



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101843010 B

(45) 授权公告日 2013.05.29

(21) 申请号 200880107674.4

(22) 申请日 2008.12.15

(30) 优先权数据

07425796.5 2007.12.18 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.03.18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2008/067574 2008.12.15

(87) PCT申请的公布数据

W02009/077512 EN 2009.06.25

(73) 专利权人 泰勒斯阿莱尼亚空间公司意大利

分公司

地址 意大利罗马

(72) 发明人 F·戈蒂弗雷迪 M·戈塔

(74) 专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司 11314

代理人 程伟 王锦阳

(51) Int. Cl.

H04L 7/00(2006.01)

H04W 56/00(2009.01)

(56) 对比文件

WO 98/56136 A2, 1998.12.10, 全文.

WO 2006/097880 A1, 2006.09.21, 全文.

US 5363375 A, 1994.11.08, 全文.

审查员 何永春

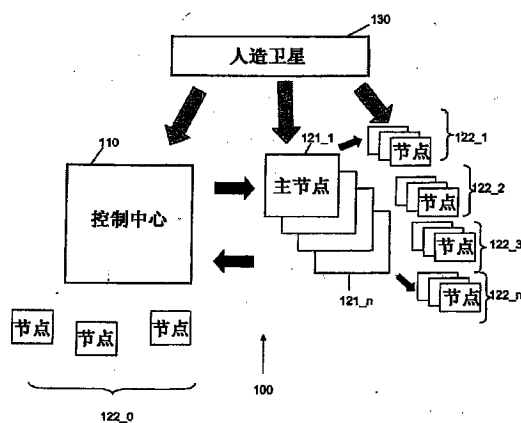
权利要求书2页 说明书11页 附图10页

(54) 发明名称

同步网络节点的方法及其系统和装置

(57) 摘要

一种将多个间隔的网络节点同步到控制中心的参考时间的方法和系统,该方法包括:接收来自多个节点的每一个的测量数据;根据该测量数据,将该多个节点相对于彼此排序;根据该排序,从该多个节点中选择第一个或多个主节点;将该多个节点中的每一个分配给相对应的主节点;确定在每个节点处测量的本地时间和在该节点的相对应主节点处测量的本地时间之间的第一时间偏移,以及确定每个主节点和参考时间之间的第二时间偏移,从而能够确定在每个节点处测量的本地时间和参考时间之间的时间偏移。



1. 一种将多个网络节点同步到控制中心的参考时间的方法,该方法包括:
接收来自多个节点的每一个的测量数据;
根据所述测量数据,将所述多个节点相对于彼此排序;
根据所述排序,从所述多个节点中选择一个或多个主节点;
将所述多个节点中的每一个分配给相对应的主节点;以及
确定在每个节点处测量的本地时间和在所述节点的相对应主节点处测量的本地时间之间的第一时间偏移;以及
确定每个主节点和参考时间之间的第二时间偏移,从而能够确定在每个节点处测量的本地时间和参考时间之间的时间偏移。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述测量数据包括表示相对应的节点的地理位置的位置数据。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,进一步包括根据所述位置数据确定节点的地理分布,以及其中根据节点相对于主节点或控制中心的位置的位置,将所述多个节点的每一个分配给相对应的主节点,或者分配给控制中心。
4. 根据前述任一项权利要求所述的方法,其中所述测量数据包括表示相对应的节点的性能的性能数据。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述测量数据包括表示相对应的节点的本地环境的环境数据。
6. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述性能数据包括表示相对应的节点的时钟性能的时钟性能数据。
7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中通过应用共视时间转换算法来确定所述第一时间偏移和 / 或所述第二时间偏移。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中通过应用链接的共视时间转换算法来确定所述第一时间偏移和 / 或所述第二时间偏移。
9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中通过应用多路径链接的共视时间转换算法来确定所述第一时间偏移和 / 或所述第二时间偏移。
10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中通过应用基于载波相位的算法来确定所述第一时间偏移和 / 或所述第二时间偏移。
11. 根据权利要求 7、8、9 或 10 所述的方法,其中由每个主节点或控制中心根据网络节点相对于相对应的主节点或控制中心的位置来选择同步算法。
12. 根据权利要求 4 所述的方法,其中从每个节点接收更新的性能数据以根据节点的性能对节点进行重新排序,以及根据该排序选择节点作为主节点。
13. 根据权利要求 2 所述的方法,其中从网络节点接收更新的位置信息,并根据该更新的位置信息从多个节点中选择主节点。
14. 一种同步装置,用于将多个网络节点与参考时标同步,该装置包括:
GNSS 接收器,可操作地与 GNSS 天线相关联;
时间源,提供本地时间;
数据通信装置,用于接收来自一个或多个节点的数据和 / 或将数据发送到一个或多个节点;

排序装置,可操作用于根据节点发送的测量数据将所述节点相对于彼此排序;

选择装置,可操作用于根据所述节点的所述排序从所述多个节点中选择一个或多个主节点;

分配装置,可操作用于将所述多个节点的每一个分配给相对应的主节点或控制中心;

时间偏移确定装置,可操作用于确定在每个节点处测量的本地时间和在所述节点相对应的主节点处测量的本地时间之间的第一时间偏移,并且可操作用于确定每个主节点和参考时标之间的第二时间偏移,从而能够确定在每个节点处测量的本地时间与参考时标之间的时间偏移。

15. 一种同步系统,用于将多个网络节点与参考时标同步,该系统包括根据权利要求14所述的同步装置,以及多个网络节点,每一个所述网络节点配备有GNSS接收器和本地时间源。

同步网络节点的方法及其系统和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及同步网络节点的方法。特别但非排他地,本发明涉及一种将彼此间隔的网络节点同步到基于全球定位卫星系统 (GNSS) 的参考时标的方法。本发明进一步涉及用于将彼此间隔的网络节点同步到基于全球定位卫星系统 (GNSS) 的参考时标的同步装置和同步系统。

背景技术

[0002] 相对于系统参考时间来同步网络节点是许多网络应用中的重要需求。为关键的应用领域设计复杂网络系统的核心问题是保持每个网络节点相对于给定系统时标同步的可能性。当节点间的通信链接不能直接使用以获得系统范围同步时,这个问题变得更为关键。

[0003] 纳秒和皮秒量级的高性能同步,是很多应用领域的基本需求。例如,在一些领域可能需要这种同步,诸如定位、布置以及基于区域的应用,复杂监控和控制系统,其跨越广泛节点间基线、金融交易、分布式生产线、针对生命安全 (SoL) 和公众防护应用的环境监控系统,以及总之,任何高负载的、基于时间标签 (time-tagging) 的分布式系统。

[0004] 网络同步应该在性能和必需的功能性方面考虑系统需求,例如:

[0005] 网络危险水平:即低(例如,一般鲁棒性且无生命危险)、中(例如,高鲁棒性但无生命危险)、或高(例如 SoL 网络);

[0006] 网络覆盖水平(考虑网络包络的长轴):小($< 300\text{km}$),中($< 5000\text{km}$)或高($> 5000\text{km}$);

[0007] 网络安全水平:开放(例如科学应用),中等(例如仅在通信层安全),或安全(例如不同的安全级,例如数据、通信.....);

[0008] 网络复杂水平:简单/中等(不慢且不可靠的通信连接),或复杂(例如异构网络)。

[0009] 各种各样以及大量的不同需求导致了一个问题,即如何提供一种能够应对任何需要的独特的同步系统。相反地,这种同步必须由以期望的解决方案为目标的 ad-hoc 类型的系统提供。

[0010] 在同步领域,已经进行了多种开发。大量定时系统基于来自 GNSS 人造卫星系统,例如 GLONASS, GPS 以及未来 GALILEO 人造卫星系统的导航信号。应理解,名词 GNSS 也指所有的类似的卫星导航类型的系统,包括基于地面的发射器,其用于发射导航信号。导航信号对于同步应用来说是理想的,因为导航信号由非常稳定的源产生,且发射器的位置刚好已知。进一步地,GNSS 人造卫星发射的信号覆盖世界范围,且参照公共全球时间参考。导航信号通常以伪距离 (pseudo-range) 形式使用,这是由在接收器内部的,载波调制的有限长度的、GNSS 人造卫星发射的伪随机噪声 (PRN) 码,以及接收的信号内部产生的复本之间的校正处理造成的。PRN 码的频谱性质(例如扩频)使其成为测距应用 (ranging application) 的理想信号。而伪距离测试的精确性被带宽和信噪比限制到米的量级。甚至对于不同的系统,其中传播延时可以被消除,这对于高精度时间转换 (transfer) 应用显然是不足的。

[0011] 国际专利申请 WO 01/61426 描述了一种具有彼此远距离定位的多个 GNSS 接收器的方法和系统。每个 GNSS 接收器连接到中央处理系统,该中央处理系统计算各个 GPS 接收器时间信号之间的偏移。所述系统的缺点在于,每个 GPS 接收器需要连接到中央处理系统,因此随着网络中的接收器数量增长,中央处理系统的计算负载和数据负载显著增长。进一步地,时间同步计算是在由每个接收器估计的时间上进行的,因此包括任何影响用于位置确定的导航方案的误差(例如位置中的误差被转换为时间确定中的误差)。

发明内容

[0012] 本发明旨在解决上述问题。

[0013] 总的来说,本发明旨在提供一种利用 GNSS 信号同步网络节点的方法和系统,通过提供可配置的分布式网络来实现,其中计算负载和数据负载可从中央处理器分配到一个或多个主处理器。本发明进一步旨在提供灵活且可升级的网络性能和覆盖,从而应对不同的需要和网络拓扑。

[0014] 根据本发明的第一方面,提出了一种将多个空间分离的网络节点同步到控制中心的时间参考的方法。该方法包括从该多个节点的每一个接收测量数据;根据测量数据排序该多个节点;根据所述排序从该多个节点中选择一个或多个主节点;将该多个节点中的每一个分配给相对应的主节点或控制中心;确定在每个节点测量的本地时间和在其相对应的主节点测量的本地时间之间的第一时间偏移,并确定每个主节点和参考时间之间的第二时间偏移,从而可以确定在每个节点测量的本地时间和参考时间之间的时间偏移。

[0015] 因此,精确的同步所需要的计算负载和数据负载可从控制服务器分配到多个主节点,使得在控制中心的计算负载和数据负载显著降低。此外,由于主节点及其分配的网络节点之间的距离比该节点和控制中心之间的距离短,考虑到同步性能随着距离而减小,因此可获得更精确的同步。

[0016] 测量数据可包含一个或多个以下数据:表示每个节点的地理位置的位置数据,表示每个节点附近的本地环境情况(例如本地天气和电磁情况)的环境数据;以及表示每个节点的性能(例如每个节点的本地时钟性能)的性能数据。

[0017] 位置数据可包含与 GNSS 接收器在相对应的节点得到的测量值相对应的数据。例如,GNSS 接收器可通过测量 GNSS 信号相对于相同信号的传输时间的到达时间,来计算伪距离。

[0018] 因此,可根据节点相对于相邻网络节点的地理位置将每个节点排序。例如,对于相对于其他网络节点更位于中心位置的网络节点,可以给予比更不位于中心位置的节点更高的排序。还可以考虑其他影响主节点选择的因素,例如节点的散布或节点的机动性,这些影响网络拓扑。

[0019] 进一步地,可根据每个节点的性能来排序节点,例如每个节点的时钟的性能。以这种方式,可从这些节点中选出相比于相邻的节点具有更稳定的参考时间的节点作为主节点。

[0020] 在节点的排序中可考虑的其他因素可以是关于:节点附近的本地环境因素,其影响人造卫星信号性能以及因此影响节点的测量数据;节点的网络链接特性,其影响由节点在主节点处收集测量数据的有效性。

[0021] 可根据位置数据确定节点的地理位置,且可以根据节点相对于主节点位置的位置将多个节点的每一个分配给相对应的主节点。控制中心可作为主节点,且可将一个或多个节点分配给控制中心。

[0022] 由于控制中心决定了网络自身的特性使得同步不依赖于网络拓扑,从而本发明提供了灵活性。因此,本方法适用于任何网络,并容易地应用于现有的网络。

[0023] 可从多个节点接收可观测的数据,例如表示伪距离的数据和 / 或表示载波相位测量值的数据。

[0024] 节点及其相对应的主节点之间的第一时间偏移,或控制中心与每个主节点之间的第二时间偏移可通过选自以下组的算法来实现:共视时间转换算法、链接的共视时间转换算法和多路径链接的共视时间转换算法。同步算法可由控制中心或主节点根据该节点相对于其相对应的主节点的位置来自动选择。由于本发明可以通过选择适当的同步算法来适应相关的节点距离,因此提供了可测量性。

[0025] 节点及其相对应的主节点之间的第一时间偏移,或主节点与控制中心之间的第二时间偏移可通过应用载波相位算法来确定。以这种方式,同步可达到皮秒量级的高精度。

[0026] 可监控每个节点的时钟性能,从而根据时钟性能将节点排序,并根据该排序选择节点作为主节点。以这种方式对节点性能连续监控提供了故障容忍、防御和恢复。如果出现故障,其他节点会自动取代主参考节点,而不会影响其他网络节点的总体同步处理。

[0027] 可以从网络节点接收更新的位置信息,并且可以根据该更新的位置信息从多个节点中选择主节点。如果,例如,可移动的节点从一个区域移动到另一个区域,该方法可适当地根据位置将该节点重新分配给更合适的主节点,也即是,将其从一个子网络移动到另一个子网络。进一步地,如果主节点从其分配的节点处移开,可为这些节点寻找更合适的替代主节点。

[0028] 根据本发明的第二个方面,提供了一种用于将多个网络节点与参考时标同步的同步装置,该装置包括:GNSS接收器,可操作地与GNSS天线相关联;时间源,提供本地时间;数据通信装置,用于接收来自一个或多个节点的数据和 / 或发射数据到一个或多个节点;排序装置,可操作用于根据节点发射的测量数据将节点相对于彼此排序;选择装置,可操作用于根据节点的排序从多个节点中选择一个或多个主节点;分配装置,可操作用于根据接收自每个节点的测量数据将多个节点中的每一个分配给相对应的主节点或控制中心;以及时间偏移确定装置,可操作用于确定在每个节点测量的本地时间和在其相对应的主节点测量的本地时间之间的第一时间偏移,并且可操作用于确定每个主节点和参考时标之间的第二时间偏移,从而可以确定在每个节点测量的本地时间和参考时标之间的时间偏移。

[0029] 根据本发明的第三个方面,提供了一种用于将多个网络节点与参考时标同步的同步系统,该系统包括前文所述的同步装置以及多个网络节点,每个该网络节点配备有GNSS接收器和本地时间源。

附图说明

[0030] 现在仅以示例性的方式描述本发明的实施例,并参考以下附图,其中:

[0031] 图 1A 是根据本发明的第一实施例的同步系统的示意图;

[0032] 图 1B 是描述图 1 的网络节点的布局的图;

- [0033] 图 2 是根据本发明的第一实施例的控制中心装置的示意图；
- [0034] 图 3 是根据本发明的第一实施例的主节点装置的示意图；
- [0035] 图 4 是根据本发明的第一实施例的网络节点装置的示意图；
- [0036] 图 5A 和 5B 是根据本发明的第一实施例的同步方法的图示；
- [0037] 图 6 描述了在本发明的第一实施例中 CVTT 算法的使用；以及
- [0038] 图 7 是根据本发明的另一实施例的同步方法的图示。

具体实施方式

[0039] 现在参考图 1 到 4 描述本发明的第一实施例。图 1A 和 1B 描述了根据本发明的第一实施例用于将网络节点同步到参考时标的系统 100。该系统包括具有参考时标的控制中心 110, n 个空间分离的主节点 121-1 到 121-n, 并且分组 122_0, 122_1, 122_2... 122_n 包括 m 个网络节点, 例如 GPS、GLONASS、GALILEO 或 COMPASS 人造卫星系统的 GNSS 人造卫星系统 130, 其包括多个人造卫星, 用于将定位信号提供给控制中心 110 和网络的节点 121, 122。

[0040] 现在参考图 2 更详细地描述控制中心 110。控制中心 110 包括多频 (至少双频) GNSS 接收器 1101, 其可操作地与 GNSS 天线 1111 相关联, 其中 GNSS 天线 1111 用于接收来自 GNSS 人造卫星系统 130 的任意卫星的导航信号, 由于 GNSS 天线 1111, GNSS 接收器 1101 能够进行粗采集 (C/A) 码和载波相位测量, 中央参考时钟 1102 提供时间和频率参考, 通信链接 1103 用于向网络节点发射数据和 / 或从网络节点接收数据, 其中网络节点包括主节点 121_1 到 121_n 和网络节点 122_0 到 122_n, 中央处理器 1104 和应用接口 1105 用于与需要同步的应用层进行接口连接。这样的应用可以包括定位、布置或基于范围的应用。可选地, 本申请可包括任何时间标签系统, 例如复杂的监控和控制系统, 其可以跨越广泛的内部节点基线、财务往来、分布式生产线以及用于 SoL 和公众防护应用的环境监控系统。

[0041] 参考时钟 1102 包括与之锁定的高稳定性原子振荡器 1112。无论基于长期还是中 / 短期, 都需要高稳定性。对于短期稳定性, 通过使用由活性氢脉泽时钟的时钟系统来获得这样的稳定性, 对于长期稳定性, 通过使用铯或铷时钟来获得这样的稳定性。

[0042] 控制中心 110 进一步包括环境监控器 1106, 环境监控器 1106 包括用于监控天气状况的气象站, 用于监控对空气有影响的本地环境状况的水蒸气辐射计, 以及用于监控本地 EM 污染的电磁环境监控系统, 本地 EM 污染对信号性能以及因此由 GNSS 人造卫星 130 信号的 GNSS 接收器 1101 进行的测量有影响。

[0043] 中央处理器 1104 可操作用于监控网络节点的状态, 包括例如节点时钟性能等参数, 从而通过从网络节点中选择主节点 121_1 到 121_n 来配置网络, 并根据从每个节点接收的数据将每个节点 122_0 到 122_n 分配到各自的主节点 121_1 到 121_n, 或分配到控制中心 110。由控制中心 110 从每个节点接收的数据包括表示每个节点的时钟性能的数据、表示每个节点的环境状况的数据和表示每个节点的位置数据的数据。中央处理器 110 也被配置为存储和 / 或实施同步算法, 根据网络范围以及要求的同步水平, 所述同步算法包括共视时间转换 (CVTT)、链接的共视时间转换 (LVCTT)、以及多路径链接的共视时间转换 (MLCVTT)、伪距离和载波相位算法。这些算法可实施在控制中心和 / 或 MRT 上。

[0044] 如上文所述, 控制中心 110 的作用包括: 通过从所有网络节点中选择多个主节点 121_1 到 121_n 来配置网络, 根据位置数据将每个网络节点 122_0 到 122_n 分配给主节点

121₁ 到 121_n, 或分配给控制中心 110, 将主节点和分配给控制中心 110 的节点同步到控制中心 110 的参考时标。在一些情况下, 控制中心的作用可能包括根据主节点 121_x 的配置及其各自的分配节点 122_x 为每个主节点选择同步算法。

[0045] 现在参考图 3 更详细地描述主节点 121。主节点 121_x 作为其分配的网络节点 122_x 的主参考时间节点, 并包括: 可操作地与 GNSS 天线 1211 相关联的多频 (至少双频) GNSS 接收器 1201, GNSS 天线 1211 用于接收来自 GNSS 人造卫星系统 130 的任何人造卫星的导航信号, 由于 GNSS 天线 1211, GNSS 接收器 1201 能够进行粗采集 (C/A) 码和载波相位测量; 主参考时钟 1202, 提供参考本地时间; 通信链接 1203, 用于向网络节点发射数据和 / 或从网络节点接收数据, 其中网络节点包括控制中心 110 和分配给该主节点 121 的网络节点 122, 并且通信链接 1203 还用于在分配的节点 122 和控制中心 110 之间传输数据; 处理器 1204; 监控器 1205, 用于监控主节点 121_x 的环境状况, 其包括用于监控天气状况的气象站, 用于监控对空气以及因此对 GNSS 接收器 1201 和 GNSS 人造卫星 130 之间的通信有影响的本地状况的水蒸气辐射计; 以及应用接口 1206, 用于与需要同步的主节点的本地应用之间进行接口连接。

[0046] 主参考时钟 1202 包括高稳定性原子振荡器 1212, 例如与之锁定的铷时钟。主参考节点可配备有原子时钟, 例如铷, 因为他们是通过同步网相对于控制中心中的参考时钟 1102 被同步的, 并因此没有相同的稳定性水平的要求。

[0047] 主处理器 1204 配置为选择和实施最佳同步算法, 以将相对应的分配的网络节点 122_x 同步到主节点 121_x。在本发明的一些实施例中, 控制中心 110 选择适当的同步算法来将分配的网络节点 122_x 同步到主节点 121_x。各个主节点选择的同步算法可以是以下之一: 共视时间转换 (CVTT) 和采用载波相位或伪距离测量的链接的共视时间转换 (LVCTT)。主处理器也可能应用具有载波相位或伪距离测量的多路径链接的共视时间转换 (MLCVTT)。主节点可以监控网络节点的状态, 并将表示网络节点状态的数据传输到控制中心 110。

[0048] 现在参考图 4 更详细地描述网络节点 122。网络节点包括: 多频 (至少双频) GNSS 接收器 1301, 其可操作地与 GNSS 天线 1311 相关联, GNSS 天线 1311 用于接收来自 GNSS 人造卫星系统 130 的任何人造卫星的导航信号, 由于 GNSS 天线 1302, GNSS 接收器能够进行粗采集 (C/A) 码和载波相位测量; 本地参考时钟 1302 提供本地节点时间; 通信链接 1303 用于向网络中的其他网络节点发射数据和 / 或从其他网络节点接收数据, 其中该网络包括该节点分配给的主节点 121; 在一些情况下包括控制中心 110; 以及在一些情况下包括其他网络节点 122, 处理器 1304 和监控器 1305, 监控器 1305 用于监控网络节点 122 的环境状况, 包括用于监控天气状况的气象站、用于监控对空气以及因此对 GNSS 接收器 1301 和 GNSS 人造卫星 130 之间的通信有影响的本地状况的水蒸气辐射计; 以及应用接口 1306, 用于将该节点与本地应用接口连接。

[0049] 节点参考时钟 1302 包括高稳定性原子振荡器 1312, 例如与之锁定的铷时钟。

[0050] 如果网络节点符合作为主节点的条件, 那么在主节点 121 出现故障, 且随后选择该网络节点作为新的主节点 121 的情况下, 网络处理器 1304 被配置为选择并实施最佳的同步算法, 以将网络节点 122 同步到其参考时间。由各个网络节点 122_x (当被选择作为新的主节点 121_x 时) 选择的同步算法, 可能基于共视时间转换 (CVTT) 或采用载波相位或伪距

离测量的链接的共视时间转换 (LVCTT)。该网络处理器也可以采用具有载波相位或伪距离测量的多路径链接的共视时间转换 (MLCVTT)。

[0051] 在本发明的第一实施例中,要同步的应用是本区域应用,其中人造卫星系统 130 的相同的卫星可被至少两个网络节点看到,节点之间的距离 < 20km。在本发明的其他实施例中,也可实施算法用于地区应用(即节点基线高达 5000km),得到相同的结果但是应用 LCVTT 算法代替 CVTT 算法。

[0052] 现在参考图 5A 和 5B 描述根据本发明的第一实施例的同步网络节点的方法。

[0053] 图 5A 和 5B 图示了待同步到参考时标的多个网络节点 122,以及与参考时标相关联的控制中心 110。每个网络节点 122 向控制中心 110 发送表示其位置的位置数据;相关联的重要数据,即伪距离和 / 或载波相位测量值,其由相对应的 GNSS 接收器 1301 获得;来自其相对应的环境监控器 1305 的数据;和表示其本地时钟 1302 的时钟节点数据。

[0054] 控制中心 110 处理从每个节点接收的数据,并根据每个节点的时钟 1302 的性能对每个节点排序,排序考虑了位置数据和 / 或来自表示由相对应的 GNSS 人造卫星系统 130 的 GNSS 接收器 1301 的接收情况的环境监控器 1305 的任何数据。例如,如果来自节点的数据指示由该节点的人造卫星 130 的 GNSS 接收器 1301 的信号接收情况差,则导致该节点比具有相似的时钟节点性能但具有更好的信号接收情况的另一节点 122 具有更低的排序。对于具有好的时钟节点性能,好的人造卫星接收情况除了气象站之外还有其他环境监控设备,例如电磁环境监控器和水蒸气辐射计,并且相对于其他网络节点具有中心位置的节点,将接收到相对于具有更差的时钟性能和 / 或更差的人造卫星通信情况的其他节点更高的排序。

[0055] 根据节点性能排序,控制中心 110 从多个网络节点 122 中选择多个网络节点作为主节点 121,即选择较高排序的网络节点。然后根据网络节点 122 相对于主节点 121 和控制中心的位置,将剩下的网络节点分配给主节点 122 或中心节点本身,即将网络节点 122-x 分配给其最接近的主节点 121-x,或如果其距离控制中心 110 比距离主节点 121-x 更近,则将该网络节点 122-x 分配给控制中心 110。该处理使得在主网络中形成多个子网络。

[0056] 以这种方式将网络分为子网络使得控制中心 110 能够将同步工作负载和数据负载分配给主节点 121。

[0057] 进一步地,可获得更好的同步精确性,因为对于分配给主节点的节点 122,每个节点和该节点要同步到的主节点 121 之间的距离,比该节点 122 和控制中心 110 之间的距离短,在同步算法中留下了较小的误差空间。

[0058] 然后每个主节点 121 选择合适的同步算法,以同步分配给它的每个节点 122_1 到 122_n。在一些网络配置中,主节点可能需要实施 CVTT 算法以同步一个节点,并实施 LVTT 算法以同步相同子网络中的另一个节点。在一些实施例中,选择子网络以更好的实施 CVTT。控制中心可以选择 LCVTT 和 MPLCVTT 以将主节点同步到控制中心的参考时间。

[0059] 选择合适的同步算法为系统提供了灵活性,因为其可适合任意种类的网络,例如本地的、地区的或世界范围的,因为在每种情况中可以根据节点之间的距离来选择最合适的同步算法。

[0060] 例如,在本实施例中,其中针对本区域应用对节点进行同步,可采用共视时间转换 (CVTT) 方法将节点 122_x 同步到其主节点 121_x。在例如 CVTT 的时间转换技术中,导航

信号对于时间转换来说是理想的,因为导航信号产生于非常稳定的源,并且很精确地知道发射器的位置。

[0061] 图6图示了CVTT技术,其基于由主节点(例如121_1)及其分配的网络节点中的一个122_1从人造卫星系统130的GNSS人造卫星信号收集到的测量数据,该信号在 T_{130} 时刻发射。每个节点(主节点121_1或网络节点122_1)接收器测量人造卫星信号的接收和发射之间的时间差,其中分别地, Δt_{121} 表示相对于主节点的自己的本地时钟1202的时间差,以及 Δt_{122} 表示相对于网络节点的本地时钟1302的时间差。该网络节点122_1向主节点121_1发送测量数据 ρ_{122_1} ($\rho_{122_1} = \Delta t_{122} \cdot c$ 其中 c 为光速),以及相对应的环境数据和位置数据。然后,主节点121_1校正所有接收到的测量数据,包括用于其自身测量的来自环境监控器1205的数据,以及用于网络节点测量的来自环境监控器1305的数据,其自身的相对于GNSS人造卫星位置的位置数据 $R_{130-121_1}$ 和网络节点相对于GNSS人造卫星位置的位置数据 $R_{130-122_1}$ 。

[0062] 然后GNSS人造卫星130信号在主节点时钟1202的测量数据可表示为:

$$[0063] \quad \rho_{121_1} = \Delta t_{121} \cdot c = (T_{121} - T_{130}) \cdot c$$

[0064] 其中 T_{121} 是主节点参考时钟1202的时间, T_{130} 是GNSS人造卫星130信号传输时间,以及 Δt_{121} 表示人造卫星130和接收器1201之间的传播延迟。

[0065] 类似地,GNSS人造卫星130信号在网络节点时钟1302的测量数据可表示为:

$$[0066] \quad \rho_{122_1} = \Delta t_{122} \cdot c = (T_{122} - T_{130}) \cdot c$$

[0067] 其中 T_{122} 是网络节点时钟1302, T_{130} 是GNSS人造卫星130信号传输时间,以及 Δt_{122} 表示人造卫星130和接收器1301之间的传播延迟。

[0068] 由每个节点的GNSS接收器收集的测量值受误差影响,其根据:

$$[0069] \quad \rho_{122_1} = R_{130-122_1} + \epsilon_{122_1}^{\text{iono}} + \epsilon_{122_1}^{\text{tropo}} + \epsilon_{122_1}^{\text{multipath+rx-noise}} + \epsilon_{122_1}^{\text{ephemeris}} + \epsilon_{122_1}^{\text{interference}} + \epsilon_{122_1}^{\text{others}}$$

[0070] 其中 $R_{130-122_1}$ 是GNSS人造卫星130和网络节点122_1接收器之间的几何距离,且已知其为斜距。

[0071] 主节点121_1的处理器1204采用环境监控数据校正测量数据,消除更重要的 $\epsilon^{\text{iono}} + \epsilon^{\text{tropo}}$ 的贡献。为了计算主节点122_x的原子时钟1202的本地主参考时间与节点122_1的原子时钟1302的时间之间的同步,可如下计算主节点121_x和网络节点122_x之间的减法:

$$[0072] \quad \Delta t_{121} - \Delta t_{122} = ((T_{121} - T_{130}) - (T_{122} - T_{130})) \cdot c = T_{121} - T_{122}$$

[0073] 消除了人造卫星时间 T_{130} 。概念上这就是CVTT的工作方式,但是其可操作地作用于测量,并考虑 $\Delta t_{122} = \frac{\rho_{122_1}}{c}$,该算法操作的主要公式为:

[0074]

$$\Delta t_{121} - \Delta t_{122} = \frac{\rho_{121_1}}{c} - \frac{\rho_{122_1}}{c} =$$

[0075]

$$= \frac{(R_{130-121_1} + \cancel{\epsilon_{121_1}^{\text{mp+rx-n}}} + \cancel{\epsilon_{121_1}^{\text{spn}}} + \epsilon_{121_1}^{\text{int erf}} + \epsilon_{121_1}^{\text{others}}) - (R_{130-122_1} + \cancel{\epsilon_{122_1}^{\text{mp+rx-n}}} + \cancel{\epsilon_{122_1}^{\text{spn}}} + \epsilon_{122_1}^{\text{int erf}} + \epsilon_{122_1}^{\text{others}})}{c} =$$

[0076]

$$= \frac{(R_{130-121_1} - R_{130-122_1}) + \epsilon^{\text{residual}}}{c}$$

[0077] 总之，使用位置数据来估计 $R_{130-12x_1}$ ，使用环境数据来尽可能地消除 $\epsilon^{\text{iono}} + \epsilon^{\text{tropo}}$ 的贡献，以及优化 CVTT 算法从而减小到最小的 $\epsilon^{\text{residual}}$ 。

[0078] CVTT 算法提供 1-10ns 范围内的精确性。如果主节点 121_1 和系统节点 121_1 之间的距离相对于其他节点和人造卫星之间的距离要小，则传播延时的影响更加可以忽略。

[0079] 可针对两个节点共视的每个人造卫星重复该处理，其中将最终时间偏移计算为针对每个共视人造卫星计算的偏移的平均值。还应理解，可针对两个节点共视的多个人造卫星重复该处理，但没必要针对所有的可见的人造卫星——可考虑一些阈值和限制，例如考虑低空卫星。

[0080] 然后可采用类似的方法来计算主节点 121_1 的主参考时间和控制中心 110 的参考时间之间的时间间隔。这样，就将主节点 121_1 和同步到该主节点 121_1 的网络节点 122_1 同步到了控制中心 110 的参考时间。

[0081] 可采用类似的方法计算每个网络节点 122 及其相对应的主节点 121 之间的时间间隔，每个主节点 121 和控制中心 110 之间的时间间隔，以及计算分配到控制中心 110 的网络节点 122_0 和控制中心 110 之间的时间间隔。这样，每个网络节点 121、122 相对于控制中心 110 的参考时标被同步。

[0082] 由于节点的同步被分布到子网络，控制中心 110 处的数据负载和计算负载被降低并被所选择的主节点 121 分担。

[0083] 控制中心将继续定期监控节点的状态，例如以分钟量级。如果例如，所选择的主节点 121_y 的时钟 1202 的性能开始衰退，该节点将不再被指定为主节点，且该子网络中的另一节点将替代该节点成为主节点。将根据该子网络的节点的节点排序来选择取代先前的主节点的新节点。

[0084] 网络的配置或布局 / 拓扑可能改变，例如，如果一个或多个网络节点 122_x 是可移动的，并且从其分配的主节点 121_x 移开并更靠近另一主节点 121_y。在这种情况下，控制中心 110 将重新配置网络，使得该节点 122_x 被分配给其最接近的主节点 121_y。类似地，如果主节点 121_x 移开，或其分配的节点 122 移开，可能需要由另一网络节点 122_x 替代该主节点 121_x，并且由于新的位置数据定义了网络的布局，另一节点 122 可能更适合作为主节点 121。进一步地，如果主节点不能工作，其可由该子网络的另一节点替代，或在一些情况下由另一子网络的另一节点替代。

[0085] 位置数据从每个网络节点 122 和主节点 121 以不同的时间间隔传送到控制中心 110，从而可通过控制中心 110 重新配置网络的布局。

[0086] 这样，由于可以动态地替换有故障的主节点，该同步算法显示出了鲁棒性和故障容忍性。

[0087] 在同步阶段之后，被同步的应用可投入使用。可将节点之间的通信加密以提供安全性。也可采用双密钥签名系统来保护该应用。

[0088] 下面将参考图 7 来描述本发明的另一实施例。在该另一实施例中，可通过实施基于载波相位的算法，来确定网络节点 122 及其相对应的主节点 121 之间的时间延时。

[0089] 可将载波相位测量值 Φ （以载波周期表示）建模为：

$$[0090] \quad \Phi = \frac{\rho_{slant-range}}{\lambda} + c \frac{\Delta t_{RX} - \Delta t_{SV}}{\lambda} - c \frac{\Delta t_I}{\lambda} + c \frac{\Delta t_T}{\lambda} + c \frac{\Delta t_M^p}{\lambda} + N + \eta^p$$

[0091] 其中 $\rho_{slant-range}$ 是网络节点接收器 1301 或主节点接收器 1201 与人造卫星 130 发射天线的相位中心之间的真实距离, Δt_{RX} 和 Δt_{SV} 分别是节点接收器和人造卫星时钟偏差。 Δt_I 和 Δt_T 是电离层和对流层延时, Δt_M^p 是由多路径造成的延时, 以及 η^p 是载波相位测量值上的接收器噪声, 以及 N 是未知的波长整数模糊度。电离层传播时间的负符号, 在本实施例中表示相位提前, 是由以下因素造成的: 在色散介质中, 对于电磁波来说, 相位速度和群速度的乘积是 c^2 , 因此相位传播速度比光速更高。

[0092] 观察上面的公式, 应注意到, 通过在由两个接收器节点, 网络节点接收器 1301 及其相对应的主节点 121 的接收器 1201, 获得的相同的人造卫星 130 的两个观测结果之间作减法, 在任意基线的末端将移除依赖于单独人造卫星 130 的项。因此我们可以形成第一相位差, 并写作:

$$[0093] \quad \Delta \Phi_i = \frac{\Delta \rho_i}{\lambda} + c \frac{\Delta \tau}{\lambda} - c \frac{\delta I}{\lambda} + c \frac{\delta T}{\lambda} + c \frac{\delta M}{\lambda} + N_i + \eta$$

[0094] 其中 $\Delta \rho_i$ 是人造卫星 130 和主节点接收器 1201 的距离, 人造卫星 130 和网络节点接收器 1202 的距离之间的差, $\Delta \tau$ 是这两个接收器 1201 和 1202 之间的同步时间, δI , δT 和 δM 是微分后没有消去 (cancel out) 的电离层、对流层和多路径残余延时, 以及 N_i 是影响接收器的整数模糊度之间的差。

[0095] 对于短基线距离, δI 和 δT 项可以忽略, 因为对于所有接收器, 电离层和对流层延时是相同的。如果精确地知道接收器的位置, 且如果采用模糊度解析技术, 则远程接收器之间的同步偏移可计算为:

$$[0096] \quad \Delta \tau = \frac{\lambda \Delta \Phi_i - \Delta \rho_i - \lambda N_i}{c} + err$$

[0097] 其中 err 项表示未建模的误差。

[0098] 对于长基线距离, δI 和 δT 项不能忽略。因此估计电离层和对流层延时的模型在同步算法中应该被预知。

[0099] 采用双频方式, 能够除去电离层的作用。对于特定的 GPS 情况, 载波频率位于 L- 频段, 恰好位于 1575MHz (L1) 和 1227.6MHz (L2), 分别对应于波长 λ_1 , $\lambda_2 \approx 19$ 和 24cm。在这些频率上的载波相位测量值的结合 (差) 产生了附加虚拟信号, 其特征是等价波长 ≈ 86 cm, 并且不受电离层作用。可以有利地利用这一点解决模糊度, 这种技术已知称为用于模糊度解析的“宽巷”技术。

[0100] 无电离结合的好处在于, 可以消除大的系统误差。然而, 对于短基线应用例如 100-200km 量级), 单频率方式是优选的, 因为电离层的作用可在两个节点的接收器处认为是相等的, 然后通过第一差分方式消除。

[0101] 通过使 γ 等于 $(L1/L2)^2$, 可以结合双频率码和相位测量值来计算无电离测量值, 即测量值不依赖于电离层状况:

$$[0102] \quad \rho_{iono-free} = \frac{\rho_{L2} - \gamma \rho_{L1}}{1 - \gamma}$$

$$[0103] \quad \Phi_{iono-free} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \lambda_{L1} \Phi_{L1} - \frac{1}{\gamma(\gamma-1)} \lambda_{L2} \Phi_{L2}$$

[0104] 如前文所述,载波相位同步算法需要模糊度解析处理。模糊度可以估计并从载波相位测量值中消除,因为其在同步中引入 $N\lambda$ (m) 误差。对于时间转换应用,应被估计出的模糊度为 $N_1 (= N_1 - N_2)$ 项,即两个接收器模糊度之间的差值。

[0105] 可以通过对针对人造卫星系统 130 的相同人造卫星在相同时刻获得的码和相位单差测量值作减法,来实现模糊度的初始估计。由于各种误差作用,该初始估计不必准确,但其为本地搜索提供了合适的起始点。由于模糊度是整数值,其估值的误差导致多个波长的同步误差。在无电离结合的情况下,同步误差是 0.86m 的倍数。

[0106] 为了减少这一问题,可以选择间隔时间,从而模糊度解析算法可处理在考虑的时隙内进行的所有连续测量值。采用这种方式,该算法能够提供稳定的模糊度解析。

[0107] 对于定时应用,与固定基线相关的约束一定程度上减少这一问题,其中系统节点 122 和相对应的主节点之间的距离不变,因为原则上,可一次解决模糊度。然而,由接收器引起的周期跳跃,突发电离层扰动(火花)或人造卫星发射设备中的相位跳跃需要对模糊度进行连续的监控,以避免结果中将出现的误差。为了在模糊度解析算法之前避免由周期跳跃造成的误差,应预见到周期跳跃检测算法。

[0108] 可对两个接收器之间共视中的每个人造卫星重复该步骤,最终的时间偏移可计算为针对两个节点共视的每个人造卫星计算的同步值的平均值。

[0109] 载波相位测量值的分辨率与接收的信号功率、热噪声、相对应的天线和接收器的噪声图形、接收器中的载波锁相环带宽以及本地振荡器的频率稳定性有关。考虑所有这些参数,典型的现代接收器能够恢复叠加有 $\approx 5\text{mm}$ (根均方值) 噪声的载波相位,主要由热噪声造成。

[0110] 由于低载波相位测量值,基于载波相位的同步技术的开发具有传送时间转换的能力,对于大陆基线 (1000-4000Km),时间转换能力在几十皮秒水平。

[0111] 本实施例中描述的载波相位算法可以使整个接收器网络精确地同步。实际上其可被用于替代 LCVTT 算法中的基于码的 CV 同步算法。

[0112] 在本发明的其他实施例中,对于地区应用,例如其中网络跨越 300-5000km 的区域。可采用链接的共视时间转换 (LCVTT) 技术来确定网络节点之间的时间偏移。在该技术中,可通过相邻(链接的)同步方法最优化共视时间转换技术,其中共视时间转换技术应用于网络的一个节点和不同的相邻节点之间,以确定时间偏移。

[0113] 采用共视技术,如果在网络节点基站对之间的共视可见区中有足够多的人造卫星,可通过实施 LCVTT (链接的共视时间转换) 技术来连接多个传感器节点基站,以在单独的基站节点时钟对之间提供时间偏移,以及在不处于共视中的远程站点处的节点之间提供时间偏移。

[0114] 在图 8 所示的情况中,其中只示出了几个链接,以避免图中不必要的凌乱。LCVTT 不仅能够确定相邻站点之间的时间偏移,而且通过采用多差值,也能测量不相邻的站点之间的时间偏移,例如,对于示出的链接来说,帕皮提和克拉斯诺亚尔斯克 (Papeete and Krasnoyarsk) 之间的时间偏移

[0115] LCVTT 技术本身,尽管简单且计算上有效率,但是有几个缺点。主要缺点之一是当

采用链接的共视技术时,单个噪声站点可能降低同步的精度。

[0116] 在本发明的又一些实施例中,可通过采用多路径链接的共视时间转换 (MPLCVTT) 方式同步两个远程节点基站来实施该技术。实际上在两个距离很远且不分享公共可视区的基站之间存在很多可能的路径链接,如图 9 所示。为了增加可获得的数据的量,并因此增加同步的精度,可采用尽可能多的数据链接。通过提供可平均的多个独立测量值,可降低噪声测量值。该方法统计上比单链接共视更有效。

[0117] 应理解,在本发明的一些实施例中,可利用上述不同技术的结合,根据有关节点之间的距离,来确定系统 / 网络节点和主节点之间的偏移,主节点和控制中心之间的偏移,系统节点和控制中心之间的偏移。

[0118] 在本发明的可选实施例中,以下可用作针对一个或多个系统节点的同步技术:

[0119] • 通过人造卫星的双向时间和频率转换,改进版 (频率 :100ns 内 1E-14,时间稳定性 :30ps,时间精确性 :300ps... 1ns)。

[0120] • 通过地球同步人造卫星的时间分发,包括 EGNOS (专属服务)

[0121] • 通过地球同步人造卫星的时间分发 (数字数据串中的嵌入服务)

[0122] • 通过 LEO 人造卫星通信系统的时间分发

[0123] • 通过 GEO 人造卫星通信系统的时间分发

[0124] • GTS :全球时间系统,资金充足的,机上运行 ISS,2001 年开始 (专属服务),精确度 :10 μ s... 1ms

[0125] • ACES (空间原子时钟系统)

[0126] • 实时共视 GPS (0.1.. 3ns)

[0127] • 先进的光链接

[0128] 尽管描述了本发明的第一实施例的方法和系统描述的是关于 GPS 人造卫星系统,应理解该方法也可应用于 Galileo, GLONASS 或 COMPASS 人造卫星系统,其中为节点提供适于接收来自这些人造卫星系统的接收器。例如,接收器可以是三 / 多频率接收器。

[0129] 尽管上文参考特定的实施例描述了本发明,本发明并不限于这些特定的实施例,对于本领域技术人员来说,落于本发明范围内的修改是显而易见的。

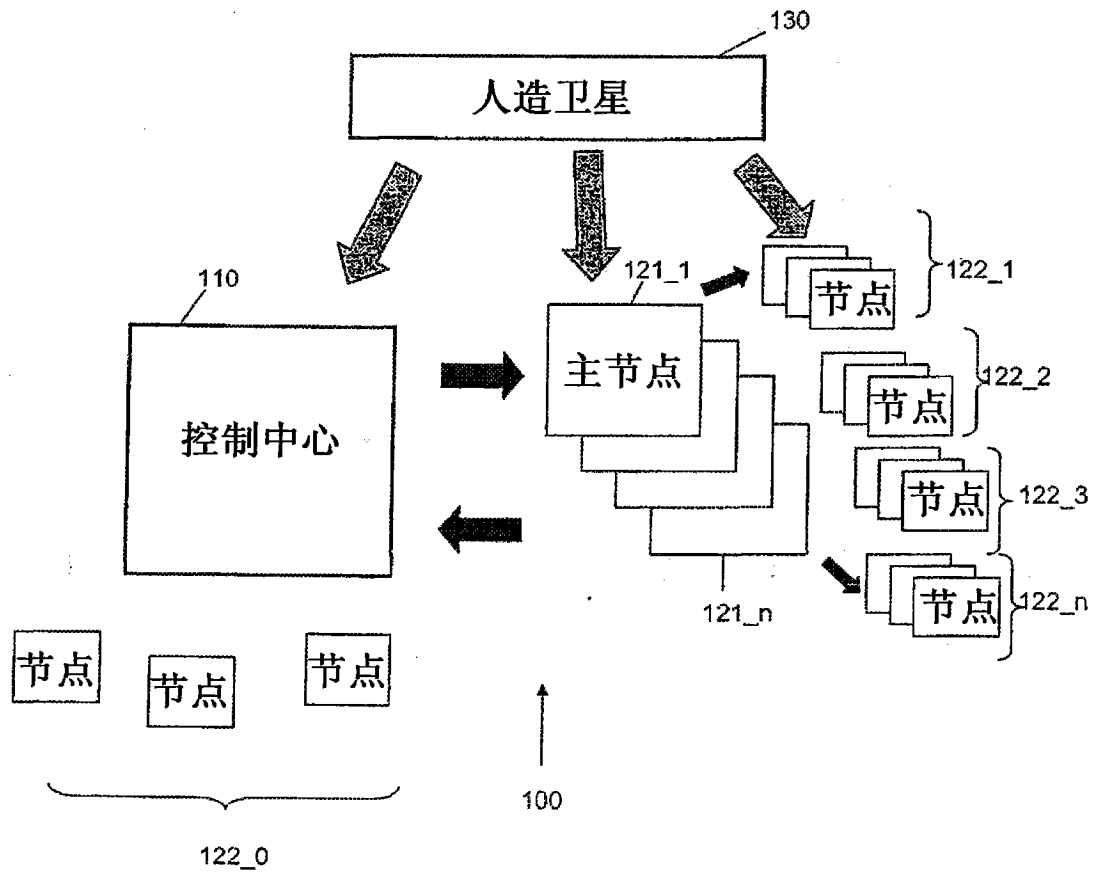


图 1A

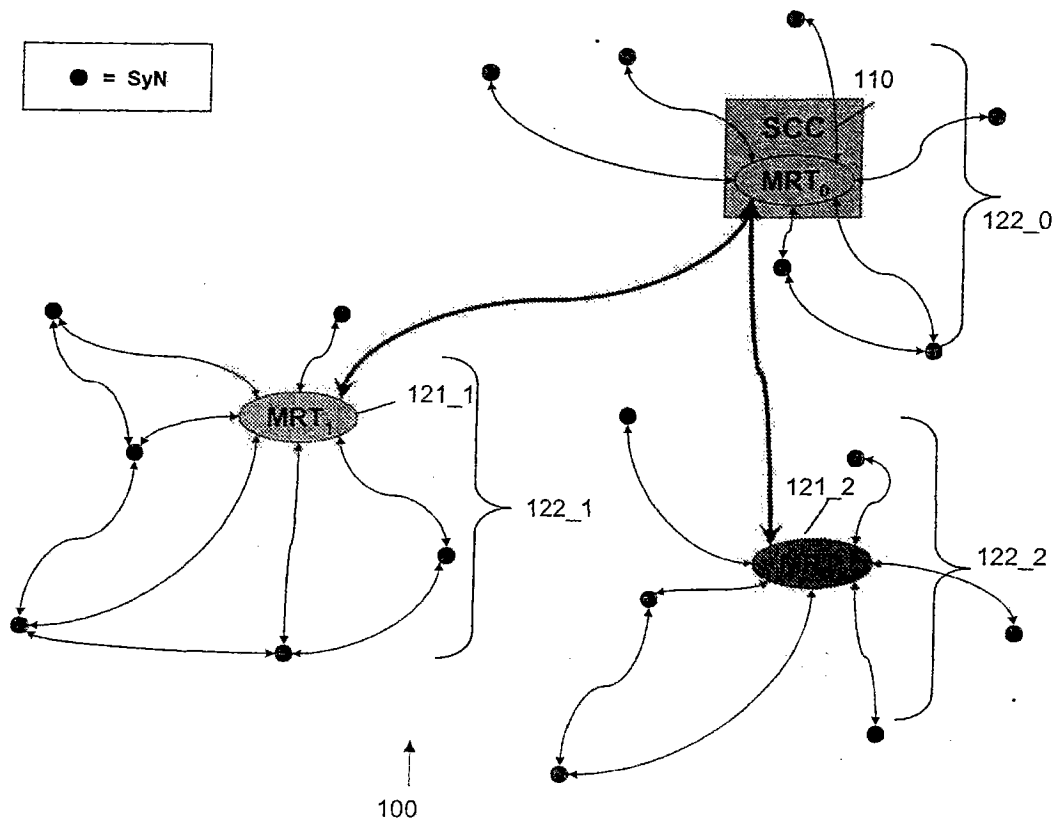


图 1B

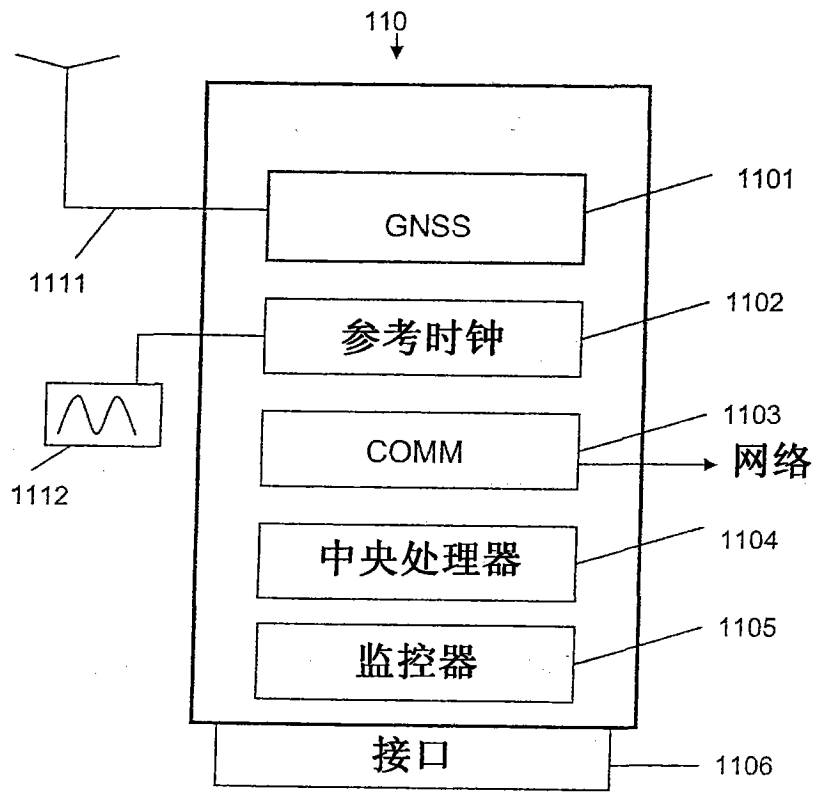


图 2

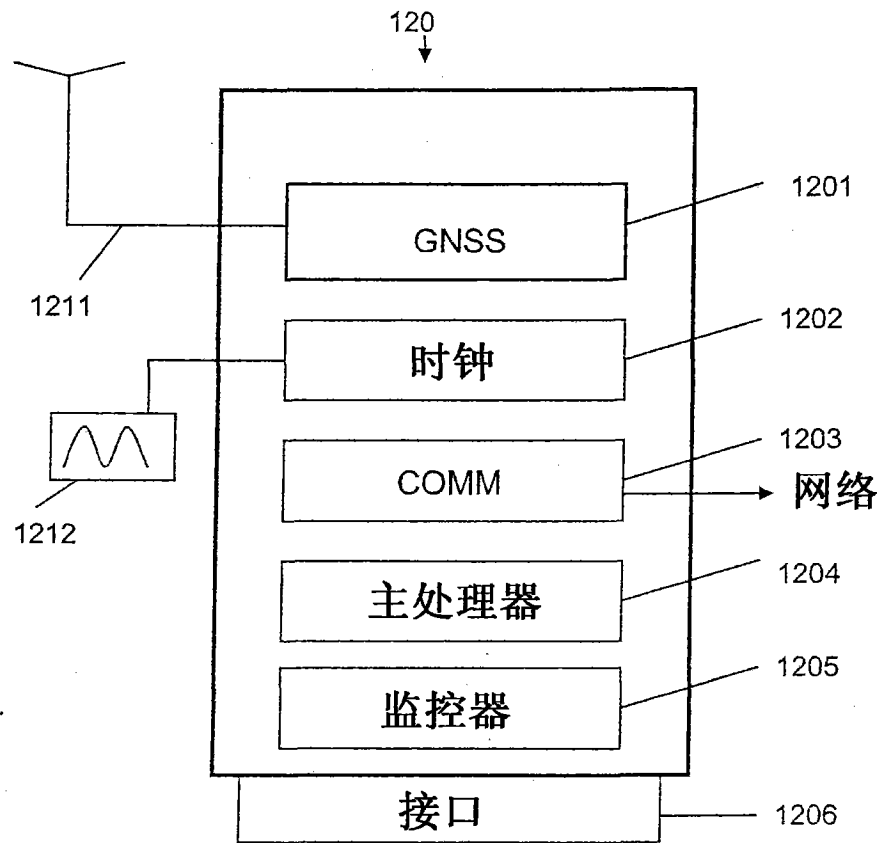


图 3

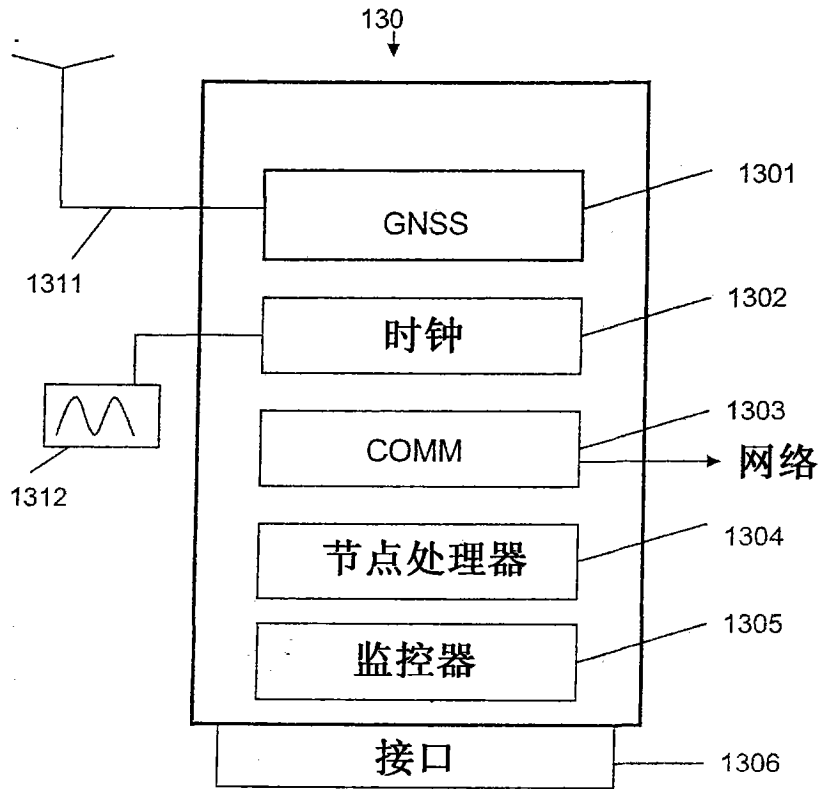


图 4

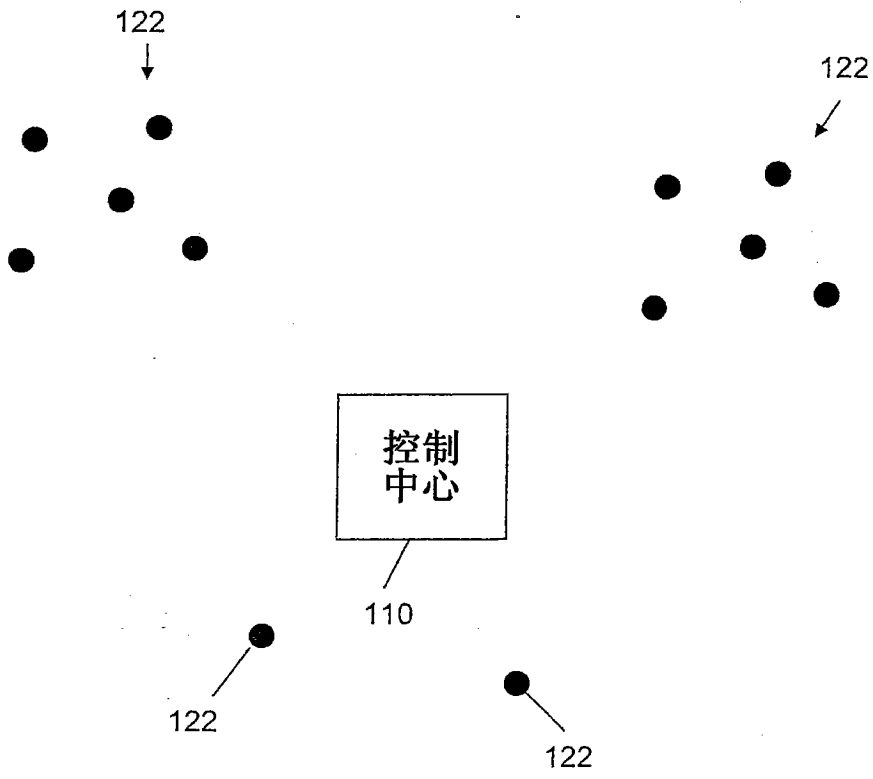


图 5A

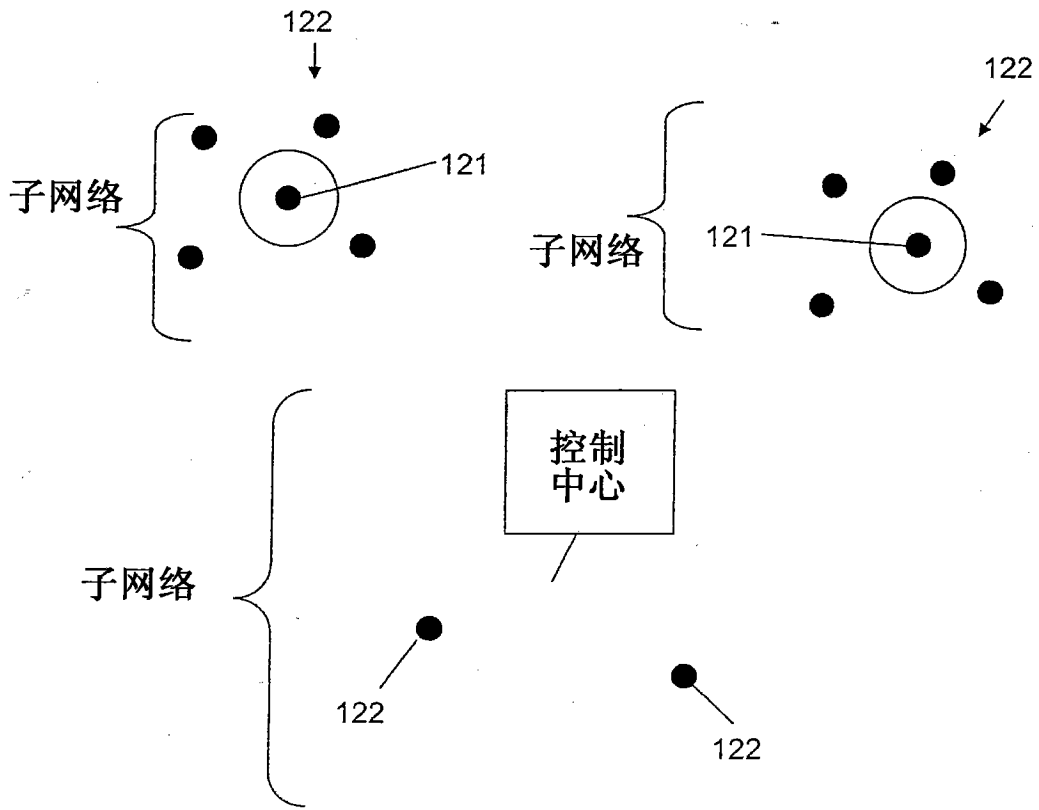


图 5B

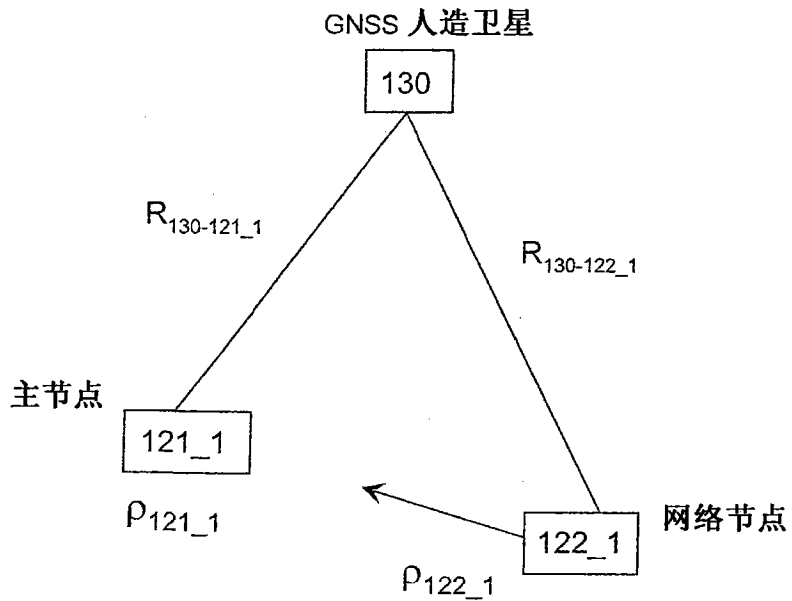


图 6

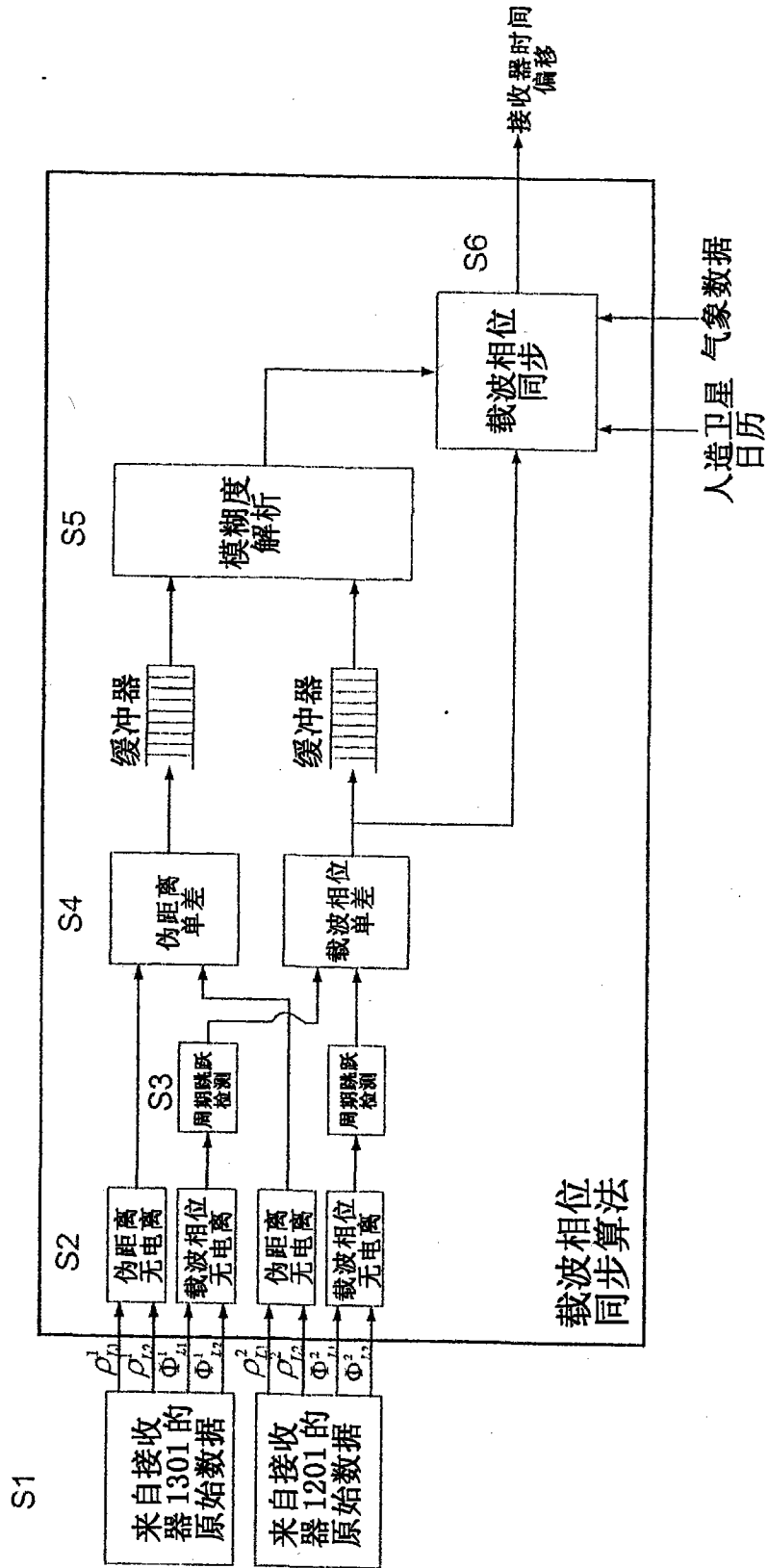


图 7

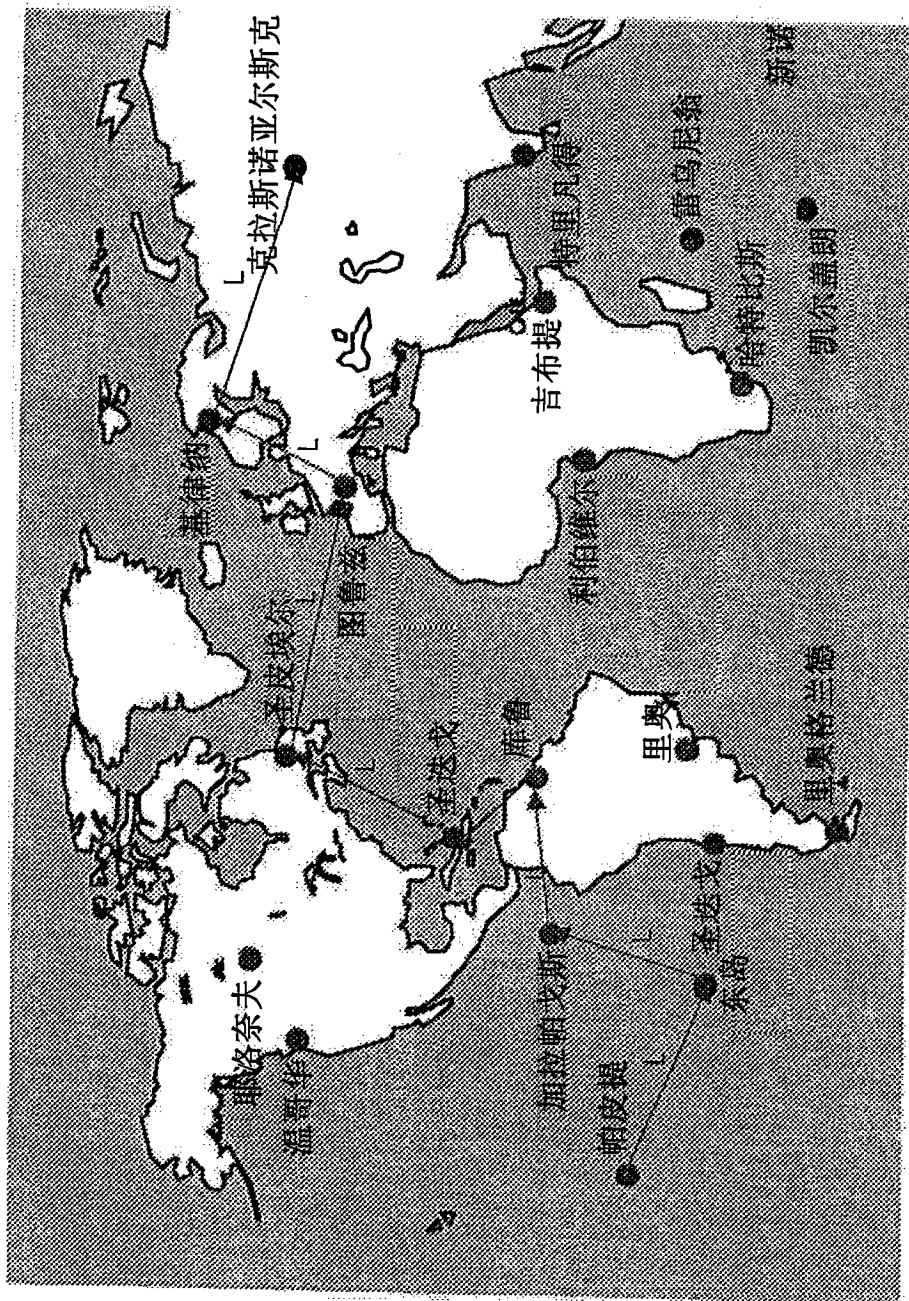


图 8

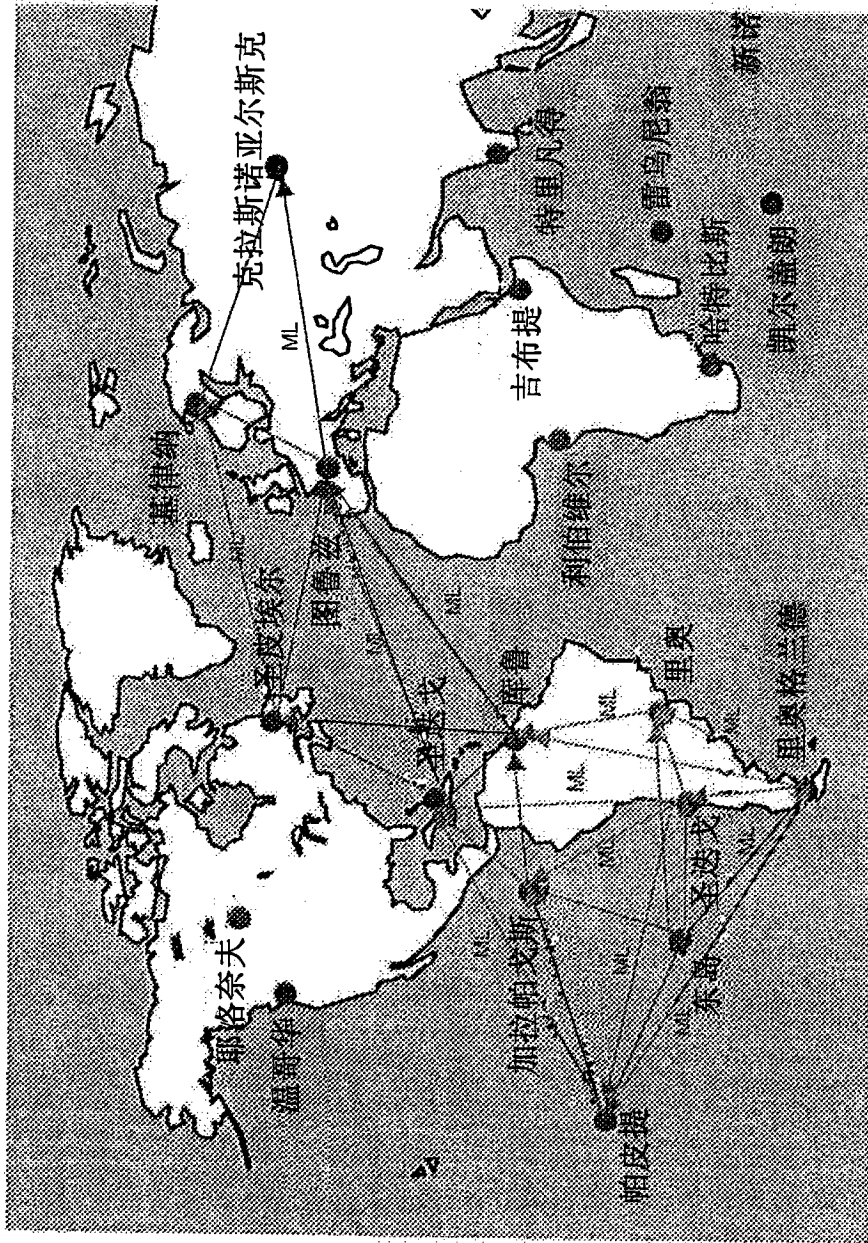


图 9