



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114141017 A

(43) 申请公布日 2022.03.04

(21) 申请号 202111531404.X

(22) 申请日 2021.12.14

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100089 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 马晓磊 谭二龙 于晓飞 刘兵

(74) 专利代理机构 北京慕达星云知识产权代理  
事务所(特殊普通合伙)  
11465

代理人 符继超

(51) Int.Cl.

G08G 1/01 (2006.01)

G08G 1/052 (2006.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

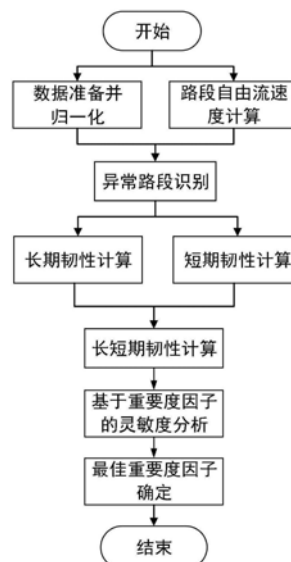
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量  
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,基于数据驱动同时考虑道路长期和短期性能实现道路韧性评估,首先收集路网中各个路段的行程速度数据;其次为了统一度量不同等级道路的波动性,对路网速度数据进行归一化处理,并通过计算路段速度方差确定波动较大的区域作为最终的韧性测量区域;然后基于历史数据计算各个路段的自由流速度;最后计算考虑长短期性能的路段韧性并进行灵敏度分析。



1. 一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:采集路网中各路段的速度数据并进行归一化处理,获得各路段的归一化平均速度;

步骤2:获取周内非高峰时间段通行速度和周末非高峰时间段通行速度,计算路段自由流速度;

步骤3:根据所述步骤1中的所述归一化平均速度计算各路段的平均速度,获得各路段的路段速度方差,并根据所述路段速度方差筛选出异常路段;

步骤4:根据所述步骤1中采集的所述速度数据和所述步骤2中的所述路段自由流速度计算所述步骤3中筛选出的所述异常路段的长期性能和短期性能,将所述长期性能和所述短期性能进行组合获得路网中各路段的长短期韧性。

2. 根据权利要求1所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,其特征在于,所述步骤1中采集路网中各个路段的实时速度数据并对每个路段的速度数据进行归一化处理,计算公式如(1)所示:

$$v'_{i,t} = \frac{v_{i,t} - \min(v_{i,t})}{\max(v_{i,t}) - \min(v_{i,t})} \quad (1)$$

其中,  $v_{i,t}$  为第i个路段在t时刻的平均速度,  $\min(v_{i,t})$  和  $\max(v_{i,t})$  分别为第i个路段速度的最小值和最大值,  $v'_{i,t}$  为归一化之后的第i个路段在t时刻的平均速度。

3. 根据权利要求2所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,其特征在于,根据所述步骤1中采集的实时速度数据综合整理出各路段周内非高峰时间段通行速度和周末非高峰时间段通行速度,确定各路段的路段自由流速度;计算公式如(2)所示:

$$v_{ff_i} = \omega_{wd} E(v_{wd,o-p,85\%_i}) + \omega_{we} E(v_{we,o-p,85\%_i}) \quad (2)$$

其中,  $\omega_{wd}$  和  $\omega_{we}$  分别周内自由流速度和周末自由流速度所占的权重;  $E(v_{wd,o-p,85\%_i})$  和  $E(v_{we,o-p,85\%_i})$  分别为周内非高峰时间段通行速度和周末非高峰时间段通行速度的85%分位数;  $v_{ff_i}$  表示路段自由流速度。

4. 根据权利要求2所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,其特征在于,根据所述步骤1中的所述归一化平均速度通过公式(3)计算路段的平均速度,再通过公式(4)计算所述路段速度方差;

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{j=0}^n v'_{i,t}}{N_i} \quad (3)$$

$$\text{var}_{v_i} = \frac{\sum_{t=0}^n (v'_{i,t} - \bar{v}_i)^2}{N_i} \quad (4)$$

其中,  $\bar{v}_i$  为路段i的平均速度,  $N_i$  为计算平均速度的时段内的数据个数,  $\text{var}_{v_i}$  表示路段i的速度的方差;

当所述路段速度方差超过设定阈值时,则对应的路段判断为所述异常路段。

5. 根据权利要求3所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,其特征在于,

根据公式 (5) - (6) 分别计算路段的所述短期韧性和所述长期韧性, 然后根据重要度将其组合得到路段的长短期韧性;

$$R_{i,t}^l = \frac{\int_{t_0}^t \frac{v_{i,t}}{v_{ff_i}} dt}{t - t_0} \quad (5)$$

$$R_{i,t}^s = \frac{v_{i,t}}{v_{ff_i}} \quad (6)$$

$$R_{i,t} = (1-\beta) R_{i,t}^l + \beta R_{i,t}^s \quad (7)$$

其中,  $R_{i,t}^l$ 、 $R_{i,t}^s$  和  $R_{i,t}$  分别为路段  $i$  在时间  $t$  时的长期韧性、短期韧性和长短期韧性;  $v_{i,t}$  为第  $i$  个路段在  $t$  时刻的平均速度;  $v_{ff_i}$  为路段自由流速度;  $\beta$  为短期韧性重要度因子;  $t_0$  为事件发生时刻;  $t$  为韧性计算时刻。

6. 根据权利要求3所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法, 其特征在于, 所述步骤2中,  $\omega_{wd}$  和  $\omega_{we}$  分别为周内天数与周末天数的占比,  $\omega_{wd} = 5/7$ ,  $\omega_{we} = 2/7$ 。

7. 根据权利要求5所述的一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法, 其特征在于, 所述步骤4中短期韧性重要度因子  $\beta$  根据实际情况进行相应调整, 取值范围为  $0.3 \sim 0.7$ 。

## 一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通信息处理技术领域,更具体的说是涉及一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法。

### 背景技术

[0002] 各种自然和人为事件,如事故、飓风、洪水、暴雨等,都可能造成交通基础设施功能的广泛破坏和交通网络的大面积堵塞,甚至造成人员伤亡。为了对这些事件进行高效处置,各国都已成立了响应的管理机构。交通事故作为突发事件的一种,虽然近年来随着管理水平的提升交通事故在逐渐降低,但其相比于其它突发事件频率更高,对人民日常生活造成的影响不可小觑。学者将韧性引入交通学中促进韧性交通的发展,当前所述的韧性主要包含两个方面:(1)对扰动的吸收能力;(2)从扰动中快速恢复的能力。更加准确的衡量韧性是提升交通韧性的基础,各国学者也对此进行了研究。现有研究主要分为三种方法:基于拓扑结构、基于属性和基于性能的韧性评估方法。相比于前两者而言,后者着眼于全局的韧性衡量,能够从系统的角度为决策者提供更精准的决策依据。在使用基于性能的韧性评估时,常用的属性有通行时间和通行速度,使用其中一种属性就可以实现韧性的评估。

[0003] 现有的韧性计算方法主要是由基于Bruneau提出的框架上进行评价和扩展的,其对韧性的衡量主要表现为系统损失功能在时间上的积分,后来学者将此扩展为该积分在这段时间内的平均值。然而,这种方法仅考虑了系统长期性能损失,比较适合对诸如地震、海啸等持续时间较长的事件进行衡量,但用于对持续几个小时之内的事件,如交通事故和路段临时施工等,进行评价时,会造成衡量的韧性不符合实际情况。

[0004] 因此,如何同时考虑系统长期和短期性能损失,实现道路韧性衡量是本领域技术人员亟需解决的问题。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供了一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,相比于仅考虑长期道路性能的韧性评估方法,本发明既考虑了道路长期性能的变化情况,又捕捉到了短期性能变化情况,能够更加准确地评估韧性,并且所需要的数据容易获取,因而更容易落地实现,有助于交通管理机构针对当前情况制定合适的管控策略。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1:采集路网中各路段的速度数据并进行归一化处理,获得各路段的归一化平均速度;

[0009] 采集路网各个路段的实时速度数据并对每个路段的速度数据进行归一化处理,归一化公式如(1)所示:

$$[0010] \quad v'_{i,t} = \frac{v_{i,t} - \min(v_{i,t})}{\max(v_{i,t}) - \min(v_{i,t})} \quad (1)$$

[0011] 其中,  $v_{i,t}$  为第  $i$  个路段在  $t$  时刻的平均速度, 即在此路段中行驶车辆的平均速度;  $\min(v_{i,t})$  和  $\max(v_{i,t})$  分别为第  $i$  个路段速度的最小值和最大值;  $v'_{i,t}$  为归一化之后的第  $i$  个路段在  $t$  时刻的归一化平均速度;

[0012] 步骤2: 根据所述步骤1中采集的实时速度数据综合整理出各路段周内非高峰时间段通行速度和周末非高峰时间段通行速度, 计算路段自由流速度; 计算公式如 (2) 所示:

$$[0013] \quad v_{ffi} = \omega_{wd} E(v_{wd,o-p,85\%i}) + \omega_{we} E(v_{we,o-p,85\%i}) \quad (2)$$

[0014] 其中,  $\omega_{wd}$  和  $\omega_{we}$  分别为周内自由流速度和周末计算自由流速度所占的权重,  $E(v_{wd,o-p,85\%i})$  和  $E(v_{we,o-p,85\%i})$  分别为周内非高峰时间段通行速度和周末非高峰时间段通行速度的85%分位数;  $V_{fi}$  表示路段自由流速度;

[0015] 步骤3: 根据所述步骤1中的所述归一化平均速度计算各路段的平均速度, 获得各路段的路段速度方差, 并根据所述路段速度方差筛选出异常路段;

[0016] 通过求取路网中各个路段的速度方差来判断是否为异常路段; 首先需要通过公式 (3) 计算路段的平均速度, 再通过公式 (4) 计算各路段的路段速度方差;

$$[0017] \quad \bar{v}_i = \frac{\sum_{j=0}^n v'_{i,t}}{N_i} \quad (3)$$

$$[0018] \quad var_{v_i} = \frac{\sum_{t=0}^n (v'_{i,t} - \bar{v}_i)^2}{N_i} \quad (4)$$

[0019] 其中,  $\bar{v}_i$  为路段  $i$  的平均速度;  $N_i$  为计算平均速度的时段内的数据个数;  $var_{v_i}$  表示路段  $i$  的速度方差; 路段速度方差越大表明路段速度的波动越大, 当波动超过设定阈值时, 则该路段可被视为异常路段;

[0020] 步骤4: 根据所述步骤1中采集的所述速度数据和所述步骤2中的所述路段自由流速度分别计算所述步骤3中筛选出的所述异常路段的长期韧性和短期韧性, 将所述长期韧性和所述短期韧性进行组合获得路网中各路段的长短期韧性;

[0021] 根据异常路段对应的数据数据和路段自由流速计算其长期韧性和短分别计算异常路段的短期韧性和长期韧性, 然后根据重要度将其组合得到路段的长短期韧性; 计算公式如 (5) - (7) 所示:

$$[0022] \quad R_{i,t}^l = \frac{\int_{t_0}^t \frac{v_{i,t}}{v_{ffi}} dt}{t - t_0} \quad (5)$$

$$[0023] \quad R_{i,t}^s = \frac{v_{i,t}}{v_{ffi}} \quad (6)$$

$$[0024] \quad R_{i,t} = (1-\beta) R_{i,t}^l + \beta R_{i,t}^s \quad (7)$$

[0025] 其中,  $R_{i,t}^l$ 、 $R_{i,t}^s$  和  $R_{i,t}$  分别为路段  $i$  在时间  $t$  时的长期韧性、短期韧性和长短期韧性;  $v_{i,t}$  为第  $i$  个路段在  $t$  时刻的平均速度;  $V_{fi}$  为路段自由流速度;  $\beta$  为短期韧性重要度因子;  $t_0$  为事件发生时刻;  $t$  为韧性计算时刻;

[0026] 确定最佳短期韧性重要度因子  $\beta$ : 通过对  $\beta$  进行灵敏度分析, 确定能够根据实际情

况快速反应但反应并不过激的 $\beta$ 。

[0027] 优选的,所述步骤2中, $\omega_{wd}$ 和 $\omega_{we}$ 分别周内天数与周末天数的占比, $\omega_{wd}=5/7$ , $\omega_{we}=2/7$ 。

[0028] 优选的,所述步骤4中短期韧性重要度因子 $\beta$ 根据实际情况进行相应调整,取值范围为0.3~0.7。

[0029] 经由上述的技术方案可知,与现有技术相比,本发明公开提供了一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,基于数据驱动同时考虑道路长期和短期性能实现道路韧性评估,首先收集路网中各个路段的行程速度数据;其次为了统度量不同等级道路的波动性,对路网速度数据进行归一化处理,并通过计算路段速度方差确定波动较大的区域作为最终的韧性测量区域,波动较小下的研究意义并不大;然后基于历史数据计算各个路段的自由流速度;最后计算考虑长短期性能的路段韧性并进行灵敏度分析。

## 附图说明

[0030] 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,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0031] 图1附图为本发明提供的方法流程示意图;

[0032] 图2附图为本发明提供的不同路段方差示意图;

[0033] 图3附图为本发明提供的某路段重要度因子取值 $\beta$ 的灵敏度分析示意图。

## 具体实施方式

[0034] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0035] 本发明实施例公开了一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,流程图如图1所示,包括如下步骤:

[0036] S1:数据准备并归一化:收集路网各个路段的实时速度数据并对每个路段的速度数据进行归一化处理,归一化公式如(1)所示:

$$[0037] \quad v'_{i,t} = \frac{v_{i,t} - \min(v_{i,t})}{\max(v_{i,t}) - \min(v_{i,t})} \quad (1)$$

[0038] 其中, $v_{i,t}$ 为第i个路段在t时刻的平均速度; $\min(v_{i,t})$ 和 $\max(v_{i,t})$ 分别为第i个路段速度的最小值和最大值; $v'_{i,t}$ 为归一化之后的第i个路段在t时刻的归一化平均速度;

[0039] S2:路段自由流速度计算:通过采集的实时速度数据综合整理出周内非高峰时段通行速度和周末的非高峰时段通行速度计算路段自由流速度;计算公式如(2)所示:

$$[0040] \quad v_{ffi} = \omega_{wd}E(v_{wd,o-p,85\%_t}) + \omega_{we}E(v_{we,o-p,85\%_t}) \quad (2)$$

[0041] 其中, $\omega_{wd}$ 和 $\omega_{we}$ 分别为周内和周末计算的自由流速度所占的权重;

$E(v_{wd,o-p,85\%_i})$  和  $E(v_{we,o-p,85\%_i})$  分别为周内和周末非高峰时间段的速度的85%分位数;

$V_{ff_i}$  表示自由流速度;

[0042] S3:异常路段识别:通过求取路网中各个路段的速度方差来判断是否为异常路段;首先需要通过公式(3)计算路段的平均速度,再通过公式(4)计算各路段的速度方差。

$$[0043] \quad \bar{v}_i = \frac{\sum_{j=0}^n v'_{i,t}}{N_i} \quad (3)$$

$$[0044] \quad var_{v_i} = \frac{\sum_{t=0}^n (v'_{i,t} - \bar{v}_i)^2}{N_i} \quad (4)$$

[0045] 其中,  $\bar{v}_i$  为路段i的平均速度;  $N_i$  为计算平均速度的时段内的数据个数;  $var_{v_i}$  表示路段i的速度方差;速度方差越大表明路段速度的波动越大,当波动超过设定阈值时,则该路段可被视为异常路段;

[0046] S4:计算S3中筛选出的异常路段的韧性:分别计算路段的短期韧性和长期韧性,然后根据重要性将其组合得到路段的长短期韧性;计算公式如(5)-(7)所示:

$$[0047] \quad R_{i,t}^l = \frac{\int_{t_0}^t \frac{v_{i,t}}{v_{ff_i}} dt}{t - t_0} \quad (5)$$

$$[0048] \quad R_{i,t}^s = \frac{v_{i,t}}{v_{ff_i}} \quad (6)$$

$$[0049] \quad R_{i,t} = (1 - \beta) R_{i,t}^l + \beta R_{i,t}^s \quad (7)$$

[0050] 其中,  $R_{i,t}^l$ 、 $R_{i,t}^s$  和  $R_{i,t}$  分别为路段i在时间t时的长期韧性、短期韧性和长短期韧性;  $\beta$  为短期韧性重要度因子;  $t_0$  为事件发生时刻;  $t$  为韧性计算时刻;

[0051] 确定最佳重要度因子 $\beta$ :通过对 $\beta$ 进行灵敏度分析,确定能够根据实际情况快速反应但反应并不过激的 $\beta$ 。

[0052] 实施例

[0053] 一种考虑长短期路段性能的道路韧性衡量方法,具体如下:

[0054] (1)以某区域为例,首先获取路网中各个路段的速度数据并对其进行归一化处理;

[0055] (2)选取每一路段在一个月之内无事故发生时的时间段选取其85%分位数。这些时段在周内指的是9点至16点和19点至22点之间的时间段,在周末指的是6点至10点之间的时间段。对周内期望值和周末期望值加权得到该路段的自由流速度,如下表1所示;

[0056] 表1路段自由流速度表

[0057]

路段	1	2	3	4	5
$v_{ff}$	51	50	71	72	53

[0058] (3)计算各个路段的方差以判断是否为发生事件的路段,如下表2所示,方差示意图如图2所示,其中横坐标表示路段,纵坐标表示速度方差,基于所收集到的大量的速度数据及事件记录数据综合评判,当方差大于等于0.6时,极有可能发生了事故。因此判定此案例中路段3极可能发生了事故。

[0059] 表2路段速度方差表

[0060]	路段	1	2	3	4	5
	$var_{v_i}$	0.22	0.31	0.89	0.26	0.21

[0061] (4) 计算路段3的长期韧性和短期韧性,分别如表3和表4所示;

[0062] 表3路段3长期韧性数据表

[0063]	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}^l$	1.05	1.04	1.01	0.85	0.81	0.74	0.42	0.43	0.45	0.55	0.61

[0064] 表4路段3短期韧性数据表

[0065]	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}^s$	1.01	0.91	0.27	0.20	0.13	0.15	0.25	0.63	0.75	0.90	0.97

[0066] (5) 计算不同重要度因子 $\beta$ 下的路段3的韧性,本次进行了间隔为0.1的从0.0~1.0的 $\beta$ 取值时的韧性衡量,如图3所示,横坐标表示时刻,纵坐标表示长短期韧性,不同颜色曲线表示不同重要度因子下韧性变化,由于考虑的时刻点包含6个小时,共计 $60 \times 6 = 360$ 个数据点,在此仅展示0.2、0.4、0.6和0.8为例子的部分重要时刻点的韧性,如下表5所示。

[0067] 表5不同重要度因子下路段3韧性数据表

[0068]	$\beta = 0.2$											
	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}$	1.04	1.01	0.86	0.72	0.67	0.62	0.39	0.47	0.51	0.62	0.68
	$\beta = 0.4$											
	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}$	1.03	0.99	0.71	0.59	0.54	0.50	0.35	0.51	0.57	0.69	0.75
	$\beta = 0.6$											
	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}$	1.03	0.96	0.57	0.46	0.40	0.39	0.32	0.55	0.63	0.76	0.83
	$\beta = 0.8$											
	时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{3,t}$	1.02	0.94	0.42	0.33	0.27	0.27	0.28	0.59	0.69	0.83	0.90

[0069] 可以看到 $\beta$ 取值越小,对变化的反应越是迟钝,而随着 $\beta$ 的逐渐增大,对变化的反应变得非常敏捷。可以发现取过大或过小的 $\beta$ 会使得韧性值反应迟钝或反应过度,因此选择处于中间的0.6或0.4能得到更加符合真实情况的评估。

[0070] 本发明的有益效果:

[0071] 1) 相比于以往的韧性计算,将短时路段性能考虑进去提升了路段韧性衡量的准确性;

[0072] 2) 基于数据驱动理念建立,其所使用的速度数据方便采集、处理和计算,具有非常广阔的落地应用前景。

[0073] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他



实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0074] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

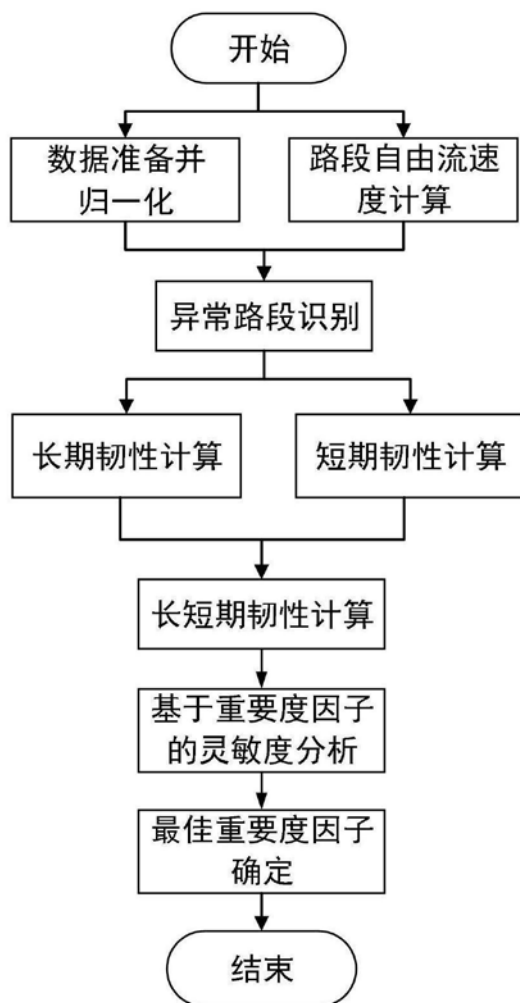


图1

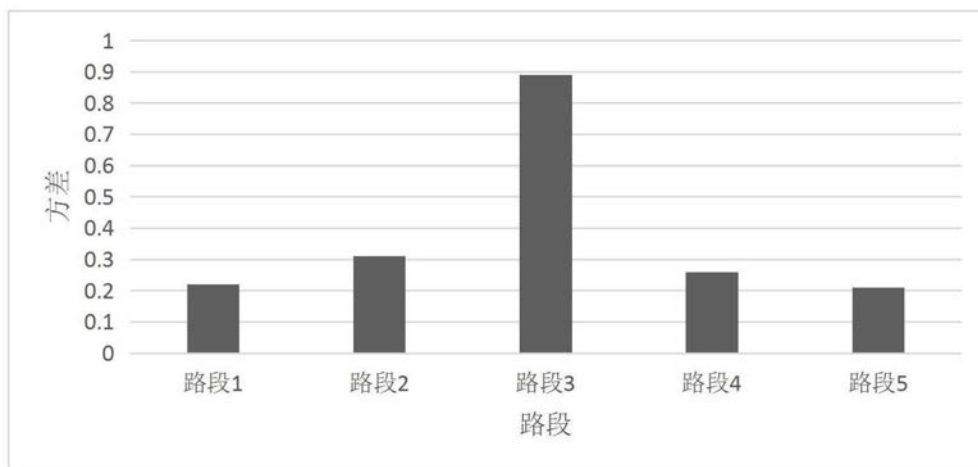


图2

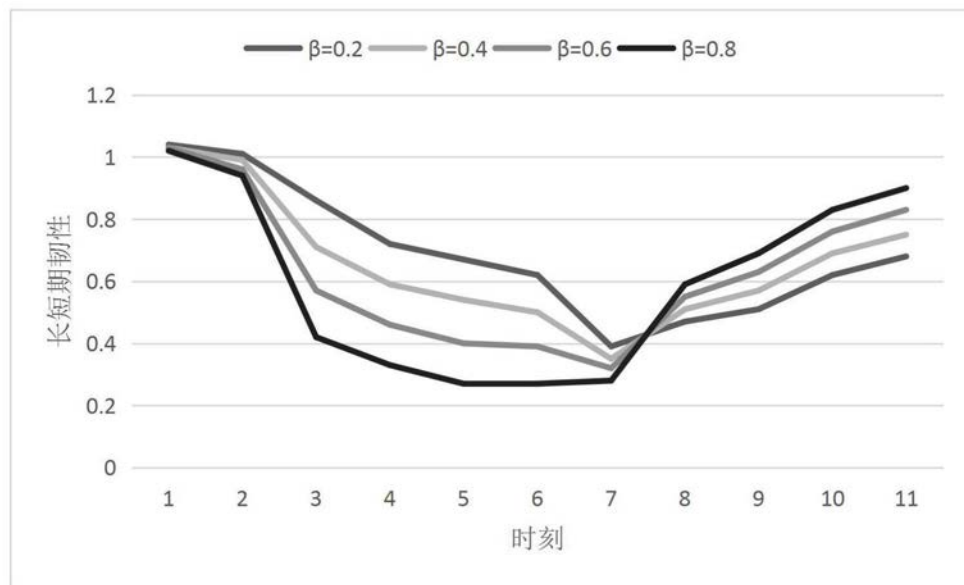


图3