

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01S 5/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710172643.4

[43] 公开日 2008 年 6 月 25 日

[11] 公开号 CN 101206258A

[22] 申请日 2007.12.20

[21] 申请号 200710172643.4

[71] 申请人 上海伽利略导航有限公司

地址 200233 上海市徐汇区桂平路 680 号 33
号楼 6 楼

[72] 发明人 贾广沂 李国通 龚相铱 陶 欢
王海翔 沈 苑 陈晓峰 杨志群

[74] 专利代理机构 北京英特普罗知识产权代理有限公司

代理人 童素珠

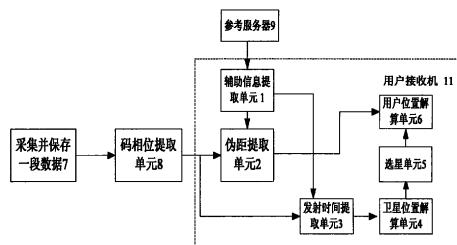
权利要求书 6 页 说明书 30 页 附图 5 页

[54] 发明名称

一种高灵敏度辅助定位系统及其数据处理的方法

[57] 摘要

一种涉及星基导航定位系统的技术，尤指一种主要应用于地面接收机系统基于移动通信辅助模式下的一种高灵敏度辅助定位系统及其数据处理的方法。该系统至少包括：服务器、接口、天线、接收机、码相位提取单元和用户接收机模块，各模块组合为一整体的接收机；该方法通过用户接收机中的辅助信息提取单元等各模块，实现整个系统微弱信号条件下的定位服务；主要解决整体硬件的有机结合和实现数据的提取和运算等有关技术问题。本发明的积极效果是：利用辅助信息在信噪比很低、信号无法有效跟踪的情况下，实现数据的提取和用户位置的解算；提高了用户接收机的灵敏度指标，并能够扩大导航定位系统的应用范围等优点。



1、一种高灵敏度辅助定位系统，该定位系统有服务器、接口、天线、接收机、射频模块、星座、通信网络及计算机，所述定位系统的发送端通过无线信号传输到接收机的接收端，其特征在于：参考接收机（9）输入输出端通过串口 RS232 与辅助信息处理服务器（10）的输出输入端相连接，辅助信息处理服务器（10）的发送端通过无线信号传输到用户接收机（11）的接收端，辅助信息处理服务器（10）的接收端和用户接收机（11）的接收端同时通过天线接收来自卫星（12）的信号，该系统至少包括：

采集并保存一段数据（7）、码相位提取单元（8）和用户接收机（11）模块，各模块组合为一整体的接收机；该接收机中的采集并保存一段数据（7）模块的输出端与码相位提取单元（8）模块的输入端相连接；

码相位提取单元（8）模块的一路输出端与用户接收机（11）中的卫星伪距提取单元（2）的输入端相连接，另一路输出端与用户接收机（11）中的发射时间提取单元（3）的输入端相连接；

参考接收机（9）的输出端与用户接收机（11）中的辅助信息提取单元（1）的输入端相连接；

一用户接收机（11）由辅助信息提取单元（1）、卫星伪距提取单元（2）、发射时间提取单元（3）、卫星位置解算单元（4）、选星单元（5）和用户位置解算单元（6）组成，其中：

辅助信息提取单元（1）的一路输出端与卫星伪距提取单元（2）的输入端相连接，另一路输出端与发射时间提取单元（3）的输入端相连接；

卫星伪距提取单元（2）模块的输出端与用户位置解算单元（6）的输入端相连接；

发射时间提取单元（3）模块的输出端与卫星位置解算单元（4）的输入端相连接；

卫星位置解算单元（4）模块的输出端与选星单元（5）的输入端相连接；

选星单元（5）模块的输出端与用户位置解算单元（6）的输入端相连接。

2、根据权利要求 1 所述的高灵敏度辅助定位系统，其特征在于：所述的辅助信息提取单元（1）包括：得到提取信息时刻的 GPS 时间（101）、得到参考接收机的位置（102）、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息（103）、得到当前空中各颗卫星的位置（104）和对数据进行排序组合（105）模块；所述得到提取信息时刻的 GPS 时间（101）、得到参考接收机的位置（102）、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息（103）和得到当前空中各颗卫星的位置（104）各模块的输出端相互平行并接后与对数据进行排序组合（105）模块的输入端相连接。

3、根据权利要求 1 所述的高灵敏度辅助定位系统，其特征在于：所述的发射时间提取单元（3）包括：得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间（301）、得到求得码相位时刻的毫秒时间点（302）、电文信号的接收时间（303）、卫星电文到达参考服务器的传输时间（304）和电文信号的发射时间（305）模块，其中：

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间（301）和得到求得码相位时刻的毫秒时间点（302）模块的输出端相互平行并接后与电文信号的接收时间（303）模块的输入端相连接；

电文信号的接收时间（303）和卫星电文到达参考服务器的传输时间（304）模块的输出端相互平行并接后与电文信号的发射时间（305）模块的输入端相连接。

4、一种高灵敏度辅助定位数据处理的方法，其特征在于：该方法通过用户接收机（11）中的辅助信息提取单元（1）、卫星伪距提

取单元（2）、发射时间提取单元（3）、卫星位置解算单元（4）、选星单元（5）、用户位置解算单元（6）以及采集并保存一段数据（7）和码相位提取单元（8）各模块，实现整个系统微弱信号条件下的定位服务；利用辅助信息在信噪比很低、信号无法有效跟踪的情况下，实现数据的提取和用户位置的解算；通过数据的提取和运算，得到码相位对应的 GPS 时间和捕获到码相位的数据接收时间；通过解算同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机（11）的伪距，以求单一卫星的伪距；该方法包括：辅助信息提取单元（1）、卫星伪距提取单元（2）、发射时间提取单元（3）、卫星位置解算单元（4）、选星单元（5）和用户位置解算单元（6）各模块的执行过程，该辅助定位数据处理方法的总体工作步骤是：

- a).所述辅助信息提取单元（1），是得到从参考服务器发送过来的进行位置解算所需要的各种辅助信息，辅助信息包含了当前时刻在当前区域内的各种参数，包括卫星号、星历的基准时间、卫星的位置、提取辅助信息时的 GPS 时间和参考服务器的位置；
- b).所述卫星伪距提取单元（2），用于在辅助信息的协助下得到同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机（11）的伪距，以及各颗卫星到达用户接收机之间的距离差；
- c).所述的发射时间提取单元（3）中寻找码相位单元采用非相干的方法，当卫星的伪距得到后就进入了发射时间提取单元，当得到对应时刻的 GPS 时间，就可以根据参考服务器得到的卫星参数和 GPS 卫星固有的轨道方程得到对应时刻卫星的位置；
- d).所述的卫星的位置解算单元（4），在得到了电文发射时间和辅助信息中的星历和时间参数，可以根据 GPS 卫星轨道方程得到，将电文码片时刻的卫星发射时间得到后，根据得到的卫星的星历参数，计算卫星的位置和钟差，根据卫星的钟差修正伪距，得到新的伪距；

e) . 所述的选星单元（5）,当得到的卫星数目多于定位需要的卫星数目的时候,选择性的使用一组几何组合比较好,精度比较高的卫星信息进行解算;

f) . 所述用户位置解算单元（6）,用来根据得到的卫星的伪距和相应时刻卫星的位置, 计算得到用户的位置。

5、根据权利要求 4 所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法,其特征在于: 所述的辅助信息提取单元（1）模块执行过程的具体工作步骤是:

 步骤 1. 得到提取信息时刻的 GPS 时间(101)

 执行向参考服务器发送请求, 得到提取信息时刻的 GPS 时间(101)模块, 通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会反馈当前的 GPS 时间, 这其中要考虑信号延迟的时间;

 步骤 2. 得到参考接收机的位置(102)

 执行向参考服务器送命令字, 得到参考接收机的位置(102)模块, 通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会反馈当前的参考服务器的位置;

 步骤 3. 得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息(103)

 执行向参考服务器发送命令字, 得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息(103)模块, 通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号, 星历和时间参数信息;

 步骤 4. 得到当前空中各颗卫星的位置 (104)

 执行向参考服务器发送命令, 得到当前空中各颗卫星的位置(104)模块, 通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号和地心地固 ECEF 坐标系下的三维位置信息;

 步骤 5. 对数据进行排序组合 (105)

执行完得到提取信息时刻的 GPS 时间 (101)、得到参考接收机的位置 (102)、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 (103) 和得到当前空中各颗卫星的位置 (104) 的各种辅助信息后, 进入对数据进行排序组合 (105) 模块。

6、根据权利要求 4 所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法, 其特征在于: 所述的发射时间提取单元 (3) 模块执行过程的具体工作步骤是:

步骤 1. 得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 (301)

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 (301) 模块, 捕获得到码相位的数据接收时间 T_{G0} 和当前捕获时刻对应的毫秒时间;

步骤 2. 得到求得码相位时刻的毫秒时间点 (302)

得到求得码相位时刻的毫秒时间点 (302) 模块, 设为 t_1 , t_1 代表找到起始点的时间为: T0, T1, ……T19 中的一个值;

步骤 3. 电文信号的接收时间 (303)

同时执行完得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 (301) 和得到求得码相位时刻的毫秒时间点 (302) 模块后, 则进入电文信号的接收时间 (303) 模块, 电文信号的接收时间 (303) 模块, 设为 t_r , 则 $t_r = T_{G0} + t_1$;

步骤 4 . 卫星电文到达参考服务器的传输时间 (304)

卫星电文到达参考服务器的传输时间 (304) 模块, 根据辅助信息得到的卫星的位置和参考服务器的位置, 得到的两者之间的距离, 换算得到的电文信号的传输时间, 设为 t_{tr} ;

步骤 5. 电文信号的发射时间 (305)

同时执行完电文信号的接收时间 (303) 和卫星电文到达参考服务器的传输时间 (304) 模块后, 则进入电文信号的发射时间 (305) 模块, 得到的电文信号的发射时间, 近似表示为: $T = t_r - t_{tr}$ 。

7、根据权利要求 4 所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法, 其特征在于: 所述的选星单元 (5) 执行过程为: 当卫星 (12) 的数

量多于 4 颗的时候,先根据相关时的近似信噪比的大小剔除信噪比最小的卫星;当信噪比剔除掉一颗卫星后,卫星的数目依然多于 4 颗,则利用仰角比较法,去掉仰角小于 5 度的卫星, 该选星单元 (5) 模块执行过程的具体工作步骤是:

步骤 1. 判断是否多于 4 颗可用卫星 A (503)

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入信噪比比较法 (501) 模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元 (6) 模块; 当得到至少 4 颗卫星的伪距和卫星的位置的信息就可以进行位置的求解;

步骤 2. 信噪比比较法 (501)

根据码相位对齐后得到的累积值除以码相位未对准的累积值近似得到信噪比, 将近似信噪比小于 5dB 的信号剔除;

步骤 3. 判断是否多于 4 颗可用卫星 B (504)

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入仰角比较法 (502) 模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元 (6) 模块;

步骤 4. 仰角比较法 (502)

当接收机已经进行定位一次的时候, 得到在用户位置来看卫星的仰角, 剔掉仰角小于 5 度的卫星;

步骤 5. 信噪比比较法 (501) 和仰角比较法 (502) 的结合

将信噪比比较法 (501) 和仰角比较法 (502) 相结合, 就能够得到比较好的定位精度。

一种高灵敏度辅助定位系统及其数据处理的方法

技术领域

本发明涉及一种星基导航定位系统的技术，尤指一种主要应用于地面接收机系统基于移动通信辅助模式下的定位方法，这种星基导航定位系统主要包括全球卫星定位系统 GPS (Global Positioning System) 系统和伽利略系统以及中国正在组网的北斗定位系统。

背景技术

由于移动通信系统定位功能对人们生活的重要性，在美国联邦通信委员会 (FCC) 的推动下，蜂窝网定位技术正在迅速发展。FCC 的第 I 阶段目标已经实现，正在全世界许多地方迅速推广。进一步提高精度是第 II 阶段的主要目标。为实现这一目标，人们分别研究了基于网络的方法和基于手机的定位法。结果发现，没有哪一种方法是可以接受的。最近出现的辅助全球卫星定位系统 AGPS (AssistedGPS) 技术和室内 GPS 技术以 GPS 技术为基础，借助于移动通信网的辅助，从而把两种方法有机地结合起来，使得向满足 FCC 第 II 阶段的目标前进了明显的一步。

比较实用的 GPS 定位技术是网络辅助的 GPS 定位，即定位时，网络将 GPS 卫星信息（如星历表）传送给移动台，移动台利用这些信息可以快速的搜索到有效的 GPS 卫星，接收到卫星信号后，计算移动台位置的工作可以由网络实体或移动台完成。AGPS 技术是一种结合了网络基站信息和 GPS 信息对移动台进行定位的技术，可以在 GSM/GPRS、WCDMA 和 CDMA2000 网络中使用。

目前很多公司已经推出了可以进行定位的手机芯片，实现了掌上定位。但是目前室内的定位仍存在一定的问题，由于信号强度受建筑物的影响而大大衰减到十分微弱的地步，要想达到和室外一样直接从卫星广播中提取导航数据和时间信息是不可能的，为了解决这个问题，就需要开发专门的高灵敏度的 GPS 定位接收机。

由于不同的高灵敏度接收机，对于微弱信号的获取的方法不同，从而需要不同的信号处理算法和数据处理算法。本发明就提供了一种基于高灵敏度定位接收机的数据处理方法。

发明内容

为了克服上述不足之处，本发明的主要目的旨在提供一种基于星基导航的辅助定位方法，通过采集并保存一段数据、码相位提取单元和用户接收机等模块的硬件设置，达到组合为一整体的高灵敏度定位接收机；

本发明的另一目的旨在提供一种应用该系统的方法，以便扩大导航定位系统的应用范围，该数据处理的方法包括：辅助信息提取单元、卫星伪距提取单元、发射时间提取单元、卫星位置解算单元、选星单元、和用户位置解算单元，并利用辅助信息在信噪比很低，信号无法有效跟踪的情况下进行数据的提取和用户位置的解算；通过数据的提取和运算，得到码相位对应的 GPS 时间和捕获到码相位的数据接收时间；通过解算同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机的伪距，以求单一卫星伪距的一种高灵敏度辅助定位系统及其数据处理的方法。

本发明要解决的技术问题是：针对室内区域高精度定位的要求，主要解决高灵敏度辅助定位系统的整体硬件实现问题；解决通过整个硬件系统如何获取高精度的定位结果问题；解决如何在信噪比很低，信号无法有效跟踪的情况下，进行数据的提取和用户位置的解算

问题；要解决如何提高灵敏度指标，如何求单一卫星的伪距等有关技术问题。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：该定位系统由服务器、接口、天线、接收机、射频模块、星座、通信网络及计算机等部件组成，所述定位系统的发送端通过无线信号传输到接收机的接收端，参考接收机输入输出端通过串口 RS232 与辅助信息处理服务器的输出输入端相连接，辅助信息处理服务器的发送端通过无线信号传输到用户接收机的接收端，辅助信息处理服务器的接收端和用户接收机的接收端同时通过天线接收来自卫星的信号，该系统至少包括：

采集并保存一段数据、码相位提取单元和用户接收机模块，各模块组合为一整体的接收机；该接收机中的采集并保存一段数据模块的输出端与码相位提取单元模块的输入端相连接；

码相位提取单元模块的一路输出端与用户接收机中的卫星伪距提取单元的输入端相连接，另一路输出端与用户接收机中的发射时间提取单元的输入端相连接；

参考接收机的输出端与用户接收机中的辅助信息提取单元的输入端相连接；

一用户接收机由辅助信息提取单元、卫星伪距提取单元、发射时间提取单元、卫星位置解算单元、选星单元和用户位置解算单元组成，其中：

辅助信息提取单元的一路输出端与卫星伪距提取单元的输入端相连接，另一路输出端与发射时间提取单元的输入端相连接；

卫星伪距提取单元模块的输出端与用户位置解算单元的输入端相连接；

发射时间提取单元模块的输出端与卫星位置解算单元的输入端相连接；

卫星位置解算单元模块的输出端与选星单元的输入端相连接；

选星单元模块的输出端与用户位置解算单元的输入端相连接。

所述的高灵敏度辅助定位系统的辅助信息提取单元包括：得到提取信息时刻的 GPS 时间、得到参考接收机的位置、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息、得到当前空中各颗卫星的位置和对数据进行排序组合模块；所述得到提取信息时刻的 GPS 时间、得到参考接收机的位置、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息和得到当前空中各颗卫星的位置各模块的输出端相互平行并接后与对数据进行排序组合模块的输入端相连接。

所述的高灵敏度辅助定位系统的发射时间提取单元包括：得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间、得到求得码相位时刻的毫秒时间点、电文信号的接收时间、卫星电文到达参考服务器的传输时间和电文信号的发射时间模块，其中：

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间和得到求得码相位时刻的毫秒时间点模块的输出端相互平行并接后与电文信号的接收时间模块的输入端相连接；

电文信号的接收时间和卫星电文到达参考服务器的传输时间模块的输出端相互平行并接后与电文信号的发射时间模块的输入端相连接。

一种高灵敏度辅助定位数据处理的方法，该方法通过用户接收机中的辅助信息提取单元、卫星伪距提取单元、发射时间提取单元、卫星位置解算单元、选星单元、用户位置解算单元以及采集并保存一段数据和码相位提取单元各模块，实现整个系统微弱信号条件下的定位服务；利用辅助信息在信噪比很低、信号无法有效跟踪的情况下，实现数据的提取和用户位置的解算；通过数据的提取和运算，得到码相位对应的 GPS 时间和捕获到码相位的数据接收时间；通过解算同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机的伪距，以求单一卫星的伪距；该方法包括：辅助信息提取单元、卫星伪距提取单元、发射时间提取单元、卫星位置解算单元、选星单元和用户位置

解算单元各模块的执行过程，该辅助定位数据处理方法的总体工作步骤是：

a) .所述辅助信息提取单元,是得到从参考服务器发送过来的进行位置解算所需要的各种辅助信息，辅助信息包含了当前时刻在当前区域内的各种参数，包括卫星号、星历的基准时间、卫星的位置、提取辅助信息时的 GPS 时间和参考服务器的位置；

b).所述卫星伪距提取单元,用于在辅助信息的协助下得到同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机的伪距，以及各颗卫星到达用户接收机之间的距离差；

c).所述的发射时间提取单元中寻找码相位单元采用非相干的方法，当卫星的伪距得到后就进入了发射时间提取单元，当得到对应时刻的 GPS 时间，就可以根据参考服务器得到的卫星参数和 GPS 卫星固有的轨道方程得到对应时刻卫星的位置；

d).所述的卫星的位置解算单元,在得到了电文发射时间和辅助信息中的星历和时间参数,可以根据 GPS 卫星轨道方程得到,将电文码片时刻的卫星发射时间得到后,根据得到的卫星的星历参数,计算卫星的位置和钟差,根据卫星的钟差修正伪距,得到新的伪距；

e). 所述的选星单元,当得到的卫星数目多于定位需要的卫星数目的时候,选择性的使用一组几何组合比较好,精度比较高的卫星信息进行解算；

f). 所述用户位置解算单元,用来根据得到的卫星的伪距和相应时刻卫星的位置，计算得到用户的位置。

所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法的辅助信息提取单元模块执行过程的具体工作步骤是：

步骤 1. 得到提取信息时刻的 GPS 时间

执行向参考服务器发送请求，得到提取信息时刻的 GPS 时间模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会反馈当前的 GPS 时间，这其中要考虑信号延迟的时间；

步骤 2. 得到参考接收机的位置

执行向参考服务器送命令字，得到参考接收机的位置模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会反馈当前的参考服务器的位置；

步骤 3. 得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息

执行向参考服务器发送命令字，得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号，星历和时间参数信息；

步骤 4. 得到当前空中各颗卫星的位置

执行向参考服务器发送命令，得到当前空中各颗卫星的位置模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号和地心地固 ECEF 坐标系下的三维位置信息；

步骤 5. 对数据进行排序组合

执行完得到提取信息时刻的 GPS 时间、得到参考接收机的位置、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息和得到当前空中各颗卫星的位置的各种辅助信息后，进入对数据进行排序组合模块。

所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法的发射时间提取单元模块执行过程的具体工作步骤是：

步骤 1. 得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间模块，捕获到码相位的数据接收时间 T_{G0} 和当前捕获时刻对应的毫秒时间；

步骤 2. 得到求得码相位时刻的毫秒时间点

得到求得码相位时刻的毫秒时间点模块，设为 t_1 ， t_1 代表找到起始点的时间为：T0, T1, ……T19 中的一个值；

步骤 3. 电文信号的接收时间

同时执行完得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间和 得到求得码相位时刻的毫秒时间点模块后，则进入电文信号的接收时间模块，电文信号的接收时间模块，设为 t_r ，则 $t_r = T_{G0} + t_1$ ；

步骤 4 . 卫星电文到达参考服务器的传输时间

卫星电文到达参考服务器的传输时间模块, 根据辅助信息得到的卫星的位置和参考服务器的位置, 得到的两者之间的距离, 换算得到的电文信号的传输时间, 设为 t_{-tr} ;

步骤 5. 电文信号的发射时间

同时执行完电文信号的接收时间和卫星电文到达参考服务器的传输时间模块后, 则进入电文信号的发射时间模块, 得到的电文信号的发射时间, 近似表示为: $T = t_r - t_{-tr}$ 。

所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法的选星单元执行过程为: 当卫星的数量多于 4 颗的时候, 先根据相关时的近似信噪比的大小剔除信噪比最小的卫星; 当信噪比剔除掉一颗卫星后, 卫星的数目依然多于 4 颗, 则利用仰角比较法, 去掉仰角小于 5 度的卫星, 该选星单元模块执行过程的具体工作步骤是:

步骤 1. 判断是否多于 4 颗可用卫星 A

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入信噪比比较法模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元模块; 当得到至少 4 颗卫星的伪距和卫星的位置的信息就可以进行位置的求解;

步骤 2. 信噪比比较法

根据码相位对齐后得到的累积值除以码相位未对准的累积值近似得到信噪比, 将近似信噪比小于 5dB 的信号剔除;

步骤 3. 判断是否多于 4 颗可用卫星 B

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入仰角比较法模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元模块;

步骤 4. 仰角比较法

当接收机已经进行定位一次的时候, 得到在用户位置来看卫星的仰角, 剔掉仰角小于 5 度的卫星;

步骤 5. 信噪比比较法和仰角比较法的结合

将信噪比较法和仰角比较法相结合，就能够得到比较好的定位精度。

本发明的有益效果是：针对室内环境中利用卫星导航信号进行定位的特点，解决了高灵敏度辅助定位系统整体硬件的实现问题，提供了一种基于高灵敏度定位接收机的数据处理方法，利用辅助信息在信噪比很低，信号无法有效跟踪的情况下进行数据的提取和用户位置的解算；通过数据的提取和运算，得到码相位对应的 GPS 时间和捕获得到码相位的数据接收时间，解决了求单一卫星的伪距问题；设计了辅助信息提取单元和发射时间提取单元的工作流程；本发明提高了用户接收机的灵敏度指标，并能够扩大导航定位系统的应用范围。

附图说明

下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

附图 1 为本发明定位原理方框示意图；

附图 2 为本发明总体结构方框示意图；

附图 3 为本发明辅助信息提取方框示意图；

附图 4 为本发明卫星位置和采集数据对应的接收时间示意图；

附图 5 为本发明发射时间提取方框示意图；

附图 6 为本发明选星单元方框示意图；

附图中标号说明：

1—辅助信息提取单元；

2—伪距提取单元；

3—发射时间提取单元；

4—卫星位置解算单元；

5—选星单元；

6—用户位置解算单元

-
- 7—采集并保存一段数据；
 - 8—码相位提取单元；
 - 9—参考接收机；
 - 10—辅助信息处理服务器；
 - 11—用户接收机；
 - 12—卫星；
 - 101—得到提取信息时刻的 GPS 时间；
 - 102—得到参考接收机的位置；
 - 103—得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息；
 - 104—得到当前空中各颗卫星的位置
 - 105—对数据进行排序组合；
 - 301—得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间；
 - 302—得到求得码相位时刻的毫秒时间点；
 - 303—电文信号的接收时间；
 - 304—卫星电文到达参考服务器的传输时间；
 - 305—电文信号的发射时间；
 - 501—信噪比比较法；
 - 502—仰角比较法；
 - 503—是否多于 4 颗可用卫星 A；
 - 504—是否多于 4 颗可用卫星 B；

具体实施方式

请参阅附图 1、2、3、5、6 所示，本发明定位系统由服务器、接口、天线、接收机、射频模块、星座、通信网络及计算机等部件组成，所述定位系统的发送端通过无线信号传输到接收机的接收端，参考接收机 9 输入输出端通过串口 RS232 与辅助信息处理服务器 10 的输出输入端相连接，辅助信息处理服务器 10 的发送端通过无线信号传输到用户接收机 11 的接收端，辅助信息处理服务器 10 的接收

端和用户接收机 11 的接收端同时通过天线接收来自卫星 12 的信号，该系统至少包括：

采集并保存一段数据 7、码相位提取单元 8 和用户接收机 11 模块，各模块组合为一整体的接收机；该接收机中的采集并保存一段数据 7 模块的输出端与码相位提取单元 8 模块的输入端相连接；

码相位提取单元 8 模块的一路输出端与用户接收机 11 中的卫星伪距提取单元 2 的输入端相连接，另一路输出端与用户接收机 11 中的发射时间提取单元 3 的输入端相连接；

参考接收机 9 的输出端与用户接收机 11 中的辅助信息提取单元 1 的输入端相连接；

一用户接收机 11 由辅助信息提取单元 1、卫星伪距提取单元 2、发射时间提取单元 3、卫星位置解算单元 4、选星单元 5 和用户位置解算单元 6 组成，其中：

辅助信息提取单元 1 的一路输出端与卫星伪距提取单元 2 的输入端相连接，另一路输出端与发射时间提取单元 3 的输入端相连接；

卫星伪距提取单元 2 模块的输出端与用户位置解算单元 6 的输入端相连接；

发射时间提取单元 3 模块的输出端与卫星位置解算单元 4 的输入端相连接；

卫星位置解算单元 4 模块的输出端与选星单元 5 的输入端相连接；

选星单元 5 模块的输出端与用户位置解算单元 6 的输入端相连接。

请参阅附图 3 所示，所述的高灵敏度辅助定位系统的辅助信息提取单元 1 包括：得到提取信息时刻的 GPS 时间 101、得到参考接收机的位置 102、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 103、得到当前空中各颗卫星的位置 104 和对数据进行排序组合 105 模块；所述得到提取信息时刻的 GPS 时间 101、得到参考接收机的

位置 102、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 103 和得到当前空中各颗卫星的位置 104 各模块的输出端相互平行并接后与对数据进行排序组合 105 模块的输入端相连接。

请参阅附图 5 所示，所述的高灵敏度辅助定位系统的发射时间提取单元 3 包括：得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 301、得到求得码相位时刻的毫秒时间点 302、电文信号的接收时间 303、卫星电文到达参考服务器的传输时间 304 和电文信号的发射时间 305 模块，其中：

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 301 和得到求得码相位时刻的毫秒时间 302 模块的输出端相互平行并接后与电文信号的接收时间 303 模块的输入端相连接；

电文信号的接收时间 303 和卫星电文到达参考服务器的传输时间 304 模块的输出端相互平行并接后与电文信号的发射时间 305 模块的输入端相连接。

一种高灵敏度辅助定位数据处理的方法，该方法通过用户接收机 11 中的辅助信息提取单元 1、卫星伪距提取单元 2、发射时间提取单元 3、卫星位置解算单元 4、选星单元 5、用户位置解算单元 6 以及采集并保存一段数据 7 和码相位提取单元 8 各模块，实现整个系统微弱信号条件下的定位服务；利用辅助信息在信噪比很低、信号无法有效跟踪的情况下，实现数据的提取和用户位置的解算；通过数据的提取和运算，得到码相位对应的 GPS 时间和捕获到码相位的数据接收时间；通过解算同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机 11 的伪距，以求单一卫星的伪距；该方法包括：辅助信息提取单元 1、卫星伪距提取单元 2、发射时间提取单元 3、卫星位置解算单元 4、选星单元 5 和用户位置解算单元 6 各模块的执行过程，该辅助定位数据处理方法的总体工作步骤是：

a) .所述辅助信息提取单元 1,是得到从参考服务器发送过来的进行位置解算所需要的各种辅助信息，辅助信息包含了当前时刻在

当前区域内的各种参数，包括卫星号、星历的基准时间、卫星的位置、提取辅助信息时的 GPS 时间和参考服务器的位置；

b).所述卫星伪距提取单元 2,用于在辅助信息的协助下得到同一时刻和不同时刻的卫星到达用户接收机 11 的伪距，以及各颗卫星到达用户接收机之间的距离差；

c).所述的发射时间提取单元 3 中寻找码相位单元采用非相干的方法，当卫星的伪距得到后就进入了发射时间提取单元，当得到对应时刻的 GPS 时间，就可以根据参考服务器得到的卫星参数和 GPS 卫星固有的轨道方程得到对应时刻卫星的位置；

d).所述的卫星的位置解算单元 4,在得到了电文发射时间和辅助信息中的星历和时间参数,可以根据 GPS 卫星轨道方程得到,将电文码片时刻的卫星发射时间得到后,根据得到的卫星的星历参数,可以计算卫星的位置和钟差,根据卫星的钟差修正伪距,得到新的伪距；

e) . 所述的选星单元 5,当得到的卫星数目多于定位需要的卫星数目的时候,选择性的使用一组几何组合比较好,精度比较高的卫星信息进行解算；

f) . 所述用户位置解算单元 6,用来根据得到的卫星的伪距和相应时刻卫星的位置，计算得到用户的位置。

所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法的辅助信息提取单元 1 模块执行过程的具体工作步骤是：

步骤 1. 得到提取信息时刻的 GPS 时间 101

执行向参考服务器发送请求，得到提取信息时刻的 GPS 时间 101 模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会反馈当前的 GPS 时间，这其中要考虑信号延迟的时间；

步骤 2. 得到参考接收机的位置 102

执行向参考服务器送命令字，得到参考接收机的位置 102 模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会反馈当前的参考服务器的位置；

步骤 3. 得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 103

执行向参考服务器发送命令字，得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 103 模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号，星历和时间参数信息；

步骤 4. 得到当前空中各颗卫星的位置 104

执行向参考服务器发送命令，得到当前空中各颗卫星的位置 104 模块，通过无线网络，向参考服务器发送命令，会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号和地心地固 ECEF 坐标系下的三维位置信息；

步骤 5. 对数据进行排序组合 105

执行完得到提取信息时刻的 GPS 时间 101、得到参考接收机的位置 102、得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息 103 和得到当前空中各颗卫星的位置 104 的各种辅助信息后，进入对数据进行排序组合 105 模块。

所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法的发射时间提取单元 3 模块执行过程的具体工作步骤是：

步骤 1. 得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 301

得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 301 模块，捕获得到码相位的数据接收时间 T_{G0} 和当前捕获时刻对应的毫秒时间；

步骤 2. 得到求得码相位时刻的毫秒时间点 302

得到求得码相位时刻的毫秒时间点 302 模块，设为 t_1 ， t_1 代表找到起始点的时间为：T0, T1, ……T19 中的一个值；

步骤 3. 电文信号的接收时间 303

同时执行完得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间 301 和 得到求得码相位时刻的毫秒时间点 302 模块后，则进入电文信号的接收时间 303 模块，电文信号的接收时间 303 模块，设为 t_{-r} ，则 $t_{-r} = T_{G0} + t_1$ ；

步骤 4 . 卫星电文到达参考服务器的传输时间 304

卫星电文到达参考服务器的传输时间 304 模块, 根据辅助信息得到的卫星的位置和参考服务器的位置, 得到的两者之间的距离, 换算得到的电文信号的传输时间, 设为 t_{-tr} ;

步骤 5. 电文信号的发射时间 305

同时执行完电文信号的接收时间 303 和卫星电文到达参考服务器的传输时间 304 模块后, 则进入电文信号的发射时间 305 模块, 得到的电文信号的发射时间, 近似表示为: $T = t_r - t_{-tr}$ 。

请参阅附图 6 所示, 所述的高灵敏度辅助定位数据处理的方法, 其特征在于: 所述的选星单元 5 执行过程为: 当卫星 12 的数量多于 4 颗的时候, 先根据相关时的近似信噪比的大小剔除信噪比最小的卫星; 当信噪比剔除掉一颗卫星后, 卫星的数目依然多于 4 颗, 则利用仰角比较法, 剔掉仰角小于 5 度的卫星, 该选星单元 5 模块执行过程的具体工作步骤是:

步骤 1. 判断是否多于 4 颗可用卫星 A 503

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入信噪比比较法 501 模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元 6 模块; 当得到至少 4 颗卫星的伪距和卫星的位置的信息就可以进行位置的求解;

步骤 2. 信噪比比较法 501

根据码相位对齐后得到的累积值除以码相位未对准的累积值近似得到信噪比, 将近似信噪比小于 5dB 的信号剔除;

步骤 3. 判断是否多于 4 颗可用卫星 B 504

如果是多于 4 颗可用卫星, 则进入仰角比较法 502 模块; 如果不是多于 4 颗可用卫星, 则进入用户位置解算单元 6 模块;

步骤 4. 仰角比较法 502

当接收机已经进行定位一次的时候, 得到在用户位置来看卫星的仰角, 剔掉仰角小于 5 度的卫星;

步骤 5. 信噪比比较法 501 和仰角比较法 502 的结合

将信噪比比较法 501 和仰角比较法 502 相结合，就能够得到比较好的定位精度。

本发明的核心思想是，利用辅助信息在信噪比很低，信号无法有效跟踪的情况下进行数据的提取和用户位置的解算。

为了详细说明本发明的算法，首先粗略了解一下本方法和接收机系统以及前端信号处理算法的关系。

如图 2 所示，说明如下：

在某一当前的 GPS 时刻，开始采集并保存数据。采集数据结束后，数据处理算法利用非相干的方法开始搜索当前空中卫星的码相位。当得到不少于 4 颗卫星的码相位后，根据得到的辅助信息即可以进行定位解算。为此，

本发明的技术特征是：

一种辅助定位数据处理的方法，该方法包括：辅助信息提取单元卫星伪距提取单元，发射时间提取单元，卫星位置解算单元，选星单元，用户位置解算单元，其中：

所述辅助信息提取单元，是得到从参考服务器发送过来的进行位置解算所需要的各种辅助信息；

这些辅助信息包含了当前时刻在当前区域内的各种参数，包括卫星号，星历的基准时间(t_{oe})，半长轴的平方根(\sqrt{a})，偏心率(E)，倾角(i_0 ，在 t_{oe} 时)，升交点经度(Ω_0)在每星期历元上，近地点幅角(ω ，在 t_{oe} 时)，平均近点角(M_0 ，在 t_{oe} 时)，倾角的变化率($iodt$)，升交点经度的变化率(Ω')，对平均运动的校正值($\square n$)，对纬度幅角余弦的校正值(C_{wc})，对纬度幅角正弦的校正值(C_{ws})，对轨道半径余弦的校正值(C_{rc})，对轨道半径正弦的校正值(C_{rs})，对倾角余弦的校正值(C_{ic})，对倾角正弦的校正值(C_{is})，卫星时钟修正参数(af_0)，卫星时钟修正参数(af_1)，卫星时钟修正参数(af_2)，卫星时钟修正参数(t_{oc})，卫星的群延迟差(t_{gd})，卫星的健康状况(SatHealthy)，卫星的位置(在用户

请求时刻的 ECEF 坐标); 还包括了提取辅助信息时的 GPS 时间和参考服务器的位置。

所述卫星伪距提取单元, 用于在辅助信息的协助下得到同一时刻或者不同时刻的卫星到达用户接收机的伪距或者说各颗卫星到达用户接收机之间的距离差;

以 4 颗卫星为例, 根据卫星和参考服务器的位置, 可得 4 颗卫星的电文到参考服务器的传输时间为: 设定 $tr_time1 = Aa$, $tr_time2 = Bb$, $tr_time3 = Cc$, $tr_time4 = Dd$ 其中:

A, B, C, D 代表各颗卫星传输时间的毫秒部分, a, b, c, d 代表卫星传输时间的毫秒内部分;

目前得到的各颗卫星到达用户的电文传输时间可以表示为: $tr_time1' = A'a'$, $tr_time2' = B'b'$, $tr_time3' = C'c'$, $tr_time4' = D'd'$

A', B', C', D' , 分别代表伪距时间的毫秒部分, a', b', c', d' 分别代表伪距时间的毫秒内部分;

根据上面所述可得, 以第 1 颗卫星的传输时间为基准:

$$1. Aa - Bb = t_1$$

$$Aa - Cc = t_2$$

$$Aa - Dd = t_3$$

2. 以第一颗星为基准, 即 $A'a'$ 为正确的伪距对应时间

$$A'a' - B'b' = t_1'$$

$$A'a' - C'c' = t_2'$$

$$A'a' - D'd' = t_3'$$

不难理解: t_1 和 t_1' , t_2 和 t_2' , t_3 和 t_3' 应该相差在 0.5 毫秒以内。

故可以如下计算卫星到达用户接收机的伪距:

已知量: $Aa, Bb, Cc, Dd, A'a', b', c', d'$, 其中 a', b', c', d' 为得到的 C/A 码相位值代表的毫秒内时间数值;

$A'a' - t_1 - b'$ 计算得到的最接近的整数, 即为 B' , 以毫秒为单位;

$A'a' - t_2 - c'$ 计算得到的最接近的整数, 即为 C' , 以毫秒为单位;

$A'a - t_3 - d'$ 计算得到的最接近的整数, 即为 D' , 以毫秒为单位;
由此所确定的 $A'a, B'b, Cc, Dd'$, 即可以作为当前 4 颗卫星的伪距传输的时间, 再乘以光速就得到了当前 4 颗卫星的伪距。

所述的发射时间提取单元, 实现过程如图 4、5 所示:

当卫星的伪距得到后就进入了发射时间提取单元。当得到对应时刻的 GPS 时间就可以根据参考服务器得到的卫星参数和 GPS 卫星固有的轨道方程得到对应时刻卫星的位置。下面以一颗卫星为例介绍发射时间提取方法。如图 4 所示:

请参阅附图 4 所示, 寻找码相位单元采用非相干的方法, 最终累计完成 1 秒钟数据的累积。故数据在采集的时候按时间顺序存放至少 1.02 秒的数据, 由于采用非相干的方式, 为了消除比特翻转的影响, 首先要找到比特界(1 个 电文比特为 20 毫秒), 然后才能进行 C/A(GOLD 序列的一种)码相位的捕获。在图示中 T_0 代表数据采集时刻的 GPS 时间(也就是 T_{G0} 时刻), T_1, T_2, \dots, T_{19} , 顺次累加 1 毫秒, 与时间相对应的 X_0 等符号代表对应时刻卫星的位置。前端在捕获的时候会在其中的某一个位置开始进行捕获。由于每颗卫星的捕获起始点不同, 故其得到的码相位对应的 GPS 时间不同。捕获得到的码相位的数据的接收时间可以由 T_{G0} 和当前捕获时刻对应的毫秒时间得到; 根据辅助信息中卫星的位置和参考接收机的位置可以得到电文传输的延迟, 近似作为卫星电文到用户位置的传输时间。电文的发射时间即可以由数据的接收时间和电文的传输时间的差近似得到。

所述的卫星的位置提取单元, 在得到了电文发射时间和辅助信息中的星历和时间参数既可以根据 GPS 卫星轨道方程得到。

将得到电文码片时刻的卫星发射时间得到后, 根据得到卫星的星历参数, 可以计算卫星的位置和钟差, 根据卫星的钟差修正伪距, 得到新的伪距。

所述的选星单元, 就是当我们得到的卫星数目多于定位需要的

卫星的数目时候,选择性的使用一组几何组合比较好,精度比较高的卫星信息进行解算;

当卫星的数量多于 4 颗的时候,可以先根据相关时的近似信噪比的大小剔除信噪比最小的卫星;当信噪比剔除掉一颗卫星后,卫星的数目依然多于 4 颗,则利用仰角比较法,去掉仰角小于 5 度的卫星.

所述用户位置解算单元,用来根据得到的卫星的伪距和相应时刻卫星的位置,计算得到用户的位置。

当至少 4 颗卫星的伪距和对应的卫星的位置得到之后就可以进行卫星位置的解算了.下面以 4 颗卫星为例介绍经过改进的位置解算的算法.

得到伪距方程组:

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u \quad (1.1)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u \quad (1.2)$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u \quad (1.3)$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u \quad (1.4)$$

其中, $(x_j, y_j, z_j) (j=1, 2, 3, 4)$ 是 4 颗 GPS 卫星的位置, $\rho_1, \rho_2,$

ρ_3, ρ_4 是从 GPS 卫星到用户的伪距。 (x_u, y_u, z_u) 是用户的位置, c

代表光速, t_u 是用户时钟与 GPS 时钟的偏差。

如果我们近似知道接收机位置,那么可以将真位置 (x_u, y_u, z_u) 与近似位置 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 之间的偏离用位移 $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u)$ 来标记。将伪距方

程组按照泰勒级数绕近似位置展开，就可以将位置偏移 $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u)$ 表示为已知坐标和伪距测量值的线性函数。这一过程表示如下：

将单一伪距方程表示如下：

$$\begin{aligned}\rho_j &= \sqrt{(x_j - x_u)^2 + (y_j - y_u)^2 + (z_j - z_u)^2} + ct_u \\ &= f(x_u, y_u, z_u, t_u)\end{aligned}\quad (1.5)$$

利用近似的位置 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 和时间偏差估计值 \hat{t}_u ，可以计算出一个近似的伪距：

$$\begin{aligned}\hat{\rho}_j &= \sqrt{(x_j - \hat{x}_u)^2 + (y_j - \hat{y}_u)^2 + (z_j - \hat{z}_u)^2} + ct_u \\ &= f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)\end{aligned}\quad (1.6)$$

如上所述，认为未知的用户位置和接收机时钟偏差由近似分量和增量分量两部分组成，即：

$$\begin{cases} x_u = \hat{x}_u + \Delta x_u \\ y_u = \hat{y}_u + \Delta y_u \\ z_u = \hat{z}_u + \Delta z_u \\ t_u = \hat{t}_u + \Delta t_u \end{cases}\quad (1.7)$$

因此有： $f(x_u, y_u, z_u, t_u) = f(\hat{x}_u + \Delta x_u, \hat{y}_u + \Delta y_u, \hat{z}_u + \Delta z_u, \hat{t}_u + \Delta t_u)$

后一个函数可以围绕近似点和相关联的接收机时钟偏差的预测值 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)$ 用泰勒级数展开成：

$$\begin{aligned}f(\hat{x}_u + \Delta x_u, \hat{y}_u + \Delta y_u, \hat{z}_u + \Delta z_u, \hat{t}_u + \Delta t_u) &= f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u) + \\ &\frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{x}_u} \Delta x_u + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{y}_u} \Delta y_u + \\ &\frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{z}_u} \Delta z_u + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{t}_u} \Delta t_u\end{aligned}\quad (1.8)$$

为了消除非线性项，上面展开式略去了一阶偏导数以上的量。各偏导数的值为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{x}_u} = -\frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{y}_u} = -\frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{z}_u} = -\frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{t}_u} = c \end{array} \right. \quad (1.9)$$

式中， $\hat{r}_j = \sqrt{(x_j - \hat{x}_u)^2 + (y_j - \hat{y}_u)^2 + (z_j - \hat{z}_u)^2}$

故由以上各式，可以得到：

$$\rho_j = \hat{\rho}_j - \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \Delta x_u - \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \Delta y_u - \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \Delta z_u + c \Delta t_u \quad (1.10)$$

这样，我们完成了伪距方程相对于未知数 $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u, \Delta t_u$ 的线性化，将上式整理，得到：

$$\hat{\rho}_j - \rho_j = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \Delta x_u + \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \Delta y_u + \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \Delta z_u - c \Delta t_u \quad (1.11)$$

为方便起见，引进下述新变量以简化上述公式：

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \rho = \hat{\rho}_j - \rho_j \\ a_{xj} = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{yj} = \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{zj} = \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \end{array} \right. \quad (1.12)$$

式中， $\Delta \rho$ 表示观测伪距和近似伪距的差值， (a_{xj}, a_{yj}, a_{zj}) 表示由近似位置指向第 j 号卫星的单位矢量。

于是，可把方程 1.11 更加简化为：

$$\Delta\rho_j = a_{xj}\Delta x_u + a_{yj}\Delta y_u + a_{zj}\Delta z_u - c\Delta t_u \quad (1.13)$$

现有 4 个未知数 $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u, \Delta t_u$ ，可以用对 4 颗卫星进行距离测量而将他们解出来。根据伪距方程组线性化的结果，可以得到下述方程组：

$$\begin{cases} \Delta\rho_1 = a_{x1}\Delta x_u + a_{y1}\Delta y_u + a_{z1}\Delta z_u - c\Delta t_u \\ \Delta\rho_2 = a_{x2}\Delta x_u + a_{y2}\Delta y_u + a_{z2}\Delta z_u - c\Delta t_u \\ \Delta\rho_3 = a_{x3}\Delta x_u + a_{y3}\Delta y_u + a_{z3}\Delta z_u - c\Delta t_u \\ \Delta\rho_4 = a_{x4}\Delta x_u + a_{y4}\Delta y_u + a_{z4}\Delta z_u - c\Delta t_u \end{cases} \quad (1.14)$$

定义矩阵：

$$\Delta\boldsymbol{\rho} = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \end{bmatrix} \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c\Delta t_u \end{bmatrix}$$

这样，可以把方程组 1.14 写成：

$$\Delta\boldsymbol{\rho} = \mathbf{H}\Delta\mathbf{x} \quad (1.15)$$

它的解是：

$$\Delta\mathbf{x} = \mathbf{H}^{-1}\Delta\boldsymbol{\rho} \quad (1.16)$$

在这种算法中，更普遍的做法是将 1.16 式转化成下列式子以满足多颗卫星的需要：

$$\Delta\mathbf{x} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \Delta\boldsymbol{\rho} \quad (1.17)$$

一旦算出了未知量，便可以用式 1.7 算出用户位置坐标 (x_u, y_u, z_u)

和接收机时钟偏移 t_u 。只要位移 Δx 是在线性化点的附近，这种线性化的方法是可行的。可以接受的位移取决于用户的精度，如果位移超过了可以接受的值，可以重复上面的迭代过程。

本发明的使用说明：

本系统允许用户在信噪比比较低的环境下使用. 其应注意以下事项:

1) 服务器的有效覆盖范围是方圆 120 公里. 在每一个有效的范围内设置一个参考服务器即可, 不必过分密集, 但也不能过少. 在此范围之内利用辅助信息进行卫星伪距的求解才具有有效性. 把范围限制在 120 公里的目的是为了区分 1 毫秒时间的模糊度, 从而比较可靠的得到各颗卫星的伪距.

2) 所在环境卫星信号的强度不能低于 -160dbm. 只有在这种条件下才能捕获到至少 4 颗卫星的信号, 才能够满足定位的要求.

3) 用户接收机必须是低动态的. 因为本算法是在先保存一定数据之后再进行处理的, 各颗卫星在求解卫星的位置和对应的伪距不是同一时刻的, 为了得到更好的定位精度, 用户接收机的移动速度越小越好.

本发明的方法和参考接收机系统以及前端信号处理算法的关系:

为了详细说明本发明的方法, 首先粗略了解一下本方法和参考接收机系统以及前端信号处理算法的关系.

如图 2 所示, 说明如下:

在某一当前的 GPS 时刻, 开始采集并保存数据. 采集数据结束后, 数据处理算法利用非相干的方法开始搜索当前空中卫星的码相位. 当得到不少于 4 颗卫星的码相位后根据得到的辅助信息进行后续处理, 即可以进行定位解算。

图 2 是在一定的 GPS 时刻开始采集数据, 假设采集数据的 GPS 时刻为 T_{G0} .

所述的辅助信息提取单元, 实现方法如下所示:

步骤 1. “向参考服务器发送请求” 得到提取信息时刻的 GPS 时间” 101 模块;

通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会反馈当前的 GPS 时间, 这其中考虑信号延迟的时间;

步骤 2. 向参考服务器发送命令字” 得到参考接收机的位置” 102 模块,

通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会反馈当前的参考服务器的位置;

步骤 3. 向参考服务器发送命令字” 得到当前空中各颗卫星的星历和时间参数信息” 103 模块,

通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会按照顺序反馈当前空中各颗卫星的卫星号, 星历和时间参数信息;

步骤 4. 向参考服务器发送命令” 得到当前空中各颗卫星的位置” 104 模块,

通过无线网络, 向参考服务器发送命令, 会按照顺序反馈当前空中各 颗 卫 星 的 卫 星 号 和 地 心 地 固 ECEF(Earth-Centered, Earth-Fixed)坐标系下的三维位置信息;

步骤 5. 得到各种辅助信息后, 进入” 对数据进行排序组合” 105 模块;

数据进行排列组合的结果如表 1 所示:

GPS 时间	提取辅助信息的时间		
位置	参考服务器的位置(ECEF 坐标)		
当前 空中 卫星 的星 历位 置等 信息	卫星号(Svn)	.....	Svn
	星历的基准时间(t_{oe})	.....	t_{oe}
	半长轴的平方根(\sqrt{a})	.....	\sqrt{a}
	偏心率(E)	.....	E
	倾角(i_0 , 在 t_{oe} 时)	.....	i_0 , 在 t_{oe} 时
	升交点经度(Ω_0)在每星期 历元上	.....	Ω_0
	近地点幅角(ω , 在 t_{oe} 时)	.....	ω , 在 t_{oe} 时
	平均近点角(M_0 , 在 t_{oe} 时)	.....	M_0 , 在 t_{oe} 时
	倾角的变化率($iodt$)	.....	$iodt$
	升交点经度的变化率(Ω')	.....	Ω'
对平均运动的校正值($\square n$)			$\square n$

当前 空中 卫星 的星 历位 置等 信息	对纬度幅角余弦的校正值 (C_{wc})	.....	C_{wc}
	对纬度幅角正弦的校正值 (C_{ws})	.....	C_{ws}
	对轨道半径余弦的校正值 (C_{rc})	.....	C_{rc}
	对轨道半径正弦的校正值 (C_{rs})	.....	C_{rs}
	对倾角余弦的校正值 (C_{ic})	.....	C_{ic}
	对倾角正弦的校正值 (C_{is})	.....	C_{is}
	卫星时钟修正参数 (af_0)	.....	af_0
	卫星时钟修正参数 (af_1)	.....	af_1
	卫星时钟修正参数 (af_2)	.....	af_2
	卫星时钟修正参数 (t_{oc})	.....	t_{oc}

表 1 辅助信息提取列表

表 1 中的卫星号对应着当前用户和参考服务器区域可以看到的 GPS 卫星号, 以及卫星对应的星历和其他信息, 当知道 GPS 时刻的时候就可以计算出对应时刻卫星的位置. 每颗卫星的位置和参考服务器的位置用来得到在一定时刻卫星到参考服务器的距离, 不同卫星之间的距离差也可近似看作卫星到用户之间距离的差值, 其误差对应的时间远远小于 1 毫秒的模糊度.

本发明各模块单元的工作原理和工作过程:

所述的伪距提取单元, 实现过程如下所示:

辅助信息得到之后就会根据目前空中的卫星的数量和卫星号进行信号的搜索, 得到卫星信号传送到用户接收机时的码相位.

根据辅助信息得到的各颗卫星的位置和参考接收机之间的位置可以得到电文传输的时间, 以其中的一颗卫星的电文传输时间为基准, 就可以得到其他各颗卫星的传输时间相对于基准传输时间的时间差. 而由于卫星的椭圆轨迹特性, 并且参考服务器和用户相距的距离在比较小的范围内(120 公里), 故可以肯定卫星到达用户接收机的传输时间差与到达参考服务器的时间差不会超过 0.5 毫秒,

所述的发射时间提取单元, 实现过程如下所示:

当卫星的伪距得到后就进入了发射时间提取单元. 当得到对应时刻的 GPS 时间就可以根据参考服务器得到的卫星参数和 GPS 卫星固有的轨道方程得到对应时刻卫星的位置. 下面以一颗卫星为例介绍发射时间提取方法. 如图 4 和图 5 所示;

步骤 1 “得到数据采集点对应的准确的 GPS 时间” 301 模块, 就是 T_{G0} 的值;

步骤 2 “得到求得码相位时刻的毫秒时间点” 302 模块, 设为 t_1 , t_1 即代表了找到起始点的时间(T_0, T_1, \dots, T_{19} 中的一个值)

步骤 3 “电文信号的接收时间” 303 模块, 设为 t_r , 则 $t_r = T_{G0} + t_1$;

步骤 4 “卫星电文到达参考服务器的传输时间” 304 模块, 即根据辅助信息得到的卫星的位置和参考服务器的位置, 得到的两者之间的距离, 换算得到的电文信号的传输时间, 设为 t_{tr} ;

步骤 5 “电文信号的发射时间” 305 模块, 得到的电文信号的发射时间可以近似表示为: $T = t_r - t_{tr}$.

所述的卫星位置提取单元, 在得到了电文发射时间和辅助信息中的星历和时间参数既可以根据固有的轨道方程得到.

将得到电文码片时刻的卫星发射时间得到后, 根据得到的卫星的

星历参数, 可以计算卫星的位置和钟差, 根据卫星的钟差修正发射时间和伪距, 得到新的发射时间和伪距, 然后利用新的发射时间和星历参数再次求解得到卫星的位置和钟差, 再次修正发射时间和伪距; 这样不断的迭代直到本次发射时间和上次发射时间的误差在一个可以接受的很小的范围内, 迭代结束, 得到最终的卫星的位置和最终的修正后的伪距.

所述的选星单元, 实现过程如下所示:

当得到至少 4 颗卫星的伪距和卫星的位置的信息就可以进行位置的求解了, 但有些时候可能得到的可用卫星的数目远多于 4 颗, 这时为了得到更好的定位结果, 就需要进行选星工作, 如图 6 所示:

501 模块中的信噪比较法, 根据码相位对齐后得到的累积值除以码相位未对准的累积值近似得到信噪比, 将近似信噪比小于 5dB 的信号剔除, 这样的好处可以尽最大程度的克服多径对伪距的影响. 并且相应的码相位也对的更准, 时间求得的更准, 相应的伪距就更准确.

502 模块所示的仰角比较法, 当接收机已经进行定位一次的时候即可以得到在用户位置来看卫星的仰角, 剔掉仰角小于 5 度的卫星.

这两种方法相结合就能够得到比较好的定位精度了.

所述的用户位置解算单元, 实现过程如下所示:

当至少 4 颗卫星的伪距和对应的卫星的位置得到之后就可以进行卫星位置的解算单元了. 下面以 4 颗卫星为例介绍经过改进的位置解算的算法.

得到伪距方程组:

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2 + ct_u} \quad (2.1)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u \quad (2.2)$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u \quad (2.3)$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u \quad (2.4)$$

其中， $(x_j, y_j, z_j) (j=1, 2, 3, 4)$ 是 4 颗 GPS 卫星的位置， $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 是从 GPS 卫星到用户的伪距。 (x_u, y_u, z_u) 是用户的位置， c 表示光速， t_u 是用户时钟与 GPS 时间的偏差。

如果我们近似知道接收机位置，那么可以将真位置 (x_u, y_u, z_u) 与近似位置 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 之间的偏离用位移 $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u)$ 来标记。将伪距方程组按照泰勒级数绕近似位置展开，就可以将位置偏移 $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u)$ 表示为已知坐标和伪距测量值的线性函数。这一过程表示如下：

将单一伪距方程表示如下：

$$\begin{aligned} \rho_j &= \sqrt{(x_j - x_u)^2 + (y_j - y_u)^2 + (z_j - z_u)^2} + ct_u \\ &= f(x_u, y_u, z_u, t_u) \end{aligned} \quad (2.5)$$

利用近似的位置 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 和时间偏差估计值 \hat{t}_u ，可以计算出一个近似的伪距：

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_j &= \sqrt{(x_j - \hat{x}_u)^2 + (y_j - \hat{y}_u)^2 + (z_j - \hat{z}_u)^2} + ct_u \\ &= f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u) \end{aligned} \quad (2.6)$$

如上所述，认为未知的用户位置和接收机时钟偏差由近似分量和增量分量两部分组成，即：

$$\begin{cases} x_u = \hat{x}_u + \Delta x_u \\ y_u = \hat{y}_u + \Delta y_u \\ z_u = \hat{z}_u + \Delta z_u \\ t_u = \hat{t}_u + \Delta t_u \end{cases} \quad (2.7)$$

因此有： $f(x_u, y_u, z_u, t_u) = f(\hat{x}_u + \Delta x_u, \hat{y}_u + \Delta y_u, \hat{z}_u + \Delta z_u, \hat{t}_u + \Delta t_u)$

后一个函数可以围绕近似点和相关联的接收机时钟偏差的预测值 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)$ 用泰勒级数展开成：

$$\begin{aligned} f(\hat{x}_u + \Delta x_u, \hat{y}_u + \Delta y_u, \hat{z}_u + \Delta z_u, \hat{t}_u + \Delta t_u) &= f(x_u, y_u, z_u, t_u) + \\ &\frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{x}_u} \Delta x + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{y}_u} \Delta y_u + \\ &\frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{z}_u} \Delta z_u + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{t}_u} \Delta t_u \end{aligned} \quad (2.8)$$

为了消除非线性项，上面展开式略去了一阶偏导数以上的量。各偏导数的值为：

$$\begin{cases} \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{x}_u} = -\frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{y}_u} = -\frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{z}_u} = -\frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}_u)}{\partial \hat{t}_u} = c \end{cases} \quad (2.9)$$

式中， $\hat{r}_j = \sqrt{(x_j - \hat{x}_u)^2 + (y_j - \hat{y}_u)^2 + (z_j - \hat{z}_u)^2}$

故由以上各式, 可以得到:

$$\rho_j = \hat{\rho}_j - \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \Delta x_u - \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \Delta y_u - \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \Delta z_u + c \Delta t_u \quad (2.10)$$

这样, 我们完成了伪距方程相对于未知数 $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u, \Delta t_u$ 的线性化, 将上式整理, 得到:

$$\hat{\rho}_j - \rho_j = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \Delta x_u + \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \Delta y_u + \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \Delta z_u - c \Delta t_u \quad (2.11)$$

为方便起见, 引进下述新变量以简化上述公式:

$$\begin{cases} \Delta \rho = \hat{\rho}_j - \rho_j \\ a_{xj} = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{yj} = \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{zj} = \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \end{cases} \quad (2.12)$$

式中, $\Delta \rho$ 表示观测伪距和近似伪距的差值, (a_{xj}, a_{yj}, a_{zj}) 表示由近似位置指向第 j 号卫星的单位矢量。

于是, 可把方程 2.11 更加简化为:

$$\Delta \rho_j = a_{xj} \Delta x_u + a_{yj} \Delta y_u + a_{zj} \Delta z_u - c \Delta t_u \quad (2.13)$$

现有 4 个未知数 $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u, \Delta t_u$, 可以用对 4 颗卫星进行距离测量而将他们解出来。根据伪距方程组线性化的结果, 可以得到下述方程组:

$$\begin{cases} \Delta \rho_1 = a_{x1} \Delta x_u + a_{y1} \Delta y_u + a_{z1} \Delta z_u - c \Delta t_u \\ \Delta \rho_2 = a_{x2} \Delta x_u + a_{y2} \Delta y_u + a_{z2} \Delta z_u - c \Delta t_u \\ \Delta \rho_3 = a_{x3} \Delta x_u + a_{y3} \Delta y_u + a_{z3} \Delta z_u - c \Delta t_u \\ \Delta \rho_4 = a_{x4} \Delta x_u + a_{y4} \Delta y_u + a_{z4} \Delta z_u - c \Delta t_u \end{cases} \quad (2.14)$$

定义矩阵：

$$\Delta \rho = \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \Delta \rho_3 \\ \Delta \rho_4 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c\Delta t_u \end{bmatrix}$$

这样，可以把方程组 1.14 写成：

$$\Delta \rho = H \Delta x \quad (2.15)$$

它的解是：

$$\Delta x = H^{-1} \Delta \rho \quad (2.16)$$

在这种算法中，更普遍的做法是将 2.16 式转化成下列式子可以满足多颗卫星的需要：

$$\Delta x = (H^T H)^{-1} H^T \Delta \rho \quad (2.17)$$

一旦算出了未知量，便可以用式 2.7 算出用户位置坐标 (x_u, y_u, z_u) 和接收机时钟偏移 t_u 。只要位移 Δx 是在线性化点的附近，这种线性化的方法是可行的。可以接受的位移取决于用户的精度，如果位移超过了可以接受的值，可以重复上面的迭代过程。

但是在此算法中有一个严重的问题，就是如果 $H^T H$ 是奇异矩阵，那么方程 (2.17) 就无法完成最后的解算，所以可以对 $H^T H$ 进行求解行列式，当其值在小于一个设定的门限后，必须对其进行修正，否则将无法完成迭代过程。具体方法如下：

当行列式的值小于 0.0001 的时候，程序返回一个标志位，跳出位置解算程序，然后修正一颗卫星的伪距将其加上一个常数 1(单位米)，然后重新进行运算，当完成解算后跳出，如果依然出现行列式的值小于门限的情况，则将下一颗卫星的伪距加常数 1(单位米)，这样顺次进行，当所有的卫星都加完 1(单位米) 后依然不能解算，则继续重复加 1 过程，将会完成定位过程，并且对定位精度的影响很小，一般情况下不会超过 4 次无法定位的情况。

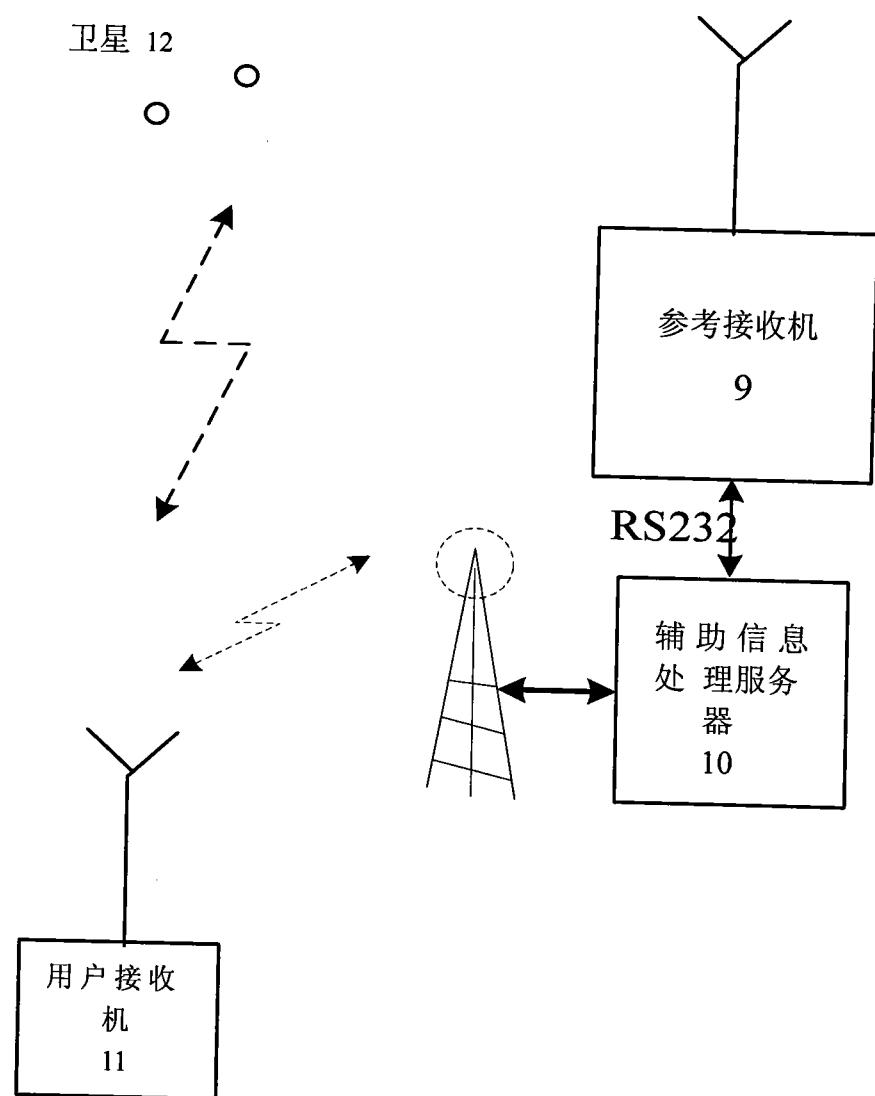


图 1

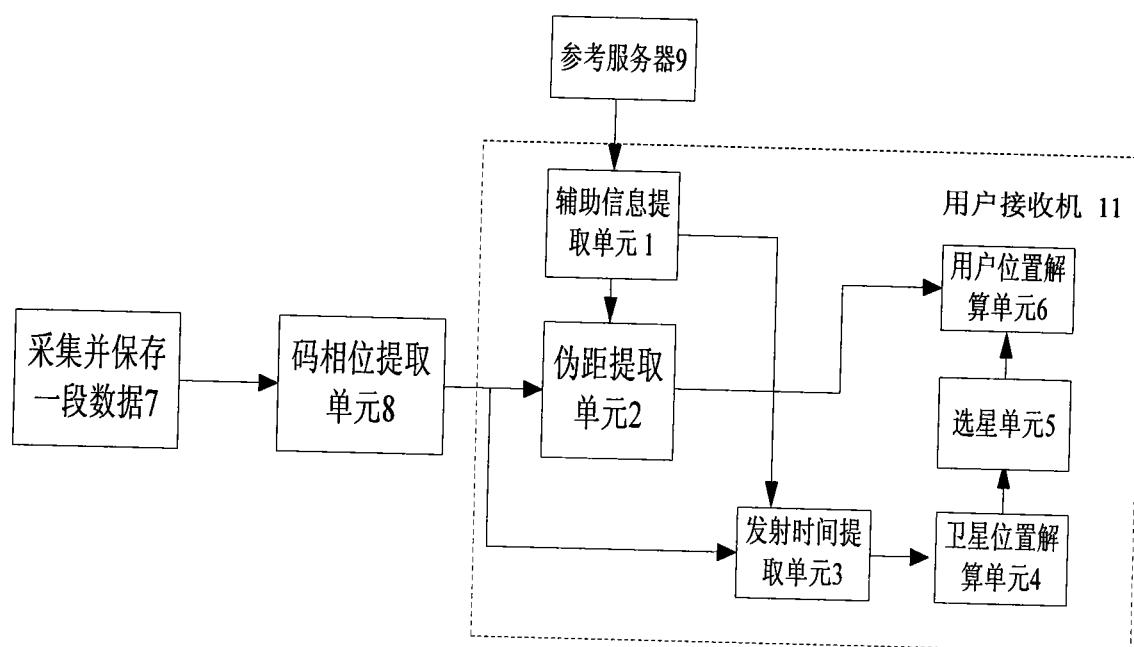


图 2

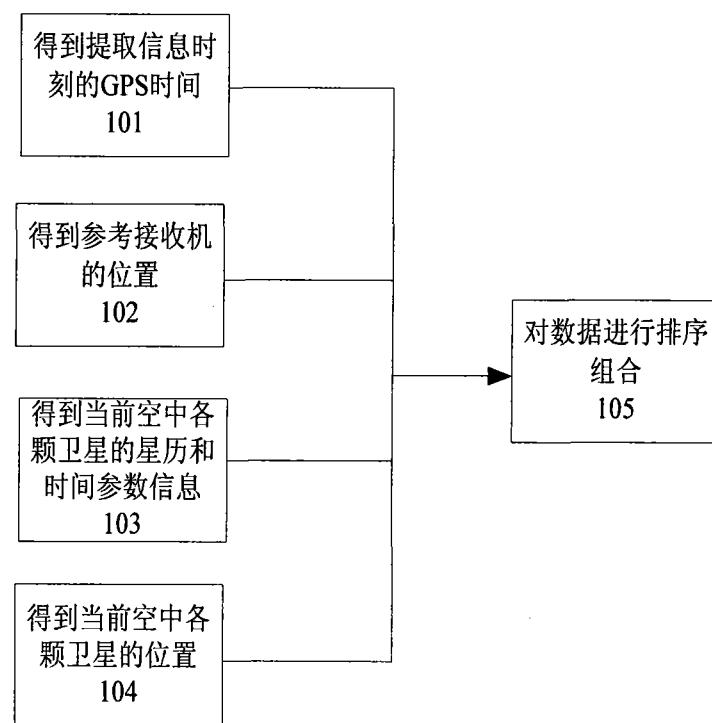


图 3

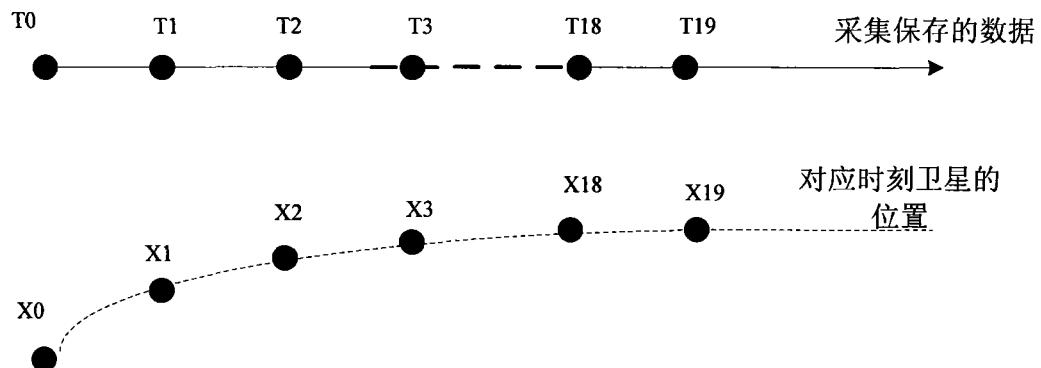


图 4

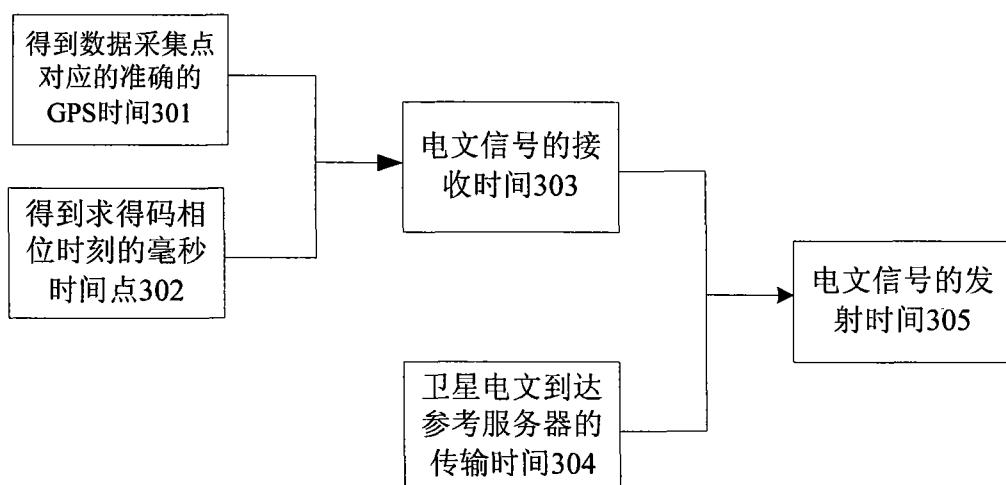


图 5

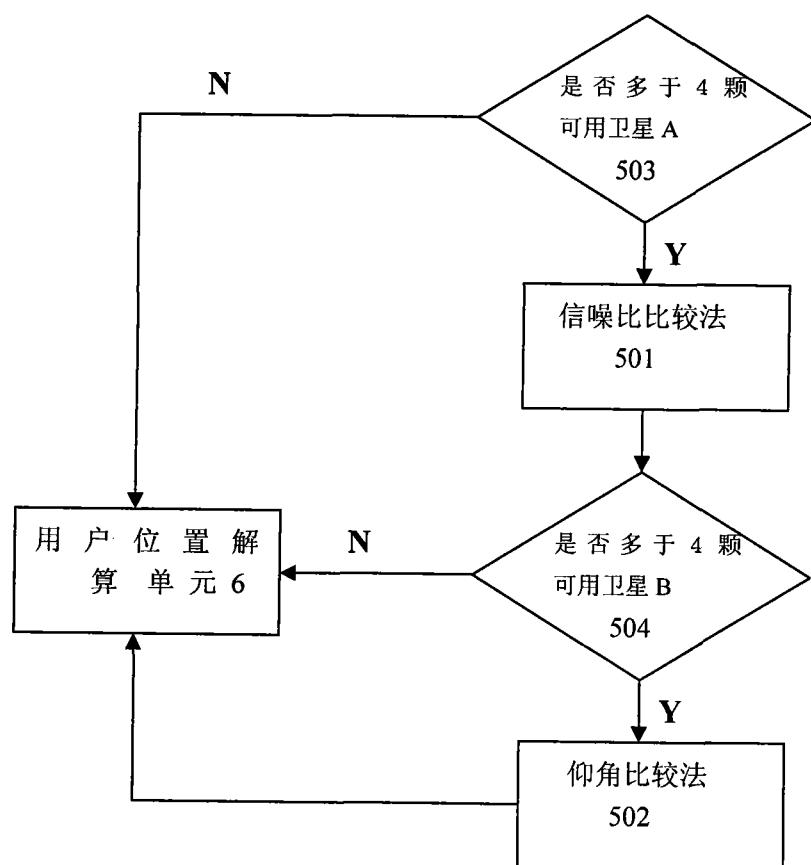


图 6