



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101089560 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 07

(21) 申请号 200710138826. 4

US 2002/0100009 A1, 2002. 07. 25,

(22) 申请日 2007. 06. 13

US 5893081 A, 1999. 04. 06,

(30) 优先权数据

US 4984168 , 1991. 01. 08,

06012160. 5 2006. 06. 13 EP

US 5916299 A, 1999. 06. 29,

(73) 专利权人 哈曼贝克自动系统股份有限公司

审查员 胡贺伟

地址 德国卡尔斯巴德

(72) 发明人 P·H·内格尔 P·福伦德

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 沙捷 丁艺

(51) Int. Cl.

G01C 21/26 (2006. 01)

G01C 21/34 (2006. 01)

G01C 21/20 (2006. 01)

G08G 1/0968 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6016485 A, 2000. 01. 18,

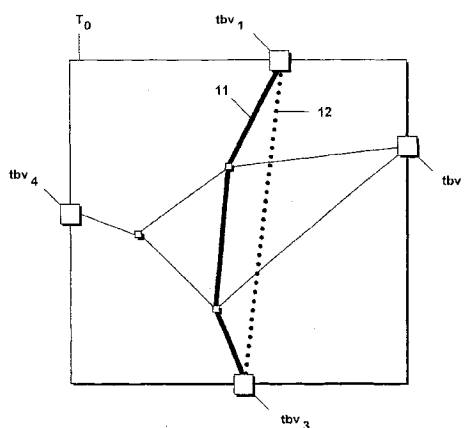
权利要求书 5 页 说明书 14 页 附图 18 页

(54) 发明名称

采用估计函数的最优路线确定

(57) 摘要

本发明提供了一种用于在道路网上确定从起点到目标的路线的方法和系统,其中采用了用于道路网的顶点的估计函数,并且其中定义了覆盖包含有道路网的至少一部分的区域的铺面,提供了铺面中的每个铺块的阻抗值,并且依赖于铺面中的各个铺块的阻抗值来确定用于道路网的顶点的估计函数的值。在一个优选实施例中,给定铺块(T₀)的阻抗值是与连接位于给定铺块的边界上的顶点(tbv₁-tbv₄)中的任意一对顶点的最优路线(11、13)相关的成本除以这对顶点的直线距离(12、14)所得的结果的下限或最小值。



1. 一种用于在道路网上确定从起点到目标的路线的方法,所述方法对所述道路网的多个顶点采用估计函数,所述估计函数提供连接所述道路网的顶点和所述目标的任意路线的成本的下限,所述方法包括以下步骤:

- 定义包括多个铺块的铺面 (T),所述铺面覆盖其中包含有所述道路网的至少一部分的区域,

- 提供所述铺面中的每个铺块的阻抗值,以及

- 依赖于所述铺面中的各个铺块的阻抗值来确定位于铺块边界上的铺块边界顶点 (23) 的估计函数值,

其中,给定铺块的阻抗值表示连接位于所述给定铺块的边界上的所述道路网的顶点的路线的成本,并且通过使用所述给定铺块的所述阻抗值来导出连接位于所述给定铺块的边界上的顶点的所述路线的成本的下限,

其中,所述给定铺块 (T_0) 的所述阻抗值是连接位于所述给定铺块的边界上的顶点 (tbv_1 - tbv_4) 中的一对顶点的最优路线 (11、13) 的成本相对于该对顶点的直线距离 (12、14) 的相对值的下限,所述路线穿过所述给定铺块,并且

其中,确定所述铺块边界顶点 (23) 的所述估计函数值的所述步骤包括以下步骤:

确定包含所述目标 (22) 的目标铺块 (T_3),以及

确定连接位于所述目标铺块 (T_3) 的边界上的目标铺块边界顶点 (24、25) 中的至少一个和所述铺块边界顶点 (23) 的最优路线的成本的第一下限。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述给定铺块 (T_0) 的所述阻抗值表示连接位于所述给定铺块的边界上的顶点 (tbv_1 - tbv_4) 的路线 (11、13) 的成本相对于所述给定铺块中的所述道路网的几何特性的相对值。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述给定铺块 (T_0) 的所述阻抗值是连接位于所述给定铺块的边界上的顶点 (tbv_1 - tbv_4) 中的任意一对顶点的最优路线 (11、13) 的成本除以该对顶点的直线距离 (12、14) 所得的结果的最小值,使得所述给定铺块的所述阻抗值与位于所述给定铺块的边界上的任意一对测试顶点的直线距离的乘积,是所述给定铺块内连接该对测试顶点的最优路线的成本的下限。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述第一下限是依赖于一个铺块的阻抗值或者依赖于所述铺面中的多个铺块的阻抗值来确定的。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于:

对包括仅位于铺块边界上的顶点 (23-25) 的所述道路网的子图使用 Dijkstra 算法或 A^* 算法来确定所述第一下限。

6. 如权利要求 5 所述的方法,其特征在于:

连接位于任意铺块 (T_2) 的边界上的第一和第二顶点 (23、24) 的子图边缘 (26a) 的成本,是根据所述任意铺块的阻抗值以及所述第一和第二顶点 (23、24) 的直线距离确定的。

7. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于:

所述子图边缘 (26a) 的所述成本被设置成等于所述任意铺块 (T_2) 的阻抗值乘以所述

第一和第二顶点 (23、24) 的直线距离。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在於:

确定所述铺块边界顶点 (23) 的所述估计函数值的所述步骤还包括以下步骤:

一确定连接所述目标 (22) 和所述目标铺块边界顶点 (24、25) 中的所述至少一个的最优路线的成本的第二下限,以及

- 将所述第一下限和所述第二下限相加。

9. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在於:

确定所述铺块边界顶点 (23) 的所述估计函数值的所述步骤还包括以下步骤:

- 在所有目标铺块边界顶点 (24、25) 中确定所述第一下限和所述第二下限的总和的最小值。

10. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在於以下步骤:

- 根据位于铺块 (T_2) 的边界上的铺块边界顶点 (23、24) 的估计函数值,以及连接位于所述铺块 (T_2) 的内部的内部顶点 (29) 和所述铺块边界顶点 (23、24) 的最优路线的成本的下限,来确定所述内部顶点 (29) 的估计函数值。

11. 如权利要求 10 所述的方法,其特征在於:

根据所述内部顶点 (29) 和所述铺块边界顶点 (23、24) 的直线距离 (27、28),来确定连接所述内部顶点 (29) 和所述铺块边界顶点 (23、24) 的最优路线的成本的所述下限。

12. 如权利要求 10 所述的方法,其特征在於:

根据所述内部顶点距离所述铺块边界顶点 (23、24) 所在的所述铺块的边缘的最小直线距离 (27'、28'),来确定连接所述内部顶点 (29) 和所述铺块边界顶点 (23、24) 的最优路线的成本的所述下限。

13. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在於以下步骤:

- 检测所述道路网的路段的成本因子的增加,以及

- 依赖于所述检测到的成本因子的增加,而增加包含所述路段的铺块的阻抗值。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在於:

包含所述路段的所述铺块的阻抗值的增加是倍增的。

15. 如权利要求 13 或 14 所述的方法,其特征在於:

取决于用户输入来增加所述路段的所述成本因子。

16. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在於以下步骤:

- 自动地接收交通消息信号,其中取决于接收到的交通消息信号而增加所述路段的所述成本因子。

17. 如前述权利要求 1 所述的方法,其特征在於:

所述铺面 (T) 中的铺块 (T_1' 、 T_2' 、 T_1'' - T_6'') 的铺块尺寸随着距离所述起点和所述目标的距离的增加而增加。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在於:

- 为第一规则铺面 (T') 的每个铺块提供第一阻抗值,

- 为第二规则铺面 (T'') 的每个铺块提供第二阻抗值,以及

- 覆盖所述区域的所述铺面 (T) 包括所述第一规则铺面 (T') 中的铺块 (T_1' 、 T_2') 和所述第二规则铺面 (T'') 中的铺块 (T_1'' - T_6''),所述铺面中的铺块的阻抗值分别等于相应的

第一和第二阻抗值。

19. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

采用 A* 算法来确定从所述起点到所述目标的最优路线,所述 A* 算法使用依赖于所述铺面中的各个铺块的阻抗值而确定的估计函数。

20. 一种用于在图上确定到目标的路线的方法,所述方法对所述图的多个顶点采用估计函数,所述估计函数提供连接所述图的顶点和所述目标的任意路线的成本的下限,所述方法包括以下步骤:

定义包含多个铺块的铺面 (T),所述铺面覆盖其中包含有所述图的至少一部分的区域,提供所述铺面中的每个铺块的阻抗值,以及

依赖于所述铺面中的各个铺块的阻抗值来确定位于铺块边界上的铺块边界顶点 (23) 的估计函数值,

其中,给定铺块的阻抗值表示连接位于所述给定铺块的边界上的所述图的顶点的路线的成本,并且基于所述给定铺块的所述阻抗值来导出连接位于所述给定铺块的边界上的顶点的所述路线的成本的下限,

其中,所述给定铺块 (T_0) 的所述阻抗值是连接位于所述给定铺块的边界上的顶点 (tbv_1-tbv_4) 中的一对顶点的最优路线 (11、13) 的成本相对于该对顶点的直线距离 (12、14) 的相对值的下限,所述路线穿过所述给定铺块,并且

其中,确定所述铺块边界顶点 (23) 的所述估计函数值的所述步骤包括以下步骤:

确定包含所述目标 (22) 的目标铺块 (T_3),以及

确定连接位于所述目标铺块 (T_3) 的边界上的目标铺块边界顶点 (24、25) 中的至少一个和所述铺块边界顶点 (23) 的最优路线的成本的第一下限。

21. 一种用于对道路网数据进行预处理的方法,包括以下步骤:

- 定义包含多个铺块的铺面 (T),所述铺面覆盖其中包含有所述道路网的至少一部分的区域,

- 为所述铺面中的铺块 (T_0),确定位于所述铺块的边界上的顶点 (tbv_1-tbv_4),

- 确定连接位于所述铺块的边界上的所述顶点 (tbv_1-tbv_4) 中的任意一对顶点的最优路线 (11、13) 的成本除以该对顶点的直线距离所得的结果的下限,其中,根据连接位于所述铺块的边界上的顶点 (tbv_1-tbv_4) 中的任意一对顶点的路线的成本除以该对顶点的直线距离所得的结果的最小值来确定所述下限;以及

- 输出所述确定的下限。

22. 如权利要求 21 所述的方法,其特征在于:

在输出所述确定的下限之前将所述确定的下限离散化。

23. 一种用于在道路网上确定从起点到目标的路线的系统,所述系统对所述道路网的多个顶点采用估计函数,所述估计函数提供连接所述道路网的顶点和所述目标的路线的成本的下限,所述系统包括:

- 第一存储单元 (3),其包含道路网数据,

- 第二存储单元 (4),其包含定义铺面的铺面定义数据和每个铺块的阻抗值,以及

- 处理单元 (2),其依赖于所述铺面的各个铺块的所述阻抗值确定位于铺块边界上的铺块边界顶点的估计函数值,

其中,所述第二存储单元(4)中所包含的给定铺块的阻抗值表示连接位于所述给定铺块的边界上的所述道路网的顶点的路线的成本,所述处理单元(2)适于通过使用所述给定铺块的所述阻抗值来导出连接位于所述给定铺块的边界上的顶点的所述路线的成本的下限,其中,根据连接位于所述铺块的边界上的顶点(tbv_1-tbv_4)中的任意一对顶点的路线的成本除以该对顶点的直线距离所得的结果的最小值来确定所述下限。

24. 如权利要求 23 所述的系统,其特征在于:

所述第二存储单元(4)中所包含的所述给定铺块(T_0)的所述阻抗值,是连接位于所述给定铺块的边界上的顶点(tbv_1-tbv_4)中的一对顶点的最优路线(11、13)的成本相对于该对顶点的直线距离(12、14)的相对值的下限,所述路线穿过所述给定铺块。

25. 如权利要求 23 或 24 所述的系统,其特征在于:

所述第二存储单元(4)中所包含的所述给定铺块(T_0)的所述阻抗值,是连接位于所述给定铺块的边界上的顶点(tbv_1-tbv_4)中的任意一对顶点的最优路线(11、13)的成本除以该对顶点的直线距离(12、14)所得的结果的最小值,使得所述给定铺块的所述阻抗值与位于所述给定铺块的边界上的任意一对测试顶点的直线距离的乘积,是所述给定铺块内连接该对顶点的最优路线的成本的下限。

26. 如权利要求 23 所述的系统,其特征在于:

所述处理单元(2)确定位于包含所述目标(22)的目标铺块(T_3)的边界上的目标铺块边界顶点(24、25)中的至少一个,并且计算连接所述铺块边界顶点(23)和所述目标铺块边界顶点(24、25)中的所述至少一个的最优路线的成本的下限,所述下限是依赖于所述铺面的各个铺块的所述阻抗值来确定的。

27. 如权利要求 25 所述的系统,其特征在于:

采用将所述目标铺块边界顶点(24、25)作为起始点的 Dijkstra 算法或 A^* 算法来计算所述下限。

28. 如权利要求 23 所述的系统,其特征在于:

所述系统包括存储器单元(5),所述存储器单元(5)存储所述铺块边界顶点(23)的坐标和由所述处理单元(2)确定的所述铺块边界顶点(23)的所述估计函数值。

29. 如权利要求 27 所述的系统,其特征在于:

所述存储器单元(5)以一维坐标的形式存储所述铺块边界顶点(23)的所述坐标,所述一维坐标指定所述铺块边界顶点沿着由所述铺块的边界定义的线所在的位置。

30. 如权利要求 23 所述的系统,其特征在于:

所述处理单元(2)接收所述道路网的路段的交通消息信号,并且依赖于所述接收到的交通消息信号来改变包含所述路段的铺块的阻抗值。

31. 如权利要求 23 所述的系统,其特征在于:

所述处理单元(2)采用 A^* 算法来确定从所述起点到所述目标的最优路线,所述 A^* 算法使用依赖于所述铺面中的各个铺块的阻抗值而确定的并且存储在所述存储器单元(5)中的估计函数值。

32. 一种导航系统,包括:

- 用于输入目标的输入装置(6),
- 用于输出所确定的路线的输出装置(7),以及

- 用于根据权利要求 23 来确定路线的系统 (2-5), 所述系统被连接到用于从中接收所述目标的输入装置 (6), 以及用于向其输出所确定的路线的输出装置 (7)。

33. 如权利要求 32 所述的导航系统, 包括:

- 用于确定当前车辆位置的位置确定装置 (8), 所述位置确定装置 (8) 被连接到用于确定路线的所述系统 (2-5), 以提供当前车辆位置作为所述起点;

34. 如权利要求 33 所述的导航系统, 其特征在于:

所述位置确定装置 (8) 包括 GPS 接收器。

35 如权利要求 32-34 中的任一项所述的导航系统, 其特征在于:

一 TMC 接收器 (9), 其被连接到所述处理单元 (2) 以向其提供交通消息信号。

采用估计函数的最优路线确定

技术领域

[0001] 本发明涉及最优路线确定,特别涉及基于估计函数确定道路网中的最优路线的方法和系统。本发明的方法和系统可有利地用于任何最优路线搜索,特别是可有利地用于例如在车载导航系统中搜索道路网中的最优路线。

背景技术

[0002] 找出从给定起点到给定目标的最优路线,是汽车导航系统或提供最优路线信息的其它系统的关键特征之一。

[0003] 在本领域中已知有若干种用于找出最优路线的标准算法,其中最著名的是 Dijkstra 算法和 A* 算法。在整个这篇说明书中,术语“最优路线”用于指最低成本路线,路线的成本由在该路线上行驶时所经过的路段的成本总和加上与连接点或路段顶点相关的成本总和所得的结果确定。若干种不同的成本模型被常常用在导航系统中,例如,路段的成本由该路段的长度给定的最短路线模型,或者路段的成本由该路段的长度除以该路段上的特征行驶速度所得的结果给定的最快路线模型。此外,成本模型常常会考虑用户偏好,诸如避开高速公路、隧道或渡口连接处。

[0004] 在 Dijkstra 算法中,从路线的起点开始,通过边缘舒展 (edgerelaxation),按照与连接道路网的顶点和起点的路线相关的最低成本的顺序访问道路网的不同顶点,来探索道路网(或者更一般而言,图)。当扩展到目标时,就找到了从起点到目标的最优路线,并且 Dijkstra 算法终止。

[0005] A* 算法是 Dijkstra 算法的改型,该算法对道路网的所有顶点都采用估计函数。用于给定顶点的估计函数提供与连接给定顶点和目标的最优路线相关的成本的估计值。在路线搜索中,根据优先级对不同的路线进行评级,其中的优先级由从起点到该顶点为止所增加的成本总和,以及该顶点的估计函数给定。如果估计函数从不过高估计连接顶点和目标的最优路线的成本,那么就称 A* 算法找到了最优路线问题的正确解决方案。

[0006] 对于道路网上的最优路线搜索,常常会采用启发式估计,在最短路线搜索中,其基于顶点与目标的直线距离 (air-line distance) 而被确定,并且在最快路线搜索中,其基于直线距离除以特征行驶速度所得的结果而被确定。典型地,估计函数越好,为了确定最优路线而必须访问的路段顶点的数目就越少,并且算法运行时间就越短。

[0007] 然而,基于直线距离的估计函数常常是不精确的。此外,在车载导航系统中,还需要解决内存和运行时间的限制。由于后一种限制,将 Dijkstra 算法和 A* 算法直接应用于诸如某个欧洲国家或美国的道路网,常常是不可行的,这是由于这些道路网中的路段和路段顶点的数目非常大。由于这些原因,常常要修改 Dijkstra 算法或 A* 算法以用在导航系统中,例如通过将不同的路段分类到不同的层次中,或者通过提供表征道路网几何形态的附加信息,该附加信息被脱机地确定,并使导航系统中的最优路线搜索变得容易。

[0008] 在这种背景下,WO 03/079155 公开了一种最低成本路线选择系统,该系统提供了一种为长距离行驶量化路段的相关性的到达度量 (reachmetric)。该到达度量具有仅基于

地图几何形态的优点。然而,该到达度量存在着这样的缺点,即在如下意义上是高度非局部的:给定路段的到达可能会强烈地取决于与相隔很远的不同路段相关的成本。例如,一个路段的成本因子的增加可能会引起不同的路段的到达的增加或减少,即使该不同的路段相隔很远。因此,WO 03/079155 中公开的方法和系统不能很好地适用于局部地图更新和动态路线确定。

[0009] 因此,本领域需要一种改进的用于确定最优路线的方法和系统。更特别地,本领域需要这样一种用于确定最优路线的方法和系统:其使局部地图更新可以容易地得到实现(这适合于动态路线确定),而且使最优路线可以得到可靠地确定。

发明内容

[0010] 根据本发明,该需要是通过根据权利要求 1 的用于在道路网上确定路线的方法,根据权利要求 24 的用于对道路网数据进行预处理的方法,以及根据权利要求 27 的用于确定路线的系统来解决的。从属权利要求限定了本发明的优选或有利实施例。

[0011] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于在道路网上确定从起点到目标的路线的方法,该方法对道路网的多个顶点采用估计函数,该估计函数提供与连接道路网的顶点和目标的任意路线相关的成本的下限。该方法包括以下步骤:定义覆盖其中包含有道路网的至少一部分的区域的铺面(tiling),提供该铺面中的每个铺块(tile)的阻抗值,以及依赖于铺面中的各个铺块的阻抗值来确定位于铺块边界上的铺块边界顶点的估计函数值。阻抗值是这样定义的数值:对于给定的铺块,阻抗值表示与连接位于该给定铺块的边界上的道路网的顶点的路线相关的成本,使得可以使用给定铺块的阻抗值来导出与连接位于该给定铺块的边界上的顶点的路线相关的成本的下限。若干个优点与将地图细分成铺块以及提供每个铺块的阻抗值相关。首先,当例如在导航系统中执行该方法后,可以可靠地和容易地根据阻抗值计算出估计函数。此外,由于阻抗值是由仅位于铺块内的道路网的那部分确定的局部参数,所以局部地图更新可以通过对受影响的铺块的阻抗值进行相应的更新来容易地执行。进一步地,动态路线确定可以容易地实现。更进一步地,由于阻抗值通常仅为单个数值,所以存储阻抗值仅需很少的存储容量。

[0012] 优选地,阻抗值以如下方式定义:对于给定的铺块,阻抗值是与连接位于该给定铺块的边界上的一对顶点的最优路线相关的成本相对于这对顶点的直线距离的相对值的下限,其中该路线穿过该给定铺块。更优选地,阻抗值以如下方式定义:对于给定的铺块,阻抗值是与连接位于该给定铺块的边界上的任意一对顶点的最优路线相关的成本除以这对顶点的直线距离所得的结果的最小值或下限。于是,对于位于给定铺块的边界上的任意一对测试顶点,给定铺块的阻抗值与这对测试顶点的直线距离的乘积就提供了与该铺块内连接这对测试顶点的最优路线相关的成本的下限。因此,当阻抗值仅与道路网几何形态的性质相结合时,阻抗值允许我们建立与穿过一个铺块的任意路线相关的成本的下限。这些下限可以有利地用于为道路网的顶点计算估计函数。

[0013] 优选地,为铺块边界顶点确定估计函数值的步骤包括以下步骤:确定包含目标的目标铺块,以及确定与连接位于目标铺块的边界上的目标铺块边界顶点和将为其计算估计函数值的铺块边界顶点的最优路线相关的成本的第一下限。特别地,可以依赖于一个铺块的阻抗值或者依赖于铺面中的多个铺块的阻抗值,来确定第一下限。更特别地,可以对包

括仅位于铺块边界上的顶点的道路网的子图使用 Dijkstra 算法来确定第一下限,其中与连接位于任意一个铺块的边界上的第一和第二顶点的子图的边缘相关的成本,是根据该任意铺块的阻抗值以及第一和第二顶点的直线距离确定的。特别地,可以把与子图边缘相关的成本设置成等于该任意铺块的阻抗值乘以第一和第二顶点的直线距离。以这种方式,对于位于目标铺块的边界上的每个顶点,可以为连接该目标铺块边界顶点和将为其计算估计函数的铺块边界顶点的最优路线计算出下限。重要的是,相关的最优路线搜索不需要在与原始道路网相对应的图上进行,而是仅在由仅位于铺块边界上的顶点构成的子图上执行,从而极大地减小了该步骤的计算复杂度。在一个优选实施例中,并非是在各自的算法中为每个目标铺块顶点建立下限,而是将所有目标铺块边界顶点作为起点同时馈送到 Dijkstra 算法中。如果为所有目标铺块边界顶点都建立了与连接目标铺块边界顶点和某个铺块边界顶点的最优路线相关的成本的下限,那么该下限也提供了与连接这个铺块边界顶点和目标的最优路线相关的成本的下限,并且可以因此用作这个铺块边界顶点的估计函数值。

[0014] 然而,估计函数的精确度可以进一步提高。出于该目的,为铺块边界顶点确定估计函数值的步骤优选地还包括以下步骤:确定与连接目标和目标铺块边界顶点的最优路线相关的成本的第二下限,以及将第一下限和第二下限相加。通过在所有目标铺块边界顶点中确定第一下限和第二下限的总和的最小值,可以获得铺块边界顶点的改进后的估计函数值。

[0015] 在一个特别优选的实施例中,通过以下操作来确定铺块边界顶点的估计函数值:首先从目标开始、仅在目标铺块上执行 Dijkstra 算法,以便确定从目标到目标铺块边界顶点中的每个的最优路线的成本;然后将这些成本输入到在仅包括位于铺块边界上的顶点的子图上执行的另一 Dijkstra 算法中,其中与该子图的边缘相关的成本再一次基于铺块的阻抗值和顶点的直线距离来确定,如上所述。

[0016] 在另一优选实施例中,通过以下操作来确定铺块边界顶点的估计函数值:从目标开始、在重新定义的图上执行 Dijkstra 算法,该重新定义的图包括位于目标铺块内的路段,以及仅位于除了目标铺块以外的铺块的铺块边界上的顶点,与连接位于任意一个铺块的边界上的两个顶点的边缘相关的成本,是基于该任意铺块的阻抗值和这些顶点的直线距离确定的。

[0017] 优选地,使用上述方法为道路网的每个铺块边界顶点确定估计函数值。可选地,可以根据任意适合的终止标准来终止铺块边界顶点的估计函数值的确定。一旦已经为位于铺块边界上的所有顶点确定了估计函数值,基于该信息,也可以容易地建立位于铺块内部的顶点的估计函数值。在本发明的一个实施例中,该方法包括根据位于铺块的边界上的铺块边界顶点的估计函数值,以及与连接内部顶点和铺块边界顶点的最优路线相关的成本的下限,来为位于铺块的内部的内部顶点确定估计函数值的步骤。作为后者的下限可以通过使用例如 Dijkstra 算法来确定。可选地,可以采用更简单的估计,例如基于内部顶点和铺块边界顶点的直线距离,或者基于内部顶点距离铺块边界顶点所在的铺块的边缘的最小直线距离。以这种方式,可以容易地为位于铺块的内部的每个顶点确定精确的估计函数值。如果道路网的所有顶点的估计函数值都已知,或者至少位于与路线确定相关的铺块中的所有顶点的估计函数值都已知,则可以随后执行标准 A* 算法来确定最优路线。

[0018] 由于如上所示定义的阻抗值在如下意义上是与位于相应的铺块内的路段相关的

成本的单调函数；如果路段的成本增加，则包含该路段的铺块的阻抗值或者保持不变或者增加，所以根据本发明的方法可以容易地适用于动态路线确定。出于该目的，该方法可包括以下步骤：检测道路网的路段的成本因子的增加，并依赖于检测到的成本因子的增加，而增加包含该路段的铺块的阻抗值。特别地，阻抗值可以成倍地增加。可选地，即使当路段的成本增加时，阻抗值也可以保持不变。包含为其改变成本因子的路段的铺块的阻抗值的增加，是在为道路网的各个顶点确定估计函数值之前进行的。路段的成本可以以各种方式得到增加，例如，依赖于指定用户偏好（诸如避开隧道、避开渡口连接处、避开收费道路或避开高速公路）的用户输入。可选地或者附加地，可以接收交通消息信号，并且可以依赖于接收到的交通消息信号而增加一个或多个路段的成本。例如，如果得到特定路段出现交通阻塞的通知，则可以增加该路段的成本以便实现回避功能。

[0019] 在本发明的一个实施例中，铺面中各个铺块的铺块尺寸是恒定的。然而，在另一实施例中，铺面以如下方式定义：铺块的尺寸随着距离起点和目标的距离的增加而增加。在这种情况下，为第一规则铺面的每个铺块提供第一阻抗值，为第二规则铺面的每个铺块提供第二阻抗值，并且覆盖包含道路网的一部分的区域的铺面，既包括第一规则铺面中的铺块也包括第二规则铺面中的铺块，其中铺面中的铺块的阻抗值被选择成分别与第一和第二阻抗值相对应。通过适当地选择铺面中的铺块的铺块尺寸，可以使该方法更高效。尽管在优选实施例中，所有的铺块都为正方形，但是本发明并不限于此。而是，可以将铺面中的各个铺块定义成具有任意形状，并且并不是铺面中的所有铺块都需要具有相同的形状。

[0020] 尽管在上文中，已经将根据本发明的方法描述成仅为铺面中的每个铺块提供了一个阻抗值，但是也可以为单个铺块提供多个阻抗值。特别地，为铺面中的每个铺块提供第一基本阻抗值和第二基本阻抗值，它们分别表示第一和第二基本成本模型。那么，对于形成第一和第二基本成本模型的线性组合的成本模型，其阻抗值的下限由第一和第二基本阻抗值的线性组合来确定。例如，第一和第二成本模型可以是最短路线模型和最快路线模型。由于可以根据底层的基本成本模型的阻抗值来确定组合成本模型的铺块阻抗值，而不用为大量的不同成本模型提供阻抗值，所以仅提供较少量的基本成本模型的阻抗值就足够了。

[0021] 在另一实施例中，为每个铺块提供了多个阻抗值，其中对于给定的铺块，多个阻抗值中的每一个表征与以特定方向（例如从上边缘到下边缘，从左边缘到右边缘，以及另外可能的边缘组合）穿过该给定铺块的最优路线相关的成本。基于铺面中的每个铺块的多个阻抗值确定的估计函数将通常会更精确。

[0022] 基于按照为以上本发明的任何一个实施例描述的方式确定的估计函数，在根据本发明的方法中，进行从起点到目标的最优路线搜索。算法可以是采用估计函数的任意算法，但是优选的是 A* 算法。

[0023] 尽管以上已经用道路网对本发明进行了描述，但是本发明可以应用于任何具有相等功能的任意的图。

[0024] 根据本发明的另一方面，提出了一种用于对道路网数据进行预处理的方法，该方法包括以下步骤：定义覆盖其中包含有道路网的至少一部分的区域的铺面；为铺面中的铺块，确定位于该铺块的边界上的顶点；确定与连接位于该铺块的边界上的任意一对顶点的最优路线相关的成本除以这对顶点的直线距离所得的结果的下限；以及输出所确定的下限。特别地，可以将下限设置成等于与连接位于铺块的边界上的任意一对顶点的路线相关

的成本除以该对顶点的直线距离所得的结果的最小值。这样确定的下限提供了阻抗值,该阻抗值可用在根据本发明的用于确定最优路线的方法中。

[0025] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于在道路网中确定从起点到目标的路线的系统,该系统对道路网的多个顶点采用估计函数,该估计函数提供与连接道路网的顶点和目标的路线相关的成本的下限,其中该系统包括:包含道路网数据的第一存储单元;第二存储单元,包含定义铺面的铺面定义数据和每个铺块的阻抗值;以及处理单元,其依赖于铺面的各个铺块的阻抗值确定位于铺块边界上的铺块边界顶点的估计函数值。而且,第二存储单元中所包含的给定铺块的阻抗值表示与连接位于给定铺块的边界上的道路网的顶点的路线相关的成本,使得处理单元可以根据给定铺块的阻抗值来导出与连接位于给定铺块的边界上的顶点的路线相关的成本的下限。具有该配置的系统适于执行根据本发明的用于确定路线的方法,并因此适于利用与该方法相关的优点。

[0026] 特别地,在该系统中,处理单元可以确定位于包含目标的目标铺块的边界上的目标铺块顶点,并且可以计算与连接铺块边界顶点和目标铺块边界顶点的最优路线相关的成本的下限,该下限是依赖于铺面的各个铺块的阻抗值来确定的。特别地,处理单元可以适于采用将目标铺块边界顶点作为起始点或者同时将所有目标铺块顶点作为起始点的 Dijkstra 算法,以便确定下限。如上面详细说明的那样,以这种方式,可以容易地为铺块边界顶点确定估计函数值。可以不采用 Dijkstra 算法,也可以使用从目标铺块边界顶点开始的 A* 算法,并估计到达将通过直线距离执行的路线搜索的起点的成本,来确定估计函数。为了确保能为所有相关铺块确定估计函数值,即使在扩展到起点之后仍使 A* 算法继续运行预定的时间。如果估计函数值在最优路线搜索过程的后面的阶段才需要,则这些估计函数值可以“按需”计算。在一个优选实施例中,该系统还包括存储器单元,其存储铺块顶点的坐标和由处理单元确定的相关的估计函数值。在一个有利实施例中,铺块边界顶点的坐标可以以一维坐标的形式存储,该一维坐标指定铺块边界顶点沿着由相应的铺块的边界定义的线所在的位置。

[0027] 此外,处理单元可以接收道路网的路段的交通消息信号,并且可以依赖于接收到的交通消息信号来改变包含该路段的铺块的阻抗值。可选地,相应的铺块的阻抗值可以保持不变。

[0028] 该系统还优选地采用 A* 算法来确定从起点到目标的最优路线,该 A* 算法使用依赖于铺面中的各个铺块的阻抗值而确定的并且存储在存储器单元中的估计函数值。

[0029] 在根据本发明的用于确定路线的系统中,第一和第二存储单元可以是单个物理设备,或者也可以是分离的设备。例如,第一和第二存储单元可以是 CD、DVD、存储器卡或者是导航系统的内部硬盘。

[0030] 根据本发明的又一方面,提供了一种导航系统,其包括:用于输入目标的输入装置,用于输出所确定的路线的输出装置,以及用于根据本发明的任何一个方面或实施例来确定路线的系统,该系统被连接到用于从中接收目标的输入装置,以及用于向其输出所确定的路线的输出装置。该导航系统还可以包括通常会用在导航系统中的任何组件,诸如:用于确定当前车辆位置的位置确定装置,其可以例如包括 GPS 接收器,该位置确定装置被连接到用于确定路线的系统,以提供当前车辆位置作为路线确定的起点;或者 TMC 接收器,其被连接到处理单元以向其提供交通消息信号。

[0031] 而且, 应该注意的是, 尽管将在整个这篇文档中使用术语“道路网”以便对本发明进行说明, 但是本发明的应用并不局限于物理道路网。而是, 本发明可以应用于最优路线搜索可能会对其有利的任何网络。其实例包括渡口连接处、计算机网络中的数据连接或电力传输线。

[0032] 此外, 还应该注意的是, 尽管将参考在其上定义有多个铺块的平面上定义的道路网来描述本发明, 但是本发明并不局限于在平面上定义的图。而是, 本发明的原理同样适用于更高维的物体, 例如三维图。

[0033] 可以预期的是, 本发明的主要应用领域将是, 特别是在车载导航系统中, 确定道路网中的最优路线。

附图说明

[0034] 参考附图, 根据下面对优选或有利实施例的详细描述, 本发明的附加特征和优点将变得更容易理解, 在附图中:

[0035] 图 1 显示出根据本发明的一个实施例的用于确定路线的系统的示意性框图;

[0036] 图 2 显示出道路网的一部分, 并用于示出根据本发明的一个实施例的确定阻抗值的方法;

[0037] 图 3 显示出道路网和相应的铺面, 并用于示出根据本发明的一个实施例, 用于确定位于铺块边界上的顶点的估计函数的方法;

[0038] 图 4 和图 5 显示出图 3 的道路网的一部分, 并用于示出根据本发明的一个实施例, 用于确定铺块的内部顶点的估计函数的方法;

[0039] 图 6 显示出表示根据本发明的一个实施例的用于确定路线的方法的流程图;

[0040] 图 7 显示出表示图 6 所示方法的子例程的流程图;

[0041] 图 8 显示出表示图 6 所示方法的另一子例程的流程图;

[0042] 图 9 显示出表示图 6 所示方法的又一子例程的流程图;

[0043] 图 10 显示出根据本发明的一个可选实施例, 表示图 6 所示方法的子例程的流程图;

[0044] 图 11 显示出图 3 的道路网和铺面, 并用于示出根据图 10 所示的可选实施例的方法;

[0045] 图 12 显示出图 3 的道路网和不同的铺面, 并用于示出根据本发明的方法的另一实施例;

[0046] 图 13 显示出表示用于动态路线确定的方法的流程图, 该方法采用了图 6 所示的用于路线确定的方法;

[0047] 图 14 显示出地图的一部分, 其中铺块阻抗值以灰度表示; 并且

[0048] 图 15a 显示出根据依照本发明的一个实施例的方法执行的最优路线确定的过程中搜索的区域, 同时图 15b 显示出根据传统方法执行的相同的最优路线确定过程中的被搜索的区域。

具体实施方式

[0049] 将参考图 1 来描述根据本发明的一个实施例的导航系统 1。该系统适于使用采用

估计函数的算法（诸如 A* 算法），来在道路网上确定从起点到目标的路线。该系统包括：处理单元 2，包含道路网数据的第一存储单元 3，包含铺面定义数据和铺面的各个铺块的阻抗值的第二存储单元 4，以及存储器单元 5，这些组件采取组合的形式来形成根据本发明的一个实施例的用于确定路线的系统。第一存储单元 3 和第二存储单元 4 可以是不同的物理设备，或者也可以是单个物理设备，例如 CD-ROM、CD-RW、DVD、存储器卡或内部硬盘。

[0050] 存储在第一存储单元 3 中的道路网数据是常规的道路网数据，其包括：例如，与路段位置和方向有关的图形信息（诸如路段的起点和终点的地理位置），以及对路段长度、路段上的特征行驶速度和 / 或经过路段所需的特征行驶时间进行量化的附加信息。更一般地，一个或若干个属性与每个路段相关，指定用于特定成本模型的与经过该路段的活动相关的成本，以及通常情况下的与路段连接点相关的成本。

[0051] 存储在第二存储单元 4 中的铺面定义数据 4a-4c 确定铺面中的所有铺块的布置。对于其中的所有铺块均具有相等尺寸的矩形铺面的简单情况，每个铺块通过其角落之一的坐标，或者通过指定该铺块在铺面中的位置的一个索引或一对索引而被唯一地确定。重要的是，第二存储单元 4 还包含铺面中的每个铺块的阻抗值，该阻抗值表示与穿过铺块的活动相关的成本，这将在下面参考图 2 更详细地进行说明。

[0052] 存储在第一存储单元 3 和第二存储单元 4 中的数据可以存储在存储器单元 5 中，以供处理单元 2 进行进一步的处理。

[0053] 导航系统 1 还包括用于输入例如目标或用户偏好的输入装置 6，用于输出所确定的路线的输出装置 7（例如显示或声音输出单元），包括 GPS 接收器的位置确定装置 8，以及 TMC 接收器 9。

[0054] 接下来，参考图 2，将通过描述用于确定阻抗值的方法来更详细地说明铺块的阻抗值的定义。图 2 显示出铺块 T_0 ，道路网的一部分位于其中。路段终止于用正方形指示的顶点，小正方形指示位于铺块的内部的顶点，而大正方形指示位于铺块的边界上的顶点 tbv_1 - tbv_4 。

[0055] 为了确定铺块 T_0 的阻抗值，首先，确定位于铺块边界上的所有顶点，在本情况下为顶点 tbv_1 - tbv_4 。随后，对位于铺块边界上的这些顶点中的每一对，例如使用 Dijkstra 算法来确定连接这对顶点的最优路线。对于由顶点 tbv_1 和 tbv_2 以及由顶点 tbv_2 和 tbv_4 组成的对，这些最优路线分别在图 2a 和 2b 中以粗线 11 和 13 示意性地指示。然后，对每个这样的顶点对，计算直线距离，对于顶点 tbv_1 和 tbv_3 以及 tbv_2 和 tbv_4 ，直线距离分别在图 2a 和 2b 中以虚线 12 和 14 示意性地指示。随后，计算与连接两个顶点的最优路线相关的成本和两个顶点的直线距离的商。最后，确定位于铺块的边界上的各个顶点对的所有这些商的最小值。将铺块 T_0 的阻抗值设置成等于该最小值。

[0056] 因此，铺块的阻抗值由以下等式给出：

$$R = \min_{tbv_i} \min_{tbv_j \neq tbv_i} \frac{\text{costs}(tbv_i; tbv_j)}{\text{air-line distance}(tbv_i; tbv_j)}, \quad (\text{等式 } 1)$$

[0058] 其中，R 表示铺块的阻抗值， tbv_i 和 tbv_j 表示位于铺块的边界上的顶点， $\text{cost}(tbv_i; tbv_j)$ 表示与连接 tbv_i 和 tbv_j 并且穿过该铺块的最低成本路线相关的成本，并且 $\text{air-line distance}(tbv_i; tbv_j)$ 表示该对顶点 tbv_i 和 tbv_j 的直线距离。 costs 典型地包括路段成本和与路段连接点相关的成本这两者的贡献，这两者都被纳入考虑。

[0059] 根据阻抗值的定义,对于位于铺块的边界上的任意顶点 tbv_i 和 tbv_j ,与连接这些顶点的最优路线相关的成本满足如下不等式:

$$[0060] \quad \text{costs}(tbv_i;tbv_j) \geq R \times \text{air-line distance}(tbv_i;tbv_j). \quad (\text{等式 } 2)$$

[0061] 应该注意的是,由于两个顶点的直线距离仅取决于道路网的几何形态,所以在铺块的阻抗值 R 已知时,(等式 2) 的右侧可以很容易地计算出来,以便提供与连接这对顶点的最优路线相关的成本的下限。如将在下面更详细说明的那样,该特征由根据本发明的用于确定路线的方法有利地利用。

[0062] 应该注意的是,道路网中的最优路线搜索通常与有向的图中的路线搜索相对应,即,例如,如果单行道位于铺块内或者如果路段的速度限制对于相反的行驶方向是不同的,则与从 tbv_i 到 tbv_j 的路线相关的成本可以不同于与从 tbv_j 到 tbv_i 的路线相关的成本。因此,一般情况下,对于有向的图,必须估计(等式 1) 右侧的表达式,即,商的分子中的顶点的顺序是重要的。

[0063] 此外,与连接位于铺块边界上的顶点的最优路线相关的成本,典型地取决于所采用的成本模型。因此,对于铺面中的每个铺块,将通常为最重要的成本模型(诸如最短路线和最快路线成本模型)确定若干个阻抗值,并且不同的阻抗值将被存储在第二存储单元 4 中。在这方面中,需要再次强调的是,阻抗值并不是在车载状态下计算的,而是在道路网数据预处理阶段期间计算的,以供随后用在路线确定中。

[0064] 如接下来将参考图 3 说明的那样,按照上述方式计算的阻抗值可以有利地用在路线确定中。更具体而言,估计函数在被用在例如 A^* 算法中时,可以很容易地根据阻抗值导出。

[0065] 图 3 显示出示例性的道路网和铺面 T 。该铺面包括铺块 T_1-T_9 。道路网的顶点再次用正方形来指示,大正方形指示位于铺块边界上的顶点。仅出于说明的目的,假定将从起点 21 到目标 22 来确定最优路线。此外,假定按照上述方式确定的阻抗值对于铺面中的所有铺块 T_1-T_9 都是已知的。为了使用 A^* 算法确定最优路线,必须知道道路网的每个顶点的估计函数,该估计函数提供与连接道路网的任意顶点和目标的最优路线相关的成本的下限。

[0066] 对于位于铺块边界上的顶点,例如图 3 中的顶点 23,该顶点的估计函数的值可以如下确定。

[0067] 首先,识别包含目标 22 的目标铺块 T_3 ,并且识别位于目标铺块的边界上的顶点 24、25。

[0068] 然后,对于由仅位于铺块边界上的道路网的顶点构成的图,即由图 3 中的大正方形指示的顶点所构成的图,从位于目标铺块 T_3 的边界上的顶点 24、25 中的每一个开始,来执行 Dijkstra 算法。该子图的一些边缘在图 3 中用虚线 26a-26d 指示。与该子图的任意一条这样的边缘相关的成本可以根据(等式 2) 来确定,即,与子图的边缘相关的成本被设置成等于由该子图边缘穿过的铺块的阻抗值乘以该边缘所连接的顶点的直线距离。例如,与边缘 26a 相关的成本被设置成等于铺块 T_2 的阻抗值乘以顶点 23 和 24 的直线距离。由于由仅位于铺块边界上的顶点构成的子图通常比原始道路网小得多,所以可以从位于目标铺块的边界上的顶点 24、25 中的任何一个开始,来很容易地执行 Dijkstra 算法。在一个优选实施例中,通过将所有目标铺块边界顶点作为起始点集合输入到 Dijkstra 算法中,来对所有这些顶点同时执行 Dijkstra 算法。此外,根据(等式 2),与该子图上的最优路线相关的成本是与原始道路网上的最优路线相关的成本的下限。例如,假定该子图上的最优路线

经由边缘 26a 连接顶点 24 与顶点 23,那么铺块 T_2 的阻抗值乘以边缘 26a 的长度所得的结果提供了与原始道路网上从顶点 24 到顶点 23 的最优路线相关的成本的下限。

[0069] 因此,在子图上,一旦已知与连接位于铺块边界上的顶点 23 和位于目标铺块的边界上的顶点 24、25 中的任何一个的最优路线相关的成本,则所有这些成本的最小值也提供了与原始图上的最优路线相关的成本的下限。

[0070] 更一般地,位于铺块边界上的顶点 tbv 的估计函数可以根据以下等式来建立:

[0071] $\text{estimation function}(tbv) = \min_{dtbv_i} \text{costs}_{SG}(dtbv_i;tbv)$, (等式 3)

[0072] 其中, $dtbv_i$ 表示位于目标铺块的边界上的顶点, costs_{SG} 表示与如上所述定义的子图上的最优路线相关的成本,该路线连接 $dtbv_i$ 和 tbv 。上面的等式的右侧的最小值是在位于目标铺块的边界上的所有顶点上取得的。

[0073] 可以通过考虑与连接目标 22 和目标铺块边界顶点 24、25 的路线相关的成本,来进一步改善估计函数的精确度:

[0074] $\text{estimation function}(tbv) = \min_{dtbv_i} [\text{costs}_{SG}(dtbv_i;tbv) + \text{costs}(d;dtbv_i)]$, (等式 4)

[0075] 其中(等式 4)的右侧上的方括号中的第二项表示连接目标与每一个目标铺块边界顶点的最优路线的成本。这些成本可以例如通过在目标铺块 T_3 中使用 Dijkstra 算法来确定。然而,可以使用任何下限来代替实际成本,例如仅基于直线距离的下限。对于(等式 4)的方括号中的第二项被设置成等于 0 的下限很小的情况,(等式 4)就简化为(等式 3)。

[0076] 在优选实施例中,通过将所有目标铺块边界顶点作为起始点集合同时输入到算法中,来执行 Dijkstra 算法。在该优选实施例中,如果 $\text{costs}(d;dtbv_i)$ 是已知的(例如,通过对原始道路网上的目标铺块执行 Dijkstra 算法),并且如果将这些值输入到在如上所述定义的子图上执行的 Dijkstra 算法中,那么在该 Dijkstra 算法中可以容易地确定(等式 4)的右侧。

[0077] 可选地,(等式 4)的右侧可以通过定义新图来计算,该新图包括:位于目标铺块中的原始路段,以及在目标铺块以外的连接仅位于铺块边缘上的顶点的边缘。图 11 中所示的这种重新定义的图将在下面更详细地说明。通过在重新定义的图上执行 Dijkstra 算法而为铺块边界顶点确定的成本,是关于各个铺块边界顶点的(等式 4)的右侧。

[0078] 应该理解的是,尽管出于说明目的而已经将上述说明限制于顶点 23,但是也可以如上所述地确定位于铺块边界上的任意顶点的估计函数。一旦已经为位于铺块边界上的所有顶点都确定了估计函数,位于铺块内部的顶点的估计函数也可以很容易地得到确定,如接下来将要说明的那样。

[0079] 图 4 和图 5 显示出图 3 的铺面 T 中的铺块 T_2 和位于其内的道路网的一部分。由于已经为顶点 23 和 24 确定了估计函数,该估计函数提供与连接这些顶点和目标的最优路线相关的成本的下限,所以位于铺块 T_2 内部的顶点 29 的估计函数可以如下确定。

[0080] 在一个实施例中,与连接顶点 29 和顶点 23、24 的最优路线相关的精确成本,分别通过使用 Dijkstra 算法来确定。然后,计算这些成本与位于铺块边界上的相应顶点的估计函数的总和,并且这些总和中较小的一个提供顶点 29 的估计函数值。

[0081] 然而,不必要计算与连接顶点 29 和顶点 24 或顶点 23 的最优路线相关的精确成本。而是,可以采用任何适合的下限。例如,如图 4 中所示,以点划线 27 和 28 示意性地指示的直线距离,分别可以用于估计与连接顶点 29 和位于铺块 T_2 的边界上的顶点的路线相

关的成本。

[0082] 由于图 4 中所示的直线距离的计算涉及估计方形路线,所以为了进一步加快估计函数的计算,可选地,也可以采用垂直距离 27' 和 28' 作为与铺块内部的路线相关的成本的下限,如图 5 中示意性指示的那样。例如,假定采用最短路线搜索,则将顶点 29 的估计函数设置成等于以下二者中的较小者:顶点 24 的估计函数加上垂直距离 27' 的和;以及顶点 24 的估计函数加上垂直距离 28' 的和。最后,在又一实施例中,可以简单地将铺块内部的每个顶点的估计函数设置成等于位于该铺块的边界上的顶点的估计函数的最小值,从而以估计函数的精确度为代价来减小确定估计函数的过程中的计算复杂度。

[0083] 图 2-5 用于示出作为根据本发明的各种实施例的估计函数的确定方法的基础的基本原理。应该注意的是,参考图 2 所述的阻抗值的确定,也应包括在本发明的范围中。

[0084] 接下来,参考图 6-10,将详细描述根据各个实施例的用于确定从起点到目标的路线的方法。

[0085] 图 6 显示出示意性地表示根据本发明的一个实施例的用于确定路线的方法的流程图,该方法总体用 30 来指示。首先,在步骤 31,接收起点和目标。例如,与起点和目标有关的信息可以通过用户输入来提供,或者起点也可以由位置确定装置 8 自动地提供。

[0086] 在步骤 32,定义铺面 T,其覆盖其中包含有道路网的至少一部分的、将要在其上执行最优路线搜索的区域。在步骤 33,为道路网的多个顶点确定估计函数,该步骤将在下面参考图 7-10 进行更详细的描述。一旦道路网的所有顶点或者至少所有相关顶点的估计函数都是已知的,则在步骤 36,基于先前在步骤 33 中确定的估计函数,执行 A* 算法来确定从起点到目标的最优路线。最后,在步骤 37,例如以电子地图的形式或作为声音输出来经由输出装置 7 输出最优路线。

[0087] 在本发明的一个实施例中,为道路网的顶点确定估计函数的步骤 33 是作为两步处理来执行的,如接下来将参考图 7-9 说明的那样。如图 7 的流程图示意性指示的那样,首先,在步骤 34,为位于铺块边界上的顶点确定估计函数,随后,在步骤 35,为位于铺块内部的顶点确定估计函数。

[0088] 图 8 示意性地指示出表示确定位于铺块边界上的顶点的估计函数的步骤 34 的流程图。首先,在步骤 341,确定包含目标 d 的铺块 T_d ,并且在步骤 342,确定位于铺块 T_d 的边界上的顶点,这些顶点用 $dtbv_i$ 来表示。在步骤 343,对于位于目标铺块的边界上的每个顶点,确定与连接目标 d 和目标铺块边界顶点的最优路线相关的成本的下限,该下限用 $cost(d; dtbv_i)$ 来表示。例如,可以通过在目标铺块上使用 Dijkstra 算法,或者采用在上面已经参考图 3 说明的任何其它适合的方法,来确定该下限。

[0089] 在步骤 344,定义新图,该新图是原始道路网的子图,并且包括仅位于铺块边界上的顶点。重要的是,如上面已经参考图 3 所说明的那样,与子图的边缘相关的成本,是基于通常与道路网的几何特性相结合的铺面中的各个铺块的阻抗值来确定的。在步骤 345,从位于目标铺块上的每一个顶点开始,来执行 Dijkstra 算法。在一个优选实施例中,通过将所有目标铺块边界顶点作为起始点集合,Dijkstra 算法在步骤 345 中仅被执行一次。

[0090] 在步骤 345 中,可以执行 A* 算法,而不执行 Dijkstra 算法,该 A* 算法从目标铺块边界顶点朝起点进行,并采用基于直线的估计。

[0091] 最后,对位于铺块边界上的顶点重复执行步骤 346-348 以便为这些顶点确定估计

函数。在步骤 346, 选择位于铺块边界上的顶点。在步骤 347, 按照上面参考 (等式 4) 说明的方式, 即根据以下两项之和的下限来确定该顶点的估计函数: 在步骤 345 中确定的与连接该顶点和位于目标铺块的边界上的顶点的最优路线相关的成本, 以及与连接位于目标铺块的边界上的顶点和目标的路线相关的成本。最后, 在步骤 348, 将确定的估计函数值存储在存储器单元 5 中。

[0092] 对位于铺块边界上的顶点进行的步骤 346-348 的重复执行, 可以根据任何适合的终止标准 (例如, 如果位于铺块边界上的所有顶点的估计函数是已知的, 或者至少位于可能与最优路线搜索相关的铺块的边界上的所有顶点的估计函数值是已知的) 来终止。

[0093] 应该注意的是, 图 8 的流程图仅是示意性的, 并且其中描述的若干步骤可以并行地执行。例如, 在一个优选实施例中, 执行步骤 345 以及重复执行步骤 346-348, 使得 Dijkstra 算法或 A* 算法通过将所有目标铺块边界顶点同时作为输入而得到执行, 并且朝向路线搜索的起点执行搜索。可选地, 可以通过首先对图进行重新定义 (如下面参考图 11 说明的那样), 然后在重新定义的图上执行 Dijkstra 算法或 A* 算法, 来并行地执行步骤 343、345 和 346-348。

[0094] 一旦位于铺块边界上的所有相关顶点的估计函数都是已知的, 则在步骤 35 中, 为位于铺块内部的顶点确定估计函数, 如接下来将参考图 9 更详细说明的那样。首先, 在步骤 351, 选择铺块 T_i 。然后, 在步骤 352, 确定位于该铺块的边界上的所有顶点。对位于该铺块内部的所有顶点重复执行步骤 353-356。首先, 在步骤 353, 选择位于铺块内部的顶点。在步骤 354, 对位于该铺块的边界上的每个顶点, 确定连接铺块内部的所选顶点和位于铺块边界上的顶点的最优路线的成本的下限。尽管在图 9 中, 该值被示意性地表示为与连接这两个顶点的最优路线相关的精确成本 (其可以例如通过对所选的铺块使用 Dijkstra 算法来获得), 但是也可以采用用于获得这些成本的下限的任何其它适合的方法, 如上面参考图 4 和 5 所说明的那样。然后, 在步骤 355, 确定这些成本加上位于铺块边界上的对应顶点的估计函数所得的和的最小值, 并且将位于铺块内部的顶点的估计函数设置成等于该最小值。在步骤 356, 存储所确定的估计函数值。对位于铺块内部的所有顶点重复执行步骤 353-356。在对位于铺块内部的顶点进行的重复执行终止之后, 在步骤 357, 选择新的铺块 T_i , 并且对铺面中的所有相关的铺块重复执行步骤 352-356。

[0095] 返回到图 6, 通过如上所述, 基于铺面中的各个铺块的阻抗值确定道路网的所有相关顶点的估计函数, 可以执行采用该估计函数的 A* 算法。此外, 应该强调的是, 铺面 T 的定义以及铺面中的各个铺块的阻抗值的提供, 使 A* 算法中采用的估计函数可以容易地和可靠地得到计算。

[0096] 应该理解的是, 参考图 6-9 的以上描述仅表示根据本发明的方法的一个有利实施例, 并且各种改型是可以想到的。例如, 尽管在步骤 344 中, 可以通过将铺块的阻抗值乘以位于该铺块的边界上的一对顶点的直线距离, 来估计与子图的边缘相关的成本, 但是也可以通过任何其它适合的方式来确定与子图边缘相关的成本。例如, 如果顶点位于铺块边界的相对边缘上, 则与连接这对顶点的边缘相关的成本, 可以通过该铺块的阻抗值与该铺块的边缘长度的乘积来近似。更进一步地, 为了计算估计函数, 可以将位于铺块的一个边缘上的多个顶点收缩成单个顶点, 从而进一步减小计算估计函数的复杂度。

[0097] 尽管在以上描述中, 在步骤 343、347、354 和 355 中, 已经采用了与连接位于铺块内

部的顶点和位于铺块边界上的顶点的最优路线相关的精确成本,但是也可以使用提供这些成本的下限的任何其它适合的方法。例如,如上面参考图 4 和 5 说明的那样,可以采用顶点间的直线距离或顶点距离铺块边界的距离来导出这些成本的下限。

[0098] 接下来将参考图 10 和 11 来说明图 6 中所示的方法的另一改型。根据该改型,图 6 的步骤 33 由图 10 的步骤 33' 替换。作为该改型的基础的基本想法是:对于确定从起点到目标的最优路线而言,并不总是有必要计算位于铺块内部的顶点的估计函数。

[0099] 根据该改型,首先在步骤 34,为位于铺块边界上的顶点确定估计函数。该步骤按照上面参考图 8 说明的方式来执行。然后,在步骤 38,为位于包含起点的起始铺块内的顶点和位于包含目标的目标铺块内的顶点确定估计函数。对于目标铺块,这可以例如通过使用 Dijkstra 算法,从目标开始来实现。对于起始铺块,可以按照上面参考图 9 说明的方式来确定估计函数。然后,在步骤 39,重新定义将在其上执行最优路线搜索的图,使得该图由以下顶点组成:位于起始铺块和目标铺块中的所有顶点,以及位于铺块边界上的所有顶点。对于图 3 中所示的道路网,重新定义的图在图 11 中被示意性地表示。与修改后的图中连接位于一个铺块的边界上的顶点对的那些边缘相关的成本,可以用任何适合的方式来确定(例如通过对该铺块执行 Dijkstra 算法,并确定与连接位于铺块边界上的顶点对的路线相关的最小成本)。随后,对修改的图执行最优路线搜索。应该理解的是,由于将铺块的顶点收缩成位于铺块边界上的更少数量的顶点,所以在向用户输出所确定的最优路线之前必须提取这些顶点。例如,这可以再次通过对独立的铺块进行基于 Dijkstra 算法的最优路线搜索来实现。

[0100] 尽管在图 3 和 11 中,将铺面 T 显示为由具有相同尺寸和形状等多个铺块构成,但不一定需要这样。

[0101] 实际上,如接下来将参考图 12 说明的那样,选择具有不均匀的铺面尺寸的铺面会是有利的。出于该目的,定义了图 12a 和 12b 中所示的两种不同的铺面 T' 和 T",它们覆盖其中包含有道路网的至少一部分的区域。应该注意的是,对于铺面 T",将道路网定义成使其在每个路段和铺块边界的交点处具有顶点,但是出于表示清晰的目的,并没有显示所有这些顶点。

[0102] 对于铺面 T' 和铺面 T",按照上面参考图 2 说明的方式,计算每个铺块的阻抗值。对两种铺面 T'、T",将铺面定义数据及相关的阻抗值存储在第二存储单元 4 中。

[0103] 仅在已经输入了起点和目标之后,才将图 12c 中示意性地显示的铺面 T 定义成使其包括铺块尺寸较大的铺面 T' 中的铺块以及铺块尺寸较小的铺面 T"中的铺块。更特别地,为起点和目标的邻近区域选择较小的铺块 T₁"-T₆",而为距离起点和目标都较远的区域选择较大的铺块 T₁' 和 T₂'。对于具有非均匀铺块尺寸的该铺面中的每个铺块,阻抗值被选择成为相应的铺块尺寸确定的阻抗值,并将其存储在第二存储单元 4 中。上面参考图 6-10 说明的用于确定从起点到目标的路线的各种方法,可以容易地应用于图 12c 中所示的非均匀铺面。

[0104] 在该上下文中,还应该理解的是,尽管在图中显示了正方形铺块,但也可以采用任何其它适合的铺块形状。此外,并非所有的铺块都需要具有相同的形状。

[0105] 由于根据本发明,在执行用于确定路线的方法时,估计函数是基于铺块的阻抗值来确定的,所以本发明的方法可以容易地适用于动态路线确定,如接下来将参考图 13 说明

的那样。用于动态路线确定的方法总体以 40 指示。首先,在步骤 41,接收 TMC 信号或用户输入,其指示例如由于交通阻塞或由于用户偏好而将要避开的特定路段。然后,在步骤 42,识别受 TMC 信号或用户输入影响的路段。此后,在步骤 43,识别包含受影响的路段的所有铺块。在步骤 44,根据接收到的 TMC 信号或用户输入,来更新与受影响的路段相关的成本。在步骤 45,更新包含受影响的路段的铺块的阻抗值。随后,考虑受影响的路段的更新后的成本和受影响的铺块的更新后的阻抗值,按照上面参考图 6-10 说明的方式,进行路线确定 30。特别地,在步骤 33 中,基于更新后的阻抗值计算估计函数。

[0106] 在步骤 45 中,对受影响的铺块的阻抗值的更新,可以使用多种不同的方式来执行。例如,如果与位于受影响的铺块中的路段相关的成本增加,则受影响的铺块的阻抗值可以乘以给定的常量。该常量可取决于接收到的用户输入或 TMC 信号。许多用户输入或 TMC 信号被设置成,它们将导致给定铺块中包含的所有路段被优选地避开。如果在这种情况下,与这些路段中的每一个相关的成本都按照倍增的因子增加,那么包含这些路段的铺块的阻抗值也将乘以相同的因子。在这种情况下,仍然可以确定精确的最优路线。

[0107] 应该注意的是,即使路段成本发生变化,也不一定需要更新铺块的阻抗值。而是,基于原始阻抗值确定的估计函数仍然低估到达目标的成本。因此,步骤 45 也可以被省略。

[0108] 可选地,可以为单个铺块提供若干个阻抗值,它们分别反映为以下成本模型计算的阻抗值:没有考虑任何特定用户偏好或 TMC 信号的给定成本模型,以及考虑了公共 TMC 信号或用户偏好的该给定成本模型。例如,对于包含易于遭受交通阻塞的路段的铺块,可以计算两个阻抗值,一个对应于该路段没有堵塞的情况,另一个对应于该路段被堵塞的情况。然后,在步骤 45 中,依赖于在步骤 41 中接收到的 TMC 信号,选择这些阻抗值中的任何一个。

[0109] 通常,为由不同成本模型的线性组合形成的成本模型,确定最优路线。例如,可以采用最短路线成本模型和最快路线成本模型的各种加权的组合。如果 X 和 Y 表示不同的成本模型,并且 $\alpha \cdot X + \beta \cdot Y$ 表示其线性组合,则组合成本模型的铺块的阻抗值满足如下关系:

$$[0110] \quad R(\alpha \cdot X + \beta \cdot Y) \geq \alpha \cdot R(X) + \beta \cdot R(Y), \quad (\text{等式 } 5)$$

[0111] 其中,R(X) 和 R(Y) 分别表示基于 X 和 Y 成本模型的相应的铺块的阻抗值。因此,成本模型的阻抗值的线性组合提供了成本模型的线性组合的阻抗值的下限。由于对于确定估计函数而言,提供成本的下限就足够了,所以可以通过根据底层的基本成本模型 X 和 Y 的阻抗值的相应的线性组合估算组合成本模型的阻抗值,来获得成本模型 $\alpha \cdot X + \beta \cdot Y$ 的估计函数。

[0112] 因此,在本发明的一个实施例中,对于铺面中的每个铺块,存储了与不同的基本成本模型对应的多个阻抗值。如果为与基本成本模型的线性组合相对应的成本模型执行路线搜索,那么在图 6-10 所示的方法中,在第一步骤中,将铺块的阻抗值确定为基本成本模型的线性组合。在一个实施例中,基本成本模型包括最短路线和最快路线模型。

[0113] 应该理解的是,由于阻抗值具有局部特性,所以本发明的方法和系统可以很好地适合于局部地图更新。更具体地,如果更改了现有道路网,或是在该道路网的外部补充了另外的路段,例如,如果道路网的新的部分被数字化,则只需更新道路网中实际发生变更的部分所对应的那些铺块的阻抗值。

[0114] 图 14 示意性地显示出德国中北部的地图,图中的铺块的阻抗值使用灰度表示法

来表示。铺块的形状被选择为正方形,边长为 8 千米。计算最快路线成本模型所对应的阻抗值。可以看出,通过阻抗值可以清晰地检测出德国道路网的高速公路。

[0115] 图 15 显示出从德国北部到德国南部的最优路线搜索中的搜索区域,其使用灰度表示法,同样使用边长为 8 千米的正方形铺面。图 15a 显示出根据本发明执行的最优路线搜索的搜索区域,同时图 15b 显示出根据常规方法的最优路线搜索中的搜索区域。更具体地,在图 15a 中,基于阻抗值来确定估计函数,而在图 15b 中,使用的是基于直线距离的常规估计函数。最优路线使用 A* 算法来确定。通过边缘舒展探索的铺块使用不同的灰度来表示,不同的颜色表示自起点增加的行驶时间。可以清楚地看出,与常规方法(图 15b)相比,在根据本发明的方法(图 15a)中,需要探索的铺块的数目要少得多。这会导致最优路线搜索的运行时间也更短。

[0116] 根据本发明的各个实施例的方法,可以容易地与在确定最优路线时仅搜索路段的子集的任何方法相结合。这些方法的实例已被公开,例如,在 EP 1 027 578 或 WO 03/079155 或欧洲专利申请第 05 024 414 号中,或者是基于 FRC 的启发式方法。通过相应地限制将在 A* 算法中搜索的道路网,这些方法可以与根据本发明的方法相结合。

[0117] 总之,根据本发明,提供了使用估计函数来确定路线的一种方法和系统,其中道路网的顶点的估计函数值是基于铺面和铺面中的铺块的阻抗值来确定的。根据以上优选实施例的描述明显的是,根据本发明,可以确定精确的估计函数,可以容易地实现局部地图更新,而且可以很容易实现动态路线确定。本发明可以有利地用于任何最优路线搜索中,特别是在道路网上确定最优路线。

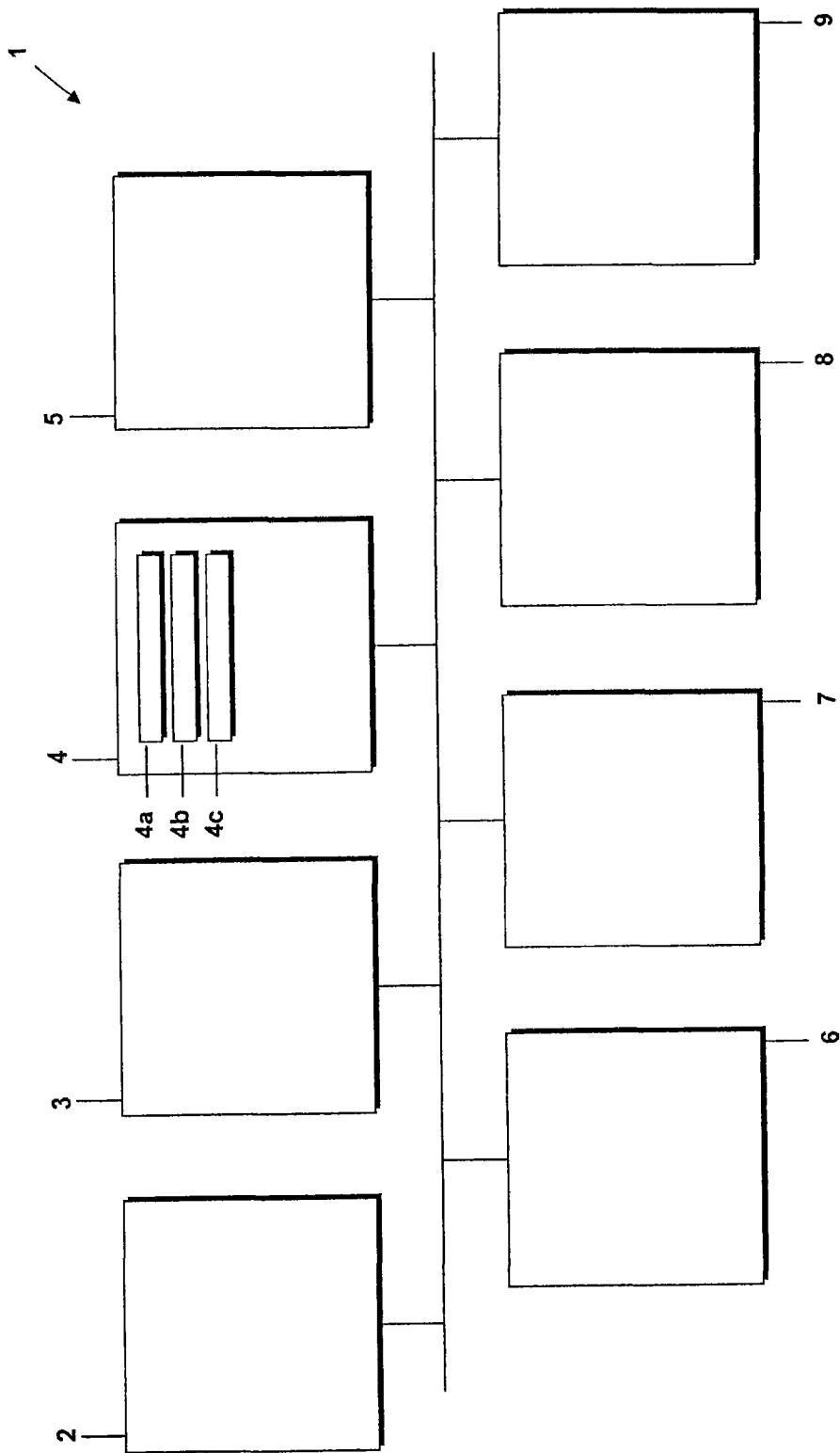


图1

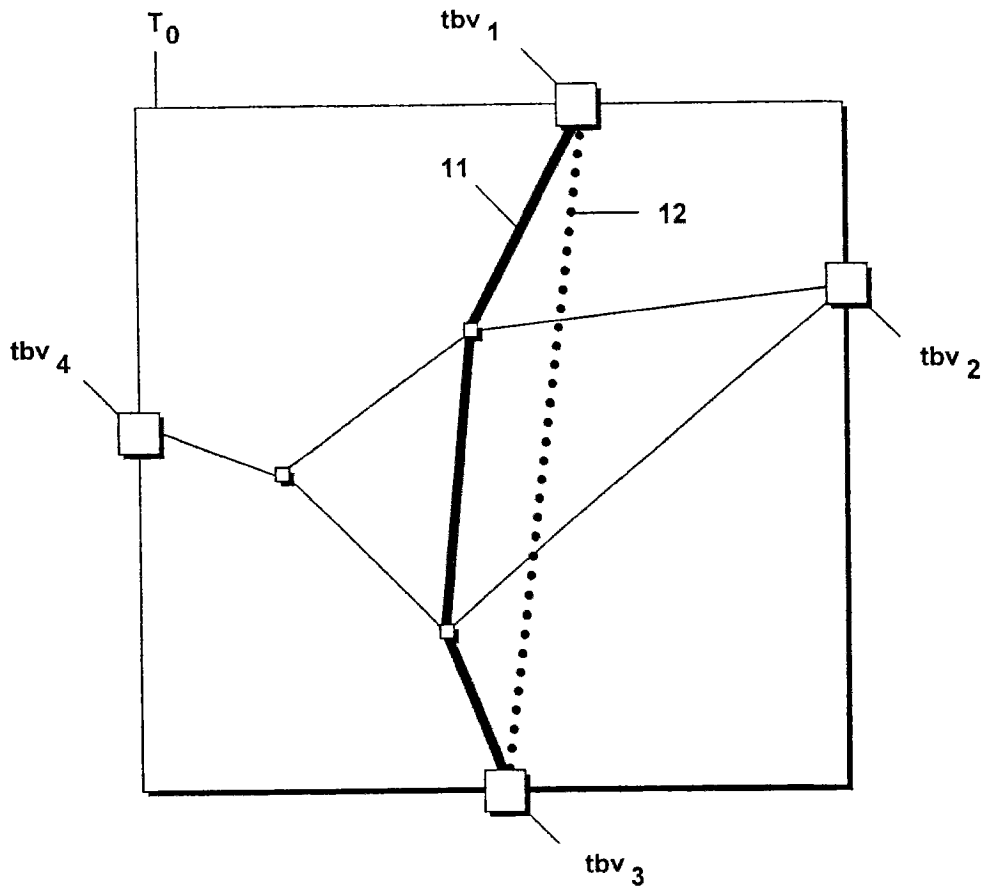


图2A

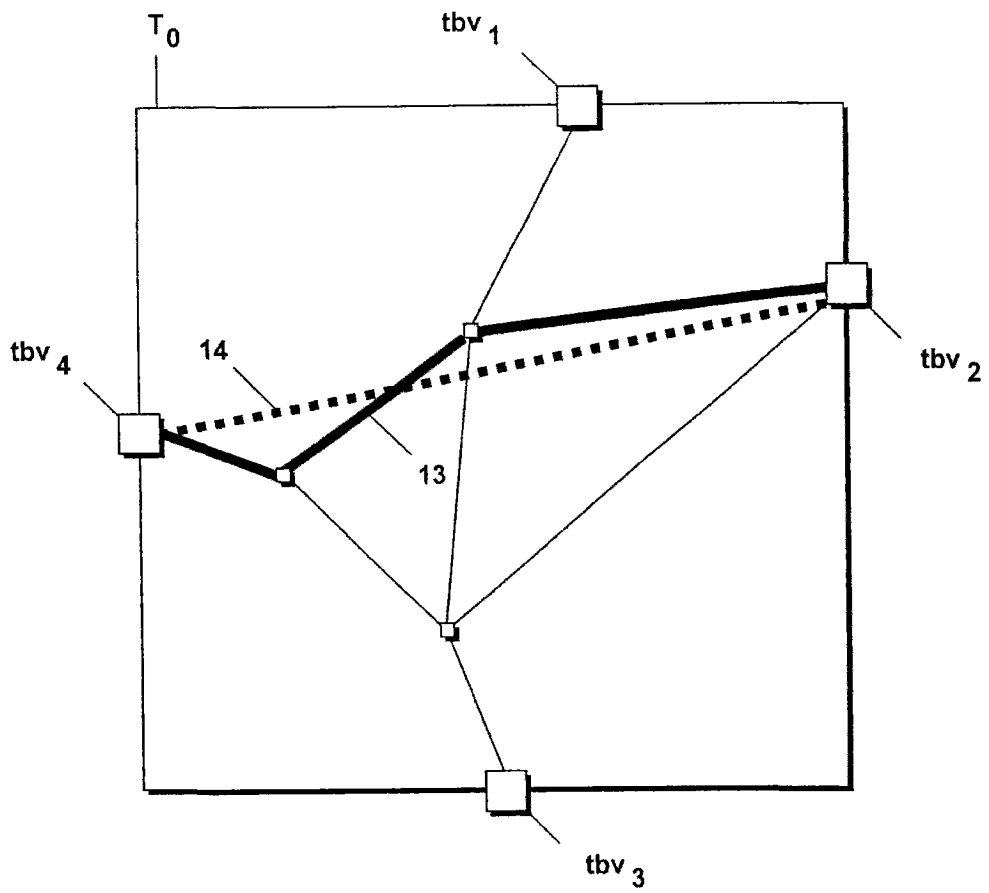


图2B

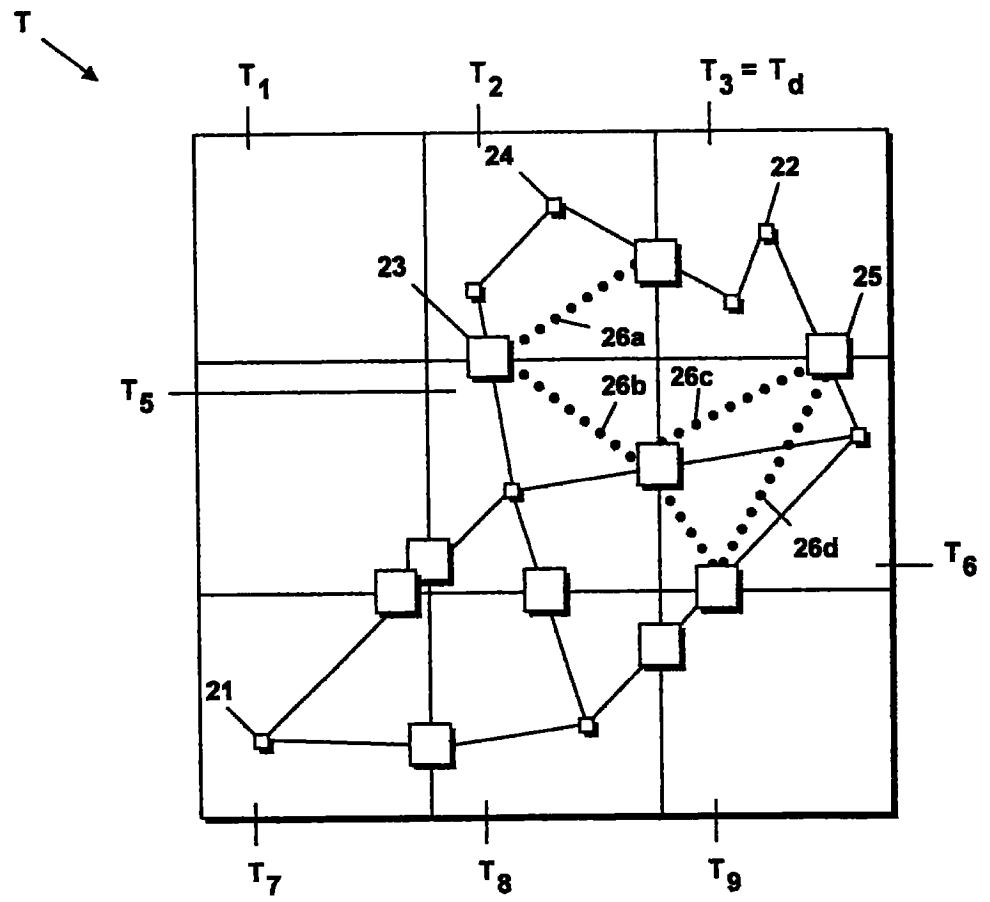


图3

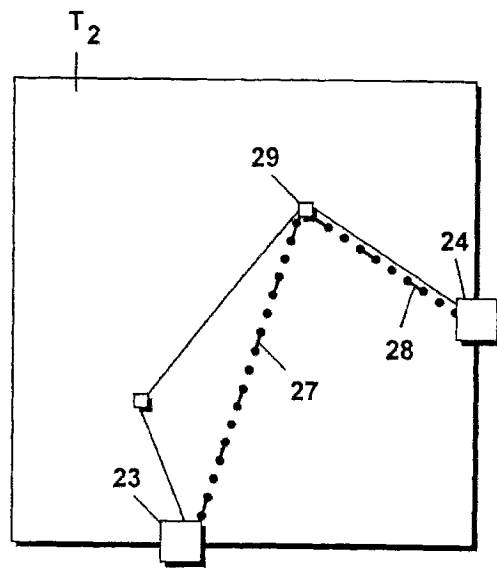


图4

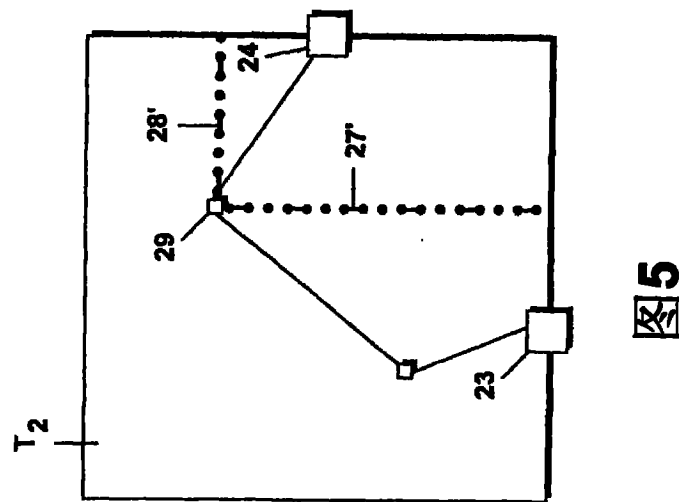


图5

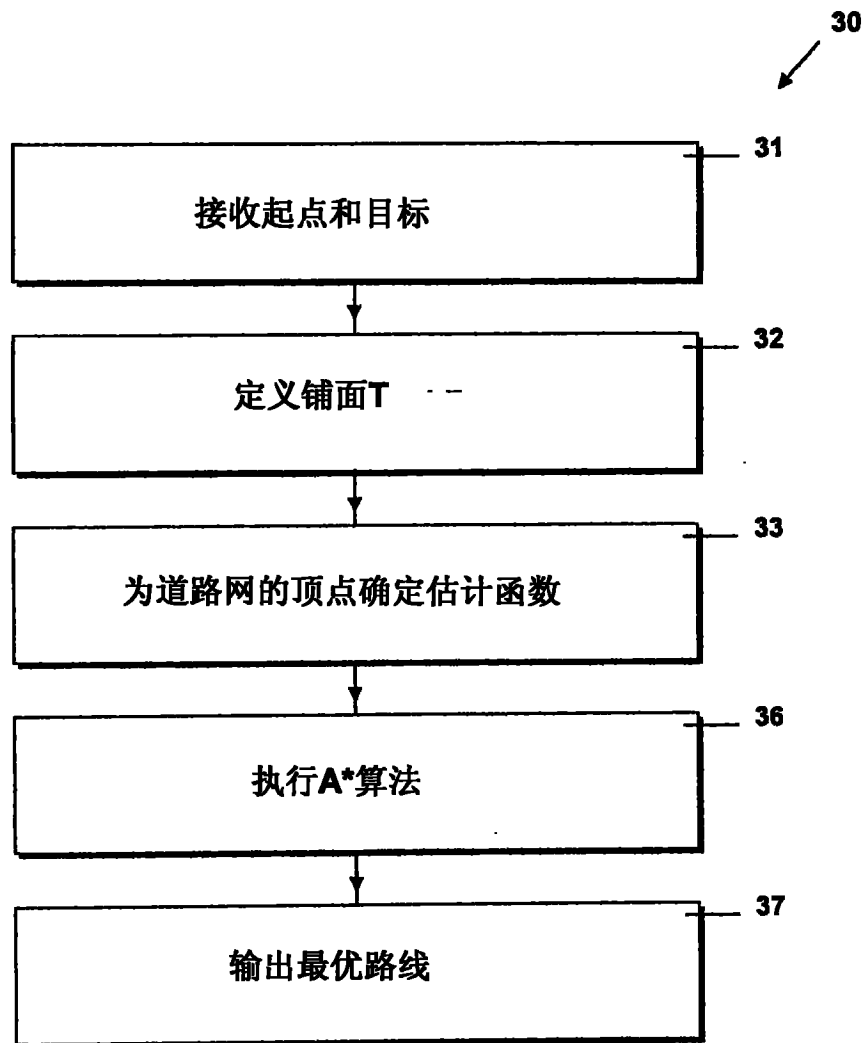


图 6

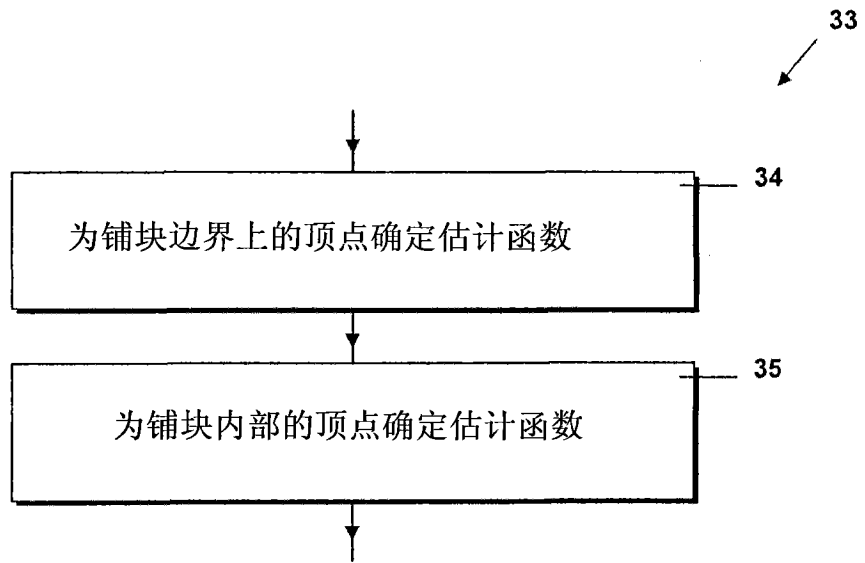


图 7

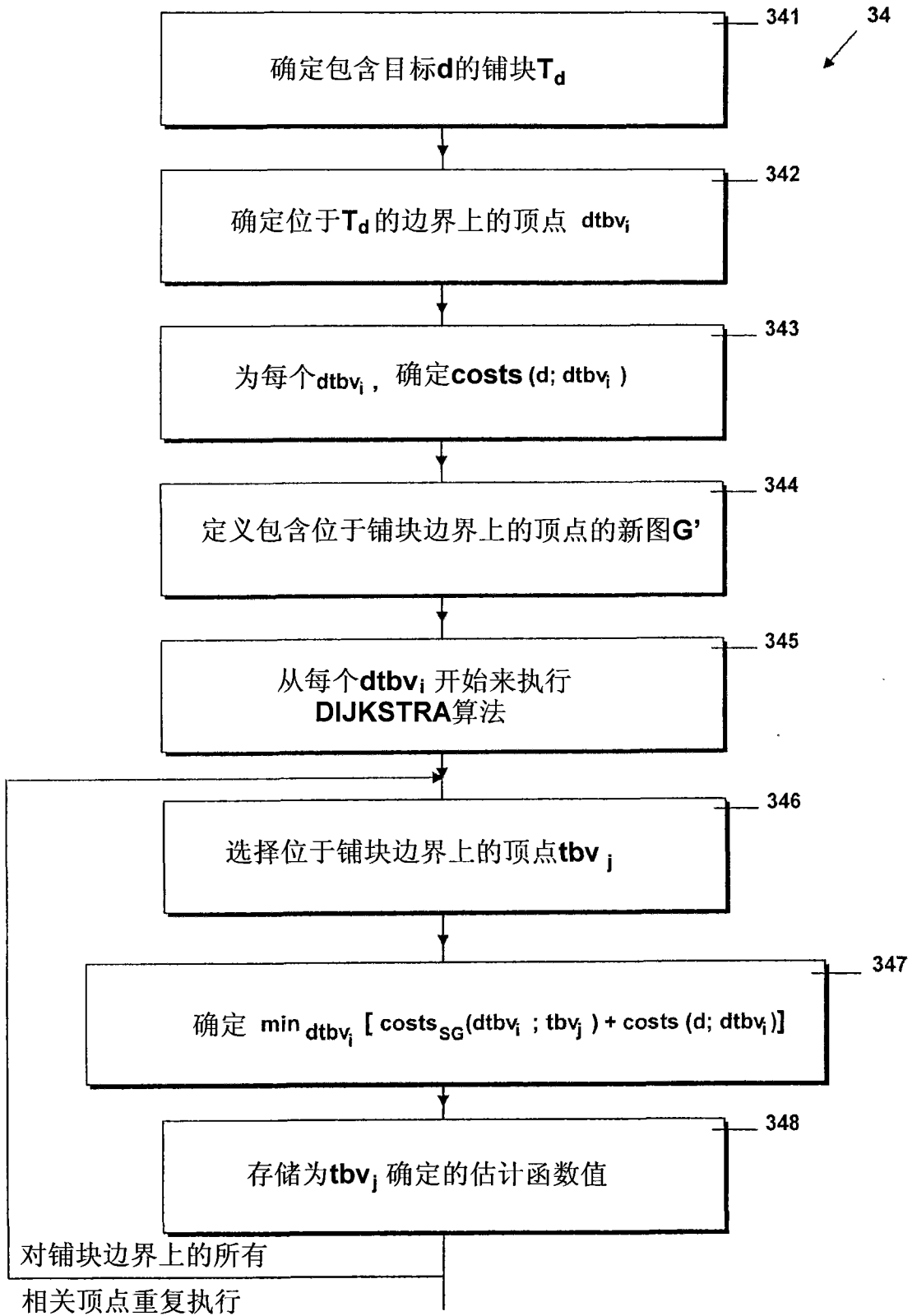


图 8

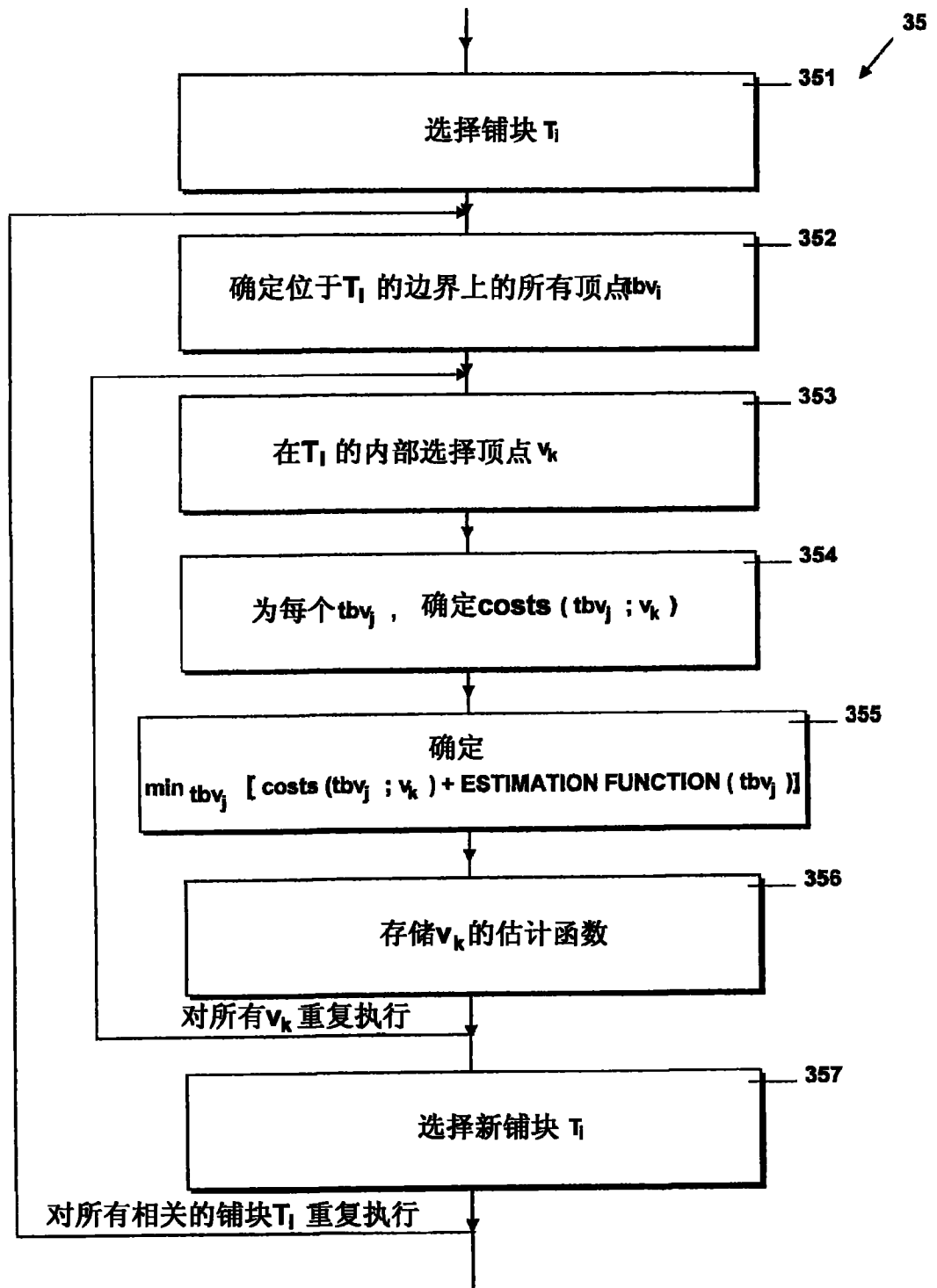


图 9

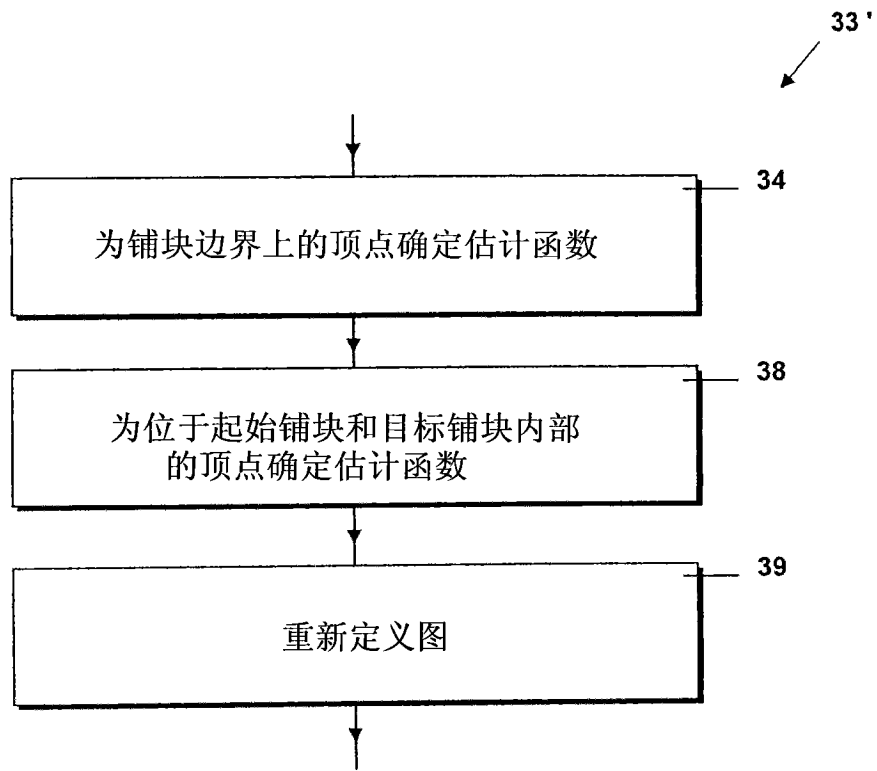


图 10

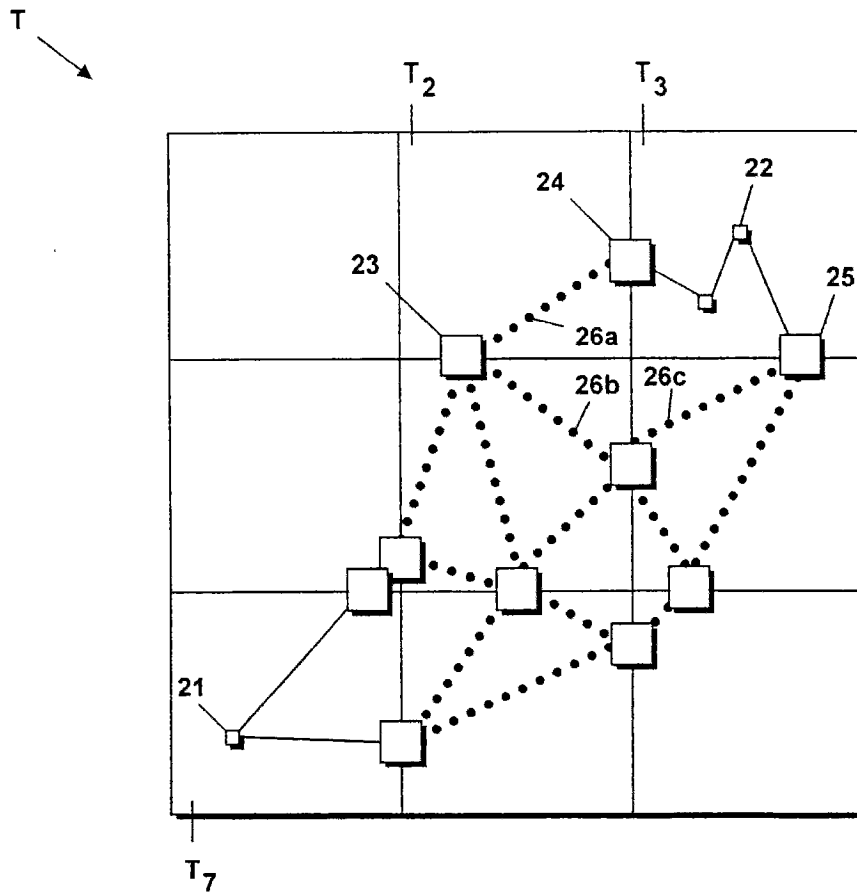


图11

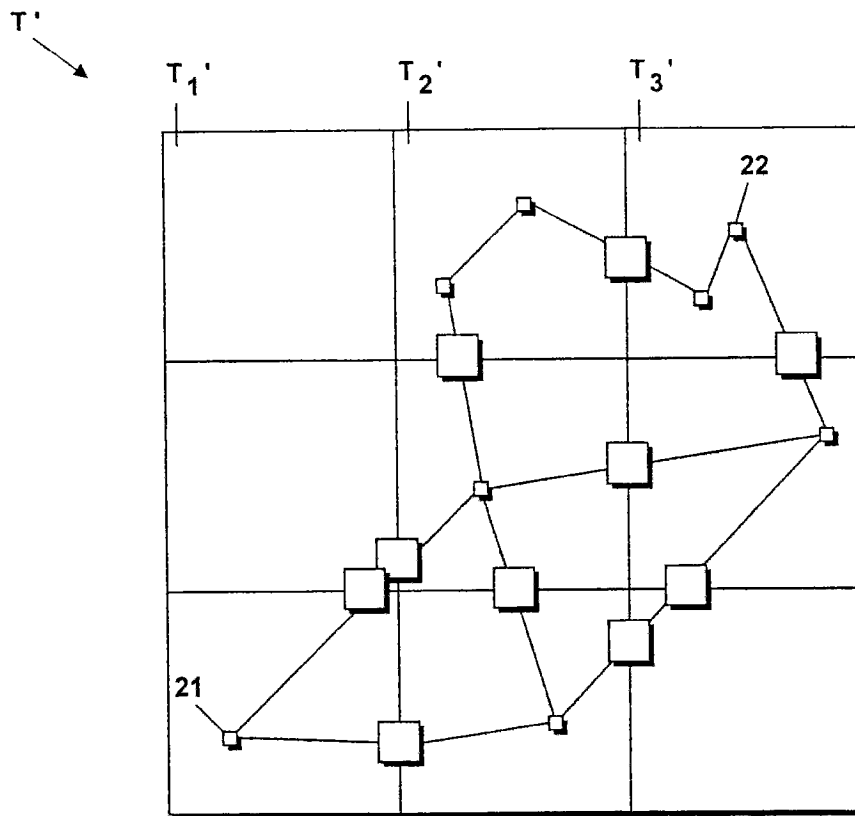


图12A

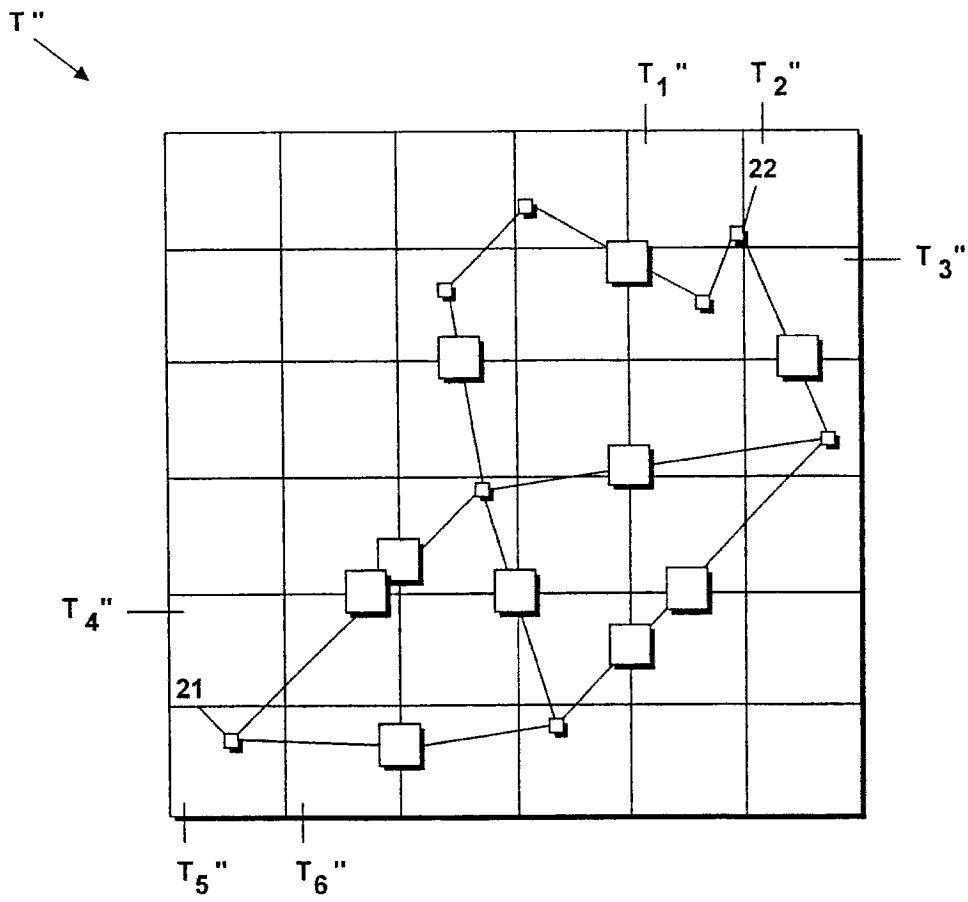


图12B

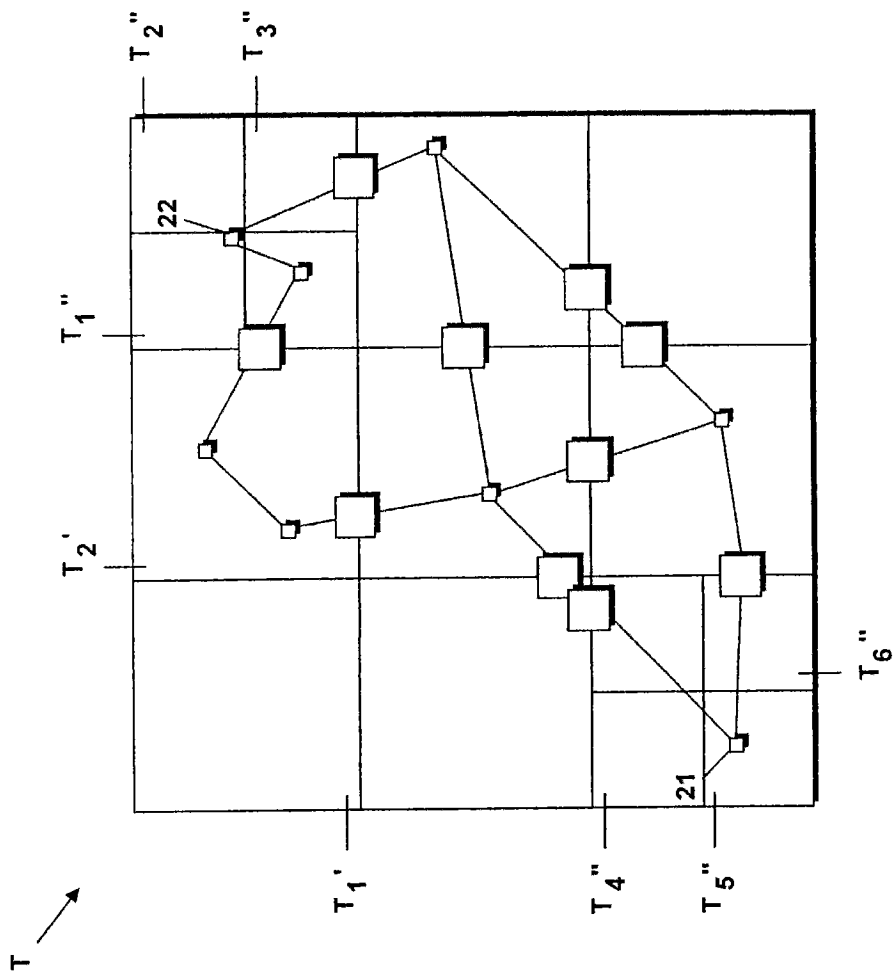


图12C

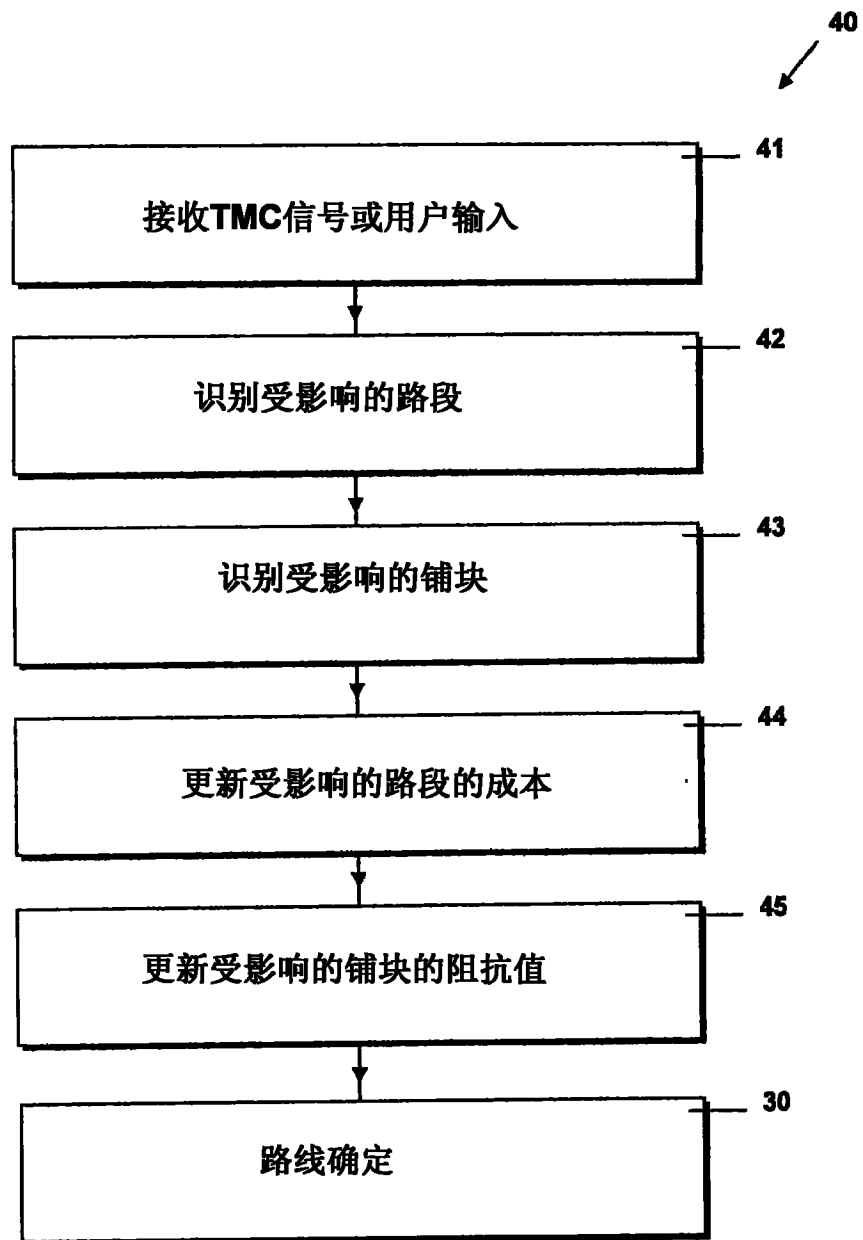


图 13

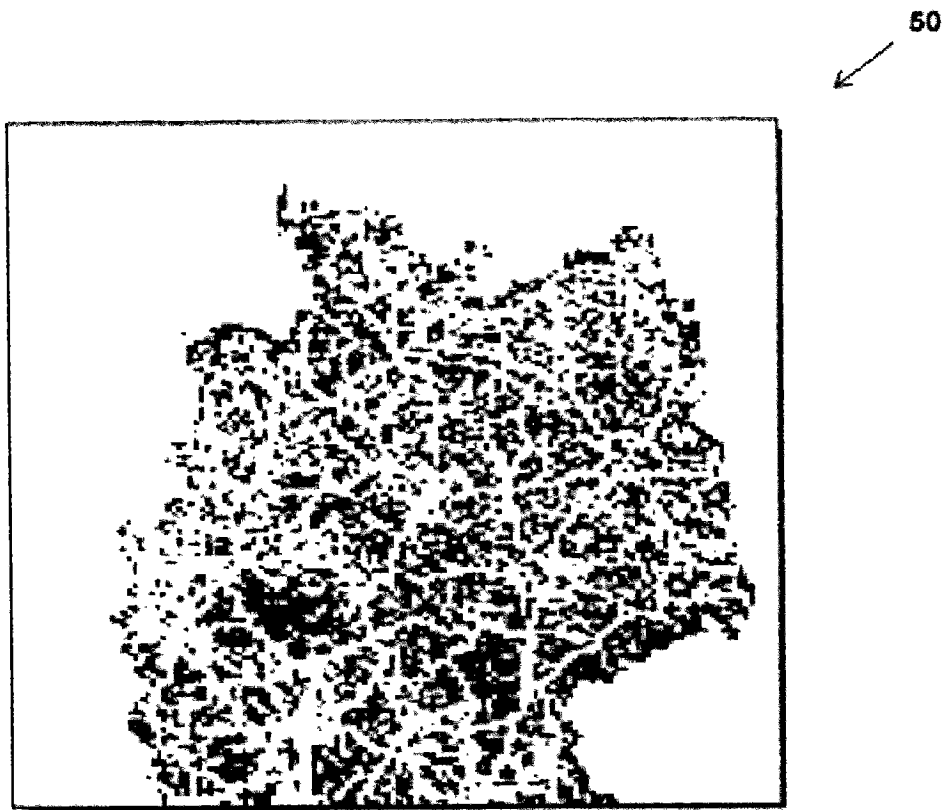


图14

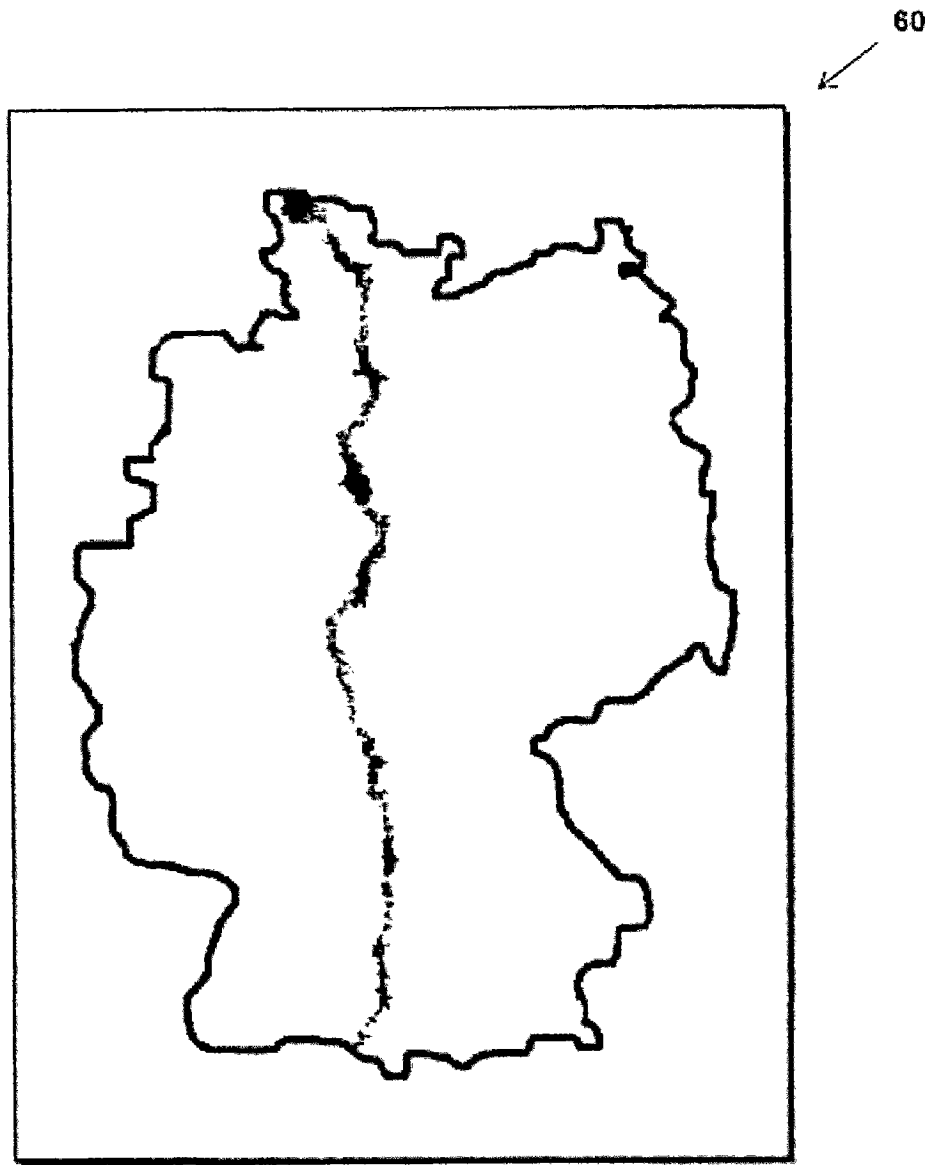


图15A

60
↙

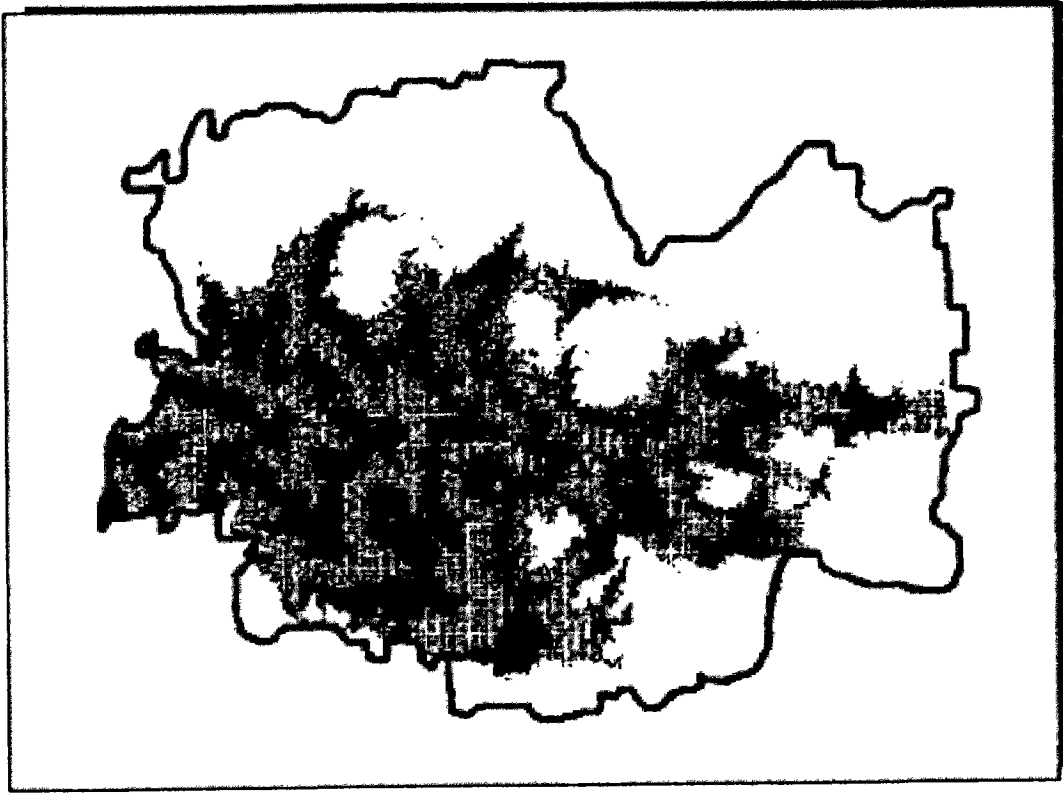


图15B