

交通路况基态修正模型及其效率分析

李 婷, 徐 柱*, 卢彩霞, 于 冰, 李木梓, 黄萌萌

(西南交通大学地球科学与环境工程学院遥感信息工程系, 成都 610031)

摘要: 交通路况在时间上和空间上具有连续变化的特征, 在时空维度上对交通路况进行高分辨率采样得到的数据, 对研究交通路况的时空动态十分有利。但长时间大范围的高分辨率交通路况信息数据量巨大, 给数据的组织和管理带来了困难。目前, 尚没有一种成熟的时空数据模型对高时空分辨率交通路况数据进行高效(顾及数据存储与访问效率)的组织管理。本文提出一种基于线性参照系统的交通路况基态修正模型。此模型应用基态修正模型的基本思想, 在时间维度上对交通路况数据进行无损压缩, 又引入动态分段技术和线性参照系统, 以路划作为交通路况载体, 在空间维度上对交通路况数据进行压缩存储。利用成都市区真实交通路况数据, 本文验证了此模型的有效性, 比较了6种不同参数下交通路况基态修正模型的存储和访问效率, 给出了最佳模型建议。

关键词: 交通; 路况; 动态分段; 线性参照系统(LRS); 基态修正模型

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00712

1 引言

交通路况是判断某一时刻交通系统(如某个城市路网)是否满足交通需求的重要指标。根据2002年“城市交通管理评价指标体系”中的相关规定, 交通路况分为4个等级: 畅通、轻度拥挤、拥挤、严重拥挤。对交通路况历史数据进行分析, 挖掘出交通路况的变化规律, 可以为动态智能交通诱导系统、交通管理部门、交通规划部门提供交通规划和管理的决策支持信息^[1-7]。这其中, 采用适当的数据模型对交通路况数据进行有效的表达、组织、存储与管理至关重要, 也是对交通路况数据进行有效利用的基础和先行条件。

在现有的有关交通路况的研究和应用中, 常把路段作为最小单位, 交通路况则作为路段的一个动态属性^[4-7]。实际上, 这种做法降低了交通路况的空间分辨率, 因为路段内部的不同位置交通路况不尽相同。例如, 研究路段或交叉口的拥堵疏散能

力, 需要在时空维度上对交通路况进行高频率采样。然而, 长时间大范围的高分辨率交通路况的数据量巨大, 这给数据的组织和管理增加了难度。为此, 需要设计出适当的数据模型来组织管理交通路况数据。

用于组织和管理具有时态特征(交通路况数据是其中一种)的空间数据的模型被称为时空数据模型^[8-13]。近20年, 其得到蓬勃发展, 国内外学者已经在多个领域对多种数据形式进行了时空数据模型的理论研究和实践论证^[8-13], 提出了多种具有实用价值的模型, 主要包括: 序列快照模型、基态修正模型、时空复合模型、时空立方体模型, 以及基于事件的基态修正模型等。其中, 序列快照模型重复存储了很多没有发生变化的对象信息, 数据冗余过大^[8-10]。基态修正模型改进了序列快照模型中冗余过大的问题^[11-13]。而对于时空复合模型和时空立方体模型, 当时间周期过长时, 时空操作复杂^[8-9]。基于事件的时空数据模型不适用于事件发生过于

收稿日期: 2012-11-01; **修回日期:** 2012-12-03.

基金项目: 国土资源公益性行业科研专项经费(201111013); 国家自然科学基金项目(40971209); 中央高校基本科研业务费专项“西南交通大学专题研究”项目(SWJTU10ZT02); 2013年西南交通大学博士研究生创新基金和中央高校基本科研业务费专项(SWJTU11CX059)资助。

作者简介: 李 婷(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向为空间数据库、道路网时空数据建模。E-mail: tingli_sandy@163.com

* **通讯作者:** 徐 柱(1972-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为时空数据分析与挖掘、空间数据综合、空间数据共享等。E-mail: xuzhucn@gmail.com

频繁的情况^[10]。

鉴此,本文提出基于线性参照系统^[14-16]的交通路况基态修正模型。通过将线性参照系统、动态分段^[17]、以路划(路径)代替路段及路况事件表等多种技术途径引入基态修正模型,在保证交通路况数据时空分辨率的前提下,力求最佳的访问和存储效率。本文利用成都市区真实交通路况数据对所建立的模型的效率进行了分析和评定,并比较了常用的 6 种基态修正模型的效率特点,用以确定兼顾存储和查询效率的最佳模型。

2 基于线性参照系统的交通路况基态修正模型

2.1 基态修正模型

基态修正模型是在序列快照模型的基础上进行改进得来的^[11-13]。序列快照模型(Sequent Snapshots),亦称时间片快照模型(Time-slice Snapshots),是一种最易于理解的时空数据模型。其是用一系列时间片段的快照来描述某一时间段内地理现象的变化过程,快照间的时间间隔不定。单张时间片快照对应的是该时刻的状态图层,不论特征是否发生变化均进行快照存储。

基态修正模型也称之为底层叠加模型(Base Map With Overlap)。其是在确定地理现象的初始状态(基态)的基础上,以一定的时间间隔记录发生变化的区域。每一次变化的最终状态(快照)可通过叠加每次变化内容获得。在每个时间快照中,存储的不是状态的结果,而是状态的变化,以减少数据冗余量,提高数据存储效率并节约存储空间^[11-13]。

2.2 基于线性参照系统的交通路况基态修正模型

借鉴基态修正模型的思想,可认为每一时刻即时交通路网的路况状态就是交通情况变化过程中一个时间切片,一系列的路况状态切片构成了整个交通路网状态的变化过程。各路划上的路况信息可作为路网中路况事件来进行处理。随着时间的变化,相应交通路况信息的空间和属性特征不断变化,产生和消失无数的路况事件,这些都存储在一张交通路况事件表中,表内每一条记录都对应一个路况事件,进而每个时刻的完整交通路况信息(基态)或交通路况变化信息(非基态)都可用一张交通

路况事件表来表达。

2.2.1 线性参照系统和动态分段

在一个时刻上,一条路段上同时存在多种交通路况并非个别现象。换言之,路段与交通路况是一对多关系,而静态分段(弧段-节点模型)无法处理此种关系,所以引入动态分段技术。

动态分段(DS, Dynamic Segmentation)的基本思想是:沿线状要素变化的属性(例如交通路况)在发生变化时不会改变线状要素本身的几何状态,因此,要描述此种属性在线性要素上的分布变化无需重复进行几何描述,只需把属性及其变化位置放入独立的属性表中——事件表,通过该表将线状要素的空间位置与属性变化的空间分布位置关联起来^[17]。这种方法在需要显示、查询、分析时,直接依据事件属性表中的距离值,动态计算出属性数据的空间位置,避免了随属性值的变化而引起的相应二维坐标数据的修改。动态分段作为一种线性参照技术,应用于线性参照系统中最为适宜。线性参照(Linear Referencing)是一种使用已知线状要素的相对位置来记录地理数据的方法^[14-15]。未知要素可采用相对位置值的方式进行表示或量测,而不是以二维坐标的方式,这在很大程度上简化了数据记录^[15-16]。同时,可以非常直观地看到该已知线性要素所对应的部分属性。

在线性参照系统中应用动态分段技术和路况事件表可很好地表达路段与交通路况的一对多关系。针对动态交通路况信息的线性分布性,本文以路网为线性参照系统的基础,将路况信息作为交通路况事件存储于路况事件表中,在需要查询、显示时采用动态分段算法将对应的分段位置计算出来,并进行动态显示(如图 1)。路况事件除了包含有关道路的属性数据,还包括 3 个基本字段,即路线编码、起始里程和终止里程,它们分别表示一条属性记录所对应的道路的路线编码,以及在道路上的位置,通过这 3 个字段即可建立属性数据记录与其所描述的路段之间的联系。

2.2.2 以路划为路况信息载体

以路划代替路段作为路况信息载体,是减少存储量的另一重要手段。路划由若干路段按照平顺连通原则连接而成。如图 2 所示,路划 3 由路段 1 到 9 平滑连接而成。用路划代替路段之所以可减少交通路况数据的存储量是因为交通路况具有强空间相关性,相邻路段的交通路况相似的可能性非

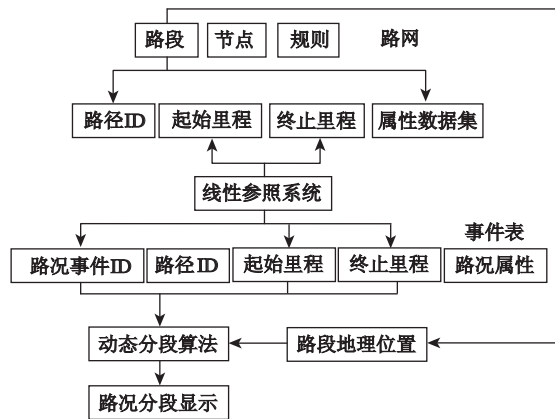


图 1 交通路况事件及动态分段示意图
Fig. 1 Schematic diagram of traffic condition event and dynamic segmentation

常大。比较表 1 路划事件表和表 2 路段事件表可知,用路划取代路段可大幅降低事件表的存储量,即减少基态修正模型的存储量。

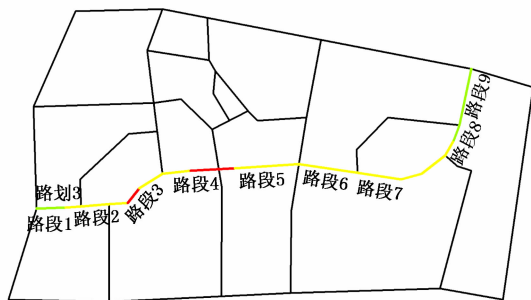


图 2 路划构造图
Fig. 2 Stroke structure map

表 1 路划事件表
Tab. 1 Stroke event table

事件	路划	起始里程(m)	终止里程(m)	交通路况
1	路划 3	0	92. 98	通畅
2	路划 3	92. 98	287. 72	缓行
3	路划 3	287. 72	364. 92	拥堵
4	路划 3	364. 92	522. 95	缓行
5	路划 3	522. 95	673. 69	拥堵
6	路划 3	673. 69	1426. 81	缓行
7	路划 3	1426. 81	2663. 23	通畅

2. 2. 3 交通路况事件表和变化路况事件表

基态修正模型与序列快照模型相比,其冗余量大幅减少的原因,主要是对于非基态时刻不存储完整的交通路况,而是存储该时刻与基态时刻相比交通路况的变化信息。图 3 中的道路网由两条路划

组成,a、b 分别表示了两个不同时刻的交通路况。表 3 中用了 7 个事件描述 T_1 时刻的交通路况,表 4 中用 3 个事件描述了 T_2 时刻与 T_1 时刻相比的交通路况变化情况,那么两个时刻的存储量之和为 10 个事件。而如果要分别描述 T_1 和 T_2 时刻完整的交通路况则需要 15 个事件。所以,采用基态修正模型的思想存储变化的交通路况可有效降低交通路况事件表的存储量。

表 2 路段事件表
Tab. 2 Section event table

事件	路段	起始里程(m)	终止里程(m)	交通路况
1	路段 1	0	92. 98	通畅
2	路段 1	92. 98	139. 45	缓行
3	路段 2	0	90. 6	缓行
4	路段 3	0	57. 67	缓行
5	路段 3	57. 67	134. 87	拥堵
6	路段 3	134. 87	210. 93	缓行
7	路段 4	0	81. 97	缓行
8	路段 4	81. 97	176. 99	拥堵
9	路段 5	0	55. 71	拥堵
10	路段 5	55. 71	371. 83	缓行
11	路段 6	0	176	缓行
12	路段 7	0	305. 5	缓行
13	路段 8	0	50. 09	缓行
14	路段 8	50. 09	116. 41	通畅
15	路段 9	0	176. 33	通畅

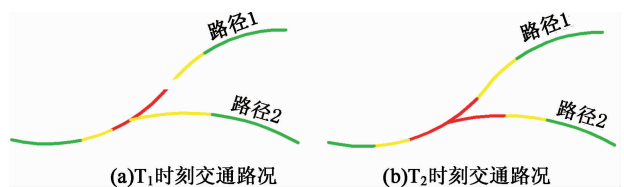


图 3 不同时刻交通路况变化示例
Fig. 3 An example of change in traffic condition at different time

表 3 T_1 时刻交通路况事件表
Tab. 3 Traffic condition event at time T_1

事件	路径	起始里程(m)	终止里程(m)	交通路况
1	1	0	92. 98	畅通
2	1	92. 98	287. 72	轻度拥堵
3	1	287. 72	364. 92	拥堵
4	1	364. 92	522. 95	轻度拥堵
5	1	522. 95	763. 23	畅通
6	2	0	222. 80	轻度拥堵
7	2	222. 80	500. 72	畅通

表 4 T_2 时刻变化路况事件表Tab. 4 Event table of the changed traffic condition at time T_2

事件	路径	起始里程(m)	终止里程(m)	交通路况
1	1	172.98	287.72	拥堵
2	1	364.92	522.95	拥堵
3	2	0	112.8	拥堵

3 多种形式的交通路况基态修正模型及效率分析

前述主要介绍了基于线性参照系统的交通路况基态修正模型,但在实际中,通过改变基态修正模型的各个参数可以变化出多种表达形式^[11-12],每种表达形式都具有各自的特点。针对不同类型的数据,不同表达形式的模型在数据存储和访问效率方面也将有所区别,本节将常见的 6 种基态修正模型及其特点进行介绍,并对每种模型的效率加以实验验证。

3.1 6 种不同基态修正模型的特点

图 4 所示为 6 种不同形式的基态修正模型。模型 a 中,选定一个时刻作为基态时刻,存储此时此刻完整的交通路况,其他时刻均与基态对比,存储发生变化的路况。模型 b 同样只取一个时刻作为基态,与模型 a 不同的是每个时刻均与前一时刻对比,存储路况变化信息。模型 c 中,每隔 3 个时刻取一个基态,每个修正时刻均与前一时刻对比,存储路况变化。模型 d 是模型 c 的变化形式,与模型 c 的不同之处在于保留初始基态,其余非初始基态均与前一基态比较,存储路况变化信息。模型 e 同样是模型 c 的变形,不同之处在于非初始基态均与初始基态对比,存储路况变化信息。模型 f 中,每隔 3 个时刻取一个基态,修正时刻均与之前最近的基态比较,存储路况变化信息。

3.2 模型效率实验及分析

本文采用成都市外环内的道路网(见图 5)路况作为实验数据,首先分析了实验区交通路况的特点。图 6 和图 7 分别是实验区不同时间间隔交通路况变化率和不同回溯次数下的查询耗时。对照图 4、图 6 和图 7,可分析出 6 种基态修正模型的存储效率和查询效率。从图 6 可以看出当 2 个时刻间隔超过 10 分钟,整个交通路况就有超过 60% 至

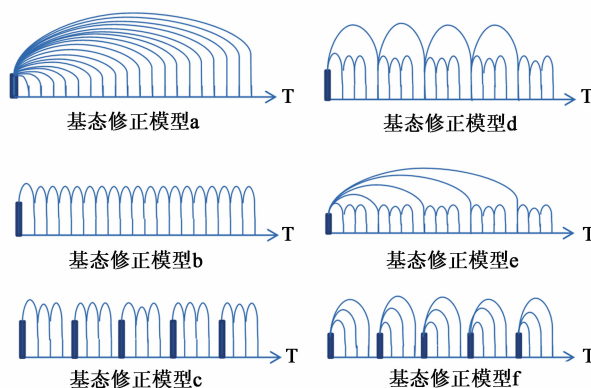


图 4 多种基态修正模型

Fig. 4 Base state amendment models



图 5 成都市区路网

Fig. 5 Road network of Chengdu urban area

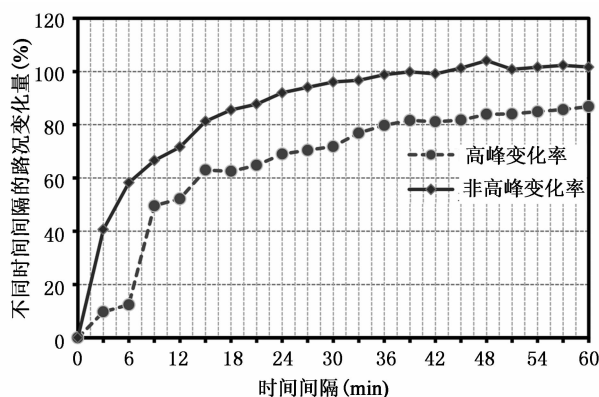


图 6 不同时间间隔交通路况变化率

Fig. 6 Change rate of traffic condition in different time intervals

70% 的差异,在这种情况下,存储它们比较后的路况变化与存储完整路况差距不大。对照图 4 及相应的描述可以看出,模型 a 是 6 种模型中存储效率最低的,模型 b 是 6 种模型中存储效率最高的,其

他 4 种模型的存储效率则在模型 a 和模型 b 之间。从图 7 中可以看出,查询基态时刻的交通路况时耗费的时间很短,查询非基态时刻交通路况的耗时随回溯次数(叠加次数)线性增长。模型 a 中查询非基态时刻的交通路况均只需要进行一次叠加操作,所以,在此模型中总体查询效率将较高。在模型 b 中,查询非基态时刻的交通路况需要与之前所有时刻的交通路况进行叠加,随着此模型中时刻的增多,其查询效率将会越来越低。

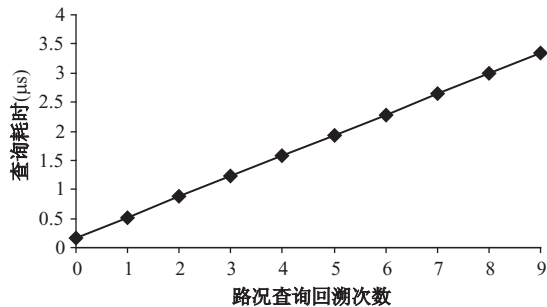


图 7 不同回溯次数查询耗时

Fig. 7 Elapsed time of the query operation with different recall counts

本文用实验区数据对各模型的存储和查询效率进行实验得出的结果如图 8 所示。可以看出,模型 a 是 6 种基态修正模型中存储效率最低的,模型 b 是 6 种模型中访问效率最低的,这与之前的分析一致。从整体上来看,6 种基态修正模型,与序列快照模型相比,存储量均有所降低,其中,基态修正模型 b、c、d、e、f 的存储量下降更为明显。6 种基态修正模型访问效率都比序列快照模型要低。但是,其中,模型 f 是 6 种基态修正模型中访问效率最高的,存储效率也比较高,综合来说可认为其是最佳的模型选择,后续将对该模型的参数(一个基态时刻对应的修正时刻的数目)选择进行实验分析,以确定出最优的模型形式。

4 基态修正模型 f 参数的确定

根据上节所述可知,对基态修正模型 f 中所有非基态时刻的交通路况进行查询均只需进行一次叠加,与其余模型相比,其访问效率突出,接近序列快照模型,而其存储效率保持较高水平,因此一定程度上可作为动态交通路况的最佳基本模型。此模型中参数的选择(一个基态时刻对应的修正时刻

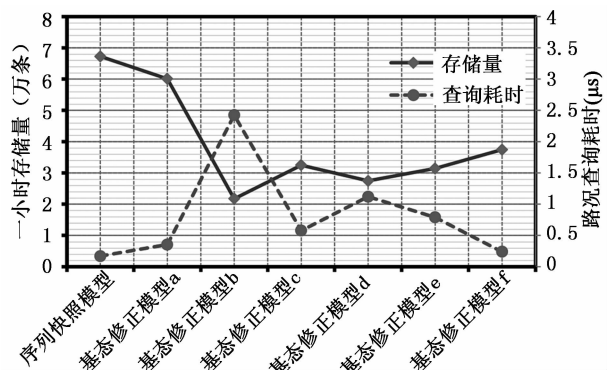


图 8 不同基态修正模型的存储效率和查询效率

Fig. 8 Storage and query efficiency of different base state amendment models

的数目)对访问效率影响较小,对存储效率影响显著。所以,在确定此模型的参数时,只需考虑存储效率便可。此过程可通过检验路况的实际变化率来实现。对于本文实验所使用的路况数据,其变化率如图 9 所示。

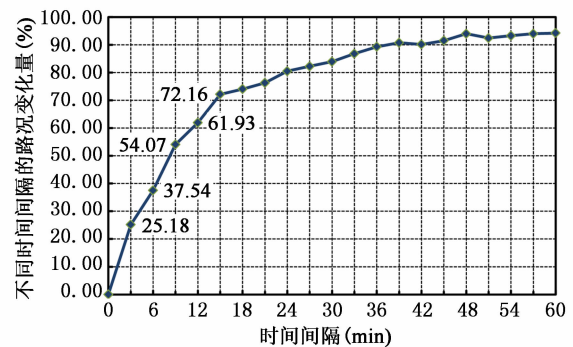


图 9 交通路况变化率

Fig. 9 Change rate of traffic condition

在模型 f 中,设存储量为 S ,待定参数修正时刻数目为 n ,路况变化量为 C_n ,当 n 取值为 1 时得到的就是序列快照模型,此时存储量如公式(1)所示($n=1$ 为分母,括号内表示 n 的倒数与路况变化量的乘积),即存储量为 100%。当 $n=2$ 时,表示每两个时刻中取前一个作为基态,后一个是相对基态的修正时刻,此时存储量如式(2)所示,即 62.59%。依次类推,当 n 分别取 3、4 和 5 时,模型的存储量分别是 52.25%、54.20% 和 55.74%,并最终可确定存储量表达式(6)。由图 9 可知,交通路况的变化率曲线单调递增,那么,结合式(1)-(6)可知,当模型参数大于等于 4 时,存储量也是单调递增的。所以,当参数 n 取 3 时(即从第一个基态时刻开始,每隔两个时刻取一个时刻作为基态时刻)基态修正模

型 f 达到最佳状态。对于不同地区的交通路况, 要确定模型 f 的参数, 只需计算出如图 9 所示的交通路况变化率, 通过公式(6)确定出最佳模型。

$$S_1 = \frac{1}{1} \times 100 = 100 \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \times 100 + \frac{1}{2} \times 25.18 = 62.59 \quad (2)$$

$$S_3 = \frac{1}{3} \times 100 + \frac{1}{3} \times 25.18 + \frac{1}{3} \times 37.54 = 52.25 \quad (3)$$

$$S_4 = \frac{1}{4} \times 100 + \frac{1}{4} \times 25.18 + \frac{1}{4} \times 37.54 + \frac{1}{4} \times 54.07 = 54.20 \quad (4)$$

$$S_5 = \frac{1}{5} \times 100 + \frac{1}{5} \times 25.18 + \frac{1}{5} \times 37.54 + \frac{1}{5} \times 54.07 + \frac{1}{5} \times 61.93 = 55.74 \quad (5)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} C_{i_n} \quad n = 1, 2, \dots, N (N \text{ 为整数}) \quad (6)$$

5 结论

本文在线性参照系统中路径事件概念的基础上结合基态修正模型, 提出一种基于线性参照系统的交通路况基态修正模型。其采用路径事件表代替时空快照, 记录道路网络中各路段不同路况路径事件的属性、发生的地点、发生的时刻。该模型还引入动态分段技术以处理道路和路况间的一对多关系。因此, 该模型不仅可以充分体现路况数据的时空特性, 能准确地描述时空信息的时间、空间与属性特征, 并且, 其使用事件表代替栅格或是矢量形式的快照, 并把时间这一信息标记到具体的路况事件中, 可在保留序列快照优点的基础上减小其数据存储量, 对单个对象检索查询也变得简单。

在该模型中当路况变化时无须对路段要素进行真正的物理分段, 仅在分析、查询时动态地完成相应属性数据的分段显示。此外, 该模型采用路划(既线性参照系统中的路径)作为交通路况的载体, 可有效降低模型中的数据冗余。

本文着重对常用的 6 种基态修正模型特点(存储和查询效率)进行了分析, 并以成都市区道路网路况数据, 对模型的存储和查询效率进行了实验验证。结果表明, 6 种模型在交通路况数据存储和查

询效率方面各有优劣, 在实际应用中, 可根据路况变化率确定同时满足高效存储和查询的最佳模型。

参考文献:

- [1] 张飞舟, 范跃祖, 孙先仿. 基于路况信息的城市道路交通管理控制[J]. 公路交通科技, 2000, 17(3): 29-32.
- [2] 周伟. 城市动态路况信息下交通行为的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [3] 田鲁泉. 道路交通事故与路况关系研究[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(4): 11-16.
- [4] 张垠, 李光明. 基于 GIS 的交通路况信息实时传播系统[J]. 空军雷达学院学报, 2005, 19(2): 59-61.
- [5] Hung D H T. RETINA: A real-time traffic navigation system[D]. 香港城市大学, 2004.
- [6] 吴斯琪. 城市道路交通流信息采集与处理系统及应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2005.
- [7] 刘学军, 徐鹏. 交通地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] 张保钢, 艾廷华. 通用时空数据模型研究[J]. 测绘通报, 2007(5): 14-15, 25.
- [9] 姜晓轶, 周云轩. 从空间到时间-时空数据模型研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(03): 480-485.
- [10] Peuquet D J, Duan N. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. International Journal of Geographical Information System, 1995(9): 7-24.
- [11] Liu R Y, Liu N. Extension of spatial-temporal data models of base state with amendments and its implementation in land registration management systems [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(2): 168-172.
- [12] 齐庆超, 曾永年, 吴桂平, 等. 一种多基态修正时空数据模型改进的方法[J]. 测绘科学, 2008, 33(4): 178-180.
- [13] 刘睿, 周晓光, 李晓蕾. 基于动态基态方法的基态修正时空数据模型[J]. 测绘科学, 2009, 34(1): 130-132.
- [14] Mennis J L. Cognition and semantic database representation in geographic information system [D]. Philadelphia: University of Pennsylvania, 2001.
- [15] 周振红, 王效群, 王瑁珂. 基于公路线形特征的线性参照系及其应用[J]. 郑州大学学报(工业版), 2005, 26(4): 69-71.
- [16] 童小华, 杨东援, 刘大杰. 一种新的线性参照系统数据模型[J]. 同济大学学报, 2001, 29(4): 410-414.
- [17] Guo B, Kurt C E. Towards temporal dynamic segmentation[J]. GeoInformatica, 2004, 8(3): 265-283.

A Base State Amendment Model of Traffic Condition Based on Linear Referencing System and Its Efficiency Analysis

LI Ting, XU Zhu, LU Caixia, YU Bing, LI Muzi and HUANG Mengmeng

(Department of Remote Sensing and Geographic Information Engineering, Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Road traffic condition constantly changes in both spatial and temporal domains. Traffic information of high spatiotemporal resolution is valuable to the study of road traffic dynamics. However, the massive data volume of high resolution traffic information of large spatiotemporal extent introduces difficulties in data organization and management. Actually, there is no well-accepted spatiotemporal data model specialized for management of such data that is effective in terms of data storage and access efficiencies. To overcome such drawbacks, this paper proposes a base state amendment model (BSAM) for dynamic traffic condition, which is based on linear referencing system. The model utilizes the basic strategy of BSAM to do lossless data compression in the time dimension while compresses data in the spatial domain by utilizing linear referencing system (LRS) and dynamic segmentation. In addition, road stroke instead of road segment is used for route identification in the LRS to further reduce data volume. We validate the effectiveness of the proposed model through its use in traffic condition data modeling in Chengdu urban area. Six variants of the proposed model and their characteristics are analyzed and compared. The six variants of the proposed model are denoted as BSAMa, BSAMb, BSAMc, BSAMd, BSAMe and BSAMf, respectively (see section 3). The main differences between them are in the number of base states, time interval between two base states and the number of non-base states. Data storage and accessing efficiencies of the six variants are qualitatively and quantitatively analyzed. The results indicate that BSAMf (see Fig. 4) has the optimal storage and accessing efficiencies for the data used. Furthermore, a method is suggested to estimate the number of non-base states between successive base states in the BSAMf model, which is based on the dynamic characteristics of the traffic condition data. With the data of Chengdu, it is demonstrated that two non-base states between successive base states is the most appropriate pattern for BSAMf in terms of data storage and accessing efficiencies. In sum, the experiment results demonstrate that the proposed BSAM for traffic condition data is effective and efficient.

Key words: traffic condition (TC); spatiotemporal data; dynamic segment (DS); linear referencing system (LRS); base state amendment model