

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01S 13/74 (2006.01)

G06K 17/00 (2006.01)

G06K 19/07 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710147497.X

[45] 授权公告日 2009年7月15日

[11] 授权公告号 CN 100514084C

[22] 申请日 2007.9.18

[21] 申请号 200710147497.X

[73] 专利权人 澳门科技大学

地址 中国澳门氹仔伟龙马路澳门科技大学学术
研究处 A311 室

[72] 发明人 赵军辉 张禹强

[56] 参考文献

CN1639993A 2005.7.13

CN1235429C 2006.1.4

US2006/0255919A1 2006.11.16

CN1808178A 2006.7.26

WO2006/095463A1 2006.9.14

审查员 薛瑾瑾

[74] 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司

代理人 曾旻辉

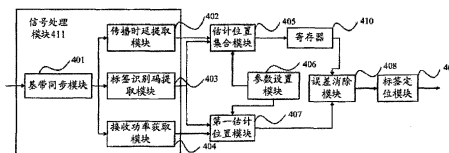
权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 3 页

[54] 发明名称

无线射频识别系统的定位方法及其装置

[57] 摘要

本发明是一种无线射频识别系统中的定位方法，通过接收到的待测标签的信号传播时延，利用加权最小二乘 TOA 定位方法，获得一组估计位置集合，而通过待测标签与各参考标签的信号强度信息，利用 RSSI 定位方法，获得一个初始估计位置，并根据该初始估计位置判断所述集合中存在非视距误差的距离值，估计该非视距误差的大小，并用该非视距误差的大小更新加权矩阵，然后利用加权矩阵重新估计定位，得到最终的定位位置，该方法结合了 TOA 定位方法与 RSSI 定位方法两种方式，有效抑制了 NLOS 误差的影响，提高了 RFID 系统定位的精度。



- 1、 一种无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：包括步骤：

预先设置读写器的数量和各读写器的位置坐标，参考标签的数量和各参考标签的位置坐标，以及所述读写器与待测标签之间的待定误差值参数；

根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；

根据所述待测标签和所述各参考标签信号的接收功率及所述参考标签的位置坐标，获得所述待测标签的第一估计位置；

从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述第一估计位置与所述第二估计位置的中值获得所述误差值；

根据所述误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。
- 2、 根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：所述误差值包括所述读写器与所述待测标签之间的非视距误差值NLOS值和所述读写器的时延估计误差值。
- 3、 根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：通过采用加权最小二乘算法获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵。
- 4、 根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：通过k邻近算法获得所述待测标签的第一估计位置。
- 5、 根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：所述参考标签的数量至少为3个。
- 6、 根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：所述参考标签为主动式标签或者被动式标签。

- 7、根据权利要求1所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：获得所述误差值的过程具体包括：根据所述待测标签的信号时延获得存在所述误差值的读写器与所述待测标签之间的距离值，根据所述中值以及距离值获得所述误差值；所述存在误差值的读写器为：所述第二估计位置对应的加权矩阵中零元素所对应的读写器。
- 8、根据权利要求4所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：所述k邻近算法中，参考标签的加权因子为 $w_j = \frac{1}{E_j^2} \bigg/ \sum_{i=1}^q \frac{1}{E_i^2}$ ，其中i、j均为小于或等于q的整数，表示第i、j个邻近的参考标签， E_i 、 E_j 分别表示待测标签与第i、j个参考标签之间的接收功率的欧几里德距离。
- 9、根据权利要求1至8任意一项所述的无线射频识别系统的定位方法，其特征在于：所述读写器和参考标签在无线环境均匀的情况下为均匀分布。
- 10、一种无线射频识别系统中的定位装置，其特征在于：包括：
- 参数设置模块，用于获取各参考标签的位置坐标、各读写器的位置坐标；
- 估计位置集合模块，用于获取并根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述各读写器与待测标签之间的待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；
- 第一估计位置模块，用于根据所述参考标签的位置坐标、所述待测标签与所述各参考标签信号的接收功率，获得所述待测标签的第一估计位置；
- 误差消除模块，用于从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述第一估计位置与所述第二估计位置的中值，获得所述误差值；
- 所述估计位置集合模块根据所述误差消除模块获得的误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。

- 11、 根据权利要求10所述的无线射频识别系统的定位装置，其特征在于：还包括寄存器模块，用于储存所述估计位置集合模块所获得的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵。
- 12、 根据权利要求10所述的无线射频识别系统的定位装置，其特征在于：所述读写器和参考标签在无线环境均匀的情况下为均匀分布。
- 13、 根据权利要求10或11或12所述的无线射频识别系统的定位装置，其特征在于：所述参考标签是主动式标签或者被动式标签。
- 14、 一种无线射频识别定位系统，其特征在于：包括：

 参数设置模块，用于获取各参考标签的位置坐标、各读写器的位置坐标；

 信号处理模块，用于对各读写器所接收的待测标签与各参考标签的信号进行同步和解调，获取标签的识别信息、信号的接收功率及信号时延；

 估计位置集合模块，用于根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述读写器与待测标签之间的待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；

 第一估计位置模块，用于根据所述参考标签的位置坐标、所述待测标签与所述各参考标签信号的接收功率，获得所述待测标签的第一估计位置；

 误差消除模块，用于从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述第一估计位置与所述第二估计位置的中值，获得所述误差值；

 所述估计位置集合模块根据所述误差消除模块获得的误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。

无线射频识别系统的定位方法及其装置

技术领域

本发明涉及无线通信技术领域，具体涉及无线通信中适用于 NLOS（非视距，non line of sight）条件下的无线射频识别系统的定位方法及其装置。

背景技术

随着移动计算设备的普及与发展，无线定位技术日益受到关注，RFID（无线射频识别，Radio Frequency Identification）是一项利用射频信号通过空间耦合（交变磁场或电磁场）实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到识别目的的技术，RFID 系统主要由两个部分组成：具有身份标记（ID 号）的 RFID 标签，以及从标签处读取信息或将信息写入标签的 RFID 读写器，RFID 系统由于其标签造价低廉，适合于大量部署，在位置定位技术中具有良好的应用前景。

现有的 RFID 系统的定位技术，多为以下两种：一、将无线信号的传播时间或者称为信号 TOA（到达时间，time of arrival）信息，换算成读写器与标签之间的距离，以读写器的坐标为圆心，以该信号的传播时间所换算出的距离为半径做圆，多个读写器所形成的圆的交点即为 RFID 标签的位置，如图 1 所示。其二，根据读写器接收到的信号，获得该信号的信号强度，并根据该信号强度，采用基于 RSSI 算法（Received Signal Strength Indicator，基于信号强度测距算法），利用无线电波的衰减与传播距离的平方大致成反比的特性，来确定标签的位置。

以上两种方法中，在 NLOS 环境下，由于反射、散射现象的存在，读写器所估计的信息传播时延包括了直射信号的时延和通过反射或散射所造成的附加时延，且读写器所接收到的信号能量也因此受到了影响，从而造成定位的不准确。

发明内容

本发明的目的在于提供一种无线射频识别系统的定位方法及其装置，以有

效消除 NLOS 传播所造成的误差，提高 RFID 系统的定位精度。

为达到上述目的，本发明采用以下技术方案：

一种无线射频识别系统的定位方法，包括步骤：

预先设置读写器的数量和各读写器的位置坐标，参考标签的数量和各参考标签的位置坐标，以及所述读写器与待测标签之间的待定误差值参数；

根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述误差值，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；

根据所述待测标签、所述各参考标签信号的接收功率及所述参考标签的位置坐标，获得所述待测标签的第一估计位置；

从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，获得所述第一估计位置和所述第二估计位置的中值，并根据所述中值获得所述误差值；

根据所述误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。

一种无线射频识别系统中的定位装置，包括：

参数设置模块，用于设置参考标签的数量和各参考标签的位置坐标、读写器的数量和各读写器的位置坐标；

估计位置集合模块，用于获取并根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述读写器与待测标签之间的待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；

第一估计位置模块，用于根据所述参考标签的位置坐标、所述待测标签与所述各参考标签信号的接收功率，获得所述待测标签的第一估计位置；

误差消除模块，用于从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述第一估计位置与所述第二估计位置的中值，获得所述误差值；

所述估计位置集合模块根据所述误差消除模块获得的误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。

一种无线射频识别系统，包括：

参数设置模块，用于设置参考标签的数量和各参考标签的位置坐标、读写器的数量和各读写器的位置坐标；

信号处理模块，用于对各读写器所接收的待测标签与各参考标签的信号进行同步和解调，获取标签的识别信息、信号的接收功率及信号时延；

估计位置集合模块，用于根据所述各读写器的位置坐标、待测标签的信号时延以及所述读写器与待测标签之间的待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵；

第一估计位置模块，用于根据所述参考标签的位置坐标、所述待测标签与所述各参考标签信号的接收功率，获得所述待测标签的第一估计位置；

误差消除模块，用于从所述集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述第一估计位置与所述第二估计位置的中值，获得所述误差值；

所述估计位置集合模块根据所述误差消除模块获得的误差值对所述加权矩阵进行更新，并根据更新后的加权矩阵，获得所述待测标签的位置坐标。

根据本发明的无线射频识别系统的定位方法及其装置，由于其同时考虑到了读写器所接收信号的信号强度信息以及信号时延 TOA 信息，从而可以综合这两种因素，以有效消除 NLOS 环境下的测量误差，提高 RFID 系统的定位精度。此外，本发明中的参数设置方案，可以根据定位系统所处环境的不同进行不同的设置，对环境动态变化的适应能力强，因此，所得到的定位信息更加准确和可靠。

附图说明

图 1 是 NLOS 环境下基于 TOA 技术的定位原理图；

图 2 是本发明的一种读写器与标签的分布示意图；

图 3 是本发明定位方法的流程示意图；

图 4 是根据本发明的一种无线射频识别系统的示意图；

图 5 是本发明实施例的定位方案与泰勒级数展开算法消除 TOA 距离值中 NLOS 误差的性能比较图。

具体实施方式

参见图 1 所示，是现有技术中 NLOS 环境下基于 TOA 技术的定位原理图，待测标签发射出的无线电波分别被读写器 1、读写器 2、读写器 3 与读写器 4 接收，根据各读写器接收到该信号的时间以及加载在发射信号中的时间戳，得到该信号从待测标签到该读写器的传播时延，即 TOA 信息，已知电波传播速度为 c （即 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ），从而可以换算出待测标签与读写器之间的距离，以读写器为圆心，以根据传播时延所换算出的距离为半径作圆，各圆的交点即为待测标签的位置。但是在 NLOS 环境下，由于存在反射、散射等现象，所判断的传播时间包括了直射时间和由于反射、散射造成的附加时延，因此，根据该传播时延所判断出的距离，并不是待测标签与该读写器之间的真实距离，从而造成定位的不准确，在误差时延为 $1 \mu\text{m}$ 的情况下，将造成 300m 的定位误差。

基于此，如图 3 所示，为了减少由于 NLOS 误差造成的定位不准确，本发明的无线射频系统的定位方法主要包括以下步骤：

S301: 预先设定需要作为参考位置的参考标签的数量和位置坐标以及读写器的数量及位置坐标，根据当前定位系统所处地理环境的不同，所设置的参考标签的数量与位置、读写器的数量与位置也有所不同，在无线环境均匀的情况下，例如定位环境范围内任何一点均能接收到无线信号时，所述读写器与参考标签均匀分布；在无线环境不均匀的情况下，例如定位环境中存在较多不规则物体时可能存在无线信号盲区时，根据实际情况，读写器和参考标签可能为不均匀分布；

S302: 对从待测标签与各参考标签发送过来的基带信号进行同步和解调，获取各基带信号的信号传播时延 t 、标签识别信息以及接收功率 P_{rec} ，由于标签在发射信号时，会在信号中加入时间戳，根据基带信号所携带的时间戳，结合接收该信号的时间，可以很容易地得出信号传播时延 t ，即 TOA 信息，而接收功

率 P_{rec} 可根据所接收信号的振幅予以确定；

S303: 预先设定各读写器与待测标签之间的待定误差值参数, 根据各读写器所接收的待测标签的信号传播时延 t 以及各读写器的位置坐标, 以及待定误差值参数 (待定误差值参数同时考虑读写器与待测标签之间存在 LOS 传播与 NLOS 传播两种情况, 即, 当读写器与待测标签为 LOS 传播时, 误差值为 0, 而当读写器与待测标签之间为 NLOS 传播时, 误差值大于零) 获得待测标签的估计位置的集合及对应的加权矩阵, 其中, 该估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵的获得可以通过采用加权最小二乘 TOA 算法来实现;

S304: 根据各读写器所接收的待测标签及各参考标签的接收功率 P_{rec} , 以及各参考标签的位置坐标, 获得待测标签的第一估计位置, 其中, 该第一估计位置的获得可以通过采用 k 邻近算法来实现;

S305: 从所述集合中选取与所述第一估计位置结果最相近的第二估计位置, 并判断所述集合中存在非视距误差的距离值, 其中, 判断哪些距离值存在非视距误差的方式是: 所述第二估计位置所对应的加权矩阵中, 元素为 0 所对应的读写器的距离值即为存在 NLOS 误差的距离值, 即该读写器所对应的误差值大于零;

S306: 求取第一估计位置与第二估计位置的中值, 根据该中值, 求取误差值的估计值, 该误差值的估计值的计算方式可以是实际距离值与平均值跟实际距离值的平方差, 并根据该误差值更新加权矩阵;

S307: 根据更新后的加权矩阵, 得到待测标签的位置坐标, 即待测标签的最终定位位置, 获取该待测标签的最终定位位置的方式可以是, 根据更新后的加权矩阵采用加权最小二乘 TOA 算法来获得, 即, 根据步骤 S306 中所估计到的误差值, 并根据该误差值构造出新的加权矩阵, 并利用该新的加权矩阵, 采用加权最小二乘 TOA 算法获得最终的估计位置。

采用这种无线射频识别系统的定位方法, 由于它结合了两种定位方式, 即通过 RSSI 定位方法的第一估计位置从 TOA 定位方法的估计位置集合中获取一个与其更接近的第二估计位置, 通过这两个估计位置获得 NLOS 环境下的误差估计, 以更新加权矩阵, 并根据更新后的加权矩阵来重新估计定位, 由于同时利用到

了 RSSI 定位方法中的信号强度信息以及 TOA 定位方法中的 TOA 信息，从而可以有效消除 NLOS 环境下的测量误差，提高 RFID 系统的定位精度。

其中，所述步骤 S303 中，当采用加权最小二乘 TOA 估计 (WLS TOA) 进行位置估计时，其采用的加权方式可以是：对于 LOS 距离值的加权系数不为 0，而对于 NLOS 距离值其加权值则为 0，从而使 NLOS 状态下的距离值无效，以得到更精确的定位位置，由于事先并不知道哪些读写器的距离值具有 NLOS 传播误差，因此，可以将每个距离值分别看作具有 NLOS 误差与不具有 NLOS 误差两种情况来考虑，从而可以获得考虑了所有情况下的估计位置。由于考虑了所有情况，那么在这个估计位置的集合中，就必然存在了一个最接近真实位置的估计位置。

所述步骤 S304 中，采用 k 邻近算法进行估计定位以获取时，参考标签的加权因子可以是 $w_j = \frac{1}{E_j^2} \bigg/ \frac{1}{\sum_{i=1}^q E_i^2}$ ，其中 i、j、q 均为整数，且 i、j 不大于 q，分别表示第 i、j 个邻近参考标签， E_j 表示待测标签与第 j 个参考标签之间的接收信号强度的欧几里德距离。

根据上述本发明的估计定位方法，下面对本发明的一个具体实施例进行详细阐述。

1、首先，根据实际环境的需要，设定需要作为参考位置的参考标签的数量和位置，设定读写器的数量和位置，这里所说的位置可以是参考标签或者读写器的位置坐标，在本实施例中，读写器的数量至少为 3 个，在不同的情况下，根据当前系统所处的环境以及地理位置的不同，可以有不同的设定，从而可以假定至少存在 3 个 LOS 路径，参考标签位置设置的一个例子如图 2 所示，多个参考标签均匀地分布在读写器的周围，从而每个待定位标签的周围的参考标签的数量都尽可能相等，从而在总的参考标签的数量保持不变的情况下，避免了某些地方的标签由于缺乏足够的参考标签而导致定位精度下降的问题；以上情况为所定位区域内均能接收到无线信号的情况，对于存在无线信号盲区的情况，需要合理设定参考标签和读写器的位置来确保无盲区存在。

2、接收待测标签与参考标签所发送过来的基带信号，对已采样的基带接

收信号进行同步和解调，获得信号传播时延 t 和接收功率 P_{rec} ，提取出标签 ID 号以识别不同的标签；

3、根据各读写器接收到的待测标签的信号传播时延 t ，以及各读写器的位置，获取一组估计位置的集合，在本实施例中，采用基于到达时间（TOA）的加权最小二乘估计算法来获得该估计位置的集合及对应的加权矩阵；

当待测标签发射出无线信号时，该无线信号可被多个读写器所捕获，由于 RFID 定位系统中读写器数目至少为 3 个，且可以没有上限，因此可以假定所有读写器接收到的 TOA 信息中至少有 3 个读写器与待测标签存在视距（LOS）路径，同时我们也可以在读写器方位布置时尽量满足此条件，以得到 3 个 LOS 路径。

在本实施例中，所采用的加权最小二乘 TOA 算法的基本做法是对读写器估计的信号时延建立的非线性方程组进行两步加权最小二乘线性估计。

首先，在进行第一步的加权最小二乘估计时，采用的加权值为两个，即，对于 LOS 环境下的距离值，对其有一定的加权值，即加权系数不为 0，以及对于 NLOS 环境下的距离值，对其加权值为 0（表示该读写器的距离值无效），其中，对于同一个读写器的距离值，同时考虑该距离值为 LOS 距离值与 NLOS 距离值两种情况，在这种情况下，利用加权值构造不同的加权矩阵，由于考虑了所有情况，从而这些加权矩阵中必定存在这样一个矩阵，即其对角线上的元素与具有 LOS 路径和具有 NLOS 路径的读写器距离值完全匹配（即对 LOS 距离值有适当加权，对 NLOS 距离值加权为 0），在获得所有的估计结果及其对应的加权矩阵后，可将其予以储存。

在该步骤中，由于事先并不知道哪些距离值具有 NLOS 误差，故在存在 M 个读写器和至少三个 LOS 的情况下，共有 $K = \sum_{i=3}^M C_M^i = 2^M - M/2 - M^2/2 - 1$ （ M 表示读写器的数目）种可能的加权方式，每种加权方式都得到一个估计结果，且每个估计结果都与一个加权矩阵相对应。

对任意一个读写器 m （ $1 \leq m \leq M$ ），在考虑 NLOS 的情况下，其与待测标签之间的距离值为：

$$\begin{aligned} d_m^2 &= (x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 + NLOS_m + n_m \\ &= K_m - 2x_mx - 2y_my + x^2 + y^2 + NLOS_m + n_m \end{aligned} \quad \text{[公式 1]}$$

其中, $d_m = ct_m$ 为实际距离值 (c 为电磁波传播速度, t_m 为传播延迟), (x_m, y_m) 是第 m 个读写器的坐标, (x, y) 是待测标签的坐标, $K_m = x_m^2 + y_m^2$ 为读写器 m 到原点距离的平方, $NLOS_m$ 是待测标签同接收机 m 之间因 NLOS 传播导致的误差, 在 LOS 条件下, 其值为 0, n_m 是读写器时延估计引入的误差, 在 LOS 条件下, 其值为 0。[公式 1] 可以改写成下面的形式:

$$\frac{1}{2}(d_m^2 - K_m) = [-x_m \quad -y_m \quad 0.5] \begin{bmatrix} x \\ y \\ K \end{bmatrix} + \frac{1}{2}(NLOS_m + n_m) \quad \text{-----[公式 2]}$$

其中, $K = x^2 + y^2$ 。从而, 待估计的参数为 $\boldsymbol{\theta} = [x, y, K]^T$, 且 [公式 2] 可写成线性矩阵形式:

$$\mathbf{h} = \mathbf{H}\boldsymbol{\theta} + \mathbf{N}_{\text{Err}} \quad \text{-----[公式 3]}$$

其中:

$$\mathbf{h} = \frac{1}{2} [d_1^2 - K_1 \quad \dots \quad d_M^2 - K_M]^T$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -x_1 & -y_1 & 0.5 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -x_M & -y_M & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N}_{\text{Err}} = \frac{1}{2} [NLOS_1 \quad \dots \quad NLOS_M]^T + \frac{1}{2} [n_1 \quad \dots \quad n_M]^T$$

[公式 3] 为线性方程组, 可进行线性加权最小二乘法 (WLS) 估计, 设误差矢量为 $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{h} - \mathbf{H}\boldsymbol{\theta}$, 则代价函数为:

$$J = \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W} \boldsymbol{\varepsilon} \text{-----[公式 4]}$$

式中加权矩阵 $\mathbf{W} = \mathbf{C}^{-1} = (a^2 \mathbf{I})^{-1}$ ，利用 [公式 2]、[公式 3]、[公式 4] 可得到 $\boldsymbol{\theta}$ 的 WLS 估计值：

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = [\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H}]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{h} \text{-----[公式 5]}$$

$\hat{\boldsymbol{\theta}}$ 的协方差矩阵为：

$$\text{cov}(\hat{\boldsymbol{\theta}}) = [\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H}]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} [c^2 \mathbf{D}^T \mathbf{C} \mathbf{D}]^{-1} \mathbf{W} \mathbf{H} [\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H}]^{-1} \text{-----[公式 6]}$$

式中 $\mathbf{D} = [d_{10} \dots, d_{M0}] \mathbf{I}_{M \times M}$ ， d_{m0} 表示第 m 个读写器与待测标签的真实距离； $\mathbf{C} = [a_1^2, \dots, a_M^2] \mathbf{I}_{M \times M}$ 为时延估计的协方差矩阵，当存在 LOS 时， $a_n^2 = c^2 d_{m0}^2 s_m^2$ ；存在 NLOS 时，令 $a_n^2 = 0$ ，其中， d_{m0} 是第 m 个读写器与待定位标签的真实距离， s_m 是假定各读写器的距离值相互独立且服从正态分布时，第 m 个读写器的距离值的标准差。

当获得了所有的加权矩阵及其对应的估计结果后，可将其储存在寄存器中，在所有的加权方式的估计结果中，每种加权方式的估计结果记为 $\hat{\boldsymbol{\theta}}(k)$ 。由于考虑了所有可能的加权方式，所以在 $\hat{\boldsymbol{\theta}}(k)$ ($1 \leq k \leq K$) 组成的集合中必定包含一个与待测标签真实位置最近的估计值，且该估计值对应的加权方式是最佳的，该最佳估计值可通过与下述所得初始估计位置联合分析所获得。

4、 根据待测标签及各参考标签的 RSSI (Received Signal Strength Indication, 接收信号强度指示器) 信息及，获取待测标签的第一估计位置，其中，在本实施例中，根据接收信号强度信息，采用 k 邻近算法来获得该第一估计位置；

由于视距条件下标签到读写器的传输功率随传播距离的关系可由 Friss 公式表示： $P_{rec} = P_{EIRP} G_{reader} (l/4pd)^2$ ，其中， l 为载波波长， d 为读写器和标签

之间的视距距离，此外，RFID 读写器可识别出数个不同的接收信号功率级别，从而，根据 RFID 读写器所接收到的功率，将 Friis 公式进行变换，可以得到该功率所对应的距离信息。

假设系统中作为参考位置的参考标签的数目为 N 个，该参考标签可以是主动式标签也可以是被动式标签，主动式标签可以主动发射信号，可同时识别多个目标系统，被动式标签需要外界提供能量才能工作，当标签进入系统的工作区域，接收到特定的电磁波，线圈就会产生感应电流，再经过整流电路给标签供电。

读写器连续扫描其可识别范围内的标签，获取其接收功率信息，定义测量到的标签信号强度向量为 $\mathbf{S} = (S_1, S_2, \dots, S_M)$ ，其中 $S_i (i \in \{1, M\})$ 表示待测标签发出的信号被第 i 个读写器接收到的强度等级。定义参考标签在读写器的接收信号强度向量为 $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_M)$ ，其中 s_i 表示读写器 i 接收到的该标签的信号强度等级。定义每次测量时得到的待测标签和参考标签 j 之间的信号强度

的欧几里德距离为 $\mathbf{E}_j = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\mathbf{s}_i - S_i)^2}$ ， $j \in \{1, N\}$ ，则 \mathbf{E} 定义了参考标签和待测标签之间的位置关系，根据这种位置关系，离待测标签距离最近的参考标签具有最小的 \mathbf{E}_j 值，对于 N 个参考标签，待测标签具有 \mathbf{E} 向量 $\mathbf{E} = (\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \dots, \mathbf{E}_N)$ 。

通过比较待测标签的 \mathbf{E} 向量值，可获得与其距离最相近的参考标签，由于 \mathbf{E} 向量仅仅反映出了参考标签的位置远近关系，为形成待测标签的坐标信息，使用 q 个最近的参考标签坐标来形成待测标签的位置信息， q 可以选择 3 至 N 之间的任意整数， q 值越多定位精度越高，取决于实际的定位环境。令待测标签的坐标 (x, y) 由各近邻的坐标加权获得：

$$(x, y) = \sum_{j=1}^q w_j (x_j, y_j) \text{ ----- [公式 7]}$$

其中， w_i 为第 i 个近邻参考标签的加权因子，且各个加权因子的总和为 0。该加

权因子 w_i 的选择准则是：参考标签距离待测标签的信号强度越接近，相应的加权因子越大。为简单起见，这里我们所选择的加权因子为：

$$w_j = \frac{1}{E_j^2} \bigg/ \prod_{i=1}^q \frac{1}{E_i^2} \text{----- [公式 8]}$$

记由该 RSSI 定位方法得到的估计位置结果为 Z_{rssi} ，即第一估计位置，其值为：

$$Z_{rssi} = (x, y) = \prod_{i=1}^q w_i(x_i, y_i)。$$

5、 消除 NLOS 误差距离值并获得最终定位位置

根据前述描述，由加权最小二乘 TOA 得到的结果集合 $\hat{q}(k)$ ($1 \leq k \leq K$) 中，必然存在靠近真实值的解；而根据 RSSI 定位方法，也得到了一个靠近真实值的解。根据 RSSI 定位方法中所获得的靠近真实值的解，从 $\hat{q}(k)$ 中选择一个最佳的加权矩阵 \hat{W} ，其选择的方式为：

$$\hat{W} = \arg \left\{ \min_{\{w\}} \left(\left\| \hat{q}(k) - Z_{rssi} \right\|^2 \right) \right\} \text{----- [公式 9]}$$

其中， $\{w\}$ 表示所有加权矩阵组成的集合， k 代表了不同的加权矩阵。记与 \hat{W} 中权值为 0 相对应的读写器组成的集合为 R_N ，即由 NLOS 读写器组成的集合为 R_N ，其个数为 L ，则由 LOS 读写器组成的集合为 R_L ，其个数为 $M-L$ 。记由 [公式 5] 和 [公式 9] 得到的定位结果的估计位置的中值为 (x_{temp}, y_{temp}) ，那么，该中值已经比较接近真实位置信息。

令 $q_l = [x_{temp}, y_{temp}]^T$ ，集合 R_N 中各个元素其 NLOS 传播误差的估计记为 $disN_l$ ，($1 \leq l \leq L$)，该值可以通过下式得到：

$$disN_l = d_l^2 - \left((q_l(1) - x_l)^2 + (q_l(2) - y_l)^2 \right) \text{----- [公式 10]}$$

则 $disN$ 的协方差矩阵为：

$$\text{cov}(\mathbf{disN}) = \mathbf{H}_N \text{cov}(\theta_t) \mathbf{H}_N^T \text{-----} [\text{公式 11}]$$

其中:

$$\mathbf{H}_N = \begin{bmatrix} -2x_{n1} & -2y_{n1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_{nL} & -2y_{nL} & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{disN} = [disN_1, \dots, disN_L]^T$$

(x_{nl}, y_{nl}) 表示第 l 个具有 NLOS 误差的读写器的位置坐标。

令存在 LOS 路径的读写器其 NLOS 传播误差为 0, 并且对它的估计误差也为 0, 因此 $\mathbf{dis} = [0_{(M-L) \times 1}^T, \mathbf{disN}^T]^T$ 表示所有读写器的 NLOS 误差的估计值, 其协方差矩阵为:

$$\text{cov}(\mathbf{dis}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \text{cov}(\mathbf{disN}) \end{bmatrix}_{M \times M} \text{-----} [\text{公式 12}]$$

利用 [公式 10] 得到的估计值可用于更新具有 NLOS 传播误差的距离值, 然后利用该更新后的距离值采用加权最小二乘 TOA 定位算法在 [公式 5] 的基础上再估计 θ 。此时的加权矩阵为:

$$\mathbf{W}_{new} = [c^2 d_{m0}^2 s_m^2 + \text{cov}(\mathbf{dis})]^{-1} \text{-----} [\text{公式 13}]$$

更新后的协方差矩阵为:

$$\text{cov}(\theta_{new}) = [\mathbf{H}^T \mathbf{W}_{new} \mathbf{H}]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W}_{new} \mathbf{H} [\mathbf{H}^T \mathbf{W}_{new} \mathbf{H}]^{-1} \text{---} [\text{公式 14}]$$

根据 [公式 10]、[公式 12] 和 [公式 13] 的基础上可以得到最终位置估计 $\hat{\theta}_F$, 其协方差矩阵为:

$$\text{cov}(\hat{\theta}_F) = \theta_0^{-1} \left(\mathbf{H}'^T (\mathbf{H}_0 \text{cov}(\theta_{new}) \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}' \right)^{-1} \theta_0^{-1} \text{-----} [\text{公式 15}]$$

其中: $\mathbf{H}_0 = [x, y, 0.5] \mathbf{I}$, $\mathbf{H}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$, $\theta_0 = [x, y] \mathbf{I}$ 。

针对上述具体实施例中的方式, 下面对其性能作一具体分析。

TOA 估计结果可以近似为方差 \mathbf{C} 的高斯变量，估计矢量参数 $\mathbf{t}=[t_1, t_2, t_3, \dots, t_M]^T$ ，由于 NLOS 的存在，其均值为 $\bar{\mathbf{u}}_t = E[\mathbf{u}_t] = (\mathbf{d}' + \mathbf{d}_{NLOS})/c$ 。其中：

$$\mathbf{d}' = \left[\left((x_1 - q_F(1))^2 + (y_1 - q_F(2))^2 \right)^{1/2}, \dots, \left((x_M - q_F(1))^2 + (y_M - q_F(2))^2 \right)^{1/2} \right]^T \quad \text{--- [公式 16]}$$

$$\mathbf{t}' = \mathbf{d}'/c$$

令 $\hat{\mathbf{t}}$ 是无偏估计量，矢量参数的 CRLB (克拉美·罗界) 允许对估计量的每个元素的方差置一个下限。假定 \mathbf{t} 满足高斯分布 $N(\bar{\mathbf{u}}_t, \mathbf{C})$ ，其中 $\bar{\mathbf{u}}_t$ 为均值， \mathbf{C} 为 $M \times M$ 协方差矩阵。那么 TOA 估计值的概率密度似然函数为：

$$p(\mathbf{t}; \mathbf{t}') = \frac{1}{(2\pi)^{M/2} \det^{1/2}[\mathbf{C}]} \exp \left[-\frac{1}{2} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t)^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t) \right] \quad \text{--- [公式 17]}$$

如果该 PDF (概率密度函数, Probability Density Function) $p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')$ 满足“正则”条件，即：

$$E \left[\frac{\partial \ln p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')}{\partial \mathbf{t}'} \right] = 0, \quad \text{对于所有的 } \mathbf{t}'$$

其中数学期望是对 $p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')$ 取得，那么任何无偏估计量 \hat{t}_i 的方差必定满足：

$$\text{var}(\hat{t}_i) \geq [\mathbf{I}^{-1}(\mathbf{t}')]_{ii} \quad \text{--- [公式 18]}$$

其中 $\mathbf{I}(\mathbf{t}')$ 是 $M \times M$ 的 Fisher 信息矩阵，由下式定义：

$$[\mathbf{I}(\mathbf{t}')]_{ij} = -E \left[\frac{\partial^2 \ln p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')}{\partial t'_i \partial t'_j} \right], \quad i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, M \quad \text{--- [公式 19]}$$

其中导数是在 \mathbf{t}' 的真值处计算得到，数学期望是对 $p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')$ 取得。

为计算 $[\mathbf{I}^{-1}(\mathbf{t}')]_{ij}$ ，求出一阶导数：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')}{\partial t'_k} &= -\frac{1}{2} \frac{\partial \ln \det[\mathbf{C}]}{\partial t'_k} - \frac{1}{2} \left[(\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t)^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t) \right] \\ &= -\frac{1}{2} \text{tr} \left(\mathbf{C}^{-1} \frac{\partial \mathbf{C}}{\partial t'_k} \right) + \frac{\partial \bar{\mathbf{u}}_t^T}{\partial t'_k} \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t) - \frac{1}{2} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t)^T \frac{\partial \mathbf{C}^{-1}}{\partial t'_k} (\mathbf{t} - \bar{\mathbf{u}}_t) \end{aligned} \quad \text{--- [公式 20]}$$

由于协方差矩阵 \mathbf{C} 与 \mathbf{t}' 无关，得到无偏估计量 $\hat{\mathbf{t}}$ ：

$$[\mathbf{I}(\hat{\mathbf{t}})]_{ij} = E \left[\frac{\partial \ln p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')}{\partial t'_i} \frac{\partial \ln p(\mathbf{t}; \mathbf{t}')}{\partial t'_j} \right] = \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)^T}{\partial t'_i} \mathbf{C}^{-1} \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)}{\partial t'_j} \text{-----} [\text{公式 21}]$$

得到 θ_F 坐标估计的 CRLB 为:

$$[\mathbf{I}(\hat{\mathbf{t}})]_{ij} = \frac{1}{2c^2} \left(\frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)^T}{\partial t'_i} \mathbf{C}^{-1} \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)}{\partial t'_j} \right)^{-1} = (\mathbf{G}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{G})^{-1} \text{-----} [\text{公式 22}]$$

其中 $\frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)}{\partial \mathbf{t}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)_1}{\partial t_1} & \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)_2}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial(\bar{\mathbf{u}}_i)_M}{\partial t_M} \end{bmatrix}$, t_i 表示待测标签和读写器的真实传播

延迟; $\mathbf{G} = \begin{bmatrix} (x_1 - x_0)/ct_{10} & \dots & (x_M - x_0)/ct_{M0} \\ (y_1 - y_0)/ct_{10} & \dots & (y_M - y_0)/ct_{M0} \end{bmatrix}$ 。

当 $\text{cov}(\text{disN})=0$ 时, 即不存在 NLOS 传播误差时, 可得到 $\text{cov}(\hat{\theta}_F) = \mathbf{I}(\hat{\mathbf{t}})$ 。当 $\text{cov}(\text{disN}) \neq 0$ 时, 表明存在 NLOS 误差, 根据 $M-L \geq 3$ 的假设条件和 [公式 6]、[公式 11]、[公式 13]、[公式 15] 可认为 $\text{cov}(\text{disN}) \approx 0$ 。因此, 本定位方法所得到的估计位置的协方差接近 CRLB, 可以有效减少 NLOS 误差, 提高定位精度。

根据上述实施例, 下面作一具体的仿真分析, 其具体的仿真条件为: RFID 无线射频频率选择为 800MHz。假设有 $M=8$ 个读写器, 其位置分别为 $(x_1=0, y_1=0)$ 、 $(x_2=-2, y_2=6.5)$ 、 $(x_3=4, y_3=6)$ 、 $(x_4=-2, y_4=4)$ 、 $(x_5=3, y_5=4.5)$ 、 $(x_6=-5, y_6=4.5)$ 、 $(x_7=2, y_7=3)$ 、 $(x_8=-4, y_8=2)$ 。RSSI 算法中最近邻个数 $q=4$, 16 只参考标签的坐标分别为 $(0, 3)$ 、 $(0, 5)$ 、 $(-2, 3.5)$ 、 $(2, 3.5)$ 、 $(-2, 5.5)$ 、 $(2, 5.5)$ 、 $(-3, 5)$ 、 $(3, 5)$ 、 $(-3, 3)$ 、 $(3, 3)$ 、 $(1.5, 2)$ 、 $(-1.5, 2)$ 、 $(-1, 4.5)$ 、 $(1, 4.5)$ 、 $(-1, 2.5)$ 、 $(1, 2.5)$ 。仿真中假设 $d_m = d_{m0} + n_m + NL \times \text{rand}$, 其中 rand 产生 $[0, 1]$ 区间内的随机数, NL 为最大 NLOS 传播误差。令读写器时延估计误差值和射频频率 f 的关系为: $n = 0.1 \times (1\text{GHz}/f)$ 。令最近的 4 个参考标签和该待测标签具有相同的 NLOS 值, 在本仿真中, 不考虑穿透障碍物导致的信号衰落。

图 5 给出根据本发明实施例中提出的方法 (RSSI 部分结果一并给出) 以及静态定位方法中的泰勒级数展开算法对移动标签运动轨迹上 100 个测试采样点

的 TOA 测量值 (这里转化成了距离测量值, 简称距离值) 的最大 NLOS 误差 (NL) 和平均定位误差 MSE (Mean Square Error, 均方差) 之间的关系曲线图 (100 次独立定位平均结果)。泰勒级数展开算法使用方法为: 拟定一初始值的情况下, 用泰勒级数展开用于求解根据达到时间值所确定的非线性定位方程组。其中的收敛参数给定为 0.1 米, 泰勒级数展开算法使用与本实施例中相同的 NLOS 模型, 每次仿真循环给定的 NLOS 模型服从 0-NL 之间的均匀分布, 其中具有 LOS 传播的读写器个数为 3。仿真时令待测标签的真实坐标分别为 (2.2, 4.5)、(-1.5, 3)、(0, 2)、(1.5, 3.5)、(0, 4), 仿真中待测标签位于这五个坐标的概率相等。

其中 CRLB 由 [公式 22] 给出。可以看到, 在有 NLOS 干扰并且引起的传播误差较大时, 泰勒级数展开算法得到的结果成线性增长, RSSI 定位方法有一定的抗 NLOS 误差的能力, 但在低误差影响下的定位精度不甚理想, 而根据本发明提出的定位方案在至少存在三个 LOS 路径的条件下可以有效地估计出移动台的位置, 当 NLOS 传播误差显著增加时, 本发明方法的估计结果的方差基本相同。由于存在至少 3 个 LOS 路径, [公式 6] 的影响趋向于 0, 本发明的定位方案在高估计误差方差的情况下接近 CRLB 限, 可以更好地逼近真实的 TOA 距离值。

参见图 4 所示, 本发明的无线射频识别系统的示意图, 该系统包括定位装置以及信号处理模块。

信号处理模块 411, 用于对接收到的基带信号进行同步和解调, 获取标签发送过来的无线信号的功率 P_{rec} 、标签 ID 号及信号传播时延值 t , 其中, 该信号处理模块 411 具体包括: 基带同步模块 401, 用于对读写器和标签取得时间上的同步, 传播时延提取模块 402, 用于获得读写器所接收到的信号的传播时延值 t , 标签识别码获取模块 403, 用于提取各标签的识别信息, 即标签 ID 号, 接收功率获取模块 404, 用于获得各标签发送过来的无线信号的功率 P_{rec} 。

该定位装置包括:

参数设置模块 406, 用于设定需要作为参考位置的参考标签的数量和位置以及读写器的数量和位置, 其中, 对读写器与参考标签位置的设定可以根据当前

系统所处的地理环境的不同而不同；

估计位置集合模块 405，用于设定读写器与待测标签之间的待定误差值参数，根据各读写器接收到的待测标签的信号传播时延、各读写器的位置以及待定误差值参数，获得所述待测标签的估计位置的集合及各估计位置对应的加权矩阵，该集合的获取方式可以是：根据各读写器所接收的待测标签的传播时延，采用加权最小二乘 TOA 估计来获得，且该估计位置的集合可以是考虑了所有情况的估计位置的集合；

第一估计位置模块407，用于根据各读写器所接收的待测标签及各参考标签的接收功率，以及各参考标签的位置，采用k邻近算法获得待测标签的第一估计位置，且在该k邻近算法中，对参考标签的加权因子为， $w_j = \frac{1}{E_j^2} / \sum_{i=1}^q \frac{1}{E_i^2}$ ，其中j表示第j个邻近参考标签， E_j 表示待测标签与第j个参考标签之间的接收信号强度的欧几里德距离；

误差消除模块408，用于从所述估计位置集合中选择与所述第一估计位置最接近的第二估计位置，并根据所述待测标签的信号时延获得的读写器与所述待测标签之间的距离值，根据所述第一估计位置与第二估计位置的中值以及所述距离值，获得所述误差值；

标签定位模块 409，用于根据所述误差值更新加权矩阵，重新估计待定标签的位置，得到待测标签的最终定位位置。

此外，该装置还可以包括寄存器模块410，用于储存所述估计位置集合模块所获得的估计位置的集合。

另外，所述参考标签可以是主动式标签，也可以是被动式标签，主动式标签可以主动发射信号，可同时识别多个目标系统，被动式标签需要外界提供能量才能工作，当标签进入系统的工作区域，接收到特定的电磁波，线圈就会产生感应电流，再经过整流电路给标签供电。根据实际应用需要的不同，可以选择不同类型的标签，在短距离识别的情况下，可以选用被动式标签，在远距离识别需要的情况下，可选用主动式标签。

根据上述无线射频识别系统的定位装置，当需要对待测标签进行定位估计时，根据当前系统所处的地理环境以及综合考虑其他的各项因素，用参数设置模块406设置读写器以及参考标签的数量和位置，该参考标签可以是主动标签也可以是被动式标签，然后，信号处理模块411对上述各读写器所接收到的接收信号进行同步和解调，获取传播时延 t 、标签识别ID号以及接收功率 P_{rec} ，并将 t 、ID输送给估计位置集合模块405，将ID与 P_{rec} 输送给第一位置估计模块407，估计位置集合模块405根据其所接收到的 t 与ID，以及参数设置模块406所设置的读写器数量和位置，得到一个估计位置的集合及对应的加权矩阵，并将该集合及加权矩阵存储到寄存器410，由寄存器输送给误差消除模块408，或者直接传送给误差消除模块408，初始位置估计模块407根据其所接收到的标签ID号与接收功率 P_{rec} ，以及参数设置模块406所设置的读写器及参考标签的数量和位置，得到一个初始估计位置，即第一估计位置，并将该初始估计位置输送给误差消除模块408，误差消除模块408根据该第一估计位置以及估计位置集合模块408所得到的估计位置集合，判断估计位置集合中哪些距离值存在误差，估计该误差的大小，并根据该误差值更新加权矩阵，最后，标签定位模块409根据误差消除模块更新后的加权矩阵重新进行位置估计，获得最终的估计位置。

需要说明的是，上列详细说明均是对本发明的可行实施例的详细说明，在不分离本发明实质的情况下，还可以对两个或两个以上的待定标签进行，因此，本发明的实施例并非用以限制本发明的专利范围，凡未脱离本发明所为的任何等效实施或变更，均应包含于本案的专利范围中。

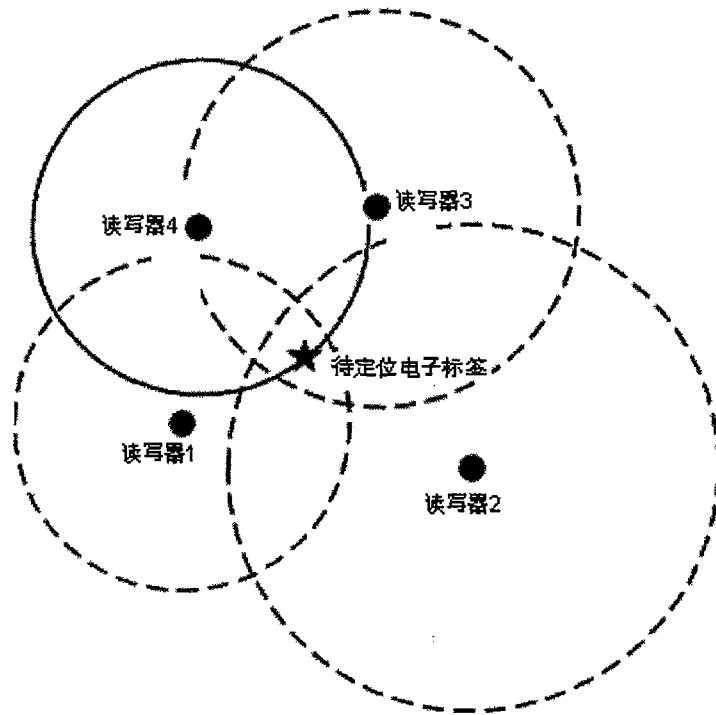


图 1

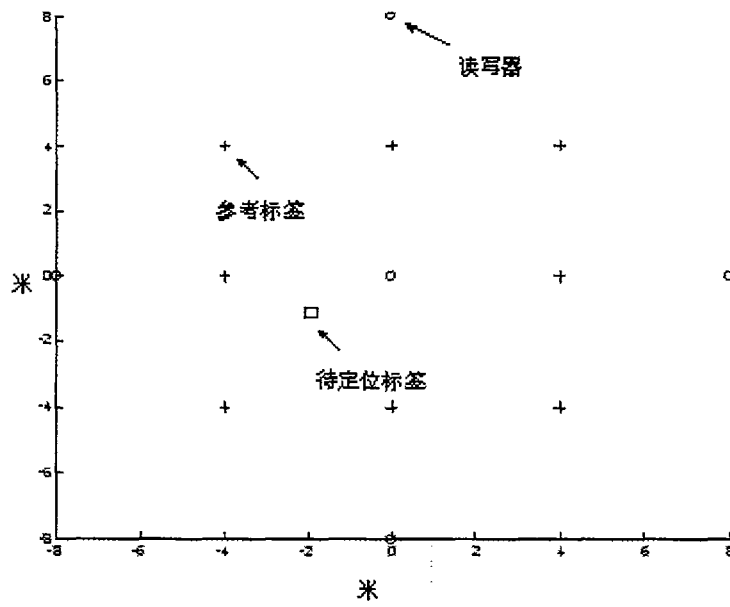


图 2

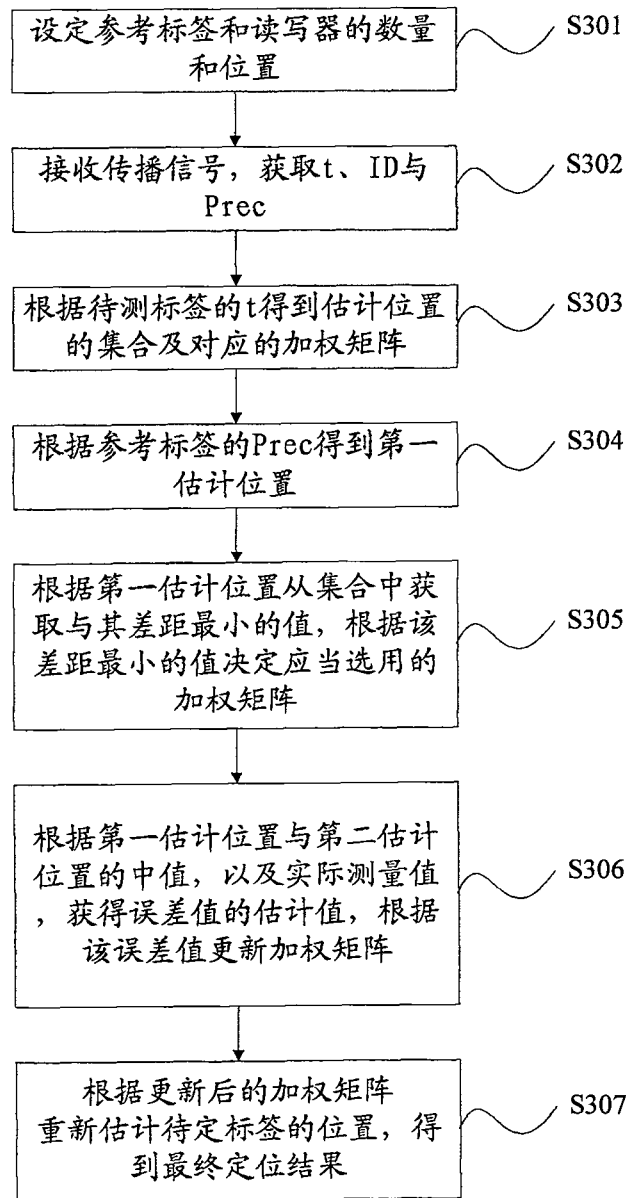


图 3

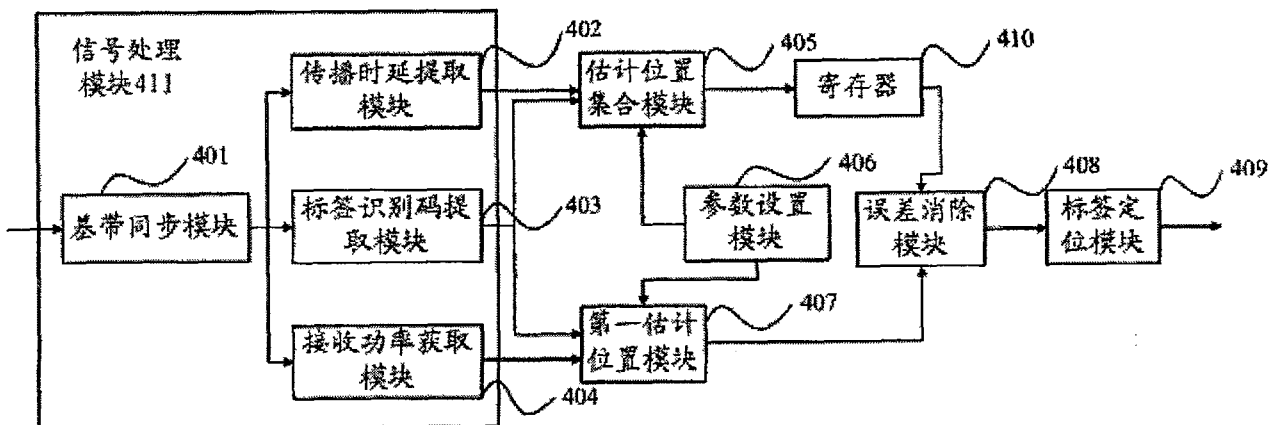


图 4

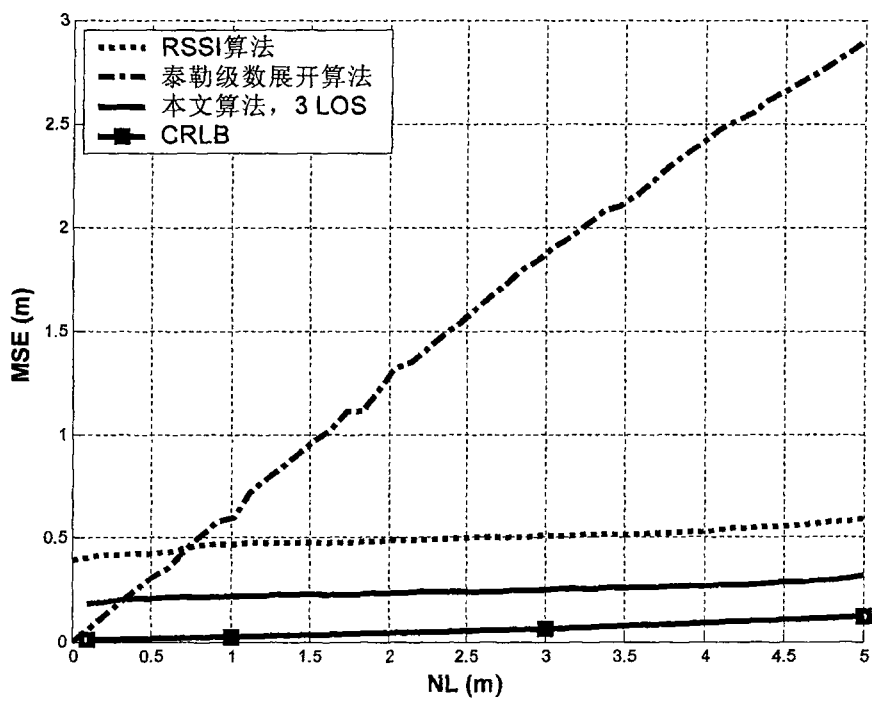


图 5