



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108535687 B

(45) 授权公告日 2021.05.18

(21) 申请号 201810229093.3

G01S 5/14 (2006.01)

(22) 申请日 2018.03.20

H04W 4/02 (2018.01)

H04W 4/33 (2018.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108535687 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2018.09.14

CN 106226732 A, 2016.12.14

US 2016/0187460 A1, 2016.06.30

(73) 专利权人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市雁塔区太白南路2号

CN 104080165 A, 2014.10.01

Y. Wang and H. Wu. A K-band pulse radar transceiver with highly digital closed-loop time-of-flight measurement. 《2015 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), Xiamen, China, 2015》. 2016,

(72) 发明人 王勇 毛钰超 张南 宫丰奎 田阡

审查员 梁利环

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心
61205
代理人 侯琼 王品华

(51) Int. Cl.

G01S 5/02 (2010.01)

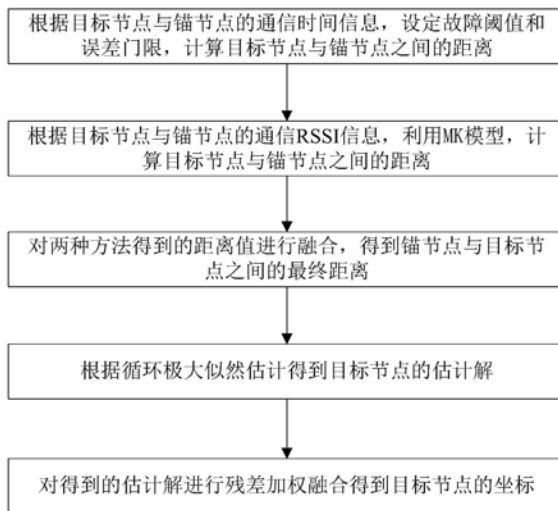
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

基于TOF和RSSI信息融合的室内无线定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于TOF和RSSI信息融合的室内无线定位方法,主要解决目前室内定位技术缺乏有效的误差控制及数据利用率低的问题。其实现方案是:1.根据目标节点与锚节点之间的通信时间信息,利用对称双向双边测距算法计算两者间的距离并设定故障阈值、误差门限对其进行筛选;2.根据目标节点和锚节点之间的RSSI值信息,经高斯模型筛选后利用MK模型将其转换为节点间的距离;3.对两种距离进行加权融合得到最终距离;4.根据循环极大似然估计得到目标节点的估计解;5.对得到的估计解进行残差加权融合得到目标节点的坐标。本发明克服了现有技术中定位计算误差大、定位结果可靠性低的不足,提高了数据的利用率和定位跟踪精度。



1. 一种基于TOF和RSSI信息融合的室内无线定位方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的通信时间信息,根据该时间信息利用对称双向双边测距方法计算出该时刻目标节点T与锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ,并设定故障阈值1和误差门限 e 对 d_{Ti} 进行筛选,得到锚节点 A_i 与目标节点T的TOF测距值 d_{Ti}' ;

其中,目标节点T的坐标为 (x, y) ,锚节点 A_i 的坐标为 (x_i, y_i) ,且 $i = 1, 2, \dots, f$, f 为大于等于3的自然数;

(2) 获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI值信息,利用高斯模型对RSSI值进行筛选处理,将筛选后的RSSI值通过MK模型转化为目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI测距值 d_{Ri}' ;

(3) 对TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 进行融合,得到锚节点 A_i 与目标节点T的距离值 d_i ;

(3.1) 设定距离下限值 d_{\min} 和距离上限值 d_{\max} ;

(3.2) 将TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 分别与步骤(3.1)设定的距离进行如下比较:

(3.2.1) 比较测距值 d_{Ti}' 与距离下限值 d_{\min} 的大小:

当 $d_{Ti}' \leq d_{\min}$ 时,取 $d_i = d_{Ri}'$,进入步骤(3.4);反之,进入步骤(3.2.2);

(3.2.2) 比较距离值 d_{Ri}' 与距离上限值 d_{\max} 的大小:

当 $d_{Ri}' \geq d_{\max}$ 时,取 $d_i = d_{Ti}'$,进入步骤(3.4);反之,进入步骤(3.3);

(3.3) 设定权值 α :

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{2(d_{\min} - d_{\max})} d_{Ri}' + \frac{d_{\max}}{2(d_{\max} - d_{\min})}, & d_{Ri}' > d_{\max} \\ 0 & \end{cases}$$

通过下式计算距离值 d_i :

$$d_i = \alpha \cdot d_{Ri}' + (1 - \alpha) d_{Ti}';$$

(3.4) 输出距离值 d_i ;

(4) 根据循环极大似然估计获取目标节点T的估计解 POS_v ;

(4.1) 在 f 个锚节点 A_i 中,设定每次参与极大似然估计的锚节点数为 m 个,其中 $3 \leq m \leq f$,对于每次选取的 m 个锚节点 A_i ,建立如下方程组:

$$\begin{cases} (\tilde{x} - x_1)^2 + (\tilde{y} - y_1)^2 = d_1^2 \\ (\tilde{x} - x_2)^2 + (\tilde{y} - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_h)^2 + (\tilde{y} - y_h)^2 = d_h^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_m)^2 + (\tilde{y} - y_m)^2 = d_m^2 \end{cases} \quad <1>$$

其中, $1 < h < m$ 且 h 为自然数, x_h 表示第 h 个锚节点的横坐标, y_h 表示第 h 个锚节点的纵坐标, d_h 表示第 h 个锚节点与目标节点T的距离值; \tilde{x} 表示目标节点T估计解的横坐标, \tilde{y} 表示目标节点T估计解的纵坐标;

(4.2) 对方程组<1>从第1行到 $m-1$ 行分别减去第 m 行得到如下方程组:

$$\begin{cases} x_1^2 - x_m^2 - 2(x_1 - x_m)\tilde{x} + y_1^2 - y_m^2 - 2(y_1 - y_m)\tilde{y} = d_1^2 - d_m^2 \\ x_2^2 - x_m^2 - 2(x_2 - x_m)\tilde{x} + y_2^2 - y_m^2 - 2(y_2 - y_m)\tilde{y} = d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_h^2 - x_m^2 - 2(x_h - x_m)\tilde{x} + y_h^2 - y_m^2 - 2(y_h - y_m)\tilde{y} = d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 - x_m^2 - 2(x_{m-1} - x_m)\tilde{x} + y_{m-1}^2 - y_m^2 - 2(y_{m-1} - y_m)\tilde{y} = d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{cases} \quad \langle 2 \rangle$$

对方程组<2>移项可得：

$$AX = b,$$

$$\text{其中, } A = \begin{bmatrix} 2(x_m - x_1) & 2(y_m - y_1) \\ 2(x_m - x_2) & 2(y_m - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_h) & 2(y_m - y_h) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_{m-1}) & 2(y_m - y_{m-1}) \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} x_m^2 - x_1^2 + y_m^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_m^2 \\ x_m^2 - x_2^2 + y_m^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_h^2 + y_m^2 - y_h^2 + d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_{m-1}^2 + y_m^2 - y_{m-1}^2 + d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{bmatrix},$$

根据下式, 计算目标节点T的一组估计解 (\tilde{x}, \tilde{y}) ：

$$(\tilde{x}, \tilde{y})^T = (A^T A)^{-1} A^T b,$$

其中, $()^T$ 表示矩阵的转置, $()^{-1}$ 表示矩阵的逆；

(4.3) 通过循环极大似然估计得到f个锚节点与目标节点T的 C_f^m 个估计解 POS_v ：

$$POS_v = \{(\tilde{x}_v, \tilde{y}_v), v = 1, 2, \dots, C_f^m\},$$

其中 C_f^m 表示从f个锚节点中不重复的取出m个锚节点的取法个数；

(5) 对步骤(4)得到的估计解 POS_v 进行残差加权融合, 计算出目标节点T的坐标 (x, y) 。

2. 根据权利要求1所述方法, 其特征在于: 步骤(1)中TOF测距值 d_{Ti} 的获取步骤如下：

(1.1) 通过TOF测距, 计算目标节点T与锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ；

1a) 目标节点T与通信范围内的锚节点 A_i 之间建立通信；

1b) 目标节点T与锚节点 A_i 每通信一次, 目标节点T接收到一组时间信息 $t_i(k)$ ：

$$t_i(k) = \{t_i^1(k), t_i^2(k), t_i^3(k), t_i^4(k)\};$$

其中, $t_i^1(k)$ 表示k时刻目标节点T的传播延迟, $t_i^2(k)$ 表示k时刻锚节点 A_i 的处理延迟,

$t_i^3(k)$ 表示k时刻锚节点 A_i 的传播延迟, $t_i^4(k)$ 表示k时刻目标节点T的处理延迟；

1c) 根据步骤1b)中接收的每组时间信息 $t_i(k)$, 通过下式计算出目标节点T与该锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ：

$$d_{Ti} = \frac{C}{4} \times [(t_i^1(k) - t_i^2(k)) + (t_i^3(k) - t_i^4(k))],$$

其中, C 表示光速 $3 \times 10^8 \text{m/s}$;

(1.2) 重复步骤(1.1), 对锚节点 A_i 与目标节点 T 进行多次TOF测距, 并将测距值 d_{Ti} 存入测距集合 d_TOF :

$$d_TOF = \{d_{Ti,1}, d_{Ti,2}, \dots, d_{Ti,s}\},$$

其中, s 表示测距的次数, $d_{Ti,s}$ 表示第 s 次测量第 i 个锚节点与目标节点所得到的测距值;

(1.3) 设定故障阈值 1 , 将集合 d_TOF 中小于 1 的测距值存入第一测距集合 d_TOF1 ;

(1.4) 设定误差门限 e , 将集合 d_TOF1 中每个测距值与该集合中的其它测距值分别相减, 若差值的绝对值大于 e 的次数比集合元素总数目的一半小, 则将该测距值存入第二测距集合 d_TOF2 ;

(1.4) 对第二测距集合 d_TOF2 的元素取均值作为锚节点 A_i 与目标节点 T 的TOF测距值 d_{Ti}' 。

3. 根据权利要求1所述方法, 其特征在于: 步骤(2)中RSSI测距值 d_{Ri}' 的获取步骤如下:

(2.1) 在目标节点 T 与通信范围内的锚节点 A_i 之间建立通信;

(2.2) 锚节点 A_i 采集通信过程中其自身与目标节点 T 之间的接收信号强度RSSI, 并将采集到的信息存入到信息集合RSSI $[i]$ 中:

$$RSSI[i] = \{RSSI_{i1}, RSSI_{i2}, \dots, RSSI_{iN}\},$$

其中, N 为信息集合RSSI $[i]$ 中样本的个数, $RSSI_{iN}$ 为第 i 个锚节点采集到的第 N 个其自身与目标节点之间的接收信号强度RSSI;

(2.3) 计算信息集合RSSI $[i]$ 中样本的均值和方差, 建立高斯模型概率密度函数 f (RSSI):

$$f(RSSI) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(RSSI-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

其中 $\mu = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N RSSI_{ia}$, $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{a=1}^N (RSSI_{ia} - \mu)^2$, $RSSI_{ia}$ 为锚节点 A_i 与目标节点 T 的实际接收信号强度值;

(2.4) 将高斯模型概率密度函数值等于 0.6 作为临界点, 通过下式计算RSSI值的信号强度下限值 $RSSI_{min}$ 和信号强度上限值 $RSSI_{max}$:

$$0.6 \leq \int_{RSSI_{min}}^{RSSI_{max}} f(RSSI) d_{RSSI} \leq 1;$$

(2.5) 对信息集合RSSI $[i]$ 中的样本数据进行筛选, 保留处于 $[RSSI_{min}, RSSI_{max}]$ 范围内的RSSI值, 将其存入信息筛选集合RSSI_gauss $[i]$ 中, 根据下式对该信息筛选集合中的RSSI值取均值得到锚节点 A_i 与目标节点 T 的平均实际接收信号强度值 $RSSI_i$:

$$RSSI_i = \frac{1}{M} \cdot \sum_{z=1}^M RSSI_gauss[z];$$

其中 M 为信息集合RSSI_gauss $[i]$ 中样本的个数;

(2.6) 利用MK模型计算锚节点 A_i 与目标节点 T 的RSSI测距值 d_{Ri}' :

$$RSSI_i = R(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d_{Ri}}{d_0} \right) + \sum_{j=1}^J N_j \cdot L_j + \sum_{i=1}^I M_i \cdot P_i,$$

其中 n 表示路径损耗指数, d_0 表示参考距离, $R(d_0)$ 表示参考距离 d_0 处的接收信号强度, N_j 表示穿透墙壁的类型, L_j 表示该类型墙壁的损耗因子, M_i 表示穿透地板的类型, P_i 表示该类型地板的损耗因子, J 表示穿透墙壁的个数, I 表示穿透地板的个数。

4. 根据权利要求1所述方法,其特征在于:步骤(5)所述目标节点T的坐标 (x, y) 通过如下步骤得到:

(5.1) 令目标节点T的每个估计解对应的锚节点 A_i 组合为 $Assem(v)$,其中 $v=1, 2, \dots, C_f^m$; 每个 $Assem(v)$ 对应的锚节点为 A_j ,其中 $j=1, 2, \dots, m$,通过下式得到每个估计解的残差为 RES_v :

$$RES_v = \sum_{j=1}^m (d_j - \sqrt{(\tilde{x}_v - x_j)^2 + (\tilde{y}_v - y_j)^2})^2,$$

其中, $(\tilde{x}_v, \tilde{y}_v)$ 表示目标节点T第 v 个估计解的坐标, (x_j, y_j) 表示 $Assem(v)$ 中第 j 个锚节点的坐标, d_j 表示 $Assem(v)$ 中第 j 个锚节点的测距值;

(5.2) 根据下式,计算目标节点T的坐标 (x, y) :

$$(x, y) = \frac{\sum_{v=1}^{C_f^m} RES_v^{-1} \cdot (\tilde{x}_v, \tilde{y}_v)}{\sum_{v=1}^{C_f^m} RES_v^{-1}},$$

其中 RES_v^{-1} 表示 RES_v 的倒数。

基于TOF和RSSI信息融合的室内无线定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域,涉及一种室内无线定位方法,具体涉及一种基于信号飞行时间TOF和接收信号强度指示RSSI信息融合的室内无线定位方法,可用于物流跟踪、紧急救助、地图导航及灾害预防。

背景技术

[0002] 近年来,随着基于位置服务LBS的室内应用不断增加以及物联网IoT的飞速发展,部署方便且高精度的室内定位系统在物流跟踪、紧急救助、地图导航等诸多领域得到了广泛应用并成为无线通信技术领域的研究热点。在室内定位中,如何高效、低成本的获取移动用户的位置信息是亟需解决的关键问题。在室外环境中,全球卫星导航系统能够为人们提供良好的定位服务,但在室内由于建筑物的阻挡、室内信道环境动态复杂,使得信号在传递过程中极易受到噪声干扰及产生多径效应,从而导致定位效果大大降低。因此,传统的卫星定位技术难以应用到室内环境。

[0003] 目前可应用于室内的无线定位技术多种多样,依据不同的标准有多种分类方法。其中,根据定位过程中是否需要获取节点之间的角度信息或距离信息可分为两类:无需测距的定位技术和基于测距的定位技术。无需测距的定位技术目前常见的有质心算法、Amorphous Position算法以及指纹匹配算法;而基于测距的定位技术,采用解析几何的方法计算出目标节点的位置坐标,常见的方法有三角测量法、三边测量法以及极大似然估计法等。二者相比,基于测距的定位技术在部署过程中所需的节点密度低,而且定位误差较小,因此得到广泛应用。对于基于测距的定位技术,根据测距阶段采用的度量指标不同又可分为基于信号到达时间TOA的定位技术、基于信号到达时间差TDOA的定位技术、基于信号强度RSSI的定位技术和基于信号飞行时间TOF的定位技术。其中:

[0004] 基于TOA的室内定位技术,其要求节点之间保持严格的时间同步,由于无线电的传输速度非常快,而传感节点之间的距离又较小,因此实现高精度计时同步是非常困难的,限制了该技术的实用性;

[0005] 基于TDOA的室内定位技术,其虽不要求节点之间保持严格的时间同步,但是传输信号容易受环境因素影响产生多径效应及噪声干扰,因此系统难以适应复杂的室内环境;

[0006] 基于RSSI的室内定位技术,是根据信号收发器接收的信号强度作为信息采集的度量指标进行定位。其主要思想是:通过锚节点与目标节点之间相互通信获取信号强度信息,经筛选的信号强度信息利用改进路径损耗模型计算出目标节点与锚节点间的距离,当收集的距离信息超过一定数量时,就可以利用几何定位算法计算出目标节点的坐标位置。该定位技术简单易实现、成本低廉且对硬件设备要求不高,因而目前在无线通信技术领域应用较为广泛。但其不足在于:1.需要部署较多的锚节点;2.在复杂的室内环境中,容易受障碍物阻挡、噪声干扰、多路径反射等环境因素影响,导致节点获取的RSSI信号波动频繁,从而降低定位准确性,难以满足高精度定位的需求;3.随着测量距离的增加,RSSI信号衰减严重,测距误差会急剧增加;

[0007] 基于TOF的室内定位技术,是根据射频设备间的数据包的传播时间差作为信息采集的度量指标进行定位。其主要思想是:通过锚节点与目标节点之间相互通信获取传播时间信息,根据传播时间信息利用对称双向双边测距算法计算出目标节点与锚节点间的距离,再根据多组距离信息进行数据筛选、锚点选择、几何解析、滤波跟踪等方法计算出目标节点的坐标位置。该定位技术设备能耗小、组网简单,使用双向通讯时间进行距离测量,有较精准的传输时间测量机制,因此相较以上几种测距技术有着较高的测距精度。但由于存在系统处理延迟及多径干扰,近距离测量时会存在较大的测距误差;

[0008] 对于基于RSSI的室内定位技术,受障碍物阻挡、噪声干扰等环境因素影响,接收信号强度随机波动、规律性差,且随测量距离的增加接收信号强度衰减后误差随之增加;对于基于TOF的室内定位技术,由于信号传输速度很快,测距芯片存在处理延迟和时钟漂移的问题,因此在近距离测距上存在较大的测距误差,两种测距技术都存在着不可忽略的非视距误差。英特尔IP公司在其专利申请号201580007612.6,公开号:CN 105980882A中提出一种“接入点发起的飞行时间定位”,该定位系统通过测量信号从用户传播到接入点AP并返回到用户所需要的总时间,将测得的总时间除以二然后乘以光速从而转换成距离,最后使用三边测量算法来确定待定位目标的位置。该方法可以更进一步的精准估算待定位目标与接入点AP的距离,但是由于系统的限制并不能解决近距离时测距误差较大的问题。使用传统单一技术的室内定位机制,仅从测距算法或定位算法为切入点来提高定位系统的性能已经十分困难。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于针对现有技术中存在的不足,提供一种基于TOF和RSSI技术融合的室内无线定位方法,以解决目前室内定位技术缺乏有效的误差控制及数据利用率低的问题,从而提高室内定位精度及可靠性。

[0010] 实现本发明目的的具体思路是,首先通过锚节点与目标节点之间相互通信获取时间信息,根据时间信息利用对称双向双边测距算法计算目标节点与锚节点间的距离 d_{Ti} ,再设定故障阈值和误差门限对 d_{Ti} 进行筛选得到筛选后的距离值 d_{Ti}' ;之后通过锚节点与目标节点之间相互通信获取RSSI信息,利用高斯模型对RSSI值进行筛选,再利用MK模型将筛选后的RSSI值转化为锚节点与目标节点的距离值 d_{Ri}' ;得到 d_{Ti}' 和 d_{Ri}' 之后,采用加权融合的方法对二者进行融合,得到最终距离值 d_i ;最后利用循环极大似然估计得到目标节点的若干估计解,再对得到的估计解进行残差加权融合得到目标节点的最终坐标,从而实现定位。

[0011] 本发明实现上述目的具体步骤如下:

[0012] (1) 获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的通信时间信息,根据该时间信息利用对称双向双边测距方法计算出该时刻目标节点T与锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ,并设定故障阈值 l 和误差门限 e 对 d_{Ti} 进行筛选,得到锚节点 A_i 与目标节点T的TOF测距值 d_{Ti}' ;

[0013] 其中,目标节点T的坐标为 (x, y) ,锚节点 A_i 的坐标为 (x_i, y_i) ,且 $i = 1, 2, \dots, f$, f 为大于等于3的自然数;

[0014] (2) 获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI值信息,利用高斯模型对RSSI值进行筛选处理,将筛选后的RSSI值通过MK模型转化为目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI测距值 d_{Ri}' ;

[0015] (3) 对TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 进行融合,得到锚节点 A_i 与目标节点T的距离值 d_i ;

[0016] (3.1) 设定距离下限值 d_{\min} 和距离上限值 d_{\max} ;

[0017] (3.2) 将TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 分别与步骤(3.1)设定的距离进行如下比较:

[0018] (3.2.1) 比较测距值 d_{Ti}' 与距离下限值 d_{\min} 的大小:

[0019] 当 $d_{Ti}' \leq d_{\min}$ 时,取 $d_i = d_{Ri}'$,进入步骤(3.4);反之,进入步骤(3.2.2);

[0020] (3.2.2) 比较距离值 d_{Ri}' 与距离上限值 d_{\max} 的大小:

[0021] 当 $d_{Ri}' \geq d_{\max}$ 时,取 $d_i = d_{Ti}'$,进入步骤(3.4);反之,进入步骤(3.3);

[0022] (3.3) 设定权值 α :

$$[0023] \quad \alpha = \begin{cases} \frac{1}{2(d_{\min} - d_{\max})} d_{Ri}' + \frac{d_{\max}}{2(d_{\max} - d_{\min})}, & d_{Ri}' < d_{\max} \\ 0, & d_{Ri}' > d_{\max} \end{cases}$$

[0024] 通过下式计算距离值 d_i :

$$[0025] \quad d_i = \alpha \cdot d_{Ri}' + (1 - \alpha) d_{Ti}';$$

[0026] (3.4) 输出距离值 d_i ;

[0027] (4) 根据循环极大似然估计获取目标节点T的估计解 POS_v ;

[0028] (4.1) 在 f 个锚节点 A_i 中,设定每次参与极大似然估计的锚节点数为 m 个,其中 $3 \leq m \leq f$,对于每次选取的 m 个锚节点 A_i ,建立如下方程组:

$$[0029] \quad \begin{cases} (\tilde{x} - x_1)^2 + (\tilde{y} - y_1)^2 = d_1^2 \\ (\tilde{x} - x_2)^2 + (\tilde{y} - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_h)^2 + (\tilde{y} - y_h)^2 = d_h^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_m)^2 + (\tilde{y} - y_m)^2 = d_m^2 \end{cases} \quad <1>$$

[0030] 其中, $1 < h < m$ 且 h 为自然数, x_h 表示第 h 个锚节点的横坐标, y_h 表示第 h 个锚节点的纵坐标, d_h 表示第 h 个锚节点与目标节点T的距离值; \tilde{x} 表示目标节点T估计解的横坐标, \tilde{y} 表示目标节点T估计解的纵坐标;

[0031] (4.2) 对方程组<1>从第1行到 $m-1$ 行分别减去第 m 行得到如下方程组:

$$[0032] \quad \begin{cases} x_1^2 - x_m^2 - 2(x_1 - x_m)\tilde{x} + y_1^2 - y_m^2 - 2(y_1 - y_m)\tilde{y} = d_1^2 - d_m^2 \\ x_2^2 - x_m^2 - 2(x_2 - x_m)\tilde{x} + y_2^2 - y_m^2 - 2(y_2 - y_m)\tilde{y} = d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_h^2 - x_m^2 - 2(x_h - x_m)\tilde{x} + y_h^2 - y_m^2 - 2(y_h - y_m)\tilde{y} = d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 - x_m^2 - 2(x_{m-1} - x_m)\tilde{x} + y_{m-1}^2 - y_m^2 - 2(y_{m-1} - y_m)\tilde{y} = d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{cases} \quad <2>$$

[0033] 对方程组<2>移项可得:

$$[0034] \quad AX = b,$$

[0035] 其中, $A = \begin{bmatrix} 2(x_m - x_1) & 2(y_m - y_1) \\ 2(x_m - x_2) & 2(y_m - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_h) & 2(y_m - y_h) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_{m-1}) & 2(y_m - y_{m-1}) \end{bmatrix}$, $b = \begin{bmatrix} x_m^2 - x_1^2 + y_m^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_m^2 \\ x_m^2 - x_2^2 + y_m^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_h^2 + y_m^2 - y_h^2 + d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_{m-1}^2 + y_m^2 - y_{m-1}^2 + d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{bmatrix}$,

$$X = \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{bmatrix},$$

[0036] 根据下式,计算目标节点T的一组估计解 (\tilde{x}, \tilde{y}) :

[0037] $(\tilde{x}, \tilde{y})^T = (A^T A)^{-1} A^T b$,

[0038] 其中, $()^T$ 表示矩阵的转置, $()^{-1}$ 表示矩阵的逆;

[0039] (4.3)通过循环极大似然估计得到f个锚节点与目标节点T的 C_f^m 个估计解 POS_v :

[0040] $POS_v = \{(\tilde{x}_v, \tilde{y}_v), v = 1, 2, \dots, C_f^m\}$,

[0041] 其中 C_f^m 表示从f个锚节点中不重复的取出m个锚节点的取法个数;

[0042] (5)对步骤(4)得到的估计解 POS_v 进行残差加权融合,计算出目标节点T的坐标(x, y)。

[0043] 本发明与现有技术相比,具有如下优点:

[0044] 第一,由于本发明在定位计算前对距离信息进行了筛选,通过设定故障阈值和误差门限舍弃精度较差的距离信息,克服了现有技术中未对距离信息进行合理筛选导致的定位计算误差大、定位结果可靠性低的不足,从而提高了定位跟踪的精度;

[0045] 第二,由于本发明采用了TOF和RSSI两种定位技术的融合算法,在测距阶段对两种技术的测量值分别进行处理,并通过分阶段数据融合的方式提高测距精度,同时在定位计算中引入非视距误差抑制算法,进一步提高了高定位精度;

[0046] 第三,由于本发明采用了TOF和RSSI信息融合的定位方式,有效克服了在锚节点稀疏的定位网络中,由于定位参考信息过少,单一定位技术定位精度低的不足,提高了定位准确性及可靠性。

附图说明

[0047] 图1为本发明的总流程图;

[0048] 图2为本发明中对RSSI值进行处理并转化为节点间距离的子流程图;

[0049] 图3为本发明中对两种距离值进行加权融合的子流程图;

[0050] 图4为本发明与现有三种定位方法对目标节点定位的平均误差仿真结果对比图;

[0051] 图5为本发明与现有三种定位方法对目标节点定位的误差累计分布仿真结果对比图。

具体实施方式

[0052] 下面结合附图及具体实施例对本发明做进一步描述。

[0053] 参照图1,本实施例提供的基于TOF和RSSI信息融合的室内无线定位方法包括以下步骤:

[0054] 步骤1,获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的通信时间信息,根据该时间信息利用对称双向双边测距方法计算出该时刻目标节点T与锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ,并设定故障阈值1和误差门限e对 d_{Ti} 进行筛选,得到锚节点 A_i 与目标节点T的TOF测距值 d_{Ti}' ;

[0055] 其中,目标节点T的坐标为(x,y),锚节点 A_i 的坐标为 (x_i, y_i) ,且 $i=1,2,\dots,f$,f为大于等于3的自然数;

[0056] 本步骤的具体实现如下:

[0057] (1.1)通过TOF测距,计算目标节点T与锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} ;

[0058] 1a)目标节点T与通信范围内的锚节点 A_i 之间建立通信;

[0059] 1b)目标节点T与锚节点 A_i 每通信一次,目标节点T接收到一组时间信息 $t_i(k)$;

[0060] $t_i(k) = \{t_i^1(k), t_i^2(k), t_i^3(k), t_i^4(k)\}$;

[0061] 其中, $t_i^1(k)$ 表示k时刻目标节点T的传播延迟, $t_i^2(k)$ 表示k时刻锚节点 A_i 的处理延迟, $t_i^3(k)$ 表示k时刻锚节点 A_i 的传播延迟, $t_i^4(k)$ 表示k时刻目标节点T的处理延迟;

[0062] 1c)根据步骤1b)中接收的每组时间信息 $t_i(k)$,通过下式计算出目标节点T与该锚节点 A_i 之间的距离 d_{Ti} :

[0063]
$$d_{Ti} = \frac{C}{4} \times [(t_i^1(k) - t_i^2(k)) + (t_i^3(k) - t_i^4(k))],$$

[0064] 其中,C表示光速 3×10^8 m/s;

[0065] (1.2)重复步骤(1.1),对锚节点 A_i 与目标节点T进行多次TOF测距,并将测距值 d_{Ti} 存入测距集合 d_{TOF} :

[0066] $d_{TOF} = \{d_{Ti,1}, d_{Ti}, 2, \dots, d_{Ti,s}\}$,

[0067] 其中,s表示测距的次数, $d_{Ti,s}$ 表示第s次测量第i个锚节点与目标节点所得到的测距值;

[0068] (1.3)设定故障阈值1,将集合 d_{TOF} 中小于1的测距值存入第一测距集合 d_{TOF1} ;

[0069] (1.4)设定误差门限e,将集合 d_{TOF1} 中每个测距值与该集合中的其它测距值分别相减,若差值的绝对值大于e的次数比集合元素总数目的一半小,则将该测距值存入第二测距集合 d_{TOF2} ;

[0070] (1.4)对第二测距集合 d_{TOF2} 的元素取均值作为锚节点 A_i 与目标节点T的TOF测距值 d_{Ti}' 。

[0071] 步骤2,获取目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI值信息,利用高斯模型对RSSI值进行筛选处理,将筛选后的RSSI值通过MK模型转化为目标节点T与锚节点 A_i 之间的RSSI测距值 d_{Ri}' ;

[0072] 参照图2,本步骤的具体实现如下:

[0073] (2.1)在目标节点T与通信范围内的锚节点 A_i 之间建立通信;

[0074] (2.2)锚节点 A_i 采集通信过程中其自身与目标节点T之间的接收信号强度RSSI,并

将采集到的信息存入到信息集合RSSI[i]中：

[0075] $RSSI[i] = \{RSSI_{i1}, RSSI_{i2}, \dots, RSSI_{iN}\}$ ，

[0076] 其中，N为信息集合RSSI[i]中样本的个数， $RSSI_{iN}$ 为第i个锚节点采集到的第N个其自身与目标节点之间的接收信号强度RSSI；

[0077] (2.3) 计算信息集合RSSI[i]中样本的均值和方差，建立高斯模型概率密度函数f(RSSI)：

[0078]
$$f(RSSI) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(RSSI-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$
，

[0079] 其中 $\mu = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N RSSI_{ia}$ ， $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{a=1}^N (RSSI_{ia} - \mu)^2$ ， $RSSI_{ia}$ 为锚节点 A_i 与目标节点T

的实际接收信号强度值；

[0080] (2.4) 将高斯模型概率密度函数值等于0.6作为临界点，通过下式计算RSSI值的信号强度下限值 $RSSI_{min}$ 和信号强度上限值 $RSSI_{max}$ ：

[0081]
$$0.6 \leq \int_{RSSI_{min}}^{RSSI_{max}} f(RSSI) d_{RSSI} \leq 1$$
；

[0082] (2.5) 对信息集合RSSI[i]中的样本数据进行筛选，保留处于 $[RSSI_{min}, RSSI_{max}]$ 范围内的RSSI值，将其存入信息筛选集合RSSI_gauss[i]中，根据下式对该信息筛选集合中的RSSI值取均值得到锚节点 A_i 与目标节点T的平均实际接收信号强度值 $RSSI_i$ ：

[0083]
$$RSSI_i = \frac{1}{M} \cdot \sum_{z=1}^M RSSI_gauss[z]$$
；

[0084] 其中M为信息集合RSSI_gauss[i]中样本的个数；

[0085] (2.6) 利用MK模型计算锚节点 A_i 与目标节点T的RSSI测距值 d_{Ri}' ：

[0086]
$$RSSI_i = R(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d_{Ri}'}{d_0} \right) + \sum_{j=1}^J N_j \cdot L_j + \sum_{i=1}^I M_i \cdot P_i$$
，

[0087] 其中n表示路径损耗指数， d_0 表示参考距离， $R(d_0)$ 表示参考距离 d_0 处的接收信号强度， N_j 表示穿透墙壁的类型， L_j 表示该类型墙壁的损耗因子， M_i 表示穿透地板的类型， P_i 表示该类型地板的损耗因子，J表示穿透墙壁的个数，I表示穿透地板的个数。

[0088] 步骤3，对步骤1、步骤2得到的TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 进行融合，得到锚节点 A_i 与目标节点T的距离值 d_i ；

[0089] 参照图3，本步骤的具体实现如下：

[0090] (3.1) 设定距离下限值 d_{min} 和距离上限值 d_{max} ；

[0091] 针对TOF技术近距离测距误差的问题，设定一个距离下限值 d_{min} ，当 $d_{Ti}' \leq d_{min}$ 时，则认为此时 d_{Ti}' 存在较大的误差， d_{Ri}' 的可靠性高于 d_{Ti}' ，此时将 d_{Ri}' 作为锚节点 A_i 与目标节点T的距离 d_i ；一般情况下，在0~5米内，RSSI技术的测距精度高于TOF技术。

[0092] 针对RSSI技术随着距离增加导致测距精度严重下降的问题，设定一个距离上限值 d_{max} ，当 $d_{Ri}' \geq d_{max}$ 时，则认为RSSI测距超出了有效测量范围，测距结果 d_{Ri}' 不具参考性，此时舍弃测距值 d_{Ri}' ，并将 d_{Ti}' 作为锚节点 A_i 与目标节点T的距离 d_i ；一般情况下，在20米以外，

TOF技术的测距精度高于RSSI技术。

[0093] (3.2) 将TOF测距值 d_{Ti}' 、RSSI测距值 d_{Ri}' 分别与步骤(3.1)设定的距离进行如下比较：

[0094] (3.2.1) 比较测距值 d_{Ti}' 与距离下限值 d_{\min} 的大小：

[0095] 当 $d_{Ti}' \leq d_{\min}$ 时，取 $d_i = d_{Ri}'$ ，进入步骤(3.4)；反之，进入步骤(3.2.2)；

[0096] (3.2.2) 比较距离值 d_{Ri}' 与距离上限值 d_{\max} 的大小：

[0097] 当 $d_{Ri}' \geq d_{\max}$ 时，取 $d_i = d_{Ti}'$ ，进入步骤(3.4)；反之，进入步骤(3.3)；

[0098] (3.3) 设定权值 α ；若 $d_{Ti}' > d_{\min}$ 并且 $d_{Ri}' < d_{\max}$ 时，令 $d_i = \alpha \cdot d_{Ri}' + (1-\alpha) d_{Ti}'$ ；

[0099] 由于RSSI技术随着距离增加时其误差也会随之增加，因此权值 α 的大小应随着测距值动态变化。随着测量距离的增加，RSSI测距受误差影响较大，因此 d_{Ri}' 的融合比重应当减小，即权值 α 逐渐减小，降低 d_{Ri}' 的影响，增加 d_{Ti}' 的融合比重。在超过距离上限值 d_{\max} 时，权值 α 为0。权值 α 的设置如下：

$$[0100] \quad \alpha = \begin{cases} \frac{1}{2(d_{\min} - d_{\max})} d_{Ri}' + \frac{d_{\max}}{2(d_{\max} - d_{\min})}, & d_{Ri}' < d_{\max} \\ 0, & d_{Ri}' > d_{\max} \end{cases}$$

[0101] (3.4) 输出距离值 d_i 。

[0102] 步骤4，根据循环极大似然估计获取目标节点T的估计解 POS_v ，具体实现如下：

[0103] (4.1) 在 f 个锚节点 A_i 中，设定每次参与极大似然估计的锚节点数为 m 个，其中 $3 \leq m \leq f$ ，对于每次选取的 m 个锚节点 A_i ，建立如下方程组：

$$[0104] \quad \begin{cases} (\tilde{x} - x_1)^2 + (\tilde{y} - y_1)^2 = d_1^2 \\ (\tilde{x} - x_2)^2 + (\tilde{y} - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_h)^2 + (\tilde{y} - y_h)^2 = d_h^2 \\ \vdots \\ (\tilde{x} - x_m)^2 + (\tilde{y} - y_m)^2 = d_m^2 \end{cases} \quad \langle 1 \rangle$$

[0105] 其中， $1 < h < m$ 且 h 为自然数， x_h 表示第 h 个锚节点的横坐标， y_h 表示第 h 个锚节点的纵坐标， d_h 表示第 h 个锚节点与目标节点T的距离值； \tilde{x} 表示目标节点T估计解的横坐标， \tilde{y} 表示目标节点T估计解的纵坐标；

[0106] (4.2) 对方程组 $\langle 1 \rangle$ 从第1行到 $m-1$ 行分别减去第 m 行得到如下方程组：

$$[0107] \quad \begin{cases} x_1^2 - x_m^2 - 2(x_1 - x_m)\tilde{x} + y_1^2 - y_m^2 - 2(y_1 - y_m)\tilde{y} = d_1^2 - d_m^2 \\ x_2^2 - x_m^2 - 2(x_2 - x_m)\tilde{x} + y_2^2 - y_m^2 - 2(y_2 - y_m)\tilde{y} = d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_h^2 - x_m^2 - 2(x_h - x_m)\tilde{x} + y_h^2 - y_m^2 - 2(y_h - y_m)\tilde{y} = d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 - x_m^2 - 2(x_{m-1} - x_m)\tilde{x} + y_{m-1}^2 - y_m^2 - 2(y_{m-1} - y_m)\tilde{y} = d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{cases} \quad \langle 2 \rangle$$

[0108] 对方程组 $\langle 2 \rangle$ 移项可得：

[0109] $AX = b$,

$$[0110] \quad \text{其中, } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_m - x_1) & 2(y_m - y_1) \\ 2(x_m - x_2) & 2(y_m - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_h) & 2(y_m - y_h) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_m - x_{m-1}) & 2(y_m - y_{m-1}) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} x_m^2 - x_1^2 + y_m^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_m^2 \\ x_m^2 - x_2^2 + y_m^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_h^2 + y_m^2 - y_h^2 + d_h^2 - d_m^2 \\ \vdots \\ x_m^2 - x_{m-1}^2 + y_m^2 - y_{m-1}^2 + d_{m-1}^2 - d_m^2 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{bmatrix},$$

[0111] 根据下式,计算目标节点T的一组估计解 (\tilde{x}, \tilde{y}) :

$$[0112] \quad (\tilde{x}, \tilde{y})^T = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b},$$

[0113] 其中, $()^T$ 表示矩阵的转置, $()^{-1}$ 表示矩阵的逆;

[0114] (4.3)通过循环极大似然估计得到f个锚节点与目标节点T的 C_f^m 个估计解 POS_v :

$$[0115] \quad POS_v = \{(\tilde{x}_v, \tilde{y}_v), v=1, 2, \dots, C_f^m\},$$

[0116] 其中 C_f^m 表示从f个锚节点中不重复的取出m个锚节点的取法个数。

[0117] 步骤5,对步骤4得到的估计解 POS_v 进行残差加权融合,计算出目标节点T的坐标 (x, y) 。

[0118] 本步骤的具体实现如下:

[0119] (5.1)令目标节点T的每个估计解对应的锚节点 A_i 组合为 $Assem(v)$,其中 $v=1, 2, \dots, C_f^m$;每个 $Assem(v)$ 对应的锚节点为 A_j ,其中 $j=1, 2, \dots, m$,通过下式得到每个估计解的残差为 RES_v :

$$[0120] \quad RES_v = \sum_{j=1}^m (d_j - \sqrt{(\tilde{x}_v - x_j)^2 + (\tilde{y}_v - y_j)^2})^2,$$

[0121] 其中, $(\tilde{x}_v, \tilde{y}_v)$ 表示目标节点T第v个估计解的坐标, (x_j, y_j) 表示 $Assem(v)$ 中第j个锚节点的坐标, d_j 表示 $Assem(v)$ 中第j个锚节点的测距值;

[0122] (5.2)根据下式,计算目标节点T的坐标 (x, y) :

$$[0123] \quad (x, y) = \frac{\sum_{v=1}^{C_f^m} RES_v^{-1} \cdot (\tilde{x}_v, \tilde{y}_v)}{\sum_{v=1}^{C_f^m} RES_v^{-1}},$$

[0124] 其中 RES_v^{-1} 表示 RES_v 的倒数。

[0125] 结合以下的仿真对本发明的应用效果作进一步的说明:

[0126] 一、仿真条件:在10m*10m视距可达的空间内,随机分布100个目标,并在空间边缘均匀部署f个锚节点。

[0127] 二、仿真内容与结果:

[0128] 仿真1,用本发明与基于循环三边算法的室内无线定位方法、基于极大似然估计计算

法的室内无线定位方法以及基于三角质心算法的室内无线定位方法对目标节点定位的平均误差进行仿真,结果如图4所示。

[0129] 由图4可见,在相同锚节点数的情况下,本发明与基于循环三边算法的室内无线定位方法、基于最大似然估计算法的室内无线定位方法以及基于三角质心算法的室内无线定位方法相比,平均定位误差最小,并且随着锚节点数的增加,本发明的定位精度也逐渐提高。

[0130] 仿真2,当锚节点数 $f=5$ 时,用本发明与基于循环三边算法的室内无线定位方法、基于极大似然估计算法的室内无线定位方法以及基于三角质心算法的室内无线定位方法对目标节点定位的误差累计分布进行仿真,结果如图5所示。

[0131] 由图5可见,当定位精度为0.5米时,本发明与基于循环三边算法的室内无线定位方法、基于三角质心算法的室内无线定位方法以及基于极大似然估计算法的室内无线定位方法的概率分别为80.7%、78.9%、76.7%和68%;当定位精度为0.8米时,本发明与基于循环三边算法的室内无线定位方法、基于三角质心算法的室内无线定位方法以及基于最大似然估计算法的室内无线定位方法的概率分别为98.2%、96.3%、95.7%和94.4%;因而相较于这三种定位方法,本发明的定位精度更高,稳定性能更好。

[0132] 本发明未详细说明部分属于本领域技术人员公知常识。

[0133] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,显然对于本领域的专业人员来说,在了解了本发明内容和原理后,都可能在不背离本发明原理、结构的情况下,进行形式和细节上的各种修正和改变,但是这些基于本发明思想的修正和改变仍在本发明的权利要求保护范围之内。

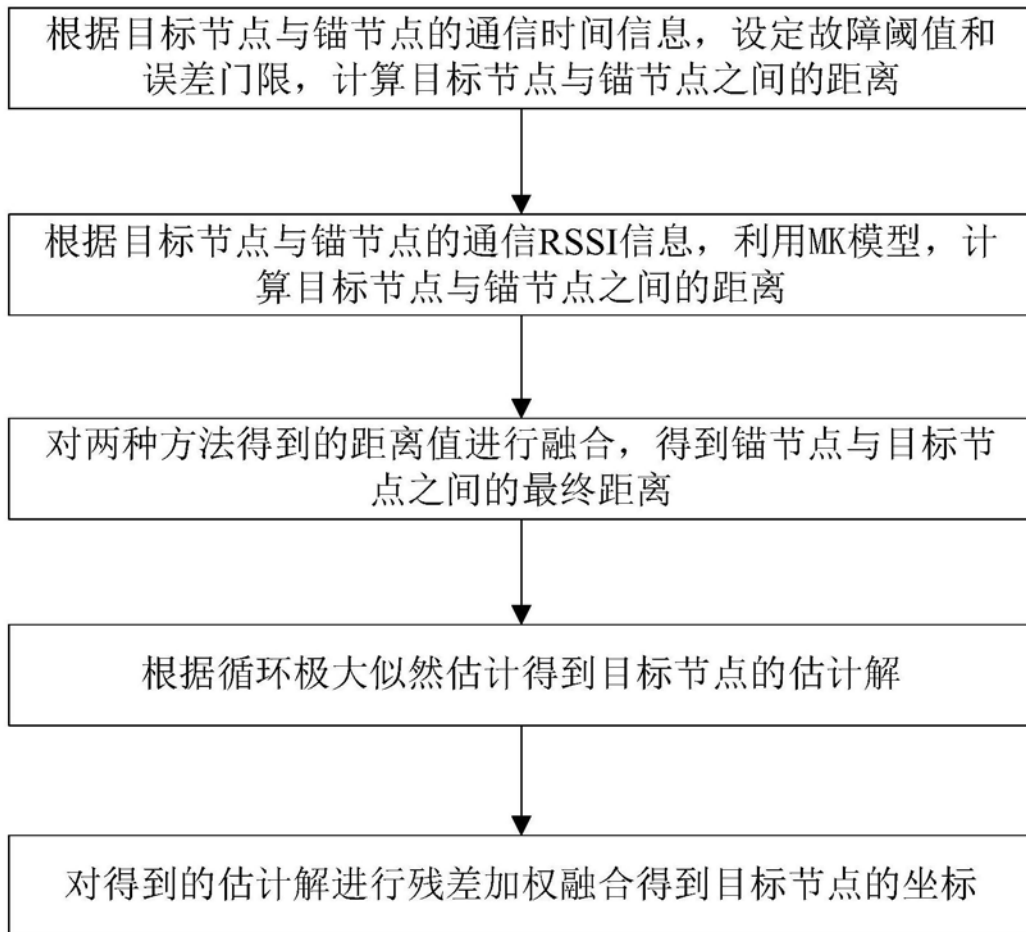


图1

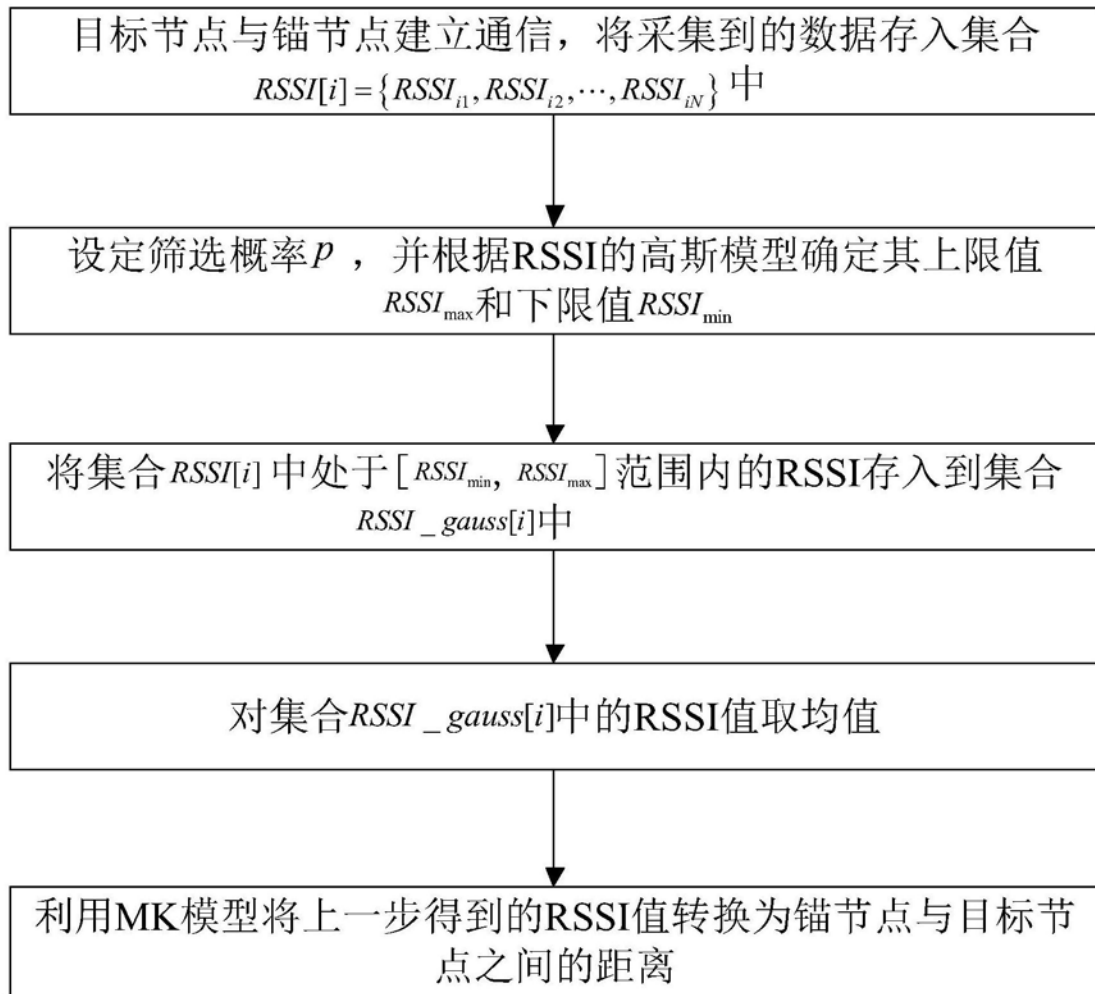


图2

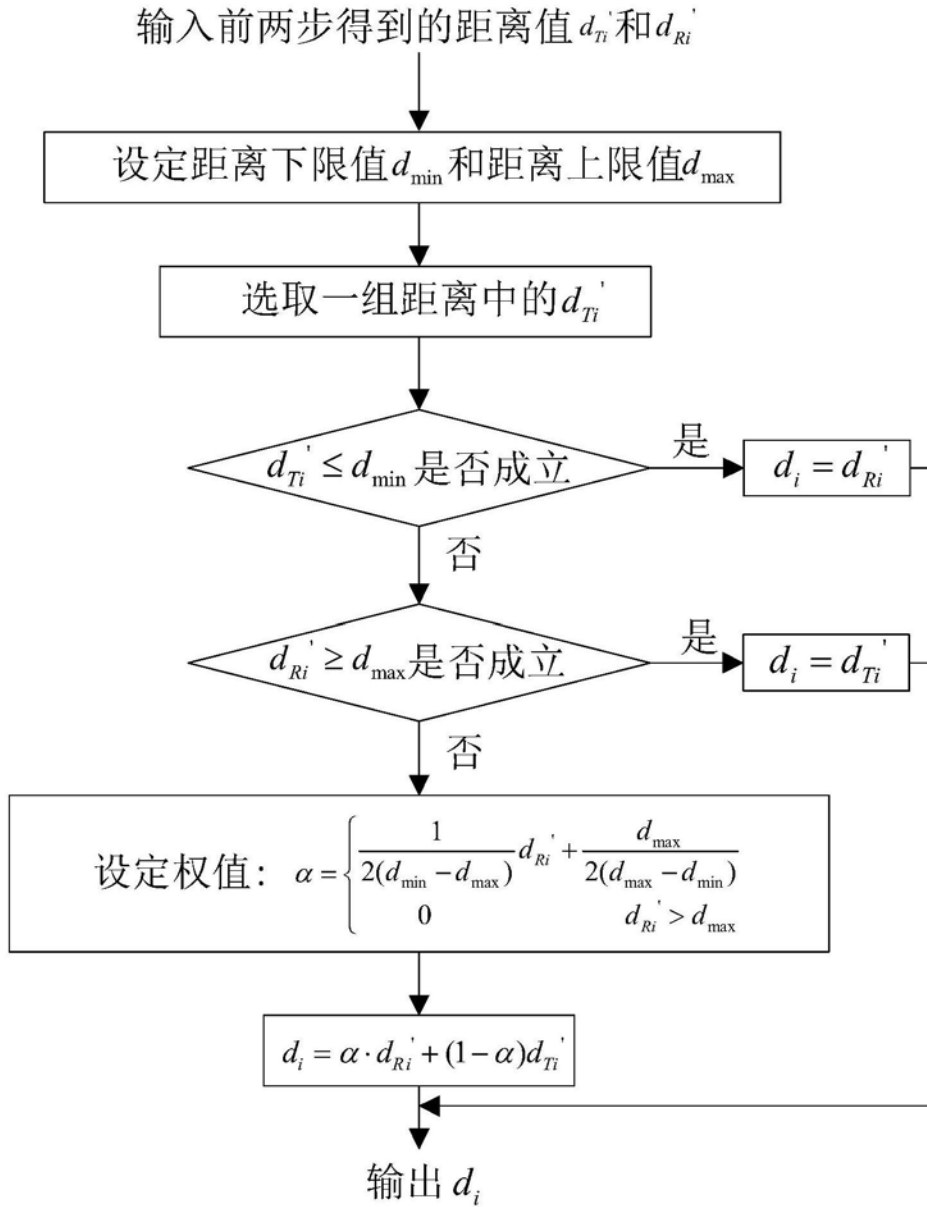


图3

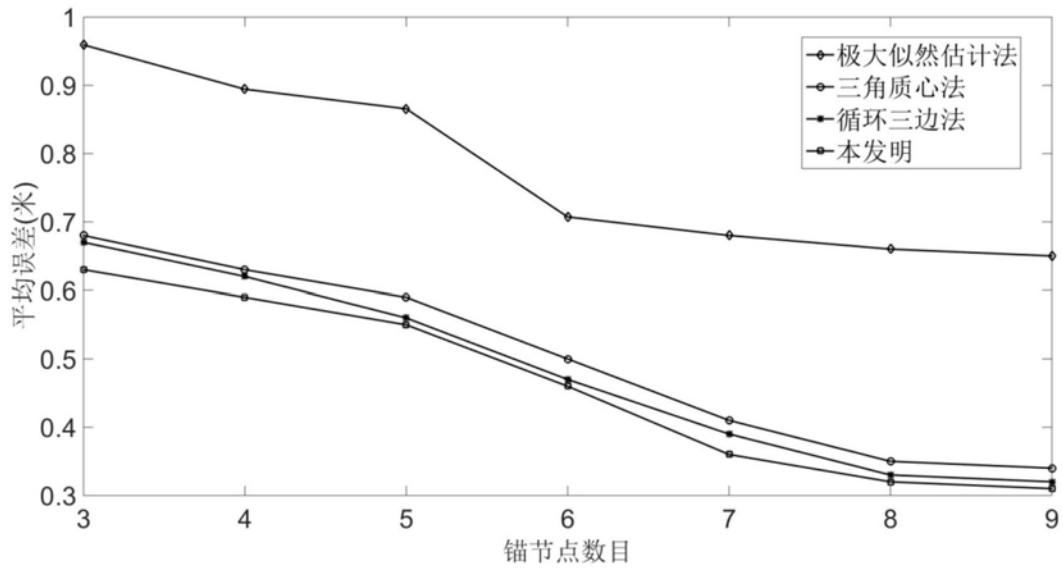


图4

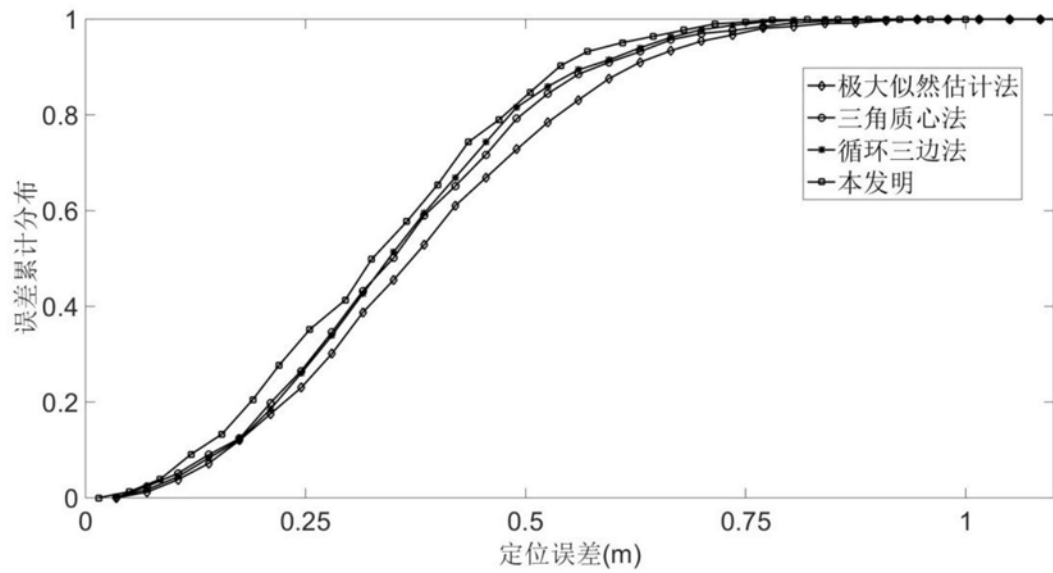


图5