

面向地理数据服务的空间数据集成关键技术研究^{*}

唐桂芬 廖巍 陈萃 景宁

(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

摘要 分析和比较了现有空间数据集成方法,指出面向地理数据服务的空间数据集成是目前构建空间数据集成系统最理想的方式;从查询应用的角度分析了面向地理数据服务的空间数据集成关键技术,总结了已有的研究成果,指出了空间数据集成技术当前研究的热点问题和进一步的研究方向。

关键词 地理数据服务,空间数据集成,语义互操作,渐进式合并查询,适应性查询处理

Research on Key Technologies of Geo-Data Services-oriented Spatial Data Integration

TANG Gui-Fen LIAO Wei CHEN Luo JING Ning

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract This paper analyses the existing methods for integrating spatial data and points out the spatial data integration oriented Geo-data services is the best one. The paper gives the key technologies for the geo-data services oriented spatial data integration system from the perspective of query application, and figures out the future directions for building a spatial data integration system with efficient query process performance.

Keywords Geo-data services, Spatial data integration, Semantic cooperation, Progressive combine query, Adaptive query process

Web 服务的突出优点使之适宜解决地理空间信息共享和互操作方面的矛盾^[1]。为此,国际标准化组织地理信息技术委员会(ISO/TC211)和开放地理信息联盟(OGC)开始致力于研究面向服务体系架构的在线地理空间信息服务技术与标准规范,形成了一系列的抽象规范与实现规范。目前,这些标准规范已得到广泛的支持,并成为事实上的业界标准。有统计显示,目前有超过 53% 的数据提供商使用 Web 服务发布数据^[2],调查表明这个比重还会继续增加。另外,Internet 上众多开源的地理数据服务发布软件(如 GeoServer^[3])使得地理数据服务的发布更加简便,加速推动了在线地理数据的服务化。

由于单个地理数据服务所提供的数据往往不完备,不能完全满足应用需求,因而面对急速增加的在线空间数据服务,却出现了“数据丰富,使用困难”的局面。人们迫切地需要一个面向地理数据服务的空间数据集成系统,提供统一的查询视图以及单点访问接口,帮助人们综合利用在线的地理数据。目前,面向地理数据服务的空间数据集成技术已经成为空间信息领域的研究热点^[1,4]。

1 空间数据集成的方法

空间数据集成技术经历 20 多年的发展,已经提出的空间数据集成方法包括^[1,5]:基于空间数据库的方法、基于 Mediator/Wrapper 结构的方法和面向地理数据服务的方法。

空间数据仓库是从空间数据源中抽取与应用相关的空间数据,并转换成统一的格式,存储在空间数据仓库中,用户查询是对空间数据仓库中的数据进行的。数据源数目不多时,该方法十分有效,并能够保证查询处理的性能。但对于跨行业的应用,数据的抽取与转化会变得很复杂,空间数据仓库的

方法存在诸多不便。

基于 Mediator/Wrapper 结构的方法与基于空间数据仓库的方法不同,它不集中存放空间数据,而是通过 Mediator/Wrapper 结构满足上层集成应用的需求。集成系统通过中介模式将空间数据源集成起来,真实的数据仍存储在局部空间数据源中。各数据源通过包装器(Wrapper)实现数据的转换,其底层数据特性对用户透明。用户依据中介模式提交查询请求。Mediator/Wrapper 结构解决了数据更新的问题,弥补了空间数据仓库方法的不足,因此该方法得到广泛的认同和深入的研究。

在以往的研究中,空间数据集成系统的集成对象主要是分布式空间数据文件和异构空间数据库。而在面向地理数据服务的空间数据集成系统中,其集成对象是分布于 Web 上符合 OGC 实现规范的地理数据服务。地理数据服务(GeoData services, GDS)是一种能够提供对地理空间数据集访问的 Web 服务^[6]。尽管与以往的集成对象相比,GDS 在数据的访问方法、查询接口和相应的模式等方面都存在很大的不同,但在结构上,面向 GDS 的空间数据集成仍然可以采用 Mediator/Wrapper 结构。

图 1 给出了传统 Mediator/Wrapper 方法和面向 GDS 的空间数据集成模式结构。图 1(a)表明传统 Mediator/Wrapper 方法实现空间数据集成需要 4 级模式结构^[7],即局部模式、成员模式、输出模式和集成模式。其中,局部模式表示局部数据源的概念模式;成员模式是数据源局部模式到一个公共数据模型的转换;输出模式描述了成员模式中与其他用户共享的一部分;集成模式是集成系统的全局视图。而在面向 GDS 的空间数据集成系统中,如图 1(b)所示,GDS 接口充当了 Wrapper 的角色,封装了输出模式、成员模式与局部模式

^{*} 国家自然科学基金项目(40601080)、教育部博士点基金项目(No. 20059998012)资助。唐桂芬 博士生,研究方向:空间数据集成技术和空间数据库技术;廖巍 博士生,研究方向:移动技术;陈萃 博士,副教授,研究方向:空间数据集成技术;景宁 博士,博士生导师,研究方向:GIS 与高级数据库技术。

之间的转换。同时,GML 成为通用的空间数据模型,有效解决了空间数据模式的异构性,SOAP/HTTP 的访问方式则实现了集成系统通信层的互操作。显然,GDS 简化了空间数据集成的模式结构,增强了集成的灵活性,任何按照标准规范发布的 GDS 都可以方便地成为空间数据集成系统的数据源。因此,面向 GDS 的空间数据集成是目前构建空间数据集成系统最理想的方式。

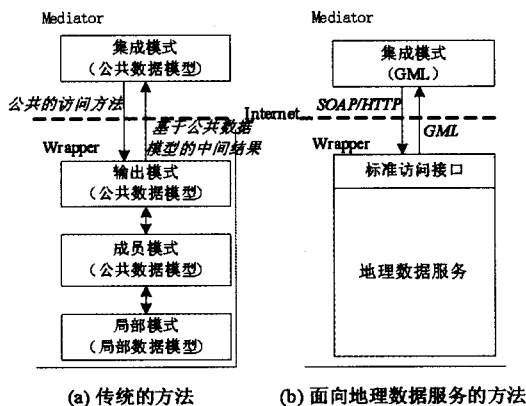


图1 空间数据集成模式结构

2 面向地理数据服务的空间数据集成关键技术

本节将从查询应用的角度分析面向地理数据服务的空间数据集成关键技术。

2.1 模式集成技术

模式集成就是为数据集成对象的概念模式集成为一个单一的集成模式,该模式为用户提供关于全体集成数据的统一逻辑视图,是用户构造查询请求的唯一依据。模式集成是数据集成领域经典的研究问题^[1]。文[8]将一个数据集成系统用一个三元组 $\langle I, S, M \rangle$ 来表达,其中:

- I 代表集成模式,由集成模式描述语言 L_I 来描述;
- S 代表数据源模式,由数据源模式描述语言 L_S 描述;
- M 是 I 和 S 之间的映射规则,由一组映射断言组成: $q_s \rightarrow q_i; q_i \rightarrow q_s$ 。

映射规则 M 保证了面向集成模式的查询 q_i 和面向数据源的查询 q_s 的查询能力一致。相应地,构建面向 GDS 的空间数据集成系统模式集成的主要任务是定义各地理数据服务的源模式和集成系统的集成模式,并构造其相应的模式映射规则,使面向集成模式构造的空间查询能够语义无损地映射到各源模式上。因此,如何得到高质量的 I, S 和 M 是模式集成的研究重点。

对 I 而言,它不是各数据源模式简单的“并”,而是要从语法和语义等层次上综合考虑,能够包含所有数据源模式且冗余最小。对于 S ,由于 GDS 封装了内部数据结构,因此 S 的构造方法与传统的数据库模式构建方法也不尽相同。而对于 M 来说,设计合适的模式分析、抽取方法与模式映射机制是关键。

考虑到空间数据往往按照一定的空间位置和属性层次的划分来组织,文[1]提出了一种基于分片技术的自动集成模式构建算法,其主要思想是:从 GDS 的能力(Capabilities)文档入手,构造 GDS 的源模式;根据空间数据水平分片以及垂直分片关系,采用关系运算合并各分片,从而得到集成模式;采用自顶向下的方法分析和比较模式变化,确立相关 GDS,从而建立集成模式到各 GDS 之间的映射。与传统的模式集成方法相比,这种集成模式的构建方法更加灵活、也更符合实际

应用需要、具有很强的可操作性。

2.2 集成查询语言

集成查询语言是数据集成系统的一个核心要素,与集成系统采用的公用数据模型紧密相关,不同的公用数据模型对应不同的集成查询语言。目前国内外学者已经提出了多种数据集成查询语言。对面向 GDS 的空间数据集成系统,目前已提出的查询语言有:GQuery^[9]和过滤编码^[10]。

考虑到 GDS 是采用 GML 与应用进行交互的,因此,可以把面向 GDS 的空间数据集成系统看作是一个动态变化的 GML 文档数据库,因此,文[11]提出了一种称为 GQuery 的空间数据集成查询语言,并应用于空间数据集成系统 VirGIS^[11]中。GQuery 是对 XQuery 的自然扩展。XQuery 是 W3C 组织提出的 XML 标准查询语言,适于各种 XML 数据的查询,不仅查询功能强大、灵活易用,同时还提供了扩展能力,但是 XQuery 不支持对 GML 文档的空间查询,对此,GQuery 利用 XQuery 的扩展能力,使用自定义函数表达空间操作,从而实现 GQuery 对 GML 的空间查询。

过滤编码是 OGC 提出的用于描述 GDS 查询的实现规范,使用过滤编码用户可以在对 GDS 的查询中表达属性选择、范围查询以及基本的拓扑查询等等。在面向服务的体系结构中,所有的资源都是服务,因此,文[1]在其设计的空间数据集成系统中就使用过滤编码来表达查询约束。

GQuery 不仅能够应用于空间数据集成系统,同时还能够应用于对一般 GML 文档的查询,适用面非常广、扩展性好,其不足在于:用户对空间数据集成系统的查询与对 GDS 查询描述不一致。比较而言,过滤编码就没有这样的缺点,但目前支持空间查询功能非常有限,如何扩展过滤编码使其支持更丰富的空间查询是未来的一个重要的研究方向。

2.3 语义互操作技术

GDS 屏蔽了底层空间数据源语法级的异构性,但是语义相异性这个问题依然存在。空间数据集成系统中语义冲突大致可以分为以下几类:1) 命名冲突。相同的地物具有不同的名称,例如,两个数据源分别使用“国防科大”,“科大”来表示国防科学技术大学;2) 量纲冲突。空间对象实例中等价的数据元素使用不同的量纲表示;3) 精度冲突。相关对象实例中等价的数据元素有不同的精度表示;4) 数据类型冲突。例如一个建筑物可以使用“多边形”对象来表示,也可以使用“点”对象来表示;5) 属性表达冲突。例如,地址信息在一个数据源表达为单个的属性值,而另外一个数据源中则使用一个元组(号码,街道,城市,邮编)来表示;6) 建模冲突。例如,一个道路可以建模为一个普通的线状地物,也可以建模为路网中一条具有拓扑联系的边。

为了实现语义互操作,国内外学者做了大量的研究工作,文[11]提出在集成模式与源模式的映射中加入适当的规则来消除语义上的差别。尽管映射规则能够消除部分地理数据语义上的冲突,但互操作效果非常有限。当前学术界更倾向于利用本体技术从根本上解决这个问题。文[12]研究了基于本体的基础地理信息分类,文[13]提出了一种基于本体的空间信息集成框架。尽管研究人员在语义互操作上已经做了大量的工作,但到目前为止,这些研究工作还停留在理论阶段,还不能从工程实现的角度提出一个可行的解决方案,就空间数据集成而言,空间数据语义互操作问题始终都是一个重要研究方向。

2.4 查询处理技术

空间数据集成系统的核心功能是为用户提供集成查询处理服务,其查询处理流程为:集成系统的用户依据集成模式向

集成系统提交全局查询,系统接收用户查询并进行语法检查;经检验为正确后,查询管理器根据集成模式信息将该查询分解成若干子查询,每个子查询对应一个 GDS,同时查询管理器确定一个执行计划,说明需要访问哪些 GDS、如何组装中间结果、如何执行集成处理等,查询计划经过优化后,将各子查询发送到相关的地理数据服务执行局部查询;最后合并各子查询的执行结果,并形成最终的集成查询结果返回给用户。

GDS 的分布性决定了空间数据集成系统的查询本质上是一种分布式查询。尽管该技术在分布式数据库系统已经得到广泛的研究,但在面向服务的体系结构中要求重新考虑已有的分布式查询处理技术。下面的因素使得面向数据集成系统的查询要比传统分布式数据库中的查询更加复杂:

- (1) 由于 GDS 的自治性,因此不存在任何分割谓词把地理数据服务中的空间数据精确定义成某全局关系的裂片;
- (2) 参与查询的 GDS 数目较多、数据量较大;
- (3) 查询条件变化多端,无法预测数据的分布;
- (4) 不同 GDS 连接速度、查询响应有较大差异;
- (5) Internet 的网络环境不稳定,经常出现服务连接失效或子查询中间结果传输阻塞的情形。

2.4.1 有效的查询重构

由于集成系统本身并不存储实际的数据,因此必须将用户提交的全局查询分解、转换为 GDS 支持的局部查询,即在查询处理之前要进行查询重构,具体需要解决如下问题:

- 1) 如何根据集成模式将一个全局查询分解为面向 GDS 的局部查询序列,并制定一个合理的查询执行顺序;
- 2) 如何对生成的查询序列进行全局优化。全局优化的目标在于为重构后的查询寻找一个最优的执行策略,使得查询执行的代价最小。在分布式环境下,查询代价包括了 I/O 代价、CPU 代价和通信代价。由于空间查询具有计算密集、I/O 密集和数据量大的特点,因此,上述三种代价都需要认真考虑,尤其是通信代价,因为在 Internet 的有限带宽的环境下,通信费用往往占到全部查询费用的大半;

3) 服务副本的选择。由于现实环境下可用的空间数据服务可能很多,这些服务之间存在数据交叠、功能重复的现象。如何根据这些服务副本的差异,选取对于整个查询来说是最优的服务也是一个很有挑战性的工作。

针对上述问题,文[1,11]都进行了深入的研究,其中文[1]提出的查询重构方法更加简便、有效,其基本思想是:将全局查询转变为关系代数表达式,分析得到查询树,并根据集成模式重构查询树;而后根据数据服务的分片约束与全局查询条件进行比较,去掉它们之间矛盾的片断;最后,将重构后的查询树转换为对各数据服务的局部查询。

2.4.2 渐进式合并查询

由于集成系统对 GDS 的访问是通过服务提供的外部接口,而不是底层过程调用实现的,因此局部查询具有很强的自治性,即集成系统不能干涉数据服务对局部查询的执行。另一方面,集成系统在合并由各数据服务产生的中间结果时,不同的处理方式性能差别很大,因此,提高集成系统查询效率关键在于提高合并查询的处理效率。

有两种方式处理合并查询:阻塞式(Blocking)查询和渐进式(Progressive)查询。阻塞式查询是局部查询结果在集成端全部物化以后再行合并查询,这个过程往往会经历相当长的时间;而渐进式查询则采用增量的计算方式,通常在接收输入数据的同时就进行合并处理,并增量式输出合并结果,这种查询处理方式即使在某个局部查询结果传输发生阻塞的情况下也能快速得到部分查询结果^[14]。显然,渐进式合并查询

更适于 Web 应用的需求。目前,渐进式查询处理技术已经成为一个新的研究热点,并在非空间信息领域取得了相当的研究成果^[14,15]。但在空间信息领域这方面的研究还不多,我们在文[17]中深入研究了渐进式空间连接查询算法,实验结果表明,所提出的算法大大提高了整个集成查询处理的执行效率。

目前,对渐进式查询处理的研究才刚刚开始,还期待着更多、更有效的查询处理算法,如渐进式空间距离连接查询、渐进式空间方向连接查询等等都是很有意义的研究方向。

2.4.3 有效扩展地理数据服务的查询能力

面向 GDS 的空间数据集成系统的集成对象是符合 OGC 标准规范的地理数据服务,这些服务所支持的查询比较有限。以标准 WFS(Web Feature Services)为例,WFS 支持查询包括:点查询、范围查询以及基本的拓扑关系查询。由于 WFS 不支持 k 邻近(k Nearest Neighbor, k -NN)查询,因此,对 k -NN 查询而言,WFS 查询能力有限。然而 k -NN 查询又是空间信息领域最常用的查询之一,如何扩展 GDS 的查询处理能力使其支持 k -NN 查询以及如何实现面向 GDS 的集成 k -NN 查询都具有非常重要的实用价值。基于这样的应用需求,我们在文[17]中研究了面向 GDS 的集成 k -NN 查询处理方法,其核心思想是将 k -NN 查询转化为 GDS 所支持的范围查询,为扩展 GDS 查询能力提供了可以借鉴的方法。

在不考虑扩展 GDS 查询能力的情况下,空间数据集成系统所支持的查询处理服务应该是系统包含的 GDS 所支持查询服务的最小公共子集,这大大限制了集成系统的应用范围。因此,GDS 查询能力的有效扩展是一个非常有意义的研究方向。

2.5 查询优化技术

查询优化技术是影响空间数据集成系统查询处理性能的关键因素。空间数据集成系统的查询性能可以通过两种查询优化技术来提高:一是适应性查询处理技术;二是物化视图技术。下面就这两种查询优化技术进行详细阐述。

2.5.1 适应性查询处理技术

传统空间数据库中一般采用两阶段的方式处理空间查询:查询优化阶段,空间数据库系统通过完善的查询评估生成高效的查询执行计划;查询执行阶段,严格执行确定的查询计划。由于数据库系统能够获得比较全面、准确的统计信息,因此,这种查询处理方式在数据库系统能够获得比较好的查询处理性能。但在空间数据集成系统中,大多数统计信息不可预知,并且数据特性在查询执行的过程中常常发生改变^[18],因此,传统的静态优化两阶段查询处理方式不能保证集成系统的查询性能,这使得我们必须借助适应性查询处理技术来完成数据集成查询。

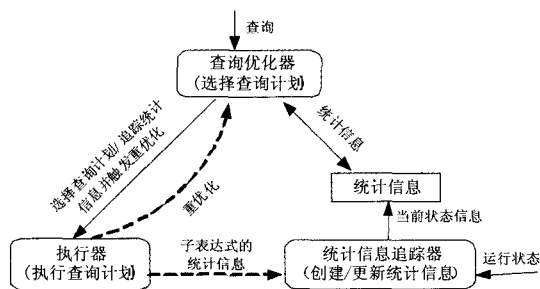


图 2 适应性查询处理

适应性查询的工作方式如图 2 所示,查询引擎并不是始终执行单个查询计划,而是根据查询执行时的实时统计信息、

系统的运行状态动态地调整查询计划,也就是查询计划的生成与执行交织在一起,迭代进行,必要时分步给出查询结果,并增量式对不完全查询结果进行校正及更新。因此,相同查询请求在不同的查询环境下(系统的运行状态和网络条件),查询引擎会执行不同的查询计划。

文[19]将现有的适应性查询处理技术分为4类:

(1)基于调度的方法。该方法保留查询计划的逻辑结构,但CUP处理操作时调度不同的执行操作顺序。这种处理方法能够有效地“隐藏”网络延迟,并且快速得到初始部分查询结果;

(2)冗余计算的方法。该方法同时执行多个查询计划,一段时间后再选择执行性能最好的查询计划作为最终的查询计划;

(3)计划划分的方法。将一个查询计划划分为多个子计划,在某些实例化点(Materialization point)或是阻塞式操作后调整物理计划;

(4)数据划分的方法。针对不同的数据采用不同的查询计划,该策略主要是结合不同的数据分布特性选择适当的查询计划。

适应性查询处理技术不仅在数据集成领域得到广泛关注,在其它领域,如分布式数据库、数据流处理领域也有较深入的研究。目前已经有了一些研究成果,但是现有的处理方法大多是针对某种特定的统计信息变化而提出的适应性处理策略,如何综合考虑这些统计信息变化,得到一个全局最优执行策略还需要进一步研究,另外,已有的研究成果几乎都没有考虑到空间查询自身的特点,因此,空间数据集成环境下的适应性查询处理也是一个非常重要的研究方向。

2.5.2 物化视图技术

物化视图是一种有效的查询优化方法。空间数据集成系统实例化某些频繁访问的查询,当用户提交新的查询时,集成系统首先检查是否能够利用集成端已有的物化视图来回答该查询。如果可以,系统直接向用户返回结果。否则,系统需要重写用户查询并分发子查询到相关的GDS中去执行。该过程可能带来昂贵的网络连接代价、数据服务查询代价和合并查询执行代价等等。获取一个合理的物化视图选择方案对提高集成系统的查询性能非常重要。使用物化视图技术提高集成系统的查询处理性能需要解决以下问题:

1)GML数据的有效组织、管理与查询。

GML数据是基于XML的空间数据,其存储、管理和查询处理技术可以借鉴XML数据的相关技术。目前,主要有3种XML存储技术:基于文件的方式、本源XML数据库(Native XML Database)和使能XML的数据库(XML-enabled Database)。早期的XML数据以文档的方式存储,简单易用,但不支持复杂查询,并且XML数据到达一定规模时,文件的方式难以管理。本源XML数据库是专门设计用于存储和管理XML文档的数据库;使能XML的数据库则是在传统数据库的基础上增加对XML的支持。

考虑到GML是以数据为中心的XML文档,其结构比较简单,而且GML模式与数据库模式之间的转换非常简单,因而利用使能XML数据库管理GML数据被认为是一种比较理想的方式。文[20]研究了使用Oracle管理和存储GML数据的方法。不同的GML模式映射方法导致不同的查询处理性能,因此,高效GML数据管理和查询处理技术仍然是一个非常值得研究的问题。

2)物化视图的选择方法

物化视图的选择一般需要考虑的制约因素包括:查询频

率、查询重写能力和查询的完备性等^[21]。就空间数据集成系统而言,由于空间数据量比较大,所以物化视图的选择还需要考虑物化视图的空间代价。

现有的物化视图选择方法不能直接应用到面向GDS的空间数据集成系统,首先,数据仓库和查询引擎强调查询结果的完备性,所以物化视图重用的过程中一般采用简单的完全匹配策略获取完全等价的查询重写方案,但是在面向GDS的空间数据集成系统中,用户对初始部分查询结果会更加有兴趣,因此查询重写方案必须考虑部分匹配的情形。这两种物化视图的重写方式对物化视图的选择产生了不同的影响。其次,在空间信息领域,空间查询之间存在着大量的空间包含关系。举例说,在其它查询约束相同的情况下,关于长沙市的空间查询结果应该包含在湖南省的空间查询结果中。现有的查询物化视图选择模型没有考虑到空间查询的包含特点,而识别查询之间的包含关系有助于减少选中物化视图的冗余信息。目前在这方面还没有看到公开的研究成果,在这方面的研究也具有非常重要的意义。

结束语 本文分析、比较了现有的空间数据集成方法,研究表明,面向地理数据服务的空间数据集成降低了模式集成的难度,增强了空间数据集成的灵活性,是目前最理想的空

间数据集成方法。本文还从查询应用的角度提出了面向GDS的空间数据集成系统的关键技术,指出了进一步的研究方向。

参考文献

- 陈萃. 分布式地理空间数据服务集成技术研究[D]:[学位论文]. 国防科技大学,2005
- Integration developer news. <http://www.idevnews.com>. [EB/OL]
- GeoServer. <http://www.geoserver.org>. [EB/OL]
- Boucelma O, Essid M, Lacroix Z, et al. VirGIS: mediation for geographical information system[C]. In: ICDE, 2004
- 孟小峰, 周龙骧, 王珊. 数据库技术发展趋势[J]. 软件学报, 2004(12)
- Open GIS Consortium. Annex B: OWS1.2 Architecture [S]. April 2002. <http://www.opengis.org/>
- 李瑞轩, 卢正鼎. 多数据库系统原理与技术[M]. 电子工业出版社, 2005, 11
- Lenzerini M. Data integration: a theoretical perspective [C]. Tutorial at PODS, 2002
- Boucelma O, Colonna F M. Gquery: A Query Language for GML [C]. In: UDMS, 2004
- Open GIS Consortium. Filter Encoding Implementation Specification [S]. Sept 2001. <http://www.opengis.org/>
- Essid M, Boucelma O, Lassoued Y, et al. Query processing in a geographic mediation system [C]. In: ACMGIS, Washington D. C., November 2004
- 李霖, 王红, 赵宁, 等. 基于本体论的基础地理信息分类研究. 地理信息世界[J], 2004(12)
- 崔巍. 基于本体和 Web 技术的地理信息系统集成研究[J]. 测绘通报, 2004(12)
- Luo G, Naughton J F, Ellmann C. A non-blocking parallel spatial join algorithm [C]. In: ICDE, 2002. 697~705
- Tao Y, Yiu M L, Papadisa D. RPJ: producing fast join results on streams through rate-based optimization [C]. In: SIGMOD, 2005. 371~382
- Tang G, Córcoles J E, Jing N. NSJ: An efficient non-blocking spatial join algorithm [C]. In: ACM-GIS, 2006
- 唐桂芬, 刘书雷, 廖巍, 等. 多自治空间数据源的 k 邻近查询处理[J]. 国防科技大学报, 2006(6)
- Hellerstein J M, Franklin M J, Chandrasekaran S. Adaptive query processing: technology in evolution [C]. IEEE Data Engineering Bulletin, 2000, 23(2)
- Ives Z G, Halevy A Y, Weld D S. Adapting to source properties in processing data integration queries [C]. In: SIGMOD, 2004
- 李玉珍, 关信红, 李俊. GML 空间数据存储技术研究[J]. 计算机研究与发展, 2004(增刊)
- 高军, 唐世渭, 杨冬青, 等. Web 数据集成系统基于 QC 模型的物化视图选择[J]. 计算机研究与发展, 2005(2)