

75-79

时空数据库

数据类型

移动空间对象

操作 (22)

计算机科学2000Vol. 27No. 1

# 移动空间数据类型和操作的初步研究<sup>\*</sup>

Primary Research on Moving Spatial Data Types and Operators

秦小麟

TP 392

(南京航空航天大学计算机科学与工程系 南京210016)

**Abstract** Spatio-temporal databases deal with geometries changing over time, or moving spatial objects. In this paper, research status on moving spatial objects have been reviewed. Data types and operators of moving spatial objects are also analysed and discussed. And we propose the abstract data type (ADT) approach to develop spatio-temporal DBMS, in which we first implement an ADT mechanism supporting for spatio-temporal data types, and then integrate it with the extensible DBMS to generate the spatio-temporal DBMS.

**Keywords** Moving spatial objects, Spatio-temporal databases, Spatio-temporal data model, Spatial databases, Temporal databases

## 1 引言

移动空间对象是随时间变化的空间数据,由时空数据库(Spatio-Temporal Databases)进行管理和处理。一个空间点可能随时间而改变其位置,为了完整地反映该点的信息,数据库中应该存储该点的全部历史信息,这个空间对象就是一个移动点,同理,一个区域也可能随时间移动、扩大或缩小。时空现象在现实生活中非常普遍,如飞机航行时随着时间变化而改变它的空间位置,这飞机就是一个移动点;当森林中某处发生火灾时,火灾区就是一个空间对象:区域。该区域可能随着时间而扩大、缩小、移动甚至和其它的火灾区域合并,这火灾区域也是一个移动的区域。以前,空间数据库和时态数据库是两个不同的分支,前者重点研究空间数据的表示、存储、管理和查询等,仅能存储空间信息的当前状态,无法表示和处理移动的空间对象。而时态数据库重点研究如何表示和处理数据库中在不同时间标记(有效时间、事务时间、间隔时间)下数据的时态演变,不能处理空间信息,也不能表示和处理移动的空间对象。通常是传统数据。目前人们已意识到应该集成时间和空间,研究时空数据库,因为大量的应用涉及到时空数据(即随时间变化的空间数据,也可称为移动空间数据)。

研究时空数据库,首先要解决时空数据模型,即如何有效地表示时空数据?在空间数据间有什么操作?本

文将简要介绍该领域的研究状况,并试图就移动空间数据的数据类型、分析操作、查询语言、系统结构、研究方法等方面作一初步探讨,以期得到同行的讨论。

## 2 相关的研究工作

迄今为止,对时空数据库的研究仍处于起步阶段,大多数研究的重点是扩充空间模型或时态模型来表示和处理时间数据或空间数据,其方法主要采用快照,即把时空数据表示成一系列的快照。文[7]提出用时间戳和空间戳(space-stamping)属性来表示变化的时间值和空间值。文[8]把时空对象定义为所谓的双时空复杂对象,即把空间信息与双时态元素结合起来。文[5,9]提出了基于事件的方法,其中事件表示空间对象的位置和形状的变化。当空间对象在某一时刻发生变化时,该对象的一个新版本值被加到数据库中。上述的这些方法只能离散地构造空间对象随时态的演化。文[10,11]讨论了空间数据随时间频繁变化的情况,引入behavioral(行为)时间序列概念,在该序列中的每个元素包括一个空间对象值、一个时间和一个behavioral函数,后者描述从该元素到序列中下一个元素的演化。在文[12]中,通过引入动态属性来表示移动对象,如一辆汽车或一架飞机等。动态属性包含一个移动向量,用于描述移动对象的当前状态(如飞机航向的速度和方向)。当移动对象改变(如飞机改变方向)时,更新数据库中对应的移动向量。在该模型中,一个查询将返回在

<sup>\*</sup> 本文得到国家自然科学基金项目(编号:69973022)资助。秦小麟 教授,当前主要从事实时数据库、空间分析 DBMS 等。

不同时间所具有的空间对象值。缺点是不能表示和处理一个移动对象的全部历史信息。

在 GIS 领域,一些文献<sup>[13~15]</sup>研究了空间对象(区域)随时间呈离散变化时的存储模式,基本方法都是首先存储一个起始版本,当区域改变时,记录其变化值。在多媒体数据库领域,文<sup>[16,17]</sup>试图研究在多媒体数据库中处理和表示时空数据。文<sup>[17]</sup>提出移动对象由其轨迹(作为离散的快照)来表示,则一组对象可由一个图表示,其顶点表示空间对象,边表示空间对象间的时空关系。该方法重点考虑对象间的演变及整体关系,而忽略了对对象的形状变化。在计算几何领域,随时间变化的空间对象也被研究,如文<sup>[18~20]</sup>讨论了移动空间对象(点)的 Voronoi 图,即当一个点集随时间连续变化时,如何维护其 Voronoi 图。就目前而言,如何表示移动空间对象还未找到一种满意的方法。

可见对时空数据库的研究仅仅开始,重点是放在数据模型上,许多文章都是通过应用实例来讨论时间和空间的相互影响。目前研究一个完整的能够真正有效地表示和处理移动空间对象的时空 DBMS 尚不成熟,有许多工作要做,如数据模型、移动空间对象的表示和存储、移动空间对象间的空间分析操作(主要是移动空间对象间的拓扑关系)、查询语言、移动空间对象的索引等。

### 3 移动空间数据类型

移动空间对象分为随时间变化的二维空间对象和随时间变化的三维空间对象,本文仅讨论二维空间对象。

在时态数据库中引入 SDT(空间数据类型)是一种简单的方法,可称之为 SDT-TDB(具有空间数据类型的时态数据库)。这种方法自然而合理,即时间属性由系统定义和维护,具有 SDT 类型的属性由用户定义,实际上是把时态数据库和空间数据库的技术进行简单的集成。SDT-TDB 可以有效地表示并处理与时间有关的空间对象,但难于处理任何移动的空间对象<sup>[4]</sup>,如描述森林中某处火灾是如何发展的(火灾区域可能随时间扩大、缩小和移动)。同时,对诸如“某国历史上曾经达到的最大版图是什么”的这类查询,SDT-TDB 是低效的,因为不管在关系 DBMS 还是在对象-关系 DBMS 平台上,必须首先查询出描述该实体的所有元组或对象,然后再把操作应用于该元组或对象集合上。除此以外,定义元组或对象集合上的操作并把它们集成到查询语言中去处理也是困难的。

参照空间数据库,我们认为应把依赖于时间的空间对象看成一个实体。相比之下,空间数据比时态数据更复杂、更难于进行有效的分析操作。在空间数据库

中,空间数据类型可以用 point、line 和 region 表示<sup>[6,22]</sup>,而随时间变化或移动的空间对象则可表示为:(point,t)、(line,t)和(region,t)。一个移动点则由一系列的偶对(P,T)构成,每个偶对表示在某个瞬间或某个时间区间 T,该移动点所处的坐标位置 P,随着时间的变化该移动点就表示一条移动的轨迹线。与 SDT-TDB 不同的是:对某一移动空间点 mp<sub>i</sub>,在不同的时间它可能有不同的坐标位置,所有这些坐标值和时间值都作为移动空间对象 mp<sub>i</sub> 的值,将全部存储在 mp<sub>i</sub> 中。这就为设计能有效地存取移动空间数据和支持移动空间对象分析操作的数据结构和算法提供了保证。如在医学应用中,病人的癌症区域随时间变化可能扩大或缩小,如仅把在不同时刻的癌症区域作为不同的实体,则必须借助于应用程序才能求诸癌症区域的变化率等,但把癌症区域定义为移动空间对象后,不同时刻的癌症区域就作为一个整体,通过求移动区域变化率操作即可求解癌症区域的变化率。

在空间数据库中,用 point、line 和 region 就能描述各种空间数据,并和 DBMS 提供的数据类型一起能支持各种空间分析操作。在时空数据库中,虽通过引入 mpoint(表示移动点)、mline(表示移动线)和 mregion(表示移动区域)能够描述各种移动空间对象,但必须引入新的与时态有关的数据类型才能支持一些操作。如求两架飞机(对应两个移动点)航线间的距离,其结果不是一个实数,而是一组具有时间的实数,反映了两架飞机在不同的时刻所对应的距离。虽然两个移动点的轨迹是两条线(对应两条航线),但在这两条线上是无法求对应的两架飞机间的距离。如用空间数据库中的 line 类型表示飞机航线且设航线上的某一点坐标为 P,当两架飞机在不同时刻经过点 P 时,反映为两条航线 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 存在交点。对空间数据库而言,线 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 的距离为零。用 mpoint 表示飞机航线,具有更丰富的语义,能够支持更多的操作。为了表示和处理移动空间数据,除了 mpoint、mline 和 mregion 外还需要什么数据类型,需研究移动空间数据的各种分析操作来决定。

和空间数据库中的 region 类型一样,mregion 必须能够表示具有空洞(Hole)的移动区域。如一片火灾区是个移动区域,但其中间可能有个湖泊或未着火区。在时空数据库中,除了支持移动空间数据外,也应该支持空间数据(即固定的空间数据)。所以,在时空数据库中的与移动空间数据和空间数据有关的数据类型至少有:

ST-DataTypes = {point, line, region, mpoint, mline, mregion}

至于 mpoint、mline、mregion 有些什么分量,其时间分量的语义,其数据结构是什么等,有待于进一步研

究。

#### 4 移动空间对象的操作

在空间数据库领域,人们已提出对空间对象进行空间分析的各种操作<sup>[22~26]</sup>。虽然时空数据库处理的信息主要是移动空间对象,但本质上仍是空间数据。从文献上分析,目前对移动空间对象的空间分析操作研究非常少且很不全面,仅仅是针对某些应用提出相应的操作,但该功能对时空数据库满足应用需求却是必不可少的。如查询“某飞机(移动的点)航行时经过哪几个省?”,需要转换为求移动的点落在哪几个区域中的操作,该操作类似于空间数据库中判断一个点是否在一个区域中的操作,而对查询“正在航行的某飞机的航速”和“该飞机的最大航速”,则需用到移动点(飞机)的坐标信息和时间信息。移动空间对象的空间分析操作是时空数据库研究中的一个难点,因为首先需定义各种用于移动空间对象的空间分析操作,然后设计和实现每个操作的算法,这涉及到移动空间数据的存储结构。在研究空间分析 DBMS 的基础上<sup>[28]</sup>,本人认为至少应有如下几类操作:

①移动空间对象间拓扑关系的操作,如求一个移动点  $mp$  是否在另一个移动的区域  $mr$  中  $mp\_inside\_mr(mp, mr)$ 。

②移动空间对象与空间对象间拓扑关系的操作,如求一个移动点  $mp$  是否处于另一个固定的区域  $r$  内  $mp\_inside\_r(mp, r)$ 。

③返回移动空间对象的操作,如求两个移动区域  $mp_1$  和  $mp_2$  的交集  $mr\_intersect\_mr(mr_1, mr_2)$  等。

④返回单个数值的操作,如求一个移动点  $mp$  的速度  $velocity(mp)$ 。

⑤返回多个数值的操作,如求两个移动点  $mp_1$  和  $mp_2$  间的距离  $distance(mp_1, mp_2)$ 、指定移动点  $mp_1$  到一条固定线  $l_2$  间的距离  $distance(mp_1, l_2)$  等。

⑥返回空间对象的操作,如求移动点  $mp_1$  的轨迹  $trajectory(mp_1)$ 、一个移动点或一个区域在某一特定时间的空间点或空间区域。

⑦在移动空间对象集合上的操作,如在一些移动区域上进行 FUSION 操作。

移动空间对象到底有多少类型和操作还有待于同行的进一步讨论。需要分析、总结各种移动空间对象的应用实例,归纳出相应的操作。

### 5 研究方法

#### 5.1 离散化表示

在研究移动空间对象的模型时,其时间和空间信息都涉及到采用连续模型还是离散模型。空间对象的

移动是连续的,但在计算机中难以存储和处理,移动空间对象的表示及操作必须建立在离散模型之上。一个二维空间移动点的轨迹应是一条光滑的曲线,一种离散化的方法如图1所示。在任意时刻  $t_1$ , 我们都能在 XY 平面上得到一个投影坐标点。但实际上情况要较之复杂得多,因为不仅要考虑某瞬间的空间对象值,也应考虑如何表示某一区间内的空间对象值。如何把时间和空间信息结合起来,是时空数据模型必须解决的问题。

如果移动空间对象是随时间变化的二维空间数据,我们认为 Realms<sup>[21]</sup>可作为移动空间对象中空间信息离散化表示的基础。Realms 实际上是一个结构,它由建立在离散网格(Grid)上的有限的点和非相交线段的集合构成,Realms 中的对象(点和线段)不是建立在欧几里德空间上,而是建立在离散网格上,它应有如下的性质:每一个点和每一条线段的端点都是 Realms 中的一个网格点;没有一个 Realms 点位于任一条 Realms 线段的中间;除了端点外,任何两条 Realms 线段都不相交。由于所有的移动空间对象都建立在 Realms 之上及 Realms 本身的性质使得能够设计和实现各种有效的空间操作算法,并能保证对移动空间对象操作算法的数值健壮性和拓扑正确性。

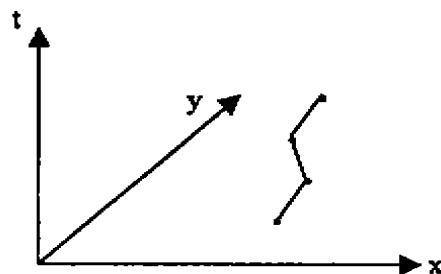


图1 移动点的离散化表示

#### 5.2 系统结构

另一个重要问题是时空数据库的系统结构。空间数据库的开发平台已从关系 DBMS 转到可扩充 DBMS(含 OODBMS 和对象-关系 DBMS)<sup>[6]</sup>,对于大多数基于关系 DBMS 的空间数据库或基于可扩充 DBMS 的空间数据库,都设计一个专用的空间子系统以保证对空间数据的存取效率。同理,为了有效地支持对移动空间数据的操作,也应该和必须为移动空间对象设计专用的子系统。我们认为该子系统实际上是一个支持移动空间对象的 ADT 机制,包括移动空间数据类型、操作和对移动空间数据进行存储和管理。通过可扩充 DBMS 的 ADT 接口将它与 DBMS 达到无缝集成,这样使得在可扩充 DBMS 中对于一个移动空间数据

就像对一个字符串一样。该子系统实际上可与任何具有 ADT 机制的 DBMS 集成生成时空 DBMS。作者通过研制空间分析 DBMS—AMOROSE 的原型系统<sup>[2,3]</sup>，已证明该方法是非常有效的。

为了支持对移动空间数据的有效管理、更重要的是能够有效支持复杂的分析操作，也就是支持计算几何的一些算法，该子系统的移动空间数据的数据结构是至关重要的。

当然，人们可以实现一个全新的系统或对一个现有的 DBMS 代码进行扩充而达到该目的。但若使用可扩充 DBMS，则可极大地缩短研究周期。再则，对于各种应用，很难预先确定一个完整的移动空间操作集合，基于可扩充 DBMS 的时空数据库可根据需要由用户扩充新的移动空间操作。

## 6 查询语言

时空数据库的查询语言除了包含通用数据库的查询功能外，还应支持专门用于移动空间数据和空间数据的分析操作。如果时空数据库建立在可扩充 DBMS 之上，设可扩充 DBMS 的查询语言为 Q，时空子系统的操作为 Q<sub>1</sub>，其查询语言应是 Q 与 Q<sub>1</sub> 的集成。其查询语言的功能取决于支持移动空间对象 ADT 机制的操作种类，即在第4节中所述的操作。

可扩充 DBMS (对象-关系 DBMS 或面向对象 DBMS) 可通过定义新数据类型和操作的机制来使用移动空间子系统的数据类型和所有的操作，从而在查询语言中能够存取和处理存储在移动空间子系统中的移动空间对象。如以对象-关系 DBMS—AMOS<sup>[2,3]</sup> 作为研究平台 (AMOS 是在面向对象 DBMS—Iris 上研制的对象-关系 DBMS)，有类型模式如下：

```
planes (airline:charstring, id:charstring, flight:
mpoint)
```

属性 flight 的数据类型为移动点类型，如下的基于 AMOS 查询语言的查询语句应完成“找出所有两架飞机航线间的距离小于1公里的飞机”：

```
SELECT p. airline, p. id, q. airline, q. id
FOR each planes p, each planes q
WHERE minvalue (mdistance(p. flight, q. flight))
<1
```

这里假设 mdistance 是求两个移动点间的距离，minvalue 求一组值中的最小值，该两个操作都属于移动空间子系统。这是一个典型的移动空间对象连接操作。

## 7 结论

时空数据库处理的数据主要是移动空间对象，研

究内容涉及到时态数据库和空间数据库，但决不是两者简单的集成。本文初步分析和讨论了移动空间对象的数据类型和操作，认为引入移动空间数据类型来表示随时间变化的二维空间数据是可行且是值得研究的，并提出研究一个支持移动空间对象的 ADT 机制 (包括移动空间数据类型、空间数据类型、基于这些数据类型数据的分析操作及对这些数据的存储和管理)，然后将之与可扩充 DBMS (任何具有 ADT 功能的 DBMS) 集成，生成时空 DBMS 的研究方法。本文另一目的是抛砖引玉，以引起同行的关注与讨论。

本文得益于和瑞典的 Per Svensson 教授的多次讨论，感谢德国的 R. H. Güting 教授为作者提供了有关的资料。

## 参考文献

- 1 Al-Taha K, et al. Bibliography on Spatio-Temporal Databases. ACM SIGMOD Record, 1994, 22(1): 59~67
- 2 Bbhten M H, Jensen C. Seamless Integration of Time into SQL. [Report R-96-49]. Dept. of Computer Science, Aalborg University, December 1996
- 3 Erwig M, et al. Temporal and Spatio-Temporal Data Models and Their Expressive Power. [Informatik-Report] Fern University Hagen, December 1997
- 4 Erwigat M, et al. Spatio-Temporal Data Types. An Approach to Modeling and Querying Moving Objects in Databases. [Informatik-Report]. Fern University Hagen, December 1997
- 5 Claramunt C, Thedrault M. Managing Time in GIS: An Event-Oriented Approach. Recent Advances in Temporal Databases, Springer-Verlag, 1995. 23~42
- 6 Güting R H. An Introduction to Spatial Database Systems. VLDB Journal, 1994, 3(4): 357~399
- 7 Gadia S K, et al. A SQL-Like Seamless Query of Spatio-Temporal Data. Int. Workshop on an Infrastructure for Temporal Databases, 1993. 1~20
- 8 Worboys M F. A Unified Model for Spatial and Temporal Information. The Computer Journal, 1994, 37(1): 27~34
- 9 Pequet D J, Duan N. An Event-Based Spatio-temporal Data Model (ESTDM) for Temporal Analysis of Geographical Data. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(1): 7~24
- 10 Yeh T S, de Cambray B. Time as a Geometric Dimension for Modeling the Evolution of Entities: A 3D Approach, 2nd mt. Conf. on Integrating GIS and Environmental Modeling, 1993
- 11 Yeh T S, de Cambray B. Modeling Highly Variable Spatio-Temporal Data. In: 6th Australasian Database Conf. 1995. 221~230

- 12 Sistla A P, et al Modeling and Querying Moving Objects. In Proc IEEE Intl. Conf. on Data Engineering, Birmingham, U K., 1997. 422~432
- 13 Kampke T Storing and Retrieving Changes in a Sequence of Polygons. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1994, 8(6):493~513
- 14 Price S. Modeling the Temporal Element in Land Information Systems. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1989, 3(3):233~243
- 15 Raafat H, et al. Relational Spatial Topologies for Historical Geographical Information. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1994, 8(2):163~173
- 16 Vazirgiannis M, et al. Spatio-Temporal Composition and Indexing for Large Multimedia Applications, 1997
- 17 Nabil M, et al Modeling Moving Objects in Multimedia Database. Proc. of the 5th on Database Systems for Advanced Applications, Melbourne, Australia, 1997
- 18 Albers G, Roos T. Voronoi Diagrams of Moving Points in Higher Dimensional Spaces, 3rd Scandinavian Workshop on Algorithm Theory, 1992. 399~409
- 19 Fu J J, Lee R C T. Voronoi Diagrams of Moving Points in the Plane. Int. Journal of Computational Geometry and Applications, 1991, 1(1):23~32
- 20 Guibas L, et al Voronoi Diagrams of Moving Points in the Plane, 17th Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, LNCS 570, 1991 113~125
- 21 Guting R H, Schneider M. Realn-Based Spatial Data Types: The ROSE Algebra. VLDB Journal, 1995, 4:100~143
- 22 Svensson P, Huang Z. Geo-SAL: A Query Language for Spatial Data Analysis. In: Proc 2nd Intl Symp. on Large Spatial Databases, Zurich, Switzerland, 1991. 119~140
- 23 Berry J K. Fundamental Operations in Computer-Assisted Map Analysis. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1987, 1(2):119~136
- 24 Tomlin C D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall, 1990
- 25 Raper J R, Maguire D J. Design Models and Functionality in GIS, Computers & Geosciences, 1992, 18(4) 387~394
- 26 Smith T R, et al. Requirements and Principles for the Implementation and Construction of Large-Scale Geographic Information Systems. Int. Journal of Geographical Information Systems, 1987, 1(1):13~31
- 27 Karlsson J S, et al. AMOS User's Guide, Linkoping University, Sweden, 1996
- 28 Qin Xiaolin. AMOROSE User's Guide, Royal Institute of Technology, Sweden, 1998

(上接第74页)

ATM 交换机方框图,其中 MB86683 NTC(Network Termination Controller)是一个用于宽带 ATM 网络的高度集成的网络终端控制器,它执行与物理介质相关的传输集中功能,MB86689A ATC(Address Translation Controller)则以 155Mb/s 的速率实时翻译 ATM 信元头信息、替换 VCI/VPI 域及添加 24 位路由标记,而 MB86680 SRE (Self Routing Switch Element)乃是自主路由交换矩阵。关于这些器件的详情参见有关资料<sup>[7,8]</sup>。

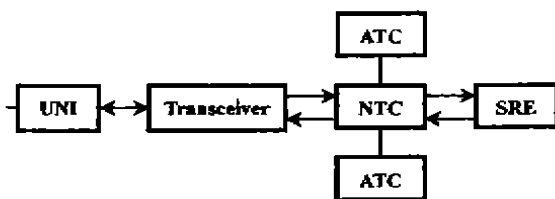


图6 基于 MB866 系列芯片的 ATM 交换机设计方案

### 参考文献

- 1 陈永光,卢锡城 ATM 交换机缓冲策略研究. 计算机科学, 1998, 25(3):66~69
- 2 Re E D, et al. Performance Evaluation of Input and Output Queuing Techniques in ATM Switching Systems. IEEE Trans. on Communications, 1993, 41(10):1565~1575
- 3 Kuwahara H, et al. A Shared Buffer Memory Switch for an ATM Exchange. In: Proc. ICC' 89, 1989. 118~122
- 4 Banwell T, et al. Physical Design Issues for Very Large ATM Switching Systems. IEEE J. Selected Areas in Communications, 1991, 9(8):1227~1238
- 5 Simcoe R J. Perspectives on ATM Switch Architecture and the Influence of Traffic Pattern Assumptions on Switch Design. ACM SIGCOMM' 94, 1994. 93~105
- 6 Fuhmann S W. Performance of a Packet Switch with Crossbar Architecture. IEEE Trans. on Communications, 1993, 41(3):486~491
- 7 FUJITSU, MB86683 Network Termination Controller Data Sheet, October 1993
- 8 FUJITSU, MB86689A Address Translation Controller Data Sheet, June 1995