



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111126878 A

(43)申请公布日 2020.05.08

(21)申请号 201911419439.7

(22)申请日 2019.12.31

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 林永杰 曾维嘉 杨彦青 程禹铭
刘宇恒 管海霞 黄紫林

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限
公司 44102

代理人 何淑珍 江裕强

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

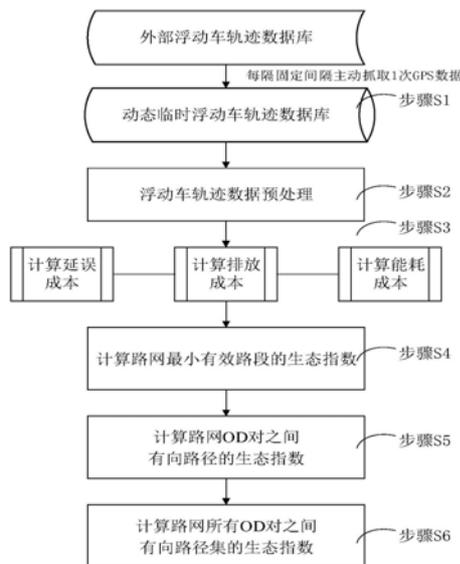
权利要求书5页 说明书12页 附图4页

(54)发明名称

一种基于生态指数的城市交通运行评价方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于生态指数的城市交通运行评价方法。所述方法包括如下步骤：利用浮动车车辆轨迹数据获取样本车辆行驶参数；对浮动车车辆轨迹数据进行预处理；定义路网中最小有向路段及生态成本；计算路网中最小有向路段的生态指数；计算路网中有向路径的生态指数；计算路网中有向路径集的生态指数；根据计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数，对城市交通运行方案进行优化调整，改善城市交通。本发明有利于为城市管理部门、城市交通规划与设施建设提供技术参考依据，为大众提供准确且全面的交通出行成本，进而促进城市居民出行生态化和城市交通系统的可持续发展。



1. 一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、利用浮动车车辆轨迹数据获取样本车辆行驶参数;

S2、对浮动车车辆轨迹数据进行预处理;

S3、定义路网中最小有向路段及生态成本;

S4、计算路网中最小有向路段的生态指数;

S5、计算路网中有向路径的生态指数;

S6、计算路网中有向路径集的生态指数;

S7、根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数,对城市交通运行方案进行优化调整,改善城市交通。

2. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S1中,所述行驶状态参数是利用浮动车车辆轨迹数据,结合坐标系转换法对车辆进行行驶轨迹重构,即将WGS-84坐标系下的浮动车GPS经纬度转化为笛卡尔平面坐标,由此计算出该路段一个统计周期内每个定位点上车辆的瞬时速度和瞬时加速度,其中,瞬时速度已包含在GPS回传数据中,瞬时加速度为瞬时速度差与时间差的比值。

3. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S2中,所述预处理是对浮动车车辆轨迹数据进行筛选和分类,包括对错误、重复和丢失的数据处理;所述分类根据交叉口各方向进口道车流可能选择的四个行车方向,将浮动车车辆轨迹数据分为4类,所述四个行车方向为直行、左转、右转和掉头;所述错误数据处理是根据研究路网道路的范围,删除超出路网道路边界的异常值点;所述重复数据处理是根据浮动车车辆轨迹设备唯一标识号将同一定位、同一设备标识号的所有浮动车车辆轨迹数据取算术平均值作为当前定位点的浮动车车辆轨迹数据;所述丢失数据处理是根据同一浮动车车辆轨迹设备、定位时刻两个字段的原始数据进行排序,若检测到丢失,则用线性插值法补齐。

4. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S3中,所述生态成本综合了延误成本、排放成本、能耗成本;步骤S3包括以下步骤:

S3.1、定义最小有向路段的行驶方向系数;

S3.2、定义延误成本;

S3.3、定义排放成本;

S3.4、定义能耗成本;

S3.5、计算最小有向路段的生态成本。

5. 根据权利要求4所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S3.1中,所述方向系数表达式如下:

$$\begin{cases} s, l, r, u \in \{0, 1\} \\ s + l + r + u = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, s, l, r, u 分别表示直行、左转、右转、掉头;

步骤S3.2中,最小有向路段的延误时间为路段上各个行驶方向上的车辆平均延误与车辆处于自由流状态时通过该路段的行驶方向的时间差;将延误时间结合居民平均收入计算得到延误成本,延误成本的计算公式如下:

$$c_{car}^{time}(j)=e_{s,l,r,u} \cdot \gamma_{car}(j)d_{car}(j)C_{Dcar}N_{car} \quad (2)$$

$$c_{bus}^{time}(i)=e_{s,l,r,u} \cdot \gamma_{bus}(i)(d_{bus}(i)N_{bus}(i)+dt_{bus}(i)M_{bus}(i))C_{Dbus} \quad (3)$$

式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^{time}(j)$ 表示除公交车外的第 j 辆浮动车乘客的时间成本; $d_{car}(j)$ 为小汽车延误时间; C_{Dcar} 代表小汽车人均时间价值; N_{car} 代表小汽车平均载客人数; $c_{bus}^{time}(i)$ 表示第 i 辆公交车乘客的时间成本; $d_{bus}(i)$ 为公交车延误时间; $N_{bus}(i)$ 代表公交车平均载客人数; $dt_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客候车延误; $M_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客数; C_{Dbus} 代表公交车人均时间价值; $\gamma_{car}(j)$ 、 $\gamma_{bus}(i)$ 代表小汽车和公交车时间成本重要度, 通过熵权法进行标定;

步骤S3.3中, 排放成本的定义式为:

$$c_{car}^e(j)=e_{s,l,r,u} \cdot \beta_{car}(j)e_{car}(j)C_{Ecar}(j) \quad (4)$$

$$c_{bus}^e(i)=e_{s,l,r,u} \cdot \beta_{bus}(i)e_{bus}(i)C_{Ebus}(i) \quad (5)$$

式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的排放成本; $e_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车尾气排放的污染当量数; C_{Ecar} 代表小汽车尾气污染物的具体适用税额; $c_{bus}^e(i)$ 为第 i 辆公交车的排放成本; $e_{bus}(i)$ 为公交车尾气排放的污染当量数, 电动公交车排放为0; $C_{Ebus}(i)$ 为公交车尾气污染物的具体适用税额; $\beta_{car}(j)$ 分别表示小汽车排放重要度, $\beta_{bus}(i)$ 分别代表公交车排放重要度, 通过熵权法进行标定;

步骤S3.4中, 最小有向路段的能耗成本取决于路段上车辆的燃油消耗量; 能耗成本的定义式为:

$$c_{car}^f(j)=e_{s,l,r,u} \cdot \alpha_{car}(j)f_{car}(j)C_{Fcar}(j) \quad (6)$$

$$c_{bus}^f(i)=e_{s,l,r,u} \cdot \alpha_{bus}(i)f_{bus}(i)C_{Fbus}(i) \quad (7)$$

式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的能耗成本; $f_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车燃油消耗量; C_{Fcar} 表示小汽车燃油价格; 可查询《环境保护税法》获得; $c_{bus}^f(i)$ 为第 i 辆公交车的能耗成本; $f_{bus}(i)$ 表示公交车能耗量; $C_{Fbus}(i)$ 为公交车燃料价格; $\alpha_{car}(j)$ 表示小汽车能耗重要度, $\alpha_{bus}(i)$ 代表公交车能耗重要度, 通过熵权法进行标定;

步骤S3.5中, 生态成本计算式如下:

$$C_E = \sum_j (c_{car}^{time}(j) + c_{car}^e(j) + c_{car}^f(j)) + \sum_i (c_{bus}^{time}(i) + c_{bus}^e(i) + c_{bus}^f(i)) \quad (8)$$

式中, C_E 为最小有向路段的生态成本; $c_{car}^{time}(j)$ 、 $c_{bus}^{time}(i)$ 为最小有向路段的延误成本; $c_{car}^e(j)$ 、 $c_{bus}^e(i)$ 为最小有向路段的排放成本; $c_{car}^f(j)$ 、 $c_{bus}^f(i)$ 为最小有向路段的能耗成本。

6. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法, 其特征在于, 步骤S4中, 所述最小有向路段的生态指数, 即根据步骤S3中定义的延误成本、排放成本、能耗成本, 利用熵权法计算得到的反映道路交通运行情况的生态综合性指标, 得到路网中最小有向路段的生态指数, 包括以下步骤:

S4.1、将计算3种成本所用到的浮动车车辆轨迹数据进行聚类,实现数据标准化,各成本标准化后得到的值为 Y_1, Y_2, Y_3 ;

S4.2、计算3个成本的信息熵,根据信息熵的定义,用如下公式表示:

$$E_{c_j} = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (9)$$

式中, E_{c_j} 为某一成本的信息熵; p_{ij} 为某一成本可能出现的概率, $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$;

S4.3、计算延误成本、排放成本、能耗成本3个指标的权重,在计算得到三个指标的信息熵后,通过信息熵计算各成本权重公式如下:

$$W_j = \frac{1 - E_{c_j}}{3 - \sum E_{c_j}} (j = 1, 2, 3) \quad (10)$$

式中, W_j 为某一成本的权重; E_{c_j} 为某一成本的信息熵;

S4.4、将各个成本极小化处理,实现去量纲化;其生态指数等于车辆理想运行情况下的最小生态成本与实际估计的生态成本的比值,最小有向路段的生态指数的计算公式如下:

$$C_E' = \frac{C_{\min}^E}{C_E} \quad (11)$$

式中, C_E' 为最小有向路段的生态指数; C_{\min}^E 为车辆理想运行情况下的最小生态成本; C_E 为公式(8)计算得到的实际生态成本。

7. 根据权利要求6所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S4.1包括以下迭代处理步骤:

S4.1.1、从n条浮动车车辆轨迹数据中任意选择x条浮动车车辆轨迹数据作为初始聚类中心;

S4.1.2、计算每个浮动车车辆轨迹样本与各个类中心点的距离,并根据最小距离的原则将浮动车车辆轨迹样本划分进某一类;

S4.1.3、计算每个类的中心,类的中心点为其到该类中其他所有点的距离之和最小的点;

S4.1.4、判断当前聚类的各中心和上一次聚类的各中心是否一致,若不一致则返回步骤S4.1.2,否则结束迭代聚类。

8. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,其特征在于,步骤S5中,所述有向路径是由至少一个最小有向路段所组成的路径,路网中组成同一有向路径的最小有向路段组内有多种组合形式;在计算已有确定起讫点(Origin-Destination, OD)的有向路径生态成本时,需根据其具体的最小有向路段组合形式来确定每个最小有向路段的所取方向;由确定了起讫点的有向路径,计算得到多个可能的生态成本值;包括以下步骤:

S5.1、定义组合方式;设有向路径有一个由n个最小有向路段构成的组合形式, $n \geq 1$;当确定了组合形式后,最小有向路段的方向也会确定,其自身车辆方向系数 $e_{s,1,r,u}$ 的取值也随之确定;

S5.2、计算延误、排放、能耗成本;有向路径的延误、排放、能耗成本均分别等于组成其

的最小有向路段的延误、排放、能耗成本之和；

有向路径的延误成本计算公式如下：

$$E_{car}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{car}^{time}(j) \quad (12)$$

$$E_{bus}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{bus}^{time}(j) \quad (13)$$

式中， $c_{car}^{time}(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的延误成本； $c_{bus}^{time}(i)$ 为第i辆公交车的延误成本； E_{car}^{time} 为某种路段组合形式的路径上浮动车的延误成本； E_{bus}^{time} 为某种路段组合形式的路径上公交车的延误成本；

有向路径的排放成本计算公式如下：

$$E_{car}^e = \sum_{j=1}^n c_{car}^e(j) \quad (14)$$

$$E_{bus}^e = \sum_{j=1}^n c_{bus}^e(j) \quad (15)$$

式中， $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的排放成本； $c_{bus}^e(j)$ 为第i辆公交车的排放成本； E_{car}^e 为某种路段组合形式的路径上浮动车的排放成本； E_{bus}^e 为某种路段组合形式的路径上公交车的排放成本；

有向路径的能耗成本计算公式如下：

$$E_{car}^f = \sum_{j=1}^n c_{car}^f(j) \quad (16)$$

$$E_{bus}^f = \sum_{j=1}^n c_{bus}^f(j) \quad (17)$$

式中， $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的能耗成本； $c_{bus}^f(j)$ 为第i辆公交车的能耗成本； E_{car}^f 为某种路段组合形式的路径上浮动车的能耗成本； E_{bus}^f 为某种路段组合形式的路径上公交车的能耗成本；

重复步骤S5.1~S5.2,得到同一路径不同路段组合形式所对应的各成本值；

S5.3、计算有向路径的生态成本,计算公式如下：

$$E^m = (E_{car}^{time,m} + E_{car}^{e,m} + E_{car}^{f,m}) + (E_{bus}^{time,m} + E_{bus}^{e,m} + E_{bus}^{f,m}) \quad (18)$$

式中， E^m 为第m种路段组合形式的路径生态成本， $E_{car}^{time,m}$ 、 $E_{bus}^{time,m}$ 为第m种路段组合形式的路径延误成本； $E_{car}^{e,m}$ 、 $E_{bus}^{e,m}$ 为第m种路段组合形式的路径排放成本； $E_{car}^{f,m}$ 、 $E_{bus}^{f,m}$ 为第m种路段组合形式的路径能耗成本；

S5.4、计算有向路径的生态指数,计算公式如下：

$$E^{m'} = \frac{E^m}{E_{\min}^m} \quad (19)$$

式中， $E^{m'}$ 为第m种路段组合形式的路径生态指数； E_{\min}^m 为第m种路段组合形式的理想交

通情况下最小路径生态成本, E^m 为第 m 种路段组合形式的实际路径生态成本。

9. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法, 其特征在于, 步骤S6中, 所述有向路径集的生态指数, 即根据定义的最小有向路段和有向路径, 利用概率分配模型计算整个路网的生态指数; 包括以下步骤:

S6.1、计算路网中一对OD对之间的生态指数;

一对OD对之间存在多条有向路径, 在路网达到平衡时, 所有被利用的路径具有相等并且最小的阻抗, 未被利用的路径与其具有相等或更大的阻抗, 由此计算得到用户选择路径的概率; 根据路网中用户选择路径的概率和步骤S5所计算得到的有向路径的生态指数, 加权得到一对OD对之间路径集的生态指数;

S6.2、计算路网所有OD对之间的生态指数;

在路网中, 找出所有具有交通产生量与吸引力的OD对; 根据所有OD对中各OD对的交通量确定此OD对交通需求占路网整体交通需求的比重; 将该比重与步骤S6.1所计算得到的单一OD对之间的生态指数相结合, 再次利用熵权法得到路网的生态指数。

10. 根据权利要求1所述的一种基于生态指数的城市交通运行评价方法, 其特征在于, 步骤S7中, 根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数, 利用“优”、“良”、“中”、“差”四个标准定性评价该最小有向路段、有向路径、有向路径集的交通生态情况:

按照等距分类法将步骤S4中计算的最小有向路段的生态指数划分为四个等级: C_E' 为 0.75-1.00 为优, C_E' 为 0.50-0.75 为良, C_E' 为 0.25-0.50 为中, C_E' 为 0-0.25 为差; 通过以上对不同属性和位置的最小路段的生态指数的计算和分类, 定性评价该最小有向路段的交通生态情况;

按照等距分类法将步骤S5中计算的有向路径的生态指数划分为四个等级: E^m' 为 0.75-1.00 为优, E^m' 为 0.50-0.75 为良, E^m' 为 0.25-0.50 为中, E^m' 为 0-0.25 为差; 通过以上对不同属性和位置的有向路径的生态指数的计算和分类, 定性评价该有向路径的交通生态情况;

按照等距分类法将步骤S6中计算的路网的生态指数划分为四个等级: 0.75-1.00 为优, 0.50-0.75 为良, 0.25-0.50 为中, 0-0.25 为差; 通过以上对路网的生态指数的计算和分类, 定性评价该路网的交通生态情况。

一种基于生态指数的城市交通运行评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通系统技术领域,特别是涉及一种基于生态指数的城市交通运行评价方法。

背景技术

[0002] 面对城市交通网络的迅速扩张和需求的急剧增长,小汽车和公交车的拥堵、能源消耗和尾气污染的日益加剧,全面深入地针对交通生态进行综合性研究迫在眉睫。为了缓解城市交通出行所带来的拥堵、空气污染、时间损失和能源消耗等城市交通病,应该从交通出行的各类成本出发,摒弃只考虑出行延误单个因素的分析方法,建立一个更为全面、精准、与生态环境相适应的交通运行状况评价新方法。

[0003] 现有的城市交通评价体系,其缺点在于:1.多致力于评价基本的车路关系矛盾和整体交通系统运营效率、运营成本和交通出行舒适度,而对日益突出的交通能源消耗和环境污染等问题的研究不足,即以延误及其派生指标作为交通评价的主要指标,而忽略了能耗和排放等生态指标;2.多集中于研究路段总体出行特征,忽略了不同转向路径的交通差异,尤其难以表征中远距离的出行起讫点(Origin-Destination,简称OD)间多条路径的出行成本。因此,针对单一路段指标评价OD间多条路径的道路交通状况,而不考虑各转向车流状况差异,容易导致交通评价的失衡。

[0004] 文献《隽海民,裴玉龙.城市客运交通方式生态指数及其计算方法[J].城市交通》中基于交通方式的土地资源占用量、能耗和排放建立了客运交通生态指数,而能耗和排放的估计简单依赖于路段平均车速;文献《许晔,王钧,刘爽爽等.深圳市主要道路交通碳排放特征与低碳交通发展情景研究[J].北京大学学报:自然科学版》中借助国际机动车排放模型和深圳实测数据,分别建立了小汽车、公交车和货车的排放强度估计模型。总体上,已有方法主要借助宏观路段车辆状态估计能耗和排放,较少考虑车辆瞬时工况的关键影响。

发明内容

[0005] 针对现有研究的不足,本发明提出一种基于生态指数的城市交通运行评价方法。该方法综合考虑了路网中时间经济损失、空气污染物排放成本和能源消耗成本,通过城市路网中浮动车车辆轨迹数据,估计每个行驶方向上的延误成本、排放成本和能耗成本,从而建立基于生态指数的生态导向型交通运行状况评价新指标,并通过赋予路网车流行驶方向系数的方法,依次建立最小有向路段、有向路径、有向路径集三个层面的评价指标,精准地刻画路网中出行OD对的交通运行状态。

[0006] 本发明的目的至少通过如下技术方案之一实现。

[0007] 一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,包括以下步骤:

[0008] S1、利用浮动车车辆轨迹数据获取样本车辆行驶参数;

[0009] S2、对浮动车车辆轨迹数据进行预处理;

[0010] S3、定义路网中最小有向路段及生态成本;

[0011] S4、计算路网中最小有向路段的生态指数；

[0012] S5、计算路网中有向路径的生态指数；

[0013] S6、计算路网中有向路径集的生态指数；

[0014] S7、根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数，对城市交通运行方案进行优化调整，改善城市交通。

[0015] 进一步地，步骤S1中，所述行驶状态参数是利用浮动车车辆轨迹数据，结合坐标系转换法对车辆进行行驶轨迹重构，即将WGS-84坐标系下的浮动车GPS经纬度转化为笛卡尔平面坐标，由此计算出该路段一个统计周期内每个定位点上车辆的瞬时速度和瞬时加速度，其中，瞬时速度已包含在GPS回传数据中，瞬时加速度为瞬时速度差与时间差的比值。

[0016] 进一步地，步骤S2中，所述预处理是对浮动车车辆轨迹数据进行筛选和分类，包括对错误、重复和丢失的数据处理；所述分类根据交叉口各方向进口道车流可能选择的四个行车方向，将浮动车车辆轨迹数据分为4类，所述四个行车方向为直行、左转、右转和掉头；所述错误数据处理是根据研究路网道路的范围，删除超出路网道路边界的异常值点；所述重复数据处理是根据浮动车车辆轨迹设备唯一标识号将同一定位、同一设备标识号的所有浮动车车辆轨迹数据取算术平均值作为当前定位点的浮动车车辆轨迹数据；所述丢失数据处理是根据同一浮动车车辆轨迹设备、定位时刻两个字段的原始数据进行排序，若检测到丢失，则用线性插值法补齐。

[0017] 进一步地，步骤S3中，所述最小有向路段即所研究的带有行驶方向的最小路段，是研究路网的最基本单元；所述生态成本，即根据现有研究的不足所提出的一种生态导向型交通出行成本。所述生态成本综合了延误成本、排放成本、能耗成本；步骤S3包括以下步骤：

[0018] S3.1、定义最小有向路段的行驶方向系数；

[0019] S3.2、定义延误成本；

[0020] S3.3、定义排放成本；

[0021] S3.4、定义能耗成本；

[0022] S3.5、计算最小有向路段的生态成本。

[0023] 进一步地，步骤S3.1中，所述行驶方向性，是针对现有研究的不足，即评价道路交通状况只针对路段单一方向，而不考虑各转向车流交通状况差异，提出的评价道路交通状况需要精细地区分计算各转向车流的出行成本（延误成本、排放成本、能耗成本），最小有向路段的行驶方向性以二进制的行驶方向系数体现在计算式中。所述方向系数表达式如下：

$$[0024] \quad \begin{cases} s, l, r, u \in \{0, 1\} \\ s + l + r + u = 1 \end{cases} \quad (1)$$

[0025] 式中，s, l, r, u分别表示直行、左转、右转、掉头；

[0026] 步骤S3.2中，最小有向路段的延误时间为路段上各个行驶方向上的车辆平均延误与车辆处于自由流状态时通过该路段的行驶方向的时间差；将延误时间结合居民平均收入计算得到延误成本，延误成本的计算公式如下：

$$[0027] \quad c_{car}^{time}(j) = e_{s, l, r, u} \cdot \gamma_{car}(j) d_{car}(j) C_{Dcar} N_{car} \quad (2)$$

$$[0028] \quad c_{bus}^{time}(i) = e_{s, l, r, u} \cdot \gamma_{bus}(i) (d_{bus}(i) N_{bus}(i) + dt_{bus}(i) M_{bus}(i)) C_{Dbus} \quad (3)$$

[0029] 式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^{time}(j)$ 表示除公交车外的第 j 辆浮动车乘客的时间成本; $d_{car}(j)$ 为小汽车延误时间; C_{Dcar} 代表小汽车人均时间价值; N_{car} 代表小汽车平均载客人数; $c_{bus}^{time}(i)$ 表示第 i 辆公交车乘客的时间成本; $d_{bus}(i)$ 为公交车延误时间; $N_{bus}(i)$ 代表公交车平均载客人数; $dt_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客候车延误; $M_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客数; C_{Dbus} 代表公交车人均时间价值; $\gamma_{car}(j)$ 、 $\gamma_{bus}(i)$ 代表小汽车和公交车时间成本重要度, 通过熵权法进行标定;

[0030] 步骤 S3.3 中, 最小有向路段的排放成本取决于路段上车流的三种污染物排放因子 (CO, NO, HC) 的排放量。考虑到当前大部分城市内所有公交车轨迹均可实时回传到监控中心, 因此, 针对公交车的指标测算将精确到单个车辆。对于小汽车群体, 则需要依赖可收集数据的少量浮动车进行平均值估计, 再根据断面车辆总数折算为全体小汽车。

[0031] 排放成本的定义式为:

$$[0032] \quad c_{car}^e(j) = e_{s,l,r,u} \cdot \beta_{car}(j) e_{car}(j) C_{Ecar}(j) \quad (4)$$

$$[0033] \quad c_{bus}^e(i) = e_{s,l,r,u} \cdot \beta_{bus}(i) e_{bus}(i) C_{Ebus}(i) \quad (5)$$

[0034] 式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的排放成本; $e_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车尾气排放的污染当量数; C_{Ecar} 代表小汽车尾气污染物的具体适用税额; $c_{bus}^e(i)$ 为第 i 辆公交车的排放成本; $e_{bus}(i)$ 为公交车尾气排放的污染当量数, 电动公交车排放为 0; $C_{Ebus}(i)$ 为公交车尾气污染物的具体适用税额; $\beta_{car}(j)$ 分别表示小汽车排放重要度, $\beta_{bus}(i)$ 分别代表公交车排放重要度, 通过熵权法进行标定;

[0035] 步骤 S3.4 中, 最小有向路段的能耗成本取决于路段上车辆的燃油消耗量; 能耗成本的定义式为:

$$[0036] \quad c_{car}^f(j) = e_{s,l,r,u} \cdot \alpha_{car}(j) f_{car}(j) C_{Fcar}(j) \quad (6)$$

$$[0037] \quad c_{bus}^f(i) = e_{s,l,r,u} \cdot \alpha_{bus}(i) f_{bus}(i) C_{Fbus}(i) \quad (7)$$

[0038] 式中, $e_{s,l,r,u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的能耗成本; $f_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车燃油消耗量; C_{Fcar} 表示小汽车燃油价格; 可查询《环境保护税法》获得; $c_{bus}^f(i)$ 为第 i 辆公交车的能耗成本; $f_{bus}(i)$ 表示公交车能耗量; $C_{Fbus}(i)$ 为公交车燃料价格; $\alpha_{car}(j)$ 表示小汽车能耗重要度, $\alpha_{bus}(i)$ 代表公交车能耗重要度, 通过熵权法进行标定;

[0039] 步骤 S3.5 中, 由 (1) ~ (7) 计算出最小有向路段的延误成本、排放成本、能耗成本; 通过对以上 3 个成本的加权求和计算得所研究最小有向路段的生态成本; 生态成本计算式如下:

$$[0040] \quad C_E = \sum_j (c_{car}^{time}(j) + c_{car}^e(j) + c_{car}^f(j)) + \sum_i (c_{bus}^{time}(i) + c_{bus}^e(i) + c_{bus}^f(i)) \quad (8)$$

[0041] 式中, C_E 为最小有向路段的生态成本; $c_{car}^{time}(j)$ 、 $c_{bus}^{time}(i)$ 为最小有向路段的延误成本; $c_{car}^e(j)$ 、 $c_{bus}^e(i)$ 为最小有向路段的排放成本; $c_{car}^f(j)$ 、 $c_{bus}^f(i)$ 为最小有向路段的能耗成本。

[0042] 进一步地, 步骤 S4 中, 所述最小有向路段的生态指数, 即根据步骤 S3 中定义的延误

成本、排放成本、能耗成本,利用熵权法计算得到的反映道路交通运行情况的生态综合性指标,得到路网中最小有向路段的生态指数,包括以下步骤:

[0043] S4.1、将计算3种成本所用到的浮动车车辆轨迹数据进行聚类,实现数据标准化,各成本标准化后得到的值为 Y_1, Y_2, Y_3 ;

[0044] S4.2、计算3个成本的信息熵,根据信息熵的定义,用如下公式表示:

$$[0045] \quad E_{c_j} = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (9)$$

[0046] 式中, E_{c_j} 为某一成本的信息熵; p_{ij} 为某一成本可能出现的概率, $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$;

[0047] S4.3、计算延误成本、排放成本、能耗成本3个指标的权重,在计算得到三个指标的信息熵后,通过信息熵计算各成本权重公式如下:

$$[0048] \quad W_j = \frac{1 - E_{c_j}}{3 - \sum E_{c_j}} \quad (j = 1, 2, 3) \quad (10)$$

[0049] 式中, W_j 为某一成本的权重; E_{c_j} 为某一成本的信息熵;

[0050] S4.4、将各个成本极小化处理,实现去量纲化;其生态指数等于车辆理想运行情况下的最小生态成本与实际估计的生态成本的比值,最小有向路段的生态指数的计算公式如下:

$$[0051] \quad C_E' = \frac{C_{\min}^E}{C_E} \quad (11)$$

[0052] 式中, C_E' 为最小有向路段的生态指数; C_{\min}^E 为车辆理想运行情况下的最小生态成本; C_E 为公式(8)计算得到的实际生态成本。

[0053] 进一步地,步骤S4.1包括以下迭代处理步骤:

[0054] S4.1.1、从n条浮动车车辆轨迹数据中任意选择x条浮动车车辆轨迹数据作为初始聚类中心;

[0055] S4.1.2、计算每个浮动车车辆轨迹样本与各个类中心点的距离,并根据最小距离的原则将浮动车车辆轨迹样本划分进某一类;

[0056] S4.1.3、计算每个类的中心,类的中心点为其到该类中其他所有点的距离之和最小的点;

[0057] S4.1.1、判断当前聚类的各中心和上一次聚类的各中心是否一致,若不一致则返回步骤S4.1.2,否则结束迭代聚类。

[0058] 进一步地,步骤S5中,所述有向路径是由至少一个最小有向路段所组成的路径,路网中组成同一有向路径的最小有向路段组内有多种组合形式;在计算已有确定起讫点(Origin-Destination, OD)的有向路径生态成本时,需根据其具体的最小有向路段组合形式来确定每个最小有向路段的所取方向;由确定了起讫点的有向路径,计算得到多个可能的生态成本值;包括以下步骤:

[0059] S5.1、定义组合方式;设有向路径有一个由n个最小有向路段构成的组合形式, $n \geq 1$;当确定了组合形式后,最小有向路段的方向也会确定,其自身车辆方向系数 $e_{s,1,r,u}$ 的取值也随之确定;便可得到各成本值及生态。

[0060] S5.2、计算延误、排放、能耗成本；有向路径的延误、排放、能耗成本均分别等于组成其的最小有向路段的延误、排放、能耗成本之和；

[0061] 有向路径的延误成本计算公式如下：

$$[0062] \quad E_{car}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{car}^{time}(j) \quad (12)$$

$$[0063] \quad E_{bus}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{bus}^{time}(i) \quad (13)$$

[0064] 式中， $c_{car}^{time}(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的延误成本； $c_{bus}^{time}(i)$ 为第i辆公交车的延误成本； E_{car}^{time} 为某种路段组合形式的路径上浮动车的延误成本； E_{bus}^{time} 为某种路段组合形式的路径上公交车的延误成本；

[0065] 有向路径的排放成本计算公式如下：

$$[0066] \quad E_{car}^e = \sum_{j=1}^n c_{car}^e(j) \quad (14)$$

$$[0067] \quad E_{bus}^e = \sum_{j=1}^n c_{bus}^e(j) \quad (15)$$

[0068] 式中， $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的排放成本； $c_{bus}^e(j)$ 为第i辆公交车的排放成本； E_{car}^e 为某种路段组合形式的路径上浮动车的排放成本； E_{bus}^e 为某种路段组合形式的路径上公交车的排放成本；

[0069] 有向路径的能耗成本计算公式如下：

$$[0070] \quad E_{car}^f = \sum_{j=1}^n c_{car}^f(j) \quad (16)$$

$$[0071] \quad E_{bus}^f = \sum_{j=1}^n c_{bus}^f(j) \quad (17)$$

[0072] 式中， $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第j辆浮动车的能耗成本； $c_{bus}^f(j)$ 为第i辆公交车的能耗成本； E_{car}^f 为某种路段组合形式的路径上浮动车的能耗成本； E_{bus}^f 为某种路段组合形式的路径上公交车的能耗成本；

[0073] 重复步骤S5.1~S5.2，得到同一路径不同路段组合形式所对应的各成本值；

[0074] S5.3、计算有向路径的生态成本，计算公式如下：

$$[0075] \quad E^m = (E_{car}^{time,m} + E_{car}^{e,m} + E_{car}^{f,m}) + (E_{bus}^{time,m} + E_{bus}^{e,m} + E_{bus}^{f,m}) \quad (18)$$

[0076] 式中， E^m 为第m种路段组合形式的路径生态成本， $E_{car}^{time,m}$ 、 $E_{bus}^{time,m}$ 为第m种路段组合形式的路径延误成本； $E_{car}^{e,m}$ 、 $E_{bus}^{e,m}$ 为第m种路段组合形式的路径排放成本； $E_{car}^{f,m}$ 、 $E_{bus}^{f,m}$ 为第m种路段组合形式的路径能耗成本；

[0077] S5.4、计算有向路径的生态指数，计算公式如下：

$$[0078] \quad E^{m'} = \frac{E_{min}^m}{E^m} \quad (19)$$

[0079] 式中, E^m 为第m种路段组合形式的路径生态指数; E_{\min}^m 为第m种路段组合形式的理想交通情况下最小路径生态成本, E^m 为第m种路段组合形式的实际路径生态成本。

[0080] 进一步地, 步骤S6中, 所述有向路径集的生态指数, 即根据以上提出的最小有效路段和有向路径, 利用概率分配模型计算整个路网的生态指数; 包括以下步骤:

[0081] S6.1、计算路网中一对OD对之间的生态指数;

[0082] 一对OD对之间存在多条有向路径, 在路网达到平衡时, 所有被利用的路径具有相等并且最小的阻抗, 未被利用的路径与其具有相等或更大的阻抗, 由此计算得到用户选择路径的概率; 根据路网中用户选择路径的概率和步骤S5所计算得到的有向路径的生态指数, 加权得到一对OD对之间路径集的生态指数;

[0083] S6.2、计算路网所有OD对之间的生态指数;

[0084] 在路网中, 找出所有具有交通产生量与吸引力的OD对; 根据所有OD对中各OD对的交通量确定此OD对交通需求占路网整体交通需求的比重; 将该比重与步骤S6.1所计算得到的单一OD对之间的生态指数相结合, 再次利用熵权法得到路网的生态指数。

[0085] 进一步地, 步骤S7中, 完成最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数计算后, 根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数, 可以利用“优”、“良”、“中”、“差”四个标准定性地评价该最小有向路段、有向路径、有向路径集的交通生态情况:

[0086] 按照等距分类法将步骤S4中计算的最小有向路段的生态指数划分为四个等级: C_E' 为0.75-1.00为优, C_E' 为0.50-0.75为良, C_E' 为0.25-0.50为中, C_E' 为0-0.25为差; 通过以上对不同属性和位置的最小路段的生态指数的计算和分类, 定性地评价该最小有向路段的交通生态情况;

[0087] 按照等距分类法将步骤S5中计算的有向路径的生态指数划分为四个等级: E^m 为0.75-1.00为优, E^m 为0.50-0.75为良, E^m 为0.25-0.50为中, E^m 为0-0.25为差; 通过以上对不同属性和位置的有向路径的生态指数的计算和分类, 定性地评价该有向路径的交通生态情况;

[0088] 按照等距分类法将步骤S6中计算的路网的生态指数划分为四个等级: 0.75-1.00为优, 0.50-0.75为良, 0.25-0.50为中, 0-0.25为差; 通过以上对路网的生态指数的计算和分类, 定性地评价该路网的交通生态情况。

[0089] 基于本发明的交通规划、交通设计、交通控制与管理将着眼于减少延误、能耗、排放, 通过优化OD点对之间交通流量的分配、交通设施及其功能设计、信号灯配时方案调整等交通优化策略, 为城市路网的稳定高效运行提供科学的决策依据, 不仅是多方位的交通信息服务的前提, 也是实现智能交通管控的重要基础; 更进一步地, 本发明通过改变城市居民出行方式和出行路线的组合结构, 减轻无效交通所带来的城市拥堵、空气污染物排放、时间经济损失等重大问题带来的交通“城市病”, 从根源上缓解城市生态交通问题。

[0090] 本发明的优点在于:

[0091] (1) 本发明创新地综合考虑了路网中时间经济损失、空气污染物排放、燃料能源加速消耗等问题对城市路网生态指数的影响, 并用基于延误成本、排放成本、能耗成本的生态指数综合评价指标描绘路网的交通生态状况;

[0092] (2) 本发明创新地考虑了不同道路条件、不同转向车流之间的交通状况差异, 通过

赋予路网车流行驶方向系数的方法,从最小有向路段、有向路径、有向路径集三个层面精准地刻画路网的交通运行状态;

[0093] (3) 本发明的社会积极效果是提出的生态导向型评价指标,即生态指数,有利于为城市管理部门、城市交通规划与设施建设提供技术参考依据,为大众提供准确且全面的交通出行成本,进而促进城市居民出行生态化和城市交通系统的可持续发展。

附图说明

[0094] 图1为本发明一种基于生态指数的城市交通运行评价方法的流程图。

[0095] 图2为本发明实施例中最小有向路段生态成本的计算步骤流程图。

[0096] 图3为本发明实施例中最小有向路段生态指数的计算步骤流程图。

[0097] 图4为本发明实施例中有向路径生态指数的计算步骤流程图。

具体实施方式

[0098] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面结合附图和实施例对本发明的具体实施进行说明。

[0099] 实施例:

[0100] 一种基于生态指数的城市交通运行评价方法,如图1所示,包括以下步骤:

[0101] S1、利用浮动车车辆轨迹数据获取样本车辆行驶参数;

[0102] 从外部浮动车车辆轨迹数据库中获取车辆标识码、时刻、速度、经纬度和方向角等行驶状态参数,结合坐标系转换法对车辆进行行驶轨迹重构,即将WGS-84坐标系下的浮动车GPS经纬度转化为笛卡尔平面坐标,利用浮动车车辆轨迹数据还原计算该路段一个统计周期内每一秒车辆的瞬时速度和瞬时加速度。其中,瞬时速度已包含在GPS回传数据中,瞬时加速度为瞬时速度差与时间差的比值。

[0103] S2、对浮动车车辆轨迹数据进行预处理;

[0104] 所述预处理是对浮动车车辆轨迹数据进行筛选和分类,包括对错误、重复和丢失的数据处理;所述分类根据交叉口各方向进口道车流可能选择的四个行车方向,将浮动车车辆轨迹数据分为4类,所述四个行车方向为直行、左转、右转和掉头;所述错误数据处理是根据研究路网道路的范围,删除超出路网道路边界的异常值点;所述重复数据处理是根据浮动车车辆轨迹设备唯一标识号将同一定位、同一设备标识号的所有浮动车车辆轨迹数据取算术平均值作为当前定位点的浮动车车辆轨迹数据;所述丢失数据处理是根据同一浮动车车辆轨迹设备、定位时刻两个字段的原始数据进行排序,若检测到丢失,则用线性插值法补齐。

[0105] S3、定义路网中最小有向路段及生态成本;所述最小有向路段即所研究的带有行驶方向的最小路段,是研究路网的最基本单元;所述生态成本,即根据现有研究的不足所提出的一种生态导向型交通出行成本。所述生态成本即根据现有研究的不足所提出的一种生态导向型交通出行成本,综合了延误成本、排放成本、能耗成本;如图2所示,步骤S3包括以下步骤:

[0106] S3.1、定义最小有向路段的行驶方向系数;所述行驶方向性,是针对现有研究的不足,即评价道路交通状况只针对路段单一方向,而不考虑各转向车流交通状况差异,提出的

评价道路交通状况需要精细地区分计算各转向车流的出行成本(延误成本、排放成本、能耗成本),最小有向路段的行驶方向性以二进制的行驶方向系数体现在计算式中。

[0107] 所述方向系数表达式如下:

$$[0108] \quad \begin{cases} s, l, r, u \in \{0, 1\} \\ s + l + r + u = 1 \end{cases} \quad (1)$$

[0109] 式中, s, l, r, u 分别表示直行、左转、右转、掉头;

[0110] S3.2、定义延误成本;最小有向路段的延误时间为路段上各个行驶方向上的车辆平均延误与车辆处于自由流状态时通过该路段的行驶方向的时间差;将延误时间结合居民平均收入计算得到延误成本,延误成本的计算公式如下:

$$[0111] \quad c_{car}^{time}(j) = e_{s, l, r, u} \cdot \gamma_{car}(j) d_{car}(j) C_{Dcar} N_{car} \quad (2)$$

$$[0112] \quad c_{bus}^{time}(i) = e_{s, l, r, u} \cdot \gamma_{bus}(i) (d_{bus}(i) N_{bus}(i) + dt_{bus}(i) M_{bus}(i)) C_{Dbus} \quad (3)$$

[0113] 式中, $e_{s, l, r, u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^{time}(j)$ 表示除公交车外的第 j 辆浮动车乘客的时间成本; $d_{car}(j)$ 为小汽车延误时间; C_{Dcar} 代表小汽车人均时间价值; N_{car} 代表小汽车平均载客人数; $c_{bus}^{time}(i)$ 表示第 i 辆公交车乘客的时间成本; $d_{bus}(i)$ 为公交车延误时间; $N_{bus}(i)$ 代表公交车平均载客人数; $dt_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客候车延误; $M_{bus}(i)$ 为等候该辆公交车的站台乘客数; C_{Dbus} 代表公交车人均时间价值; $\gamma_{car}(j)$ 、 $\gamma_{bus}(i)$ 代表小汽车和公交车时间成本重要度,通过熵权法进行标定;

[0114] S3.3、定义排放成本;最小有向路段的排放成本取决于路段上车流的三种污染物排放因子(CO, NO, HC)的排放量。考虑到当前大部分城市内所有公交车轨迹均可实时回传到监控中心,因此,针对公交车的指标测算将精确到单个车辆。对于小汽车群体,则需要依赖可收集数据的少量浮动车进行平均值估计,再根据断面车辆总数折算为全体小汽车。排放成本的定义式为:

$$[0115] \quad c_{car}^e(j) = e_{s, l, r, u} \cdot \beta_{car}(j) e_{car}(j) C_{Ecar}(j) \quad (4)$$

$$[0116] \quad c_{bus}^e(i) = e_{s, l, r, u} \cdot \beta_{bus}(i) e_{bus}(i) C_{Ebus}(i) \quad (5)$$

[0117] 式中, $e_{s, l, r, u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的排放成本; $e_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车尾气排放的污染当量数; C_{Ecar} 代表小汽车尾气污染物的具体适用税额; $c_{bus}^e(i)$ 为第 i 辆公交车的排放成本; $e_{bus}(i)$ 为公交车尾气排放的污染当量数,电动公交车排放为0; $C_{Ebus}(i)$ 为公交车尾气污染物的具体适用税额; $\beta_{car}(j)$ 分别表示小汽车排放重要度, $\beta_{bus}(i)$ 分别代表公交车排放重要度,通过熵权法进行标定;

[0118] S3.4、定义能耗成本;最小有向路段的能耗成本取决于路段上车辆的燃油消耗量;能耗成本的定义式为:

$$[0119] \quad c_{car}^f(j) = e_{s, l, r, u} \cdot \alpha_{car}(j) f_{car}(j) C_{Fcar}(j) \quad (6)$$

$$[0120] \quad c_{bus}^f(i) = e_{s, l, r, u} \cdot \alpha_{bus}(i) f_{bus}(i) C_{Fbus}(i) \quad (7)$$

[0121] 式中, $e_{s, l, r, u}$ 为最小有向路段的行驶方向系数; $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的能耗成本; $f_{car}(j)$ 为第 j 辆浮动车燃油消耗量; C_{Fcar} 表示小汽车燃油价格;可查询《环境

保护税法》获得； $c_{bus}^f(i)$ 为第*i*辆公交车的能耗成本； $f_{bus}(i)$ 表示公交车能耗量； $C_{Fbus}(i)$ 为公交车燃料价格； $\alpha_{car}(j)$ 表示小汽车能耗重要度， $\alpha_{bus}(i)$ 代表公交车能耗重要度，通过熵权法进行标定；

[0122] S3.5、计算最小有向路段的生态成本，由(1)~(7)计算出最小有向路段的延误成本、排放成本、能耗成本；通过对以上3个成本的加权求和计算得所研究最小有向路段的生态成本；生态成本计算式如下：

$$[0123] \quad C_E = \sum_j (c_{car}^{time}(j) + c_{car}^e(j) + c_{car}^f(j)) + \sum_i (c_{bus}^{time}(i) + c_{bus}^e(i) + c_{bus}^f(i)) \quad (8)$$

[0124] 式中， C_E 为最小有向路段的生态成本； $c_{car}^{time}(j)$ 、 $c_{bus}^{time}(i)$ 为最小有向路段的延误成本； $c_{car}^e(j)$ 、 $c_{bus}^e(i)$ 为最小有向路段的排放成本； $c_{car}^f(j)$ 、 $c_{bus}^f(i)$ 为最小有向路段的能耗成本。

[0125] S4、计算路网中最小有向路段的生态指数；所述最小有向路段的生态指数，即根据步骤S3中定义的延误成本、排放成本、能耗成本，利用熵权法计算得到的反映道路交通运行情况的生态综合性指标，得到路网中最小有向路段的生态指数；如图3所示，包括以下步骤：

[0126] S4.1、将计算3种成本所用到的浮动车车辆轨迹数据进行聚类，实现数据标准化，各成本标准化后得到的值为 Y_1, Y_2, Y_3 ，包括以下迭代处理步骤：

[0127] S4.1.1、从*n*条浮动车车辆轨迹数据中任意选择*x*条浮动车车辆轨迹数据作为初始聚类中心；

[0128] S4.1.2、计算每个浮动车车辆轨迹样本与各个类中心点的距离，并根据最小距离的原则将浮动车车辆轨迹样本划分进某一类；

[0129] S4.1.3、计算每个类的中心，类的中心点为其到该类中其他所有点的距离之和最小的点；

[0130] S4.1.1、判断当前聚类的各中心和上一次聚类的各中心是否一致，若不一致则返回步骤S4.1.2，否则结束迭代聚类。

[0131] S4.2、计算3个成本的信息熵，根据信息熵的定义，用如下公式表示：

$$[0132] \quad E_{c_j} = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (9)$$

[0133] 式中， E_{c_j} 为某一成本的信息熵； p_{ij} 为某一成本可能出现的概率， $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$ ；

[0134] S4.3、计算延误成本、排放成本、能耗成本3个指标的权重，在计算得到三个指标的信息熵后，通过信息熵计算各成本权重公式如下：

$$[0135] \quad W_j = \frac{1 - E_{c_j}}{3 - \sum E_{c_j}} \quad (j=1, 2, 3) \quad (10)$$

[0136] 式中， W_j 为某一成本的权重； E_{c_j} 为某一成本的信息熵；

[0137] S4.4、将各个成本极小化处理，实现去量纲化；其生态指数等于车辆理想运行情况下的最小生态成本与实际估计的生态成本的比值，最小有向路段的生态指数的计算公式如下：

$$[0138] \quad C_E' = \frac{C_{\min}^E}{C_E} \quad (11)$$

[0139] 式中, C_E' 为最小有向路段的生态指数; C_{\min}^E 为车辆理想运行情况下的最小生态成本; C_E 为公式 (8) 计算得到的实际生态成本。

[0140] S5、计算路网中有向路径的生态指数; 所述有向路径是由至少一个最小有向路段所组成的路径, 路网中组成同一有向路径的最小有向路段组内有多种组合形式; 在计算已有确定起讫点 (Origin-Destination, OD) 的有向路径生态成本时, 需根据其具体的最小有向路段组合形式来确定每个最小有向路段的所取方向; 由确定了起讫点的有向路径, 计算得到多个可能的生态成本值; 如图4所示, 包括以下步骤:

[0141] S5.1、定义组合方式; 设有向路径有一个由 n 个最小有向路段构成的组合形式, $n \geq 1$; 当确定了组合形式后, 最小有向路段的方向也会确定, 其自身车辆方向系数 $e_{s,l,r,u}$ 的取值也随之确定; 便可得到各成本值及生态;

[0142] S5.2、计算延误、排放、能耗成本; 有向路径的延误、排放、能耗成本均分别等于组成其的最小有向路段的延误、排放、能耗成本之和;

[0143] 有向路径的延误成本计算公式如下:

$$[0144] \quad E_{car}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{car}^{time}(j) \quad (12)$$

$$[0145] \quad E_{bus}^{time} = \sum_{j=1}^n c_{bus}^{time}(i) \quad (13)$$

[0146] 式中, $c_{car}^{time}(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的延误成本; $c_{bus}^{time}(i)$ 为第 i 辆公交车的延误成本; E_{car}^{time} 为某种路段组合形式的路径上浮动车的延误成本; E_{bus}^{time} 为某种路段组合形式的路径上公交车的延误成本;

[0147] 有向路径的排放成本计算公式如下:

$$[0148] \quad E_{car}^e = \sum_{j=1}^n c_{car}^e(j) \quad (14)$$

$$[0149] \quad E_{bus}^e = \sum_{j=1}^n c_{bus}^e(j) \quad (15)$$

[0150] 式中, $c_{car}^e(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的排放成本; $c_{bus}^e(j)$ 为第 i 辆公交车的排放成本; E_{car}^e 为某种路段组合形式的路径上浮动车的排放成本; E_{bus}^e 为某种路段组合形式的路径上公交车的排放成本;

[0151] 有向路径的能耗成本计算公式如下:

$$[0152] \quad E_{car}^f = \sum_{j=1}^n c_{car}^f(j) \quad (16)$$

$$[0153] \quad E_{bus}^f = \sum_{j=1}^n c_{bus}^f(j) \quad (17)$$

[0154] 式中, $c_{car}^f(j)$ 为除公交车外的第 j 辆浮动车的能耗成本; $c_{bus}^f(j)$ 为第 i 辆公交车的能

耗成本； E_{car}^f 为某种路段组合形式的路径上浮动车的能耗成本； E_{bus}^f 为某种路段组合形式的路径上公交车的能耗成本；

[0155] 重复步骤S5.1~S5.2,得到同一路径不同路段组合形式所对应的各成本值；

[0156] S5.3、计算有向路径的生态成本,计算公式如下：

$$[0157] \quad E^m = (E_{car}^{time,m} + E_{car}^{e,m} + E_{car}^{f,m}) + (E_{bus}^{time,m} + E_{bus}^{e,m} + E_{bus}^{f,m}) \quad (18)$$

[0158] 式中, E^m 为第m种路段组合形式的路径生态成本, $E_{car}^{time,m}$ 、 $E_{bus}^{time,m}$ 为第m种路段组合形式的路径延误成本； $E_{car}^{e,m}$ 、 $E_{bus}^{e,m}$ 为第m种路段组合形式的路径排放成本； $E_{car}^{f,m}$ 、 $E_{bus}^{f,m}$ 为第m种路段组合形式的路径能耗成本；

[0159] S5.4、计算有向路径的生态指数,计算公式如下：

$$[0160] \quad E^{m'} = \frac{E_{min}^m}{E^m} \quad (19)$$

[0161] 式中, $E^{m'}$ 为第m种路段组合形式的路径生态指数； E_{min}^m 为第m种路段组合形式的理想交通情况下最小路径生态成本, E^m 为第m种路段组合形式的实际路径生态成本。

[0162] S6、计算路网中有向路径集的生态指数；所述有向路径集的生态指数,即根据以上提出的最小有效路段和有向路径,利用概率分配模型计算整个路网的生态指数；包括以下步骤：

[0163] S6.1、计算路网中一对OD对之间的生态指数；

[0164] 一对OD对之间存在多条有向路径,在路网达到平衡时,所有被利用的路径具有相等并且最小的阻抗,未被利用的路径与其具有相等或更大的阻抗,由此计算得到用户选择路径的概率；根据路网中用户选择路径的概率和步骤S5所计算得到的有向路径的生态指数,加权得到一对OD对之间路径集的生态指数；

[0165] S6.2、计算路网所有OD对之间的生态指数；

[0166] 在路网中,找出所有具有交通产生量与吸引力的OD对；根据所有OD对中各OD对的交通量确定此OD对交通需求占路网整体交通需求的比重；将该比重与步骤S6.1所计算得到的单一OD对之间的生态指数相结合,再次利用熵权法得到路网的生态指数。

[0167] S7、根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数,对城市交通运行方案进行优化调整,改善城市交通。

[0168] 完成最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数计算后,根据步骤S4、S5、S6中计算出的路网中最小有向路段、有向路径、有向路径集的生态指数,可以利用“优”、“良”、“中”、“差”四个标准定性地评价该最小有向路段、有向路径、有向路径集的交通生态情况；

[0169] 按照等距分类法将步骤S4中计算的最小有向路段的生态指数划分为四个等级： C_E' 为0.75-1.00为优, C_E' 为0.50-0.75为良, C_E' 为0.25-0.50为中, C_E' 为0-0.25为差；通过以上对不同属性和位置的最小路段的生态指数的计算和分类,定性地评价该最小有向路段的交通生态情况；

[0170] 本实施例中,计算得到的某道路的最小有向路段的生态指数为0.18,则将其划入交通生态情况类别“差”当中,表明该道路的生态成本较高,最小路段的生态指数较低,交通生态情况差。有向路径、有向路径集的交通生态评价方法与此处一致。

[0171] 按照等距分类法将步骤S5中计算的有向路径的生态指数划分为四个等级： E^m 为0.75-1.00为优， E^m 为0.50-0.75为良， E^m 为0.25-0.50为中， E^m 为0-0.25为差；通过以上对不同属性和位置的有向路径的生态指数的计算和分类，定性地评价该有向路径的交通生态情况；

[0172] 按照等距分类法将步骤S6中计算的路网的生态指数划分为四个等级：0.75-1.00为优，0.50-0.75为良，0.25-0.50为中，0-0.25为差；通过以上对路网的生态指数的计算和分类，定性地评价该路网的交通生态情况。

[0173] 基于本发明的交通规划、交通设计、交通控制与管理将着眼于减少延误、能耗、排放，通过优化OD点对之间交通流量的分配、交通设施及其功能设计、信号灯配时方案调整等交通优化策略，为城市路网的稳定高效运行提供科学的决策依据，不仅是多方位的交通信息服务的前提，也是实现智能交通管控的重要基础；更进一步地，本发明通过改变城市居民出行方式和出行路线的组合结构，减轻无效交通所带来的城市拥堵、空气污染物排放、时间经济损失等重大问题带来的交通“城市病”，从根源上缓解城市生态交通问题。

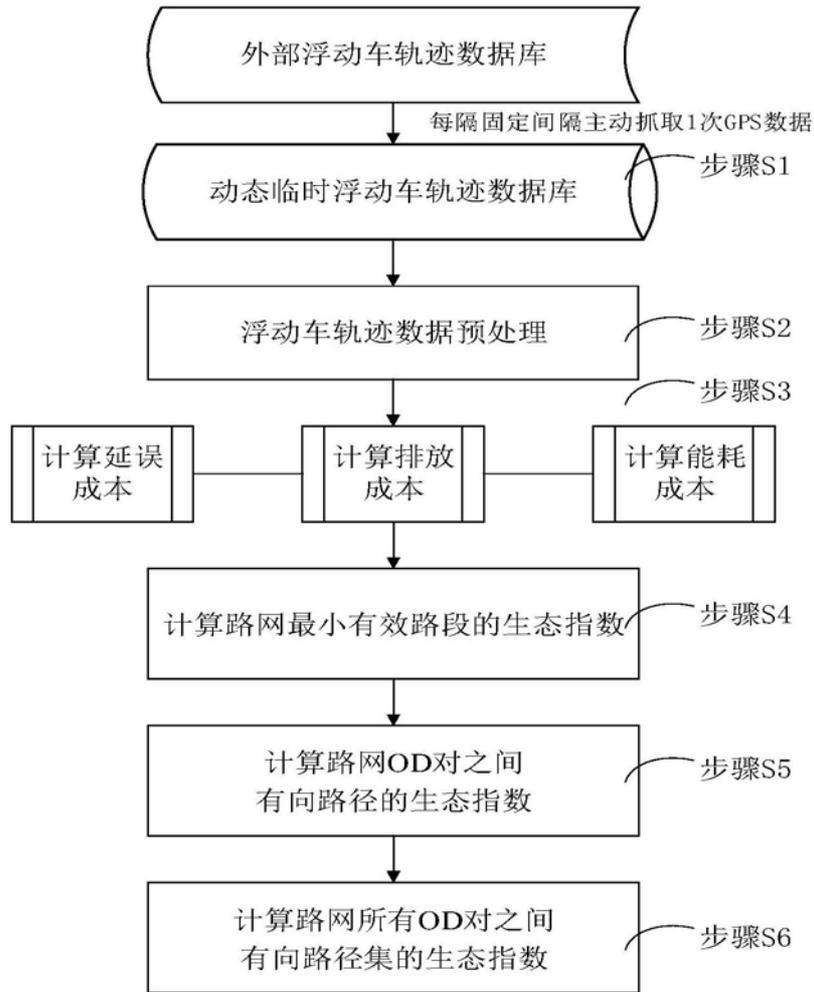


图1

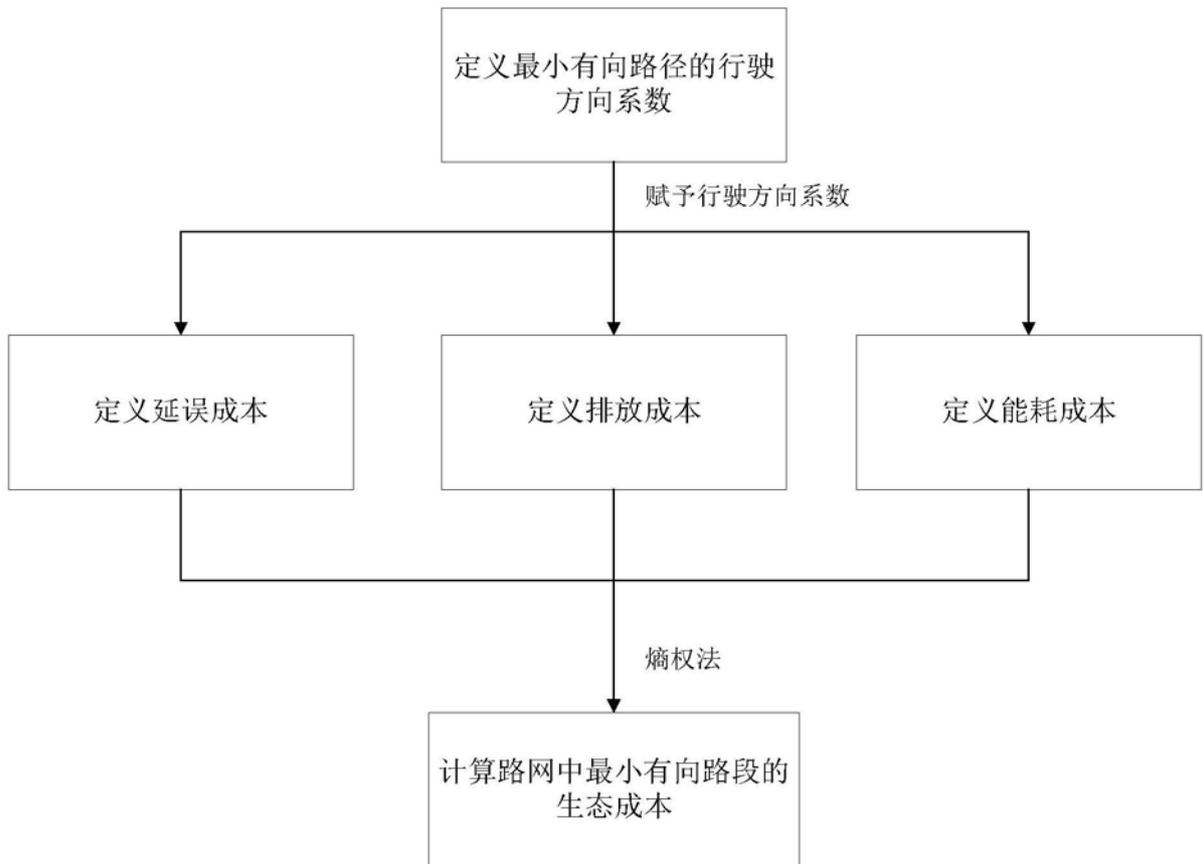


图2

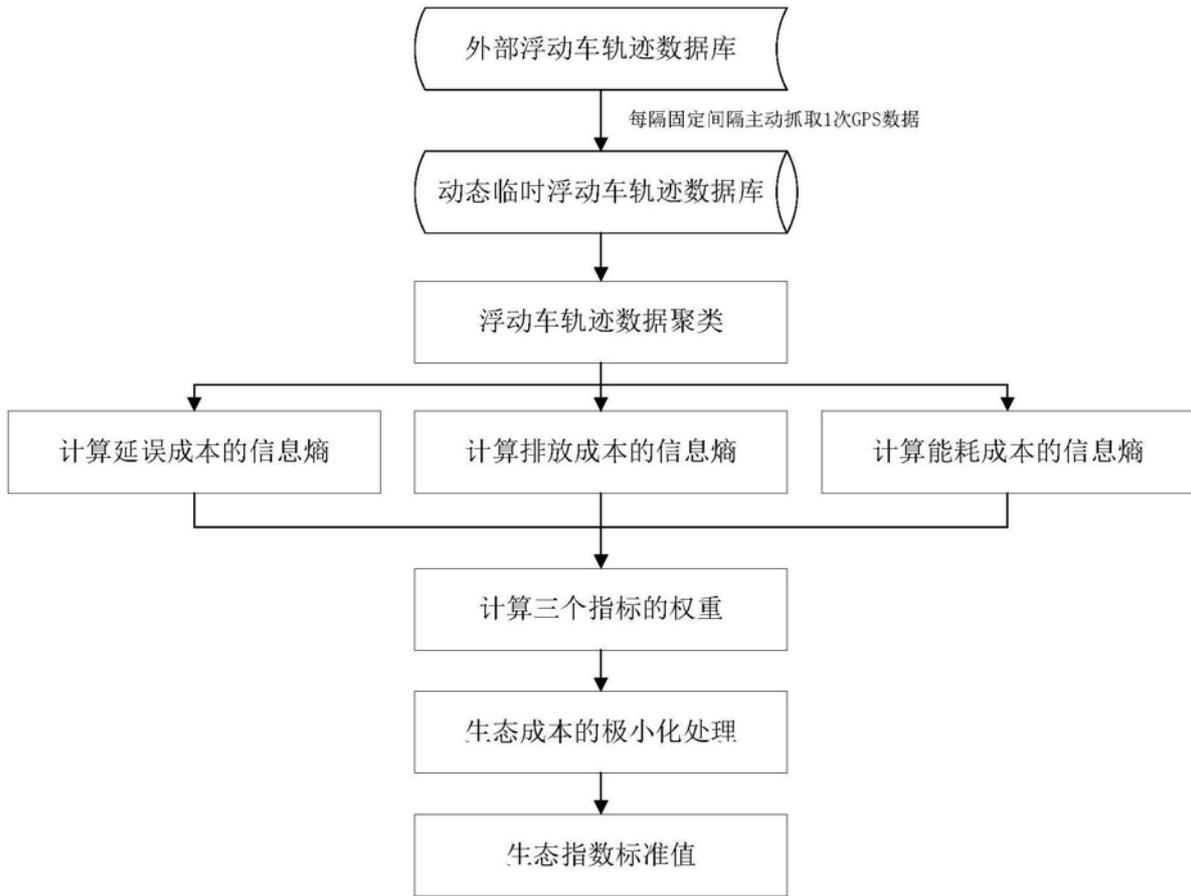


图3

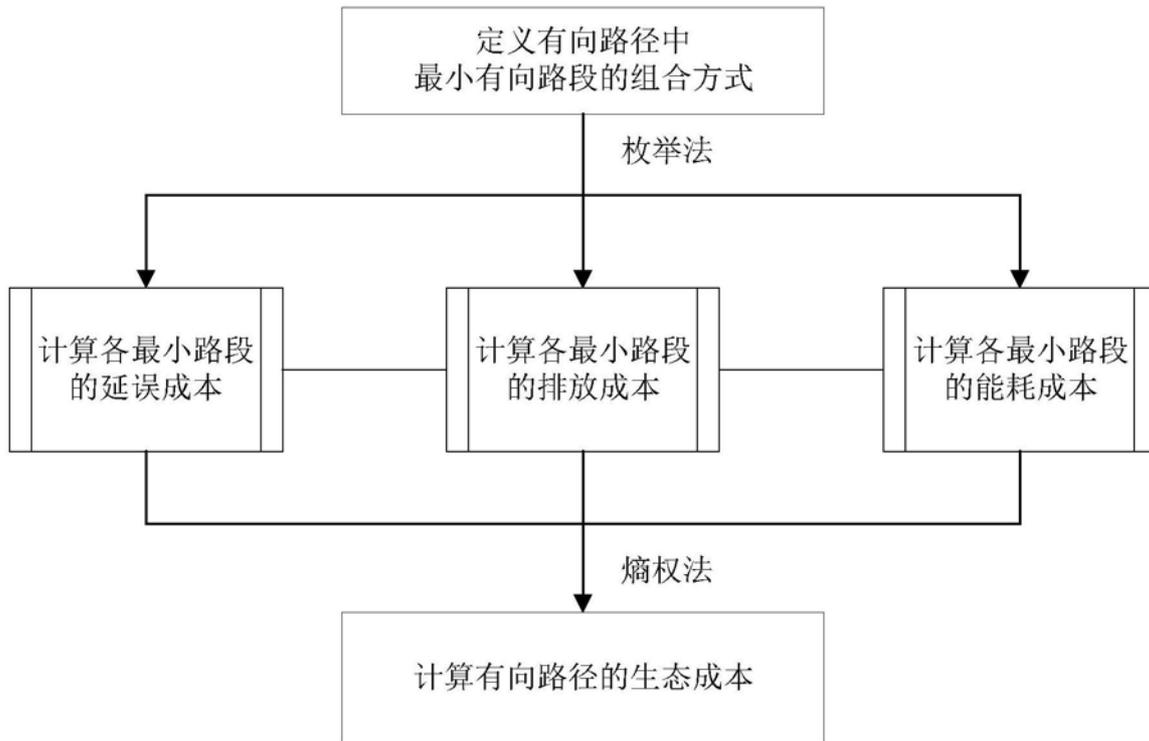


图4