



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101636304 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 02

(21) 申请号 200880008694. 6

(22) 申请日 2008. 01. 31

(30) 优先权数据

102007013303. 2 2007. 03. 16 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2009. 09. 16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2008/051168 2008. 01. 31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02008/113636 DE 2008. 09. 25

(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 M·斯塔姆普夫尔 C·施米特

W·布兰茨

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 肖日松 梁冰

(51) Int. Cl.

B60W 30/08 (2012. 01)

(56) 对比文件

WO 2006097467 A1, 2006. 09. 21,

DE 102004056120 A1, 2006. 05. 24,

CN 2767268 Y, 2006. 03. 29,

CN 1498803 A, 2004. 05. 26,

US 2004236491 A1, 2004. 11. 25,

审查员 陈彦飞

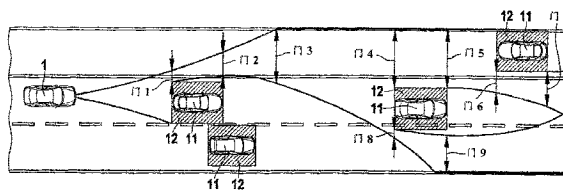
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

用于计算车辆的驾驶策略所用的避撞轨迹的方法

(57) 摘要

一种用于计算车辆、尤其是机动车(1)的驾驶策略所用的避撞轨迹(13)以便避开至少一个在行驶期间接近所述机动车(1)的障碍物(11)的方法。机动车(1)的横向速度独立于机动车(1)的纵向速度地在计算中被考虑。



1. 一种用于计算车辆 (1) 的驾驶策略所用的避撞轨迹 (13) 以避免在行驶期间接近所述车辆 (1) 的至少一个障碍物 (11) 的方法, 其特征在于, 对于下个障碍物, 所述车辆 (1) 的横向速度 (v_y) 不依赖于所述车辆 (1) 的纵向速度地在所述计算中被考虑, 在所述车辆 (1) 的周围空间中根据所述车辆 (1) 的纵向运动和所述至少一个障碍物 (11) 的横向位置而定义封锁区域 (12), 该封锁区域 (12) 由于相当高的与所述障碍物 (11) 碰撞的可能性而不允许被所述车辆 (1) 所驶过, 其中, 针对所述车辆 (1) 的至少几乎每个纵向位置 (x_i) 而计算所述车辆 (1) 的所属的可达到的横向的位置区间 ($y_i^{\text{inf}}, y_i^{\text{sup}}$), 其中, 根据所述至少一个障碍物 (11) 的封锁区域 (12) 而修剪和 / 或限制所述可达到的横向的位置区间 ($y_i^{\text{inf}}, y_i^{\text{sup}}$), 由此得到通行门, 其中, 通过所述通行门而描述了可能的避撞轨迹 (13), 该避撞轨迹 (13) 可被所述车辆 (1) 相应于其预定行驶动力学特性地所达到, 并且, 该避撞轨迹 (13) 无碰撞地在所述至少一个障碍物 (11) 旁绕过。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述封锁区域 (12) 设有附加的安全区域, 该安全区域考虑了所述车辆 (1) 的几何形状及其在由所述避撞轨迹 (13) 的驶过所决定的偏转角下的可能的转动。

3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述避撞轨迹 (13) 由曲率连续的样条和 / 或带有等距的网格点的多角曲线所描述。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 借助优化法而计算穿过所述通行门的所述避撞轨迹 (13), 其中, 所述横向的位置区间 ($y_i^{\text{inf}}, y_i^{\text{sup}}$) 的上边界 (y_i^{sup}) 和下边界 (y_i^{inf}) 作为边界条件而在所述优化法中被考虑。

5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述车辆 (1) 的和 / 或所述至少一个障碍物 (11) 的加速运动在所述避撞轨迹 (13) 的计算中被考虑。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述车辆为机动车。

7. 一种用于车辆 (1) 以用于避免碰撞的方法, 在该方法中, 于在行驶期间接近的障碍物 (11) 的情形下自主或半自主地实施或建议用于避让的所述车辆 (1) 的驾驶策略, 其中, 所述驾驶策略基于借助于根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法所计算的避撞轨迹 (13)。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述车辆为机动车。

9. 一种车辆的驾驶员辅助系统 (2), 用于实施根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法, 带有至少一个用于探测所述车辆 (1) 的周围环境中的障碍物 (11) 的获取装置 (3a, 3b), 并带有控制装置 (6), 该控制装置 (6) 与所述至少一个获取装置 (3a, 3b) 相连接。

10. 根据权利要求 9 所述的驾驶员辅助系统 (2), 其特征在于, 所述车辆为机动车。

用于计算车辆的驾驶策略所用的避撞轨迹的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于计算车辆 (Fahrzeug) 的驾驶策略 (Fahrmanöver) 所用的避撞轨迹 (kollisionsvermeidenden Trajektorie) 的方法。本发明同样涉及一种用于车辆以用于避免碰撞的方法。此外,本发明涉及用于执行或实施这类方法的计算机程序,计算机程序产品和设备。

背景技术

[0002] 文件 DE102004056120A1 涉及一种用于在行驶期间避免碰撞或减轻碰撞后果 (Kollisionsfolgenminderung) 的方法,其中,机动车接近障碍物、尤其是在前方行驶的车辆,其中,在一种方法中至少确定机动车和障碍物之间的相对速度、确定直至用于避免碰撞的避让策略的最迟开始点所仍具有的时间间隔 (作为避让时间间隔),并且依赖于所确定的避让时间间隔而采取避免碰撞的行动或减轻碰撞后果的行动。

[0003] 尤其从机器人学中已知了不同的用于轨迹规划的方法,机器人可借助其而无碰撞地 (kollisionsfrei) 运动经过大量障碍物。在此,其既可为机械臂也可为车辆。该运动可以在二维或三维空间中进行。

[0004] 由实践中已知了这样的方法,其仅考虑静止的障碍物。其它一些方法则可把运动的障碍物也包括在内。所谓的“路标法”将所有的所获取到的障碍物的角点彼此连接并由此构造出关于所有可能的路径 (Pfade) 的标绘图。那么,借助该标绘图可计算出通过带有障碍物的周围环境的路线 (Weg)。例如,一种这类方法在文件 US 2005/0192749A1 中公开。此外,已知了这样的方法,其将整个周围环境划分为不发生碰撞的和会发生碰撞的单元格并选出不发生碰撞的单元格而连接成穿过所存在障碍物的不发生碰撞的路线。然而,这类方法仅适用于静止的障碍物。

[0005] 此外存在有这样的方法,其以与障碍物相关联的虚拟力为基础。如果所有障碍物对机器人产生排斥作用而仅目标点对机器人产生吸附作用,则可构造出类似于电场的势场,通过该势场,通过障碍物的路径可根据所叠加成的合力 (与场的梯度成比例) 被确定。该原理与障碍物是否运动无关,因为路径仅基于针对各个当前时间点的场的所得到的合力而得出。所以,这类方法可类似地用于运动的和不运动的障碍物。在文件 DE 42 07 001 A1 中所描述的机器人引导装置采用了带有节点的阻抗栅 (节点中的每一个都代表可被驶过的 (befahrbar) 周围环境内的单独的和离散的位置) 以及节点之间的连接。带有打开的连线的节点之间的连接会导致在机器人的尝试时的错误、沿着可行驶的 (fahrbar) 路径行驶且可能导致与可被驶过的周围环境内的障碍物的碰撞。

发明内容

[0006] 这样一种根据本发明的方法——该方法用于计算车辆 (尤其是机动车) 的驾驶策略所用的用于避免碰撞或者减轻碰撞后果的轨迹以便避让开在行驶期间接近该机动车的至少一个障碍物,其中,机动车的横向速度以不依赖于机动车的纵向 (longitudinalen) 速

度的方式在计算中被考虑——使得针对交通典型场景的、用于车辆（尤其是机动车）或类似于车辆的可动机器人的非常有效、简单和快捷的轨迹计算成为可能。根据本发明的方法尤其地适合于这样的交通场景，在其中，典型地，在纵向方向上存在有比在横向方向上显著地更高的速度。由此，有利地，轨迹规划可简化成在已知的纵向位置下计算横向位置，该纵向位置从可假定为已知的纵向速度中得出。由此，原本的二维的路线规划被减少了一维，这导致明显的简化并由此导致更快的计算。

[0007] 相应地，建议了这样一种方法，其可针对静止的和运动的障碍物而在二维空间中为本车辆计算轨迹且适合于典型的道路交通的场景和障碍物态势 (Hinderniskonstellationen)。通过限制维数，轨迹可非常有效且简单地被计算。然而原理上，扩展到更多的维数是可设想的。通过假设与纵向速度相比相对较小的侧向的或者说横向的速度，纵向和横向运动学 (Laengs-und Querkinematik) 可在良好的近似下 (in guter Naeherung) 被解耦。因此可相对简单地找到无碰撞地在可能的障碍物旁绕过 (vorbeifuehren) 的轨迹。这可如此地实现，即，根据已知的车辆纵向速度而确定通行地点和通行时间点并计算在这些地点处的可能的可达到的横向位置。

[0008] 本发明还涉及一种用于车辆、尤其是机动车以用于避免碰撞的方法。在该方法中，于在行驶期间接近的障碍物的情形下自主或半自主地实施或建议用于避让的所述车辆的驾驶策略，其中，所述驾驶策略基于借助于根据本发明的用于计算车辆（尤其是机动车）的驾驶策略所用的用于避免碰撞或者减轻碰撞后果的轨迹以便避让开在行驶期间接近该机动车的至少一个障碍物的方法所计算的避撞轨迹。

[0009] 本发明还涉及一种用于执行根据本发明的方法的、带有程序编码手段 (Programmcodemitteln) 的计算机程序或带有程序编码手段的计算机程序产品（其存储在计算机可读的数据载体上）。

[0010] 本发明还涉及一种用于实施根据本发明的方法的设备，尤其是车辆（尤其是机动车）的驾驶员辅助系统。该驾驶员辅助系统带有至少一个用于探测所述车辆的周围环境中的障碍物的获取装置，并带有控制装置，该控制装置与所述至少一个获取装置相连接。

[0011] 根据本发明的、用于计算车辆的驾驶策略所用的避撞轨迹的方法或者根据本发明的、用于车辆（尤其是机动车）以用于碰撞的避免的方法优选作为计算机程序而在车辆的、尤其是机动车的驾驶员辅助系统的控制装置 (Steuereinrichtung) 上被实现，在此，显然地，其它解决方案也是可考虑的。为此，计算机程序被存储在控制装置的存储元件中。通过在控制装置的微处理器上的处理而执行该方法。计算机程序可作为计算机程序产品而存储在计算机可读的数据载体（磁盘、CD、DVD、硬盘、USB 记忆棒、存储卡或类似者）上或因特网服务器上并自该处而被传输到控制装置的存储元件中。

[0012] 本发明的有利的设计方案和改进方案由下面的描述中得出。接下来根据附图原理性地描述本发明的一实施例。

附图说明

[0013] 其中：

[0014] 图 1 显示了机动车的高度简化的示意图，根据本发明的方法在其中被执行；

[0015] 图 2 显示了横向速度 v_y 与机动车的横向位置 y 的依赖关系 (Abhaengigkeit) 的

简化的示意图；

[0016] 图 3 显示了依赖于机动车的横向位置 y 的横向速度 v_y 的伸延 (Propagation) 的简化的图表；

[0017] 图 4 显示了在通过多次的障碍物的限制之后的、对于机动车而言的可达到的横向位置 y 的发展 (Entwicklung) 的简化的示意图；

[0018] 图 5 显示了在根据本发明的方法内的封锁区域 (Sperrbereichen) 和通行门 (Passierungstoren) 的简化的图示；而

[0019] 图 6 显示了用于描述避撞轨迹的带有网格点 (Stuetzstellen) 的行车道 (Fahrschlauch) 的图示。

具体实施方式

[0020] 接下来,借助机动车 1 (见图 1) 描述根据本发明的用于计算车辆的驾驶策略所用的避撞轨迹 13 (见图 6) 的方法。显然,在其它的未描述的实施例中,以带有相应的修改的方式,其它车辆、例如类似于机动车的可动机器人或类似者同样可设有根据本发明的方法的执行。

[0021] 图 1 中示出了机动车 1,根据本发明的用于为机动车 1 的驾驶策略计算避撞轨迹 13 以避免在所述机动车 1 的行驶期间靠近过来的至少一个障碍物 11 (见图 5) 的方法在该机动车 1 上被执行。在其基础之上,设计成驾驶员辅助系统 2 的、用于实施根据本发明的方法的设备可在避让障碍物 11 时给予驾驶员援助并在即将发生碰撞的情况下自主或半自主地 (autonom oder semiautonom) 将他引导到不与在本机动车 1 附近的障碍物 11 相撞的安全的轨迹 13 上。这可一方面通过相应的警告的显示或者另一方面通过借助于修正式制动干预 (通过适宜的制动力提升) 或借助于相应的转向干预 (通过未示出的机动车 1 的转向系统) 的驾驶员辅助系统 2 的主动干预来实现。机动车 1 具有用于以测量技术的方式获取机动车 1 的前方的交通状况的获取装置 (Erfassungseinrichtung) 3a 以及用于获取机动车 1 后方交通状况的获取装置 3b。获取装置 3a、3b 可设计为对周围环境进行探测的传感装置,例如设计为雷达、摄像机、镭射扫描仪或类似者。获取装置 3a、3b 与评价装置 (Auswerteeinrichtung) 4 相连接,利用该评价装置 4 基于获取装置 3a、3b 的传感器信号可确定和跟踪诸如距离、在前方行驶的或跟在后方的物体的或障碍物 11 的速度或加速度等的参量。除此之外,机动车 1 具有用于确定机动车 1 的车辆数据 (例如自身的车速、自身的加速度、假定的道路摩擦系数、制动操纵、转向盘操纵或转向角等) 的设施 5。设施 5 也可设置在其它的未示出的车辆系统、例如电子稳定程序 (ESP) 或转向系统中。控制装置 6 以电子的方式经由评价装置 4 而与获取装置 3a、3b 相连接并通过该连接而获得关于在前方行驶的或跟随在后的障碍物 11 的数据。进一步,控制装置 6 与设施 5 以电子的方式相连接以用于获得车辆数据,也就是说,控制装置 6 从设施 5 或经由机动车 1 的 CAN 总线而从其它车辆系统、尤其是未示出的车辆动力学系统 (Fahrzeugdynamiksystemen) 获得相应的车辆数据。在驾驶员辅助系统 2 的范围内,现在,根据本发明的用于机动车 1 以用于避免碰撞的方法在控制装置 6 上运行,在该方法中,于在行驶期间接近障碍物 11 的情形下,自主或半自主地实施机动车 1 的用于避让的驾驶策略,或者,通过警告装置而向驾驶员或其它车辆系统给出建议。驾驶策略在其一侧以通过根据本发明的计算方法而确定的轨迹 13 为基础,其

中,机动车 1 的横向速度 v_y 独立于机动车 1 的纵向速度地在计算中被加以考虑。通过纵向方向上的速度和横向方向上的速度或者说纵向速度和横向速度 v_x 和 v_y 的解耦,横向偏移 (Versatz) Δy 可由下列针对时间区间 (Zeitintervall) Δt 的方程式 (a) 所描述:

$$[0022] \quad (a) \Delta y = v_y \Delta t + 1/2 a_y \Delta t^2$$

[0023] 为了计算在下个障碍物 11 处的最大可达到的横向位置 Δy ,则一方面必须假定最大加速度 a_y 但另一方面还须使用 (herangezogen) 前一障碍物 11 处的速度 v_y 。针对时间区间 Δt 的用于横向位置 y 和横向速度 v_y 的一维的运动学方程式 (y_0 和 v_0 表示在计算开始时的横向位置和横向速度,即,相应的起始点) 如下:

$$[0024] \quad (b) y = y_0 + v_0 \Delta t + 1/2 a_y \Delta t^2$$

$$[0025] \quad (c) v_y = v_0 + a_y \Delta t$$

[0026] 如果将方程式 (b)、(c) 代入彼此中并消去时间关系,则得到下列的速度 v_y 对位置 y 的依赖关系 (d):

$$[0027] \quad (d) \quad v_y = \pm \sqrt{v_0^2 + 2a_y(y - y_0)}$$

[0028] 由此可实现,针对机动车 1 的每个横向位置 y_i 计算最大和最小的横向速度 v_y^{sup} , v_y^{inf} 。这一点针对机动车 1 而在图 2 中加以说明。从而,得到面 10, 10', 就如其在图 3 中示例性地针对在 $v_y = 5\text{m/s}$ 的起始速度和 $a_y = 0.2g$ ($g = 9.81\text{m/s}^2$) 的最大加速度下针对时间段 $t = 0 \dots 2.5\text{s}$ 的伸延而示出的那样。图 3 中,在垂直轴上绘出了横向位置 y 而在水平轴上绘出了横向速度 v_y 。借助该图表或者面 10, 10' 则现在可以针对障碍物 11 处的每个纵向位置 x_i 或者说每个通行点 (Passierungspunkt) i 而确定最大的和最小的可达到的位置 $y_i^{\text{sup}}, y_i^{\text{inf}}$ 以作为位置区间 (Positionsintervall) ($y_i^{\text{inf}}, y_i^{\text{sup}}$) 也就是说,针对机动车 1 的纵向位置 x_i 而分别地计算出所属的可达到的机动车 1 的横向的位置区间 ($y_i^{\text{inf}}, y_i^{\text{sup}}$)。

[0029] 如果本机动车 1 通过障碍物 11 (见图 5) 或车道边缘而受到限制,则面 10, 10' 被限制或修剪,在其中,上尖部或下尖部在所属的 y 位置处被分离,就如其在图 3 中通过部分地画上阴影线的面 10' (针对最后所示出的伸延) 所表明的那样。在这种情况下,机动车 1 (在纵向位置 x_i 处) 自零线而出侧向偏移不得多于 +10m, 因为,否则的话,其将与障碍物 11 相撞。接着则仅允许以该经修剪的面 10' (其在该情况下为从 $y^{\text{inf}} = 6\text{m}$ 到 $y^{\text{sup}} = 10\text{m}$) 而进一步地伸延。经修剪的 y - v_y 图表在该进一步的伸延中大致上再次与方程式 (d) 相应地发展,也就是说,可达到的最大和最小横向位置 $y^{\text{sup}}, y^{\text{inf}}$ 的进一步的计算可类似地进行。因此,尽管通过不同障碍物 11 的而对可被驶过区域进行了多次的限制,随后的可达到的位置仍然可以相当良好地被加以确定。伸延步长 (Propagationsschrittweite) Δt 的可能的变化尤其地是有利的,从而,最大和最小横向速度 $v_y^{\text{sup}}, v_y^{\text{inf}}$ (在到达下个障碍物 11 时) 可立即被计算。基于障碍物 11 的高度可借助最大和最小的横向位置 $y^{\text{sup}}, y^{\text{inf}}$ 而定义用于通行 (Passieren) 的通行门,其一方面是可在实际上被机动车 1 所达到的且另一方面是确定无疑地不会发生碰撞的。图 4 通过示例性的伸延序列来阐明该方法。针对四个时间点 t_1 至 t_4 分别地说明了可达到的横向位置 $y^{\text{sup}}, y^{\text{inf}}$, 其随后将通过图 5 中所示出的障碍物 11 的封锁面或封锁区域 12 而横向地被限制或被修剪。可达到的横向位置 $y^{\text{sup}}, y^{\text{inf}}$ 可被读出,其中,待穿行 (durchzufahren) 的通行门分别地通过阴影部分来表示。通行门之间的在纵向方向上的距离在图 4 中由于正交分解 (orthogonalen Zerlegung) 而未示出并仅需要以时间点

t_1 至 t_4 的形式（而示出）。

[0030] 图 5 显示了带有机动车 1 和四个障碍物 11 的示例性场景。在机动车 1 的周围空间中根据机动车 1 的纵向运动和相应的障碍物 11 的横向位置而定义封锁区域 12，该封锁区域 12 将由于机动车 1 与障碍物 11 的同时的地点上的重叠而导致相撞且因此不允许被机动车 1 所驶过。封锁区域 12 设有附加的安全区域（未示出），该安全区域考虑了机动车 1 的几何形状及其在这样的偏转角（Gierwinkel）下的可能的转动——该偏转角由避撞轨迹 13 的行驶所决定。与之相应地，在考虑机动车 1 的几何形状的情形下在每个障碍物 11 周围得到封锁面或封锁区域 12，其在被机动车 1 驶进时必然导致碰撞。借助该封锁区域 12 而限制机动车 1 或者说本车的横向位置 y ，由此得到通行门 1 至门 9，其可被机动车 1 所达到和驶过并由此引导机动车 1 无碰撞地在障碍物 11 旁绕过。因此，可达到的横向的位置区间 y_i^{inf} ， y_i^{sup} 被相应的障碍物 11 的封锁区域 12 所修剪和 / 或限制，由此得到通行门 1 至门 9。

[0031] 在根据本发明的方法中，机动车 1 的和 / 或障碍物 11 的加速运动也可在避撞轨迹 13 的计算中被考虑。

[0032] 每个封锁区域 12 的尺寸和位置从纵向方向上的第一接触点 x_1 （例如在行驶在前方的车辆作为障碍物 11 的情况下，其为这样的地点，在该地点处，机动车 1 的前边缘触碰到在前方行驶的障碍物 11 的尾部）和由障碍物 11 的前保险杠与机动车 1 的后保险杠的触碰（当机动车 1 可虚拟地行驶穿过障碍物 11 时）所得出的最后的接触点中得出。在不同的偏转角下，为简单起见可通过如下方式而将几何形状的转动（在封锁区域 12 中）加以考虑，即，第一接触点和最后的接触点以及最大和最小的横向扩张（Ausdehnung）彼此独立地被考虑，从而，从环绕的限制轮廓（边界框）中得到封锁区域 12。如果在最简单的情况下假定机动车 1 和障碍物 11 的不加速的运动，则第一个及最后的接触时间点和接触位置可借助下列运动学方程式而计算：

[0033] (e) $x_{\text{机动车}} = v_0 t$

[0034] (f) $x_{\text{障碍物}} = x_0 + v_{\text{障碍物}} t$

[0035] (g) $t_{\text{接触}} = -x_0 / (v_0 - v_{\text{障碍物}})$

[0036] (h) $x_{\text{接触}} = (v_0 x_0) / (v_0 - v_{\text{障碍物}})$

[0037] 在机动车 1 和 / 或障碍物车辆 11 的加速情况下，方程式 (e) 至 (h) 变得相应地更复杂或更详细，其中，这样的用于加速的区间也是可能的，在其中，方程式必须相应地针对在最坏的情况（最坏条件）中的态势而被建立（aufstellen），从而，封锁区域 12 的扩张最大化。但是在此，通过第一接触点和最后的接触点的封锁区域 12 的原则上的计算不变。

[0038] 在最简单的情况下，如由图 5 所见，所有障碍物 11 不运动，从而，封锁区域 12 立即从障碍物 11 在时间点 $t = 0$ 的位置中得出。如果进一步考察障碍物 11 在第一接触时间点和最后接触时间点的横向位置并考虑机动车 1 的几何形状（借助于附加的安全区域（Sicherheitsbereich）），那么，从该坐标中，针对每个障碍物 11 的封锁区域 12 可直接被指明。相应的避让路径（Ausweichpfad）必须被引导绕过所有封锁区域 12。

[0039] 此外，在曲线形的道路走向的情形下，可通过将弯的车道投影到直的走向上从而应用该相同的用于封锁区域 12 的计算方法并由此计算用于弯道走向的路径。

[0040] 那么，根据封锁区域 12，可通过如下方式借助图 3 中所示的速度伸延而计算相对

于障碍物 11 的最大和最小可达到的横向偏移 Δy , 即, 基于图表通过最大和最小横向可达到位置 y^{sup} 和 y^{inf} 而得到可达到的通行门 1 至门 9, 从而, 可能的避让路径延伸经过一定的通行门序列。

[0041] 既可从右边也可从左边经过障碍物 11, 由此, 在 n 个所存在障碍物 11 的情形下最多得出 2^n 个可能的避让路径。然而, 如由图 5 所见, 封锁区域 12 在该应用情况下将可行的无碰撞路径限制成仅两个而不是最大的 $2^4 = 16$ 个避让路径, 其通过通行门的序列: 门 1- 门 2- 门 3- 门 4- 门 5- 门 6- 门 7 以及门 1- 门 2- 门 3- 门 8- 门 9 而被标识出。

[0042] 现在, 针对通行门 1 至门 9 的序列, 不发生碰撞的避让轨迹, 也即避让轨迹 13 (其穿过横向位置区间 y^{inf} , y^{sup} 或者说通行门 1 至门 9) 可借助于优化法 (Optimierungsverfahren) 而被计算, 其中, 横向位置区间 $i(y_i^{\text{sup}}, y_i^{\text{inf}})$ 的上边界 y_i^{sup} 和下边界 y_i^{inf} 作为边界条件 (Randbedingung) 在优化法中被考虑。在这样的边界条件下, 即, 对于位置 x_i 处的通行门 i , 轨迹 13 必须小于或等于上侧门界限 y_i^{sup} 并且大于或等于下侧门界限 y_i^{inf} , 则, 可 (例如) 算出曲率连续的 (Kruemmungsstetigen)、被引导穿过第 $i = 1 \dots n$ 个通行门 1 至门 9 处的网格点 (x_i, y_i) 的样条 (Spline)。因此, 避让轨迹 13 由该曲率连续的样条所描述。在其它实施例中, 避让轨迹 13 也可由带有等距的网格点的多角曲线 (Polygonzug) 所描述。

[0043] 作为用于计算尚未知的用于该曲率连续样条的网格点 (x_i, y_i) 的优化准则 (Optimierungskriterium), 可使用关于曲率 $\kappa(s)$ 的平方在轨迹 13 的整个长度 l 上的积分的最小化:

$$[0044] \quad (i) \quad F = \int_{s=0}^l \kappa(s)^2 ds = \text{Min!}$$

[0045] 边界条件: $\forall y_i(x_i): y_i^{\text{inf}}(x_i) \leq y_i(x_i) \leq y_i^{\text{sup}}(x_i)$

[0046] 通过借助于样条的轨迹 13 的描述, 积分可以解析的方法被解开 (geloest) 且优化准则直接依赖于样条的参数而被说明。在区间 i 中的轨迹 13 的走向由三阶多项式所描述:

$$[0047] \quad (j) \quad y^i(x) = p_0^i + p_1^i x + p_2^i x^2 + p_3^i x^3$$

[0048] 对于区间 i 中的曲率 κ , 如果基于典型地伸长的 (langgezogenen) 避让轨迹 13 的走向在相当良好的近似下采用二阶导数 $y''(x)$, 则就该优化准则而言从样条多项式的参数 p_0^i 至 p_3^i 中得出:

$$[0049] \quad (k) \quad F = \int_{s=0}^l \kappa(s)^2 ds \approx \int_{x=0}^{x_i} y''(x)^2 dx = 4 \sum_{i=0}^{n-1} p_2^{i2} (x_{i+1} - x_i) + 3 p_2^i p_3^i (x_{i+1} - x_i)^2 + 3 p_3^{i2} (x_{i+1} - x_i)^3$$

[0050] 然而, 也可采用任何其它的优化法和从中导出的优化标准。那么, 例如地, 最大所出现横向加速度的最小化, 或者该两个标准的加权组合, 都是可设想的。

[0051] 避让轨迹 13, 如图 6 中所示出的, 也可由处在等距的间隔中的网格点所描述。在此, 通过通行门 1 至门 6 而定义了行车道 14, 其边缘 15a、15b 朝上和朝下地限制了避让轨迹 13。由此得到的多角曲线必须将上述的或可能出现的备选的优化准则最小化。相应地, 由通行门 1 至门 6 描述出了可能的避让轨迹 13, 该避让轨迹 13 可被机动车 1 (以与其预定行驶动力学特性相应的方式) 所达到的, 并且, 该避让轨迹 13 无碰撞地在障碍物 11 旁绕过。

[0052] 现在可以有利的在机动车 1 上运行用于机动车 1 以避免碰撞的方法, 在该方

法中,在行驶期间障碍物 11 靠近过来的情形下自主或半自主地实施或提出机动车 1 的用于避让的驾驶策略,其中,该驾驶策略基于避撞轨迹 13。

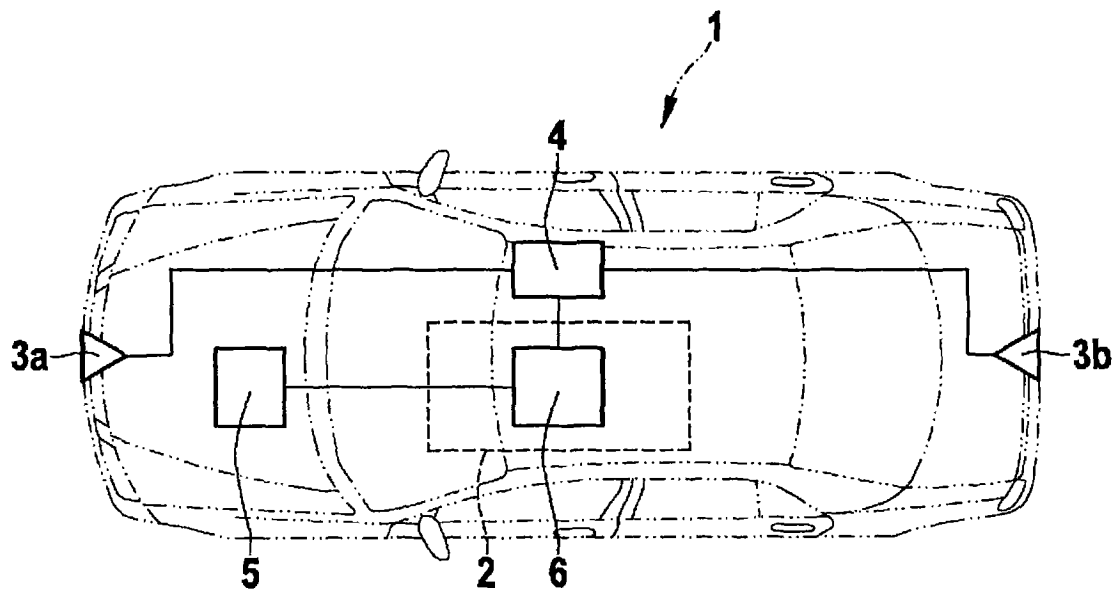


图 1

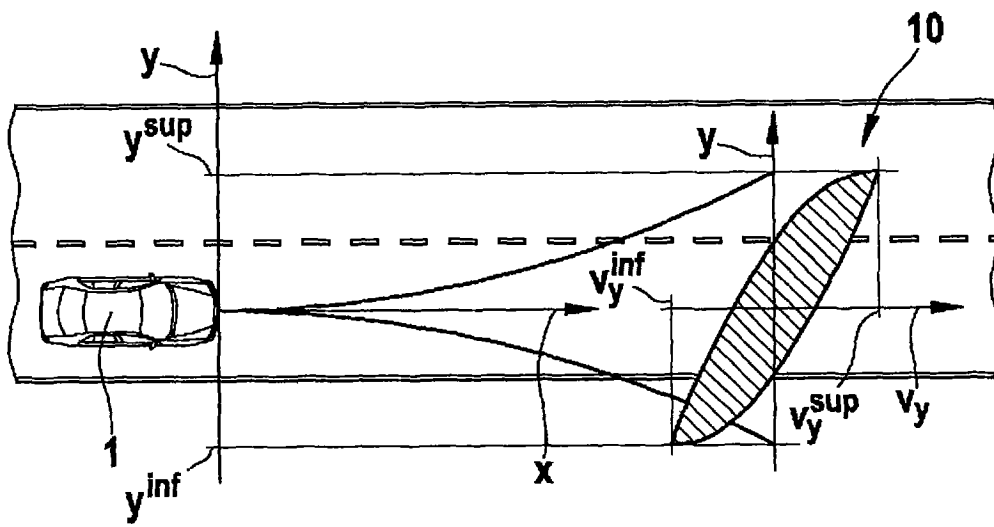


图 2

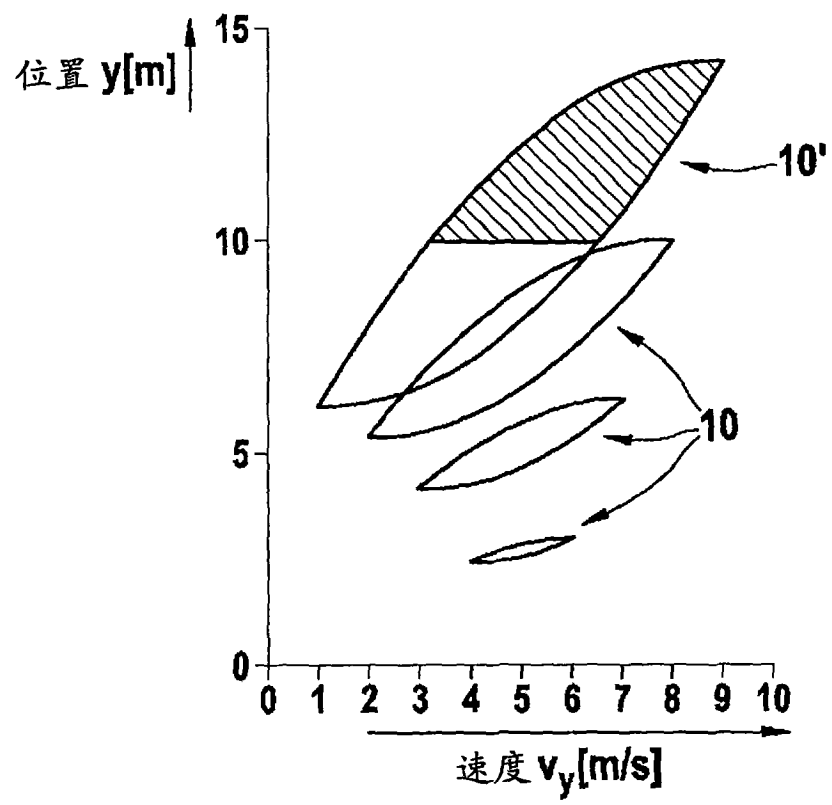


图 3

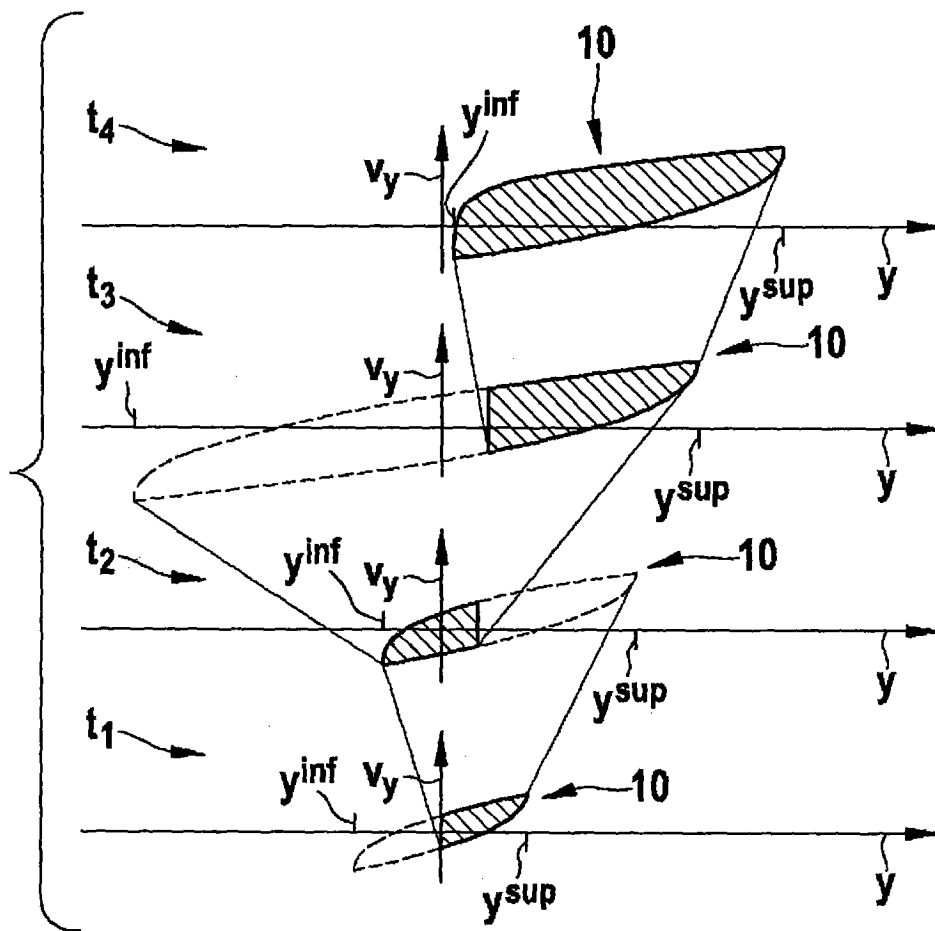


图 4

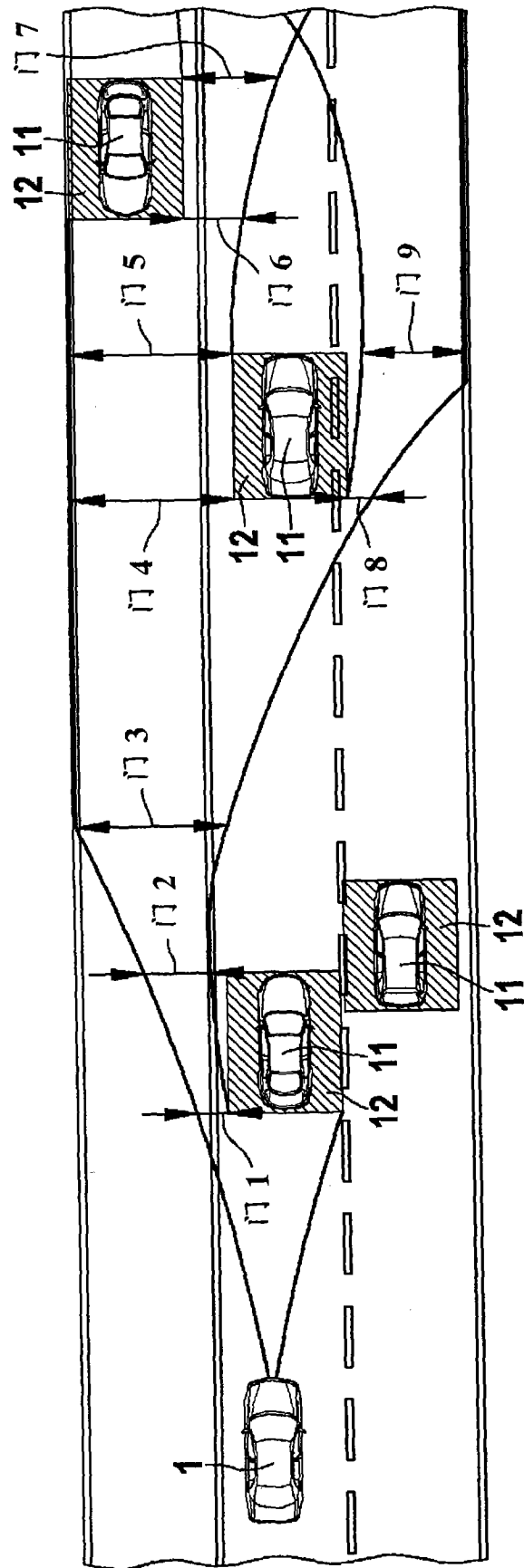


图 5

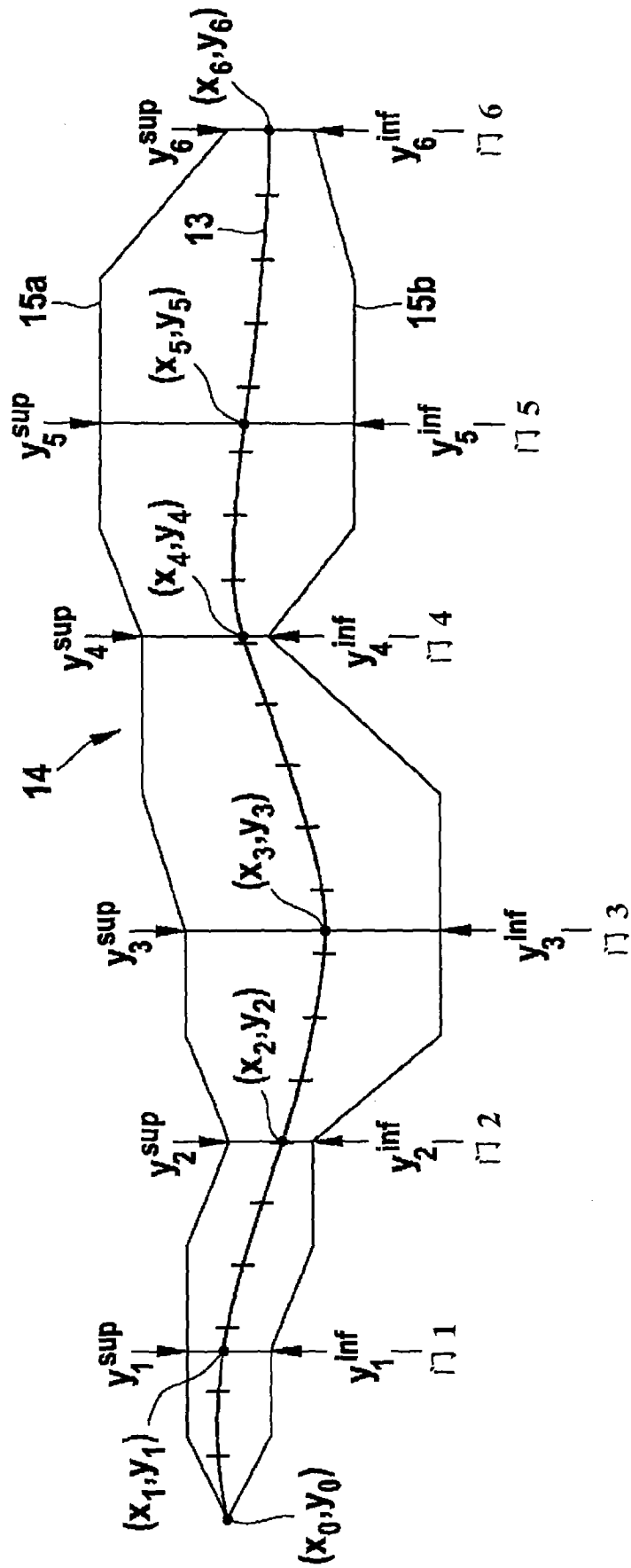


图 6