

# 基于位置服务的道路网数据模型综述

马 骏, 朱跃龙

(河海大学 计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘 要:**随着基于位置的服务(LBS)在交通管理服务中的广泛应用,获取并管理移动对象的位置信息成为必要,建立一种有效支持服务的道路网数据模型成为研究的重点和难点。道路网数据模型是对各种道路相关信息进行描述以支持移动对象位置信息获取及表示的数据模型。文中对国内外的道路网模型研究作了一个简要概述及分析。

**关键词:**数据模型;交通信息;交通网

**中图分类号:**TP311.138;P208

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2007)03-0203-04

## Survey of Road - Net Data Model of Location - Based Service

MA Jun, ZHU Yue-long

(Computer and Information Engineering College, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Along with the general use of location - based service in the traffic management service, it becomes necessary to capture and manage the position information of moving object. An effective data modeling for LBS becomes the key - point and difficulty of research. The road - net data model describes the related information of road in order to support capturing and expressing the position information of moving object. A brief survey and analysis on road - net model research is given in this paper.

**Key words:** data model; traffic information; transportation network

## 0 引 言

基于位置的服务(LBS)在交通管理服务中有着广泛的应用前景<sup>[1,2]</sup>。LBS的前提条件是分布式移动计算环境,利用移动对象的空间地理位置进行计算,以提供相关应用的最优化服务<sup>[3]</sup>。

为了对移动对象的位置进行行之有效的管理,时空数据库系统必须能够准确地获取移动对象的当前位置信息(位置信息的获取),并建立有效的位管理模型(位置信息的表示)。建立一种有效的数据模型是地理信息系统(GIS)领域的主要研究方向之一。

## 1 道路网数据模型的定义与分类

数据模型是连接现实世界和计算机世界的桥梁。它是以一定方式组织起来的,有足够的抽象性和概括性的,对客观事物及其联系的描述。这种描述包括数据内容的描述和各类实体数据之间联系的描述。空间

数据模型是关于现实世界中空间实体及其相互联系的概念,它为描述空间数据的组织和设计空间数据库模式提供基本方法<sup>[3]</sup>。事实上数据模型是数据表达的概念模型,是描述数据的手段。

道路网数据模型是对道路相关信息进行描述以支持移动对象位置信息获取及表示的数据模型。交通信息不同于道路网信息,它描述了道路的单双行、交通规则、转弯代价等内容。文中所提及的道路网应准确地称为交通网,即在单纯的道路网信息之上附加了交通信息的道路网。

按照道路网的描述方法,可以把道路网分为如下两种类型:2D模型和图模型,其中图模型按照道路网的组成内容还可分为:路段模型和路径模型。

## 2 现有模型综述及比较

### 2.1 2D模型

2D表示是欧式空间的一种坐标表示法。为方便区分,把无拐点的直线道路称为路片,若干路片连接成的一个路口到路口的道路称为路段,具有现实中名称的完整道路称为路径。除路片是直线段表示以外,路段和路径都是折线段表示的。2D模型使用路片表示,可以基本捕捉现实世界的所有真实细节,能够方便地

收稿日期:2006-05-06

基金项目:南京市留学人员科技活动择优资助项目基金(2005507312)

作者简介:马 骏(1979-),女,吉林吉林人,硕士研究生,研究方向为空间数据库;朱跃龙,教授,研究方向为数据库技术、软件复用与软件构件技术、计算机视觉、管理信息系统。

对其上的移动物体(如车辆)定位<sup>[4]</sup>。但抽象程度不够,需要存储的数据量过多,且因 LBS 的计算需要基于路径长或代价,所以这种表示法在查询计算中的应用不是很多。典型的如文献[5]中应用的 2D 模型(见图 1)。



图 1 2D 模型

道路网由二元组  $RN^{2D} = (S, C)$  表示。 $S$  是路段或路片的集合,每个集合元素  $s$  包含一个四元组  $(p_s, p_e, m, prop)$ ,  $p_s$  和  $p_e$  分别是路片的起点和终点坐标,  $m$  表示了以下交通信息:当  $m = 1/-1$  时,路片为一单行线,由  $p_s/p_e$  向  $p_e/p_s$  通行;当  $m = 2/0$  时,路片为双行道,为 2 时允许 U 型转弯,为 0 时禁止 U 型转弯。 $prop$  由二元组  $(property, value)$  构成,  $value$  表示路况,当  $0 < value < 1$  时,路况优良,可加速行驶;当  $1 < value$  时,路况较差,应降低车速。 $property$  则表明这种路况是单向、双向或其它特殊情况。如表 1 所示,第二行  $(pr_{trmp}^{se})$  表示 BZ 路段在 se 方向有一些颠簸,第四行  $(pr_{uev}^{se})$  表示 BL 路段在 se 方向的公路不平坦。

表 1 路片信息

$s$	$p_s$	$p_e$	$m$	Prop
AB	(4639,2481)	(4714,1925)	2	$\{(pr_{sp}^{both}, 0.67)\}$
BZ	(4714,1925)	(4717,1599)	2	$\{(pr_{sp}^{both}, 1.5)(pr_{trmp}^{se}, 1.1)\}$
ZC	(4717,1599)	(4906,1086)	-1	$\{(pr_{sp}^{se}, 1)\}$
BL	(4714,1925)	(5128,1822)	1	$\{(pr_{sp}^{se}, 1.2), (pr_{uev}^{se}, 1.1)\}$

$C$  是一个连接集合,每个集合元素  $c$  由三元组  $(p, S^c, mx)$  构成。 $p$  指明了连接点  $c$  的位置;  $S^c$  是所有连接于  $p$  点的路片  $s$  的集合;  $mx$  是一个连接矩阵(见表 2),表明每一对属于  $S^c$  的路片  $(s_1, s_2)$  是否可从  $s_1$  到达  $s_2$ ,值为 1 时可连通,0 时不可连通。 $mx$  不仅被用来指示路片的通行方向,还可以反映连接点上的特殊交通规则。

表 2 连接矩阵

	AB	BL	BZ
AB	1	1	1
BL	0	0	0
BZ	1	0	1

2.2 图模型

与 2D 模型相比,图模型抽象度较高,结构简单、紧凑,计算效率更高。而且,图模型表达了道路网的本

质,脱离了欧式空间,有利于查询的计算处理。

2.2.1 路段表示法

路段表示法是一种比较直观的道路网图模型。图的表示有两种方法:一种是无向图<sup>[6]</sup>,因表示信息少,不足以描述道路信息,所以研究较少;另一种是有向图,为了实现单、双行线的概念,有向图被使用。很多不同的方法针对转弯限制建模。Kirby 和 Pots 使用了一种扩展的网络表示法:把每个十字路口分裂为几个虚节点,由虚边连接,转弯代价被指派到虚边(见图 2)。该方法是节点连接表示法的原型,此类表示法的问题是图中的节点和边大量增加,这增加了数据存储量以及大多数空间问题的计算时间,因为这种问题的复杂性是典型的图中节点数的函数<sup>[7]</sup>。

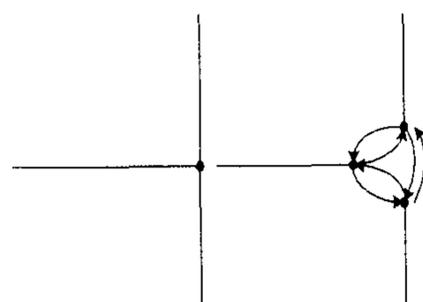


图 2 扩展网络表示法

国内、外对节点连接表示法提出了许多改进模型<sup>[7~10]</sup>。下面对几种典型模型分别进行阐述。

(1) 节点链接表示法。

在文献[5]中使用的节点链接模型中,道路网  $RN^G = (G, coE)$ 。 $G = (V, E)$  是有向图,  $V$  是顶点即交叉路口的集合,  $E$  是边即路段的集合。一条边  $e$  是由一个四元组  $(v_s, v_e, w, l)$  构成,  $v_s$  和  $v_e$  分别是  $e$  的起点和终点;  $w$  被称为路重,表示  $e$  在路网中的行驶长度,即在考虑路况的条件下,相等耗时行驶在标准路况下的路程长;  $l$  是边的长度,捕捉  $e$  在路网中的实际路长。“双边”关系  $coE$  捕捉表示同一条路的一对边,其上允许 U 型转弯,即  $coE$  表示了允许 U 型转弯的双行线(图 3 中,  $Z'B_1'$  和  $B_2'Z'$  就是一对双边关系)。

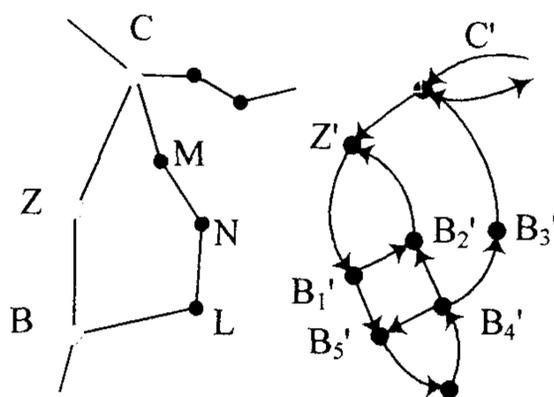


图 3 节点链接表示

该模型除能表示路况信息,还能表示如单双行、U 型转弯等交通规则。但在表示交通规则信息时,需要增加节点和边的数量(如图 3,由于 CZ 和 BC(即 BLN-MC)为单行线,而 ZB 是双行线,且 ZB 不能向 BL 转

弯,所以B点被表示为5个点),使得查询算法的代价变高。这种方法的好处是没有转弯延迟和禁止被包括在大网络中,而且通过任何普通数据结构和算法,路径查询问题都能够被解决。但是这种方法的缺点是很明显的,即结果网络比原始的大得多,需要更多的计算时间和内存,而且耗时的网络更新也是棘手的问题。

(2)伪二重图表示法。

Winter 等在文献[11]中改进了一种基于链接的数据结构。基本图  $G = (N, E)$ ,  $N$  和  $E$  分别是节点和边的集合。 $G$  是一个无向图,基于基本图作了一个映射,十字路口间的边被建模为节点,如果两个基础边是连通的,那它们所映射出的两个节点间被建模为边。图4表示的是一个受限的伪二重图,完全伪二重图的每条道路上均是允许U型转弯,因为不符合实际,所以采用受限的伪二重图,其上不允许U型转弯。相对于节点链接方法,伪二重图可以直接在边上表示转弯代价。而且该方法允许普通算法运行于图上而不需修改,例如最短路径算法。伪二重图也允许在算法的计算结果中循环遍历同一路口,如果使用扩展网络方法通常是排除这些特性的。然而,为了表示真实道路情形,伪二重图需要原始图,即其是双图表示的,增加了数据的存储量。且其图算法有时要访问原始图,增加了计算时间。

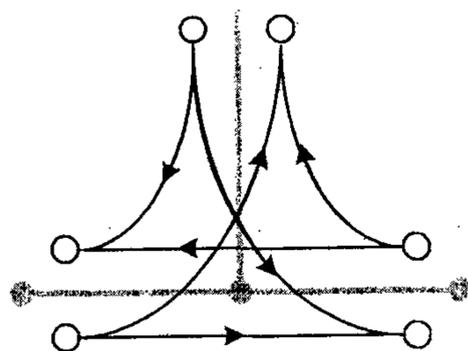


图4 伪二重图表示法

(3)超点表示法。

鉴于节点链接法表示交通信息时要大量增加节点和边的数量,Feng 等人在文献[12]中的模型对节点链接表示进行了一定的改进,提出了超点(Super-node)概念。超点表示法采用了一个复杂的节点表示来减少节点和交通弧的冗余(见图5)。对于基础的路网,附加的交通信息由每个节点管理,当节点数量和交通弧保持不变时,对于交通信息的修改不会损害路网空间索引结构的稳定性。因此,涉及到空间信息的一类LBS查询能利用空间索引解决;涉及到交通信息的一类查询也能够被有效解决。

道路网由有向图  $G = (V, A)$  表示,  $A$  是交通弧即路段的集合。定义超点  $v_k: (p_k, ca_k, CM_k)$ ,  $p$  是  $v_k$  的位置。连接  $v_k$  的弧线分两类:以  $v_k$  为终点的是  $v_k$  的输

入弧线(in-arcs),定义为  $in_i$ ;以  $v_k$  为起点的是  $v_k$  的输出弧线(out-arcs),定义为  $out_j$ ,也是代价弧(cost-arcs)。

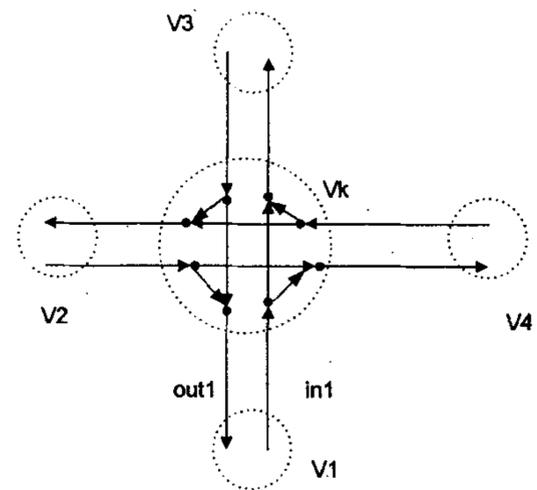


图5 超点表示

$ca$  是三元组  $(cost-arc, v_i, cost)$  的集合,  $cost$  是交通代价。 $CM_k$  是一个约束矩阵(constraint-matrix)(见图6)。一对  $(in_i, out_j)$  被定义为一个  $c_{ij}$ , 指明了该转向是否可通行。当  $c_{ij} = 1$  时,节点  $i$  可经由节点  $k$  到达节点  $j$ ;当  $c_{ij} = 0$  时,则不能到达。矩阵值表明了在这个点  $k$  所有的交通规则。用转弯代价  $tc_{ij}$  代替  $c_{ij}$ , 常量 MAX 代替 0, 表示转弯代价的上限, 约束矩阵  $CM_k$  就被扩展为可处理转弯代价的  $T-CM_k$  矩阵。

$$CM_k = \begin{matrix} & \begin{matrix} out_1 & out_2 & \cdots & out_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} in_1 \\ in_2 \\ \vdots \\ in_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

图6 约束矩阵

2.2.2 路径表示法

路径表示法以现实世间中的整条道路作为基本描述单元,对道路网进行建模。城市地图是由有名字的道路组成的,而不是由其上的交叉路口或路段组成的。而且很多的位置表示法是与道路上的距离标志相关的,所以选择路径作为基本描述单元可以更好地抽象现实世界。这方面的研究不是很多,如文献[13,14],典型的如 Gütting 在文献[15]中给出的模型。

图7为一个城市交叉路口的几种表示法示例。(a)为实际交叉点,(b)为路径表示法,(c)为交通矩阵。

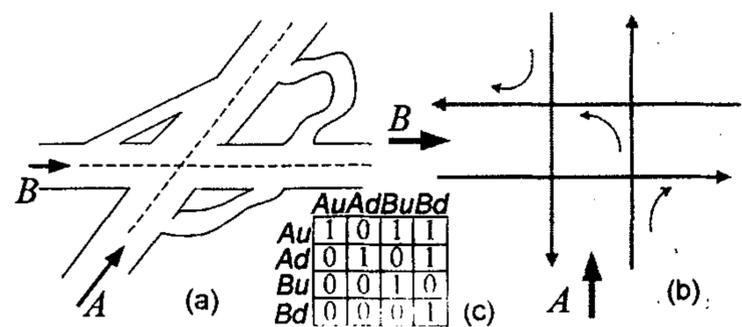


图7 几种表示法

$G = (R, J)$ ,  $R$  是路径 Route 的集合,  $J$  是路径间

交叉路口 Junction 的集合。Route 是由五元组(标识号 id, 路径长  $l$ , 折线段  $c$ , kind, start) 表示, kind 表示路径的单双行信息, start 中有两种情况(smaller, larger), 表示在二维平面中  $xy$  顺序下, 路径起始点相对比另一端点的前后。交叉路口是一个依赖于路径的三元组  $Junction(R) = (rm1, rm2, cc)$ ,  $rm1$  和  $rm2$  表示连接于该交叉点的路径及交叉点位于路径的位置, 该位置由路径上的长度表示。 $cc$  是整数类型的转弯矩阵, 标注道路的交通规则, 如 U 型转弯、左转弯、右转弯等。

设置  $Side = \{up, down, none\}$ , 其中 up, down 表示双行线的两个方向, none 表示是一条单行线。交叉路口由两条相交路径表示, 若有两条以上的路径交于一点, 可用每两条路径表示一次这一点。即当交叉于同一交叉路口的路径多于 2 条时, 这一交叉路口将要被重复表示。且  $cc$  对于单行线没有实际意义, 当相交于同一点的路径都是单行线时可忽略。

### 3 结论及展望

虽然人们对 GIS 的数据模型和数据结构进行了大量的研究, 开发了许多商业化软件, 但目前 GIS 软件没有统一完备的数据模型, 即使 GIS 数据模型的概念也没有统一的认识。而空间数据模型是空间数据库的基础和核心, 因此对 GIS 数据模型的认识和研究在设计 GIS 空间数据库和发展新一代 GIS 系统的过程中起着举足轻重的作用。

而在道路网建模中, 对于如何建立既可以表示道路信息, 又可以表示转弯代价和交通代价, 还要有利于计算和存储的模型这个问题, 还有待进一步探讨。

#### 参考文献:

[1] Dao D, Rizos C, Wang J. Location - Based Services: Technical and Business Issues[J]. GPS Solutions, 2002, 6(3): 169 - 178.

[2] 赵志弘, 李志林, 余 萌. 涉及位置的信息服务: 关键趋势和商务模式[J]. 地理信息世界, 2003, 1(3): 14 - 18.

[3] 张山山, 边馥苓. 地理信息系统数据模型分析[J]. 测绘通报, 2004(8): 18 - 21.

[4] Jensen C S, Kolar J, Pedersen T B, et al. Nearest Neighbor

Queries in Road Network[C]//In: Proceedings of the 11th ACM GIS'03. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n. ], 2003: 1 - 8.

[5] Speicys L, Jensen C S, Kligys A. Computational Data Modeling for Network - Constrained Moving Objects[C]//In: Proceedings of the 11th ACM GIS'03. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n. ], 2003: 118 - 125.

[6] Karimi H A, Liu X. A Predictive Location Model for Location - Based Services[C]//In: Proceedings of the 11th ACM GIS'03. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n. ], 2003: 126 - 133.

[7] Jiang J, Han G, Chen J. Modelling Turning Restrictions in Traffic Network for Vehicle Navigation System[C]//In: Proceedings of the International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications Commission IV. Ottawa, Canada: [s. n. ], 2002.

[8] 石建军, 宋 延, 程世东. 车辆实时调度中的城市路网及交通描述模型[J]. 公路交通科技, 2005, 22(5): 128 - 131.

[9] 蔡先华, 王 炜, 戚浩平. 基于 GIS 的道路几何网络数据模型及其应用[J]. 测绘通报, 2005(12): 24 - 27.

[10] 王杰臣, 毛海城, 杨得志. 图的节点 - 弧段联合结构表示法及其在 GIS 最优路径选取中的应用[J]. 测绘学报, 2000, 29(1): 47 - 51.

[11] Winter S. Modeling Costs of Turns in Route Planning[J]. GeoInformatica, 2002, 6(4): 345 - 360.

[12] Feng J, Zhu Y L, Mukai N, et al. Search on Transportation Network for Location - Based Service[C]//In: Proceedings of Innovations in Applied Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Italia: Springer, 2005: 657 - 666.

[13] Ding Z, Güting R H. Uncertainty Management for Network Constrained Moving Objects[C]//In: Proceedings of the 15th Intl. Workshop on Database and Expert Systems Applications. Spain: Springer, 2004: 411 - 421.

[14] Ding Z, Güting R H. Managing Moving Objects on Dynamic Transportation Networks[C]//In: Proceedings of the 16th International Conference on Scientific and Statistical Database Management. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004: 287 - 296.

[15] Güting R H, de Almeida V T, Ding Z. Modeling and Querying Moving Objects in Networks [R/OL]. Informatik - Report 308, Fernuniversität Hagen, 2004. <http://www.informatik.fernuni-hagen.de/import/pi4/papers/PaperMon.pdf>.

(上接第 202 页)

[3] Johansen B. Windows 应用高级编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[4] Microsoft Corporation. 智能客户端 Offline Application Block [EB/OL]. 2004. <http://www.microsoft.com/china/msdn/>

[library/architecture/architecture/architecturetopic / SCOfflineAppBlockcover.msp](http://www.microsoft.com/china/msdn/library/architecture/architecture/architecturetopic/SCOfflineAppBlockcover.msp).

[5] 胡海璐. XML Web Services 高级编程范例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.