



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102741109 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201080055137. 7

(22) 申请日 2010. 11. 30

(30) 优先权数据

102009047476. 5 2009. 12. 04 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 06. 04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/068530 2010. 11. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/067252 DE 2011. 06. 09

(73) 专利权人 罗伯特·博世有限公司

地址 德国斯图加特

(72) 发明人 L·比尔克勒 M·菲舍尔

T·毛雷尔

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 曾立

(51) Int. Cl.

B62D 1/28(2006. 01)

B62D 15/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101282853 A, 2008. 10. 08, 全文.

DE 102005056211 A1, 2007. 06. 06, 全文.

DE 102008003666 A1, 2009. 07. 16, 说明书第  
0018、0024 段, 附图 2.

WO 2006/037445 A1, 2006. 04. 13, 全文.

审查员 丁培丽

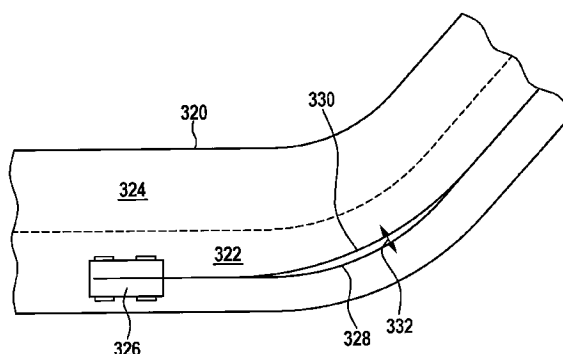
权利要求书2页 说明书16页 附图10页

(54) 发明名称

用于确定道路的弯道区段的相交轨迹的方法和  
控制设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于确定相交轨迹的方法, 所述相交轨迹能够使车辆 (326) 相交车道的弯道区段 (320)。在此, 接收 (212) 关于所述弯道区段 (320) 的信息; 将所述弯道区段划分成至少一个具有分段长度和开始曲率的弯道分段, 其中, 所述弯道分段或者是直线分段或者是圆弧分段或者是其曲率是所述弯道分段的弧长的函数的弯道分段。由所述至少一个弯道分段确定相交轨迹 (330), 使得所述相交轨迹在所述弯道区段 (320) 的一个确定的点中具有关于所述车道的中间 (328) 的预先确定的偏移 (332)。



1. 用于确定相交轨迹的方法,所述相交轨迹能够使车辆 (326) 相交车道的弯道区段 (320),所述方法包括以下步骤:

通过接口接收 (212) 关于所述弯道区段 (320) 信息;

将所述弯道区段划分 (214) 成至少一个具有分段长度和开始曲率的弯道分段,其中,所述弯道分段或者是直线分段或者是圆弧分段或者是其曲率是所述弯道分段的弧长的函数的弯道分段;

由所述至少一个弯道分段确定 (218) 相交轨迹 (330),使得所述相交轨迹在所述弯道区段 (320) 的一个确定的点中具有关于所述车道的中间 (328) 的预先确定的偏移 (332) 并且所述相交轨迹的最大曲率小于所述弯道区段的最大曲率。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述相交轨迹 (330) 包括至少一个具有分段长度和开始曲率的轨迹分段,其中,所述轨迹分段或者是直线分段或者是圆弧分段或者是其曲率是所述轨迹分段的弧长的函数的弯道分段。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,将所述弯道区段 (320) 划分成多个具有分段长度和开始曲率的弯道分段,其中,所述开始曲率相应于前一个弯道分段的终点曲率,并且其曲率或者在形式为直线分段或圆弧分段的弯道分段的弧长上是恒定的或者随着形式为回旋曲线分段的弯道分段的弧长线性地变化。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,将所述相交轨迹 (330) 划分成多个具有分段长度和开始曲率的轨迹分段,其中,所述开始曲率相应于前一个轨迹分段的终点曲率,并且其曲率或者在形式为直线分段或圆弧分段的轨迹分段的弧长上是恒定的或者随着形式为回旋曲线分段的轨迹分段的弧长线性地变化。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在所述划分的步骤中将所述弯道区段划分成至少一个形式为具有回旋曲线长度、回旋曲线开始曲率和回旋曲线参数的回旋曲线分段的弯道分段、至少一个具有直线长度的直线分段以及至少一个具有圆弧长度和圆弧曲率的圆弧分段,如此调节所述直线长度、所述回旋曲线长度、所述回旋曲线开始曲率、所述回旋曲线参数、所述圆弧长度和所述圆弧曲率,使得回旋曲线轨迹的最大曲率和圆弧轨迹的曲率分别小于所述弯道区段的最大曲率,其中,确定对应于所述直线分段的所述直线轨迹,确定对应于所述回旋曲线分段的所述回旋曲线轨迹以及确定对应于所述圆弧分段的所述圆弧轨迹,其中,由所述直线轨迹、所述回旋曲线轨迹和所述圆弧轨迹确定所述相交轨迹 (330)。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,如此确定所述直线轨迹、所述回旋曲线轨迹和所述圆弧轨迹,使得所述相交轨迹 (330) 在所述弯道区段 (320) 的顶点中具有相对于所述车道的中间 (328) 进入弯道内的预先确定的偏移 (332)。

7. 根据权利要求5所述的方法,其中,如此确定所述直线轨迹、所述回旋曲线轨迹和所述圆弧轨迹,使得所述相交轨迹 (330) 在起始点中的角度方向相应于所述车道的中间 (328) 在起始点中的角度方向,并且所述相交轨迹在终点中的角度方向相应于所述车道的中间在终点中的角度方向。

8. 根据权利要求5所述的方法,其中,在考虑车辆速度和弯道区段曲率的情况下确定所述直线轨迹、所述回旋曲线轨迹和所述圆弧轨迹。

9. 根据权利要求5所述的方法,其中,在与所述弯道区段 (320) 紧邻连接的区域 (631, 635) 中,如此确定至少一个另外的回旋曲线轨迹 (A-WP1, WP2-E) 或者至少一个另外的圆弧

轨迹,使得另一个弯道轨迹(630)在所述区域(631,635)中具有相对于所述车道的中间的另一个预先确定的偏移(632,634)。

10. 根据权利要求1或2所述的方法,所述方法具有求得所述车辆的基于所述相交轨迹的横向引导的步骤,其中,所述横向引导适于沿着所述相交轨迹控制所述车辆(326)通过所述弯道区段(320)。

11. 根据权利要求1或2所述的方法,所述方法具有将道路的路段划分成多个弯道区段的步骤,这些弯道区段表示弯道入口(441)、收窄的或敞开的弯道(443)、S弯道(445)和/或弯道出口(447),对于所述多个弯道区段中的每一个根据以上权利要求中任一项确定一个相交轨迹,其中,通过彼此连接所述多个弯道区段的相交轨迹形成所述路段的轨迹。

12. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在所述划分的步骤(214)中将所述弯道区段划分成具有直线长度的直线分段、具有回旋曲线长度、回旋曲线开始曲率和回旋曲线参数的回旋曲线分段以及具有圆弧长度和圆弧曲率的圆弧分段,在所述确定的步骤(216)中基于调节规定确定所述直线分段的直线轨迹、所述回旋曲线分段的回旋曲线轨迹和所述圆弧分段的圆弧轨迹,所述调节规定被构造用于如此调节所述直线长度、所述回旋曲线长度、所述回旋曲线开始曲率、所述回旋曲线参数、所述圆弧长度和所述圆弧曲率,使得所述回旋曲线轨迹的曲率和所述圆弧轨迹的曲率分别小于所述弯道区段的最大曲率,并且在所述确定的步骤(218)中由所述直线轨迹、所述回旋曲线轨迹和所述圆弧轨迹确定相交轨迹。

13. 控制设备,其被构造用于实施根据权利要求1至12中任一项所述的方法的步骤。

## 用于确定道路的弯道区段的相交轨迹的方法和控制设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定道路的弯道区段的轨迹的方法、一种控制设备以及一种计算机程序产品。

### 背景技术

[0002] 车道保持支持 (Lane Keeping Support :LKS) 表示在车道中保持车辆时通过定向的转向力矩支持驾驶员的车道保持系统。第一个 LKS 系统已经引入欧洲市场。其包括车道识别系统,借助所述车道识别系统能够确定车辆前面的车道走向——例如曲率和曲率变化以及车辆在车道中的相对位置——例如横向距离和角差。为此借助视频摄像机检测车辆前面的交通空间并且在控制设备中分析灰度值图像。在必要时,在确定车道信息时还可以考虑其他环境传感器的数据以及来自数字地图的信息,用于支持和扩展基于视频的车道信息。

[0003] DE 10 2005 056 211 A1 描述一种用于控制车辆的横向运动的方法,其中检测至少直至前瞻范围的位于前面的车道的走向并且借助于控制单元为车辆规划额定轨迹。

### 发明内容

[0004] 在这种背景下,通过本发明提出一种用于确定能够使车辆相交道路的弯道区段的相交轨迹的方法,一种使用所述方法的控制设备以及一种相应的计算机程序产品。

[0005] 基于车道走向以及基于行驶状态参量可以根据车辆的当前行驶情况求得额定轨迹,以便通过连续的转向干预可靠地在车道中引导车辆。所述轨迹可以居中地位于左车道边界和右车道边界之间。即可以与道路结构情况和特别是弯道无关地调节到道路中间。这使驾驶员不舒适,因为这与驾驶员的自身驾驶行为不相应。

[0006] 当驶过在自身车道中足够宽的弯道时,驾驶员会直觉地相交所述弯道。这种驾驶行为由弯道中的道路展宽无意地支持。弯道相交的理由在于,作用在驾驶员身上的横向加速引起不舒适并且因此应被减小。驾驶员通过减小弯道曲率实现这一点,其方式是,他相交弯道,即在弯道开始前就开始转向并且因此他的汽车更早地“向内偏转”到弯道中。因此,朝向道路边缘相交弯道,并且需要更小的最大转向角以驶过弯道,这相应于更小的弯道曲率。因此,首先提高了驾驶舒适性,但也提高了驾驶安全性。

[0007] 本发明的方法例如可以由 LKS 系统实现并且利用自己车道内的弯道相交的可能性。

[0008] 本发明基于这样的认识:在车辆的车道保持系统的轨迹规划时可以考虑弯道相交的可能性。

[0009] 本发明的核心是用于在使用驾驶辅助系统横向引导车辆时自己车道中的弯道的相交的算法。因此可以提高弯道稳定性并且实现更多的舒适性。

[0010] 根据本发明,能够通过识别具有确定的前瞻范围的水平路段走向的算法实现自己车道内的弯道相交。弯道的相交对于驾驶员而言可以在其自身范围内参数化,以便模拟弯

道中适合驾驶员的驾驶方式。由此实现更舒适的驾驶感觉以及更大的驾驶安全性。

[0011] 有利地,在驶过所有类型的弯道时可以系统地减小横向加速。在此算法可以负责:在确定的边界内如此规划一条轨迹,使得容易地并且对于驾驶员而言舒适地相交所述弯道。由此增加车辆乘客的安全性和舒适性。

[0012] 此外可以在考虑人的转向行为和“道路设备准则 (Richtlinie für die Anlage von Straßen)” (RAS) 的情况下规划车道。这意味着,可以借助于回旋曲线分段来规划轨迹。特别地,可以保持连续的道路曲率走向,以便实现尽可能好的和类似驾驶员的转向行为。这意味着,不进行任何不自然的转向运动,即仅仅使用恒定的和均匀升高的或降低的转向角。即例如对于驶入弯道实现恒定的转向角变化速度。这导致类似人的舒适的车辆横向引导。

[0013] 优点还在于,可以有意义地充分利用弯道中道路的展宽。弯道相交的程度在行驶期间也可以根据期望由驾驶员自己调节。通过由系统驾驶的轨迹可以面向驾驶员的行为,可以提高 LKS 系统的用户接受度。

[0014] 借助基于视频的车道识别和定位以及数字地图可以仅仅使用现有的传感器。

[0015] 本发明实现一种用于确定能够使车辆相交车道的弯道区段的轨迹的方法,所述方法包括以下步骤:通过接口接收关于弯道区段信息;将所述弯道区段划分成具有直线长度的直线分段和具有回旋曲线长度、回旋曲线开始曲率和回旋曲线参数的回旋曲线分段以及具有圆弧长度和圆弧曲率的圆弧分段;基于调节规定确定直线分段的直线轨迹、回旋曲线分段的回旋曲线轨迹和圆弧分段的圆弧轨迹,所述调节规定被构造用于如此调节直线长度、回旋曲线长度、回旋曲线开始曲率、回旋曲线参数、圆弧长度和圆弧曲率,使得回旋曲线轨迹的曲率和圆弧轨迹的曲率分别小于弯道区段的最大曲率;由直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹确定相交轨迹。

[0016] 弯道区段可以涉及在行驶方向上位于车辆前面的道路区段,其具有曲率。关于弯道区段的信息例如可以定义所述弯道区段的走向、所述弯道区段内的曲率的走向(例如关于路段)、所述弯道区段的特殊的特征或者所述弯道区段内车道宽度的走向。关于弯道区段的信息可以代表可以由前瞻的环境传感机构或者具有相应的道路信息的数据库提供。为了定位特殊的弯道区段可以使用由位置确定系统提供的信息。回旋曲线分段可以表示其曲率走向线性增大的过渡弧。在此,回旋曲线参数可以定义曲率走向的斜率。圆弧分段可以具有统一的曲率半径。回旋曲线分段和圆弧分段的弯曲方向可以相应于弯道区段的弯曲方向。因此,弯道区段可以通过直线分段、回旋曲线分段和圆弧分段表示。相交轨迹可以代表车辆通过弯道区段的运动轨线。在此,相交轨迹可以具有比相对于车道居中地通过弯道区段的轨迹更小的最大曲率半径。这导致弯道不沿假想的中心线驶出,而是相交。调节规定可以被构造用于基于预先确定的或可调节的边界条件——例如相交轨迹和车道中间之间的最大偏移来调节可调节的参数,如回旋曲线长度、回旋曲线曲率、圆弧长度和圆弧曲率。为此可以使用合适的调节算法。在此调节规定可以被构造用于调节参数中的一个、多个或所有。通过这些参数可以调节直线轨迹的走向、回旋曲线轨迹的走向和圆弧轨迹的走向。可以通过彼此连接直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹来建立相交轨迹。

[0017] 除回旋曲线分段和圆弧分段以外,还可以将弯道区段划分成具有直线长度的直线分段。与此相应地,可以基于调节规定确定直线分段的直线轨迹,其中调节规定被构造用于

如此调节直线长度,使得回旋曲线轨迹的最大曲率和圆弧轨迹的曲率分别小于弯道区段的最大曲率。在这种情况下,可以由直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹确定相交轨迹。直线分段例如适于实现根据本发明的方法的弯道入口或弯道出口。即使在以下的实施方式和实施例中涉及直线分段,也可以在没有直线分段的情况下实现相应的示例。例如在实现所谓的非对称弯道或所谓的 S 弯道时通常不需要直线分段。

[0018] 非对称弯道的特征在于,两个具有相同符号的不同曲率的圆弧分段通过回旋曲线分段彼此连接。相反,在 S 弯道的情况下两个具有不同符号的圆弧分段通过回旋曲线分段彼此连接。

[0019] 调节规定可以被构造用于如此确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹,使得相交轨迹在弯道区段的顶点中具有相对于车道中间的轨迹进入弯道内的预先确定的偏移。所述预先确定的偏移可以是固定的或者是通过驾驶员预给定的。在此,所述预先确定的偏移可以根据车道的宽度(尤其是在顶点中)变化。所述预先确定的偏移也可以根据车辆速度或者弯道区段的最大曲率选择。

[0020] 此外,调节规定可以被构造用于如此确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹,使得相交轨迹的起始点的角度方向相应于车道中间上的轨迹的起始点的角度方向,并且相交轨迹的终点的角度方向相应于车道中间上的轨迹的终点的角度方向。通过所述方式能够避免在弯道区段的开始和结束时的突然的转向运动。所述方法意味着:可以根据调节规定如此确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹,使得当车辆根据相交轨迹驶过弯道区段时车辆经历的偏航角变化与当其根据车道中间的轨迹驶过弯道区段时相同。

[0021] 为此,调节规定例如可以被构造用于在考虑车辆速度和弯道区段的曲率的情况下确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹。因此,可以一起考虑真实的参数,以便确定相交轨迹。

[0022] 本发明的另一核心思想在于弯道的起动。由此可以进一步增大车辆轨迹的半径,超出纯粹的弯道相切,更确切说,通过最优地充分利用整个可供使用的道路宽度,在必要时真正的弯道前面和后面的道路空间。

[0023] 弯道起动的方法基于如下认识:行驶的半径越大或者车辆的轨迹的行驶的曲率越小,则驾驶行为越是乘客友好的。

[0024] 更小的曲率导致更小的横向加速和作用于乘员的力作用。由此有利地提高了安全性,因为车辆更不易侧滑。此外提高了乘客舒适性,因为作用在身体上的侧向力更小。替代地,也实现了驶过弯道时的更高速度。

[0025] 为了考虑弯道的起动,本发明还实现了一种用于确定轨迹的方法的实施方式,在所述实施方式中调节规定被构造用于在与弯道区段紧邻连接的区域中如此确定另一直线轨迹、另一回旋曲线轨迹和另一圆弧轨迹,使得另一相交轨迹在所述区域中具有相对于车道中间的另一预先确定的偏移。这能够实现弯道的起动和驶出,以便实现整个弯道轨迹的曲率的进一步最小化。换句话说,因此调节规定可以被构造用于确定至少一个另外的回旋曲线轨迹或弯道轨迹,其具有与弯道区段的弯曲方向相反的弯曲方向。在这种情况下,可以由直线轨迹、回旋曲线轨迹、圆弧轨迹和至少一个另外的回旋曲线轨迹确定相交轨迹。

[0026] 根据本发明的方法在不同的实施方式中还可以包括求得车辆的基于相交轨迹的横向引导的步骤,其中所述横向引导适于沿相交轨迹控制车辆通过弯道区段。因此,根据本

发明的方法可以有利地用于车道保持系统。

[0027] 为了反映更复杂的道路走向,本发明的方法包括将道路的路段划分成多个弯道区段的步骤,这些弯道区段可以表示弯道入口、非对称的弯道、S 弯道和 / 或弯道出口。对于多个弯道区段中的每一个可以根据以上所述确定一个相交轨迹,并且可以通过彼此连接所述多个弯道区段的相交轨迹来构成所述路段的轨迹。在此,可以顺序地、即一个接一个地确定各个相交轨迹。不需要迭代。

[0028] 本发明还实现了一种用于确定相交轨迹的方法,所述相交轨迹能够使车辆相交车道的弯道区段,所述方法包括以下步骤:通过接口接收关于弯道区段信息;将所述弯道区段划分成至少一个具有分段长度和开始曲率的弯道分段,其中所述弯道分段或者是直线分段或者是圆弧分段或者是弯道分段,所述弯道分段的曲率是所述弯道分段的弧长的函数;由所述至少一个弯道分段确定相交轨迹,使得所述相交轨迹在弯道区段的一个确定的点中具有关于车道中间的预先确定的偏移。

[0029] 弧长的函数可以表示导数。例如,曲率可以是弧长的二次导数。所述确定的点可以涉及弯道区段的顶点、中点或者其他适合的点。可以在借助适合的优化方法的情况下实现所述方法。弯道分段可以是圆弧、回旋曲线分段、样条分段和 / 或贝塞尔曲线分段。即使在以下的实施方式和实施例中涉及直线分段,相应的示例也可在没有直线分段的情况下实施。例如在实现所谓的非对称弯道或所谓的 S 弯道时通常不需要直线分段。

[0030] 相交轨迹可以包括至少一个具有分段长度和开始曲率的轨迹分段,其中所述轨迹分段或者是直线分段或者是圆弧分段或者是弯道分段,所述弯道分段的曲率是所述轨迹分段的弧长的函数。

[0031] 在此可以如此确定相交轨迹,使得所述相交轨迹的最大曲率小于弯道区段的最大曲率。

[0032] 根据一种实施方式,可以将弯道区段划分成多个具有分段长度和开始曲率的弯道分段,其中开始曲率相应于前一个弯道分段的终点曲率,并且其曲率或者在形式为直线分段或圆弧分段的弯道分段的弧长上是恒定的或者随着形式为回旋曲线分段的弯道分段的弧长线性地变化。

[0033] 可以将相交轨迹划分成多个具有分段长度和开始曲率的轨迹分段,其中开始曲率相应于前一个轨迹分段的终点曲率,并且其曲率或者在形式为直线分段或圆弧分段的轨迹分段的弧长上是恒定的或者随着形式为回旋曲线分段的轨迹分段的弧长线性地变化。

[0034] 也可以如此调节直线长度、回旋曲线长度、回旋曲线的开始曲率、回旋曲线参数、圆弧长度和圆弧曲率,使得回旋曲线轨迹的最大曲率和圆弧轨迹的曲率分别小于弯道区段的最大曲率,其中确定对应于直线分段的直线轨迹,确定对应于回旋曲线分段的回旋曲线轨迹以及确定对应于圆弧分段的圆弧轨迹,其中由直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹来确定相交轨迹 (330)。

[0035] 此外可以如此确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹,使得相交轨迹在弯道区段的顶点、中点或者其他适合的点中具有相对于车道中间进入弯道内的预先确定的偏移。

[0036] 此外可以如此确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹,使得相交轨迹在起始点中的角度方向相应于车道中间在起始点中的角度方向并且相交轨迹在终点中的角度方向相应于车道中间在终点中的角度方向。

[0037] 可以在考虑车辆速度和弯道区段曲率的情况下确定直线轨迹、回旋曲线轨迹和圆弧轨迹。

[0038] 在与弯道区段紧邻连接的区域中可以如此确定另一直线轨迹、另一回旋曲线轨迹和另一圆弧轨迹,使得另一相交轨迹在所述区域中具有关于车道中间的另一预先确定的偏移。

[0039] 此外,所述方法可以包括求得车辆的基于相交轨迹的横向引导的步骤,其中所述横向引导适于沿相交轨迹控制车辆通过弯道区段。

[0040] 所述方法还可以具有将道路的路段划分成多个弯道区段的步骤,这些弯道区段表示弯道入口、收窄的或敞开的弯道、S 弯道和 / 或弯道出口,对于所述多个弯道区段中的每一个根据以上所述确定一个相交轨迹,其中通过彼此连接所述多个弯道区段的相交轨迹来构成所述路段的轨迹。

[0041] 本发明还实现了一种控制设备,其被构造用于实施或者实现根据本发明的方法的步骤。通过本发明的形式为控制设备的实施变型方案也可以快速且有效地解决本发明基于的任务。

[0042] 在此,控制设备可以理解为处理传感器信号并且据此输出控制信号的电设备。控制设备可以具有硬件构造和 / 或软件构造的接口。在硬件构造的情况下,接口例如是所谓的系统 ASIC 的一部分,其包含控制设备的不同的功能。然而,接口也可以是单独的集成电路或者至少由分立部件组成。在软件构造的情况下,接口可以是软件模块,其例如在微控制器上与其他软件模块并存。

[0043] 同样有利的是具有程序代码的计算机程序产品,其存储在机器可读的载体——例如半导体存储器、硬盘存储器或光学存储器上,用于当在控制设备上执行所述程序时实施根据以上所述实施方式之一的方法。

## 附图说明

[0044] 以下根据附图示例性地详细说明本发明。附图示出:

[0045] 图 1:根据本发明的一个实施例的轨迹规划装置的结构框图;

[0046] 图 2:根据本发明的一个实施例的方法的流程图;

[0047] 图 3:根据本发明的一个实施例的弯道相交的示意图;

[0048] 图 4:根据本发明的四个基本元素的示意图;

[0049] 图 5:根据本发明的另一实施例的弯道相交的示意图;

[0050] 图 6a:根据弯道起动的一个实施例的弯道轨迹的示意图;

[0051] 图 6b:根据弯道起动的一个实施例的弯道轨迹的另一示意图;

[0052] 图 7:根据本发明的另一实施例的用于阐述边界条件和附加条件的示图;

[0053] 图 8:根据本发明的另一实施例的 x-y 坐标系中的轨迹规划;

[0054] 图 9:根据本发明的另一实施例的轨迹的 x-y 走向中的边界条件;

[0055] 图 10:根据本发明的另一实施例的轨迹的 x-y 走向中的边界条件;

[0056] 图 11:根据本发明的另一实施例的弯道入口的轨迹规划的结果;

[0057] 图 12:根据本发明的另一实施例的弯道出口的轨迹规划的结果;

[0058] 图 13:根据本发明的另一实施例的不对称弯道的轨迹规划的结果;

[0059] 图 14 :根据本发明的另一个实施例的 S 弯道的轨迹规划的结果。

### 具体实施方式

[0060] 在本发明的优选实施例的以下说明中,对于在不同附图中示出的并且作用相似的元件使用相同或相似的附图标记,其中不重复描述这些元件。

[0061] 图 1 示出根据本发明的一个实施例的轨迹规划装置的结构。示出了车辆传感机构 102、横向引导装置 104 和转向执行机构 106。横向引导装置 104 可以具有用于轨迹规划的装置 112 和转向调节器 114。

[0062] 车辆传感机构被构造用于检测适于轨迹规划装置 112 的信息并且将所述信息提供给横向引导装置 104。轨迹规划装置 112 和转向调节器可以彼此耦合。横向引导装置 104 可以被构造用于求得轨迹并且将相应于所述轨迹的转向信息提供给转向执行机构 106。

[0063] 轨迹规划装置 112 可以集成在 LKS 系统中并且确定轨迹作为用于横向调节器 104 的额定预给定。

[0064] 由数字地图和当前的车辆位置可以求得位于车辆前面的路段走向。所述路段走向可以分段地以直线分段、回旋曲线分段和圆弧分段的形式传输给轨迹规划装置 112。选择这些几何形状的理由在于:它们确保连续的、线性的曲率走向。回旋曲线是直线和圆弧的两个不同的恒定曲率值的过渡弧。

[0065] 可以将来自数字地图的数据与例如设置在车辆中的前瞻的视频系统的视频数据进行融合。这例如在地图材料过时或者 GPS 接收较差的情况下是有帮助的,并且能够短暂地补偿地图数据与实际曲率走向的偏差。为了足够快地考虑变化的输入数据,根据本发明的轨迹规划可以在行驶期间每秒多次周期地运行。

[0066] 为了充分利用由于数字地图数据的理论上不受限制的前瞻范围的优点,预先规划随后的路段。在确定的路段走向中,可以前瞻性地作用于当前的偏移。也就是说,可以预先校正弯道的顶点中不适合下一弯道区段的偏移。可以将所述功能与位于车辆前面的弯道区段的速度建议非常好地结合。

[0067] 横向引导装置 104 和(尤其是)轨迹规划装置 112 可以被构造用于实现或执行根据本发明的用于确定轨迹的方法。

[0068] 图 2 示出根据本发明的一个实施例的根据本发明的方法的流程图。所述方法可以包括接收关于弯道区段关于交点位置的信息的步骤 212。所述信息例如可以由在图 1 示出的车辆传感机构提供。在另一步骤 214 中,可以将弯道区段划分为回旋曲线分段、圆弧分段和(可能)直线分段。在另一步骤 216 中,对于各个分段可以确定轨迹。根据本发明,可以如此确定轨迹的长度和曲率,使得可以在另一步骤 218 中由各个轨迹确定整个轨迹。可以跳过步骤 216。与在弯道区段的车道的中间延伸的轨迹相比,整个轨迹可以具有更小的最大曲率。这可以通过在步骤 216 中根据相应的规定来确定轨迹的长度和曲率来实现。整个轨迹可以由车道保持系统用作控制车辆的基础。

[0069] 图 3 示出根据本发明的一个实施例的弯道相交的过程。示出了具有第一车道 322 和第二车道 324 的道路的弯道区段 320。车辆 326 在第一车道 322 上运动。在此,车辆 312 可以沿轨迹 328 运动,所述轨迹 328 在第一车道 322 中居中地延伸。根据本发明求得相交轨迹 330,其能够实现具有横向偏移 332 的弯道相交。在此,偏移 332 表示与车道的中间 328

的横向偏移或者横向距离。由于横向偏移 332, 相交轨迹 330 在车道的中间 328 的弯道内侧上延伸。横向偏移 332 可以在相交轨迹 330 的延伸上变化并且例如在弯道区段 320 的顶点中最大。例如, 偏移 332 的大小可以从弯道区段 320 的开始起直至顶点连续地增大并且随后直至弯道区段 320 的终点连续地减小。在弯道区段 320 的开始和终点处, 偏移 332 可以是“零”。

[0070] 在此, 根据本发明的算法可以负责在驶过弯道 320 时轨迹 330 的曲率相对于弯道走向 328 系统性地减小并且同时保持与车道中间的确定的距离 332。

[0071] 弯道如此构造, 使得在直线之后曲率值首先随着弧长线性地上升 (具有回旋曲线的弯道入口) 然后保持恒定 (具有顶点的圆弧) 或者达到分别与回旋曲线分段关联的不同曲率并且重新下降 (具有回旋曲线的弯道出口)。因此, 弯道的弯道参数的数量是不确定的。最简单的弯道由三个分段 (不包括周围的直线) 组成, S 弯道由五个分段 (回旋曲线—圆弧—回旋曲线—圆弧—回旋曲线) 组成。收窄的或敞开的弯道同样由五个分段 (不包括周围的直线) 组成, 但其都具有相同的曲率符号。还可以设想其他的弯道走向, 其组合非对称弯道和 S 弯道并且因此具有更大数量的弯道参数。因此必须针对彼此相继的弯道分段单独地进行轨迹的规划。

[0072] 在所述意义上, 总是针对由直线或圆弧、回旋曲线、圆弧或直线组成的弯道的一部分实施相交弯道的规划。由此得出四种情况 (所谓的基本元素), 它们能够彼此组合地描述每一种可能的道路走向。

[0073] 图 4 示出根据本发明的不同实施例的四个基本元素的示图, 在图的上部以 x-y 坐标表示并且在图的下部以相应的曲率数据表示, 所述曲率数据表示路径上的曲率走向。

[0074] 第一基本元素代表弯道入口 441, 第二基本元素代表非对称弯道 443, 第三基本元素代表 S 弯道 445, 第四基本元素代表弯道出口 447。

[0075] 在弯道入口 441 中元素直线、回旋曲线和圆弧彼此衔接, 而在弯道出口 447 中圆弧、回旋曲线和另一直线彼此衔接。非对称弯道 443 由圆弧、回旋曲线和圆弧组成。这样表示具有相同曲率符号的弯道, 其收窄或者展开。S 弯道 445 由相同的元素组成, 不同的是在回旋曲线区段中曲率具有过零并且符号变化, 但曲率变化继续保持恒定。即对于简单的右弯道需要两个基本元素。用于弯道入口的第一基本元素优选到达圆弧的一半 (弯道的顶点)。在此, 基本元素不一定必须在圆弧的一半处分离。也可以通过参数预给定进行分离的位置。用于弯道出口的第二基本元素无缝地连接到前面的基本元素上, 优选从相同的圆弧的一半处开始直至到达直线。相应地, 以非对称弯道和 S 弯道处理, 它们可以彼此组合并且必须以一个弯道入口和一个弯道出口开始和结束。

[0076] 因此, 轨迹规划的问题在四个基本元素内分别归结为了用于曲率描述  $(s_1, k_1)$ 、 $(s_2, k_2)$  和  $(s_3, k_3)$  的六个参数和所属的边界条件以及附加条件。借助于边界条件必须确保 x-y 描述中的基本元素的彼此衔接是连续的和可微分的。此外, 在 s-k 描述中必须确保相同的偏航角的连续性和覆盖。由此使各个基本元素中轨迹规划模块化保持一致性。

[0077] 边界条件负责: 减小曲率和保持弯道的形状。基本元素内的规划如此进行, 使得对于弯道相交选择顶点处与车道中间的最大横向偏移值作为可参数化的度量。如此选择六个自由参数, 使得其必须由轨迹的终点达到。因此, 确定一个点, 弯道入口的待生成的轨迹以与车道的中间迹线相同的偏航角在顶点处与所述点相交。在随后还将详细介绍的其他假定

下,实现具有减小的最大曲率的新的交点并且因此有针对性地减小横向加速并且提高行驶舒适性。

[0078] 对于弯道入口 441 示出了轨迹 451 的走向和具有关于路径的曲率走向 452 的坐标系。在所述坐标系中,横轴表示路径  $s$ ,纵轴表示曲率  $k$ 。轨迹 451 在第一区域中不具有曲率,在中部区域中具有线性上升的曲率并且在末端区域中具有不等于零的、恒定的曲率值。

[0079] 对于非对称弯道 443 示出了轨迹 453 的走向和具有关于路径的曲率走向 454 的坐标系。轨迹 453 在第一区域中具有不等于零的、恒定的曲率值,在中部区域中具有线性上升的曲率并且在末端区域中具有不等于零的、恒定的曲率值。

[0080] 对于 S 弯道 445 示出了轨迹 455 的走向和具有关于路径的曲率走向 456 的坐标系。轨迹 455 在第一区域中具有不等于零的、恒定的第一曲率值,在中部区域中具有线性上升的曲率并且在末端区域中具有不等于零的、恒定的第二曲率值。第一曲率值和第二曲率值具有不同的符号,因为 S 弯道 445 的弯曲方向在所述路径上的走向中反转。

[0081] 对于弯道出口 447 示出了轨迹 457 的走向和具有关于路径的曲率走向 458 的坐标系。轨迹 457 在第一区域中具有不等于零的、恒定的曲率值,在中部区域中具有线性下降的曲率并且在末端区域中不具有曲率。

[0082] 所示弯道走向仅仅是示例性地选择的。曲率值也可以具有负号。尤其是在非对称弯道 442 和 S 弯道 445 的情况中,曲率走向 454、456 的中部区域也可以线性下降,即一般而言线性地变化。

[0083] 因此,可以将道路走向划分为四个基本元素,即弯道入口 441、弯道出口 447 和具有以相同的(非对称的弯道区段)曲率符号变化的曲率的弯道区段 443 和具有以不同的(S 弯道区段)曲率符号变化的曲率的弯道区段 445。

[0084] 四个基本元素 441、443、445、447 可以分别由三个几何形状组成,其中作为两个不同的曲率值之间的过渡总是设置一个回旋曲线分段,以确保连续的曲率走向。分别单独处理基本元素 441、443、445、447,即借助用于使弯道以合适的方式相交的算法求得一个轨迹,并且相应于路段走向使所述轨迹彼此连接。为了确保无缝的和平滑的过渡,对于各个基本元素 441、443、445、447 的处理必须遵守一定的附加条件。

[0085] 图 5 以弯道入口为例示出弯道相交。

[0086] 在图上部中示出了轨迹 528、规划的相交轨迹 530 和横向偏移 532。轨迹 528 可以相应于真正的弯道走向,例如沿着车道中间。轨迹 528 划分为三个区段,其中第一区段不具有曲率,第二区段具有线性上升的曲率并且第三区段具有恒定的、最大的曲率。相交轨迹 530 的最大曲率小于轨迹 528 的最大曲率。偏移 532 在弯道末端的方向上增大并且在两个轨迹 528、530 的终点处具有值  $A_s$ 。

[0087] 横轴表示弧长  $s$ 。这适用于曲率走向 570、572 但不适用于轨迹 528、530。

[0088] 在图下部中示出了一个坐标系,在所述坐标系中横轴表示路径  $s$ ,纵轴表示曲率  $k$ 。示出了第一区段 561、第二区段 562 和第三区段 563,它们可以相应于轨迹 528 或者相交轨迹 530 的相应区段。在所述坐标系中,对于轨迹 528 绘制了曲率走向 570,并且对于相交轨迹 530 绘制了曲率走向 572。在第一区段 561 中两个曲率走向 570、572 等于零。典型地,相交轨迹 530 的曲率走向 572 的直线的长度在第一区段 561 中比轨迹 528 的曲率走向 570 的直线的长度短。在第二区段 562 中曲率走向 570 具有比曲率走向 572 更小的斜率。在第

三区段 563 中示出了对应于规划的相交轨迹 530 的曲率走向 570 中的最大弯道曲率相对于曲率走向 572 的减小 575。

[0089] 为了确定相交轨迹 530, 可以首先定义在顶点中所追求的偏移  $A_s$  532 并且随后定义第三区段 563 中的最大曲率走向或者圆弧的长度。由此出发能够确定第二区段 562 中的曲率走向和回旋曲线分段的长度并且最后确定第一区段 561 中的直线分段的长度, 从而遵守确定的附加条件, 并且轨迹 528、530 的起始区段在偏移和角度方向方面相符。

[0090] 为了实现弯道顶点处的确定的偏移值 532, 因此例如对于由直线、回旋曲线和圆弧组成的基本元素——弯道入口可以改变三个分段的长度以及回旋曲线或者圆弧的曲率, 如在图 5 中示出的那样。

[0091] 弯道顶点中所分别追求的偏移值  $A_s$  532 可以取决于弯道速度和弯道的最大曲率。为了得到所示的弯道走向 530, 必须遵守以下条件。作为第一条条件适用: 完成规划的基本元素可以无缝地接入轨迹走向中。另一个条件是, 接缝位置处的过渡分别是平滑的, 这意味着相交轨迹应在车辆中实现与道路中间上的轨迹相同的偏航角变化。此外, 转向角应仅仅遵循自然运动, 即转向角走向应在时间中连续地并且近似线性地、即以相同的转向速度上升和下降。此外, 所规划的相交弯道应基本上反映路段走向, 以便确保相交轨迹 530 的有意义的走向。作为最后的标准适用: 弯道相交以确保减小的曲率和转向运动进行并且车辆在此在任何时刻都不离开车道。

[0092] 在图 5 中在区段 561、562、563 中示出了对各个弯道区段和轨迹走向 530 的作用。在第三区段 563 中使最大的弯道入口曲率减小并且使分段长度保持不变 (相交轨迹的类似走向)。作为结果, 在第二区段 562 中回旋曲线分段延长, 以便确保接缝位置处的平滑走向 (相同的偏航角)。第一区段 561 中的直线分段缩短, 由此实现测定的偏移点。所述弯道区段中的唯一可自由参数化的值是第三区段 563 中的圆弧的长度和弯道顶点中所期望的偏移 532 的长度  $A_s$ 。总是存在具有减小的最大弯道曲率的解。

[0093] 轨迹规划可以将需遵守的与车道中间的横向距离、所规划的轨迹曲率和所规划的相对于道路中间的角度作为新的预给定传输给 LKS 调节器。还可以通过来自车辆内部的视频传感机构的车道信息来校正这些数据, 以便补偿具有错误的地图信息。

[0094] 当车辆跟随所规划的弯道时, 在较小的曲率和 (因此) 较小的转向运动的情况下实现较大的横向偏离。这还实现电转向执行机构的较小转向开销。

[0095] 图 6a 和 6b 针对本发明的其他实施例, 其中进行弯道的起动。进行弯道的起动以便使轨迹半径最小化, 在必要时借助相交, 如在其他实施例中描述中的那样。

[0096] 图 6a 示出根据本发明的一个实施例的弯道轨迹 630 的示意图, 其中进行弯道的起动。在此进行弯道的起动, 以便得到整个弯道轨迹的曲率最小化。在位置 631 进行右转向, 以便达到车道的外部位置 632。此外示出一个内顶点 633。在弯道末端 634 进行弯道的最外驶出并且随后返回 635 车道中间。由此与没有起动相比可以实现进一步曲率最小化。

[0097] 以下阐述边界条件和附加条件: 为什么以及怎样以四个基本元素处理各个分段 (直线、回旋曲线、圆弧) 以及由此得到哪些结果。

[0098] 基本元素由六个参数  $(s_1, k_1)$ 、 $(s_2, k_2)$  和  $(s_3, k_3)$  组成。通过改变这些参数从路段走向出发产生满足  $x-y$  和  $s-k$  走向的所要求的条件的轨迹, 如在图 7 中示出的那样。

[0099] 图 6b 示出根据本发明的另一实施例在图 6a 中示出的弯道轨迹 630 的另一示意

图。

[0100] 示出了具有两个通过中线分开的车道的道路区段。所述道路区段具有一个弯道。弯道轨迹 630 就位置而言在弯道外车道上延伸。此外示出了相交轨迹 330, 其可以根据借助图 3 说明的实施例确定。在所述弯道中标出了真正的弯道的开始 KA 和弯道的结束 KE。在弯道轨迹 630 上绘制了起始点 A、曲率的第一拐点 WP1、第一底点 FP1、弯道的顶点 IP、第二底点 FP2 和曲率的第二拐点 WP2。

[0101] 有效的轨迹半径可以通过如下方式减小: 弯道轨迹 630 的底点 FP1、FP2 不是位于车道的中间(如其是在图 3 中示出的那样)而是尽可能接近道路的外边缘, 从而进行连接的弯道轨迹 630 得到更大的半径。为此必须将底点 FP1、FP2 同时置于弯道的开始 KB 前面和结束 KE 后面并且因此虚拟地延长弯道。底点 FP1、FP2 相应地同时是最接近道路外侧的轨迹点。距离是可参数化的, 或者例如也可由驾驶员调节。弯道的顶点 IP 中的距离也是同样的, 在那里车辆最接近相邻的车道(类似于相交轨迹 330 的顶点的确定)。

[0102] 由道路的拓扑得出最终如何选择和设置点 A、FP、E 等。目的是: 在所述边界条件下使最终行驶的弯道轨迹 630 的最大轨迹曲率最小化。

[0103] 因此, 整个轨迹附加地分别包含由点 A 和 WP1 限定的摆出分段和由点 WP2 和 E 限定的恢复分段。摆出分段涉及弯道的起动, 其中首先背离主弯道方向行驶, 以便到达道路外边缘。对于恢复到车道的中间同上。

[0104] 因此, 用于驶过主弯道的弯道分段(即曲率的第一拐点 WP1 和第二拐点 WP2 之间)也经过比弯道自身更长的较大圆弧。以弯道分段表示的分段也可以通过一个或者多个回旋曲线分段或者其他功能段表示。在图 6 中描述的起动方法也可以用作类似地作为扩展的其他实施例。在此, 相交轨迹 330 通过具有其附加的回旋曲线分段和圆弧分段的弯道轨迹 630 替代。

[0105] 图 7 示出用于阐述边界条件和附加条件的示意图。在上部区域中示出了车道中间 328 的 x-y 走向和所规划的轨迹 330 的走向。在下部区域中示出了具有车道中间 328 的弯道走向 570 和所规划的轨迹 330 的弯道走向 572 的 s-k 走向。

[0106] 在所观察的基本元素的起始和结束处必须满足关于在前的/随后的基本元素的连接条件。如下得出所述方法。在一条弯道中, 根据曲率分段(直线、回旋曲线、圆弧)辨识基本元素。修改弯道入口, 其方式是, 使曲率最小化以及匹配分段长度。因此, 实现所计算的顶点作为弯道入口轨迹的终点, 如其在图 8 中示出的那样。

[0107] 图 8 示出 x-y 坐标系中的轨迹规划, 其中所规划的轨迹 T 330 来自路段 S 328。其基本前提是: 轨迹 T 具有和路段 S 相同的开始点。为此坐标变换负责确保坐标原点中连续的并且可微分的 x-y 走向。

[0108] 轨迹的终点 T 由在路段 S 的终点上在直角中最大的横向偏移的矢量相加产生, 即

$$[0109] \quad x_T - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.8)$$

$$[0110] \quad y_T - (y_s + A_y) = 0 \quad (4.9)$$

[0111] 在此,  $A_x$  和  $A_y$  是 x-y 坐标系中  $A_{s, \max}$  的分量并且定义为

$$[0112] \quad A_x = -\operatorname{sgn}(\kappa_3) \cdot \sin(\Psi_E) \cdot A_{s, \max} \quad (4.10)$$

$$[0113] \quad A_y = \operatorname{sgn}(\kappa_3) \cdot \cos(\Psi_E) \cdot A_{s, \max} \quad (4.11)$$

[0114] 其中  $\Psi_E$  表示基本元素中路段的终点处的偏航角。应在附加的假设下解这些方程:

新的顶点 T 上的偏航角与老的顶点 S 上的偏航角相同。此外所述假设是重要的,以便得到基本元素中的弯道形状和轨迹规划的模块性。为了优化,给予弯道的下一部分顶点中的偏移和圆弧的新的曲率。接下来的弯道部分的优化考虑这些值并且以匹配的分段长度自己计算顶点处的新的曲率。

[0115] 如下得出 x-y 走向的附加条件。最大的偏移应位于轨迹的顶点中并且还应取决于所期望的横向加速和人的因素。顶点的位置通过路段走向划分成基本元素来预给定。由先证行驶得知,在绝大多数情况下在圆弧分段的中间已经达到最大的横向偏移。根据所述观察确定基本元素并且因此也确定轨迹的顶点。顶点的位置可参数化,以便能够使轨迹规划适应于不同的需求/驾驶员类型。作为用于调节轨迹形状的调整参数可以考虑选择圆弧长度。合适的是,总是使对弯道形状影响最大的、即具有最大曲率的那个分段的长度保持恒定。如果不讨论其他条件的自由度,则可以根据基本元素补充地考虑这些条件。

[0116] 必须在 s-k 走向中阐述的附加条件是最大曲率的减小。所述条件以

$$[0117] \quad \kappa_3 < \kappa_3^s \quad (4.12)$$

[0118] 实现,其中  $\kappa_3^s$  是第三路段的曲率。此外,由 RAS 的预给定得到曲率走向中的连续性,因此

$$[0119] \quad \kappa_2 < \kappa_3 \quad (4.13)$$

[0120] 由路段走向和(因此)轨迹走向划分为四个基本元素得到所述边界条件。为了能够将其彼此连续地连接,必须在 x-y 走向和在 s-k 走向中采取以下措施。轨迹的 x-y 走向必须如路段那样是连续的而且可微分的,如其在图 9 中示出的那样。方程 (4.8) 和 (4.9) 的满足确保连续的走向。通过随后的基本元素 901 的轨迹的 x-y 走向角度正确地与在前的基本元素 903 衔接来实现可微分性。这些要求在图 10 中针对 s-k 走向示出。

[0121] 图 10 示出轨迹的 x-y 走向中的边界条件。方程 (4.8) 和 (4.9) 的满足确保连续的走向。通过随后的基本元素 901 的轨迹的 x-y 走向角度正确地与在前的基本元素 903 衔接,实现可微分性。

[0122] s-k 走向应是连续的,由此第一曲率值  $\kappa_1$  以在前的基本元素的终点曲率确定。

[0123] 此外,轨迹必须扫过与基本元素的路段相同的偏航角,由此角度正确地调节基本元素的起始点和终点。所述条件可在 s-k 走向中简单地实现,因为对于偏航角有:

$$[0124] \quad \psi = \int_0^l \kappa(s) ds \quad (4.14)$$

[0125] 其中  $l$  描述当前的曲率走向的长度。这在弯道入口的情形中意味着:  $\kappa_2$  下的三角形和  $\kappa_3$  下的四边形必须共同具有与  $\kappa_2^s$  和  $\kappa_3^s$  下的面积相同的面积。得出:

$$[0126] \quad \int_0^l \kappa(s) ds - \int_0^{l^s} \kappa^s(s) ds = 0 \quad (4.15)$$

[0127] 其中  $l = \sum_i S_i$  适用于轨迹而  $l^s = \sum_i S_i^s$  适用于路段,其中  $i = 1, 2, 3$ 。

[0128] 因此,一般性地确定了轨迹的条件。其分别如下匹配于各个基本元素中的应用。

[0129] 以下单独论述四个基本元素。分别三个分段中的每一个必须根据设置的边界条件和附加条件在长度和终点曲率方面变化,更确切地说,如此变化,使得这些条件可以一致地

应用于四个元素。在这里描述了这些条件向算法的转换。

[0130] 首先描述基本元素——弯道入口的轨迹规划。

[0131] 弯道的第一部分总是弯道入口,其由具有参数  $(s_1^s, k_1^s)$  的直线、具有  $(s_2^s, k_2^s)$  的回旋曲线和具有  $(s_3^s, k_3^s)$  的圆弧组成。这三个分段以终点曲率和长度描述,从而可以计算完整的弯道入口轨迹的笛卡尔坐标和偏航角。这里应注意,在构造基本元素时第一和第三分段长度减半,由此可以在弯道入口前面和后面长度正确地衔接弯道区段并且由此弯道顶点位于圆弧的一半上并且表示轨迹的终点。

[0132] 问题现在在于,寻找作为开始点具有坐标原点和作为终点具有点  $\begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$  的轨迹,即

$$[0133] \quad x_T - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.16)$$

$$[0134] \quad y_T - (y_s + A_y) = 0 \quad (4.17)$$

[0135] 其中,  $x_T = f_x(s_1, s_2, s_3, k_3)$  并且  $y_T = f_y(s_2, s_3, k_3)$ , 这意味着满足 x-y 走向中的连续性的边界条件。

[0136] 参数  $k_1$  已经基于附加条件确定为  $k_1 = 0$ , 此外  $k_2 = k_3$ 。

[0137] 一个边界条件是: 轨迹终点中的偏航角等于路段的偏航角, 参见方程 (4.14)。所述条件可以变形为

$$[0138] \quad 0.5 \cdot s_2 \cdot k_3 + s_3 \cdot k_3 - 0.5 \cdot s_2^s \cdot k_3^s - s_3^s \cdot k_3^s = 0 \quad (4.18)$$

$$[0139] \quad s_2 = 2 \left( \frac{k_3^s}{k_3} (0.5 \cdot s_2^s + s_3^s) - s_3 \right) \quad (4.19)$$

[0140] 因此满足所有迄今的边界条件和附加条件。保留  $y_T = f_y(k_3, s_3)$ 。

[0141] 圆弧  $s_3$  的长度保留为自由参数并且被如此调节, 使得轨迹形状相似于弯道的形状, 由此

$$[0142] \quad s_3 = s_3^s \quad (4.20)$$

[0143] 现在寻找曲率值  $k_3$  和长度值  $s_1$ , 它们是方程

$$[0144] \quad y_T(k_3) - (y_s + A_y) = 0 \quad (4.21)$$

$$[0145] \quad x_T(s_1) - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.22)$$

[0146] 的解。

[0147] 函数  $f_y$  对于三元组  $s_2, s_3, k_3$  具有唯一的解。由此,  $x_T = f_x(s_1)$ 。在满足方程 (4.17) 之后, 于是可以通过  $s_1$  明确地调节轨迹的正确的 x 值, 因为其对 y 值没有影响。

[0148] 可以由  $s_1^s$  的长度得出的限制是: 不能达到预给定的横向偏移。其必须至少如此长, 使得其可以用于弯道的相交。如果观察方程 (4.19), 则原因是显而易见的。偏航角条件说明: 随着  $k_3$  变小, 回旋曲线的长度  $s_2$  一定增大。通过弯道相交使基本元素的总长度缩短, 这导致  $s_1$  的附加缩短。因此长度  $s_1$  用于确定顶点偏移的弯道典型的上限  $A_{s, \max}$ 。

[0149] 为了解方程 (4.21), 作为可变的参数保留参数  $k_3$ , 其为了零点寻找而设定到开始值

$$[0150] \quad k_3^s = k_3^s \quad (4.23)$$

[0151] 零点寻找作为边界条件得到  $k_3 < k_3^s$ 。

[0152] 图 11 作为弯道入口 1101 的轨迹规划的结果示出相对横向偏移 1102、曲率走向

1003 和偏航角走向 1104。

[0153] 以下说明基本元素——弯道出口的轨迹规划。

[0154] 弯道出口与弯道入口镜像对称地由分段——圆弧、回旋曲线和直线的彼此连接组成。为了使编程开销保持得低,变换弯道出口的轨迹寻找的问题并且将其作为弯道入口处理,其方式是,交换第一分段和第三分段并且相应地转动回旋曲线。将所述分段参数化为直线  $(s_1^s, k_1^s)$ 、回旋曲线  $(s_2^s, k_2^s)$  和圆弧  $(s_3^s, k_3^s)$ 。

[0155] 因为对于 LKS 调节器必须确定路径上的新的偏移,所以需要在轨迹规划之后向回变换偏移矢量和路径矢量。为此,从后向前转储矢量。附加地必须使路径矢量消除偏置,从而第一项位于坐标原点。这相应地适用于曲率数据和偏航角数据。

[0156] 用于确定弯道出口轨迹的方法与弯道入口处的方法的不同在于,在这里弯道顶点中的偏移  $A_{s, \max}$  和最小化的曲率  $k_3$  已经预给定。仅仅需对轨迹提出以下条件:在弯道出口前面和后面实现与弯道区段的连续的且平滑的过渡。两个曲率参数已经以  $k_1 = 0$  和  $k_2 = k_3$  预给定。

[0157] x-y 走向中的连续性的满足得出

$$[0158] \quad x_T - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.24)$$

$$[0159] \quad y_T - (y_s + A_y) = 0 \quad (4.25)$$

[0160] 其中  $x_T = f_x(s_1, s_2, s_3)$  并且  $y_T = f_y(s_2, s_3)$ 。

[0161] 相交轨迹的变换的起始点必须位于弯道中间迹线的直线分段上,终点必须位于弯道顶点上,即在前的弯道区段的终点上。

[0162] 为了满足偏航角条件考虑参数  $s_2$ 。得出

$$[0163] \quad 0.5 \cdot s_2 k_3 + s_3 k_3 - 0.5 \cdot s_2^s k_3^s - s_3^s k_3^s = 0 \quad (4.26)$$

$$[0164] \quad s_2 = 2 \cdot \left( \frac{k_3^s}{k_3} (0.5 \cdot s_2^s + s_3^s) - s_3 \right) \quad (4.27)$$

[0165] 如在弯道入口的情形中那样,在明确地根据  $s_1$  解方程 (4.25) 之前,基于方程 (4.25) 与参数  $s_1$  的无关性解所述方程。

[0166] 则可以借助以下开始条件来初始化 (4.25) 中的零点寻找

$$[0167] \quad s_3^* = s_{3,0} \quad (4.28)$$

[0168] 在通过解 (4.25) 找到  $s_2$  和  $s_3$  之后,可以通过解 (4.24) 来求得  $s_1$ 。

[0169] 图 12 作为轨迹规划的结果示出路线 1201、相对横向偏移 1202、曲率走向 1203 和偏航角走向 1204。

[0170] 以下说明基本元素——非对称弯道的轨迹规划。

[0171] 作为非对称弯道这里指具有逐段恒定的、不等于零的曲率走向。所使用的几何元素是圆弧  $(s_1^s, k_1^s)$ 、回旋曲线  $(s_2^s, k_2^s)$  和第二圆弧  $(s_3^s, k_3^s)$ 。在此曲率  $k_1^s$  和  $k_3^s$  具有相同的符号。作为基本方程再次选择 x-y 走向的连续性条件,即

$$[0172] \quad x_T - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.29)$$

$$[0173] \quad y_T - (y_s + A_y) = 0 \quad (4.30)$$

[0174] 其中  $x_T = f_x(s_1, s_2, s_3)$  并且  $y_T = f_y(s_1, s_2, s_3, k_3)$ 。

[0175] 轨迹的第一圆弧段中的曲率  $k_1$  已经由在前的轨迹区段预给定。在  $(s_1, s_2, s_3, k_3)$

中保留四个自由度,以便产生相交弯道。作为条件,除以上 x-y 走向和 s-k 走向中的连续性条件以外,保留偏航角条件和应保持弯道形状的要求。现在必须彼此相关地确定两个方程的参数。

[0176] 轨迹的起始点是在前的相交轨迹的顶点,终点是新的顶点,其借助于  $A_{s, \max}$  确定。

[0177] 偏航角条件得出

$$[0178] \quad s_1 k_1 + 0.5 \cdot s_2 (k_1 + k_3) + s_3 k_3 - s_1^s k_1^s - 0.5 \cdot s_2^s (k_1^s + k_3^s) - s_3^s k_3^s = 0 \quad (4.31)$$

$$[0179] \quad s_2 = \frac{2s_1^s k_1^s + s_2^s (k_1^s + k_3^s) + 2s_3^s k_3^s - 2s_1 k_1 - 2s_3 k_3}{k_1 + k_3} \quad (4.32)$$

[0180] 非对称弯道或者涉及收窄的弯道或者涉及敞开的弯道。为了满足轨迹应具有与道路类似的走向的条件,在具有  $|k_1^s| < |k_3^s|$  的收窄的弯道的情况下  $s^3$  中最后保留的自由度确定为

$$[0181] \quad s_3 = s_3^s. \quad (4.33)$$

[0182] 替代地,在具有  $|k_1^s| > |k_3^s|$  的敞开的弯道的情况下使用参数  $s_1$ ,由此得出

$$[0183] \quad s_1 = s_1^s. \quad (4.34)$$

[0184] 所述自由度可以如对于弯道驶入那样用作调整参数,以便附加地使用于先证行驶的所规划的轨迹可参数化。

[0185] 借助于二维的零点寻找解方程组 (4.29) 和 (4.30)。

$$[0186] \quad x_T(s_1, \kappa_3) - (x_s + A_x) = 0$$

$$[0187] \quad (4.35)$$

$$[0188] \quad y_T(s_1, \kappa_3) - (y_s + A_y) = 0$$

[0189] 由此对于收窄的弯道的情形得出用于  $s_1$  和  $k_3$  的零点寻找,具有以下起始条件

$$[0190] \quad s_1^s = s_1^s \quad (4.36)$$

$$[0191] \quad \kappa_3^s = \kappa_3^s \quad (4.37)$$

[0192] 在考虑附加条件  $k_3 < k_3^s$  的情况下解所述方程。

[0193] 如在弯道入口的情形中那样,第二圆弧分段的长度  $s_3$  已经确定为长度  $s_3^s$ 。此外通过减小的曲率  $k_3$  尝试达到一个确定的 x-y 坐标值。在此还必须引入另一个参数,类似于弯道出口,其是第一圆弧分段的长度  $s_1$ 。

[0194] 如在以上两种情况中那样,通过回旋曲线的长度  $s_2$  调节正确的偏航角。非对称弯道的零点寻找由两个变量中的零点寻找组成,其中问题的解决由弯道驶入和弯道驶出的问题解决的综合组成。

[0195] 图 13 作为非对称弯道 1301 的轨迹规划的结果示出一个收窄的弯道的相对横向偏移 1302、曲率走向 1303 和偏航角走向 1304。

[0196] 以下说明基本元素 S 弯道的轨迹规划。

[0197] S 弯道与非对称弯道的不同在于,两个圆弧的曲率具有不同的符号。所述弯道以圆弧  $(s_1^s, k_1^s)$ 、回旋曲线  $(s_2^s, k_2^s)$  和第二圆弧  $(s_3^s, k_3^s)$  参数化。

[0198] 作为基本方程再次选择 x-y 走向的连续性条件,即

$$[0199] \quad x_T - (x_s + A_x) = 0 \quad (4.38)$$

[0200]  $y_T - (y_s + A_y) = 0$  (4.39)

[0201] 其中  $x_T = f_x(s_1, s_2, s_3)$  并且  $y_T = f_y(s_1, s_2, s_3, k_3)$ 。

[0202] 在在前的轨迹区段中已经确定轨迹的第一圆弧段的曲率  $k_1$ 。保留四个自由度 ( $s_1, s_2, s_3, k_3$ ), 以便产生轨迹。除在 x-y 走向和 s-k 走向中的连续性条件以外, 其他条件是偏航角条件和应保持的弯道形状的条件。所述条件的阐述与在前的阐述不同, 因为在 S 弯道的情况下圆弧段在曲率走向和在 x-y 走向中经常是近似点对称的。因此, 在其他长度可能改变时使回旋曲线长度保持恒定是没有意义的, 因为由此轨迹形状会与弯道形状显著偏差。必须如在非对称弯道的情形中那样再次彼此相关地确定两个方程的参数。

[0203] 一个自由度负责满足偏航角条件。其必须平滑, 使得

[0204]  $F = s_1 k_1 + 0.5 \cdot s_2 (k_1 + k_3) + s_3 k_3$  (4.40)

[0205]  $F^s = s_1^s k_1^s + 0.5 \cdot s_2^s (k_1^s + k_3^s) + s_3^s k_3^s$  (4.41)

[0206]  $F = F^s$  (4.42)

[0207] 其中 F 和  $F^s$  关于路径的曲率走向的积分。下一个自由度用于满足相交弯道粗略地保持路段的条件的条件。使圆弧分段的长度具有以下关系

[0208]  $\frac{s_1}{s_1^s} = \frac{s_3}{s_3^s}$  (4.47)

[0209]  $s_3 = \frac{s_1}{s_1^s} s_3^s$  (4.48)

[0210] 现在如果将方程 (4.40)、(4.41) 和 (4.48) 代入 (4.42), 则作为  $s_2$  和  $k_3$  的函数得到第一圆弧分段的长度

[0211] 
$$s_1 = \frac{s_1^s k_1^s + 0.5 \cdot s_2^s (k_1^s + k_3^s) + s_3^s k_3^s - 0.5 \cdot s_2 (k_1 + k_3)}{k_1 + \frac{s_3^s}{s_1^s} k_3}$$

(4.49)

[0212] 如果在所述方程中分母为零, 则根据  $k_3$  解方程 (4.42), 这阻止不连续点的存在。由此自由的参数改变, 并且  $k_3 = h(s_2, s_1)$ 。

[0213] 剩余的两个自由度用于满足 x-y 走向中的连续性条件。这导致方程

[0214]  $x_T(s_2, k_3) - (x_s + A_x) = 0$

[0215] (4.50)

[0216]  $y_T(s_2, k_3) - (y_s + A_y) = 0$

[0217] 由此得出借助以下起始条件的  $s_2$  和  $k_3$  的零点寻找

[0218]  $s_2^* = s_2^s$  (4.51)

[0219]  $k_3^* = k_3^s$  (4.52)

[0220] 在考虑附加条件  $k_3 < k_3^s$  的情况下解所述方程。

[0221] 图 14 作为 S 弯道 1401 的轨迹规划的结果示出相对横向偏移 1402、曲率走向 1403 和偏航角走向 1404。

[0222] 所描述的和在附图中示出的实施例仅仅是示例性选择的。不同的实施例可以完全

地或者关于单个特征彼此组合。一个实施例也可以通过另一个实施例的特征补充。

[0223] 此外,可以重复以及以与所描述的顺序不同的顺序执行本发明的方法步骤。

[0224] 如果一个实施例包括第一特征和第二特征之间的“和 / 或”连接,则这可以理解为,所述实施例根据一种实施方式既具有第一特征也具有第二特征而根据另一种实施方式或者仅仅具有第一特征或者仅仅具有第二特征。

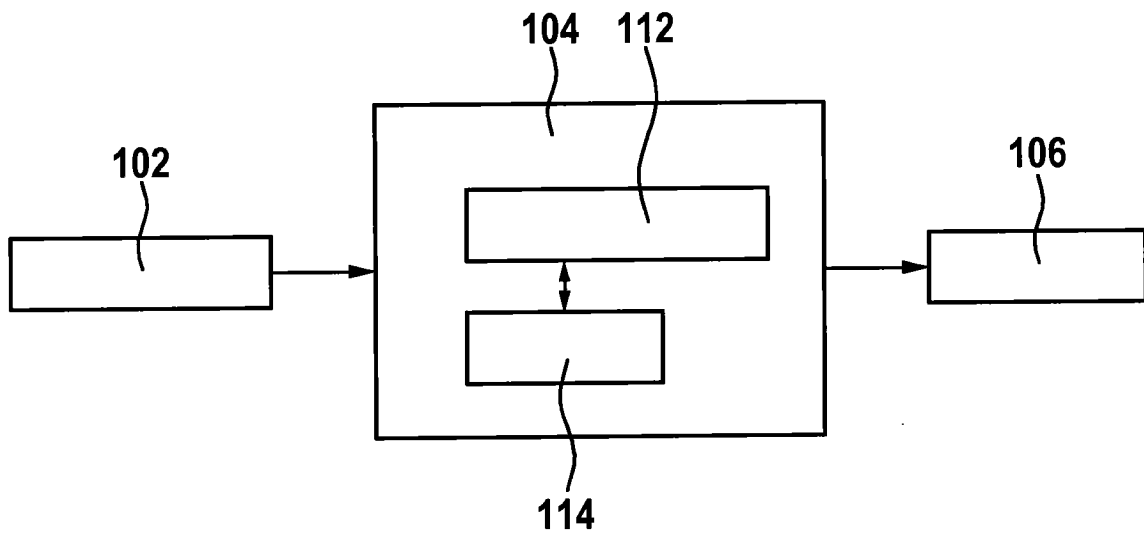


图 1

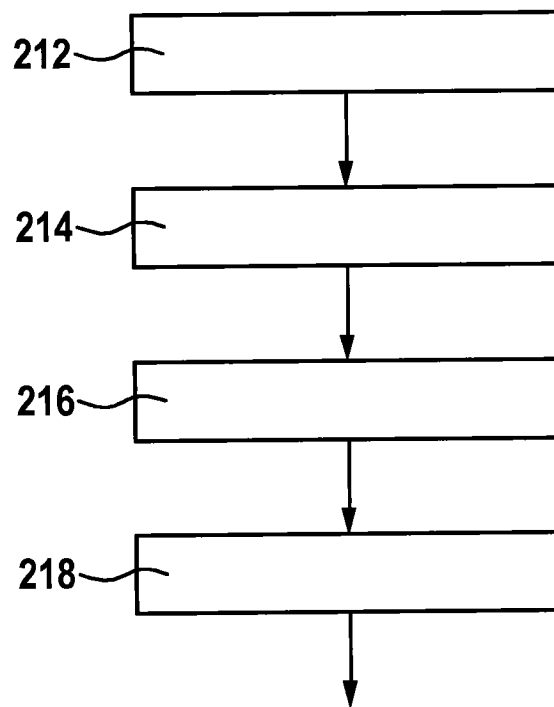


图 2

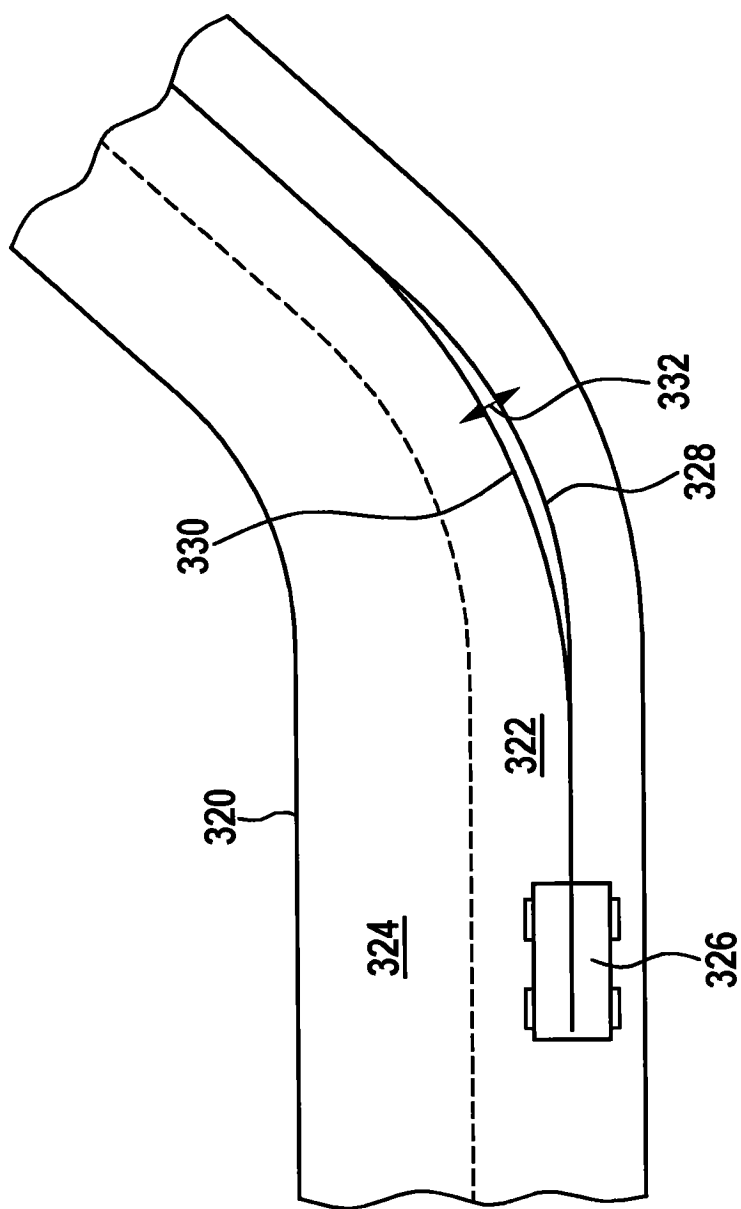


图 3

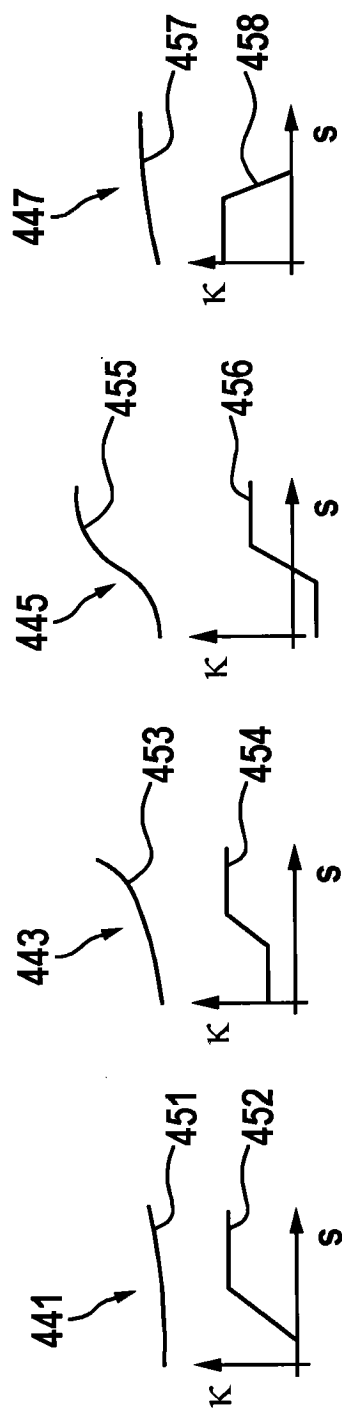


图 4

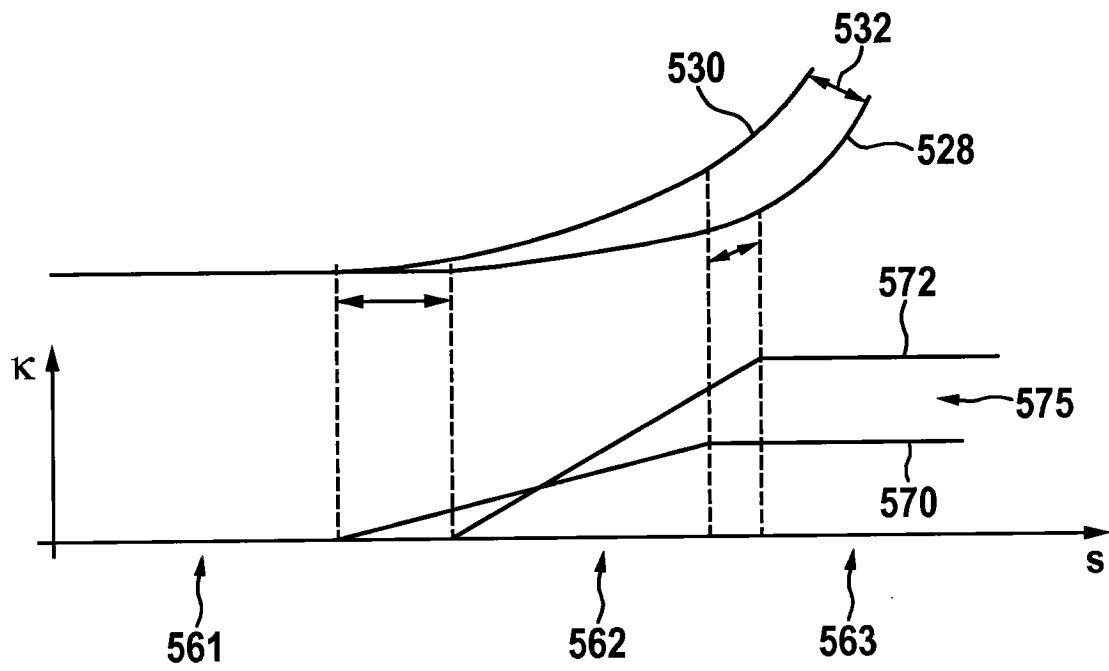


图 5

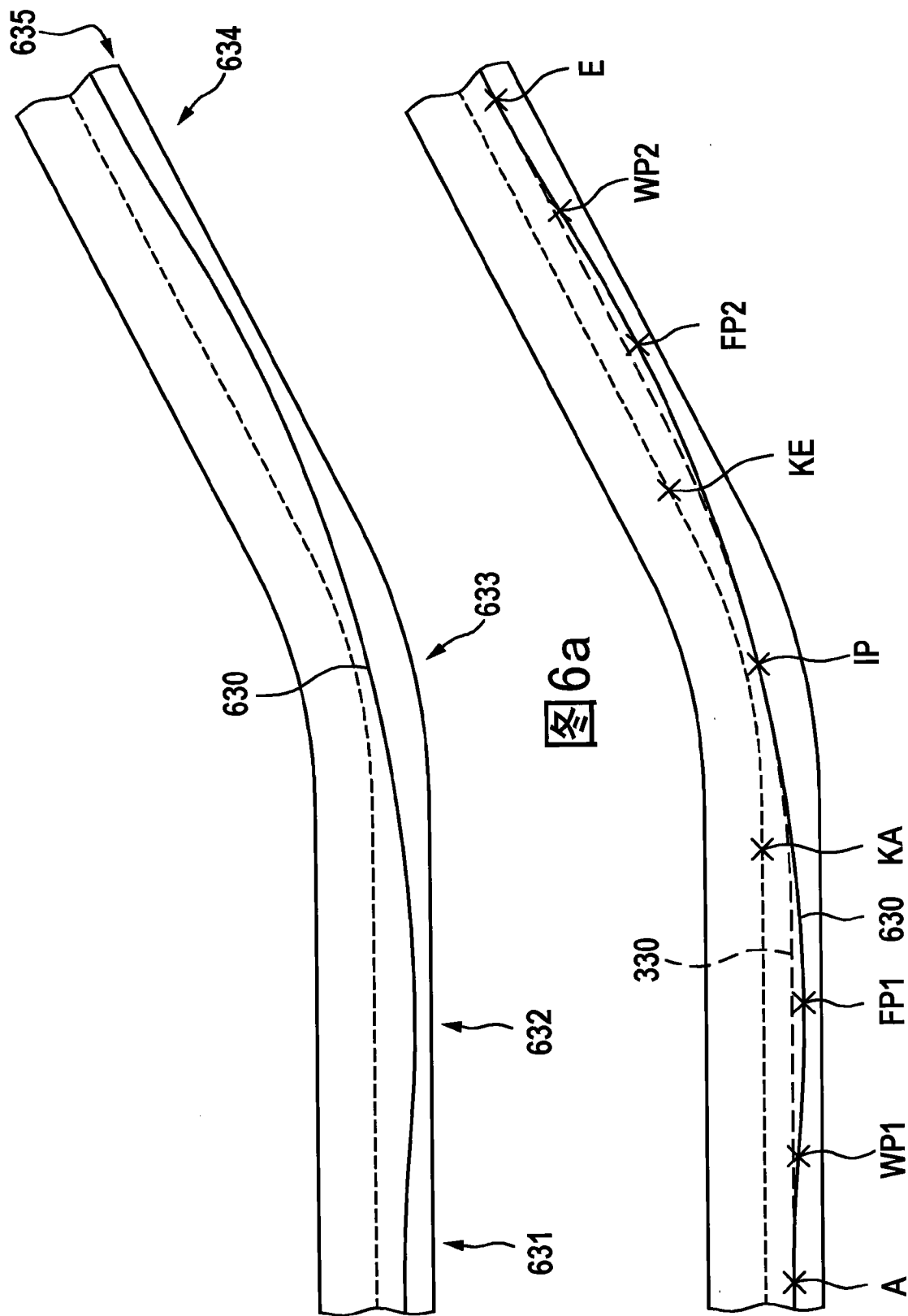


图6a

图6b

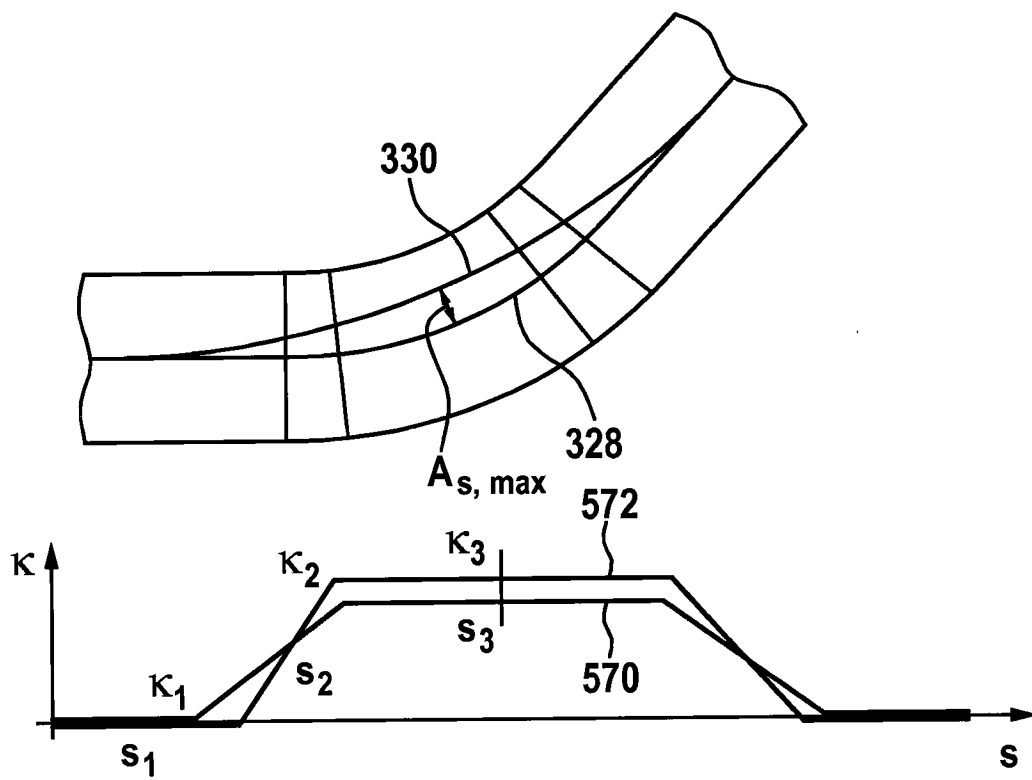


图 7

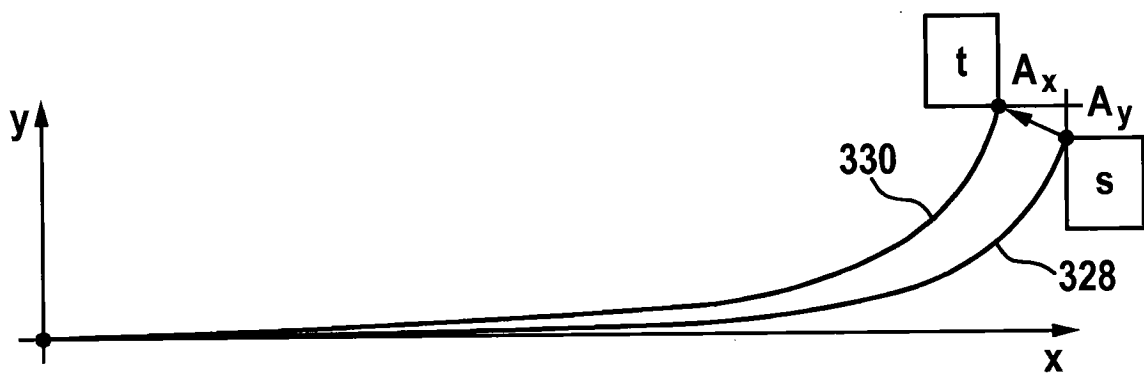


图 8

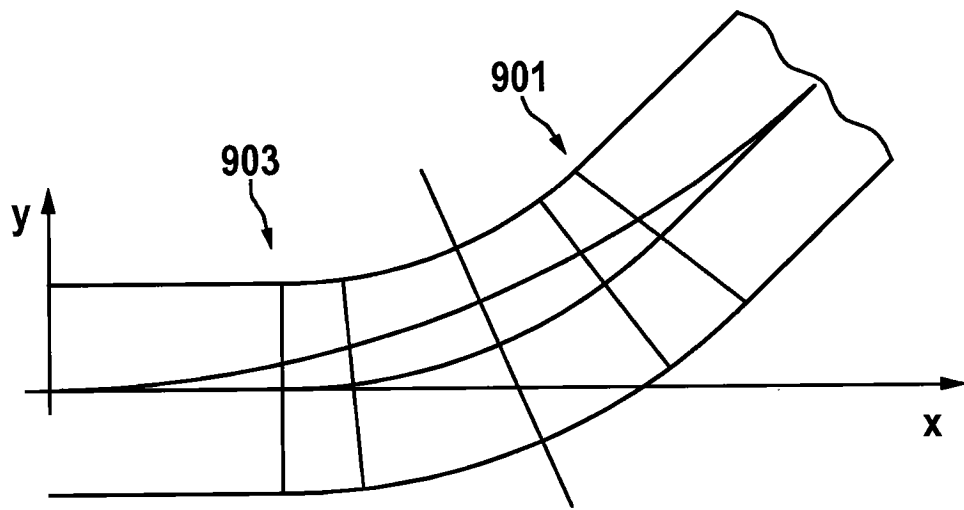


图 9

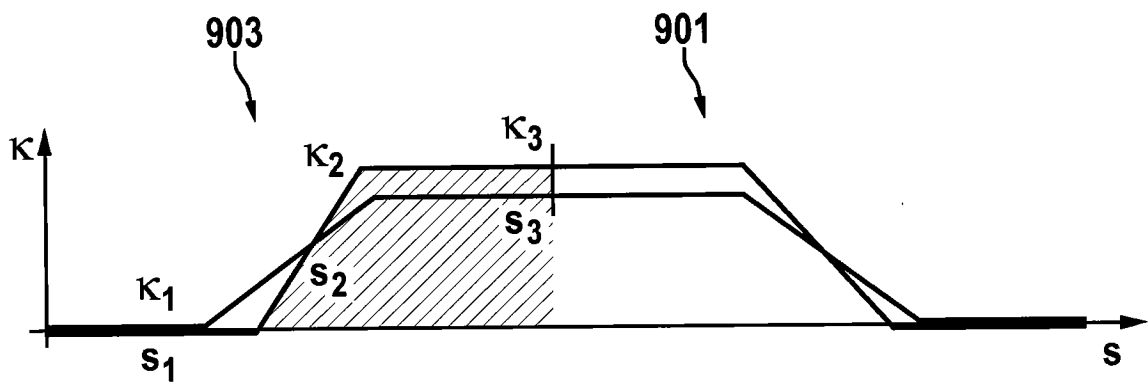


图 10

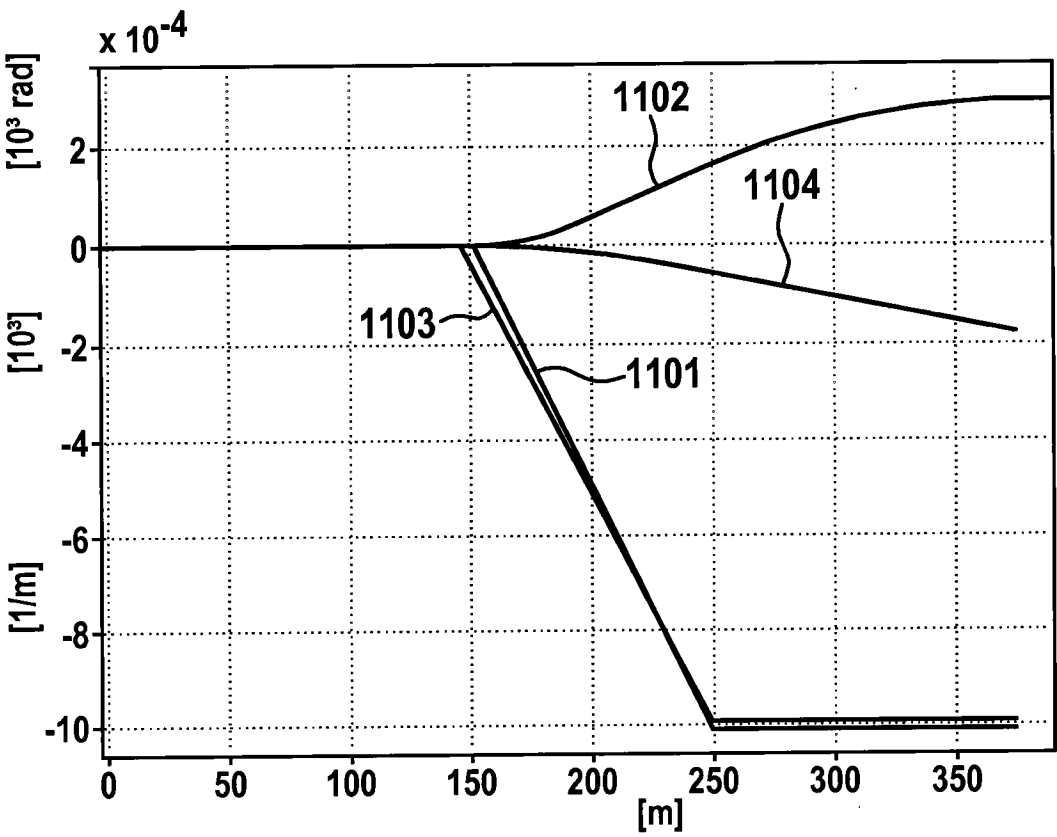


图 11

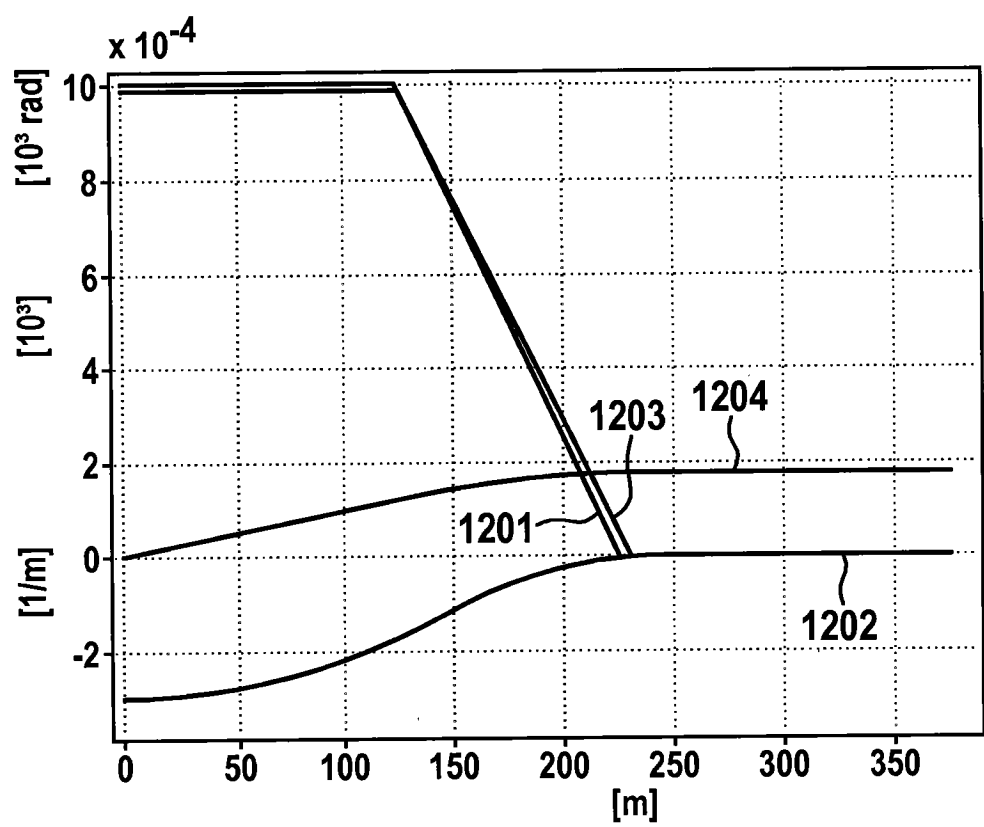


图 12

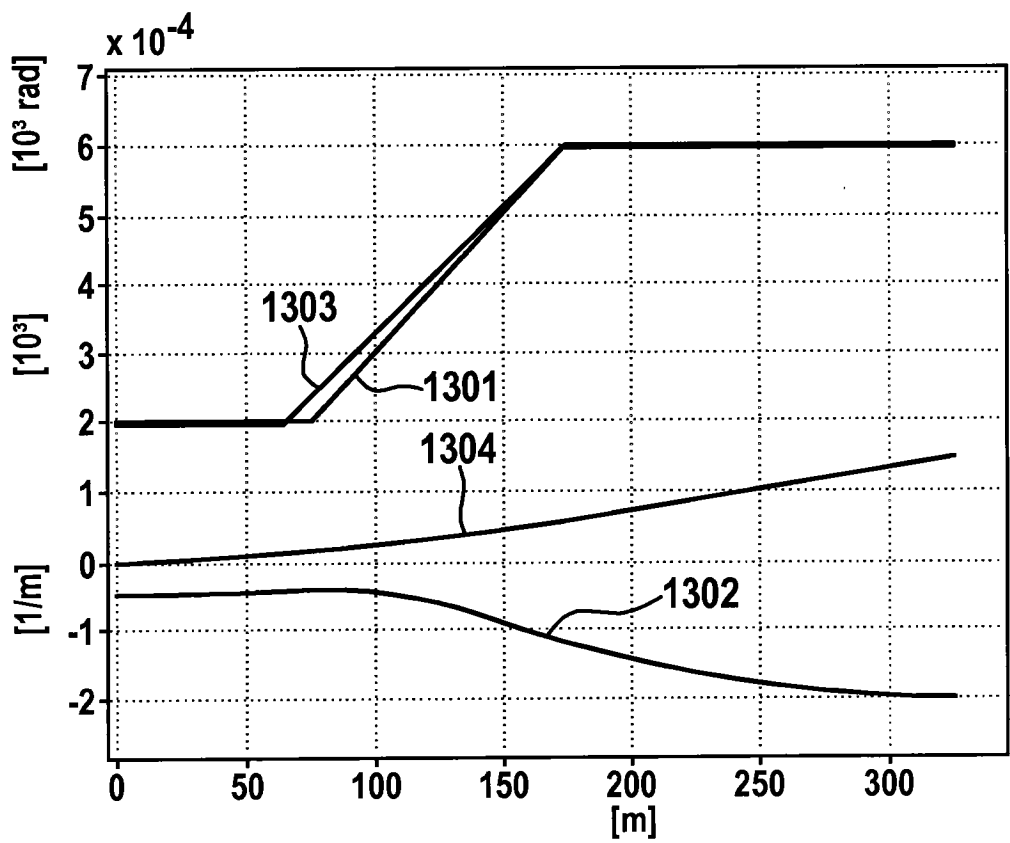


图 13

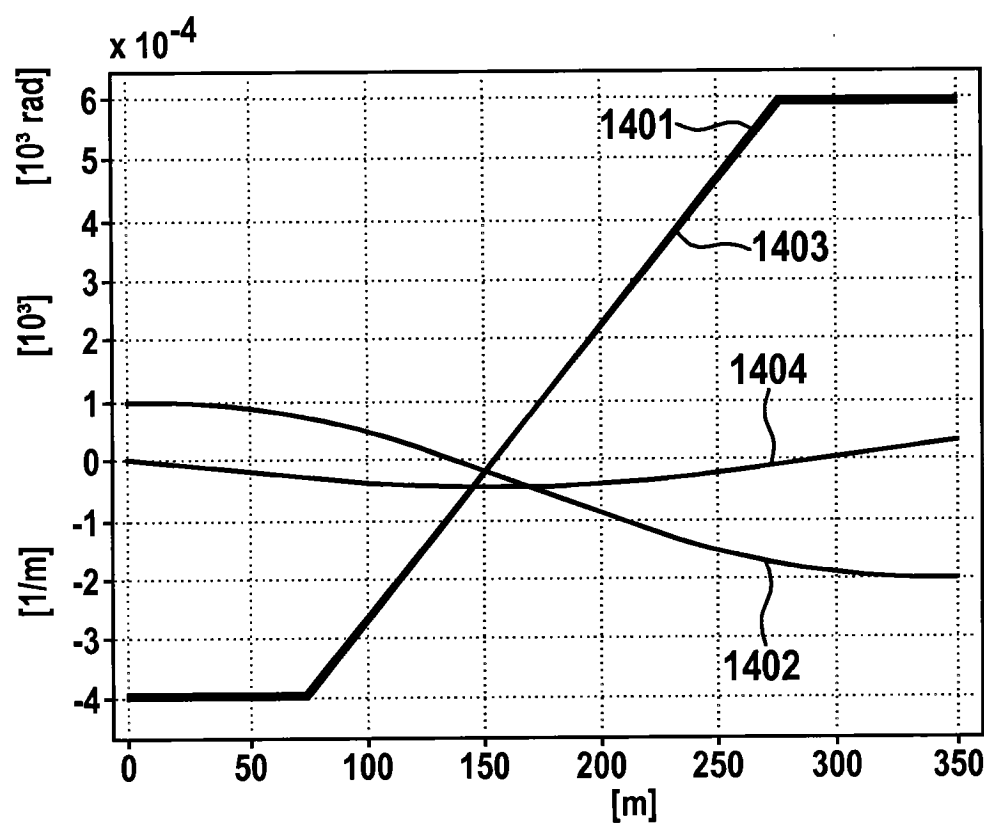


图 14