



地球信息科学基础丛书

概率时间地理学原理

◎ 尹章才 李 霖 张志军 著



科学出版社

地球信息科学基础丛书

概率时间地理学原理

尹章才 李 霖 张志军 著

国家自然科学基金:定向移动对象基于有偏随机走的概率模型
研究(编号:41071283)

公益性行业科研专项:基础地理信息本体库开发关键技术
及示范(编号:201412014)

资助

武汉理工大学研究生教材建设基金
GIS专业综合改革试点项目

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统阐述了概率时间地理学的基本原理、理论和方法。全书共分为三部分。第一部分引入了概率时间地理学,分析了概率时间地理学的基本概念和学科内容。第二部分阐述了如何利用概率论构建时间地理学的时空不确定性模型的理论与方法,并对构建的概率时空体进行实证分析。第三部分系统分析概率时空体的相遇问题,主要是分析两随机移动的个体之间相遇的可能性大小及其随时间的变化规律。

本书可作为高等院校地理、测绘、地质、城市规划、环境等专业的本科生和研究生教材,同时也可供相关专业的科技工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

概率时间地理学原理/尹章才,李霖,张志军著. —北京:科学出版社,2015.10

(地球信息科学基础丛书)

ISBN 978-7-03-046038-7

I. ①概… II. ①尹…②李…③张… III. ①地理学-时间学 IV. ①K90-05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247914 号

责任编辑:杨帅英 张力群 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年2月第二次印刷 印张:14 1/4

字数:335 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

时间与地理学的结合形成了时间地理学,主要阐述移动对象随时间变化的规律。经典时间地理学采用时空圆锥体或棱柱体表达移动对象的时空可达位置,它不区分移动对象分布在各可达位置的可能性差别。然而,根据随机走模型(如布朗运动),质点即使在某一时刻均匀分布在各可达位置点,但在后续时刻会趋于非均匀分布(如正态分布)。因此,定量的时间地理分析需要考虑实际的概率分布,以模拟移动对象在不同时刻分布在各可达位置上的非均匀分布。总的来说,概率时间地理学是从概率的角度分析移动对象随时间变化的不确定性。

目前,概率时间地理学的发展还处于萌芽阶段,主要是在经典时间地理学基础上利用经典概率模型(如正态分布)进行扩展,缺乏学科应有的基本概念、基本原理和基本方法,国内外尚未出现概率时间地理学方面的专著。本书在继承概率论与时间地理学相结合的传统基础上,通过概率时间地理学的理论建模和时空相遇概率分析,提炼概率时间地理学的学科概念、理论与方法。

全书分为三个部分。第一部分引入概率时间地理学的概念,分析其学科特征和发展趋势;第二部分利用概率论的基本概念、理论(如正态过程、布朗桥)与方法(如全概率公式、会面问题)构建概率时间地理学的时空概率模型;第三部分阐述两个移动对象可能相遇的概率模型,提出了基于连续型概率分布的相遇概率算法(包括积分法、微分法)和基于离散型概率分布的相遇概率算法,并进行了实证对比分析,为人员搜救、救援等活动中所需的时空路径规划与优化提供定量依据。

由于作者的知识背景和水平的局限,本书仍存在错漏或偏颇之处。我衷心地欢迎使用本书的同行提出批评与建议。在写作过程中得到北京大学柴彦威教授,武汉理工大学的袁艳斌教授、黄解军教授、崔巍教授和俞艳博士,以及武汉睿数信息技术有限公司毛凯博士的帮助,在此一并感谢。本书的出版得到了国家自然科学基金:定向移动对象基于有偏随机走的概率模型研究(编号:41071283),公益性行业科研专项:基础地理信息本体库开发关键技术及示范(编号:201412014),武汉理工大学研究生教材建设基金和 GIS 专业综合改革试点项目等联合资助,在此表示由衷感谢。

作 者

2015 年 9 月

目 录

前言

第一部分 概率时间地理学的基础

第1章 绪论	3
1.1 时间地理学基础	3
1.1.1 时间地理学的概念	3
1.1.2 时间地理学的特点	4
1.1.3 时间地理学的方法	6
1.2 概率时间地理学的出现	11
1.2.1 概率时间地理学的萌芽	11
1.2.2 概率时间地理学的形成	14
1.2.3 概率时间地理学的提出	15
1.2.4 概率时间地理学的特征	17
1.3 概率时间地理学的内容	20
1.3.1 研究对象	20
1.3.2 研究目标	23
1.3.3 研究任务	24
1.4 概率时间地理学的应用与发展	26
1.4.1 概率时间地理学的应用	26
1.4.2 概率时间地理学的发展	27

第二部分 概率时间地理学的建模

第2章 概率时间地理学的基本概念	33
2.1 时间地理学的随机试验	33
2.2 时间地理学的随机事件	34
2.2.1 随机事件	34
2.2.2 随机地理事件	37
2.2.3 随机时间地理事件	40
2.3 时间地理学的随机变量与过程	42
2.3.1 随机时间地理变量	42
2.3.2 随机时间地理过程	44
第3章 概率时间地理学的建模原理	47
3.1 随机走	47

3.1.1	概率时间地理学中的随机走	47
3.1.2	基于随机走的时空概率模型	50
3.2	基本概率模型	59
3.2.1	均匀分布	59
3.2.2	伯努利分布	62
3.2.3	泊松过程	66
3.2.4	布朗运动	70
3.3	基本概率定律	72
3.3.1	基本公理	72
3.3.2	基本定理	73
第4章	概率时间地理学的建模方法	77
4.1	基本概念	77
4.1.1	移动对象	77
4.1.2	时空可达域	78
4.2	基于正态分布的建模方法	81
4.2.1	建模方法	81
4.2.2	实例分析	86
4.3	基于布朗桥的建模方法	88
4.3.1	建模方法	89
4.3.2	实例分析	92
4.4	基于全概率公式的建模方法	94
4.4.1	建模方法	95
4.4.2	实例分析	97
4.5	时间地理学的概率模型验证	99
4.5.1	定向移动的频次统计	100
4.5.2	定向移动的概率检验	104

第三部分 概率时间地理学的相遇

第5章	随机相遇基础	111
5.1	随机相遇概念	111
5.1.1	相遇的时间与空间关系	111
5.1.2	时间地理学的相遇语义	114
5.1.3	时间地理学的相遇条件	116
5.2	随机相遇事件	120
5.2.1	同试验的相遇事件	120
5.2.2	异试验的相遇事件	122
5.3	随机相遇概率	127
5.3.1	概率论的相遇概率	127

5.3.2 时间地理学的相遇概率	130
第6章 随机相遇的连续型概率	136
6.1 基本原理	136
6.1.1 点-型相遇原理	136
6.1.2 线-型相遇原理	139
6.1.3 面-型相遇原理	142
6.1.4 体-型相遇原理	143
6.2 相遇概率的积分法	144
6.2.1 算法基础	144
6.2.2 点-线型相遇的积分法	147
6.2.3 点-面型相遇的积分法	150
6.2.4 线-线型相遇的积分法	152
6.2.5 线-面型相遇的积分法	156
6.2.6 面-面型相遇的积分法	159
6.3 相遇概率的微分法	162
6.3.1 算法基础	162
6.3.2 线-线型相遇的微分法	165
6.3.3 线-面型相遇的微分法	171
6.3.4 面-面型相遇的微分法	173
6.4 连续型算法的特点	176
第7章 随机相遇的离散型概率	178
7.1 基本原理	178
7.1.1 时间地理学的点邻域	178
7.1.2 基于点邻域的相遇事件	180
7.1.3 基于点邻域的相遇概率	182
7.2 相遇概率的邻域法	185
7.2.1 算法基础	185
7.2.2 点-点型相遇的邻域法	186
7.2.3 点-线型相遇的邻域法	188
7.2.4 点-面型相遇的邻域法	191
7.2.5 线-线型相遇的邻域法	192
7.2.6 线-面型相遇的邻域法	195
7.2.7 面-面型相遇的邻域法	198
7.3 离散型算法的特点	200
第8章 随机相遇的过程分析	202
8.1 基本原理	202
8.1.1 概率时空体	202
8.1.2 概率时空体的相遇	204

8.2 相遇概率的过程分析	206
8.2.1 点-线型相遇的过程分析	206
8.2.2 点-面型相遇的过程分析	208
8.2.3 线-线型相遇的过程分析	209
8.2.4 线-面型相遇的过程分析	210
8.2.5 面-面型相遇的过程分析	211
8.3 相遇概率的过程特点	213
参考文献	215

第一部分 概率时间地理学的基础

时间地理学是一种研究与时间有关的地理学,它将时间维度从地理信息属性中明确出来,以表达地理对象随时间变化的规律。在此基础上,概率时间地理学从概率角度分析地理对象随时间变化的不确定性。

第1章 绪 论

地理学第一定理是地理相关性的定理,目前也是公认的唯一地理学定理。概率是相关性分析的重要手段,因而也是地理学进行相关性分析的理论依据和概率时间地理学形成的理论基础。

1.1 时间地理学基础

时间地理学(time geography)研究在时间约束下的空间可达位置的不确定性规律,它通过时空体描述所有可能到达的位置。在此基础上,概率时间地理学则专注于移动对象(moving object)分布在每个可达位置点的可能性,以表达移动对象在各空间可达位置的非均一性分布规律。

1.1.1 时间地理学的概念

为了实现社会公共设施公平配置在每位居民上,需要将时间和空间作为同等重要的资源进行综合考虑,时间地理学在服务于公共设施的公平配置过程中应运而生。

1. 时间地理学定义

时间地理学是一种研究在各种制约条件下人的行为时空间特征的地理学(柴彦威和王恩宙,1997),能有效分析个体活动的方法。随着时间的推移,时间地理学的外延也不断拓展:①时间地理学起源于20世纪60年代,关注相同空间可达范围的时间成本的公平性,其提出与作为高度福利国家的瑞典的社会状况密切相关;②在70年代末以前,时间地理学研究主要是沿哈格斯特朗的基本观点进行的,即对区域规划、人地关系及社会史进行应用研究;③80年代以后,时间地理学则在个人生活与社会结构关系、女性地理学、福利地理学及城市地域研究、城市交通规划等方面有创造性的展开(柴彦威,1998)。

2. 个体的时空约束条件

时间地理学认为个体活动只能在特定时间、空间发生,即遵守时间、空间制约。这些制约可归纳为如下三类(张亦汉等,2014):

(1) 能力制约,受个人自身能力(如移动速度、休息、用餐等生理性)制约的一类。

(2) 组合制约,个体为了进行某种活动(如社交、聚会等)和其他人同时存在于特定场所。

(3) 权威约束,由于法律规范等把个体从某些特定时间和空间中排除的一类,如外来车辆在早晚高峰期禁止进入城区的法规。权威约束可以分为自然权威约束(如个体不能穿越的沙漠区域)和社会权威约束(如歇业的商业区域)。

上述三个时空约束一方面具有相对独立性,如组合约束是个体与其他个体同时存在于特定场所,而权威约束则是将个体从某些特定时间和空间内排除;另一方面具有相关性,如个体的能力约束可能会影响社交、聚会等组合约束。

上述时空约束条件本身具有时间性、空间性与个体差异性(个性)。在时间性方面,各种约束条件随时间的变化而动态变化,而不是静止的,如超市的歇业时间在节假日较平时往后推迟。在空间性方面,任何活动的发生都与空间位置有关,如人的休息、社交等活动都需要占据一定的地理空间范围。在个性化方面,同一权威约束对于不同的个体具有差异性。这样,任何个体在不同时间、空间具有差异性的约束条件;相同时空间尺度的不同个体行为在时空间特征上相似。

3. 个体行为的时空间特征

时间地理学不仅研究个体所受到的时空约束条件,还需要考虑在这些条件制约下特定个体(类)的行为在特定时间的空间特征。个体行为的时空间特征可采用时空路径、时空体等表达。时空路径记录了个体在时间、空间上的移动轨迹,由控制点和路径段落构成。其中,控制点是已知具体空间位置和时间属性的点;路径段落是点与点之间的连线(垂直段落表示个体驻留,倾斜段落表示个体移动)(刘钊等,2014b)。所有可能的时空路径的全集构成了时空体,包括圆锥体(有的称为棱锥体)、棱柱体。

4. 个体的约束条件与行为时空间特征的关系

个体行为的时空间特征,是个体的时空约束条件在特定时间或特定空间的直接反映,两者存在相互作用、相互映射的关系。

(1) 时空约束条件会制约时空行为特征,因而行为特征能承载和反映个体自身能力、外部权威等约束条件,从而能表征个体的生活质量、可达性、社会分异和社会公平等(张亦汉等,2014)。例如,时空体将权威约束中的时空范围排除在外,只能包含个体自身所能到达的范围。又如,个体的最大速度,决定着时空体母线的斜率;组合约束直接反映在时空体的相交上。相应地,时空体间的相交测试可判断个体间可否会面,洛杉矶警方基于手机信号时空模拟的犯罪制图就属于此类(Esrichina, 2013)。

(2) 个体可通过主动提升自身能力和权威等以减小时空约束,因而同一个体不同时期的时空行为特征能反映个体的长期行为变化趋势。

1.1.2 时间地理学的特点

1. 基本特点

时间地理学的创始人哈格斯特朗(Hägerstrand, 1970)提出的8条假设可作为时间地理的特点(柴彦威和王恩宙,1997):①人是不可分割的;②人一生是有限的;③一个人同时从事多种活动的能力是有限的;④所有活动都需要一定时间;⑤空间内的移动要消耗时间;⑥空间的容纳能力有限;⑦地表空间是有限的;⑧现状必然受到过去状况的限制。

时间地理学的基本特点,反映了时空约束的不同类型,但两者之间不是简单的对应关

系。其中,特点③、④和⑤既可以是一种能力约束,也可归为外部客观环境的权威约束;特点⑥和⑦可视为组合约束;全部特点都具有客观权威性(表 1.1)。

表 1.1 基本特点与时空约束的对应关系

时空约束	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
能力约束			—	—	—			
组合约束						—	—	
权威约束	—	—	—	—	—	—	—	—

因此,在时间地理学的约束类型中,一方面需要对接时间地理学的特点,以便于明确时间地理学的特点与约束类型间关系;另一方面权威约束类型,需要扩展至包含法律、法规在内的外部客观环境的约束,不然在时间地理学中没有与权威约束直接对应的特点。

2. 基本特征

(1) 具有多维特性,包含时间(如②、④、⑤、⑧)、空间(如⑤、⑥、⑦)和人文属性(如①、②)等。其中,空间特性包括均质空间、非均质空间等;时间特性包括工作时间、休闲时间等;属性特性包括最大移动速度、可达位置,或布尔值、概率值等不同尺度语义。

(2) 具有尺度特征,包括空间尺度(镇、县、市、省、国家、洲、世界)、时间尺度(如日、周、月、季、年)和对象或语义尺度(如个人、集体、组织等)(柴彦威,1998)。

(3) 具有概率特性,如⑧。在一般情况下,移动过程在某时刻的状态与邻近时刻的状态有关。这种相关联度与相隔的时间往往呈反比,即经过数学抽象得到应用十分广泛的马尔可夫过程。

(4) 具有不确定性,即个体在给定时刻位于哪个空间位置是不确定的,这不仅受能力、组合、权威等时空约束条件制约,还受心理活动的影响。

3. 不确定性

时间地理学的不确定性继承了 GIS(geographic information system)数据的不确定性,其中数据抽象与数据缺失是两个主要来源。

1) 抽象引起不确定性

时空轨迹(trajjectory)是移动对象的位置和时间的记录序列(龚玺等,2011),具有连续性,因而在计算机中的存储需要进行抽样、综合和离散,即只记录离散时刻及其对应的空间位置,或采用离散的样本点表示连续的时空轨迹(图 1.1)。

例如,在通过手机信令数据跟踪手机用户的时空轨迹时,基站每天只记录一部手机的 40~50 条信令。这意味着,当两个时刻 t_1 , t_2 的位置确定时,则时刻 $t \in (t_1, t_2)$ 的位置不确定。当市民在使用手机各种应用软件时,如 QQ、微信、手游等,或多或少会运用到定位功能,“百度迁徙地图”就会实时记录市民的地理位置(唐凯和娄静,2014)。当市民迁移到另一个城市,再次使用此类软件时,地理位置会更新,两次位置的变化就通过一条线出现在“百度迁徙地图”中。

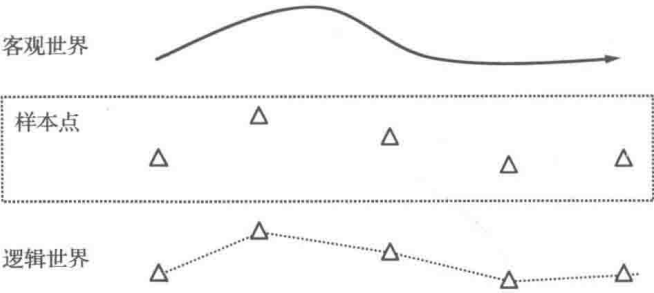


图 1.1 时间地理因抽象引起的不确定性

又如,淘宝、京东等在线商城网站采用离散的时间点和活动位置表达连续的“物流动态”信息(表 1.2):

表 1.2 淘宝物流动态实例

时间/s	活动
2015-03-04 12:02:13	您的订单开始处理
2015-03-04 19:42:40	已取件,到达 [河北_石家庄运转中心]
2015-03-04 19:45:15	离开 [河北_石家庄运转中心] 发往 [郑州运转中心]
2015-03-05 10:15:53	到达 [郑州运转中心]
2015-03-05 15:43:05	离开 [郑州运转中心] 发往 [武汉运转中心]
2015-03-06 01:58:32	到达 [武汉运转中心]
2015-03-06 02:49:51	离开 [武汉运转中心] 发往 [湖北_武昌分拨站]
2015-03-06 06:46:19	离开 [湖北_武昌分拨站] 发往 [湖北_武昌南营业所_广埠屯营业厅]
2015-03-06 08:01:34	到达 [湖北_武昌南营业所_广埠屯营业厅]
2015-03-06 08:48:06	离开 [湖北_武昌南营业所_广埠屯营业厅] 派送中,递送员[张*],电话[137 ***** 743]
2015-03-06 12:59:34	客户已签收

信息来源:宅急送运单号:248 **** 153

2) 数据缺失引起不确定性

由于人类知识的尚不发达,还缺乏制约条件与人的行为时空特征之间作用机理的认识。人的行为时空特征,不仅仅受时空因素的影响,包括交通网、公共设施的配置等,还受非时空因素的影响,如个人的年龄、收入、健康、偏好等。时间地理学主要研究时空制约条件与人的时空特征之间的作用机理,由于未考虑非时空因素的影响因此不可能建立起制约条件与时空特征之间的确定性函数关系。

1.1.3 时间地理学的方法

时间地理学的主要目标是揭示时空约束条件对时空行为特征的作用机理。目前,时间地理学分析方法主要可归为两类:一是统计学方法,即采用统计学手段统计大量时空行为,来获得时空约束条件与时空行为之间的统计规律;一是利用 GIS 方法,即采用 GIS 工具分析时空约束条件中的移动速度因子对时空行为特征中的可达性的作用机制。

1. 时间地理学的统计学方法

时间、空间和属性是地理对象的三个不可分割特征,是地理学描述的基本要素。传统GIS常常将时间作为空间信息的一个属性,未将时间作为与空间同等重要的要素看待,因而难以支撑历史回放、未来预测等分析。随着卫星定位技术、无线通信、跟踪检测设备、传感器、视频实时采集技术及云计算技术的快速发展,人们能够方便、廉价获得时空轨迹数据(龚玺等,2011)。例如,通过传感器遥测野生动物或者鱼类的活动,通过日志记录旅行活动,通过条形码的检入检出了解物流过程,通过信用卡、交通卡、身份证等刷卡记录或者电话通话记录、签到服务、移动电话基站信令等来跟踪用户的位置,甚至通过互联网搜索某对象的相关事件来确定该对象的运动轨迹等。空间对象的位置、属性都可能随着时间的推移而发生变化,不同时刻的位置和属性信息构成了空间对象的来龙去脉,从而便于评估对象行为特征的形成原因和预测对象的未来去向。而这种来龙去脉在时间地理学中就是时空轨迹或时空路径。

通过时空路径数据的数理统计,时间地理学可获得个体、群体的时空特征,并创造性地运用生命线、时空路径、路径束、时空棱镜、时空收支等独特的概念进行刻画,从而为公共设施的合理配置提供理论依据。例如,武汉市目前有上万个工地同时开工,大量市民在上下班路上的耗时明显拉长。瑞典最新一项有关“夫妻中有一方每天上班路上耗时超过45分钟,离婚率增加40%”的研究结果,让不少人调侃“我离离婚不远了”。该项研究结果的依据是:上班路程遥远、道路拥堵、公共交通工具拥挤以及等候时间不可预测等,会让人心情变差,甚至影响健康,破坏家庭和谐(李宏,2013)。上述新闻报道了时间地理学的一种统计规律。然而,数理统计在时间地理学中的应用存在诸多局限(林广发和黄永胜,2002)。

1) 统计数据获取方面

时间地理学常用问卷调查或访谈方式收集个体的时空数据,存在如下的制约(林广发和黄永胜,2002):

(1) 统计一般要求较大的样本数,不仅耗费人力和时间,还难以保证有足够的样本。样本的数据随时间尺度、空间尺度的增大呈非线性增长。不过,时空路径大样本的统计可以为概率时间地理学提供实证。

(2) 当调查的时间尺度较大(如1年)时,取得的数据往往是经过个体有意或无意综合过的,这种综合会造成数据的偏差;当时间尺度较小(如1天)时,又难以保证时段上的代表性,这主要是因为人的时空特征不仅仅受时间、空间因素的影响,还受许多不可预料的细微事物的影响。

2) 统计数据处理方面

数理统计是处理调查数据的常用方法,存在如下的制约(林广发和黄永胜,2002):

(1) “对地理学家来说,统计手段的主要问题在于自相关(即邻近样本之间的相互不独立性)。自相关问题不仅存在于时间序列样本中,也存在于空间数据方面,而且较之时间序列更难于处理。时间的过程只有一个方向,而空间则是二维的,一个单独的点的独立条件会受到其四周各个方面的干扰。对空间自相关的认识,表明了地理分析中运用常规

统计手段的严重的局限性”。

(2) 时空棱镜是一个非常概念化的表达形式,难以表达不同的约束条件以及约束条件之间的相互影响。目前,时空棱镜主要反映时间、速度、均质空间或交通网空间等的约束条件,尚未对其他非时空因素进行分析。

(3) 对群体的统计可以获得群体的一般时空特征;以个体为中心的传记研究则能够揭示有关个体的深刻的时空行为特征及其形成机制,但不具备普遍性。一般统计学难以实现两种方法的有机结合。

3) 统计数据分析方面

统计学的结果是纯数学驱动的,它只反映了历史状态,没有说明状态产生的原因,因而也就没有给出现象背后的因果关联,而这正是机制发现和理论建立的基础和关键(林广发和黄永胜,2002)。

(1) 为了表达时空特征及其动态过程,时间地理学创造了几种独具特色的时空结构图,如生命路径、时空棱柱等,但这些都是面向个体的,如何体现相关个体(如家庭成员、单位职工、同一性别、同一年龄阶段等个体之间)在生命路径上的共同特点?或者说,约束条件(不同成员属于同一家庭)的相关性如何影响路径的相关性?

(2) 研究的对象尺度、空间尺度与时间尺度之间如何匹配? 制约尺度,即宏观制约(如国家法律、性别、出生家庭背景、生活环境等)与微观制约(如个体从事职业、经济收入、身体状况等)如何评价?

(3) 约束条件如何作用于生命路径,以及约束条件的改变如何影响生命路径的改变?

(4) 约束条件具有区域特征和时段特征,即约束条件会随着时空路径的改变而改变,因此,约束条件与时空路径之间存在相关性,如何分析这种相关性? 例如,交通速度具有拥堵路段等区域性和早晚高峰期等时段特性,基于时空动态交通速度的时空可达性分析是目前公开的难题(Miller and Bridwell, 2009)。

(5) 时空路径具有空间尺度、时间尺度和对象尺度,不同尺度所揭示的问题却有很大的差别,在具体的研究中如何界定?

上述问题对于时间地理学都是带有根本性的,对于公共政策的制定、流动人口的管理等应用问题也具有重要的现实意义。

2. 时间地理学的 GIS 方法

由于地理学可由 GIS 进行描述和分析,因而基于地理学扩展的时间地理学也能应用 GIS 工具,用于时间地理的数据组织、存储、表达和分析,从而为时间地理学分析约束条件与行为特征间的关系和作用机理提供了技术支撑。时间地理学应用 GIS 的可能性与必要性(林广发和黄永胜,2002):一方面,时间和空间是时间地理学的两个本质特征,而 GIS 具有时空特征描述与表达的能力;另一方面,时间地理学研究对象的微观性,随着研究的深入需要仔细考虑的因素越来越多,对象系统越来越复杂,这大大提高了对研究能力和研究工具的要求,GIS 作为地理信息的综合性、精细化软件系统能满足时间地理对系统的要求。

时间地理学回答诸如这样的问题(Winter and Yin, 2010):已知一个移动对象在 t_s 的

位置,该对象在随后时间 $t(t > t_s)$ 的位置? 或者在过去时间 $t(t < t_s)$ 的位置? 在假定对象能向任意方向移动且只受最大速度制约的条件下,时间地理学通过 $x-y-t$ 空间的直立圆锥体表达其可达位置的不确定性。圆锥体顶点表达移动对象在 t_s 的位置,锥角表达最大速度,这样圆锥底面就可以表达移动对象在时间 $t(t > t_s)$ 的可达位置[图 1.2(a)],类似地可以表达在时间 $t(t < t_s)$ 的可达位置。

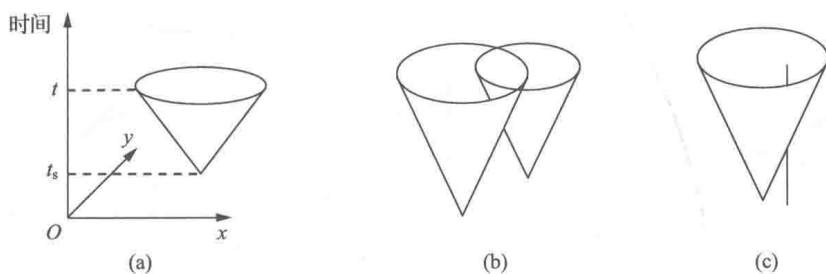


图 1.2 传统的时间地理概念(Winter and Yin, 2010)

已知移动对象起点、止点的时间地理模型可以用图 1.3 描述。对于存储在移动对象数据库中(卢炎生等,2007)足够密集的轨迹数据,线性内插是足够的[图 1.3(a)]。然而,时间地理提供的完备模型,也能通过斜的甚至是直立的时空棱柱体来捕获所有可能的中间位置。这样,如果已知移动对象在 t_s, t_e 时的位置 $(x_s, y_s), (x_e, y_e)$,那么其可达位置的不确定性可由时空棱柱体表达——一个顶点位于 (x_s, y_s, t_s) 的圆锥体和一个顶点位于 (x_e, y_e, t_e) 的反向圆锥体的交集。如果起止点位置重合,时空棱柱体是直立的[图 1.3(b)],否则是斜的[图 1.3(c)]。

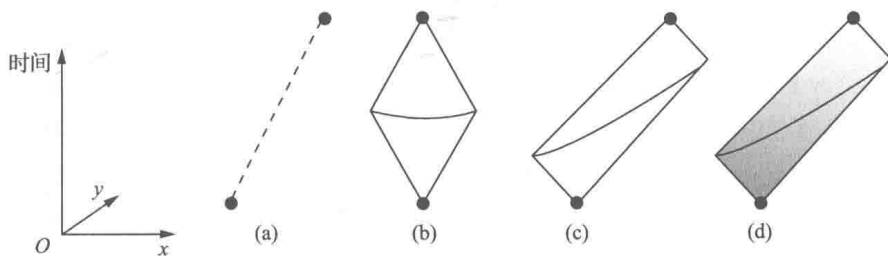


图 1.3 定向移动的时间地理概念(Winter and Yin, 2010)

(a)线性内插;(b)直立时空棱柱体;(c)斜时空棱柱体;(d)概率时空棱柱体

在顾及行驶速度条件下的时空棱柱体,一方面已映射到交通网络空间[图 1.4(a)],棱柱体则可简化为纵剖面(Miller,1991;Bart and Walied, 2009;戚铭尧等,2010);另一方面已映射到城市空间(Miller and Bridwell, 2009;方志祥等,2010;Yin et al., 2013),棱柱体则转变为不规则的形态(图 1.4b)。GIS 也实现了时间地理(邵黎霞和何宗宜,2007),以分析和可视化个体出行活动及其长期行为模式(李雄等,2009)。然而,但到目前为止仍停留在对这些时空体的定性建模和分析中(柴彦威和赵莹,2009)。

基本的定性问题是简单的(Winter and Yin, 2010):移动对象 A 在随后时间 t 所在的位置? 这个问题的回答,仅仅需要计算时空体在 t 的底面。由此派生的多移动对象的定性问题,如 A 能否与移动对象 B 相遇[图 1.2(b)],或者 A 能否到达静止的移动对象 C 的