



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105632327 B

(45)授权公告日 2018.03.20

(21)申请号 201510993096.0

(22)申请日 2015.12.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105632327 A

(43)申请公布日 2016.06.01

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 李旭 王宇 李晨晓

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.

G09B 29/00(2006.01)

审查员 邱宁

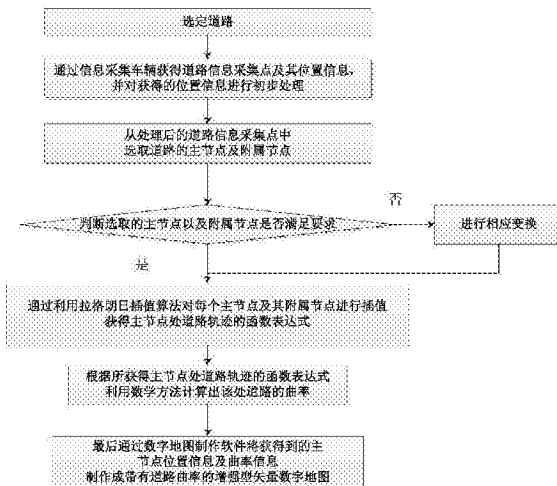
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法

(57)摘要

本发明公开了一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法,本方法首先选定道路,确定道路的起始点与终点;通过信息采集车辆获得道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;从处理后的道路信息采集点中选取道路的主节点及附属节点;判断选取的主节点及附属节点是否满足要求,如果不满足则进行相应的变换;然后采用拉格朗日差值法,获得主节点处道路轨迹的函数表达式;接着利用数学方法通过轨迹的函数表达式,计算出主节点处的曲率;最后利用数字地图制作软件制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图。



1. 一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法;首先选定道路,确定道路的起始点与终点;通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;从处理后的道路信息采集点中选取道路的主节点及其附属节点;判断选取的主节点及附属节点是否满足要求,如果不满足则进行相应的变换;然后采用拉格朗日差值法,获得主节点处道路轨迹的函数表达式;接着利用数学方法通过轨迹的函数表达式,计算出主节点处的曲率;最后利用数字地图制作软件制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图;

具体实施步骤包括:

步骤一、选定道路,确定道路的起始点与终点;

首先将需要测绘的道路进行分割,选定需要进行量测的部分,确定需要测绘部分的起始点与终点;本方法所适用的道路为高速公路以及一级、二级公路,且所适用的道路光滑连续,不包含交叉路口;选择的道路长度不超过5km;

步骤二、通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;

信息采集车辆,搭载了组合导航系统,输出频率为20Hz,可以采集到车辆所在道路的位置信息 $L_i$ 、 $B_i$ ,其中 $L_i$ 为经度, $B_i$ 为纬度, $i$ 表示组合导航系统输出的位置信息的序号, $i=1, 2, 3, \dots$ ;本方法将采集到的第 $i$ 组经纬度信息 $L_i$ 、 $B_i$ 所表示的点作为第 $i$ 个道路信息采集点 $R_i(L_i, B_i)$ ;本方法选取行进方向左侧车道来提取道路的曲率信息,且在采集过程中采集车辆沿车道中心行驶;道路信息采集过程中为了保证道路信息采集点密度均匀,车速在60~70km/h之间,相邻的道路信息采集点间隔距离在0.83~0.97m之间;本方法采用3度带高斯-克吕格投影方法,将道路信息采集点的经纬度坐标 $R_i(L_i, B_i)$ 投影为高斯平面直角坐标系坐标 $P_i(x_i, y_i)$ , $x_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的纵坐标, $y_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的横坐标;根据起始点 $R_1(L_1, B_1)$ 选定 $R_0(L_0, B_0)$ 作为高斯-克吕格投影的原点,其中 $L_0=3D$ , $D$ 为 $(L_1/3)$ 四舍五入取整的值, $B_0=0^\circ$ ;经纬度坐标 $R_i(L_i, B_i)$ 转换公式如下所示:

$$\begin{cases} x_i = X_{B_i} + \frac{1}{2}Ntl^2 \cos^2 B_i + \frac{1}{24}Nt(5-t^2+9\eta^2+4\eta^4)l^4 B_i \\ \quad + \frac{1}{720}Nt(61-58t^2+t^4+270\eta^2-330\eta^2 t^2)l^6 \cos^6 B_i + \dots \\ y_i = Nl \cos B_i + \frac{1}{6}N(1-t^2+\eta^2)l^3 \cos^3 B_i \\ \quad + \frac{1}{120}N(5-18t^2+t^4+14\eta^4-58\eta^2 t^2)l^5 \cos^5 B_i + \dots \end{cases} \quad (1)$$

式(1)为高斯投影公式的泰勒级数展开式,式中省去了7次以上高次项,其中 $X_{B_i}$ 为赤道至纬度 $B_i$ 的子午线弧长,且 $X_{B_i} = C_0 B_i - \cos B_i (C_1 \sin B_i + C_2 \sin^3 B_i + C_3 \sin^5 B_i + C_4 \sin^7 B_i)$ , $l$ 为所求点的经度 $L_i$ 与 $L_0$ 之差, $t = \tan B_i$ , $\eta = e' \cos B_i$ , $N$ 为通过所求点的卯酉圈曲率半径, $e'$ 为椭球第二偏心率, $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$ 为与点位无关的系数,仅由椭球体长半轴、短半轴、第一偏心率参数确定;

步骤三、根据坐标转换后的道路信息采集点,选取道路的主节点及其附属节点;

本方法从转换后的道路信息采集点 $P_i(x_i, y_i)$ 中选取主节点及其附属节点,通过主节点的连线来表示道路;主节点及其附属节点的选取的方法为:选取连续5个转换后的道路信息采集点,然后取中间的第3个作为主节点,其余的作为附属节点;起始主节点 $N_1$ 选取车辆所

获得到的转换后的第3个道路信息采集点 $P_3(x_3, y_3)$ ,主节点 $N_1$ 表示为 $N_1(X_1, Y_1)$ 其中 $X_1=x_3$ 、 $Y_1=y_3$ ;同时选取 $P_3$ 左右4个转换后的道路信息采集点 $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 、 $P_4(x_4, y_4)$ 、 $P_5(x_5, y_5)$ 作为主节点 $N_1$ 附属节点 $N_{1,1}$ 、 $N_{1,2}$ 、 $N_{1,3}$ 、 $N_{1,4}$ ,对应附属节点表示为 $N_{1,1}(X_{1,1}, Y_{1,1})$ 、 $N_{1,2}(X_{1,2}, Y_{1,2})$ 、 $N_{1,3}(X_{1,3}, Y_{1,3})$ 、 $N_{1,4}(X_{1,4}, Y_{1,4})$ ,其中 $X_{1,1}=x_1$ 、 $Y_{1,1}=y_1$ 、 $X_{1,2}=x_2$ 、 $Y_{1,2}=y_2$ 、 $X_{1,3}=x_4$ 、 $Y_{1,3}=y_4$ 、 $X_{1,4}=x_5$ 、 $Y_{1,4}=y_5$ ;依此类推,一般的节点及其附属节点取法如下:例如,第 $k$ 个主节点 $N_k$ 选取道路信息采集点 $P_{5k-2}(x_{5k-2}, y_{5k-2})$ ,即主节点 $N_k$ 表示为 $N_k(X_k, Y_k)$ 其中 $X_k=x_{5k-2}$ 、 $Y_k=y_{5k-2}$ ,同时对应的附属节点 $N_{k,1}$ 、 $N_{k,2}$ 、 $N_{k,3}$ 、 $N_{k,4}$ 选取的道路信息采集点为 $P_{5k-4}(x_{5k-4}, y_{5k-4})$ 、 $P_{5k-3}(x_{5k-3}, y_{5k-3})$ 、 $P_{5k-1}(x_{5k-1}, y_{5k-1})$ 、 $P_{5k}(x_{5k}, y_{5k})$ ,则对应的附属节点表示为 $N_{k,1}(X_{k,1}, Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2}, Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3}, Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4}, Y_{k,4})$ ,其中 $X_{k,1}=x_{5k-4}$ 、 $Y_{k,1}=y_{5k-4}$ 、 $X_{k,2}=x_{5k-3}$ 、 $Y_{k,2}=y_{5k-3}$ 、 $X_{k,3}=x_{5k-1}$ 、 $Y_{k,3}=y_{5k-1}$ 、 $X_{k,4}=x_{5k}$ 、 $Y_{k,4}=y_{5k}$ ,其中 $k=1, 2, 3, \dots$ ;依次类推,直至选取道路结束为止,如果最后道路信息采集点不足5个,则不再选取主节点,默认道路至此结束;

步骤四、根据选定的主节点、附属节点,判断其是否满足要求,如不满足则对其进行相应的变换;

相邻的主节点间距不超过4.85m,一个道路主节点及其附属节点表示的道路区域长度在5m以内;若选定的主节点与其附属节点的纵坐标不相同,则满足步骤五的拉格朗日插值算法的要求,不需要进行相应的变换;若选定的主节点与其附属节点的纵坐标相同,则通过横坐标和纵坐标相互替换的方法,变换后的节点坐标就可以满足拉格朗日插值的要求,同时这种变换方法不会改变道路的曲率;若出现纵坐标相同的情况,则具体的变换步骤为:首先将第 $k$ 个主节点 $N_k$ 的 $X_k$ 坐标赋值给中间量temp,再将 $Y_k$ 坐标赋值给 $X_k$ ,最后将temp赋值给 $Y_k$ ;同理先将主节点 $N_k$ 第 $j$ 个附属节点的 $X_{k,j}$ 坐标赋值给中间量temp $_j$ ,再将 $Y_{k,j}$ 坐标赋值给 $X_{k,j}$ ,最后将temp $_j$ 赋值给 $Y_{k,j}$ ,其中 $j=1, 2, 3, 4$ ;

步骤五、通过拉格朗日插值算法对每个主节点及其附属节点进行插值,获得每个主节点处道路轨迹的函数表达式;

已知一个任意主节点 $N_k(X_k, Y_k)$ 与其附属节点 $N_{k,1}(X_{k,1}, Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2}, Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3}, Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4}, Y_{k,4})$ ,通过拉格朗日插值算法则可以求出主节点 $N_k$ 所在道路轨迹的函数表达式 $f_k(x)$ ;

公式如下所示:

$$\begin{aligned}
f_k(x) = & Y_{k,1} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,1} - X_k)(X_{k,1} - X_{k,2})(X_{k,1} - X_{k,3})(X_{k,1} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,2} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,2} - X_k)(X_{k,2} - X_{k,1})(X_{k,2} - X_{k,3})(X_{k,2} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,3} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,4})}{(X_{k,3} - X_k)(X_{k,3} - X_{k,1})(X_{k,3} - X_{k,2})(X_{k,3} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,4} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})}{(X_{k,4} - X_k)(X_{k,4} - X_{k,1})(X_{k,4} - X_{k,2})(X_{k,4} - X_{k,3})} \\
& + Y_k \frac{(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_k - X_{k,1})(X_k - X_{k,2})(X_k - X_{k,3})(X_k - X_{k,4})}
\end{aligned} \quad (2)$$

步骤六、根据所获得的主节点处道路轨迹函数表达式,计算出该处道路的曲率;

根据所获得的主节点 $N_k$ 处道路轨迹函数表达式 $f_k(x)$ ,该节点处道路的曲率 $Q_k$ 由下曲率计算公式获得:

$$Q_k = \left| \frac{f_k''(x)}{(1+f_k'(x)^2)^{\frac{3}{2}}} \right| \quad (3)$$

其中 $f_k''(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的二阶导数, $f_k'(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的一阶导;

步骤七、最后通过数字地图制作软件将道路主节点位置信息及曲率信息制作成带有道路曲率的增强型数字矢量地图;

将获得到的道路主节点位置信息 $N_k(X_k, Y_k)$ 以及曲率信息 $Q_k$ 通过数字地图制作软件生成带有道路曲率的增强型数字矢量地图;本方法采用数字地图制作软件来制作增强型数字矢量地图,通过道路主节点连线表示选取的道路,然后增加主节点的曲率信息列表将对应的曲率增加到地图上。

## 一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于地理信息系统领域,涉及一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法。

### 背景技术

[0002] 数字地图是通过数字化的方法,把城市地理信息以一定的格式存储起来,并能以连续地图的形式呈现出来,本质上是一个城市地理数据库。数字地图可提供丰富的基于位置的服务,为人们生活带来了极大的便利。然而目前的数字地图存在以下问题:数字地图精度较低,无法通过已有信息进一步计算获得精度较高的道路曲率等信息;地图信息匮乏,一般仅包含位置信息,而对于一些人们关注的重要信息,例如道路的航向、曲率、坡度、附近楼层的高度等信息并没有包含;数字地图目前制作复杂、专业性要求很高,在知识上需要掌握空间变换、几何变换算法、矢量与栅格数据模型等;除了对专业性有很高的要求,传统数字地图制作过程中很多测绘工作需要由人工来完成,工作量大且效率不高,制作成本相对较高。

[0003] 针对上述问题,近几年国内外开始关注增强型数字矢量地图,其不仅包含了普通地图所已有的位置信息,还包含了一些特殊的信息,例如道路的航向、曲率、周边房屋的高度等。增强型数字矢量地图相对于普通数字地图具有更加广泛的运用前景。本专利提出了一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法。该方法通过信息采集车辆采集道路信息,简单易行,避免了大量的人工测绘工作。同时带有道路曲率的增强型数字地图包含了道路的曲率信息,其在车辆主动安全领域有着广泛的应用。例如,近几年客车在山区道路翻车事故频繁发生,造成巨大的人员财产损失,司机缺乏对复杂环境中路况的提前预警以及对当前路况判断失误是事故发生的原因。其中道路的曲率是一种非常重要的道路信息,道路的曲率对于车辆档位控制、速度控制有着重要的参考价值。司机提前获得准确的道路信息可以有效的避免车辆出现翻车等一系列事故。因此制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图,对于车辆的安全行驶,有着重要的现实意义。

### 发明内容

[0004] 本发明提出了一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法,已解决现有数字地图的制作工作量大、过程复杂、精度不够高、缺乏道路的曲率信息(其在车辆主动安全领域有着广泛的应用)的问题。

[0005] 本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法。首先选定道路,确定道路的起始点与终点;通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;从处理后的道路信息采集点中选取道路的主节点及其附属节点;判断选取的主节点及附属节点是否满足要求,如果不满足则进行相应的变换;然后采用拉格朗日差值法,获得主节点处道路轨迹的函数表达式;接着利用数学方法通过轨迹的函数表达式,

计算出主节点处的曲率;最后利用数字地图制作软件制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图。

[0007] 具体实施步骤包括:

[0008] 步骤一、选定道路,确定道路的起始点与终点;

[0009] 首先将需要测绘的道路进行分割,选定需要进行量测的部分,确定需要测绘部分的起始点与终点。本专利所适用的道路为高速公路以及一级、二级公路,且所适用的道路光滑连续,不包含交叉路口。鉴于步骤二所采用的高斯-克吕格投影在局部范围精度较高,因此选择的道路长度不超过5km。

[0010] 步骤二、通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;

[0011] 信息采集车辆,搭载了组合导航系统,输出频率为20Hz,可以采集到车辆所在道路的位置信息 $L_i$ 、 $B_i$ ,其中 $L_i$ 为经度, $B_i$ 为纬度, $i$ 表示组合导航系统输出的位置信息的序号, $i=1,2,3\cdots$ 。本专利将采集到的第 $i$ 组经纬度信息 $L_i$ 、 $B_i$ 所表示的点作为第 $i$ 个道路信息采集点 $R_i(L_i B_i)$ 。由于道路的车道之间基本平行,所以本专利选取行进方向左侧车道来提取道路的曲率信息,且在采集过程中采集车辆沿车道中心行驶。道路信息采集过程中为了保证道路信息采集点密度均匀,车速在60~70km/h之间,相邻的道路信息采集点间隔距离在0.83~0.97m之间。由于制作地图需要平面直角坐标系坐标,本发明采用较为成熟的3度带高斯-克吕格投影方法,将道路信息采集点的经纬度坐标 $R_i(L_i B_i)$ 投影为高斯平面直角坐标系坐标 $P_i(x_i y_i)$ , $x_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的纵坐标(北向位置), $y_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的横坐标(东向位置)。根据起始点 $R_1(L_1 B_1)$ 选定 $R_0(L_0 B_0)$ 作为高斯-克吕格投影的原点,其中 $L_0=3D$ , $D$ 为 $(L_1/3)$ 四舍五入取整的值, $B_0=0^\circ$ 。经纬度坐标 $R_i(L_i B_i)$ 转换公式如下所示:

$$[0012] \quad \begin{cases} x_i = X_{B_i} + \frac{1}{2} N t l^2 \cos^2 B_i + \frac{1}{24} N t (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) l^4 B_i \\ \quad + \frac{1}{720} N t (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) l^6 \cos^6 B_i + \cdots \\ y_i = N l \cos B_i + \frac{1}{6} N (1 - t^2 + \eta^2) l^3 \cos^3 B_i \\ \quad + \frac{1}{120} N (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^4 - 58\eta^2 t^2) l^5 \cos^5 B_i + \cdots \end{cases} \quad (1)$$

[0013] 式(1)为高斯投影公式的泰勒级数展开式,式中省去了7次以上高次项,其中 $X_{B_i}$ 为赤道至纬度 $B_i$ 的子午线弧长,且 $X_{B_i} = C_0 B_i - \cos B_i (C_1 \sin B_i + C_2 \sin^3 B_i + C_3 \sin^5 B_i + C_4 \sin^7 B_i)$ , $l$ 为所求点的经度 $L_i$ 与 $L_0$ 之差, $t = \tan B_i$ , $\eta = e' \cos B_i$ , $N$ 为通过所求点的卯酉圈曲率半径, $e'$ 为椭球第二偏心率, $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$ 为与点位无关的系数,仅有椭球体长半轴、短半轴、第一偏心率等参数确定。

[0014] 步骤三、根据坐标转换后的道路信息采集点,选取道路的主节点及其附属节点;

[0015] 目前矢量地图多采用点的连线来表示道路,所以本发明从转换后的道路信息采集点 $P_i(x_i y_i)$ 中选取主节点及其附属节点,通过主节点的连线来表示道路。主节点及其附属节点的选取的方法为:选取连续5个转换后的道路信息采集点,然后取中间的第3个作为主节点,其余的作为附属节点。起始主节点 $N_1$ 选取车辆所获得到的转换后的第3个道路信息采集点 $P_3(x_3 y_3)$ ,主节点 $N_1$ 表示为 $N_1(X_1 Y_1)$ 其中 $X_1 = x_3, Y_1 = y_3$ 。同时选取 $P_3$ 左右4个转换后的道路

信息采集点 $P_1(x_1y_1)$ 、 $P_2(x_2y_2)$ 、 $P_4(x_4y_4)$ 、 $P_5(x_5y_5)$ 作为主节点 $N_1$ 附属节点 $N_{1,1}$ 、 $N_{1,2}$ 、 $N_{1,3}$ 、 $N_{1,4}$ ，对应附属节点表示为 $N_{1,1}(X_{1,1} Y_{1,1})$ 、 $N_{1,2}(X_{1,2} Y_{1,2})$ 、 $N_{1,3}(X_{1,3} Y_{1,3})$ 、 $N_{1,4}(X_{1,4} Y_{1,4})$ ，其中 $X_{1,1}=x_1$ 、 $Y_{1,1}=y_1$ 、 $X_{1,2}=x_2$ 、 $Y_{1,2}=y_2$ 、 $X_{1,3}=x_4$ 、 $Y_{1,3}=y_4$ 、 $X_{1,4}=x_5$ 、 $Y_{1,4}=y_5$ 。依此类推，一般的节点及其附属节点取法如下：例如，第 $k$ 个主节点 $N_k$ 选取道路信息采集点 $P_{5k-2}(x_{5k-2} y_{5k-2})$ ，即主节点 $N_k$ 表示为 $N_k(X_k Y_k)$ 其中 $X_k=x_{5k-2}$ 、 $Y_k=y_{5k-2}$ ，同时对应的附属节点 $N_{k,1}$ 、 $N_{k,2}$ 、 $N_{k,3}$ 、 $N_{k,4}$ 选取的道路信息采集点为 $P_{5k-4}(x_{5k-4}y_{5k-4})$ 、 $P_{5k-3}(x_{5k-3}y_{5k-3})$ 、 $P_{5k-1}(x_{5k-1}y_{5k-1})$ 、 $P_{5k}(x_{5k}y_{5k})$ ，则对应的附属节点表示为 $N_{k,1}(X_{k,1} Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2} Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3} Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4} Y_{k,4})$ ，其中 $X_{k,1}=x_{5k-4}$ 、 $Y_{k,1}=y_{5k-4}$ 、 $X_{k,2}=x_{5k-3}$ 、 $Y_{k,2}=y_{5k-3}$ 、 $X_{k,3}=x_{5k-1}$ 、 $Y_{k,3}=y_{5k-1}$ 、 $X_{k,4}=x_{5k}$ 、 $Y_{k,4}=y_{5k}$ ，其中 $k=1, 2, 3, \dots$ 。依次类推，直至选取道路结束为止，如果最后道路信息采集点不足5个，则不再选取主节点，默认道路至此结束。

[0016] 步骤四、根据选定的主节点、附属节点，判断其是否满足要求，如不满足则对其进行相应的变换；

[0017] 为了能够满足步骤五的拉格朗日插值算法的要求，避免在计算道路轨迹表达式时候出现无法求解的情况（即任意一个主节点与其附属节点的纵坐标出现相同的情况），需要判断选定的主节点、附属节点是否满足要求，如不满足则对其进行相应的变换。由于相邻的主节点间距不超过4.85m（道路信息采集点间隔不超过0.97m，相邻道路主节点之间间隔不超过4.85m），因此一个道路主节点及其附属节点表示的道路区域长度在5m以内，同时考虑到所采集道路（高速公路以及一级、二级公路）的实际情况，即使出现纵坐标相同的情况，通过横坐标和纵坐标相互替换的方法，变换后的节点坐标就可以满足拉格朗日插值的要求。同时这种变换方法不会改变道路的曲率。若出现纵坐标相同的情况，则具体的变换步骤为：首先将第 $k$ 个主节点 $N_k$ 的 $X_k$ 坐标赋值给中间量 $temp$ ，再将 $Y_k$ 坐标赋值给 $X_k$ ，最后将 $temp$ 赋值给 $Y_k$ ；同理先将主节点 $N_k$ 第 $j$ 个附属节点的 $X_{k,j}$ 坐标赋值给中间量 $temp_j$ ，再将 $Y_{k,j}$ 坐标赋值给 $X_{k,j}$ ，最后将 $temp_j$ 赋值给 $Y_{k,j}$ ，其中 $j=1, 2, 3, 4$ 。

[0018] 步骤五、通过拉格朗日插值算法对每个主节点及其附属节点进行插值，获得每个主节点处道路轨迹的函数表达式；

[0019] 已知一个任意主节点 $N_k(X_k Y_k)$ 与其附属节点 $N_{k,1}(X_{k,1} Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2} Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3} Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4} Y_{k,4})$ ，通过拉格朗日插值算法则可以求出主节点 $N_k$ 所在道路轨迹的函数表达式 $f_k(x)$ 。

[0020] 公式如下所示：

$$\begin{aligned}
 f_k(x) = & Y_{k,1} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,1} - X_k)(X_{k,1} - X_{k,2})(X_{k,1} - X_{k,3})(X_{k,1} - X_{k,4})} \\
 & + Y_{k,2} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,2} - X_k)(X_{k,2} - X_{k,1})(X_{k,2} - X_{k,3})(X_{k,2} - X_{k,4})} \\
 & + Y_{k,3} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,4})}{(X_{k,3} - X_k)(X_{k,3} - X_{k,1})(X_{k,3} - X_{k,2})(X_{k,3} - X_{k,4})} \\
 & + Y_{k,4} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})}{(X_{k,4} - X_k)(X_{k,4} - X_{k,1})(X_{k,4} - X_{k,2})(X_{k,4} - X_{k,3})} \\
 & + Y_k \frac{(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_k - X_{k,1})(X_k - X_{k,2})(X_k - X_{k,3})(X_k - X_{k,4})}
 \end{aligned} \tag{2}$$

[0022] 步骤六、根据所获得的主节点处道路轨迹函数表达式，计算出该处道路的曲率；

[0023] 根据所获得的主节点 $N_k$ 处道路轨迹函数表达式 $f_k(x)$ ，该节点处道路的曲率 $Q_k$ 可由下曲率计算公式获得：

$$[0024] \quad Q_k = \left| \frac{f_k''(x)}{(1+f_k'(x)^2)^{\frac{3}{2}}} \right| \tag{3}$$

[0025] 其中 $f_k''(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的二阶导数， $f_k'(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的一阶导数。

[0026] 步骤七、最后通过数字地图制作软件将道路主节点位置信息及曲率信息制作成带有道路曲率的增强型数字矢量地图。

[0027] 将获得的道路主节点位置信息 $N_k(X_k, Y_k)$ 以及曲率信息 $Q_k$ 通过数字地图制作软件生成带有道路曲率的增强型数字矢量地图。本方法采用数字地图制作软件来制作增强型数字矢量地图，通过道路主节点连线表示选取的道路，然后增加主节点的曲率信息列表将对应的曲率增加到地图上。

[0028] 与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

[0029] 本发明相对于一般数字地图的制作方法，采用了信息采集车辆，不需要大量的测绘工作，成本较低；所制作的增强型矢量数字地图除了位置信息还增加了道路的曲率信息，在汽车主动安全领域有着广泛的运用前景；在道路曲率的估计上采用拉格朗日差值法和数学方法，具有计算量小、精度高的优点。

## 附图说明

[0030] 图1为本发明所提方法的流程框图；

[0031] 图2为本发明采用的道路信息采集车辆示意图。

## 具体实施方式



[0032] 数字地图是通过数字化的方法,把城市地理信息以一定的格式存储起来,并能以连续地图的形式呈现出来,本质上是一个城市地理数据库。数字地图可提供丰富的基于位置的服务,为人们生活带来了极大的便利。然而目前的数字地图存在以下问题:数字地图精度较低,无法通过已有信息进一步计算获得精度较高的道路曲率等信息;地图信息匮乏,一般仅包含位置信息,而对于一些人们关注的重要信息,例如道路的航向、曲率、坡度、附近楼层的高度等信息并没有包含;数字地图目前制作复杂、专业性要求很高,在知识上需要掌握空间变换、几何变换算法、矢量与栅格数据模型等;除了对专业性有很高的要求,传统数字地图制作过程中很多测绘工作需要由人工来完成,工作量大且效率不高,制作成本相对较高。

[0033] 针对上述问题,近几年国内外开始关注增强型数字矢量地图,其不仅包含了普通地图所已有的位置信息,还包含了一些特殊的信息,例如道路的航向、曲率、周边房屋的高度等。增强型数字矢量地图相对于普通数字地图具有更加广泛的运用前景。本专利提出了一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法。该方法通过信息采集车辆采集道路信息,简单易行,避免了大量的人工测绘工作。同时带有道路曲率的增强型数字地图包含了道路的曲率信息,其在车辆主动安全领域有着广泛的应用。例如,近几年客车在山区道路翻车事故频繁发生,造成巨大的人员财产损失,司机缺乏对复杂环境中路况的提前预警以及对当前路况判断失误是事故发生的原因。其中道路的曲率是一种非常重要的道路信息,道路的曲率对于车辆档位控制、速度控制有着重要的参考价值。司机提前获得准确的道路信息可以有效的避免车辆出现翻车等一系列事故。因此制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图,对于车辆的安全行驶,有着重要的现实意义。

[0034] 本发明提出了一种带有道路曲率的增强型数字矢量地图制作方法。首先选定道路,确定道路的起始点与终点;通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;从处理后的道路信息采集点中选取道路的主节点及附属节点;判断选取的主节点及附属节点是否满足要求,如果不满足则进行相应的变换;然后采用拉格朗日差值法,获得主节点处道路轨迹的函数表达式;接着利用数学方法通过轨迹的函数表达式,计算出主节点处的曲率;最后利用数字地图制作软件制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图。本发明相对于一般数字地图的制作方法,采用了信息采集车辆,不需要大量的测绘工作,成本较低;在道路曲率的估计上采用拉格朗日差值法和数学方法,具有计算量小、精度高的优点;同时所制作的增强型数字地图除了位置信息还增加了道路的曲率信息,在汽车主动安全领域有着广泛的运用前景。

[0035] 本发明采用搭载了组合导航系统的信息采集车辆进行道路信息点的采集。本实施方式具体采用的是高精度(水平定位精度的圆概率误差[CEP]小于0.02m)、高频率(输出频率大于等于20Hz)组合导航系统,具体型号例如美国KVH公司生产的SPAN-KVH1750组合导航系统。组合导航系统的天线安装在车顶中心位置,接收机安装在车辆质心位置,与车辆纵轴同向。

[0036] 具体实施步骤包括:

[0037] 步骤一、选定道路,确定道路的起始点与终点;

[0038] 首先将需要测绘的道路进行分割,选定需要进行量测的部分,确定需要测绘部分的起始点与终点。本专利所适用的道路为高速公路以及一级、二级公路,且所适用的道路光

滑连续,不包含交叉路口。鉴于步骤二所采用的高斯-克吕格投影在局部范围精度较高,因此选择的道路长度不超过5km。

[0039] 步骤二、通过信息采集车辆获取道路信息采集点及其位置信息,并对获得的位置信息进行初步处理;

[0040] 信息采集车辆,搭载了组合导航系统,输出频率为20Hz,可以采集到车辆所在道路的位置信息 $L_i$ 、 $B_i$ ,其中 $L_i$ 为经度, $B_i$ 为纬度, $i$ 表示组合导航系统输出的位置信息的序号, $i=1,2,3\cdots$ 。本专利将采集到的第 $i$ 组经纬度信息 $L_i$ 、 $B_i$ 所表示的点作为第 $i$ 个道路信息采集点 $R_i(L_i B_i)$ 。由于道路的车道之间基本平行,所以本专利选取行进方向左侧车道来提取道路的曲率信息,且在采集过程中采集车辆沿车道中心行驶。道路信息采集过程中为了保证道路信息采集点密度均匀,车速在60~70km/h(16.67~19.45m/s)之间,相邻的道路信息采集点间隔距离在0.83~0.97m之间,满足本专利要求。由于制作地图需要平面直角坐标系坐标,本发明采用较为成熟的3度带高斯-克吕格投影方法,将道路信息采集点的经纬度坐标 $R_i(L_i B_i)$ 投影为高斯平面直角坐标系坐标 $P_i(x_i y_i)$ , $x_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的纵坐标(北向位置), $y_i$ 为坐标转换后对应的平面直角坐标系的横坐标(东向位置)。根据起始点 $R_1(L_1 B_1)$ 选定 $R_0(L_0 B_0)$ 作为高斯-克吕格投影的原点,其中 $L_0=3D$ , $D$ 为 $(L_1/3)$ 四舍五入取整的值, $B_0=0^\circ$ 。经纬度坐标 $R_i(L_i B_i)$ 转换公式如下所示:

$$[0041] \quad \begin{cases} x_i = X_{B_i} + \frac{1}{2} N t l^2 \cos^2 B_i + \frac{1}{24} N t (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) l^4 B_i \\ \quad + \frac{1}{720} N t (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) l^6 \cos^6 B_i + \cdots \\ y_i = N l \cos B_i + \frac{1}{6} N (1 - t^2 + \eta^2) l^3 \cos^3 B_i \\ \quad + \frac{1}{120} N (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^4 - 58\eta^2 t^2) l^5 \cos^5 B_i + \cdots \end{cases} \quad (1)$$

[0042] 式(1)为高斯投影公式的泰勒级数展开式,式中省去了7次以上高次项,其中 $X_{B_i}$ 为赤道至纬度 $B_i$ 的子午线弧长,且 $X_{B_i} = C_0 B_i - \cos B_i (C_1 \sin B_i + C_2 \sin^3 B_i + C_3 \sin^5 B_i + C_4 \sin^7 B_i)$ , $l$ 为所求点的经度 $L_i$ 与 $L_0$ 之差, $t = \tan B_i$ , $\eta = e' \cos B_i$ , $N$ 为通过所求点的卯酉圈曲率半径, $e'$ 为椭球第二偏心率, $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$ 为与点位无关的系数,仅有椭球体长半轴、短半轴、第一偏心率等参数确定。具体的坐标转化的步骤以及参数详见以下参考文献(刘基余.GPS卫星导航定位原理与方法.北京:科学出版社,2003.229-379)、(胡伍生,高成发.GPS测量原理及其应用.北京:人民交通出版社,2004.1-101.)。

[0043] 步骤三、根据坐标转换后的道路信息采集点,选取道路的主节点及其附属节点;

[0044] 目前矢量地图多采用点的连线来表示道路,所以本发明从转换后的道路信息采集点 $P_i(x_i y_i)$ 中选取主节点及其附属节点,通过主节点的连线来表示道路。主节点及其附属节点的选取的方法为:选取连续5个转换后的道路信息采集点,然后取中间的第三个作为主节点,其余的作为附属节点。起始主节点 $N_1$ 选取车辆所获得到的转换后的第3个道路信息采集点 $P_3(x_3 y_3)$ ,主节点 $N_1$ 表示为 $N_1(X_1 Y_1)$ 其中 $X_1 = x_3, Y_1 = y_3$ 。同时选取 $P_3$ 左右4个转换后的道路信息采集点 $P_1(x_1 y_1)$ 、 $P_2(x_2 y_2)$ 、 $P_4(x_4 y_4)$ 、 $P_5(x_5 y_5)$ 作为主节点 $N_1$ 附属节点 $N_{1,1}, N_{1,2}, N_{1,3}, N_{1,4}$ ,对应附属节点表示为 $N_{1,1}(X_{1,1} Y_{1,1})$ 、 $N_{1,2}(X_{1,2} Y_{1,2})$ 、 $N_{1,3}(X_{1,3} Y_{1,3})$ 、 $N_{1,4}(X_{1,4} Y_{1,4})$ ,其中 $X_{1,1} = x_1, Y_{1,1} = y_1, X_{1,2} = x_2, Y_{1,2} = y_2, X_{1,3} = x_4, Y_{1,3} = y_4, X_{1,4} = x_5, Y_{1,4} = y_5$ 。依此类推,一般的节点及其附属节点取法如下:例如,第 $k$ 个主节点 $N_k$ 选取道路信息采集点 $P_{5k-2}(x_{5k-2} y_{5k-2})$ ,即主

节点 $N_k$ 表示为 $N_k(X_k, Y_k)$ 其中 $X_k = x_{5k-2}$ 、 $Y_k = y_{5k-2}$ ，同时对应的附属节点 $N_{k,1}$ 、 $N_{k,2}$ 、 $N_{k,3}$ 、 $N_{k,4}$ 选取的道路信息采集点为 $P_{5k-4}(x_{5k-4}y_{5k-4})$ 、 $P_{5k-3}(x_{5k-3}y_{5k-3})$ 、 $P_{5k-1}(x_{5k-1}y_{5k-1})$ 、 $P_{5k}(x_{5k}y_{5k})$ ，则对应的附属节点表示为 $N_{k,1}(X_{k,1}, Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2}, Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3}, Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4}, Y_{k,4})$ ，其中 $X_{k,1} = x_{5k-4}$ 、 $Y_{k,1} = y_{5k-4}$ 、 $X_{k,2} = x_{5k-3}$ 、 $Y_{k,2} = y_{5k-3}$ 、 $X_{k,3} = x_{5k-1}$ 、 $Y_{k,3} = y_{5k-1}$ 、 $X_{k,4} = x_{5k}$ 、 $Y_{k,4} = y_{5k}$ ，其中 $k = 1, 2, 3 \dots$ 。依次类推，直至选取道路结束为止，如果最后道路信息采集点不足5个，则不再选取主节点，默认道路至此结束。本方案提出的主节点及其附属节点选取方法，充分利用了信息车辆采集到的道路信息采集点，所选取的主节点密度较高，从而增加矢量地图中道路的精度。同时采用主节点相邻的四个道路信息采集点作为附属节点，增加了道路曲率的解算精度。

[0045] 步骤四、根据选定的主节点、附属节点，判断其是否满足要求，如不满足则对其进行相应的变换；

[0046] 为了能够满足步骤五的拉格朗日插值算法的要求，避免在计算道路轨迹表达式时候出现无法求解的情况（即任意一个主节点与其附属节点的纵坐标出现相同的情况），需要判断选定的主节点、附属节点是否满足要求，如不满足则对其进行相应的变换。由于相邻的主节点间距不超过4.85m（道路信息采集点间隔不超过0.97m，相邻道路主节点之间间隔不超过4.85m），因此一个道路主节点及其附属节点表示的道路区域长度在5m以内，同时考虑到所采集道路（高速公路以及一级、二级公路）的实际情况，即使出现纵坐标相同的情况，通过横坐标和纵坐标相互替换的方法，变换后的节点坐标就可以满足拉格朗日插值的要求。同时这种变换方法不会改变道路的曲率。若出现纵坐标相同的情况，则具体的变换步骤为：首先将第 $k$ 个主节点 $N_k$ 的 $X_k$ 坐标赋值给中间量 $temp$ ，再将 $Y_k$ 坐标赋值给 $X_k$ ，最后将 $temp$ 赋值给 $Y_k$ ；同理先将主节点 $N_k$ 第 $j$ 个附属节点的 $X_{k,j}$ 坐标赋值给中间量 $temp_j$ ，再将 $Y_{k,j}$ 坐标赋值给 $X_{k,j}$ ，最后将 $temp_j$ 赋值给 $Y_{k,j}$ ，其中 $j = 1, 2, 3, 4$ 。本方案采用的变换方法满足了步骤五中拉格朗日插值算法的要求，即保证任意一个主节点 $N_k$ 与其附属节点的纵坐标互不相同，与此同时变换方法简单，降低了计算量。

[0047] 步骤五、通过拉格朗日插值算法对每个主节点及其附属节点进行插值，获得每个主节点处道路轨迹的函数表达式；

[0048] 已知一个任意主节点 $N_k(X_k, Y_k)$ 与其附属节点 $N_{k,1}(X_{k,1}, Y_{k,1})$ 、 $N_{k,2}(X_{k,2}, Y_{k,2})$ 、 $N_{k,3}(X_{k,3}, Y_{k,3})$ 、 $N_{k,4}(X_{k,4}, Y_{k,4})$ ，通过拉格朗日插值算法则可以求出主节点 $N_k$ 所在道路轨迹的函数表达式 $f_k(x)$ 。

[0049] 公式如下所示：

$$\begin{aligned}
f_k(x) = & Y_{k,1} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,1} - X_k)(X_{k,1} - X_{k,2})(X_{k,1} - X_{k,3})(X_{k,1} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,2} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_{k,2} - X_k)(X_{k,2} - X_{k,1})(X_{k,2} - X_{k,3})(X_{k,2} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,3} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,4})}{(X_{k,3} - X_k)(X_{k,3} - X_{k,1})(X_{k,3} - X_{k,2})(X_{k,3} - X_{k,4})} \\
& + Y_{k,4} \frac{(x - X_k)(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})}{(X_{k,4} - X_k)(X_{k,4} - X_{k,1})(X_{k,4} - X_{k,2})(X_{k,4} - X_{k,3})} \\
& + Y_k \frac{(x - X_{k,1})(x - X_{k,2})(x - X_{k,3})(x - X_{k,4})}{(X_k - X_{k,1})(X_k - X_{k,2})(X_k - X_{k,3})(X_k - X_{k,4})}
\end{aligned} \tag{2}$$

[0051] 本方案之所以采用拉格朗日插值算法,因为道路主节点与附属节点距离较短,轨迹的曲线相对简单,采用拉格朗日插值算法进行轨迹表达式计算简单简单易行。本方案采用的四次拉格朗日差值算法既满足了精度要求,也在一定程度上兼顾了计算量。

[0052] 步骤六、根据所获得的主节点处道路轨迹函数表达式,计算出该处道路的曲率;

[0053] 根据所获得的主节点 $N_k$ 处道路轨迹函数表达式 $f_k(x)$ ,该节点处道路的曲率 $Q_k$ 可由下曲率计算公式获得:

$$Q_k = \left| \frac{f_k''(x)}{(1+f_k'(x)^2)^{\frac{3}{2}}} \right| \tag{3}$$

[0055] 其中 $f_k''(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的二阶导数, $f_k'(x)$ 为主节点 $N_k$ 处轨迹函数表达式 $f_k(x)$ 在主节点 $N_k$ 处的一阶导数。本方案采用的数学方法是目前最常用的曲率计算方式之一,其计算量小,易于实现,相对于传统的手工测绘曲率有着很大的优势。

[0056] 步骤七、最后通过数字地图制作软件将道路主节点位置信息及曲率信息制作成带有道路曲率的增强型数字矢量地图。

[0057] 将获得到的道路主节点位置信息 $N_k(X_k, Y_k)$ 以及曲率信息 $Q_k$ 通过数字地图制作软件生成带有道路曲率的增强型数字矢量地图。本方法采用数字地图制作软件来制作增强型数字矢量地图,通过道路主节点连线表示选取的道路,然后增加主节点的曲率信息列表将对应的曲率增加到地图上。例如,数字地图制作软件MapInfo,其以列表的形式组织所有图形和信息,每一个列表在地图中都可以被理解成一个图层。通过MapInfo制作带有道路曲率的增强型数字矢量地图具体步骤如下:首先将得到的道路主节点位置信息和曲率信息分别制作成信息列表(需要将各个主节点的位置信息转化成所用数字地图制作软件规定的形式),并转换成MapInfo可以打开的格式;然后用MapInfo打开道路主节点位置信息列表,并根据位置信息创建点;最后将道路主节点处的曲率信息列表加进地图中,生成增强型矢量数字地图。具体的数字地图的制作可以参考文献(王家耀,李志林,武芳.数字地图综合进

展.北京:科学出版社,2011)、(王家耀,孙群,王光霞,江南,吕晓华.地图学原理与方法.北京:科学出版社,2006)、(吴秀琳,刘永革,王利军.Mapinfo 9.5中文版标准教程.北京:清华大学出版,2009)。

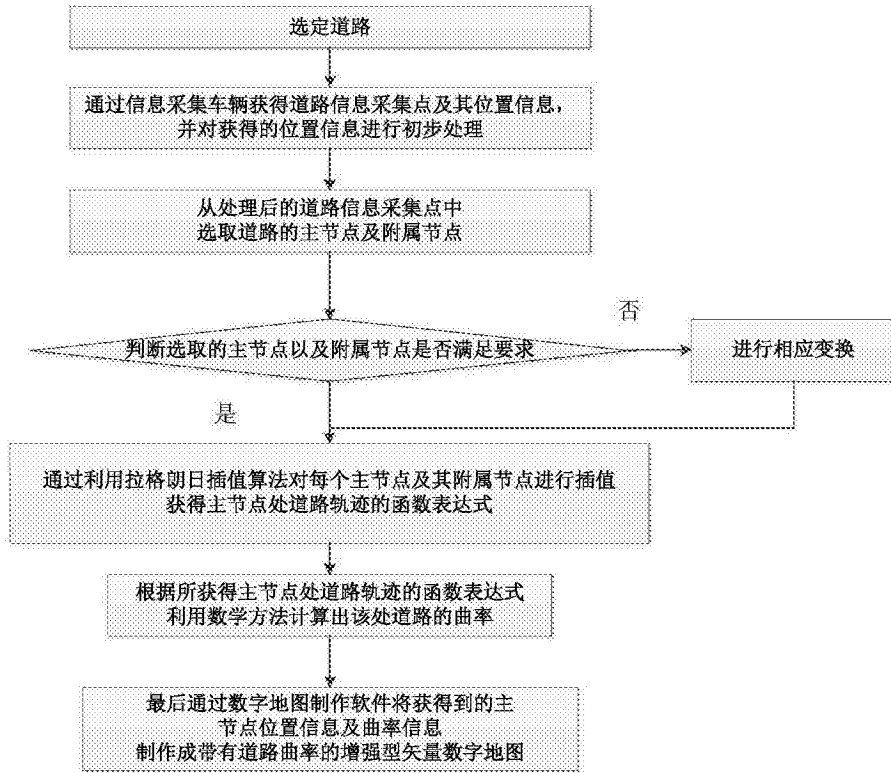


图1

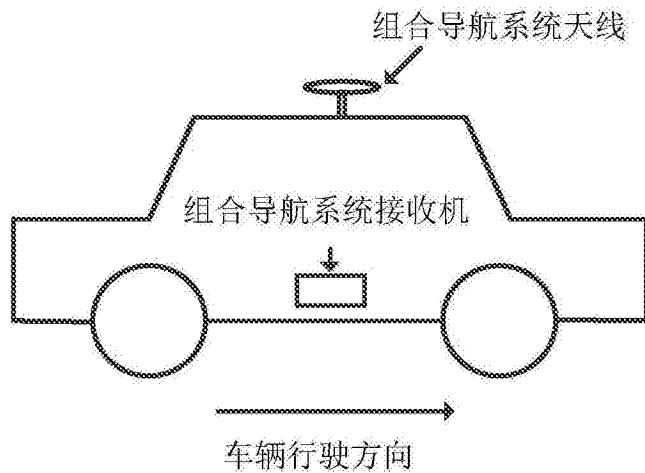


图2