城市交通网络连通可靠度计算研究*

马洪伟[1,2], 周溪召[1], 孙洪运[3]

(1. 上海海事大学 交通运输学院, 上海 200135; 2. 上海电机学院 商学院, 上海 201306; 3. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘　要: 考虑路段、交叉口运营状态的随机变化,以饱和度作为交通网络连通可靠度的主要影响因素,完善路段连通可靠度的计算式,给出了交叉口可靠度的衡量指标;结合路段、交叉口可靠度特别是交叉口不同转向的可靠度,设计了一种生成树算法寻找交通网络的不交型通路,进而快速计算交通网络中任一 OD 对间的连通可靠度。算例表明,交叉口的可靠度对城市连通可靠度有重要影响,提出的算法具有一定的应用价值和借鉴意义。

关键词: 随机路网; 可靠度; 交叉口

中图分类号: TP183　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1001-3695(2013)01-0036-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.01.007

Study on computation of urban traffic network connectivity reliability

MA Hong-wei[1,2], ZHOU Xi-zhao[1], SUN Hong-yun[3]

(1. *College of Transport & Communications*, *Shanghai Maritime University*, *Shanghai* 200135, *China*; 2. *Business School*, *Shanghai Dianji University*, *Shanghai* 201306, *China*; 3. *School of Transportation Engineering*, *Tongji University*, *Shanghai* 201804, *China*)

Abstract: This paper considersed the random variation of the operational state at the roads' section and intersection, taking the road saturation as the main factor. It improved the formula of road section connectivity reliability, and provided the measurement of the intersection reliability, combining sections, intersections reliability especially the reliability of the intersection of different steering, it designed a spanning tree algorithm to find a disjoint path of the transport network, and then quickly calculated any OD connectivity reliability of transportation network. The example shows that the intersections' reliability impacts the urban transportation network connectivity reliability. The proposed algorithm has a certain value and referenced significance.

Key words: stochastic network; reliability; intersection

0　引言

城市的健康发展很大程度上依赖于稳定可靠的交通网络。特别是随着智能交通运输系统的出现,对交通系统服务水平稳定可靠的要求与日俱增。目前对城市道路网络可靠度研究主要有通行能力可靠度、行程时间可靠度和连通可靠度三类。连通可靠度是行程时间可靠度分析研究的基础,只有在连通的基础上才能确保各类交通流完成出行;通行能力可靠度可看成连通可靠度的一类特殊情形,连通可靠度是城市路网可靠度的关键指标,在交通网络可靠度分析中具有重要意义。

1982 年 Mine 等人[1]提出连通可靠度的概念;随后文献[2~4]作了进一步跟踪研究。Du[5,6]等人提出了灾害时交通系统的可靠度综合计算模型;Sanso 和刘海旭等人[7,8]认为,评估运输网络可靠度应该着重考虑最重要的系统状态,提出了交通网络中寻找关键路段的方法以及基于此方法的路网优化设计。较早的文献多数从系统可靠度理论出发,认为交通网络的连通可靠度只有工作和失效两种状态,即可靠和不可靠,忽略了不同运营状态对连通可靠度的差别影响。朱顺应等人[9]以饱和度作为变量,考察道路连通可靠度的各种状态,反映出可靠度的随机性。以上文献都没有考虑交叉口的可靠度。显然,城市路网的运营状态是不断变化的,只有考虑路段和交叉口的随机变化才会对出行者和管理者有意义。

在交通网络可靠度的计算过程中,其方法主要有模拟法和解析法两大类。解析法有概率图法、最小路法、最小割集法等。应用比较广泛的是最小路法,以及基于此思想的一系列改进方法[9,10]。这些方法在计算时,一般都把交叉口看做绝对可靠的,但实际路网中的交叉口正是交通阻塞产生的重要原因,网络是否可靠与其有着直接关系。本文在扩充路网连通可靠度条件的前提下,考虑交叉口的可靠度,设计了一种简捷的标号生成树算法来计算交通网络的可靠度。

1　城市交通网络连通可靠度分析

城市交通网络主要由路段和交叉口构成,因此分析连通可靠度时主要考察路段可靠度和交叉口可靠度。一般地,一个交通网络的拓扑结构用 $G(A,E)$ 表示,其中:$A=(a_1,a_2,\cdots,a_i,\cdots,a_n)$ 表示网络中的节点集合,a_i 为网络中的节点,代表路

收稿日期: 2012-05-03; **修回日期**: 2012-07-17　**基金项目**: 国家自然科学基金资助项目(51008190);上海海事大学科研基金资助项目(20110021);上海高校青年教师培养计划资助项目(shdj009);上海海事大学研究生创新基金资助项目(yc2011046)

作者简介: 马洪伟(1982-),男,山东枣庄人,讲师,博士研究生,主要研究方向为交通运输规划与管理、智能交通等(weihong1616@sina.com);周溪召(1964-),男,浙江宁波人,副院长,教授,博士,主要研究方向为现代运输管理;孙洪运(1984-),男,山东临沂人,博士研究生,主要研究方向为交通拥堵.

网中的交叉口;$E=(e_1,e_2,\cdots,e_i,\cdots,e_m)$表示网络中的边集合,$e_i$ 为边,代表路网中的路段,若 e_i 的邻点为 a_i、a_j,也可用 a_ia_j 表示 e_i。路段 e_i 的连通可靠度用 $r(e_i)$或者 $r(a_ia_j)$表示,不可靠用$\overline{r(e_i)}$或者$\overline{r(a_ia_j)}$表示,显然$\overline{r(e_i)}=1-r(e_i)$。

1.1　路段可靠度分析

较早的研究认为,道路服务水平达到一定数值时是可靠的,否则是不可靠的。路段连通可靠度一般只研究路段的 0、1 两种状态,1 代表最大的通行能力,0 代表通行能力为零,也就是交通网络要么可靠,要么不可靠。但是交通网络的服务水平是不断变化的,仅用 0、1 变量来描述道路状态显然不能反映道路通行能力和交通流的不断变化。本文借鉴文献[9]中采用饱和度法(v/c)确定路段的可靠度,把 0 和 1 二值扩展到[0,1]区间,$r(e_i)$是变量 v 和 c 的函数:

$$r(e_i)=kf(v,c) \tag{1}$$

其中:k 为修正系数。文献[9]中函数$f(v,c)$由式(2)和(4)来确定;本文函数$f(v,c)$是由式(3)和(5)来确定。

$$f(\frac{v}{c})=\begin{cases} v/c & 0\leqslant v/c\leqslant 1 \\ 1 & v/c\geqslant 1 \end{cases} \tag{2}$$

$$f(\frac{v}{c})=\begin{cases} 1-v/c & 0\leqslant v/c<1 \\ 0 & v/c\geqslant 1 \end{cases} \tag{3}$$

$$f(\frac{v}{c})=\begin{cases} \dfrac{(v/c)^2}{2(1-\beta)^2} & 0\leqslant v/c<\beta \\ \dfrac{1}{-2\beta^2}(\dfrac{v}{c}-1)^2+1 & \beta\leqslant v/c<1 \\ 0 & v/c\geqslant 1 \end{cases} \tag{4}$$

$$f(\frac{v}{c})=\begin{cases} 1-\dfrac{(v/c)^2}{2(1-\beta)^2} & 0\leqslant v/c<\beta \\ \dfrac{1}{-2\beta^2}(\dfrac{v}{c}-1)^2 & \beta\leqslant v/c<1 \\ 0 & v/c\geqslant 1 \end{cases} \tag{5}$$

1.2　交叉口可靠度分析

在交通网络拓扑结构中,节点代表道路交叉口有重要意义。由于交叉口是城市道路的瓶颈,其通畅程度影响着相关路段的连通可靠度。侯立文[11]用交叉的通行能力和交通量来定义交叉口可靠度,如式(6)所示。

$$r_a^t=\begin{cases} \dfrac{c_a-v_a^t}{c} & c_a\geqslant v_a^t \\ 0 & c_a<v_a^t \end{cases} \tag{6}$$

其中:c_a 为交叉口 a 的通行能;v_a^t 为叉口在时刻 t 的实际交通量,该方法没有考虑交叉口不同转向的可靠度差别。文献[12]中将信号交叉口某一车道组的通行能力可靠度定义为一定服务水平下该车道组能够满足一定交通需求水平的概率,即 $r(a)=p(\eta c/v)$。其中:v 为车道组机动车交通流量;c 为车道组的实际通行能力;η 为一定服务水平下最大服务交通量与实际通行能力的平均比例。文献[13]从相位清空可靠度入手研究交叉口的连通可靠度,定义相位 i 的绿灯事件能够放行所有本周内到达机动车的概率,如式(7)所示。

$$r(a_i)=P\{v_iC\leqslant g_is_i\} \tag{7}$$

其中:C 为信号交叉口周期时长;v_i、s_i、g_i 分别为相位 i 的进口道机动车的到达率、饱和流率和绿灯时间,此定义其实质也是一定时间内经过交叉口交通量和通行能力的概率测度。虽然路网交叉口的可靠度涉及因素多(如信号灯的设置、交叉口的形状等),且情况较复杂,本文主要用交通量和通行能力作为主要参数来定义连通可靠度,即

$$r(a_i)=k_{ij}f(v,c) \tag{8}$$

$$f(v,c)=\begin{cases} 1-v/c & 0\leqslant v/c<1 \\ 0 & v/c\geqslant 1 \end{cases} \tag{9}$$

其中:k_{ij}表示第 i 个交叉口不同方向的可靠度修正系数,如 $j=1,2,3$ 分别表示左转、直行和右转的可靠度。

2　交通网络连通可靠度的计算

设交通网络从节点 a_i 到 a_j 有 s 条通路,分别记为 $l_1,l_2,\cdots,l_i,\cdots,l_s$,通路 l_i 的可靠度为 $r(l_i)$,若通路 $r(l_i)$由路段 $e_{i1},e_{i2},\cdots,e_{ik},\cdots,e_{it}$串联组成,路段 e_{ik}的可靠度为 $r(e_{ik})$,$k=1,2,\cdots,t$,通路 l_i 的可靠度 $r(l_i)$可用串联构造函数,如式(10)所示。

$$r(l_i)=\prod r(e_{ik}) \tag{10}$$

若交通网络从节点 a_i 到 a_j 有 s 条通路,所有通路构成一个并联系统,则从 a_i 到节点的连通可靠度构造函数为

$$R(a_ia_j)=1-\prod(1-r(l_i))=1-\prod(1-\prod r(e_{ik})) \tag{11}$$

串、并联形式路网连通可靠度计算可利用式(10)和(11),但交通网络往往具有复杂的结构,其可靠度计算也较困难,参考文献[14],本文设计了以下标号生成树算法来计算城市道路网络的可靠度。结合图 1 说明该算法主要思想。

从源点 S 出发到达丁字形路口 a_1 有两条路:左转经过 e_3 到达终点 T;右转经过点 e_2 到达 T。首先,对交叉口左转\右转过程等价成不同方向的弧段,交叉口左转的过程等价成边 a_1a_3;右转的过程等价成边 a_1a_2;相应地把其他交叉口左\右转的可靠度转换为网络边的可靠度,也就是图 1 中所示网络的可靠度,继续求从 S 出发到达 T 的可靠度。对图 2 设计标号生成树法求解。从 S 作为树根开始向下搜索,与 S 相连的点有 a_1,检查点 a_1,生成了两个树枝 sa_1 和 sa_1^*,与 a_1 相连的点有 a_3 和 a_2;标号生成新的树枝 sa_1a_3;$sa_1a_3^*a_2$ 和 $sa_1a_3^*a_2^*$;这样对与 a_1 相连的所有点进行标号生成的新树枝,按末点不同可以分为两类,一类是有“*”;另一类没有“*”,“*”表示与前面的节点不相通。对没有“*”的点继续检查生成新的树枝直到 T,得到一条通路;对有“*”的末点寻找前面第一个没有“*”的点,返回生产新的树枝,如果此树枝不含没有“*”的点则舍弃。对两类树枝重复下去,直到检查到终点 T。这样得到的树枝即是网络的所有不交型通路(图 3);然后按照式(1)(3)(5)和(8)~(10)计算交通网络的可靠度即可。

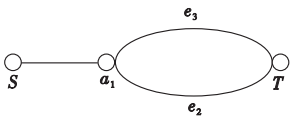

图1　交通网络拓扑

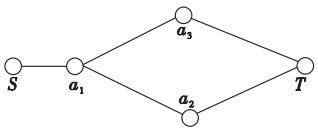

图2　交通网络等价拓扑

交通网络源点 a_1 到终点 a_n 的连通可靠度主要算法如下:

a)求出交通网络对应的拓扑网络、交叉口等价,假设为 $G(A,E)$,其中 $A=(a_1,a_2,\cdots,a_i,\cdots,a_n)$ 和 $E=(e_1,e_2,\cdots,e_i,\cdots,e_m)$意义同上。

b)初始化 $a_i=a_1$ 作为树根也是第一个树枝点,进入步骤 c)循环。

c)在未完成路集 M 中,检查与树枝点 a_i 相连且在前面的树枝中尚未出现过的节点。如果没有,则转向步骤 f);否则,任取一点 a_j,若 a_j 满足在前树枝中未出现且以及树枝中已经

表明和不通的节点。假设与 a_i 相连的并满足条件所有点为 $a_{j1},\cdots,a_{jn}$；对 $a_{j1},\cdots,a_{ji}$ 用如下规则标号得到新树枝：a_ia_{j1}；$a_ia_{j1}^*a_{j2}$；$a_ia_{j1}^*a_{j2}^*a_{j3}$；$a_ia_{j1}^*a_{j2}^*,\cdots,a_{j(n-1)}$。$a_ia_{j1}^*a_{j2}^*,\cdots,a_{j(n-1)}^*a_{jn}$ 和 $a_ia_{j1}^*a_{j2}^*\cdots a_{j(n-1)}^*a_{jn}^*$。当树枝末端为 a_n 时，记入完成路集 F。

d）对 $a_ia_{j1}^*a_{j2}^*,\cdots,a_{j(n-1)}^*a_{jn}^*$ 进行如下操作：如果路中“ * ”出现的次数等于 a_n 的度，则舍弃该树枝，转向步骤 f）。

e）对 $a_ia_{j1}^*a_{j2}^*,\cdots,a_{j(n-1)}^*a_{jn}$ 进入步骤 c）。

f）寻找该节点前第一个树枝点作为新的树枝点，在路中引入 N，以此前节点作为路的树枝点进入步骤 c）；否则该路树枝点不存在，舍弃此路。

g）未完成路集 M 为非空集时，取任一未完成的点进入 c）。

h）输出交通网络的不交型路集合 F。

i）根据式（1）（3）（5）和（8）～（10）计算交通网络的可靠度。

3　算例分析

桥式交通网络如图 4 所示，其路段和交叉口信息如表 1 所示。

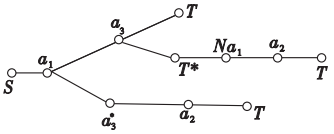

图3　交通网络的不交型通路

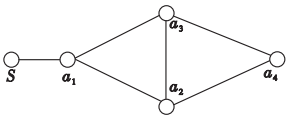

图4　桥式交通网络的拓扑

表 1　图 4 中路段和交叉口饱和度等相关信息

相关信息	路段					
	a_1a_3	a_3a_4	a_1a_2	a_3a_2	a_3a_4	a_2a_4
路段饱和度	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
路段可靠度	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
交叉口及转向	a_{11}	a_{13}	a_{32}	a_{31}	a_{21}	a_{22}
修正系数	k_{11}	k_{13}	k_{32}	k_{31}	k_{21}	k_{22}
交叉口饱和度	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4
交叉口可靠度	0.65	0.78	0.78	0.65	0.65	0.78

由 S 出发，到交叉口 a_1 左转到路段 a_1a_3，可靠度修正系数记做 k_{11}，右转到路段 a_1a_2，可靠度修正系数记做 k_{13}；路段 a_1a_3 在交叉口 a_3 直行经 a_3a_4 到达 a_4，可靠度修正系数记做 k_{32}；左转到路段 a_3a_2，可靠度修正系数记做 k_{31}；路段 a_1a_2 到交叉口 a_2 左转到路段 a_2a_3，可靠度修正系数记做 k_{21}，直行经路段 a_2a_4 到达 a_4，记做 k_{22}。由 S 出发经源点 a_1 到终点 a_4 的连通可靠度计算过程如下：

首先作出图 4 的等价交通网络拓扑如图 5 所示。

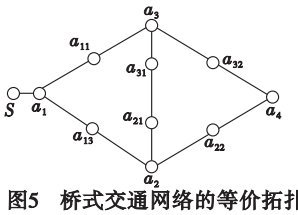

图5　桥式交通网络的等价拓扑

按照本文的方法求得所有的不交型通路为

$$a_1a_{13}a_2a_{22}a_4、a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4、$$
$$a_1a_{13}a_2a_{22}^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4、$$
$$a_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4、$$
$$a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4^*Na_3a_{31}a_{21}a_2a_{22}a_4、$$
$$a_1a_{11}a_3^*Na_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_2a_{21}a_{31}a_3a_{32}a_4$$

结合表 1 中的信息，计算每一条通路的可靠度。

$$r(a_1a_{13}a_2a_{22}a_4)=r(a_1a_{13})r(a_{13}a_2)r(a_2a_{22})r(a_{22}a_4)=$$
$$0.78\times0.52\times0.78\times0.52=0.1645$$
$$r(a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)=$$
$$\overline{r(a_{13}a_2)}r(a_1a_{11})r(a_{11}a_3)r(a_3a_{32})r(a_{32}a_4)=$$
$$0.48\times0.65\times0.52\times0.65\times0.52=0.0548$$
$$r(a_1a_{13}a_2a_{22}^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)=0.0131$$
$$r(a_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)=0.0222$$
$$r(a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4^*Na_3a_{31}a_{21}a_2a_{22}a_4)=0.0083$$
$$r(a_1a_{11}a_3^*Na_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_2a_{21}a_{31}a_3a_{32}a_4)=0.0083$$
$$R(a_1a_4)=r(a_1a_{13}a_2a_{22}a_4)+r(a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)+$$
$$r(a_1a_{13}a_2a_{22}^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)+r(a_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4)+$$
$$r(a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4^*Na_3a_{31}a_{21}a_2a_{22}a_4)+$$
$$r(a_1a_{11}a_3^*Na_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_2a_{21}a_{31}a_3a_{32}a_4)=0.2713$$

由 S 出发，源点 a_1 到汇 a_4 的连通可靠度 $R=0.2713$。

表 2 为考虑交叉口的路径连通可靠度。

表 2　考虑交叉口的路径连通可靠度

通路	$a_1a_{13}a_2a_{22}a_4$	$a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4$	$a_1a_{13}a_2a_{22}^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4$
路径可靠度	0.1645	0.0548	0.131
通路	$a_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4$	$a_1a_{13}a_2^*Na_1a_{11}a_3a_{32}a_4^*Na_3a_{31}a_{21}a_2a_{22}a_4$	$a_1a_{11}a_3^*Na_1a_{13}a_2a_{22}a_4^*Na_2a_{21}a_{31}a_3a_{32}a_4$
路径可靠度	0.0222	0.0083	0.0083

当不考虑交叉口时，图 4 的所有不交型通路为

$$a_1a_2a_4、a_1a_2^*Na_1a_3a_4、a_1a_2a_4^*Na_1a_3a_4、$$
$$a_1a_2^*Na_1a_3a_4^*Na_3a_2a_4、a_1a_3^*Na_1a_2a_4^*Na_2a_3a_4$$

由 S 出发，源点 a_1 到汇 a_4 的连通可靠度为

$$R(a_1a_4)=r(a_1a_2a_4)+r(a_1a_2^*Na_1a_3a_4)+$$
$$r(a_1a_2a_4^*Na_1a_3a_4)+r(a_1a_2^*Na_1a_3a_4^*Na_3a_2a_4)+$$
$$r(a_1a_3^*Na_1a_2a_4^*Na_2a_3a_4)=0.5324$$

不考虑交叉口可靠度，用同样方法可计算由 S 出发经点 a_1 到 a_4 的连通可靠度为 0.5324，具体结果如表 3 所示。从表 2 和 3 的比较可以看出，同样的路段条件下，当考虑交叉口时，路网的可靠度降低了 49%，可见，交叉口的可靠度对整个交通网络的连通性影响较大。本文设计的求解路网不交型通路的算法也是一种搜索算法，在搜索的同时进行通路的不交化处理，其算法的复杂程度降低。一般搜索算法在求解通路之后多数需要进行不交化处理，因而本文设计的算法简单，可适用于大型城市交通网络连通可靠度的计算。

表 3　不考虑交叉口的路径连通可靠度

通路	$a_1a_2a_4$	$a_1a_2^*Na_1a_3a_4$	$a_1a_2^*Na_1a_3a_4^*Na_3a_2a_4$	$a_1a_3^*Na_1a_2a_4^*Na_2a_3a_4$	$a_1a_2a_4^*Na_1a_3a_4$
路径可靠度	0.2704	0.1298	0.0675	0.0324	0.0324

4　结束语

城市交通网络系统的可靠度越来越引起社会和出行者的重视。由于道路网系统的复杂性，各种因素的随机性、突变性引起交通网络运营的不确定性，在考察路网可靠度时，如何反映这种随机变化是首要问题。以饱和度作为主要变量，能较好地反映路段连通可靠度随交通需求改变而不断变化及一定条件下路网的承受能力。交叉口可靠度影响着整个路网的连通性，本文细分交叉口不同方向的连通可靠度，结合路段、交叉口可靠度的计算方法，设计一种生成树算法寻找交通网络的不交型通路，最后较简捷地计算出任意 OD 对间的连通可靠度。通过判断 OD 对间的连通可靠度的大小，可以确定路网的薄弱环节和关键部位，制定改善路网可靠度的措施，指导随机或突发事件影响下应急措施的制定和路网安全性评价。

（下转第 41 页）

是利用本文算法进行降噪后的图像。从图 1 的对比可以看出,每个人的原始图像光照不同,并且有些图像有很多阴影,这些阴影可以说是图像的遮挡。从利用本文算法进行降噪后的图像即降噪后的第二行图像中可以看出,图像普遍都具有了相近的亮度,而且有些阴影已经从图像中移除,有些全黑的图像也基本恢复,尤其是图像的中部,由此可以说明本文所提出的基于迹范数的 $L_{2,1}$-PCA 维数约简算法是有效的。

图1　扩展Yale B人脸数据降噪前后比较

4　结束语

本文针对现有 $L_{2,1}$-PCA 算法存在的计算复杂这一问题,提出用迹范数代替矩阵的秩,对于算法的求解过程提出了基于增强拉格朗日乘子的方法,并将算法应用于扩展 Yale B 人脸数据集进行数据维数约简处理。可视化的实验结果表明算法有效。

参考文献:

[1] 陶剑文,王士同. L_1 范局部线性嵌入[J]. 中国图象图形学报,2011,16(10):1802-1811.

[2] WRIGHT J, PENG Yi-gang, MA Yi. Robust principal component analysis: exact recovery of corrupted low-rank matrices by convex optimization[C]//Advance in Neural Information Processing Systems. 2009:2080-2088.

[3] WU Xiao-jun, JOSEF K, YANG Jing-yu, *et al*. A new direct LDA (D-LDA) algorithm for feature extraction in face recognition[C]//Proc of the 17th International Conference on Pattern Recognition. 2004:545-548.

[4] HYVÄRINEN A, OJA E. Independent component analysis: algorithms and applications [J]. Neural Networks, 2000, 13(4-5):411-430.

[5] ZHAO Ying, ATKESON C G. Implementing projection pursuit learning [J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1996, 7(2):362-373.

[6] NICOLAS G, FRANCOIS G. A multilevel approach for nonnegative matrix factorization [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2012, 236(7):1708-1723.

[7] BURGES C J C. Dimension reduction: a guided tour[J]. Foundations and Trends® in Machine Learning, 2009, 2(4):275-365.

[8] AILON N, CHAZELLE B. Faster dimension reduction[J]. Communications of the ACM, 2010, 53(2):97-104.

[9] 陈诗国, 张道强. 半监督降维方法的实验比较[J]. 软件学报, 2011, 22(1):28-43.

[10] KE Qi-fa, KANADE T. Robust L_1 norm factorization in the presence of outliers and missing data by alternative convex programming[C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2004:739-746.

[11] 李勇,梁志贞,夏士雄. 基于核函数的 PCA-L_1 算法[J]. 计算机工程,2011,37(22):174-175,178.

[12] DING C, ZHOU Ding, HE Xiao-feng. R_1-PCA: rotational invariant L_1-norm principal component analysis for robust subspace factorization [C]//Proc of the 23rd International Conference on Machine Learning. 2006:281-288.

[13] NIE Fei-ping, HUANG H, XIAO Cai, *et al*. Efficient and robust feature selection via joint $L_{2,1}$-norms minimization[C]//Proc of the 24th Annual Conference on Neural Information Processing Systems. 2010: 1813-1821.

[14] LIN Zhou-chen, CHEN Min-ming, MA Yi. The augmented Lagrange multiplier method for exact recovery of corrupted low-rank matrices [EB/OL]. (2012-04-24) [2012-06-19]. http://arxiv.org/abs/1009.5055.

[15] TIBSHIRANI R. Regression shrinkage and selection via the LASSO [J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 1994, 58(1):267-288.

(上接第 38 页)

考虑连通可靠度的不断变化,可以增加在实际路网路径选择中考虑行程时间波动和正点到达目的地的概率的合理性和准确性,以提供更准确的决策辅助信息,从而实现安全、可靠、高效的运营。

参考文献:

[1] MINE H, KAWAI H. Mathematics for reliability analysis[M]. Tokyo: Asakura-shoten, 1982:12-14.

[2] 饭田恭敬. 交通工程学[M]. 北京:人民交通出版社,1994:171-180.

[3] BELL M G H, IIDA Y. Transport network analysis[M]. New York: Wiley, 1997:179-191.

[4] LIDA Y. Basic concepts and future directions of road network reliability analysis [J]. Journal of Advanced Transportation, 1999, 33(2):125-134.

[5] DU Zhen-ping, NICHOLSON A. Degradable transportation system: sensitivity and reliability analysis[J]. Trans on Research B, 1997, 31(3):225-237.

[6] NICHOLSON A, DU Zhen-ping. Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model[J]. Trans on Research Part B, 1997, 31(3):209-223.

[7] SANSO B, MILOT L. Performability of a congested urban transportation network when accident information is available[J]. Trans on Science, 1999, 33(1):68-79.

[8] 刘海旭. 基于关键路段的路网可靠度的改进[J]. 西南交通大学学报,2006,141(5):645-648.

[9] 朱顺应,王炜,邓卫,等. 交通网络可靠度及其通路算法研究[J]. 中国公路学报,2000,13(1):91-94.

[10] 陈艳艳,刘小明. 可靠度在交通系统规划与管理中的应用[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

[11] 侯立文. 城市道路网络可靠度的研究[J]. 系统工程,2000,18(5):46-48.

[12] 陈晓明,邵春福,熊志华. 混合交通信号交叉口的通行能力可靠度[J]. 中国公路学报,2008,21(4):99-104.

[13] 吕斌,牛惠民. 信号控制交叉口可靠度建模与仿真[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,11(6):45-50.

[14] 朱毅麟. 网络可靠度的简捷计算法[J]. 中国空间科学技术,1984,4(4):1-6.