。

[0028] 通过公式 (17) 计算数组 Beacon_val_i [] 中 RSSI 值的方差 σ^2 。

$$[0029] \quad \sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (x_k - m)^2 \quad (17)$$

建立高斯分布函数模型,

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (18)$$

以及条件式

$$0.6 \leq F(x) \leq 1 \quad (19)$$

其中公式(19)的下限 0.6 为本实施例设定的高斯分布函数模型的临界点。

[0030] 对数组 Beacon_val_i[] 中的每个 RSSI 值代入高斯分布函数模型计算, 认定 $0.6 \leq F(x) \leq 1$ 的 RSSI 值为数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值, 而 $F(x) < 0.6$ 的 RSSI 值为小概率事件, 予以排除。建立数组 Beacon_val_effective_i[], 用来保存数组 Beacon_val_i[] 中有效的 RSSI 值, 即数组 Beacon_val_i[] 中满足 $0.6 \leq F(x) \leq 1$ 的 RSSI 值。计算数组 Beacon_val_effective_i[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_i$ 。

[0031] 步骤 3: 建立数组 Beacon_val_ij[], 用来保存锚节点 B_i 接收到的锚节点 B_j 的信号 RSSI 值。

[0032] 步骤 4: 对数组 Beacon_val_ij[] 中的每个 RSSI 值代入步骤 2 所述的高斯分布函数模型计算, 筛选出数组 Beacon_val_ij[] 中的有效 RSSI 值。建立数组 Beacon_val_effective_ij[], 用来保存数组 Beacon_val_ij[] 中有效的 RSSI 值。计算数组 Beacon_val_effective_ij[] 中的 RSSI 值的均值, 记为 $RSSI_{ij}$ 。

[0033] 步骤 5: 如附图 2 所示。以 d_{ij} 表示锚节点 B_i 和 B_j 之间的距离, d_i 表示未知节点 M 和锚节点 B_i 之间的距离。无线信号的对数—距离路径损耗模型为

$$P_r(d) = P_r(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma_0} \quad (20)$$

其中 $P_r(d)$ 为无线信号经过路径 d 后的路径损耗, $P_r(d_0)$ 为无线信号经过路径 d_0 后的路径损耗, n 为路径损耗系数, d 为发射节点与接收节点之间的距离, d_0 为参考距离, X_{σ_0} 为均值为 0, 标准差为 σ_0 的高斯分布, 在本实施例中, 取 $\sigma_0 = 4$ 。

[0034] 接收节点接收的信号强度为:

$$RSSI = P(t) - P_r(d) \quad (21)$$

$P(t)$ 为发射节点的信号强度, 故

$$P_r(d) = P(t) - RSSI \quad (22)$$

距发射节点距离为 d_0 (通常取 $d_0 = 1$ 米) 处的信号强度 A 为:

$$A = P(t) - P_r(d_0) \quad (23)$$

$$\text{故 } P_r(d_0) = P(t) - A \quad (24)$$

将公式(22), 公式(24)代入公式(8)得:

$$P(t) - RSSI = Pt - A + 10n \lg \frac{d}{d_0} + X_{\sigma_0} \quad (25)$$

将步骤 2 和步骤 4 所得的 $RSSI_i$, $RSSI_j$, 未知节点 M 与锚节点 B_i 之间的距离 d_i , 锚节点 B_j 与锚节点 B_i 之间的距离 d_{ij} 代入 (25) 式, 取 $d_0 = 1$ 米, 得:

$$RSSI_i = A - 10n \lg(d_i) \quad (26)$$

$$RSSI_j = A - 10n \lg(d_{ij}) \quad (27)$$

其中 A 为与发射节点距离为 1 米时, 即 $d_0 = 1$ 米时的无线信号强度。

[0035] 由公式 (26) 得:

$$d_i = \frac{1}{10^{\frac{RSSI_i}{10n}}} * 10^{\frac{A}{10n}} \quad (28)$$

由公式 (27) 得:

$$d_{ij} = \frac{1}{10^{\frac{RSSI_j}{10n}}} * 10^{\frac{A}{10n}} \quad (29)$$

$$\text{所以 } 10^{\frac{A}{10n}} = 10^{\frac{RSSI_j}{10n}} * d_{ij} \quad (30)$$

将公式 (30) 代入公式 (28) 得:

$$\text{未知节点 M 与锚节点 } B_i \text{ 之间的距离 } d_i = 10^{\frac{RSSI_j - RSSI_i}{10n}} * d_{ij}$$

步骤 6: 如附图 3 所示。选择三个最小的 d_i 以及对应的锚节点 B_i , 即寻找三个距离未知节点最近的三个锚节点, 运用三角形质心定位法得到未知节点的坐标 $M(x_0, y_0)$ 。

[0036] 三角形质心定位法的具体过程为: 根据测距步骤 (1-5) 获得的锚节点 B_i, B_j, B_k 与未知节点 M 的距离分别为 $d_{B_i}^1, d_{B_j}^1, d_{B_k}^1$

根据以下公式可求出上图中 D 的坐标 $D(x_d, y_d)$, 同理, 可得出 E, F 的坐标 $E(x_e, y_e)$, $F(x_f, y_f)$ 。

$$[0037] \begin{cases} \sqrt{(x_d - x_{B_i})^2 + (y_d - y_{B_i})^2} \leq d_{B_i}^1 \\ \sqrt{(x_d - x_{B_j})^2 + (y_d - y_{B_j})^2} = d_{B_j}^1 \\ \sqrt{(x_d - x_{B_k})^2 + (y_d - y_{B_k})^2} = d_{B_k}^1 \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{则未知节点的坐标为 } M(x_0, y_0) = \left(\frac{x_d + x_e + x_f}{3}, \frac{y_d + y_e + y_f}{3} \right) \quad (18)$$

步骤 7: 建立待测节点的分布概率模型, 得到待测节点在无线传感器网络中每个位置

的分布概率；

$$P(x,y) = \sum_{i=1,2,3} \frac{n}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left[-\frac{(\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}-r_i)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (19)$$

其中, $P(x,y)$ 是待测节点在无线传感器网络中 (x,y) 处的分布概率, n 是路径损耗系数, (x_i,y_i) 是第 i 个参考节点的坐标信息, r_i 是待测节点到第 i 个参考节点的距离, σ_0 是功率测量误差标准差。

[0038] 步骤 8:以步骤 6 所得的未知节点定位坐标 $M(x_0,y_0)$ 为初始位置、以 L_1 为步长进行定位搜索处理,根据步骤 7 所述的分布概率分别计算坐标 (x_0,y_0) , (x_0+L_1,y_0) , (x_0,y_0+L_1) , (x_0-L_1,y_0) , (x_0,y_0-L_1) 找出概率最大的坐标作为此次的定位结果,记为 (x_1,y_1) 。在本实施实例中,取 $L_1=2$ 米

步骤 9:以步骤 8 获得的未知节点的第一次定位结果 (x_1,y_1) 为初始位置、以 L_2 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第二次定位结果 (x_2,y_2) ,在本实施实例中,取 $L_2=0.5L_1$;

步骤 10:重复步骤 9,以第 $(N-1)$ 次的定位结果为初始位置、以 $L_n=0.5L_{n-1}$ 为步长进行定位搜索处理,得到待测节点的第 N 次定位位置。当第 N 次定位结果与第 $(N-1)$ 次定位结果相同时,停止定位搜索,并将第 N 次定位结果作为待测节点的最终位置结果。

[0039] Matlab 仿真实验

在一个 $20m \times 20m$ 的无线传感器网络中,锚节点均匀分布,未知节点随机分布,路径损耗系数 n 为 2,功率测量误差标准差 σ_0 为 4,在不同的锚节点数目下,当分别采用本实施例方法和三角形质心定位方法所得到的定位误差如表 1 所示。

[0040] 表一

定位方法	锚节点精度	
	三角形质心定位方法	本实施例方法
4	0.1001	0.0972
9	0.1612	0.1440
16	0.0577	0.0534
25	0.0138	0.0143

所述的定位精度公式为：

$$E = \frac{1}{R} \sqrt{\sum_{i=1}^q (x-a)^2 + (y-b)^2}$$

其中： (x,y) 为未知节点的真实坐标, (a,b) 为本实施例方法得到的定位坐标, R 为节点的通信半径, q 为参与定位的未知节点个数, E 为本实施例定位方法的定位精度。

[0041] 从表一可见,本实施例定位方法在定位精度上较三角形质心定位方法有一定的提高。

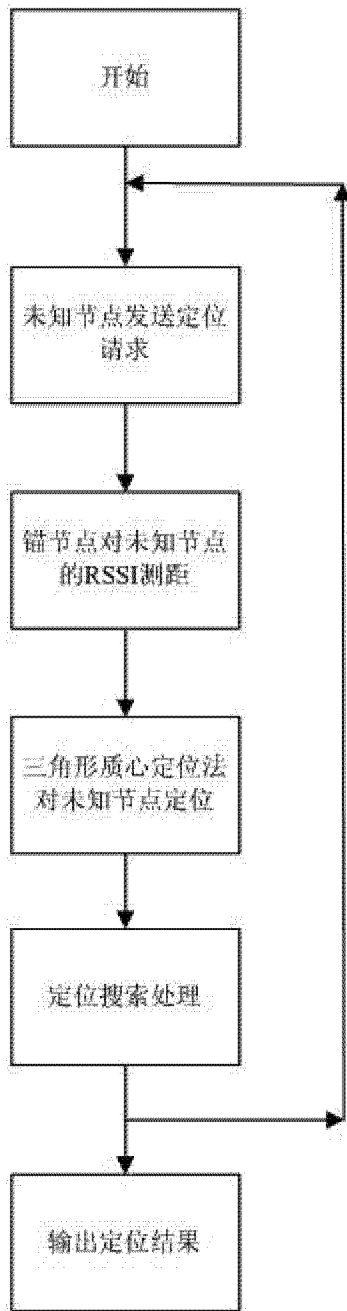


图 1

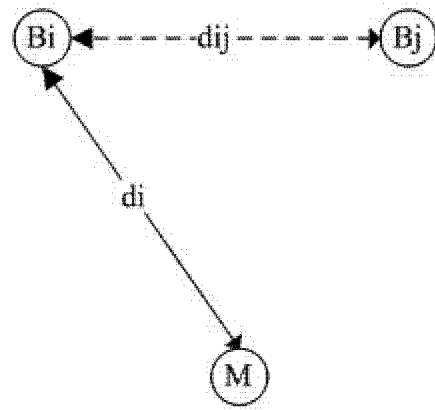


图 2

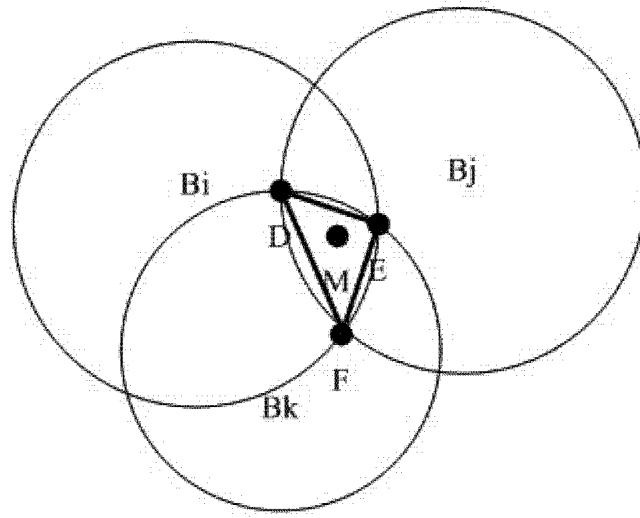


图 3