

一种面向 Stop/Move 抽象的轨迹时空关系

向隆刚¹ 龚健雅¹ 吴涛² 李文海³

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 中南大学地球科学与信息物理学院,湖南 长沙,410083

3 武汉大学计算机学院,湖北 武汉,430079

摘要:从轨迹 Stop/Move 模型出发,基于 Stop/Move 对象来分析轨迹之间复杂的时空关系。首先扩展 Stop/Move 模型,提出关联于地理空间要素的时空关联 Stop/Move 模型,在此基础上,以 Stop/Move 对象为分析粒度,分析 Stop/Move 对象在地理空间中的拓扑关系,提出轨迹主体相对于地理空间要素的时空模式,接着从 Stop-Stop、Stop-Move 和 Move-Move 三方面重点研究轨迹时空模式之间的关联关系,最后以两个典型检索请求为例讨论该模式在轨迹时空关系分析方面的应用。

关键词:轨迹; Stop/Move; 时空关联; 拓扑关系; 时空模式

中图分类号:P208

文献标志码:A

随着定位技术、通讯技术和移动设备的不断发展与成熟,特别是 GPS (Global Positioning System, GPS)接收设备在小型化和商用化方面的持续进步,获取关于移动对象的连续定位数据不再是一件困难的事情。相关行业目前已经收集了海量的轨迹数据,规模与日俱增。轨迹数据蕴含了丰富的信息与知识,可以应用到社交网络^[1]、位置服务^[2]、交通监控^[3]、出行分析^[4]和生态学研究^[5]等多个领域之中。

在轨迹时空关系分析方面,计算机领域的有关专家开展了大量研究工作,但多侧重于索引与检索技术^[6-7];空间信息领域的研究则主要集中在轨迹主体的时空拓扑关系分析方面,即将轨迹主体视作移动地理对象,讨论其时空拓扑关系^[8-9]。

轨迹通常采用时空点序列模型来描述^[10],虽然结构简单,但较为直白,难以使人理解其背后隐藏的信息与知识。为此,Spaccapietra 等提出了基于 Stop/Move 抽象的轨迹概念模型,即将轨迹抽象成 Stop/Move 对象序列^[11],如图 1 所示。Stop/Move 概念模型从面向对象角度建模描述轨迹数据,易于集成语义标注信息,利于开展分析和挖掘工作,是当前轨迹数据分析的研究热点之一^[12-14]。

本文以轨迹 Stop/Move 模型为出发点,通过



图 1 轨迹的 Stop/Move 概念模型

Fig. 1 Stop/Move Conceptual Model for Trajectory

分析轨迹时空模式来研究轨迹之间复杂的时空关系。同已有研究相比,首先,分析目标是轨迹主体在移动过程中形成的时空点序列,并不关心轨迹主体具体的地理空间形态;其次,分析粒度选定为 Stop/Move 对象,而不是整条轨迹。在 Stop/Move 概念模型的基础之上,通过关联地理空间要素,提出轨迹的时空关联 Stop/Move 模型;然后,在分析 Stop/Move 对象间基本空间拓扑关系时,提出轨迹主体相对于地理空间要素的时空模式;同时针对多条轨迹,分析其相对于同一地理空间要素时,时空模式之间的关联关系;最后,以两个典型检索请求为例,讨论本文工作在轨迹时空关系分析方面的应用。

收稿日期:2014-04-07

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41001296, 60903035);国家 863 计划资助项目(2012AA121401, 21012AA12A405)。

第一作者:向隆刚,副教授,主要从事轨迹数据处理分析与虚拟地球技术研究。E-mail: geoxlg@whu.edu.cn

1 时空关联 Stop/Move 模型

轨迹是对象有目的的移动,由时空点序列构成,定义如下。

定义 1 轨迹 $Traj = (tid, \langle p_0, p_1, \dots, p_N \rangle)$, 其中, $p_i = (x_i, y_i, t_i)$, $0 \leq i \leq N$, 且 $\forall i < j$, 有 $t_i < t_j$ 。

tid 是轨迹的唯一标识; $p_i = (x_i, y_i, t_i)$ 是构成轨迹的一个时空点, 其中 x_i 和 y_i 是二维欧式空间中的坐标值, t_i 是时间全序轴上的点值, 均来自于实数域; p_0 和 p_N 是两个特殊时空点, 即开始点和结束点, 分别由 Begin 和 End 标识。

停留点, 即 Stop, 是轨迹点序列中的连续子序列, 定义如下。

定义 2 停留点 $Stop = (tid, \langle p_s, p_{s+1}, \dots, p_e \rangle, poid)$, 其中, $0 < s < e < N$, 并满足下述两个条件: ① 原地静止或在小范围空间内缓慢移动, 并且持续足够的时间; ② 关联地理空间点要素, 由 $poid$ 标识。

给定 Stop 对象 S , 根据定义 1, $S.p_s.t_s$ 和 $S.p_e.t_e$ 分别表示 S 的开始时刻和结束时刻, 下同。Stop 是一个应用相关的概念, 举例来说, 有些停留或者持续很短时间(如临时下车买水), 或者不在感兴趣域(如在应急道临时停车), 均不形成 Stop。

两个相邻的 Stop 形成一个移动段, 即 Move, 可以是自由移动(如动物), 也可以是受限移动(如车辆), 定义如下。

定义 3 移动段 $Move = (tid, \langle e_i, e_j \rangle, (t_p, poid)^*, (t_s, t_e, loid)^*)$, 其中, $e_i \neq e_j$; e_i 可以是 Begin 或 Stop; e_j 可以是 Stop 或 End; $(t_p, poid)$ 表示 Move 对象在 t_p 时刻经过地理空间点要素, 由 $poid$ 标识; $(t_s, t_e, loid)$ 表示 Move 对象在 $[t_s, t_e]$ 时段内通过地理空间线要素, 由 $loid$ 标识; * 表示 0 个或多个。

根据上述讨论, 轨迹的时空关联 Stop/Move 模型即由关联于地理空间要素的 Stop/Move 对象序列构成, 定义如下。

定义 4 时空关联 Stop/Move 模型 $STSM_{TM} = (tid, \langle B, \langle M_0, (S_i, M_i)^* \rangle, E \rangle)$, 其中, B, M, S 和 E 分别表示 Begin、Move、Stop 和 End。

轨迹的时空关联 Stop/Move 模型进一步发展了 Spaccapietra 提出的 Stop/Move 概念模型, 将轨迹的点序列抽象为 Stop/Move 对象序列, 同

地理空间要素关联, 并含语义信息。由定义可知, 时空关联 Stop/Move 模型包含一个 Begin、一个 End 和至少一个 Move, 还可能有多 Stop-Move 序列, 并且在 Stop-Move 序列中, Stop 和 Move 在空间和时间上都是相接的。

2 Stop/Move 对象空间拓扑关系

由时空关联 Stop/Move 模型可知, 轨迹由 Stop/Move 对象序列构成, 因此, 轨迹空间拓扑关系可由 Stop/Move 对象拓扑空间关系来承载和表现。

当两 Stop/Move 对象在生命周期内和地理空间中始终是相离关系时, 其时空关系将退化成纯时间关系, 可借用时间拓扑方面的研究成果来分析 Stop/Move 对象的发生顺序关系^[15-16]。

在地理空间中, Stop 对象表现为点, Move 对象表现为线。需要指出的是, Move 对象始于 Begin 或 Stop, 终于 End 或 Stop, 其生命周期是一个开区间, 故一个 Move 对象在地理空间中的投影是一条没有端点的线。据此, 两 Stop/Move 对象之间存在 4 种基本空间拓扑关系, 如图 2 所示, 分别是 Equal(图 2(a))、Touch(图 2(b))、Intersect(图 2(c)) 和 Overlap(图 2(d))。

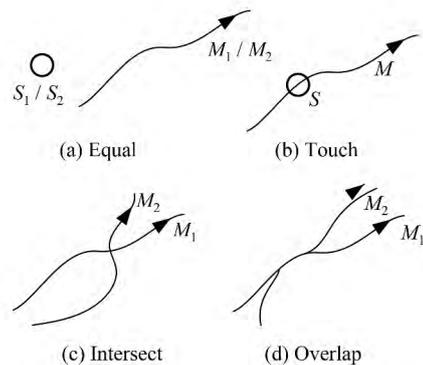


图 2 Stop/Move 对象基本空间拓扑关系
Fig. 2 Basic Topological Relationships Between Stop/Move Objects

Stop 和 Stop 之间存在 Equal 关系, Stop 和 Move 之间存在 Touch 关系, 而 Move 和 Move 之间存在 Equal、Intersect 和 Overlap 空间拓扑关系外, 还存在复杂的组合空间拓扑关系, 具体可参见郭庆胜关于线-线空间拓扑关系的论述^[17]。

3 轨迹时空模式

两 Stop/Move 对象发生基本空间拓扑关系

时,在地理空间中的交集表现为点或者线。虽然轨迹空间拓扑关系的形成不依赖于任何地理空间要素,但本文从实际应用角度出发,仅关注那些同地理空间要素关联的 Stop/Move 对象空间拓扑关系。轨迹时空模式即指单条轨迹在移动过程中相对于地理空间要素的时空关系,包括停留于点要素(图 2(a)和(b))、经过点要素(图 2(b)和(c))和通过线要素(图 2(a)和(d))三类,具体描述如下。

当移动目标 O 停留于地理空间点要素 P 并形成 Stop 对象 S 时, O 在其生命周期内将发生 5 种相对于 P 的时空模式,如图 1 所示,定义如下: ① 接近(Approaching, 简记为 ap,下同), O 在地理空间上与 P 相离,并随时间逐步接近,此时 S 未形成,即 $O.time < S.p_s.t_s$; ② 抵达(Arrival, ar), O 在地理空间与 P 重合,此时 S 刚生成,即 $O.time = S.p_s.t_s$; ③ 停留(Staying, st), O 在地理空间与 P 重合,并保持静止状态,此时 S 处于其生命周期内,但不包括开始时刻和终止时刻,下同,即 $S.p_s.t_s < O.time < S.p_e.t_e$; ④ 启程(Departure, dt), O 在地理空间与 P 重合,此时 S 即将消失,即 $O.time = S.p_e.t_e$; ⑤ 离开(Leaving, lv), O 在地理空间上与 P 相离,并随时间逐步远离,此时 S 已消失,即 $O.time > S.p_e.t_e$ 。由定义易知,抵达和启程属于时刻概念,而接近、停留和离开属于时段概念。

当移动目标 O 经过地理空间点要素 P 时, O 将借由相应 Move 对象 M 与 P 有 3 种可能的时空模式,即接近、经过(Pass, ps)和离开,其中,接近和离开的语义同上。显然,经过属于时刻概念, O 此刻在地理空间中与 P 相接。

当移动目标 O 通过地理空间线要素 L 时, O 将借由相应 Move 对象 M 与 L 有接近、抵达、穿行(Crossing, cs)、启程和离开 5 种时空模式,其中,接近、抵达、启程和离开的语义同上。穿行属于时段

概念,在地理空间中, O 在此时段内包含于 L 。

4 轨迹时空关系

轨迹之间存在复杂的时空关系,本节将基于轨迹时空模式,分别从 Stop-Stop、Stop-Move 和 Move-Move 三个方面来分析轨迹时空关系。

4.1 Stop-Stop 时空关系

当两个不同的移动目标 O_1 和 O_2 在移动过程中分别停留于地理空间点 P ,并形成 Stop 对象 S_1 和 S_2 时, O_1 和 O_2 将分别借由 S_1 和 S_2 发生相对于 P 的时空关系,即 Stop-Stop 时空关系。

为了分析 Stop-Stop 时空关系,我们选择其中一个 Stop 对象作为参照基准,设为 S_1 ,将其生命周期划分为三部分,即 $\{S_1.p_s.t_s, (S_1.p_s.t_s, S_1.p_e.t_e), S_1.p_e.t_e\}$,考察另外一个 Stop 对象在这三部分时间上的时空模式,具体如下: ① 在 S_1 形成时刻,即 $O_1.time = S_1.p_s.t_s$,此时 O_1 抵达 P , S_2 与 S_1 之间存在 5 种时空关系,见图 3(a)(Θ 为时空关系符号,下同); ② 在 S_1 消失时刻,即 $O_1.time = S_1.p_e.t_e$,此时 O_1 即将离开 P , S_2 与 S_1 间存在 5 种时空关系,见图 3(c); ③ 当 S_1 处于生命周期内,即 $S_1.p_s.t_s < O_1.time < S_1.p_e.t_e$,此时 O_1 停留于 P , S_2 与 S_1 之间存在 6 种时空关系,由于 $(S_1.p_s.t_s, S_1.p_e.t_e)$ 是一个开区间,其中的 $st\Theta ap$ 和 $st\Theta lv$ 可分别由图 3(c)的 $dt\Theta ap$ 和图 3(a)的 $ar\Theta lv$ 来表示,因而,在图 3(b)中仅标出 4 种时空关系。在表 1 中,我们进一步解释了图 3 所示 14 种 Stop-Stop 时空关系的语义,并给出了相应的发生条件。发生条件采用四元组 $(S_1.p_s.t_s \nabla S_2.p_s.t_s, S_1.p_s.t_s \nabla S_2.p_e.t_e, S_1.p_e.t_e \nabla S_2.p_s.t_s, S_1.p_e.t_e \nabla S_2.p_e.t_e)$ 来表示,其中, $\nabla \{<, =, >\}$, * 表示可任取其中一种,下同。

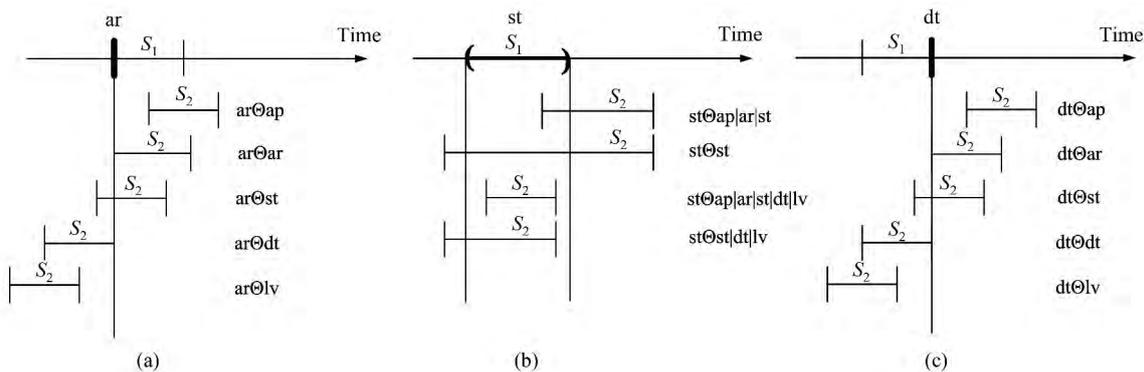


图 3 14 种 Stop-Stop 时空关系图示

Fig. 3 14 Spatio-temporal Relationships of Stop-Stop

表 1 14 种 Stop-Stop 时空关系注解

Tab. 1 Semantic Annotation for 14 Stop-Stop Spatio-Temporal Relationships

序号	时空关系	发生条件	语义解释
1	ar@ap	($<, <, *, *$)	在 O_1 抵达 P 时刻, O_2 处于接近 P 状态
2	ar@ar	($=, <, >, *$)	O_1 与 O_2 同时抵达 P
3	ar@st	($>, <, >, *$)	在 O_1 抵达 P 时刻, O_2 已停留于 P
4	ar@dt	($>, =, >, >$)	在 O_1 抵达 P 时刻, O_2 处于启程离开 P 时刻
5	ar@lv	($>, >, >, >$)	在 O_1 抵达 P 时刻, O_2 已离开 P
6	st@ap ar st	($<, <, >, <$)	在 O_1 停留于 P 期间, O_2 完成接近和到达动作, 并停留于 P
7	st@st	($>, <, >, <$)	在 O_1 停留于 P 期间, O_2 停留于 P
8	st@ap ar st dt lv	($<, <, >, >$)	在 O_1 停留于 P 期间, O_2 完成接近、到达、停留和启程动作, 并离开 P
9	st@st dt lv	($>, <, >, >$)	在 O_1 停留于 P 期间, O_2 完成停留和启程动作, 并离开 P
10	dt@ap	($<, <, <, <$)	在 O_1 启程离开 P 时刻, O_2 处于接近 P 状态
11	dt@ar	($<, <, =, <$)	在 O_1 启程离开 P 时刻, O_2 恰好抵达 P
12	dt@st	($*, <, >, <$)	在 O_1 启程离开 P 时刻, O_2 停留于 P
13	dt@dt	($*, <, >, =$)	O_1 和 O_2 同时启程离开 P
14	dt@lv	($*, *, >, >$)	在 O_1 启程离开 P 时刻, O_2 已离开 P

4.2 Stop-Move 时空关系

针对同一地理空间点 P , 当移动目标 O_1 停留 (形成 Stop 对象 S) 而移动目标 O_2 经过 (形成 Move 对象 M) 时, 移动目标 O_1 和 O_2 借由 S 与 M 发生相对于 P 的时空关系, 即 Stop-Move 时空关系。

首先以 M 为参照基准来分析 Stop-Move 时空关系。考虑到 Move 的生命周期是一个开区间, 其左端是 Begin 或 Stop 对象的消失点, 右端是 End 或 Stop 对象的形成点, 只需针对 Move 的经过 P 的时刻 t_p 展开分析, 共得出 5 种时空关系, 如图 4 (a) 所示。接着以 S 参照基准来分析 Stop-Move 时空关系, 结果如图 4 (b) 所示。显而易见, 图 4 (a) 和图 4 (b) 给出的时空关系是等价的, 因此, Stop 和 Move 对象间共存在 5 种时空关系。

在表 2 中, 我们进一步解释了图 4 (a) 所示的 5 种 Stop-Move 时空关系的语义, 并给出了相应的发生条件。发生条件采用二元组 $(M, t_p \nabla S, p_s, t_s, M, t_p \nabla S, p_e, t_e)$ 来表示。

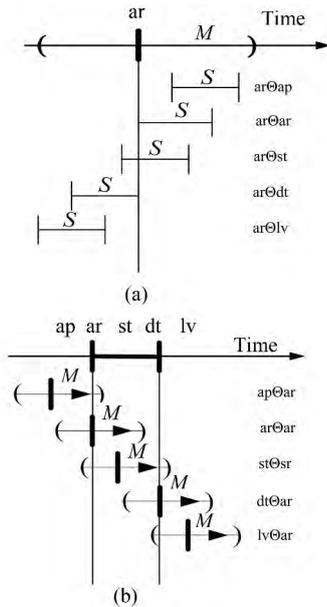


图 4 5 种 Stop-Move 时空关系图示
Fig. 4 Five Spatio-Temporal Relationships Between Stop-Move

表 2 五种 Stop-Move 时空关系注解

Tab. 2 Semantic Annotation for 5 Stop-Move Spatio-temporal Relationships

序号	时空关系	发生条件	语义解释
1	ps@ap	($<, <$)	在 O_1 经过 P 时刻, O_2 处于接近 P 状态
2	ps@ar	($=, <$)	在 O_1 经过 P 时刻, O_2 抵达 P
3	ps@st	($>, <$)	在 O_1 经过 P 时刻, O_2 已停留于 P
4	ps@dt	($>, =$)	在 O_1 经过 P 时刻, O_2 处于启程离开 P 时刻
5	ps@lv	($>, >$)	在 O_1 经过 P 时刻, O_2 已离开 P

4.3 Move-Move 时空关系

较之 Stop-Stop 和 Stop-Move, Move 对象间存在更为复杂多样的时空关系。本文仅考虑基本空间拓扑关系, 即针对相交于点 (图 2 (c)) 或相叠于线段 (图 2 (d)) 的两种情形来讨论 Move 对象之间的时空关系。

点相交型 Move-Move 时空关系比较简单, 通过分析比较其经过空间相交点的时刻, 易知共有 ps@ap, ps@ps 和 ps@dt 3 种时空关系, 其语义关系如表 3 所示。发生条件采用一元组 $(M_1, t_p \nabla M_2, t_p)$ 来表示, 其中, M_1 和 M_2 表示两 Move 对象, t_p 是 Move 对象经过相交点的时刻。

表3 3种点相交型 Move-Move 时空关系注解

Tab. 3 Semantic Annotation for 3 Point-Intersected Move-Move Spatio-Temporal Relationships

序号	时空关系	发生条件	语义解释
1	ps@ap	(<)	在 M_1 经过空间相交点时刻, M_2 处于接近空间相交点状态
2	ps@ps	(=)	M_1 和 M_2 同时经过空间相交点
3	ps@dt	(>)	在 M_1 经过空间相交点时刻, M_2 处于离开空间相交点状态

线段相叠型 Move-Move 时空关系指两移动目标在通过相叠线段时发生的时空关系。显然, Move 对象相对于线段的时空模式和 Stop 对象相对于点的时空模式是类似的, 其中, 穿行相当于停留。因此, 完全可借用 Stop-Stop 时空关系分析方法来讨论线段相叠型 Move-Move 时空关系。

线段相叠型 Move-Move 时空关系易发生于沿路网移动的轨迹之间。对于自由移动轨迹, 由于发生概率偏小且难以计算, 其研究意义不大。为此, 可将线段扩展成矩形区域, 即讨论两移动目标在穿越矩形时发生的时空关系, 即矩形穿越型 Move-Move 时空关系, 如图 5 所示。除了语义解释不同外, Move 对象基于线段相叠和矩形穿越所得出的时空关系类型是相同的, 并且, 线段相叠型可看作是矩形穿越型的一种特殊情形。

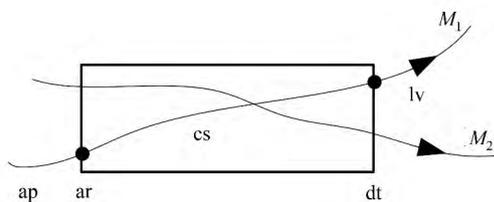


图5 矩形穿越型时空模式图示

Fig. 5 Spatio-Temporal Pattern for Rectangle-crossing

5 应用讨论

依据轨迹时空关联 Stop/Move 模型及其时空关系描述, 我们设计了相应的关系模式, 如图 6 所示。其中, Trajectory 表用于存储点序列数据, StopMove 表用于记录 Stop/Move 对象, Association 用于表达停留、经过和穿行等时空模式。本关系模式仅是一种示例性的简化设计, 实际应用时应根据需要进行修改和扩展。

构建时空关联 Stop/Move 模型的关系模式时, 首先从轨迹中提取出 Stop/Move 对象, 然后借助空间连接方法, 将其与地理空间要素关联。空间连接方法方面有比较成熟的算法如文献[18]中所提方法, 而 Stop 对象提取方面则需要依据数据情况采用相应方法^[19-20]: 检索时间间隔超过阈值的相邻时空点, 或者搜索空间邻近且持续时间

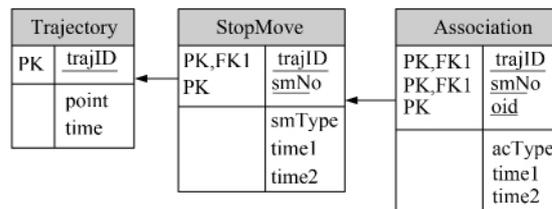


图6 时空关联 Stop-Move 模型的关系模式

Fig. 6 Relational Schema for Spatio-Temporal Association Stop/Move Model

超过阈值的最长点序列。虽然关系模式的构建过程并不简单, 但是一旦构建完毕, 即可持续用于轨迹时空关系的查询分析。

下面将基于图 6 所示的关系模式, 通过两条典型检索请求来展示本文工作在轨迹时空关系分析方面的应用。

查询 1 找出同时到达 C 地并停留的所有车辆。

查询 2 找出当游客 X 在访问 D 地期间, 所有经过该地的车辆。

若基于点序列组织模式查询, 必须首先执行代价昂贵的空间连接操作, 然后分析事件发生的时间关系。其查询处理过程非常费力耗时, 且每查询一次都须重复该流程。

依据图 6, 则能够将上述 2 条检索请求表达为纯 SQL 语句, 并交由关系数据库的 SQL 引擎来查询响应, 不必费力定制轨迹分析算法, 只需使用业已成熟的 SQL 技术, 即可处理关于轨迹时空关系的查询与分析。

对于查询 1, 只需检索所有停留于 C, 且具有相同抵达时刻的 Stop 对象, 并返回拥有这些 Stop 对象的轨迹集合即可, 其 SQL 语句如下(字段 acType=0 表示停留语义):

```
SELECT t1. trajID FROM Association t1,
Association t2 WHERE t1. time1 = t2. time1
AND t1. oid=D AND t1. acType=0 AND t2.
oid=D AND t2. acType=0
```

对于查询 2, 首先找出停留于 D 且属于 X 的 Stop 对象, 然后搜索经过 D, 且经过时刻在该 Stop 对象生命周期之内的 Move 对象, 并返回拥有这些 Move 对象的轨迹集合即可, 其 SQL 语句

如下(字段 acType=1 表示经过语义):

```
SELECT t1. trajID FROM Association t1,
Association t2 WHERE t1. time1 BETWEEN
t2. time1 AND t2. time2 AND t1. oid = D AND
t1. acType=1 AND t2. trajID=X AND t2. oid=
D t2. acTyp2=0
```

6 结 语

随着传感技术的进步,轨迹已经成为一种重要的空间数据类型。为了挖掘发生于轨迹主体之间复杂的时空关系,本文以构成轨迹的语义单元,即 Stop/Move 对象,而不是整条轨迹,作为分析轨迹时空关系的粒度。为此,扩展 Stop/Move 模型,提出关于轨迹的时空关联 Stop/Move 模型,以集成丰富的时空关联语义;从 Stop/Move 语义对象出发,分析 Stop/Move 对象空间拓扑关系,并提出轨迹主体相对于地理空间要素的时空模式,在此基础上重点推导了轨迹之间的三大类时空关系,即 Stop-Stop、Stop-Move 和 Move-Move 时空关系。本文提出的轨迹时空关联 Stop/Move 模型及其时空关系描述,不仅适用于建模轨迹数据及其时空关系,而且能够回答关于轨迹时空关系的查询分析请求。

参 考 文 献

- [1] Zheng V W, Zheng Y, Xie X, et al. Towards Mobile Intelligence; Learning from GPS History for Collaborative Recommendation[J]. *Artificial Intelligence*, 2012, 184(1): 17-37
- [2] Yuan J, Zheng Y, Xie X, et al. T-drive: Enhancing Driving Directions with Taxi Drivers' Intelligence [J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2013, 25(1): 220-232
- [3] Castro P S, Zhang D, Li S. Urban Traffic Modeling and Prediction Using Large Scale Taxi GPS Traces[C]. The 10th International Conference of Pervasive Computation, Newcastle, 2012
- [4] Kaltenbrunner A, Meza R, Grivolla J, et al. Urban Cycles and Mobility Patterns; Exploring and Predicting Trends in a Bicycle-based Public Transport System[J]. *Pervasive and Mobile Computing (Natural Science)*, 2010, 6(4): 455-466
- [5] Li Z, Han J, Ji M, et al. MoveMine: Mining Moving Object Data for Discovery of Animal Movement Patterns[J]. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2011, 2(4): 111-146
- [6] Hadjielefthriou M, Kollios G, Bakalov P, et al. Complex Spatio-temporal Pattern Queries[C]. The 31st VLDB Conference, Trondheim, 2005
- [7] Sakr M A, Guting R H. Spation Temporal Pattern Queries[J]. *Geoinformatics*, 2011, 15(3): 497-540
- [8] Gao Yong, Zhang Jing, Zhu Xiaoxi, et al. Spatio-temporal Topological Relation Modeling of Moving Object[J]. *Acta Scientiarum Natualium Universitatis Pekinensis*, 2007, 43(3): 468-473(高勇, 张晶, 朱晓禧, 等. 移动对象时空拓扑关系模型[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(4): 468-473)
- [9] Zeng Lianbin, Song Yingchun. Calculation and Search for the Spatio-temporal Topological Relation of Spatio-temporal Object[J]. *Journal of Hunan University (Natural Science)*, 2010, 37(4): 85-89(曾联斌, 宋迎春. 地理信息系统中时空拓扑关系计算表达[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(4): 85-89)
- [10] Guting R H, Bohlen M H, Erwig M, et al. A Foundation for Representing and Querying Moving Objects[J]. *ACM Transactions on Database System*, 2000, 25(1): 1-42
- [11] Spaccapietra S, Parent C, Damiani M L, et al. A Conceptual View on Trajectories [J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2008, 65(1): 126-146
- [12] Cao X, Cong G, Jensen C S. Mining Significant Semantic Locations from GPS Data[J]. *The VLDB Endowment*, 2010, 3(1-2): 1 009-1 020
- [13] Zhang Zhihua. Deriving Trip Information from GPS Trajectories[D]. Shanghai: East China Normal University, 2010(张治华. 基于 GPS 轨迹的出行信息提取研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010)
- [14] Yan Z, Chakraborty D, Parent C, et al. Semantic Trajectories: Mobility Data Computation and Annotation[J]. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2012, 9(4): 1-34
- [15] Allen J F. Towards a General Theory of Action and Time[J]. *Artificial Intelligence*, 1984, 23(2): 123-154
- [16] Shu Hong, Chen Jun, Du Daosheng, et al. Definition of Spatio-temporal Topological Relationships and Description of Temporal Topological Relationships[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1997, 26(4): 299-306(舒红, 陈军, 杜道生, 等. 时空拓扑关系定义及时空拓扑关系描述[J]. 测绘学报, 1997, 26(4): 299-306)
- [17] Guo Qingsheng, Liu Xiaoli, Chen Yujian. Combinational Reasoning of Topological Spatial Relations Between Two Lines[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan Universtiy*, 2006, 31(1):

- 39-42(郭庆胜, 刘小利, 陈宇箭. 线与线之间的空间拓扑关系组合推理[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(1): 39-42)
- [18] Li liyan, Qin Xiaolin. Processing and Optimization of Join Operation in Spatial Database[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003, 8A(7): 732-737(李立言, 秦小麟. 空间数据库中连接运算的处理与优化[J]. 中国图形图像学报, 2003, 8A(7): 732-737)
- [19] Krumm J, Horvitz E. Predestination: Inferring Destinations from Partial Trajectories[C]. The 8th International Conference of Ubiquitous Computation, CA, USA, 2006
- [20] Buchin M, Driemel A, Kreveld M, et al. Segmenting Trajectories: A Framework and Algorithms Using Spatio-temporal Criteria[J]. *Journal of Spatial Information Science*, 2011, 3: 33-63

Spatio-Temporal Trajectory Relationships Based on Stop/Move Abstraction

XIANG Longgang¹ GONG Jianya² WU Tao² LI Wenhai³

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China

3 School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Trajectory processing and analysis are research issues in several related fields, such as geography, and database design. Inspired from the Stop/Move abstraction model of a trajectory, this paper explores the spatio-temporal relationships among trajectories by analyzing the spatio-temporal trajectory patterns and their relationships. Firstly, a spatio-temporal association Stop/Move Model, based on the Stop/Move conceptual model, is introduced to link trajectory with rich geographical information; Next, trajectory spatio-temporal patterns, describing the trajectory movement of an agent with respect to given geographical feature, are presented; Finally, the relationships between the spatio-temporal patterns of trajectories are discussed: Stop-Stop, Stop-Move and Move-Move. The potential application capabilities of this paper on trajectory relationship queries and analysis are also demonstrated through two typical examples.

Key words: trajectory; stop/move; spatio-temporal association; topological relationship; spatio-temporal pattern

First author: XIANG Longgang, PhD, associate professor, specializes in the fields of trajectory data analysis and Virtual Globes technologies. E-mail: geoxlg@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41001296, 60903035; the National High Technology and Development Program of China (863 Program), Nos. 2012AA121401, 21012AA12A405.