[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G01S 5/10
G01S 5/00
G01S 1/02
H04Q 7/38

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00808349.5

[45] 授权公告日 2005 年 10 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 1221809C

[22] 申请日 2000.6.1 [21] 申请号 00808349.5
[30] 优先权
[32] 1999.6.1 [33] GB [31] 9912724.3
[86] 国际申请 PCT/GB2000/002104 2000.6.1
[87] 国际公布 WO2000/073813 英 2000.12.7
[85] 进入国家阶段日期 2001.11.30
[71] 专利权人 剑桥定位系统有限公司
地址 英国剑桥
[72] 发明人 詹姆斯·P·布赖斯
彼得·J·杜佛－史密斯
保罗·汉森
审查员 孙玉梅

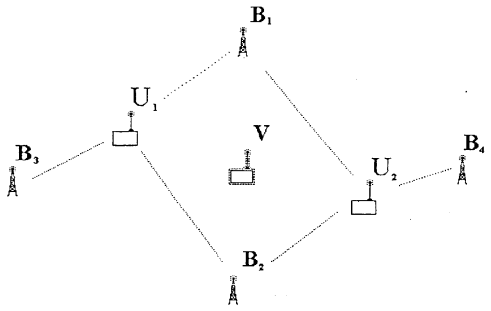
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 蒋世迅

权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 9 页

[54] 发明名称 无线电定位系统的改进

[57] 摘要

本发明涉及主要用于移动电话网的无线电定位系统，其中产生多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数，或它们表示成距离偏移或其导数的列表，这些信号是在给定位置接收到的。从一个或多个接收机获取数据，这些接收机的位置可以是已知的或可以被确定的。这些数据是分别从传输源接收到的信号相对于每个接收机中的参考源或互相之间的时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数。组合获取的数据以计算相对于共同参考源的偏移列表。



ISSN1008-4274

1. 一种用于产生与一个给定的假定位置相对应的多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或表示成为距离偏移或其导数的等同物的方法，其特征在于，该方法包括以下的步骤:

（a）从相应位置的两个或多个接收机获得数据，这些接收机的位置可以是已知的或是确定的并且是与所述给定位置不同的位置，来自接收机的数据包括：分别从传输源接收到的信号相对于每个接收机中的参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数；和

（b）组合所获得的数据，并计算对应于所述给定位置相对于所述共同参考源的偏移表。

2. 一种用于产生与一个给定的假定位置相对应的多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或表示成为距离偏移或其导数的等同物的方法，其特征在于，该方法包括以下的步骤:

（a）从相应位置的两个或多个接收机获得数据，这些接收机的位置可以是已知的或是确定的并且是与所述给定位置不同的位置，来自接收机的数据代表接收的信号;

（b）根据获取的数据确定分别从传输源接收的信号相对于参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数；和

（c）组合如此确定的偏移并计算对应于给定位置相对于共同参考源的偏移列表。

3. 一种无线电定位方法，用于确定一个或多个其位置未知的接收机的位置，其特征在于，该方法包括权利要求 1 或权利要求 2 的方法。

4. 按照权利要求 3 的无线电定位方法，其特征在于，所述的共同参考源包括外部参考源。

5. 按照权利要求 4 的无线电定位方法，其特征在于，所述的共同参考源包括 GPS 信号。

6. 按照权利要求 3 至 5 中任一项所述的无线电定位方法，其特征在于，从所述一个或多个接收机获得数据的步骤包括：策划从一个共同的位置获取所述数据。

7. 按照权利要求 3 至 5 中任一项所述的无线电定位方法，其特征在于，从所述两个或多个接收机获取数据的步骤包括：策划在每个所述接收机确定的时间从每个所述接收机获得所述数据。

8. 一种用于产生与一个给定的假定位置相对应的多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或表示成为距离偏移或其导数的等同物的方法，其特征在于，该方法包括以下的步骤：

（a）从相应位置的两个或多个接收机获得数据，这些接收机的位置可以是已知的或是确定的并且是与所述给定位置不同的位置，来自接收机的数据包括分别从传输源接收到的信号相对于每个接收机中的参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数；和

（b）组合所获得的数据，并计算对应于所述给定位置相对于所述共同参考源的偏移列表的装置。

9. 一种用于产生与一个给定的假定位置相对应的多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或表示成为距离偏移或其导数的等同物的方法，其特征在于，该方法包括以下的步骤：

（a）从相应位置的两个或多个接收机获得数据，这些接收机的位置可以是已知的或是确定的并且是与所述给定位置不同的位置，来自接收机的数据代表接收的信号；

（b）根据获取的数据确定分别从传输源接收的信号相对于参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数的装置；和

（c）组合如此确定的偏移并计算对应于给定位置相对于共同参考源的偏移列表的装置。

10. 一种无线电定位系统，其特征在于，包括按照权利要求 8 或权利要求 9 的设备。

11. 按照权利要求 10 的无线电定位系统，其特征在于，所述的共同参考源包括所述接收机外部的参考源。

12. 按照权利要求 11 的无线电定位系统，其特征在于，所述的共同参考源包括 GPS 信号。

13. 按照权利要求 10 至 12 中任一条的无线电定位系统，其特征在于，从所述两个或多个接收机获得数据的装置包括：一个计算机系统，该计算机系统被安排成策划所述数据在所述计算机系统确定的时间从所述两个或多个接收机转送到所述计算机系统。

14. 按照权利要求 10 至 13 中任一项所述的无线电定位系统，其特征在于，从所述两个或多个接收机获得数据的装置包括：一个计算机系统，该计算机系统包括：用于策划在每个所述接收机确定的时间从每个所述接收机获得所述数据的装置。

15. 一种数字电话网，其特征在于，包括按照权利要求 10 至 14 中任一项所述的无线电定位系统。

无线电定位系统的改进

技术领域

本发明一般涉及无线电定位系统的改进及其操作方法，具体涉及简化这种系统中获取所需数据的方法和设备。

背景技术

此处引入 EP-A-0 303 371 的内容作为参考，它描述一种无线电导航和跟踪系统，该系统利用为其他目的建立的独立无线电发射机。分别从每个发射机取出的信号被两个接收站接收，一个接收站是在固定的已知位置，另一个接收站安装在其位置待确定的移动物体上。代表一个接收站接收的信号经链路发送到这另一个接收站中的处理器，其中把这两个接收的信号进行比较以找到它们的相位差或时间延迟。在三个远离的独立发射机上所作的这三个测量结果足以确定移动接收机在二维空间的位置，即，它在地面上的位置。还可以确定这两个接收机中主振荡器之间的相位偏移或时间偏移。

EP-A-0 303 371 中描述的系统“CURSOR”是一种熟知的无线电定位系统，该系统利用现有非同步无线电发射机辐射的信号可以找到便携式接收机的位置。与一些其他的系统不同，这些系统利用专用同步发射机网络的时间相干性，而 CURSOR 利用各个发射机发射信号的空间相干性。在进一步的开发中（见 EP-A-0 880 712 和 WO-A-99/21028），该技术已用于寻找 GSM 系统或其他数字电话系统中移动电话手机的位置，这些是利用电话系统中基地收发信台（BTS）网络辐射下行链路信号的‘增强型观察时间差’（E-OTD）方法的例子。

在 EP-A-0 880 712 描述的数字移动电话应用中，此处引入其内容作为参考，手机范围内来自每个 BTS 的信号是被该手机本身和固定的邻近接收机接收到，该接收机是其位置已精确知道的位置测量单元（LMU）。接收到的各个信号传输到移动定位中心（MLC），其中对这些信号进行

比较以找到它们之间的时间差。图 1 表示标准二维系统的几何图形。直角坐标系 x 和 y 的原点是以其位置在 O 点的 LMU 为中心。两个轴的取向不是重要的，但习惯上是这样设定的，y 轴沿着南北方向的本地地图方格网。手机 R 相对于 LMU 位置 O 的位置矢量是 r。BTS 的位置 A 是用位置矢量 a 表示。

首先考虑来自 BTS A 的信号。在 R 和 O 点处接收到信号的时间差是:

$\Delta t_a=(|r-a|-|a|)/v+\varepsilon$，

其中 v 是无线电波的速度，ε 是 R 和 O 处接收机中两个时钟之间的时钟时间偏移，矢量两侧的垂直线表示公式中该矢量的模。ε 值代表两个接收机的测量结果之间同步误差。类似地，对于矢量位置 b 和 c（未画出）处其他两个 BTS（B 和 C）的时间差可以写成:

$\Delta t_b=(|r-b|-|b|)/v+\varepsilon$，

$\Delta t_c=(|r-c|-|c|)/v+\varepsilon$。 （1）

利用 EP-A-0 880 712 中公开的方法测量 Δt_a，Δt_b，Δt_c 的值，其中 a，b，c 和 v 的值是已知的。因此，通过求解公式（1）可以找到手机的位置 r 和 ε 的值。

在 WO-A-99/21028 中，此处引入其内容作为参考，以下描述如何利用 GSM 电话系统中本地建立的模板可以测量这些相同的时间偏移。我们假设，手机 R 已记录来自 BTS A 的 GSM 信号短脉冲。包含在这个记录中的是成帧结构，同步脉冲串和其他的‘给定’数据（或预定值），它们是那些传输的恒定特征。基于已知的网络信号结构，手机内的处理器可以建立一个匹配模板。然后利用本地产生的模板可以匹配接收的信号。若该模板找到匹配，则最佳匹配位置处的相关峰值对应于接收的信号与手机内本地时钟之间的时间偏移。对于 BTS A 辐射的信号，这个测得的时间偏移 Δt_{a1} 是以下公式给出的:

$\Delta t_{a1}=(|r-a|)/v+\alpha_a+\varepsilon_1$，

其中 α_a 是 BTS 传输的时间偏移，ε_1 是手机内部时钟的时间偏移，这两个时间偏移都是相对于假想的通用‘绝对’时钟。按照相同的方法还可以测量来自 BTS B 和 BTS C 的信号，给出以下的公式:

$\Delta t_{b1}=(|r-b|)/v+\alpha_b+\varepsilon_1$,

和

$\Delta t_{c1}=(|r-c|)/v+\alpha_c+\varepsilon_1$. （2）

LMU还可以作相同的测量，给出以下的公式:

$\Delta t_{a2}=(|a|)/v+\alpha_a+\varepsilon_2$,

$\Delta t_{b2}=(|b|)/v+\alpha_b+\varepsilon_2$,

和

$\Delta t_{c2}=(|c|)/v+\alpha_c+\varepsilon_2$. （3）

其中 ε_2 是 LMU 内部时钟相对于相同的假想通用绝对时钟的时间偏移. 从公式（2）减去公式（3）得到以下的公式:

$\Delta t_a=\Delta t_{a1}-\Delta t_{a2}=(|r-a|-|a|)/v+\varepsilon$,

$\Delta t_b=\Delta t_{b1}-\Delta t_{b2}=(|r-b|-|b|)/v+\varepsilon$,

和

$\Delta t_c=\Delta t_{c1}-\Delta t_{c2}=(|r-c|-|c|)/v+\varepsilon$. （4）

其中 $\varepsilon=\varepsilon_1-\varepsilon_2$. 我们注意到，公式（4）与公式（1）完全一样，可以按照相同的方法求解以找到手机的位置 r 和 ε 的值.

显而易见，上述的 CURSOR 方法与利用来自非同步发射机信号的所有其他方法一样，要求在电话系统的覆盖区域内建立 LMU 的网络. 这些单元的作用是作为测量 BTS 辐射非同步信号的参考点，用于与手机接收的相同信号进行比较. 每个位置测量要求手机从若干个邻近 BTS 接收的信号与 LMU 从相同一组 BTS 接收的信号匹配. 实际上，仅仅利用一个 LMU 找到匹配往往是很困难的，特别是在 LMU 网络是稀疏的情况下，因为手机可以从 BTS 接收到 LMU 没有接收到的信号，反之亦然. 所以，需要把两个或多个 LMU 的测量结果进行组合. 然而，参与计算的每个新 LMU 添加了另一个未知的时钟时间偏移（ε_2, ε_3 等），因此，就要求增加一个 BTS 测量结果以提供求解所有未知量所需的附加公式.

在 WO-A-99/21028 中给出解决这个问题的一种方案，其中指出如何可以使 LMU 网络同步. 参照图 2，我们假设，相邻的一对 LMU，U_1 和 U_2，可以看到共同的 BTS. 由于 LMU 和 BTS 的位置都是已知的，每个

LMU 对 BTS 信号的单次测量足以确定各个 LMU 之间的时钟时间偏移. 例如，假设 U_1 到 BTS 的距离为 s_1 和 U_2 到 BTS 的距离为 s_2. U_1 测量的时间偏移 Δt_1 和 U_2 测量的时间偏移 Δt_2 是由以下的公式给出:

$$\Delta t_1 = s_1/v + \alpha + \varepsilon_{21},$$

$$\Delta t_2 = s_2/v + \alpha + \varepsilon_{22}, \qquad (5)$$

其中 α 是 BTS 传输的时间偏移，ε_{21} 和 ε_{22} 分别是 U_1 和 U_2 中 LMU 内部时钟的时间偏移. 第一个公式减去第二个公式得到:

$$\varepsilon_{21} - \varepsilon_{22} = \Delta t_1 - \Delta t_2 + s_1/v - s_2/v, \qquad (6)$$

它是 U_1 中时钟相对于 U_2 中时钟的相对时间偏移. 这个过程可以在例如 U_2 和 U_3 的第二对 LMU 和另一个 BTS 中重复，BTS 的信号可以被这第二对 LMU 中两个单元接收到. 按照这种方法可以计算同步变换，它提供所有 LMU 的内部时钟相对于其中一个采用主 'LMU 网络时钟时间' 的时钟偏移. 按照这种方式建立的 LMU 同步变换，CURSOR 位置测量可以包含任何数目的 LMU，对于每个 LMU 不会付出增加另一个附加的未知时间偏移的代价，因为相对的 LMU 时间偏移是已知的.

以上几节中讨论的接收机对时间偏移进行测量. 更普遍的是，接收机可以测量时间偏移，相位偏移（它可以转换成时间偏移，具有模 360° 的不确定性），频率偏移，或频率偏移的变化速率. 虽然这些测量结果是不同的量，本发明可应用于每种测量，因为在与第二接收机所作类似测量进行组合时，它们可以提供独立的位置信息. 在同时申请的相关专利申请中（我们的参考文件为 MJB06427WO）讨论利用这些测量结果的定位系统.

发明内容

本发明说明如何在网络中建立一个或多个'虚拟 LMU'可以得到（有效）同步 LMU 网络的相同优点，这些虚拟 LMU 作为真实 LMU 的接口节点。

按照本发明的第一方面，这里提供一种用于产生与一个给定的假定位置相对应的多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或表示成为距离偏移或其导数的等同物的方法，其特征在于，该方法包括以下的步骤:

（a）从相应位置的两个或多个接收机获得数据，这些接收机的位置可以是已知的或是确定的并且是与所述给定位置不同的位置，来自接收机的数据包括: 分别从传输源接收到的信号相对于每个接收机中的参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数; 和

（b）组合所获得的数据，并计算对应于所述给定位置相对于所述共同参考源的偏移表。

实际上，可以利用表中的偏移代替直接从该接收机或多个接收机得到的偏移。

第一接收机从多个传输源接收信号，这些信号互相之间或相对于参考源的相对时间偏移、相对相位偏移、相对频率偏移、或其导数可以用这些传输源与第一接收机或第二接收机之间对应的距离偏移或距离差表示。

本发明还包括利用以上方法的设备，该设备包括:

（a）从两个或多个接收机获取数据的装置，这些接收机的位置可以是已知的或确定的，来自接收机的数据包括分别从传输源接收到的信号相对于每个接收机中的参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数; 和

（b）用于组合获取的数据并计算对应于给定位置相对于共同参考源的偏移列表的装置。

在利用类似于 EP-A-0 880 712 或其中描述技术的方法中，代替时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或它们表示成距离偏移或其导数，可以利用接收信号的数据表示，由此可以确定从传输源接收的信号相对于参考源的各个偏移。

为此，本发明还包括一种用于产生多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或它们表示成距离偏移或其导数等同物的方法，这些信号对应于给定的位置，该方法包括以下的步骤:

（a）从两个或多个接收机获取数据，这些接收机的位置可以是已知的或可以被确定 的，来自接收机的数据代表接收的信号;

（b）根据获取的数据确定分别从传输源接收的信号相对于参考源或互相之间的时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数; 和

（c）组合如此确定的偏移并计算对应于给定位置相对于共同参考源的偏移列表。

本发明还包括实施上述方法的设备，该设备包括:

（a）从两个或多个接收机获取数据的装置，这些接收机的位置可以是已知的或可以被确定 的，来自接收机的数据代表接收的信号;

（b）根据获取的数据确定分别从传输源接收的信号相对于参考源或互相之间的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数的装置; 和

（c）组合如此确定的偏移并计算对应于给定位置相对于共同参考源的偏移列表的装置。

包括以上定义的方法和设备的无线电定位方法和系统也构成本发明的组成部分。

本发明还包括用于实施以上这些方法中任何一个方法或两个方法的设备（‘虚拟 LMU’）。该设备可以包括计算机（位于任何方便的地方）并编程成实施所需的过程。虽然以下描述本发明的特定应用涉及数字电话网中的信号，显而易见，本发明决不限制于此应用，而可应用于一个或多个发射机，同步或非同步，为任何目的建立的任何网络。

虚拟 LMU 包括计算机过程，它可以在任何的计算机平台上运行以得到来自真实 LMU 的数据。因此，本发明的另一个方面包括: 一种用于计算和保持多个传输源信号相对于共同参考源的时间偏移、相位偏移、频率偏移、或其导数、或它们表示成距离偏移或其导数的表的方法，这些信号对应于给定

的位置。

我们假设，BTS 的网络是非同步的，其意思是各个 BTS 信号的传输时间偏移之间没有恒定或已知的关系，然后 BTS 振荡器是相当稳定的，因此，它们的瞬时频率随时间缓慢地变化。在这种情况下，根据给定真实 LMU 给出足够最近的历史数据，可以预言当前接收到给定 BTS 信号的时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数。网络中的真实 LMU 测量它们能够以循环方式检测到的所有 BTS，每隔几秒钟重复一次循环。它们把这些测量结果保持在堆栈中，用最近的测量结果取代最早的测量结果。所以，适合于测量结果的线性或低阶次多项式提供一个预测结果，用于外推到不久的未来和内插到最近的过去。我们假设 BTS 振荡器是足够地稳定，例如，在 10 分钟的周期内能够作可靠的预测。于是，每隔几分钟，虚拟 LMU（VLMU）联络每个真实 LMU，并从它测量集合中接收它的预测结果，用于来自所有 BTS 的信号的接收偏移。许多 BTS 很可能已被多于一个 LMU 测量，因此，VLMU 利用熟制的方法分析来自所有真实 LMU 的完整数据组以确定（a）真实 LMU 内部时钟的时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数的最佳值，和（b）来自所有 BTS 信号的接收时间偏移，相位偏移，频率偏移，或其导数，这些信号已被位于 VLMU 假设位置并能够接收来自每个 BTS 的信号的真实 LMU 测量过。

在以上 VLMU 功能的描述中，应当明白，任何或全部 LMU 可以用其他的接收机代替，不必是固定的或在已知的位置，这些接收机不是作为 LMU 专门建立的。例如，若手机是固定的，则可以利用来自若干个手机的数据以确定频率偏移。此外，在同时申请的相关专利申请中（我们的参考号为 MJB06427WO）已说明，在不需要任何 LMU 的情况下可以确定手机的位置和速度。

利用网络中 VLMU 的具体优点包括如下几点:

(a) 可以保证手机测量与单个（虚拟）LMU 之间的完全匹配;

(b) VLMU 过程把各个 LMU 测量中的定时误差减至最小;

(c) VLMU 列表可立刻用于位置计算过程，增大了计算速

度;

（d） 若与同时申请的相关专利申请（我们的参考号为MJB06427WO）中描述的思想结合，则可以在 BTS 的网络中建立接收时间偏移的列表，其中几乎没有真实 LMU;

（e）实际上，VLMU 提供真实 LMU 网络的同步变换，于是该网络可用于监测 BTS 网络，特别是用于确定新安装 BTS 的位置。

附图说明

现在参照附图描述按照本发明方法和设备的一个例子，其中:

图 1 表示 EP-A-0 880 712 中描述的 CURSOR 系统的几何图形;

图 2 表示对共同 BTS 作测量的相邻 LMU;

图 3 表示本发明系统中真实 LMU 和虚拟 LMU 的网络;

图 4 表示一个类似的简化网络;

图 5 表示真实网络中 LMU 现场和 BTS 现场的位置;

图 6 表示添加了虚拟 LMU 的相同网络;

图 7 表示用虚拟 LMU 代替真实 LMU 的相同网络;

图 8 以流程图形式说明发生在 LMU 内部的处理操作;

图 9 以流程图形式说明发生在 VLMU 内部的处理操作;

图 10 表示在图 5 至图 9 的例子中所示真实系统中产生的定时偏移列表；和

图 11 表示在这个例子中与 LMU 和虚拟 LMU 相关的定时误差列表。

具体实施方式

现在通过举例和参照图 3 描述确定定时偏移的虚拟 LMU 的功能。

考虑 N 个真实 LMU 和 M 个 BTS 的网络，该网络包含虚拟 LMU（VLMU）。第 n 个 LMU 的位置 U_n 是用矢量 u_n 表示，第 m 个 BTS 的位置 B_m 是用矢量 b_m 表示，这两个矢量有相同的原点。BTS m 辐射的信号在时间延迟后被 LMU n 接收到，测量这个时间延迟 Δt_{nm} 是由以下公式给出的:

$$\Delta t_{nm}=(|u_n-b_m|)/v+\varepsilon_n+\alpha_m\pm\sigma_{nm} \qquad (7)$$

其中 ε_n 是 LMU n 的时钟时间偏移，α_m 是 BTS m 的传输时间偏移，

这两个时间偏移都是相对于假想的通用‘绝对’时钟，σ_{nm}是Δt_n测量中的估算误差。假设虚拟 LMU 的位置 V 是用矢量 v 表示。若 VLMU 能够无误差地直接从 BTS m 接收信号，则它可以测量相对于假想的通用绝对时钟的接收时间偏移β_m，β_m是由以下公式给出的:

$$\beta_m = |v-b_m|/\nu + \alpha_m \qquad (8)$$

利用从公式（8）导出的值，代入到公式（7）中的α_m得到以下的公式:

$$\Delta t_{nm} = |u_n-b_m|/\nu + \varepsilon_n + \beta_m - |v-b_m|/\nu \pm \sigma_{nm} \qquad (9)$$

在 N 个 LMU 的整个网络上，所有 M 个 BTS 是可见的。然而，每个单独的 LMU 只看到其中的几个，但是，只要可见度有很大的重叠，就可以得到所有的Δt值，并求解ε_n和β_m的值。因此，VLMU 能够计算任何 BTS 的定时，似乎 LMU 的网络是同步的，或者，似乎覆盖整个 BTS 网络只需要一个 LMU（LMU V）。

为了进一步给予说明，以下给出一个利用 N=2 和 M=4 的简化问题并求解，即，网络是由监测 4 个 BTS 的 2 个 LMU 组成（见图 4）。为了简化选取$\varepsilon_1=0$. 这是允许的，因为‘绝对’时钟时间是完全任意的，例如，可以由第一个 LMU 的内部时钟进行测量。（然而，请注意，这种选择不引入非对称性到解中，其意思是，与第 3 个 BTS 和第 4 个 BTS 相关的误差是不相同的。）第一个 LMU（U_1）可以从第一个，第二个和第三个 BTS 接收信号，但不能从第四个 BTS 接收信号。第二个 LMU（U_2）可以从第一个，第二个和第四个 BTS 接收信号，但看不见第三个 BTS 的信号。该公式可以写成如下的矩阵形式:

$$\begin{pmatrix}1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\1&0&0&0&1\\0&1&0&0&1\\0&0&0&1&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\beta_1\\\beta_2\\\beta_3\\\beta_4\\\varepsilon_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\Delta t_{11}-\frac{|u_1-b_1|-|v-b_1|}{v}\\\Delta t_{12}-\frac{|u_1-b_2|-|v-b_2|}{v}\\\Delta t_{13}-\frac{|u_1-b_3|-|v-b_3|}{v}\\\Delta t_{21}-\frac{|u_2-b_1|-|v-b_1|}{v}\\\Delta t_{22}-\frac{|u_2-b_2|-|v-b_2|}{v}\\\Delta t_{24}-\frac{|u_2-b_4|-|v-b_4|}{v}\end{pmatrix}+Z \qquad (10)$$

或相当于 $A\cdot x=b+Z$，其中 Z 是每次测量中未知的实际误差矢量。

称之为‘最小平方’标准方法的假设是，使 Z 最小的 x 估算是由以下公式给出的:

$$x=(A^TWA)^{-1}A^TWb \qquad (11)$$

其中符号 A^T 表示矩阵 A 的转置矩阵，矩阵 W 的定义是，

$$W=\begin{pmatrix}\frac{1}{\sigma_{11}^2}&0&0&0&0&0\\0&\frac{1}{\sigma_{12}^2}&0&0&0&0\\0&0&\frac{1}{\sigma_{13}^2}&0&0&0\\0&0&0&\frac{1}{\sigma_{21}^2}&0&0\\0&0&0&0&\frac{1}{\sigma_{22}^2}&0\\0&0&0&0&0&\frac{1}{\sigma_{24}^2}\end{pmatrix} \qquad (12)$$

可以明确地求解这个特定的例子。为了简化，我们假设所有 σ_{nm} 的值是相同的，且等于 σ。这给出以下的结果，

$$\beta_1=(3D_{11}+D_{12}+D_{21}-D_{22})/4 \qquad \pm 0.87\sigma,$$

$$\beta_2=(3D_{12}+D_{11}+D_{22}-D_{21})/4 \qquad \pm 0.87\sigma,$$

$$\beta_3=D_{13} \qquad \pm 1.00\sigma, \qquad (13)$$

$$\beta_4=(2D_{24}+D_{11}+D_{12}-D_{21}-D_{22})/2 \qquad \pm 1.41\sigma,$$

$$\varepsilon_2=(D_{21}+D_{22}-D_{11}-D_{12})/2 \qquad \pm 1.00\sigma,$$

其中 $D_{nm}=\Delta t_{nm}-\frac{|u_n-b_m|-|v-b_m|}{v}$ (14)

请注意，即使在这个简单的情况下，若 BTS 被两个 LMU 都看见，则计算偏移中的误差小于每次测量偏移中的误差。这是虚拟 LMU 方法的一个重要优点。

LMU 还可以包含其他的同步装置。例如，每个真实 LMU 可以连接到 GPS 或提供共同定时参考的其他定时参考接收机 G。在此情况下，可以认为 LMU 网络已与这个共同定时参考（例如，GPS 标准时间）同步，于是，VLMU 不需要就解各个 ε 的值，因为这些值是已知的。利用其他同步装置的一个优点是，不再要求相邻 LMU 之间的 BTS 可见度是重叠的。若每个 BTS 现场也携带一个 LMU，则那个 LMU 只需要能够从它同现场的发射机接收（非常强的）信号，从而简化 LMU 天线的安装。

以上描述的 VLMU 工作模式可以称之为‘拉出模式(pull mode)’，因为它要求 VLMU 鼓励数据从每个真实 LMU 转移到它自身。还可以使每个真实 LMU 连续地检查它自己预测每个 BTS 的接收时间偏移与实际测量值之差，该预测是利用以前发送到 VLMU 的一组预测值计算出的值。若这些差值中的任何一个差值超过给定值，则 LMU 可以发送它的新预测值组到 VLMU。这种工作模式可以称之为‘推进模式(push mode)’。适合于真实系统的特定模式主要取决于 BTS 网络的稳定性。

现在描述按照本发明构造的原型系统的例子，其中把若干个 LMU 所作的定时测量结果进行组合，用于建立在英国剑桥（Cambridge，UK）及其附近的所有 GSM BTS 的接收时间偏移列表，似乎它们是被单个“虚拟”LMU 观察到的。

9 个 LMU，U_1-U_9（用实心圆表示）和 23 个剑桥区域 BTS，B_1-B_{23}（用空心圆表示）的位置画在图 5 中英国测绘局（OS）网格上。每个 LMU 包括：（a）内部时钟，GSM 无线电，计算机，和电话线等硬件，和（b）编译接收时间偏移列表的程序等软件。

图 8 以流程图形式说明驻留在每个 LMU，U_1-U_9，中 LMU 软件的主要单元。在步骤 A1，每隔几秒钟运行“扫描循环”程序。在步骤 A2，A3，A6 和 A7，该程序进行到依此调谐 GSM 无线电到每个 GSM 传输信道和扫描 BCCH 信号。在步骤 A3 中若检测到 BCCH 信号，则该程序计算信

号相对于内部时钟的接收时间偏移（在步骤 A4），和在步骤 5 相应地更新它的时间偏移列表。还解码 BCCH 以产生 BTS B_n 的 ID，信号是从该处接收到的。图 5 还画出 LMU 与 LMU 借助于扫描循环程序检测到的 BTS 之间的连线。

图 6 中画出 9 个 LMU，这些 LMU 监测到的 23 个 BTS 和虚拟 LMU V（用空心圆表示）的位置。虚拟 LMU V 包括：（a）连接到每个真实 LMU 和计算机的电话线等硬件，和（b）编译“虚拟”接收时间偏移的程序等软件。

图 9 以流程图形式说明 VLMU 软件的主要单元。在步骤 V1，每隔 4 分钟运行“LMU V 更新”程序。在步骤 V2，V3，V5 和 V6，该程序进行到经电话线连接到每个真实 LMU。若连接到给定的 LMU U_1-U_9 是成功的，则该程序在步骤 V4 提取那个 LMU 的接收时间偏移列表。在完成连接循环之后，该程序（在步骤 V7）组合数据以产生 LMU 网络监测的所有 BTS 的接收时间偏移列表。图 10 中给出这个列表的一个例子，其中复制 VLMU 产生的接收时间偏移列表的一部分。第一列是 BTS 标识符，且表中的数字是以 1.85 微秒为单位。图 6 中还画出 VLMU V 与每个真实 LMU U_1-U_9 之间的连线，由此 VLMU 软件能够提取时间偏移的列表。

一旦完成“LMU V 更新”，产生的定时组合列表相当于单个（真实）LMU 在 VLMU 的位置观察到的列表，该 LMU 在网络中对每个 BTS 作定时测量。图 7 说明这种相当性，虚拟 LMU 对每个 BTS 的定时测量作虚监测（如图中 VLMU V 与 BTS B_1-B_{23} 之间的连线所示）。

每个定时测量有相关的误差，在大多数情况下，该误差小于各个真实 LMU 所作定时测量的误差。这在图 11 的表中给以说明，图 11 表示 VLMU 在操作期间产生列表的一部分。第一列表示每个 BTS 的标识符。标题为 1 至 9 的每一列与 9 个真实 LMU 中特定一个 LMU 相关。表中的数字是真实 LMU 对来自相应 BTS 信号作定时测量的误差。空白单元表示 LMU 不能够接收到 BTS 的信号。标题为 VLMU 的一列表示利用上述方法组合各个测量的结果。

图 11 表中的定时是以 1.85 微秒为单位。请注意，VLMU 定时误差

一般小于真实 LMU 定时估算的误差，从而确认 VLMU 方法在减小误差方面的优点。

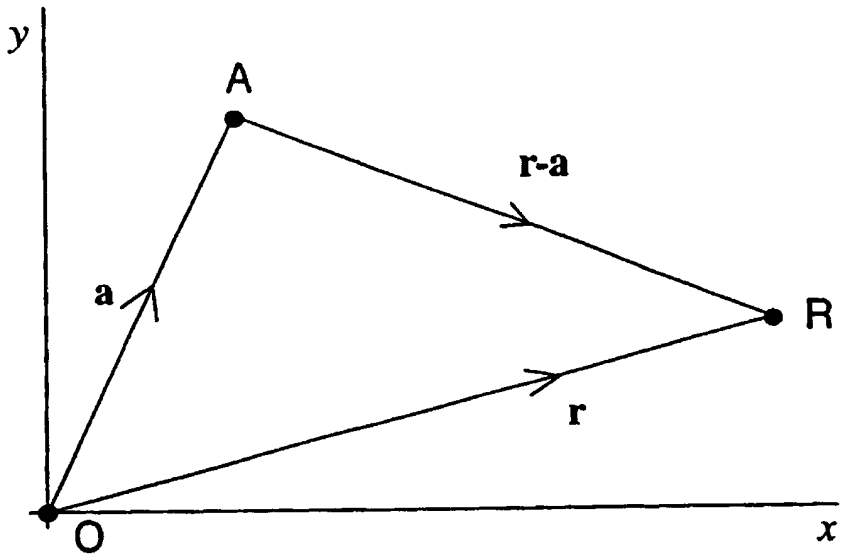


图1

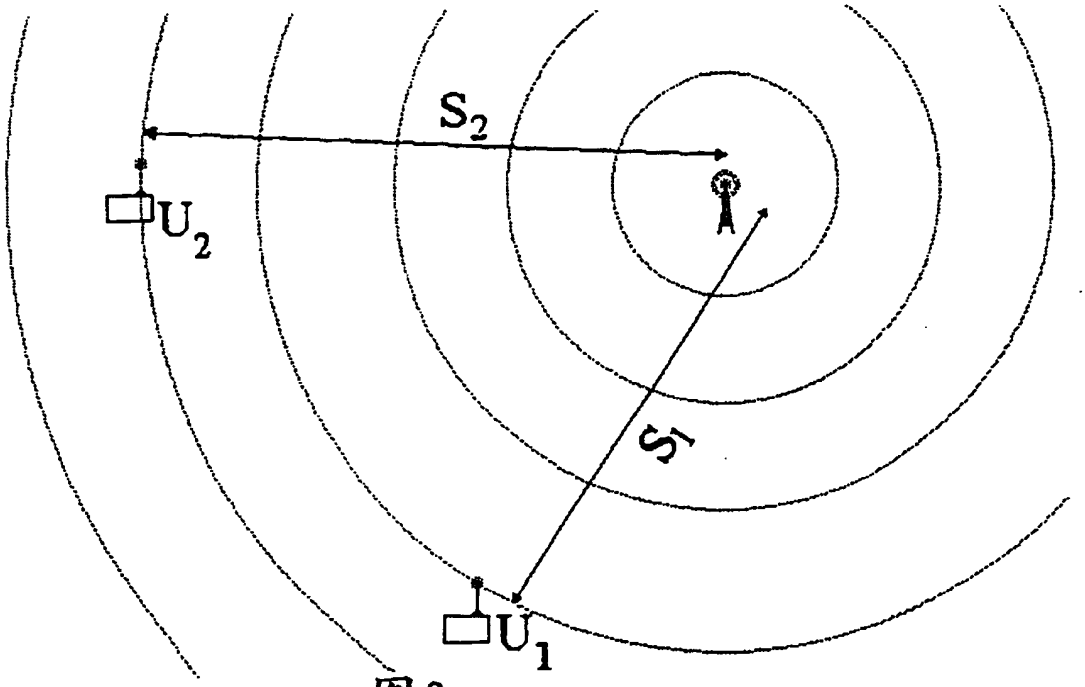


图2

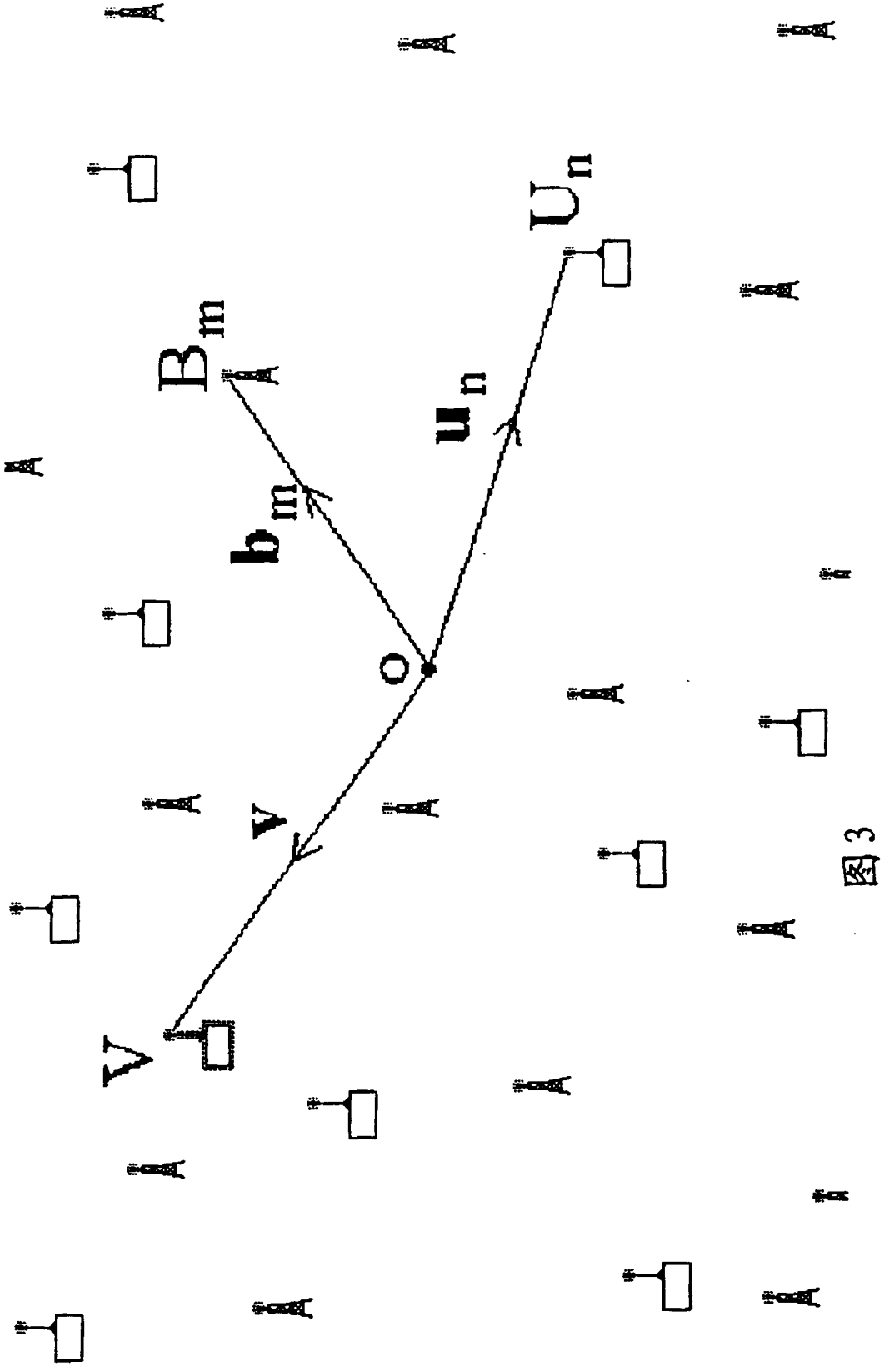


图3

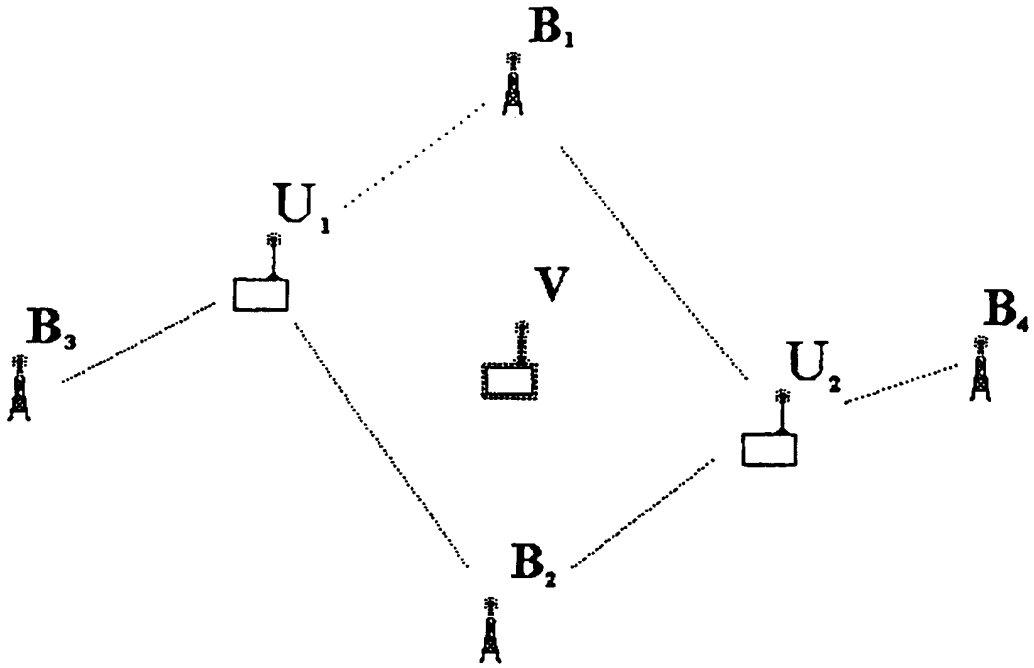


图4

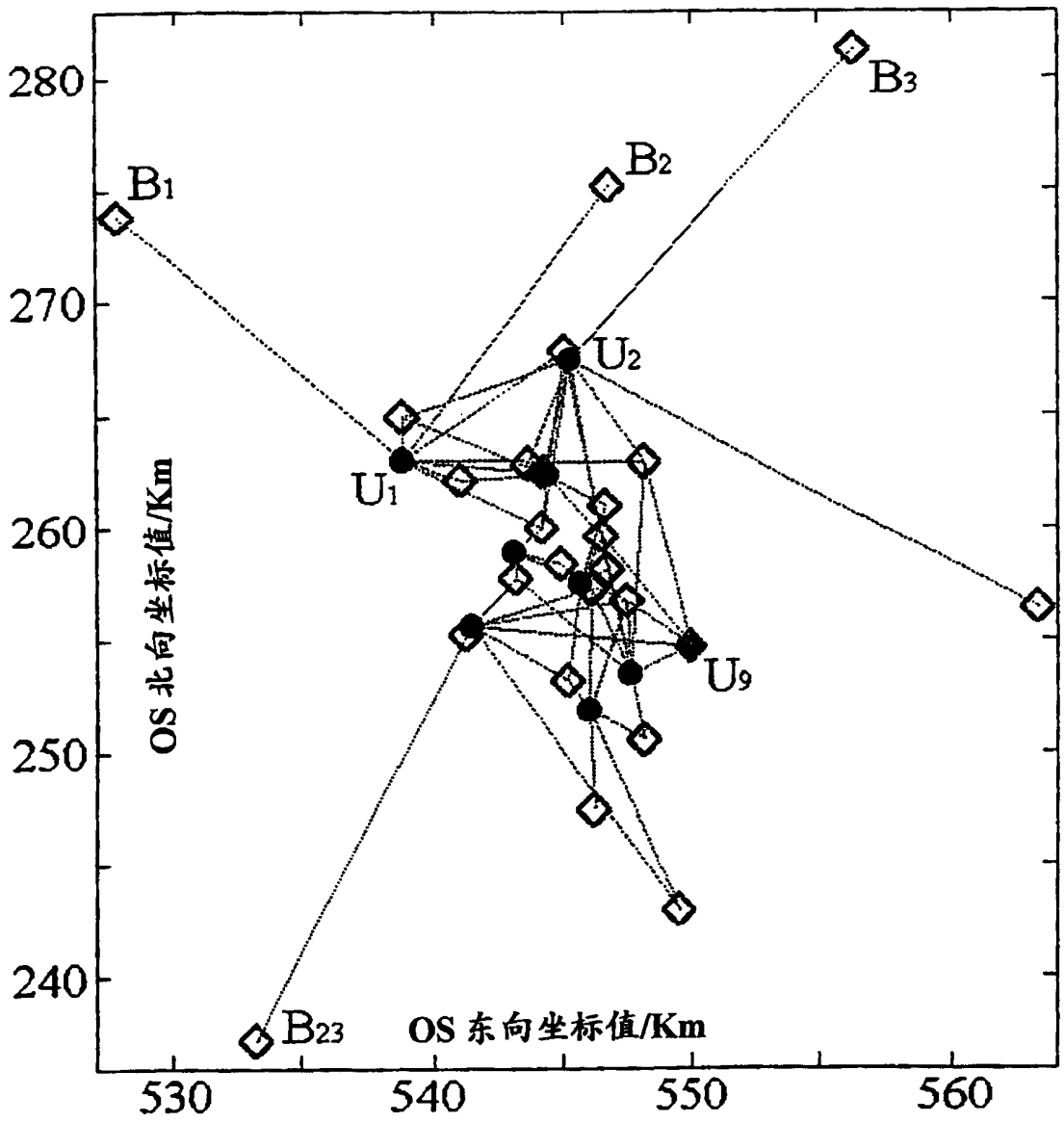

280
270
260
250
240
530
540
550
560
B1
B2
B3
B23
U1
U2
U9
OS 北向坐标值/Km
OS 东向坐标值/Km

图5

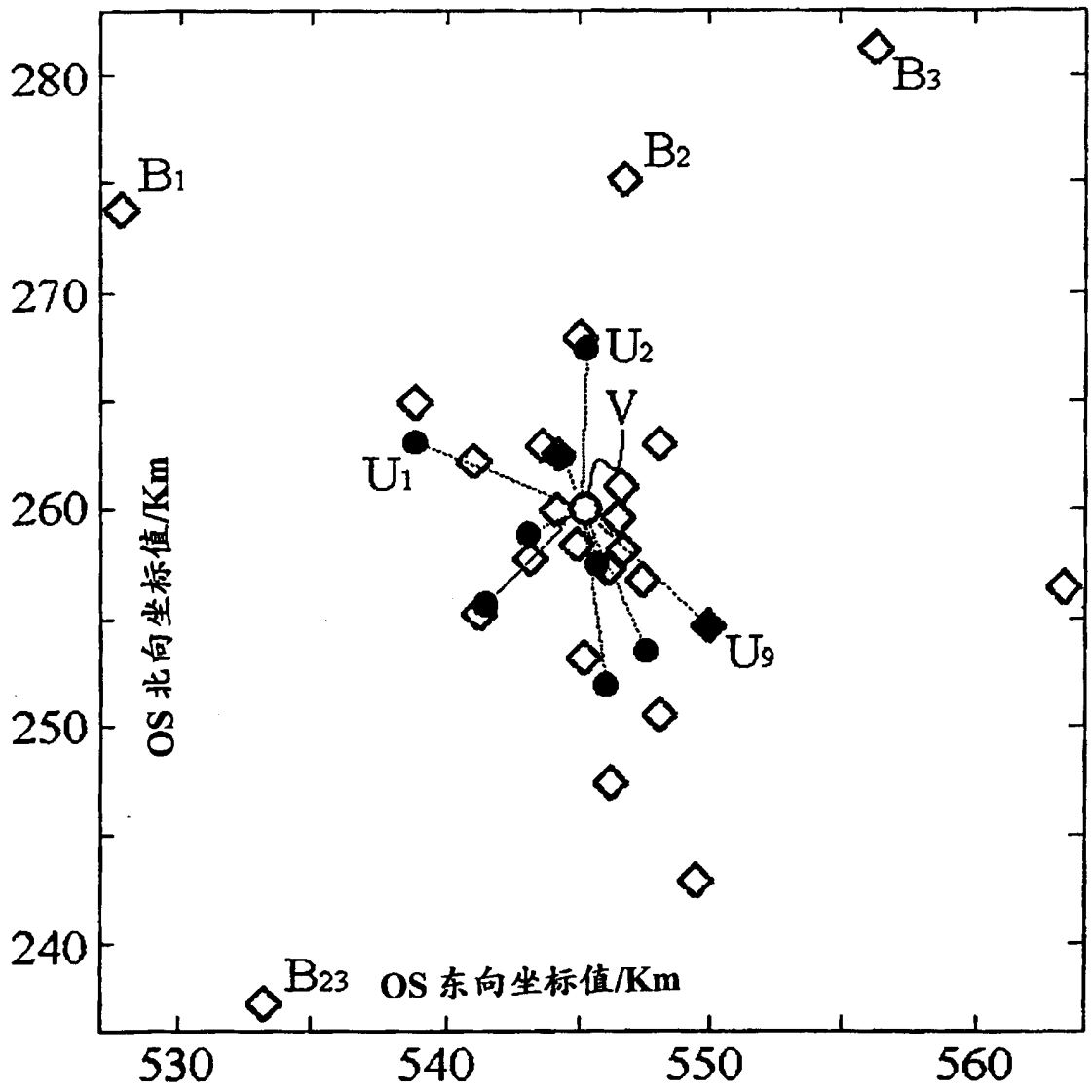

280
270
260
250
240
530
540
550
560
B1
B2
B3
B23
U1
U2
U9
V
OS 北向坐标值/Km
OS 东向坐标值/Km

图 6

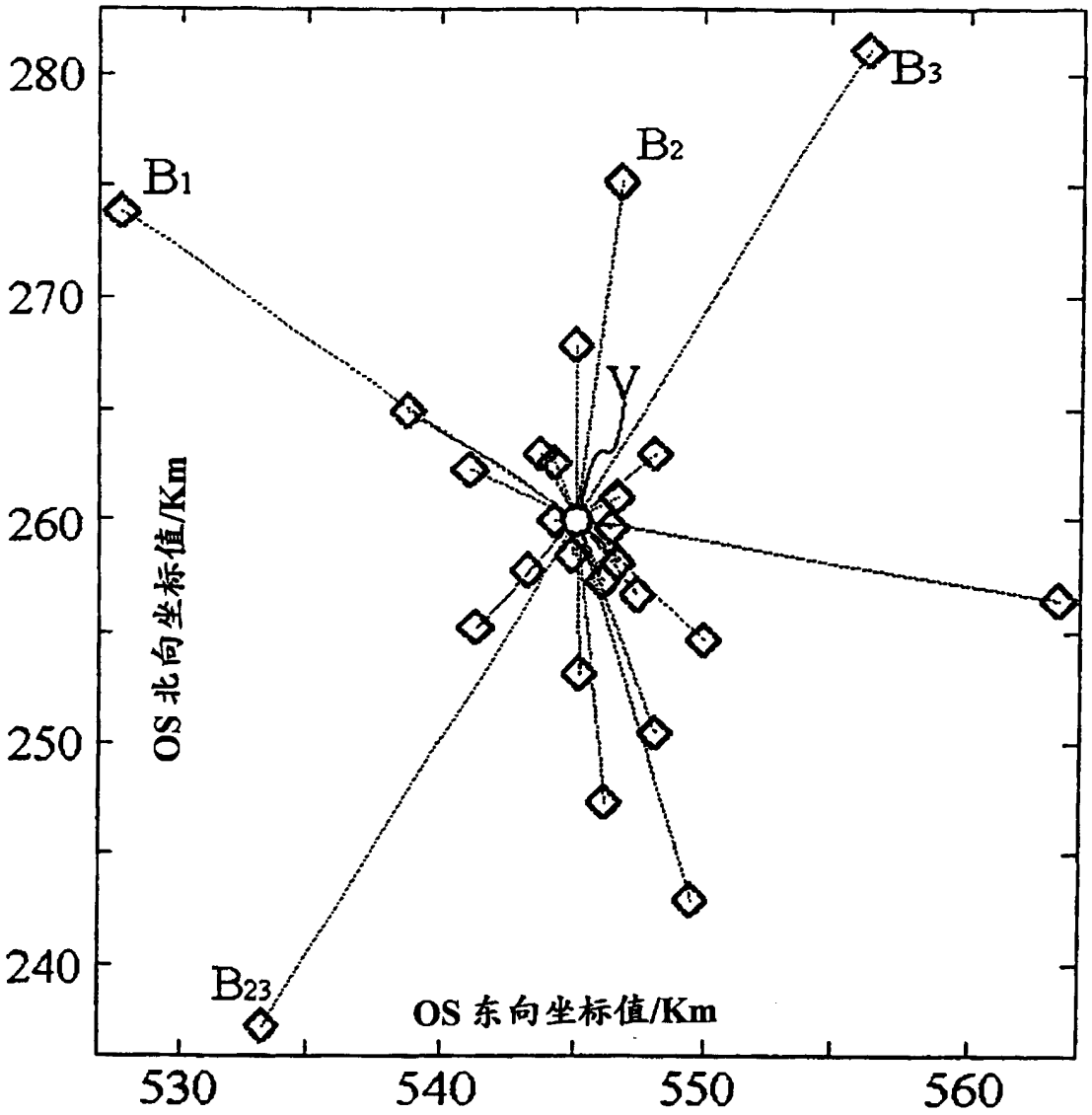

280
270
260
250
240
530
540
550
560
B1
B2
B3
B23
Y
OS 北向坐标值/Km
OS 东向坐标值/Km

图7

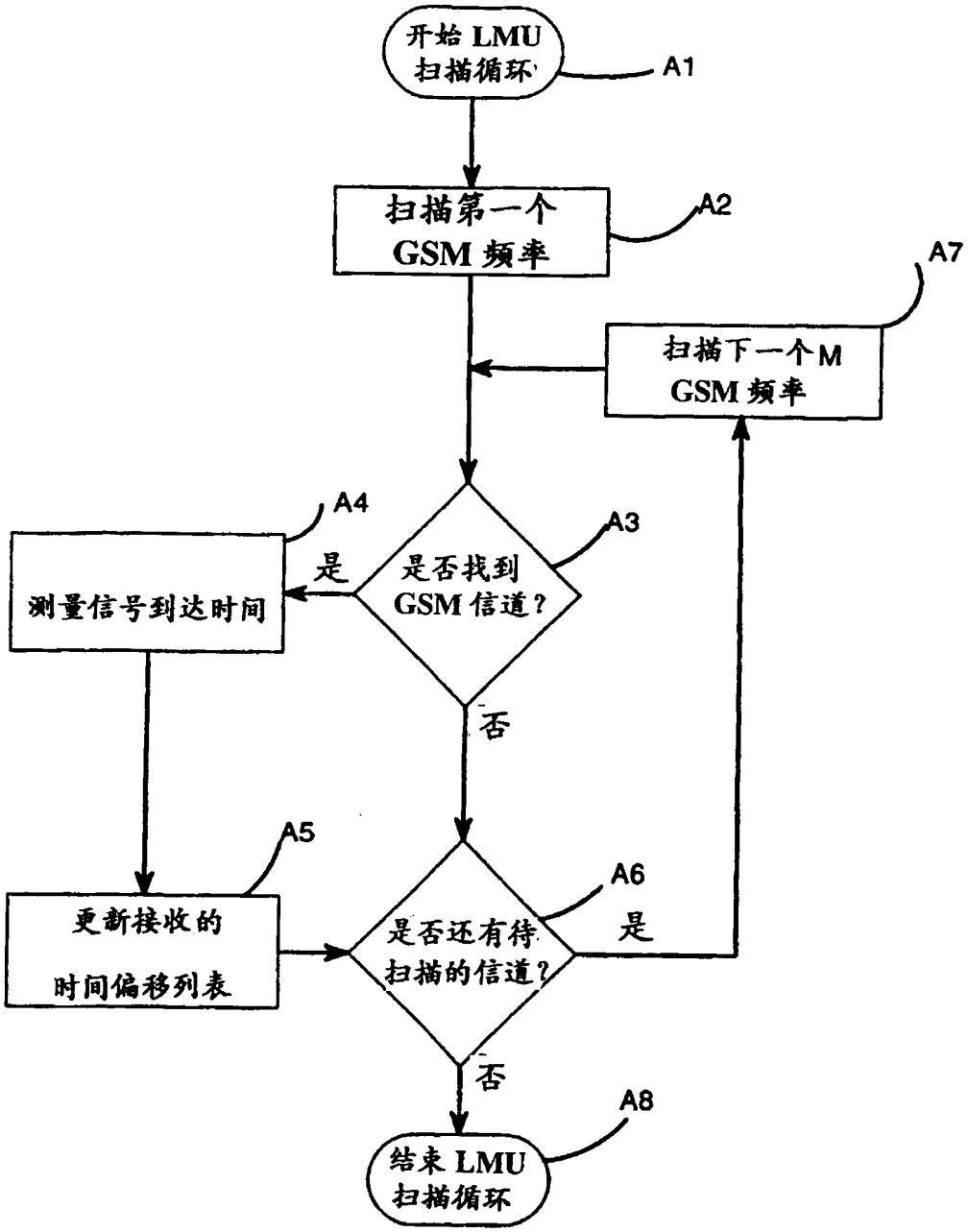

开始 LMU 扫描循环
A1
扫描第一个 GSM 频率
A2
扫描下一个M GSM 频率
A7
是否找到 GSM 信道？
A3
是
测量信号到达时间
A4
否
更新接收的 时间偏移列表
A5
是否还有待扫描的信道？
A6
是
否
结束 LMU 扫描循环
A8

图8

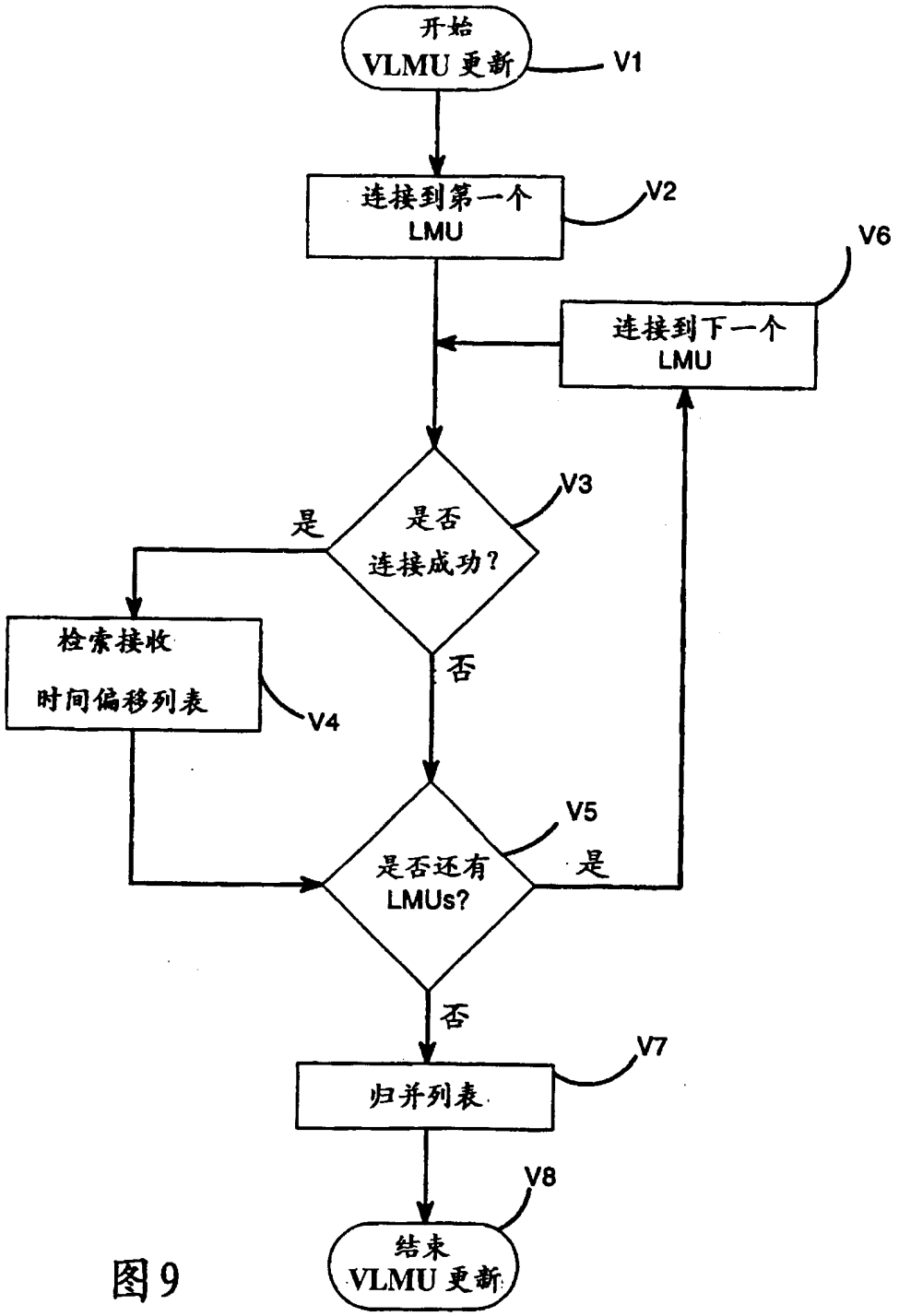

开始
VLMU 更新
V1
连接到第一个
LMU
V2
V6
连接到下一个
LMU
是否
连接成功?
V3
是
检索接收
时间偏移列表
V4
否
是否还有
LMUs?
V5
是
否
归并列表
V7
结束
VLMU 更新
V8

图9

BTS 标识符	VLMU 接收时间偏移
1727	1959.950
1728	75.364
[illegible]	604.57[illegible]
[illegible]	[illegible]
129[illegible]	[illegible]479
17332	[illegible]97.851
17333	797.813
17342	2072.920
17343	182.409
18072	1686.043
18073	1028.109
33060	1061.910
33070	1453.715
42140	1343.821
55440	60.012
55500	2026.607
55512	1690.698
55513	1772.834
[illegible]30	2221[illegible]

图10

LMU 编号 / BTS 标识符	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VLMU
1727					0.098	0.168				0.101
1728	0.091				0.136	0.076		0.071		0.048
[illegible]				0.159						0.099
[illegible]								0.087		[illegible]
[illegible]		[illegible]54			0.092					[illegible]01
17332										0.083
17333		0.163	0.061						[illegible]64	0.055
17342	0.087			0.044		0.074	0.049	[illegible]		0.031
17343				0.044			0.047			0.041
18072		0.048	0.086						0.089	0.050
18073		0.125								0.129
33060			0.045	0.047			0.036			0.033
33070		0.050	0.033						0.138	0.040
42140		0.053	0.084			0.171			0.055	0.045
55440	0.056									0.069
55500			0.058	0.066	0.138	0.046	0.067			0.033
55512				0.048		0.038	0.039			0.032
55513				0.047			0.058		0.078	0.040
[illegible]									0.096	[illegible]
[illegible]					0.146					
[illegible]									[illegible]	

图11