

# 动态目标时空数据高效管理与分析研究

高 刃<sup>1</sup> 唐 龙<sup>2</sup> 伍爵博<sup>3</sup>

(武汉大学电信学院 武汉 430072)<sup>1</sup> (武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)<sup>2</sup>  
(深圳市安捷信联科技有限公司 深圳 518057)<sup>3</sup>

**摘 要** 动态目标具有空间性、时间性、多维性、海量性、复杂性和不确定性的特点,而传统的 DBMS 已不能有效地对其进行位置建模、语义表达、索引。首先,分析了动态目标数据建模、动态目标多时态性、动态目标多维性、动态目标分布性等 4 个方面存在的问题。然后,提出了一个对动态目标时空数据进行建模、管理与分析的总体框架,并对框架各关键技术进行了深入的研究。该框架采用三层体系结构,使得系统有较高的灵活性和扩展性。最后,基于该框架,给出了一个原型系统,并对其主要构成平台进行了分析与阐述。

**关键词** 时空数据,动态目标,空间信息系统

**中图法分类号** TP79 **文献标识码** A

## Research on Analysis and Management of Dynamic Target Spatio-temporal Data

GAO Ren<sup>1</sup> TANG Long<sup>2</sup> WU Jue-bo<sup>3</sup>

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)<sup>1</sup>

(State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)<sup>2</sup>

(Shenzhen Agelshine Co., LTD., Shenzhen 518057, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Dynamic target has a lot of characteristics such as spatiality, timeliness, multidimensionality, magnanimity, complexity and uncertainty, but the traditional DBMS can't provide an effective way for its position modeling, semantic expression and index. In order to solve this problem, this paper presented a general framework to model, analyzed and managed the dynamic target spatio-temporal data by analyzing the dynamic target. This framework uses three-layer structure, insuring the system with high flexibility and expansibility. Finally, a prototype system based on the framework was given, and the main component of platform were analyzed and expounded.

**Keywords** Spatio-temporal data, Dynamic objective, Space information system

## 1 引言

随着高精度无线网络定位技术逐渐走向成熟,空间信息系统已从对静态对象管理转向对动态目标(如人、车、移动电话等)数据建模和分布式管理,并广泛地应用于基于位置的服务(LBS)、智能交通系统(ITS)、陆地、海洋及航空航天跟踪与导航、灾害紧急救援、地震发生时地震区域的移动电话服务范围的扩大、现代物流跟踪与管理、动态目标的建模与仿真等领域与方面,具有广泛的社会效益和产业意义。因此,世界各发达国家都在积极实施面向动态目标管理的信息基础设施的建设,并将其作为一项基本国策,制定了一系列战略发展计划。我国正在加快信息化进程,加强空间信息基础设施建设,实现空间信息产业化,这已成为一项重要的国家目标。动态目标的有效管理与应用是其中重要的组成部分之一。

动态目标(Dynamic Objects)这一概念,在计算机领域被称为移动对象或移动体(Moving Objects or Mobile Objects),在空间信息领域被定义为移动地物(Moving Features)<sup>[1]</sup>。不

同于静态目标(如建筑物等)或离散型变化目标(如森林、土地等),动态目标在现实世界中其位置不断地随时间而改变,具有其自身的特点,即空间性、时间性、多维性、海量性、复杂性和不确定性。自 20 世纪 90 年代末以来,动态目标的有效采集、存储、索引、查询、分析和利用成为相关领域的研究热点,并逐渐发展成为“空间信息学”的一个新的分支领域,但总的来看,目前还处在起步阶段,国际上尚没有一种成熟的商业化管理软件和应用系统能够满足动态目标的建模、管理与分析工作的要求。当前与动态目标相关的研究主要集中在以下几个方面:(1)时间演变的空间对象的建模与查询;(2)索引结构和存取方法设计;(3)数据类型和操作;(4)分布式计算;(5)不确定性;(6)执行框架和系统;(7)安全与隐私问题等。

动态目标数据建模、动态目标多时态性、多维性、分布性的表达是动态目标的研究与应用亟待解决的技术难点和瓶颈问题。本文针对这一现状,提出了一个动态目标时空数据高效管理与分析的框架,以获得对动态时空数据的全面分析与处理,拟从动态目标数据管理的理论与方法、系统开发的关键

到稿日期:2010-07-27 返修日期:2010-12-15 本文受国家科技支撑计划项目(2011BAH20B05)资助。

高 刃(1979—),男,博士,主要研究方向为 Ad-hoc 网络、认知无线网络等;唐 龙(1982—),男,博士,主要研究方向为空间数据库、认知无线网络等;伍爵博(1981—),男,博士,主要研究方向为数据挖掘、移动电子商务、软件工程等。

技术以及应用系统等多个层面和角度展开分析,重点研究动态目标时空数据建模与管理理论、高效查询与数据分析方法。

## 2 动态目标问题分析

动态目标在现实世界中其位置不断地随时间而改变,具有其自身的特点,即空间性、时间性、多维性、海量性、复杂性和不确定性。针对动态目标的特性,本文从以下4个方面对动态目标存在的问题进行分析,主要包括动态目标的数据建模、动态目标的多时态性、动态目标的多维性和动态目标的分布。

### 2.1 动态目标数据建模

首先要区分两种时空对象:离散动态移动目标和连续动态移动目标。对于前者,例如土地等,可相对容易地在数据库中更新对象位置和范围的变化动向。这可以通过在相应的表格中使用独立的时间域和空间域来完成。时间域中时间间隔描述在何时空间值有效。用传统的时空数据模型来描述连续动态目标,会造成定位数据库的更新非常频繁等问题。最近人们提出“动态目标数据库”对动态目标应用进行研究。文献[2]引入动态特性的新概念虽然能表现动态特性,但它采用一种简单的函数形式来表现近似动态目标的轨迹。这样的位置与时间函数并不容易建立。这种动态特性只能表现未来相对较短时间间隔的移动轨迹,并不适合表现较长时间间隔的移动轨迹。

### 2.2 动态目标多时态性

为确保对动态目标的实时追踪,需要存储其当前位置信息。为了能查询动态目标的轨迹,还需要存储其历史位置信息。对于预测分析来说,需要描述动态目标在近未来的当前和预期定位。过去大多数数据模型的研究仅仅涉及动态目标的历史定位。文献[3-5]仅仅涉及当前定位<sup>[6]</sup>。文献[7]用运动向量描述某一点在近未来的当前和预期定位。文献[8]提出数据模型存储、索引与恢复动态目标的未来位置。但是,目前缺乏数据模型来表现过去、现在和未来的信息。

### 2.3 动态目标多维性

以往研究中,空间和时间数据模型与数据库系统的研究大多是相对独立的。空间数据库研究集中在支持建模和查询数据库中对象相关联的几何形态。空间路径方法在一些文献中已有发表<sup>[9]</sup>,这些文献涵盖多维目标的存储(例如点、线段、面、体积和超体积),但未考虑时间维的概念。另一方面,时间数据库研究关于现实世界的状态改变和在处理时间与有效时间之间的感应。文献[10]研究提供时间路径方法来索引时间数据变化,但却未考虑到空间维。

### 2.4 动态目标分布性

动态目标具有分布特性,即动态目标数据通常分布于不同的时间,不同的地点,不同的存储介质当中。动态目标分布式数据可以通过分布于多个计算机结点上的若干个数据库系统组成,可提供有效的存取手段来操纵这些结点上的子数据库。可视其为一个完整的数据管理方式,而实际上它是分布在地理分散的各个结点上。当然,分布在各个结点上的子数据库在逻辑上是相关的。目前,在已有文献中很少有关于从分布式数据管理的角度来考虑的对大量动态目标的管理。

## 3 动态目标时空数据高效管理总体框架

针对上面难点的分析,本文提出一个总体框架来建模、管

理与分析动态目标。图1给出了一个三层架构的系统架构图,其中包括:

数据层。它包括动态目标数据预处理和空间数据预处理两个方面,用于采集动态目标以及动态目标所存在的空间环境数据,对动态目标与空间数据进行编码并存储到数据库中。

模型层。开发基于Java的动态目标时空对象模型库,其中包括动态目标时空模式、动态目标数据压缩模式、动态目标数据高效索引模式、动态目标查询与分析结果的可视化模型。

应用层。应用层负责将用户的请求转换为基本操作和特定服务,包括微地理信息系统平台的建立、动态目标数据查询、动态目标数据分析以及动态目标数据查询与分析结果的可视化。微地理信息系统的建立包括用户感兴趣的地图数据信息的显示、地图范围选择等地理信息系统的基本功能。动态目标数据查询负责各种高效的查询,如多态查询、基于目标、空间、时间、组合等查询。查询的结果以可视化的空间、时间特性展示给用户,也可以提供给用户进一步地分析其运动模式与行为分析。动态目标数据分析可帮助用户进行各种数据分析等。移动可视化是用来追踪和可视化显示动态目标在整个时间段上的移动行为。

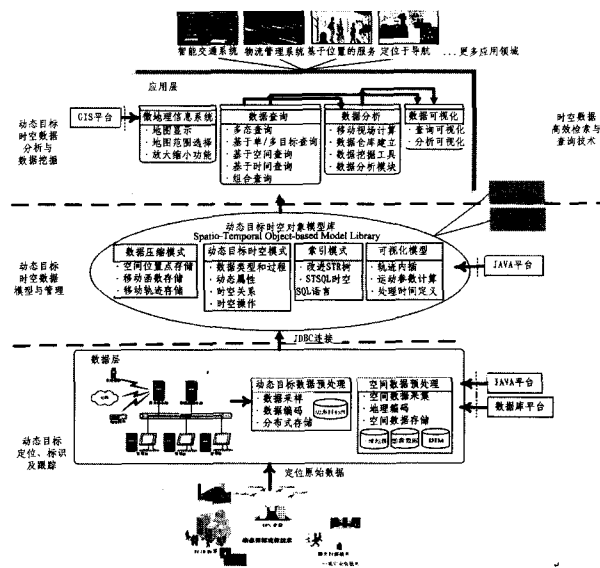


图1 总体框架

通过动态目标时空数据建模、动态目标时空信息自适应采样、动态目标时空数据高效压缩存储、动态目标时空数据索引与基于目标、时间、位置的动态目标数据的高效查询,以及动态目标数据库中知识的提取和挖掘等方法,实现动态目标数据建模、多时态性、多维性和分布性。使用动态目标时空信息自适应采样算法,设计和开发动态目标时空对象模型库,建立数据仓库、动态目标数据分析中的数据挖掘工具以及动态目标数据查询、数据分析与数据可视化等功能。

## 4 关键技术分析

### 4.1 动态目标定位、标识及跟踪

本文所提出的系统框架采用RFID来对动态目标进行标识,并且采用GPS、室内定位技术等方法来获取动态的相关位置信息,以方便用户的查询和跟踪,并且预测动态目标的运动行为。动态目标的识别主要采用条形码和RFID技术。对于较大目标的识别采用RFID技术,通过部署在其上的标签

以及设置的读卡器来对动态目标进行识别,同时,针对较为贵重的物品也将贴有电子标签来进行识别。针对较小的物品,将采用条形码进行识别。对于动态目标的定位,在室外主要采用 GPS 定位技术。由动态目标主动返回其位置信息至控制中心。动态目标返回的信息除了其位置信息外,还需要有其他的消息,比如速度矢量、运动状态、当前环境信息等。在无 GPS 信号地区,需要采用自适应的插值算法来获得其位置信息。在大范围的室内区域(比如仓库、厂房等),采用辅助的室内定位手段,比如基于 WLAN,RFID 等的定位技术。动态目标的室内定位主要采用基于 WLAN 以及 RFID 的手段。对于大型仓库以及物流中心,通过部署 WLAN 定位系统,能够定位到 3 米的范围内。采用有源 RFID 技术,能够定位到 5 米以内。这些定位手段主要基于信号强度,通过预采样获得关键位置点的信号强度。再通过传播模型计算整个室内空间的信号强度分布,从而实现精确定位。结合无源 RFID 标签技术和 WLAN 网络定位技术,实现室内物品的跟踪以及定位。

动态目标当前位置信息的反馈将采用无线数据通信技术(GP-RS/TD-SCDMA/CDMA 等),因此动态目标的识别与位置反馈模块将由图 2 所示的几个部分组成。

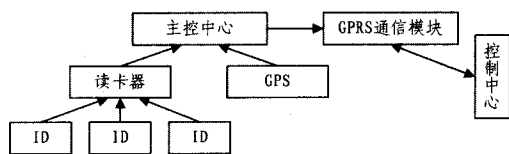


图 2 动态目标定位、标识及跟踪

动态目标返回的信息,经动态目标数据模型处理后存入数据库中。用户在追踪查询某个动态目标时,将查询对象的识别码以及输入查询条件,数据库将返回动态目标的当前位置、运动轨迹以及预期的运动目的。时空数据库将负责按照识别标识对动态目标建立时空索引、提供查询语法并返回相关信息。查询结果将以图形界面的方式返回给用户,方便其跟踪以及预测。

#### 4.2 动态目标时空数据模型与管理

数据模型是信息系统的核心,它定义信息系统中对象的数据类型、关系、操作和维护数据库完整性的规则。一个完整的数据模型必须具备信息系统执行中数据查询及数据分析的能力。

在动态目标相关的实际应用中,动态目标作为一种随时间变化的空间对象,其位置不断地随时间的变化而连续地改变,因此空间和时间是动态目标两个内在的特性。在本文所提出的框架中采用基于对象的方法对动态目标及其行为进行建模。每个对象封装其空间维度、时间维度、静态属性特征、相应的行为操作以及动态对象与其它对象或环境的交互。

动态目标数据模型可定义为一个 4 元组,即:

$STDM = \langle \langle O, A, R, C(S, T) \rangle | O \hat{I} \text{对象}, A \hat{I} \text{属性}, R \hat{I} \text{关系}, C \hat{I} \text{行为}, S \hat{I} \text{空间}, T \hat{I} \text{时间} \rangle$ , 这里:

对象 =  $\{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ , 是现实世界中动态目标的集合。

属性 =  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 描述动态目标的非空间属性。

关系 =  $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ , 表示动态目标类之间相互关联的关系类型。

行为 =  $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ , 描述动态目标的行为操作, 是对属性和关系的各种操作。

S 是动态目标所存在的现实世界空间。

T 是对动态目标的时间特征的描述, 表示动态目标创建、状态变化到最后消失的整个生命周期。

对于各种应用, 动态目标数据都可以从不同的角度去理解, 如从对象本身、对象属性、位置或时间上, 因此相应地对动态目标的管理和操纵可以基于这些对象本身、对象属性、位置或时间。基于以上定义, 我们提出一个统一的概念模型-动态目标时空模式(DOSTS, dynamic objects spatio-temporal schema), 它提供一个针对动态目标特征建模的基础抽象, 包括动态目标的空间性、时间性、属性以及它们之间的关系与操作, 特别地, 它定义了以下几个必要的方面:

支持表达随着时间而改变的空间数据的抽象数据类型和过程;

支持表达动态目标的动态属性;

支持动态目标之间的时空拓扑关系的表达;

支持查询处理中时空操作的最小操作集。

#### 4.3 时空数据高效检索与查询技术

##### (1) 改良的 STR 树

数据库中有大量动态目标, 在执行各种查询操作时, 应避免检查数据库中的每一个动态目标。从系统性能角度考虑, 需要开发更健壮的索引技术以及针对时空数据的所有可能查询的快速访问方法。在这个框架中采用改良的 STR 树, 如图 3 所示。

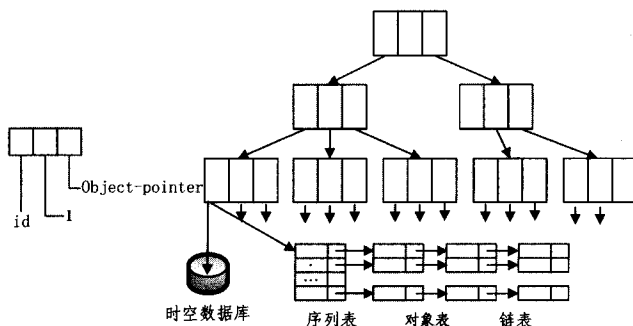


图 3 改良的 STR 树

改良 STR 树是一个叶节点由表(id, I, object-pointer)来组织的。其中 id 是一个指向实际时空数据的指针; I 是一个 3 维立方体, 它是空间对象和时间对象的最小集。object-pointer 是一个地址指针, 指向一个对象表。通过这种修改, 可以处理基于对象、时间、空间和组合等各种查询。如果用户提交空间查询、时间查询或时空查询时, 如“寻找在 Y 处的目标”或“寻找那些在 T 时 X 区出现的目标”, 搜索将从根目录开始, 按照 STR 树的搜索算法得到查询结果。如果用户提交特殊的查询, 如“寻找目标 X 的整个轨迹”, 在事先未知空间信息和时间信息时, 查询将从对象表开始。在对象表中, 首先得到序列表中的记录指针, 这个指针包括对象数据, 然后在链表中, 根据记录指针来获取在具体目标的实际 ST 表格中的所有地址记录。这个算法提高了 STR 树作为检索移动物体轨迹的效率, 使得动态目标轨迹查询变得可行而高效。

##### (2) 时空扩展 SQL 查询语言(STSQL)

结构化查询语言 SQL 是对数据库中数据进行查询的操

作语言,是标准的数据库查询语言。其基本结构为“SELECT-FROM-WHERE”,分别对应关系操作投影、笛卡尔积和选择。但是它主要是针对静态数据库而设计的语言,缺乏定义动态目标的抽象数据类型和时空间谓词的能力,因而不支持动态目标中的基于对象、时间、空间的各类查询,因此需要对 SQL 语言在空间上、时间上以及时空上进行扩展,使其可支持动态目标的基本查询功能。这里采用一种时空间扩展 SQL 查询语言(STSQL, Spatio-Temporal SQL)的设计与实现方法,其结构是:a)时空间数据类型扩展;b)时空间操作算子;c)嵌入式用户接口。

### (3) 动态目标查询处理

基于以上时空扩展 SQL 语言和嵌入式用户接口,开发以下 5 个基本数据库查询类型。

a)空间信息查询。按照空间操作的形式进行查询。由于查询没有指定时间信息,查询涵盖整个时间轴。

b)时间信息查询。包含至少一个时间操作而不包含空间操作的时间信息查询。它处理目标间的时间关系,除此之外,还要处理一个对象的有效时间。由于该类查询没有空间信息,因此查询涵盖整个空间。在该类型查询中,支持过去、现在与未来等多时态查询类型。

c)时空信息查询。该类查询返回在特定时间点的空间元素和值,或者是时空关系的有效时间。

d)对象查询。它提取了对象轨迹的时空相关信息,它返回一个特定对象在指定的时间或者空间范围内的轨迹。该类查询支持单目标以及多目标的查询类型。

e)组合查询。支持基于时间、空间和目标的混合信息查询。

## 4.4 动态目标时空数据分析与数据挖掘

通过基本查询操作,可以很快地获得动态目标的位置信息,并进行相应的运动状态检索。然而,实际应用中更进一步的面向应用的动态目标数据分析乃至决策支持更为人们所期待。动态目标有用的数据分析功能包括:①流量统计分析;②路径规划分析;③聚类分析;④运动模式分析;⑤趋势分类;⑥动态目标的异常点挖掘;⑦基于关联规则的发现;⑧比较分析;⑨特征挖掘分析;⑩分类分析。为实现以上动态目标数据分析功能,我们提出如图 4 所示的动态目标数据分析与数据挖掘开发框架。主要输入是数据库中的数据以及知识库中的知识和经验。数据仓库管理模块完成数据仓库的创建以及数据仓库中数据的综合、提取等各种操作,负责整个系统的运转。数据挖掘工具用于完成实际决策问题中的各种查询、多维数据分析和数据开采。知识发现模块控制并管理知识发现过程,将数据的输入和知识库中的信息用于驱动数据选择过程、知识发现引擎过程和发现的评价过程。人机交互模块通过自然语言处理和语义查询在应用部门和系统之间提供相互的集成界面。图中箭头方向为控制流。决策支持同数据仓库管理是密切联系的,用户发出决策请求命令后,通过数据挖掘工具触发数据仓库管理模块从数据仓库中获取与任务相关的数据。被选择的数据经过知识发现模块中的知识发现引擎抽取算法处理,生成辅助模式和关系。这些模式和关系被评价后,其中一些被认为感兴趣的数据将提供给应用部门应用。有些发现还可能加入到知识库中,以用于后继的知识发现和

知识评价。基于提出的基本结构框架,关键在于如何创建动态目标数据库,如何从动态目标数据库中发现知识以及如何向用户解释和表达知识。

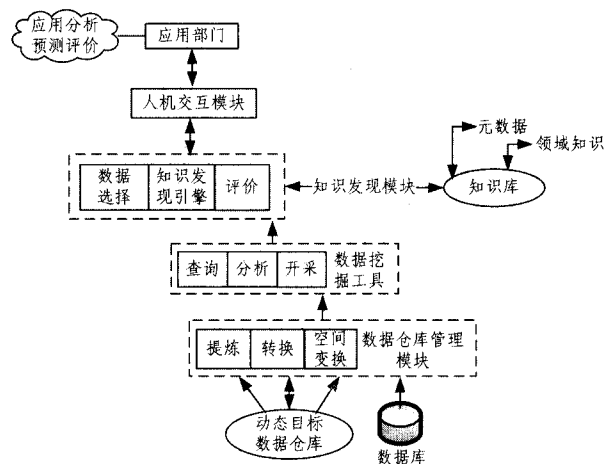


图 4 动态目标数据分析与数据挖掘开发框架

## 5 原型系统

基于传统的汽车物流系统,以本文提出的框架,设计和开发一个高效智能物流系统。该系统不仅包括汽车目标的定位与标识、汽车目标管理子系统、汽车目标索引子系统、位置更新子系统、地图生成及管理子系统、查询处理与分析子系统等,还能够提供流量统计分析、实时路径规划分析、聚类分析、运动模式分析、趋势分类、动态目标的异常点挖掘、基于关联规则的发现、比较分析、特征挖掘分析、分类分析等时空数据分析功能。该系统原理如图 5 所示。

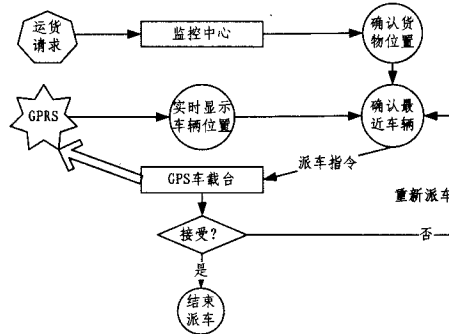


图 5 系统原理图

系统结构图如图 6 所示。

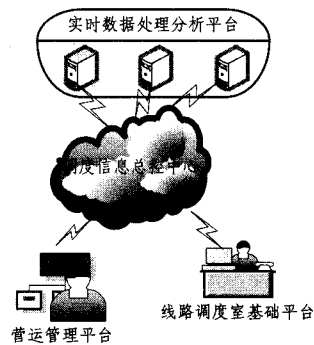


图 6 系统结构图

调度信息总控中心:物流管理平台是整个系统的最高端,是整个智能物流营运调度管理系统的的核心处理和调度管

理、营运管理中心,是整个系统的核心。其具有对全国的物流车辆进行实时监控调度管理,并对有关营运情况的考核和数据的集中管理的功能。总调度指挥中心主要由地理信息系统、监控管理系统、物流运营管理系统、大屏幕显示系统、数据库系统和通信系统等组成。

**营运管理平台:**通过 2M 数字电路等各种方式与总控制中心互联,在授权范围内对所辖车辆及业务进行管理,查看本部门或公司内部所管辖车辆的营运情况、计划数据、实际数据、各种报表等各种信息。

**线路调度室基础平台:**通过 ADSL 与总控制中心互联,主要承担对本车队车辆的监控工作。

**实时数据处理分析平台:**通过对调度信息总控中心的数据库系统中的数据进行分析,并结合采集到的实时数据,可以成功地实现流量统计分析、实时路径规划分析、动态目标的聚类、运动模式分析、动态目标的趋势分类、动态目标的异常点挖掘、基于约束的时空挖掘、分析与预测等功能。因此该平台是整个高效智能物流系统的智能分析核心。

通过这个高效智能物流系统平台,能科学地验证我们提出的各种动态目标模型与算法,为最终找到最佳的解决方案奠定基础。

**结束语** 目前我国在动态目标管理与分析方面的研究还处于起步阶段,从事这方面研究的人员还不是很多,理论与方法研究的内容基本上还是引进国外的东西多,自己创新的结果少,研究成果的推广应用也不广泛。本文对动态目标的相关研究进行了分析,提出了一个总体框架来建模、管理与分析动态目标,同时对框架进行了深入的分析,最后提出了一个原型系统。未来可在这个框架的基础上,在 GPS 和 RFID 等技术的支持下,丰富传统物流系统在数据分析上的功能,实现物流中动态目标的实时监控与远程信息交换,确保物流中对动

态目标高效、及时地查询和检索,突破传统物流管理模式,建立高效的物流管理与跟踪系统。

## 参考文献

- [1] [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=41445](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41445)
  - [2] Sistla A P, Wolfson O, Chamberlain S, et al. Modeling and querying moving objects[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Data Engineering (ICDE), Birmingham, UK, April, 1997; 422-432
  - [3] Beller A. Spatial/Temporal Events in a GIS[C]//Proceedings of GIS/LIS 91. Atlanta, Georgia, 1991
  - [4] Armstrong M P. Temporality in Spatial Databases[C]//Proceedings of GIS/LIS 88. San Antonio, Texas, November 1988
  - [5] Worboys M F. Object-Oriented Models of Spatiotemporal Information[C]//Proceedings of GIS/LIS 92. San Jose, California, November 1992
  - [6] Pitoura E, Samaras G. Locating objects in mobile computing [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2001, 13(4): 571-592
  - [7] Sistla A P, Wolfson O, Chamberlain S, et al. Querying the uncertain position of moving objects, Temporal databases, Research and Practice[C]//Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag, 1998; 310-337
  - [8] Chon H D. Storage and retrieval of moving objects[C]//LNCS. 2001; 173-184
  - [9] Gaede V, Günther O. Multidimensional access methods [J]. ACM Computing Surveys, 1998, 30(2): 170-231
  - [10] Betty S, Tsotras V J. A comparison of access methods for temporal data[J]. ACM Computing Survey, 1999, 31(2): 158-221
- 
- (上接第 160 页)
- 数值来定义信息流策略,描述了一个基于网格环境下的新的信息流模型,通过分析和证明可以看出,它是安全的、合理的,利用该模型可以较好地反映网格环境下的信息流动情况,这有利于网络安全环境下的信息流动描述。由于网格环境过于复杂,加之版面篇幅所限,本文所描述的信息流模型的应用实例将另文研究。
- ## 参考文献
- [1] Bell D E, Lapadula L J. Secure computer system; Mathematical foundation[R]. MTR-2527. Mitre Corp, Bedford, MA, 1973
  - [2] Biba K. Integrity Considerations for Secure Computing Systems [R]. MTR-3153. Mitre Corporation, Bedford, MA, 1975
  - [3] Denning D E. A lattice model of secure information flow[J]. Communications of the ACM, 1976, 19(5): 236-243
  - [4] Ravi S. Sandhu. Lattice-Based Access Control Model[J]. IEEE computer, 1993, 26(11): 9-19
  - [5] 刘益和,沈昌祥. 一个信息安全函数及应用模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(12): 2734-2738
  - [6] 李焕洲,刘益和,李华. 基于信任和安全等级的 P2P 信息流模型 [J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 2168-3170
  - [7] 靳楠. 网络安全认证关键技术研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2006
  - [8] Oo M P, Naing T T. Access Control System for Grid Security Infrastructure[C]//2007 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology-Workshops. 2007; 299-302
  - [9] 韩兵. 网格环境下的数据管理及安全问题研究[D]. 合肥:中国科技大学, 2006
  - [10] Huang Xiao-qin, et al. An Identity-Based Model for Grid Security Infrastructure[C]//ISSADS2005, LNCS3563. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005; 258-266
  - [11] Bivens H. Grid work flow[R]. Albuquerque; Sandia National Laboratory, 2001
  - [12] 周建涛,叶新铭. 网格工作流及其关键技术研究综述[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版, 2008, 39(5): 581-589
  - [13] 王芳. 网格环境下的信任机制研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2009; 52-53
  - [14] 都志辉,陈渝,刘鹏. 网格计算[M]. 北京:清华大学出版社, 2002
  - [15] The Globus Project [EB/OL]. <http://www.globus.org/>