

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04Q 7/38 (2006.01)

H04L 12/28 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710039607.0

[43] 公开日 2008年5月21日

[11] 公开号 CN 101184328A

[22] 申请日 2007.4.18

[21] 申请号 200710039607.0

[71] 申请人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

地址 200050 上海市长宁区长宁路 865 号

[72] 发明人 付耀先 何洪路 袁晓兵

[74] 专利代理机构 上海光华专利事务所

代理人 郑玮 余明伟

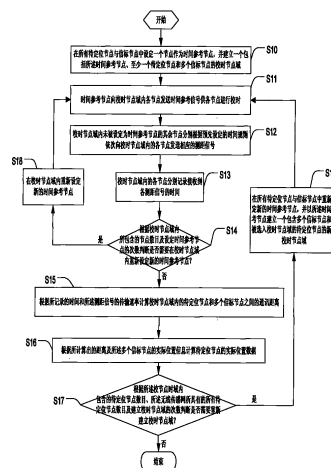
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 4 页

[54] 发明名称

无线传感网节点定位方法

[57] 摘要

一种无线传感网节点定位方法，首先设定一个节点作为时间参考节点，并建立一个包括所述时间参考节点、至少一个待定位节点及多个信标节点在内的校时节点域，然后由所述时间参考节点发送时间参考信号，各节点根据所述时间参考信号进行校时，并于校时后其余节点分别根据预先设定的时间规则依次向所述校时节点域内的各节点发送相应的测距信号，所述校时节点域内的各节点分别记录接收到各测距信号的时间，当不需要再次设定新的时间参考节点时，根据所记录的时间及测距信号传输速率计算所述校时节点域内待定位节点和多个信标节点之间的通信距离，最后根据所述通信距离及相应多个信标节点的实际位置信息计算相应待定位节点的实际位置数据，可实现节点定位。



1. 一种无线传感网节点定位方法，其特征在于包括步骤：
 - 1) 在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中设定一个节点作为时间参考节点，并建立一个包括所述时间参考节点、至少一个待定位节点及多个信标节点在内的校时节点域；
 - 2) 所述时间参考节点向所述校时节点域内各节点发送时间参考信号供各节点进行校时；
 - 3) 所述校时节点域内的未曾被设定为时间参考节点的其余节点分别根据预先设定的时间规则依次向所述校时节点域内的各节点发送相应的测距信号；
 - 4) 所述校时节点域内的各节点分别记录接收到各测距信号的时间；
 - 5) 根据所述校时节点域内所包含的节点数目及已设定时间参考节点的次数判断是否需要在校时节点域内重新设定新的时间参考节点；
 - 6) 当判断出需要再次设定新的时间参考节点时，在所述校时节点域内重新设定新的时间参考节点，然后重复步骤2)、3)、4)及5)；
 - 7) 当判断出不需要再次设定新的时间参考节点时，根据所述步骤4)所记录的时间及测距信号传输速率计算所述校时节点域内待定位节点和多个信标节点之间的通信距离；
 - 8) 根据所计算出的通信距离及相应多个信标节点的实际位置信息计算相应待定位节点的实际位置数据以对待定位节点进行空间定位。
2. 如权利要求1所述的无线传感网节点定位方法，其特征在于：所述无线传感网至少具有4个信标节点。
3. 如权利要求1所述的无线传感网节点定位方法，其特征在于：所述时间参考信号为伪随机码信号。
4. 如权利要求1所述的无线传感网节点定位方法，其特征在于还包括步骤：
 - (1) 根据所述校时节点域内所包含的待定位节点数目、所述无线传感网所具有的所有待定位节点的数目及建立校时节点域的次数判断是否需要重新建立新的校时节点域；
 - (2) 当需要重新建立新的校时节点域时，在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中重新设定新的时间参考节点，并以所述新的时间参考节点重新建立包含多个信标节点和未曾被选入的待定位节点的新的校时节点域，然后重复步骤2)至8)。

无线传感网节点定位方法

技术领域

本发明涉及一种无线传感网节点定位方法。

背景技术

无线传感网是基于无线通信的具有智能判断能力的信息获取网络，它利用大规模散布的传感器节点探测相关物理量，对获取的物理量进行模式识别以得到探测目标的分类判断，并通过多个节点间信息的交互进行态势判断。网络中每个节点所处位置是进行态势判断时的重要参考因素，但在大多情况下节点位置未知，如何实现节点定位是传感网的重要支撑技术之一。

目前，在无线传感网的定位技术中，根据节点是否已知自身位置，把传感器节点分为信标节点和未知节点，其中，信标节点在网络节点中所占的比例较小，但其位置可精确获得，而未知节点需要通过信标节点的位置来确定自身位置。而传感网络中的对未知节点的定位算法又可分为基于距离的定位算法和与距离无关的定位算法两种，前者是根据未知节点到信标节点的距离等信息来获得未知节点的位置信息，具有定位准确度高的优点，后者仅根据信息的传递次数等来获得大致的位置估计，其成本相对低廉，但定位准确度低，因此，基于距离的定位算法已成为研究人员关注的焦点。

基于距离的定位算法通常分为三个阶段：测距阶段，定位阶段和修正阶段，即首先采用 TOA（到达时间）、TDOA（到达时间差）、RSSI（接收信号强度指示）和 AOA（到达角度）等方法进行测距，当未知节点通过前述各方法获得对于邻近信标节点的距离或角度等信息后，再通过三边测量法、三角测量法和极大似然估计法等方法来获得自身的位置信息，最后对精度进行校正。其中，在测距阶段中，常使用直接序列扩频（Direct Sequence Spread Spectrum）技术，即采用比发送信息数据速率高许多倍的伪随机码（Pseudonoise, PN）对载有信息数据的基带信号进行频谱扩展，形成宽带的低功率谱密度的信号作为发送信号，接收端通过 PN 与接收到的信号进行相关处理后恢复出原有信号，直接序列扩频系统再利用发射和接收间的伪随机码关系即可实现测距定位，通常由于系统发送的电波中包含了快速变化的伪随机序列（Pseudonoise, PN）信息，当接收信号与原始信号的初始相位吻合时，其相关值的平方将在该相位处出现一个远高于其他相位的相关峰值。当传播时间长于伪随机码片持续时间时，接收端通过搜索本地伪随机码和所接收电波中伪随机序列的相关峰值，即可获得发送信息和本地

码间存在的偏差，该偏差具体表现为码片的滞后个数（在精确的处理中可精确到采样点）。由于码片持续时间已知，通过滞后个数可获得时间差，由时间差和电波传输速率即可求得距离。由上所述可知，系统的测量精度很大程度上取决于码片的传输速率，且其测距方式主要为 TOA（到达时间）或 TDOA（到达时间差）。

尽管上述方式已在雷达测距、GPS 中获得了广泛应用，但由于需要以某种方式在发射信息和接收本地伪随机码间建立联系，要么收发端同源，要么确立精准的定时系统来保证接收端本地码和发射端本地码的基本同时，而在传感网中的 DSSS，虽然用于扩频的伪随机序列对于需要进行信息交互的所有节点已是已知，但各个节点按照自身设定时钟工作，扩频伪随机序列初始相位各不相同，尽管各节点可根据其他节点发送的信息进行本地伪随机序列的初始相位校正，但由于本地设定的初始相位和用于做校正的伪随机序列间可能存在差异（即反应延迟时间），且该差异虽对不同时间的同一节点而言基本相同，但对不同节点而言，由于采用器件的性能差异，可能存在不同，因此，将扩频测距方式直接用于传感网节点的测距将难以实现，其原因如下：

(1) 在收发同源处理模式中，设节点 1 发射信号，节点 2 接收并给出反馈信号。但在传感网中，节点 2 接收到节点 1 所发射的信号电波至节点 2 发出反馈信号的反应时间未知，且不同节点的该反应时间各不相同，同时也无法对该反应时间进行直接的测量。

(2) 各节点分布分散，难以建立精确的定时系统来保证收发本地码的基本同时。

因此，如何解决现有传感网节点定位问题实已成为本领域技术人员亟待解决的课题。

发明内容

本发明的目的在于提供一种无线传感网节点定位方法，以实现无线传感网节点的空间定位。

为了达到上述目的，本发明提供一种无线传感网节点定位方法，其包括步骤：1) 在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中设定一个节点作为时间参考节点，并建立一个包括所述时间参考节点、至少一个待定位节点及多个信标节点在内的校时节点域；2) 所述时间参考节点向所述校时节点域内各节点发送时间参考信号供各节点进行校时；3) 所述校时节点域内的未曾被设定为时间参考节点的其余节点分别根据预先设定的时间规则依次向所述校时节点域内的各节点发送相应的测距信号；4) 所述校时节点域内的各节点分别记录接收到各测距信号的时间；5) 根据所述校时节点域内所包含的节点数目及已设定时间参考节点的次数判断是否需要在所述校时节点域内重新设定新的时间参考节点；6) 当判断出需要再次设定新

的时间参考节点时,在所述校时节点域内重新设定新的时间参考节点,然后重复步骤2)、3)、4)及5);7)当判断出不需要再次设定新的时间参考节点时,根据所述步骤4)所记录的时间及测距信号传输速率计算所述校时节点域内待定位节点和多个信标节点之间的通信距离;8)根据所计算出的通信距离及相应多个信标节点的实际位置信息计算相应待定位节点的实际位置数据以对待定位节点进行空间定位。

其中,所述无线传感网节点定位方法还包括步骤:(1)根据所述校时节点域内所包含的待定位节点数目、所述无线传感网所具有的所有待定位节点的数目及建立校时节点域的次数判断是否需要重新建立新的校时节点域;(2)当需要重新建立新的校时节点域时,在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中重新设定新的时间参考节点,并以所述新的时间参考节点重新建立包含多个信标节点和未曾被选入的待定位节点的新的校时节点域,然后重复步骤2)至8),所述无线传感网至少具有4个信标节点,所述时间参考信号为伪随机码信号。

综上所述,本发明的无线传感网节点定位方法通过校时及发送测距信息可计算出待定位节点的空间坐标,进而实现对待定位节点的空间定位,且本发明的定位方法误差小。

附图说明

图1为本发明无线传感网节点定位方法的操作流程示意图。

图2至图4为本发明无线传感网节点定位方法中的节点分布示意图。

图5为本发明无线传感网节点定位方法的定位误差示意图。

图6为本发明无线传感网节点定位方法的计算误差与概率示意图。

图7为本发明无线传感网节点定位方法的计算误差与总概率示意图。

具体实施方式

请参见图1,在本发明的无线传感网节点定位方法中,首先执行步骤S10,在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中设定一个节点作为时间参考节点,并建立一个包括所述时间参考节点、至少一个待定位节点及多个信标节点在内的校时节点域,例如,设所述无线传感网中存在节点D1、D2、D3、D4、D5、D6及D7,其中,节点D1、D2、和D4为信标节点,节点D3、D5、D6及D7为待定位节点,先将节点D1设定为时间参考节点,并建立包含节点D1、D2及D3的校时节点域,接着执行步骤S11。

在步骤 S11 中,时间参考节点向校时节点域内各节点发送时间参考信号供各节点进行校时,所述时间参考信号一般为伪随机码信号,由于所述无线传感网内的节点 D1、D2、D3、D4、D5、D6 及 D7 预先会依据自身的时钟设置本地的伪随机码的初始相位,当节点 D1 即时间参考节点根据预先各节点之间的约定在当节点 D1 的时钟时刻为 0:00:00 时发送时间参考信息,假设节点 D1 到节点 D2,节点 D1 到 D3,节点 D2 到节点 D3 间的距离分别表示为 D_{D1D2} , D_{D1D3} , D_{D2D3} , 节点 D1 从捕获到时间参考信号到发送同步信号的延迟时间为 ΔT_{D1} , 节点 D2 从捕获到时间参考信号到发送同步信号的延迟时间为 ΔT_{D2} , 节点 D3 从捕获到时间参考信号到发送同步信号的延迟时间为 ΔT_{D3} , 时间参考信号从节点 D1 传送到节点 D2, 从节点 D1 传送到节点 D3, 从节点 D2 传送到节点 D3 的时间分别表示为 T_{D1D2} , T_{D1D3} , T_{D2D3} , 则节点 D2 获得节点 D1 发送时间参考信号的时间相对于节点 D1 的时钟时间应为:

$$T_{D1D2} = D_{D1D2} / c + \Delta T_{D2} \quad (1)$$

节点 D3 获得节点 D1 发送电波的时间相对于节点 D1 的时钟时间是:

$$T_{D1D3} = D_{D1D3} / c + \Delta T_{D3} \quad (2)$$

由于 T_{D1D2} 及 T_{D1D3} 信息未知,节点 D2 和节点 D3 只能依据该电波信息校时,即节点 D2 把节点 D1 时钟时间为 T_{D1D2} 的时刻设定为其自身的时钟时间的 0:00:00, 而节点 D3 把节点 D1 时钟时间为 T_{D1D3} 的时刻设定为其自身的时钟时间的 0:00:00, 接着执行步骤 S12。

在步骤 S12 中,校时节点域内未曾被设定为时间参考节点之外的其余节点分别根据预先设定的时间规则依次向所述校时节点域内的各节点发送相应的测距信号,由于仅节点 D1 被设定为时间参考节点,所以节点 D2 根据预先约定在其自身时钟时间为 0:10:00 时分别向节点 D1 和节点 D3 发送测距信息,节点 D3 根据预先约定在其自身时钟时间为 0:20:00 时分别向节点 D1 和节点 D2 发送测距信息,接着执行步骤 S13。

在步骤 S13 中,校时节点域内的各节点分别记录接收到各测距信号的时间,即节点 D1 根据自身时钟记录收到 D2 传送至的测距信息的时间为 T_{D1_D2-D1} , 记录到 D3 传送至的测距信息的时间为 T_{D1_D3-D1} , 节点 D2 根据自身时钟记录收到节点 D3 传送至的测距信息的时间为 T_{D1_D3-D2} , 节点 D3 根据自身时钟记录收到节点 D2 传送至的测距信息的时间为 T_{D1_D2-D3} , 接着执行步骤

S14。

在步骤 S14 中，根据校时节点域内所包含的节点数目及已设定时间参考节点的次数判断是否需要在校时节点域内重新设定新的时间参考节点，若是执行步骤 S18，否则执行步骤 S15。例如，由于所建立的校时节点域内包含 3 个节点，且已设定时间参考节点的次数为 1 次，所以还需要在校时节点域内重新设定时间参考节点。

在步骤 S18 中，在校时节点域内重新设定新的时间参考节点，例如设定节点 D2 为时间参考节点。

当节点 D2 被设定为时间节点后，其根据预先各节点之间的约定在其自身时钟时刻为 1:00:00 时向节点 D1 和节点 D3 发送时间参考信号，节点 D1 和节点 D3 各自将接收到的节点 D2 传送至的时间参考信号的时刻设定为自身时钟的 1:00:00，由于在节点 D1、节点 D2 和节点 D3 所组成的校时节点域中，节点 D1 和节点 D2 已先后被设定为时间参考节点，所以仅节点 D3 根据预先的约定时间（即 1:20:00）向节点 D1 和节点 D2 发送测距信息，然后节点 D1 和节点 D2 分别根据自身的时钟记录接收到测距信息的时间，接着再判断校时节点域内所包含的节点数目及已设定时间参考节点的次数判断是否需要在校时节点域内重新设定新的时间参考节点，由于建立的校时节点域仅有 3 个节点，且已经设定时间参考节点 2 次，所以无需再重新设定时间参考节点。

在步骤 S15 中，根据步骤 S13 中所记录的时间及测距信号传输速率计算所述校时节点域内待定位节点和多个信标节点之间的通信距离，例如，设测距信号传输速率为 c ，由于节点 D2 是在 0:10:00 发送的测距信息，根据节点 D1 记录的时间 T_{D1_D2-D1} 可知：

$$T_{D1_D2-D1} = D_{D1D2}/c + \Delta T_{D2+1} + D_{D2D1}/c + \Delta T_{D1} + 10 \quad (4)$$

节点 D3 记录的时间 $T_{D1_D2-D3} = D_{D1D2}/c + \Delta T_{D2+1} + D_{D2D3}/c + \Delta T_{D3} + 10$ ，但时间 T_{D1_D2-D3} 是节点 D3 根据自身的时钟所做出的记录，该时间相对于节点 D1 的时钟应为 $T_{D1_D2-D3} + T_{D1D3} = t_{32} + D_{D1D3}/c + \Delta T_{D3}$ （由步骤 S11 中的式（2）可知），所以基于节点 D1 的时钟则有：

$$T_{D1_D2-D3} = D_{D1D2}/c + \Delta T_{D2} + D_{D2D3}/c - D_{D1D3}/c + 10 \quad (5)$$

同理，节点 D2 记录的时间 T_{D1_D3-D2} 基于节点 D1 的时钟有：

$$T_{D1_D3-D2} = D_{D1D3}/c + \Delta T_{D3} + D_{D3D1}/c + \Delta T_{D1} + 20 \quad (6)$$

其中，节点 D3 在 0: 20: 00 发送测距信号，所以式 (6) 中加上 20。

同理，节点 D1 记录的时间 T_{D1_D3-D1} 有：

$$T_{D1_D3-D1} = D_{D1D3}/c + \Delta T_{D3} + D_{D3D1}/c + \Delta T_{D1} + 20 \quad (7)$$

在重新设定节点 D2 为时间参考节点且节点 D1 及节点 D3 进行校时后，节点 D1 和节点 D3 分别发送测距信号，可得：

$$T_{D2D1} = D_{D2D1}/c + \Delta T_{D1} \quad (8)$$

$$T_{D2D3} = D_{D2D3}/c + \Delta T_{D3} \quad (9)$$

当节点 D2 为时间参考节点时，节点 D3 在 1: 20: 00 发送测距信号，节点 D1 接收可得：

$$T_{D2_D3-D1} = D_{D2D3}/c + \Delta T_{D1} + D_{D3D1}/c - D_{D2D1}/c + 80 \quad (10)$$

当节点 D2 为时间参考节点，节点 D3 发送，节点 D2 接收可得：

$$T_{D2_D3-D2} = D_{D2D3}/c + \Delta T_{D1} + D_{D3D2}/c + \Delta T_{D2} + 80 \quad (11)$$

根据前述可得到：

$$\begin{bmatrix} 2/c & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1/c & -1/c & 1/c & 0 & 1 & 0 \\ -1/c & 1/c & 1/c & 0 & 0 & 1 \\ 2/c & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1/c & 1/c & 1/c & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2/c & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{D1D2} \\ D_{D1D3} \\ D_{D2D3} \\ \Delta T_{D1} \\ \Delta T_{D2} \\ \Delta T_{D3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{D1_D2-D1} \\ T_{D1_D2-D3} - 10 \\ T_{D1_D3-D2} - 20 \\ T_{D1_D3-D1} - 20 \\ T_{D2_D3-D1} - 80 \\ T_{D2_D3-D2} - 80 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\Rightarrow AB = C$$

由于 A 的秩 $Rank(A) = 6$ ，因此根据上式可以求得各节点之间的通信距离 D_{D1D2} ， D_{D1D3} ， D_{D2D3} ，接着执行步骤 S16。

在步骤 S16 中，根据所计算出的通信距离及相应多个信标节点的实际位置信息计算相应待定位节点的实际位置数据以对待定位节点进行空间定位，由于在无线传感网中，信标节点的位置可以精确获得，根据几何原理即可计算出所述待定位节点的实际位置数据，接着执行步骤 S17。

在步骤 S17 中，根据所述校时节点域内所包含的待定位节点数目、所述无线传感网所具

有的所有待定位节点的数目及建立校时节点域的次数判断是否需要重新建立新的校时节点域，若是，执行步骤 S19，否则结束。由于无线传感网的节点 D3、D5、D6 及 D7 为待定位节点，而建立的校时节点域中仅包含一个待定位节点 D3，所以对节点 D5、D6 及 D7 进行定位，还需要再建立新的校时节点域。

在步骤 S19 中，在所述无线传感网所具有的所有待定位节点和信标节点中重新设定新的时间参考节点，并以所述新的时间参考节点重新建立新的校时节点域，即仍以节点 D1 为时间参考节点建立包含节点 D1、节点 D5 及节点 D2 的新的校时节点域，然后重复进行测距以实现节点 D5 的定位后（详细过程与对节点 D1 进行定位的方法类似，在此不再赘述），如果还需要对节点 D6 及节点 D7 进行定位，则还需要再建立新的校时节点域，在此不再予以赘述。

再例如，在实际的无线传感网中，设无线传感网中四个信标节点 $D1(x_1, y_1, z_1)$ ， $D2(x_2, y_2, z_2)$ ， $D3(x_3, y_3, z_3)$ ， $D4(x_4, y_4, z_4)$ 位置已知，请参见图 2，为实现对待定位节点 D5 的精确定位，先后以节点 D1、D2 及 D5，节点 D2、D3 及 D5，节点 D3、D4 及 D5 建立不同的校时节点域，由前述说明可知，可分别计算出通信距离信息 D_{D1D5} ， D_{D2D5} ， D_{D3D5} ， D_{D4D5} ，则节点 $D5(x_5, y_5, z_5)$ 的实际空间坐标即可根据其到 D1、D2、D3、D4 的距离予以计算获得，如果所有节点限定在同一平面，则当信标节点不在一条直线上时，节点 D5 可获得唯一解，请参见图 3，即节点 D5 的位置能被节点 D1、D2 和 D4 决定，但不能被节点 D1、D2 和 D3 所决定，因为对于后者，节点 D5 的位置具有两个解，其计算方法如下：

$$(x_5 - x_1)^2 + (y_5 - y_1)^2 + (z_5 - z_1)^2 = D_{D1D5}^2 \quad (13)$$

$$(x_5 - x_2)^2 + (y_5 - y_2)^2 + (z_5 - z_2)^2 = D_{D2D5}^2 \quad (14)$$

$$(x_5 - x_3)^2 + (y_5 - y_3)^2 + (z_5 - z_3)^2 = D_{D3D5}^2 \quad (15)$$

$$(x_5 - x_4)^2 + (y_5 - y_4)^2 + (z_5 - z_4)^2 = D_{D4D5}^2 \quad (16)$$

因此在实际空间定位时，通常采用四个信标节点对待定位节点进行定位。

须注意的是，对待定位节点 D5 进行定位时，前述说明中通过先后建立 3 次校时节点域予以实现定位，本领域技术人员也可采用其他方式，例如，也可直接建立一个包含节点 D1、D2、D3、D4 及 D5 的校时节点域，然后进行前述相应步骤即可。

再例如，设空间中存四个信标节点，位置已知，随机产生了 16 个待定位节点，按照上述方法求解待定位节点位置信息，设定节点为静止，传播环境为视距环境，空间中所有待定位节点节点和信标节点间均可通信，节点间最大通信距离 5km，扩频后码片速率 20Mcps。

四个信标节点位置分别为 D1(0.6690, 1.8525, 0.1360) (km), D2(1.0355, 2.8755, 1.5635) (km), D3(3.0360, 2.2570, 0.0645) (km), D4(3.1495, 0.2195, 1.9200) (km), 请参见图 4, 图 4 中 “*” 表示信标节点, 图 4 中 “o” 表示待定位节点, 根据前述方法计算求得位置如图 4 中 “x” 所示。根据仿真结果可知, 计算求得的位置和节点真实位置在同一方位上, 其位置基本吻合。请参见下表 1, 其按照 (x, y, z) 轴列出 16 个待定位节点的真实位置 (km)、计算所得的位置 (km) 和二者之间的误差 (m)。

表 1 节点真实位置/计算所得位置/误差

	真实位置 (km)	计算所得位置 (km)	误差 (m)
	(0.4262, 1.4065, 0)	(0.4288, 1.4036, 0)	(2.6462, -2.9243, -2.55)
	(5.0000, 1.7792, 5)	(4.9952, 1.7653, 4)	(-4.8151, -13.8294, -13)
	(2.1516, 1.5556, 4)	(2.1495, 1.5553, 4)	(-2.1009, -0.3264, 2.59)
	(3.5670, 1.8359, 1)	(3.5700, 1.8395, 1)	(2.9545, 3.5717, 3.2506)
	(2.5735, 5.0000, 0)	(2.5757, 4.9928, 0)	(2.1329, -7.2172, -1.46)
	(1.0985, 2.3066, 1)	(1.0979, 2.3037, 1)	(-0.6592, -2.9484, 5.40)
	(2.9361, 0.7250, 0)	(2.9378, 0.7248, 0)	(1.7226, -0.2820, 1.560)
	(3.2920, 0.7944, 2)	(3.2947, 0.8001, 2)	(2.6947, 5.6149, 5.2573)
	(4.7210, 2.0933, 1)	(4.7145, 2.0922, 1)	(-6.4835, -1.1252, 1.66)

请参见图 5, 对多次节点位置的求解取平均, 可以获得计算位置和真实位置间的平均误差。重复上述步骤 100 次, 求得多个误差, 对其取平均以获得平均误差, 对上述误差进行 10 次观察, 得到误差曲线如图 5 所示。图中分别为 x, y, z 的误差及求得的距离误差, 从图 5 中可以看出, x, y, z 轴的平均误差在 5m 以下, 距离平均误差在 5m 左右。

根据上述仿真结果, 系统的定位精度基本在 10m 以内, 和通信距离相比误差约为 0.2%, 和节点实际方位较吻合。但当通信距离在 1km 时, 计算误差不因距离减小而减小, 和通信距离相比误差将达 1%, 和实际方位有所差距。

对多次处理进行统计平均, 获得其误差为某一值的概率, 如图 6 所示。从图 6 中可以看出, 大多数的误差集中在 4m 左右。

对误差小于某一值的概率进行统计, 如图 7 所示, 可知系统测量误差 60%~70% 的概率小于 5m。

综上所述, 本发明的无线传感网节点定位方法可有效实现对节点的空间定位。

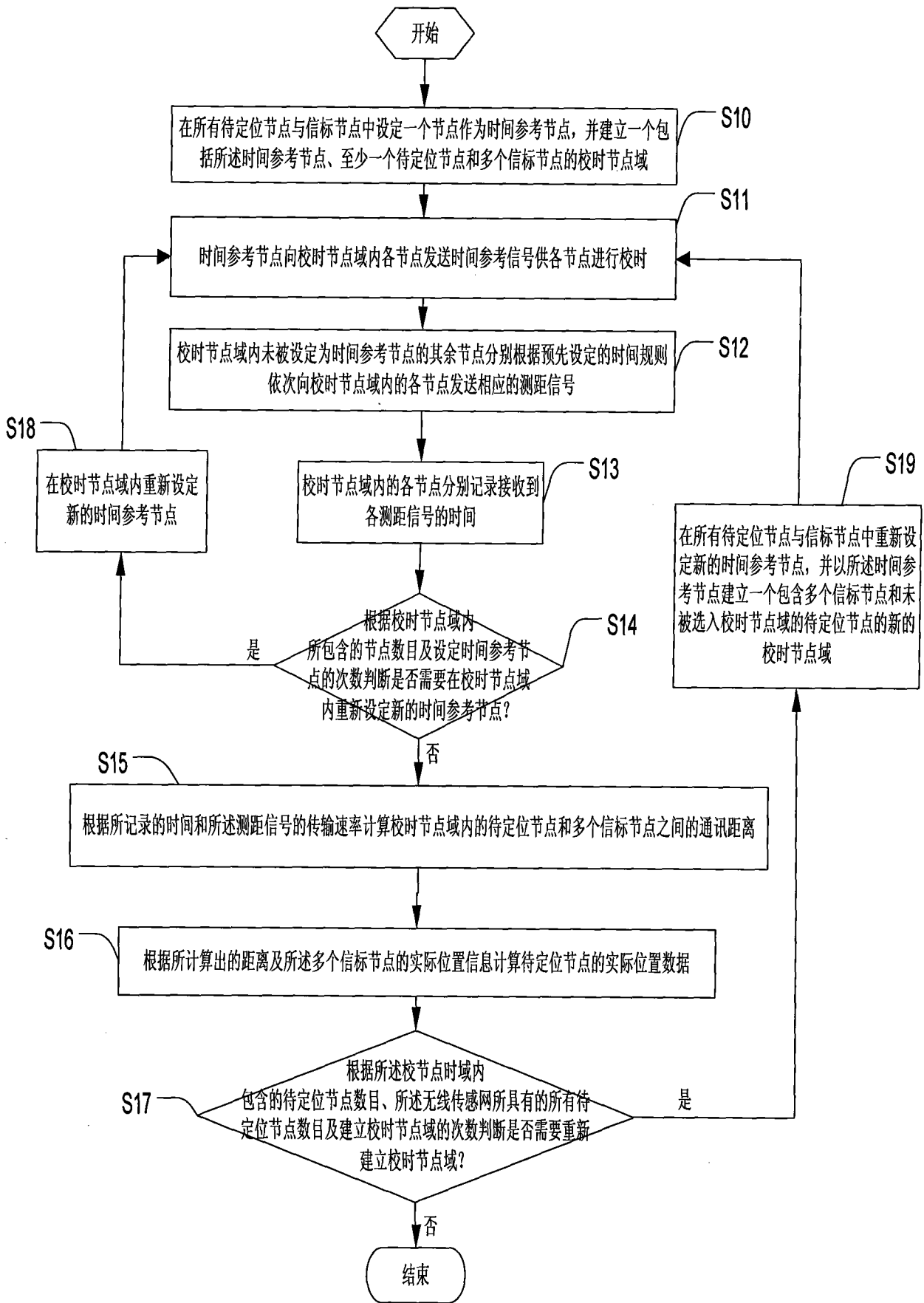


图 1

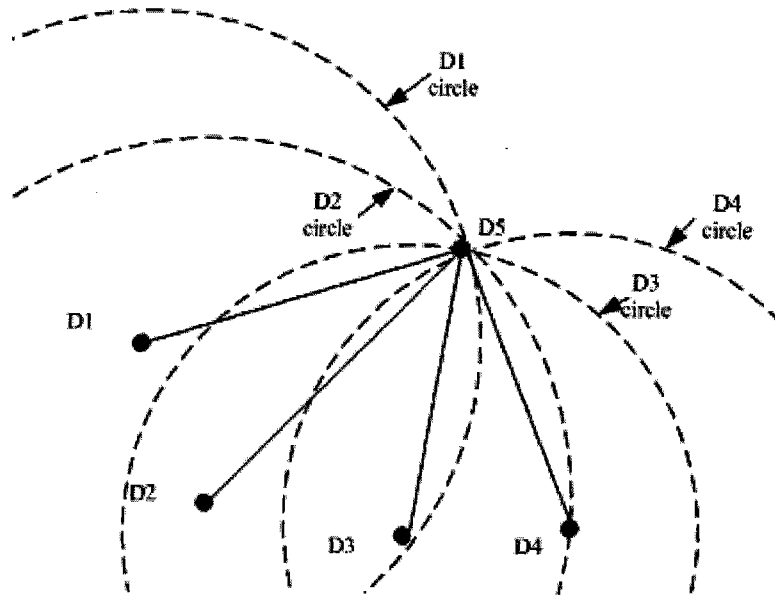


图 2

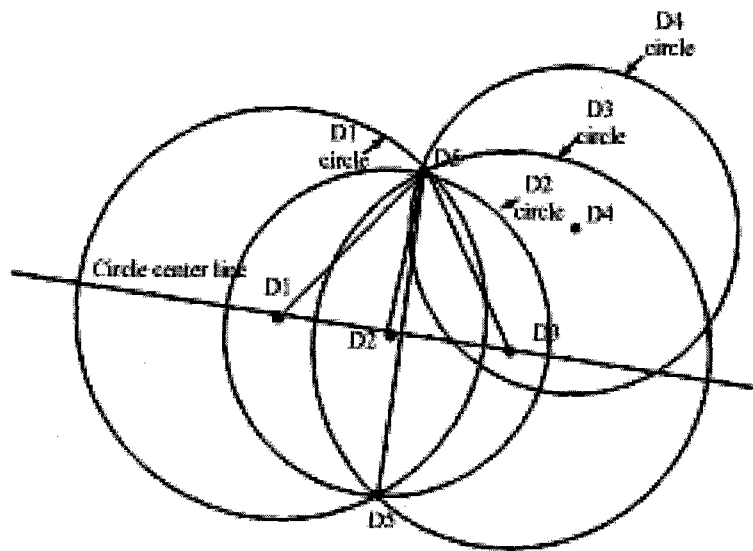


图 3

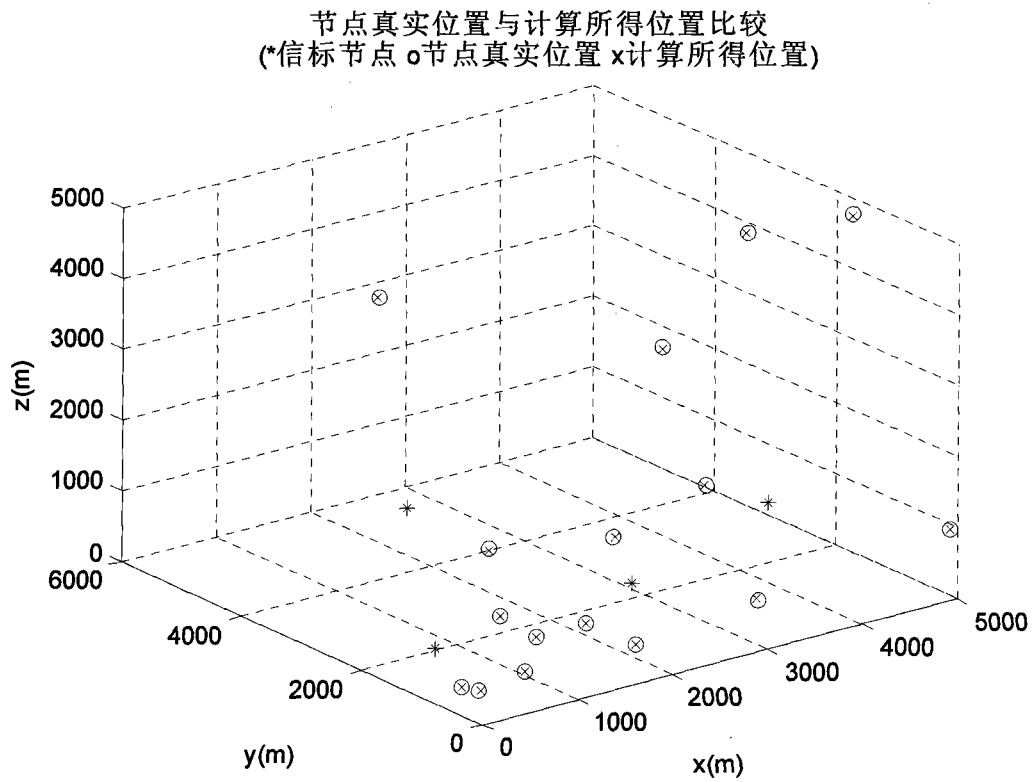


图 4

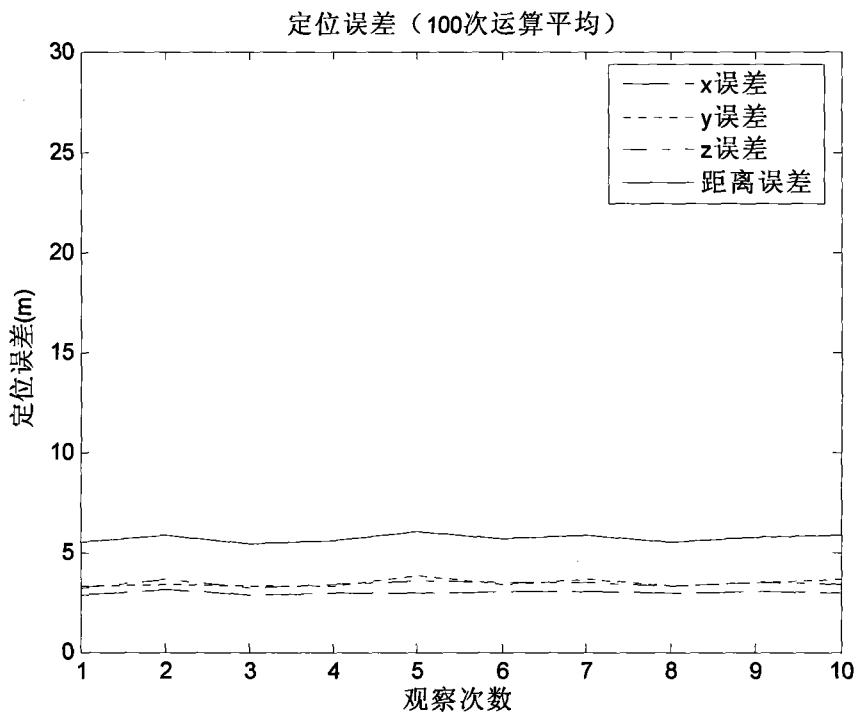


图 5

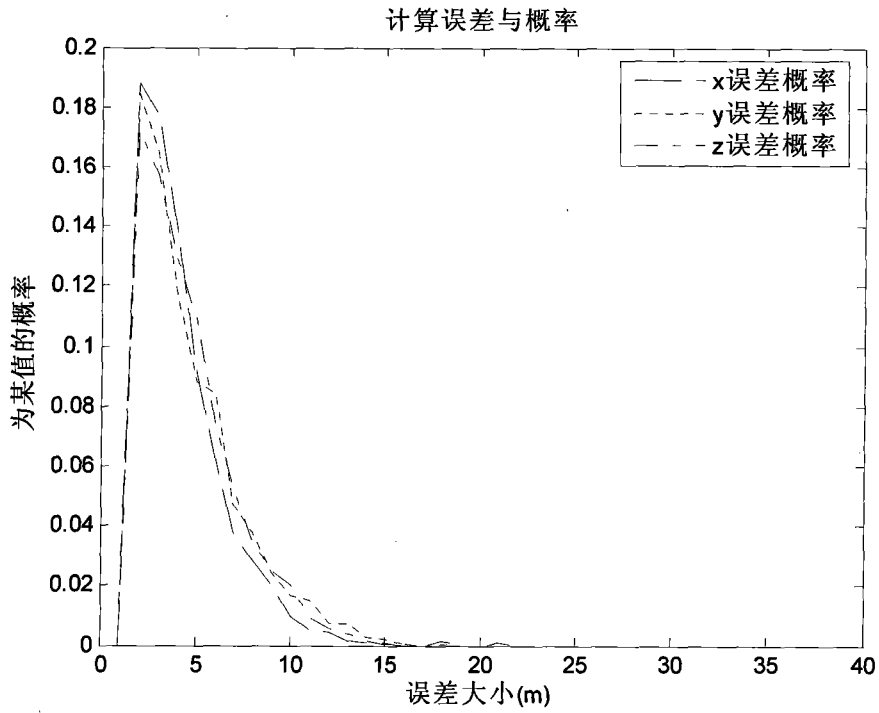


图 6

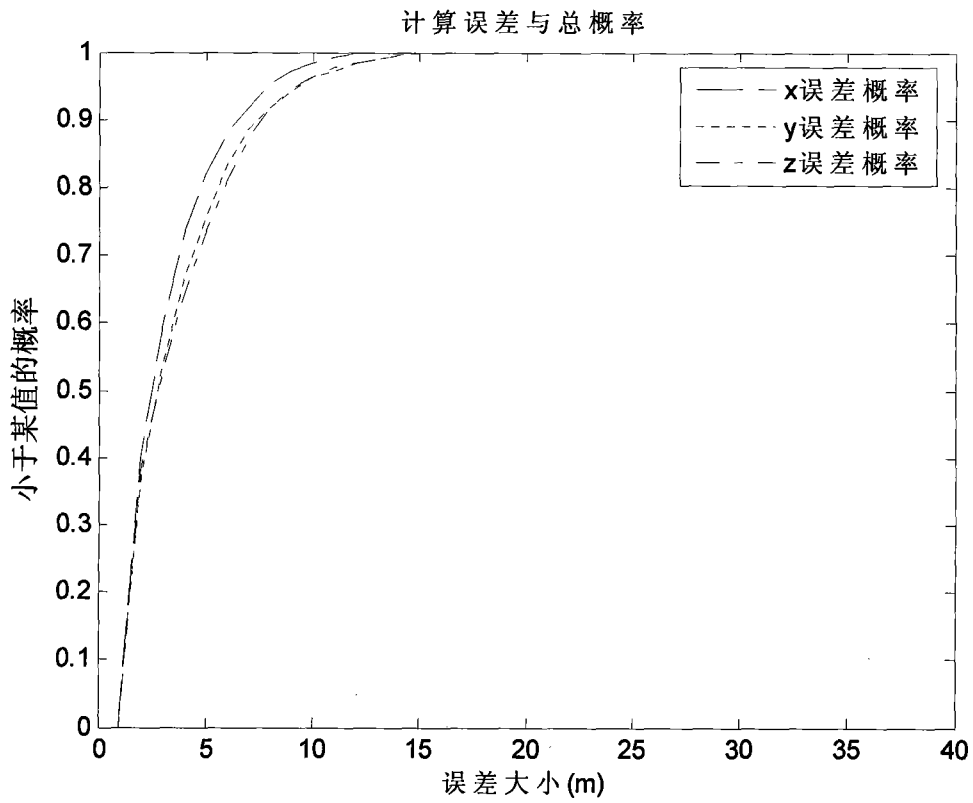


图 7