



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03820216.6

[43] 公开日 2005 年 10 月 5 日

[11] 公开号 CN 1678919A

[22] 申请日 2003.7.3 [21] 申请号 03820216.6
 [30] 优先权
 [32] 2002. 8. 30 [33] DE [31] 10239952.2
 [86] 国际申请 PCT/EP2003/007088 2003. 7. 3
 [87] 国际公布 WO2004/021034 德 2004. 3. 11
 [85] 进入国家阶段日期 2005. 2. 25
 [71] 申请人 霍尼韦尔控制系统有限公司
 地址 德国美因塔尔
 [72] 发明人 H·戈姆

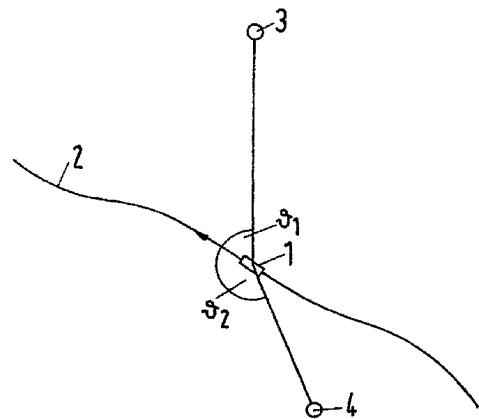
[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
 代理人 杨晓光 于 静

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 1 页

[54] 发明名称 基于卫星的导航方法

[57] 摘要

本发明涉及卫星导航方法，该方法用于通过确定在卫星(3, 4)和接收机(1)之间的信号传播时间，来确定所述接收机(1)的位置，所述方法的特征在于，借助于所述接收机(1)上的准确的时间基准以及基于来自卫星的信号来确定所述接收机处的卫星信号的接收时间，并将其相互比较，并且基于所述接收机(1)处的卫星信号的接收时间来确定至少两个位置解决方案并将其相互比较，所述接收时间是借助于所述接收机(1)的准确的时间基准和分别来自不同卫星的至少一个信号来被确定的。



1. 一种基于卫星的导航方法，该方法用于通过确定卫星（3，4，7，8，9）和接收机（1，5）之间的信号传播时间，来确定所述接收机（1，5）的位置，其特征在于，借助于所述接收机（1，5）上的精确时间基准以及还基于卫星信号来确定所述接收机处的卫星信号的接收时间，并将其（两者）相互比较。

2. 一种基于卫星的导航方法，该方法用于通过确定卫星（3，4，7，8，9）和接收机（1，5）之间的信号传播时间，来确定所述接收机（1，5）的位置，其特征在于，基于所述接收机（1，5）处的卫星信号的接收时间确定至少两个位置解决方案并将其相互比较，所述接收时间是借助于所述接收机（1，5）的精确时间基准以及分别来自不同卫星的至少一个卫星信号来被确定的。

3. 根据权利要求2的基于卫星的导航方法，其特征在于，借助于所述接收机（1，5）中的精确时间基准以及基于卫星信号来确定所述接收机（1，5）上的卫星信号的接收时间，并将其相互比较。

4. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法，其特征在于，如果基于所述卫星信号和所述时间基准而确定的接收时间之间的差值，和/或基于卫星信号而确定的两个位置解决方案之间的差值没有超过特别指定的容限值，则所述卫星信号仅被用于所述位置确定。

5. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法，其特征在于，如果基于所述卫星信号和所述时间基准而确定的所述接收时间之间的差值，和/或基于所述卫星信号而确定的两个位置解决方案之间的差值超过了特别指定的容限值，则确定位置间隔。

6. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法，特别用于轨迹引导的接收机（1），其特征在于，评估来自两个卫星（3，

4) 的卫星信号, 通过第一角度 θ_1 和第二角度 θ_2 来确定所述卫星的位置, 所述第一角度 θ_1 是在接收机(3)的移动方向和从所述接收机(1)到第一卫星(3)的连接方向之间的在 $0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ 的范围内, 所述第二角度 θ_2 是在所述接收机(1)的移动方向和从所述接收机(1)到第二卫星(4)的连接方向之间的在 $90^\circ < \theta_2 < 180^\circ$ 的范围内。

7. 根据权利要求6的基于卫星的导航方法, 其特征在于, 为了确定基于所述第一和第二卫星(3, 4)的卫星信号的接收时间, 从而确定伪范围测量的位置和时间偏移误差。

8. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法, 特别用于表面限制的接收机(5), 其特征在于, 评估来自3个卫星(7, 8, 9)的卫星信号, 所述卫星的位置是通过用于第一卫星(7)的第一角度 φ_1 、用于第二卫星(8)的第二角度 φ_2 和用于第三卫星(9)的第三角度 φ_3 来确定的, 所述角度 φ_1 、 φ_2 和 φ_3 是连接方向的方位角, 所述连接方向是从所述接收机(5)到特定卫星(7、8、9)的并且被投影到坐标系统的基平面(10)上, 所述角度之间的相互关系为: $0^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 180^\circ$ 和 $0^\circ < \varphi_3 - \varphi_2 < 180^\circ$ 和 $360^\circ > \varphi_3 - \varphi_1 > 180^\circ$ 。

9. 根据权利要求8的基于卫星的导航方法, 其特征在于, 所述坐标系统的基平面(10)位于这样的平面: 在所述接收机(5)的位置处, 所述平面与所述接收机(5)的移动表面(6)相切。

10. 根据权利要求8或9的基于卫星的导航方法, 其特征在于, 为了确定所述接收时间, 基于所述第一、第二和第三卫星(7, 8, 9)的卫星信号, 来确定伪范围测量的位置和时间偏移误差。

11. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法, 其特征在于, 为提高位置解决方案的完整性而使用基于卫星的完整系统。

12. 根据前面的权利要求之一的基于卫星的导航方法, 其特征在于, 为提高位置解决方案的完整性和准确性而提供了差分操作。

基于卫星的导航方法

技术领域

本发明涉及基于卫星的导航方法，该方法用于通过确定优选地至少两个卫星和接收机之间的信号传播时间，来确定所述接收机的位置。

背景技术

通常，在基于卫星的导航中，确定几个卫星和接收机之间的信号传播时间，并且据此计算该接收机的位置。对于每个卫星 i ，基于关系式 $c \cdot (T_{\text{receiver}} - T_{\text{transmitter}})$ 来确定伪距离 (pseudo-distance)。

$$\rho_i = \sqrt{(\vec{x}_i - \vec{x})^2} + c \cdot \Delta t + \varepsilon$$

其中 x_i 是卫星 i 的位置， x 是接收机的位置， c 是光速， Δt 是接收机时钟的时间误差，而 ε 是其它误差（例如卫星的轨道和时钟误差、由于大气情况造成的传播时间误差或接收机测量的其它误差）。

通常，出于接收机成本的原因，忽略了高度精确的时间基准，因此，位置确定中的主要误差是接收机时钟内的时间误差 Δt 。所述时间误差包含于位置计算中，因此，对于位置确定而言，至少需要 4 个卫星信号来确定 3 个空间坐标和时间误差，以及据此确定 T_{receiver} 。

通过差分卫星导航方法，可以检测并且大量补偿卫星分段中的误差和由于大气情况造成的传播时间误差。如果可以获得冗余信息，即如果对于三维位置确定而言多于四个卫星被接收到，以及对于一维、轨迹引导 (track-guided) 的位置确定而言多于两个卫星被接收到，通过接收机中的 RAIM 算法 (Receiver Autonomous Integrity Monitoring, 接收机自主完整性监测) 可以执行误差自检测，所述检测揭示了所接收的卫星的传播时间误差。然而，如果伪造了到几个卫星的信号传播时间，则所述误差不能总

是被确切地检测到，因此，尽管用 RAIM 算法，也会产生不可识别的错误的位置确定。

发明内容

本发明的目的在于改善位置解决方案的完整性，即减小错误位置指定（false position specification）的计算概率。

通过上述类型的基于卫星的导航方法来达到所述目的，因此，基本上借助于接收机（1，5）上的精确时间基准以及还基于卫星信号来确定接收机（1，5）上的卫星信号的接收时间，并将其相互比较。给接收机配备以例如铷钟的精确时钟来得到高度精确的时间基准，从而高度精确地确定接收时间。通过以不同方式确定的接收时间的比较，可以因此识别接收信号期间是否存在干扰。通过所述方法，通过轨迹引导和表面限制（surface-bound）的系统中至少二个或三个卫星信号的接收，也可以识别间接信号。由于卫星到接收机的直接信号的投影，仅通过被反射的信号来接收所述间接信号。在所述情况下，所述伪距离

$$\rho_i = \sqrt{(\vec{x}_i - \vec{x}_R)^2} + \sqrt{(\vec{x}_R - \vec{x})^2} + c \cdot \Delta t + \varepsilon$$

相对地更长了， x_R 是反射物的位置。如果不能识别所述投影，并且将信号用于位置计算中，就会产生错误的位置确定。相反地，根据相对于接收机的卫星的位置，通过本发明，可以识别反射所造成的时间偏移（time offset）。另外，在接收时钟的伪距离 ρ_i 中主导的时间误差 Δt 是不可应用的，因此更精确地确定了伪距离，并且不再需要对于三个空间坐标的至少四个卫星信号的接收和时间误差，在所述情况下，通过三个卫星信号已经可以实现三维位置确定。如果接收机仅能够沿着已知轨迹移动，例如铁路网络中火车的位置确定，根据传统的方法，仅确定两个未知量已经足够，即轨迹公里（track-kilometer）和时间偏移。在所述情况下，对于位置确定而言两个卫星已足够。相反地，根据本发明，如果所述接收机被配备以由于成本的原因而通常被忽略的高度精确的时钟，则不再需要确定所述时间偏移，因

此，原则上，即使对于每个所确定的坐标仅有一个卫星也是足够的。

本发明还涉及通过确定卫星和接收机之间的信号传播时间，来确定接收机位置的基于卫星的导航方法，其中，基于接收机上的卫星信号的接收时间来确定至少两个位置解决方案并将其相互比较，所述接收时间是借助于接收机的精确时间基准以及来自至少两个不同卫星的卫星信号来被确定的。特别地通过至少两个卫星的轨迹引导系统，基于每个卫星的卫星信号和所述接收机的时间基准，可以确定接收机的位置解决方案。类似于先前所描述的方法，随后根据卫星的位置，可以识别仅在间接路径上所接收的信号。而且两种前面所描述的方法的合并可以是一种优势。

为了通过被反射的信号获得无误差的位置确定，根据本发明，如果基于卫星信号和时间差值所确定的接收时间之间的差值，和/或基于卫星信号所确定的两个位置解决方案之间的差值，没有超过在每个例子中可以被规定的容限值，则卫星信号仅被用于位置确定。基于相应卫星的最大伪距离误差实际产生了所述容限值。如果超过了所述容限值，则至少所述信号的其中一个在间接路径上被接收。

如果被反射的卫星信号也被用于位置确定，如果基于卫星信号和时间基准所确定的接收时间之间的差值，和/或基于卫星信号所确定的两个位置解决方案之间的差值，超过了在每个例子中可以被规定的容限值，则本发明提供确定位置间隔。于是确定了包括实际位置的间隔，因此，用户精确地识别位置确定中的不确定性。

在轨迹引导的接收机中，如果评估了来自两个卫星的卫星信号，可以特别有利地使用所述方法，通过第一角度 θ_1 和第二角度 θ_2 来确定卫星信号接收时所述卫星的位置，所述第一角度 θ_1 是在接收机的运动方向和从接收机到第一卫星的连接方向之间的在 $0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ 的范围内，所述第二角度 θ_2 是在接收机的运动方向和从接收机到第二卫星的连接方向之间的在 $90^\circ < \theta_2 < 180^\circ$ 的范围内。因此，在所述情况下，至少一个卫星在前向和后向方向上被接收。在所述情况下，可以确定地识别间接卫星信号，该间接卫星信号在接收机从任意反射物接收之前已经被反射。

为此，优选地对于第一和第二卫星的卫星信号的接收时间的确定，确定了伪范围（pseudo-range）测量的位置和时间偏移误差。通过比较所确定的接收时间和由精确时间基准所获知的实际接收时间，如果超过了指定容限值，则确定地识别了间接信号。

在表面限制的接收机中，即接收机沿着确定的表面移动，在根据本发明的方法的一个实施例中，评估来自三个卫星的卫星信号被评估，所述卫星的位置是通过第一卫星的第一角度 φ_1 、第二卫星的第二角度 φ_2 和第三卫星的第三角度 φ_3 来确定的，所述角度是连接方向的方位角，该连接方向是从接收机到特定卫星的并且被投影到坐标系统的基平面上，并且所述角度之间的相互关系为： $0^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 180^\circ$ 和 $0^\circ < \varphi_3 - \varphi_2 < 180^\circ$ 和 $360^\circ > \varphi_3 - \varphi_1 > 180^\circ$ 。在所述情况下，可以肯定地确定间接信号。

坐标系统的基平面优选地位于这样的平面上：在接收机的位置处所述平面与该接收机的移动表面相切。在所述坐标系统中， 0° 方向可以是例如物体移动的方向。可以唯一地确定所述坐标系统，并且所述系统因此特别适于卫星位置的指定。然而，也可以以不同选择的坐标系统来定义相应角度的位置。

在本发明的方法变化的情况下，通过确定伪范围测量的位置和时间偏移误差，从第一、第二和第三卫星的卫星信号还可以特别可靠地确定用于确定间接信号的接收时间。

为了进一步提高位置解决方案的完整性，可以利用例如 EGNOS 或 WAAS 的基于卫星的完整系统。另外，通过差分操作或通过 DGPS，可以进一步改善位置解决方案的完整性和准确性。

附图说明

参考附图，下面将描述根据本发明的方法的优选的方法变化。本发明的其它优势和特征在下文中是显而易见的，并且与权利要求中的特征概要无关。

在附图中描述了：

图 1 对于轨迹引导的接收机，根据本发明的方法的应用中的情况；
以及

图 2 对于表面限制的接收机，根据本发明的方法的应用中的情况。

具体实施方式

图 1 示出了接收机 1，其在由沿着轨迹 2 的箭头所指示的方向中移动。所述接收机 1 可以位于例如火车中并且接收来自两个卫星 3、4 的信号，所述卫星为了所述接收机 1 的位置确定而位于空间中的轨迹 2 上。两个卫星 3、4 都发送由接收机 1 接收的卫星信号。所述接收机 1 另外包括高度精确的时间基准（未示出），所述时间基准精确地定义了来自卫星 3、4 的卫星信号的接收时间。所述时间基准可以是例如高度精确的铷钟，所述铷钟以大约 10^{-11} 到 10^{-9} 秒的准确度来确定时间。对于较长的时间间隔，所述准确度可能下降，从而仅检测到伪距离测量的较大误差。然而，所述测量原理在所述情况下还保持为可应用的。在轨迹引导的接收机 1 的情况下，沿着轨迹 2 的位置误差 δx 、时间偏移中的误差 Δt 以及伪范围误差 δR 之间的关系如下：

$$\delta R = c \cdot \Delta t + \cos(\theta_i) \cdot \delta x$$

其中 θ_i 是轨迹 2 和从接收机 1 到卫星 3、4 的方向之间的角度，并且 c 是光速。

如同在所描述的情况下，如果相对于接收机 1 的位置而言，卫星 3 在前向方向上并且卫星 4 在后向方向上，则可以确定间接卫星信号的存在，所述间接卫星信号在所述接收机 1 的接收之前在反射物上被散射。当前向方向中的角度 θ_1 在 0° 到 90° 之间并且后向方向中的角度 θ_2 在 90° 到 180° 之间时，所述情况适用。

基于卫星信号，通过两个伪范围测量来确定沿着轨迹 2 的位置，其中可以获得作为位置误差的

$$\delta x = \frac{\delta R_1 - \delta R_2}{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}$$

以及作为时间偏移误差的

$$c \cdot \Delta t = \frac{\cos \theta_1 \cdot \delta R_2 - \cos \theta_2 \cdot \delta R_1}{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}$$

基于时间偏移误差，随后地计算信号的接收时间 T_{receiver} 。将其与由高度精确的时钟所确定的参考时间 T_{ref} 进行比较。如果

$$T_{\text{receiver}} - T_{\text{ref}} > \left| \frac{\cos \theta_1 \cdot \varepsilon_{1,\max}}{\cos \theta_1 - \cos \theta_2} \right| + \left| \frac{\cos \theta_2 \cdot \varepsilon_{2,\max}}{\cos \theta_1 - \cos \theta_2} \right| + \varepsilon_{R,\max}$$

适用，则两个卫星信号中的至少一个在间接路径上被接收，其中 $\varepsilon_{1,\max}$ 和 $\varepsilon_{2,\max}$ 代表伪距离误差的最大值，并且 $\varepsilon_{R,\max}$ 代表时间基准的最大误差。所述误差是由卫星误差、大气影响和接收机误差（除了时钟时间）所引起的，并且是所使用的接收机 1 的函数，并且在采用差分导航方法时还是与参考站的距离的函数。基于间接卫星信号所计算的位置通常是错误的。

对于前面所描述的方法可选地或补充地，对于每个卫星 3、4，沿着路径 2 的位置可以根据伪距离和接收机 1 的精确时间基准而被计算出来。来自前向方向上的卫星 3 的间接卫星信号导致后向方向上的位置误差。相反地，后向方向上的卫星 4 的间接卫星信号导致前向方向上的位置误差。

如果对于前向方向上的卫星 3 和后向方向上的卫星 4 而言，位置差值

$$\left| \frac{\varepsilon_{1,\max} + \varepsilon_{R,\max}}{\cos \theta_1} \right| + \left| \frac{\varepsilon_{2,\max} + \varepsilon_{R,\max}}{\cos \theta_2} \right|$$

超过（容限），则存在至少一个间接信号，所述间接信号导致错误的位置确定。

在卫星 3、4 的卫星信号被用于导航方法中，在每种情况下确定了轨迹引导的接收机 1 的间接卫星信号，则必须确保关于卫星 3 的角度 θ_1 是在 0° 到 90° 的范围之内，并且关于卫星 4 的角度 θ_2 是在 90° 到 180° 的范围之内。在前向和后向方向中都被定位的来自卫星的信号，在所述情况下不被一起用于所述导航方法。

可以可选地实现所述方法，以通过两个任意的卫星信号来进行位置确定，并且如果一个卫星 3 是在前向方向上并且一个卫星 4 是在后向方向上，

则对间接信号执行另外的检查。

在冗余卫星信号的情况下，也可以通过两个卫星 3、4 的适当的合并来确定所述卫星 3、4，其中一个卫星在前向方向上并且一个在后向方向上，仅通过间接路径接收所述信号。在位置解决方案的确定中所述信号可以随后被忽略。

如果不可能明确地识别已经被直接接收的卫星 3、4，然而可以确定包括实际位置的间隔。可以如下文所述来确定所述轨迹间隔。

对于前向方向上的卫星 3 和后向方向上的卫星 4，基于伪距离和时间基准，计算出沿着轨迹的两个位置 P1 和 P2，其中 $P_1 > P_2$ 。在所述情况下，所述间隔

$$\left[P_2 - \left| \frac{\varepsilon_{2,\max} + \varepsilon_{R,\max}}{\cos \theta_2} \right|, P_1 + \left| \frac{\varepsilon_{1,\max} + \varepsilon_{R,\max}}{\cos \theta_1} \right| \right]$$

包括所述实际位置。

在图 2 中描述了用于接收机 5 的相应方法，所述接收机 5 在箭头所指示的方向中在表面 6 上移动。所述接收机 5 接收来自卫星 7、8 和 9 的卫星信号，并且所述接收机 5 可以通过高度精确的时间基准（未示出），非常精确地确定所述卫星信号的接收时间。所述时间基准的精确度再次典型地在相同的范围内。

如果在卫星信号的接收期间，可以通过第一卫星 7 的第一角度 φ_1 、第二卫星 8 的第二角度 φ_2 、第三卫星 9 的第三角度 φ_3 来确定所述卫星 7、8 和 9 的位置，其中角度 φ_1 、 φ_2 和 φ_3 是连接方向的方位角，所述连接方向是从所述接收机 5 到特定卫星 7、8 和 9 的并且被投影到坐标系统的基平面 10 上，所述角度之间的相互关系为 $0^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 180^\circ$ ， $0^\circ < \varphi_3 - \varphi_2 < 180^\circ$ 并且 $360^\circ > \varphi_3 - \varphi_1 > 180^\circ$ 。坐标系统的基表面 10 在这样的平面上：在接收机 5 的位置处，所述平面与所述接收机 5 的移动表面 6 相切。所述卫星 7、8、9 被分类，因此 $0^\circ \leq \varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3 < 360^\circ$ 适用。

如果在所述格局中，通过三个伪范围测量来确定表面 6 上的接收机 5 的位置，则获得时间偏移误差

$$c.\Delta t = \frac{|x_1^p| \cdot |x_2^p| \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \delta R_3 + |x_2^p| \cdot |x_3^p| \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot \delta R_1 + |x_3^p| \cdot |x_1^p| \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_3) \cdot \delta R_2}{|x_1^p| \cdot |x_2^p| \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1) + |x_2^p| \cdot |x_3^p| \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + |x_3^p| \cdot |x_1^p| \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}$$

其中 \hat{x}_i ($i=1, 2, 3$) 是从所述接收机 5 到所述卫星 7、8、9 的其中一个的方向上的单位矢量, x_i^p 是 \hat{x}_i 在基平面 10 上的投影, 并且 φ_i 是 x_i^p 在基平面 10 上的方位角。这样定位了三维球形的坐标系, 因此 x 方向在所述接收机 5 的移动方向上延伸, 并且 z 方向垂直于基表面 10。基于时间偏移误差, 随后确定了接收时间 T_{receiver} , 并且将其与参考时间 T_{ref} 进行比较。在所述情况下

$$\begin{aligned} & T_{\text{receiver}} - T_{\text{Ref}} \\ & > \frac{|x_1^p| \cdot |x_2^p| \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \varepsilon_{3,\max} + |x_2^p| \cdot |x_3^p| \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot \varepsilon_{1,\max} + |x_3^p| \cdot |x_1^p| \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_3) \cdot \varepsilon_{2,\max}}{|x_1^p| \cdot |x_2^p| \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1) + |x_2^p| \cdot |x_3^p| \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + |x_3^p| \cdot |x_1^p| \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_3)} + \varepsilon_{R,\max} \end{aligned}$$

适用, 三个卫星信号中至少一个在间接路径上被接收。

在存在冗余卫星信号的情况下, 在每个例子中, 通过对满足上述位置条件的三个卫星的适当的合并, 可以确定那些仅通过间接路径被接收的卫星。可以随后在位置解决方案的确定中忽略所述卫星。

在卫星 3、4 或 7、8、9 分别地适当位置的情况下, 通过本发明的导航方法, 可以搜索出所述卫星信号, 所述卫星信号不能在接收机 1、5 上从卫星 3、4、7、8、9 的其中一个直接被接收, 而是仅通过反射物在间接路径上到达所述接收机 1、5。因此, 所述导航方法的完整性提高了。通过差分操作 (differential operation) 或基于卫星的完整系统不能检测到所述错误。

因此, 根据本发明的方法通常可以很好地应用于大陆和海洋导航中的位置计算。特殊的应用在于铁路交通的可靠间隔 (confidence interval) 的确定, 以及在于需要特别可靠性的所有应用, 例如船、飞机等的入港方法。

参考号码表

- 1、 接收机
- 2、 轨迹
- 3、 卫星
- 4、 卫星
- 5、 接收机
- 6、 表面
- 7、 卫星
- 8、 卫星
- 9、 卫星
- 10、 基平面

图 1

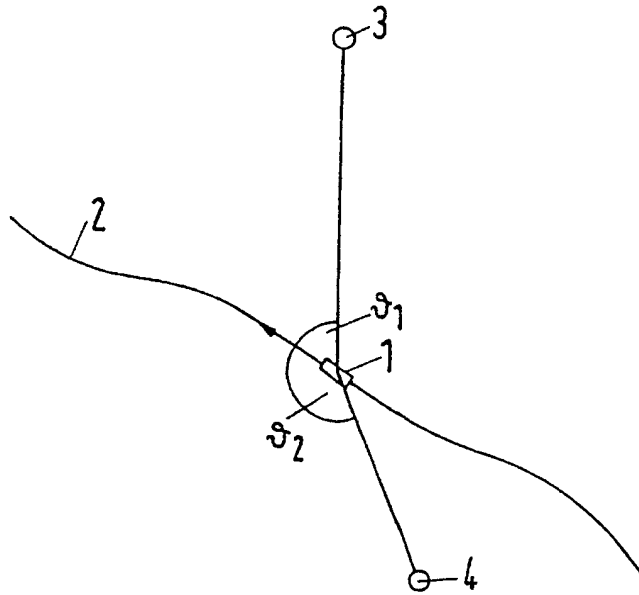


图 2

