

2008 数据库高级研讨会 Claremont 报告

摘要

2008 年 5 月，一些数据库研究人员、设计人员、用户在加州伯克利的 Claremont 度假胜地举行了数据库高级研讨会，会议讨论了当前热门领域的研究现状。这是该会议在 20 年里召开的第七次，并且受到了广泛关注。会上专家一致认为现在正是处在数据库领域历史的转折点上，原因有两个：一个是数据爆炸式增长；另外一个则是计算机硬件和平台的巨大改变。鉴于这些动力，我们具有更大的研究机遇——具有较大可能性研究出具有影响力的研究成果。这份报告详细记述了大会讨论结果，并且就新的研究领域达成了一致意见，包括新的数据库引擎结构、说明性编程语言、结构化和非结构化数据的相互作用、云数据服务、移动和虚拟世界等等。本文共分三个章节，首先阐述为什么说现在是数据库研究的重要转折点，然后介绍了新兴的五个研究方向，最后进行了总结和展望

1、数据库研究的转折点

在过去的二十年来，一小群数据库研究人员定期聚在一起讨论数据库领域的状况并提一些关于未来的研究方向的建议。这一次会议的主旨非比寻常并且很明确：认为数据库研究和数据管理都处在一个转折点，这为技术进步、企业以及对科学和社会的影响创造了诸多的机遇。会议上，大家认为当前的变化主要体现在以下几个方面：

- (1) 对海量数据的兴趣有所提高：**近几年，研究大规模数据的研究组织的数量有很大的增长，研究不仅涉及传统的企业应用和 web 搜索，还涉及“eScience”领域（如天文学、生物学和地球学等）、数字娱乐、自然语言处理以及社交网站分析等。虽然传统关系数据库的用户群增长很快，但是仍有很大一部分精力用于设计新的数据管理方案。海量数据的无所不在扩展了数据管理技术的用户群和数据管理技术设计人员的数量，也必将改变整个数据库领域。
- (2) 数据分析成为利益的中心：**在传统的企业应用场景中，IT 部门和业务部门的障碍在快速减少。在一些公司中，数据就是业务。数据的获取、整合和分析不再被看作是商业成本，他们是获得高效性和收益的关键。最后，企业对数据分析的支持快速增长。仅去年一年，所有购买商业智能软件的公司共获得超过 100 亿美元利润，而这仅仅是在数据分析工具链的最前端。市场对更好的分析方法的需求同样也带来对新的技术的需求。越来越多的企业开始使用复杂的统计分析方法。
- (3) 结构化和非结构化数据无处不在：**在 Web 网上和企业内部网上结构化数据爆炸式地增长。数据除了来自传统数据库外还来自其他各种各样的数据源：从文本、软件日志和传感器以及网络检索中提取出结构化信息需要大量工作。在公共博客、web2.0 社区以及及时消息中，基于文本的半结构化数据也呈爆炸式的增长趋势。接着出现一些新的用于以共享方式出版和规范结构化数据的诱导型结构和网站。目前基于文本的数据管理方法易于使用，但是忽略了具有很好高附加价值的结构信息。目前研究组织正在开发能够从杂乱的文本和结构化的语料库中抽取出有用信息以及能够更进一步挖掘个人数据集然后结合这些数据集获得尽可能多的价值。在开发这类技术上存在激烈竞争。
- (4) 需要扩展的开发人员：**近几年来，关系数据库和查询语言的编程人员变的越来越重要。而开放源码的系统像 MySQL 和 PostgreSQL 的日趋成熟和面向对象的软件设计包越来越受欢迎又加速了这一过程。但是扩展的用户群需要更大、更广泛和更专业化的程序员团体编程和使用的设计软件。有一些开发人员不愿意陷入 SQL 中，他们认为关系数据库系统是学习和管理与其他开放组件有关的数据库系统的包袱。当数据库管理体系发展到超越传统的关系数据库用户群时，新的编程模式和新的数据库管理和操作系统组件的机遇就会出现

(5) **计算架构发生改变**: 就在应用场景发生变化时, 数据管理的底层也在发生快速的变化。宏观上, 云计算服务的出现表明在软件架构上发生了根本的变化。它是使得访问并行计算机群公平化: 每一个程序员都有机会设计出能够扩展到任意并行度的系统和服务。在微观上, 计算机架构已经将摩尔定律的核心思想从提高每个芯片的频率转换到增加处理核和每个芯片线程的数量。由于可以获得更多更大的片内缓存以及更大的价格低廉的 RAM 和 flash 存储器, 在存储技术上主要的变化是在存储层次上。能量消耗也成为大型系统的性价比度量的重要部分。而这些硬件的变化引发了数据管理软件架构的变化。

总之, 在这些方面显示出对新的数据管理技术的广泛而迫切的需求。数据库研究产生深远影响的机会是巨大的。

传统上, 数据库研究组织因关系数据库是技术转移的标志而闻名。但是近些年来, 尽管我们研究范围有所扩展, 但是超越传统数据库系统和企业数据管理的一些其他可见的影响并没有充分地发会出来。在当前环境下, 研究组织应重新致力于影响力和广度。影响力是通过外部测量得来的, 因此能够帮助新类型的用户, 支持新的计算平台和做一些跨越计算的概念性突破。这些都是数据库研究下一阶段的行动目标。

为了达到这些目标, 在讨论提出了两个可能的方法: 改造和合成。改造议程包括解构基于数据的核心思想和系统, 以及为了新的应用和架构的实现改造它们。有些还需要关注传统关系数据库系统栈以及其现有接口的外面, 设计新的数据管理系统。此外, 数据库研究者应该在原始的存储和检索环境的外面使用基于数据的思想(如声明式编程, 查询优化技术), 进入那些新的基于数据的思想占主导的计算领域。合成议程包括利用那些尚未形成确定的一致性的系统架构的领域(如数据集成、信息抽取以及数据隐私等领域)的好的思想。现在是一个成熟的时机: 各个研究组织应该走出概念和算法设计阶段, 聚在一起做一些需要结合很多技术来解决复杂的用户问题的综合性研究(系统、语言和服务)。合成工作可以充当研究的着力点, 可能带来新的挑战 and 突破, 并能增大研究工作的整体可见度。

2、研究机遇

2.1、反思数据库引擎

系统 R 和 Ingres 开拓创新了关系数据库的体系结构和算法, 并且当前的商业数据库仍然基于它们的设计理论。但是第一部分所描述的应用和技术上的改变要求整个用于数据管理的系统的完全变革。当前占市场主流的关系数据库系统具有很多众所周知的限制, 同时, 许多数据密集任务从最近 10 年间开始出现, 关系数据库提供了较差的性能, 已经被拒绝: 文本索引、服务网页和多媒体传送成为关键性问题。新工作量出现在科学和 Web2.0 风格的应用以及其他环境中, 在这些环境下, 数据库引擎技术很有用, 但是还没有进入当前的数据库系统中。

即使在传统的应用领域, 当前的市场也表明仍有重要变革的空间。通过对商业和科学的市场分析, 顾客可能买 10 的 15 次方字节的存储器和数千个处理器, 但是主流的商业数据库系统不能具有如此大的工作量。即使它们能, 在软件和硬件管理的代价也会非常大。

考虑到这些需求, 商业数据库市场对新思想和系统开放了, 这反应在企业的资金投入上。很难回忆起曾经有一个时代会有这么多数据库引擎启动公司。市场会慢慢合并, 但是事情现在改变的很快, 现在正是尝试新想法的好时机。

许多研究项目已经开始针对数据库系统体系结构采取革命性的措施。有两个不同的方向: 一个是拓宽现有的多用途数据库系统的适用范围(例如数据流合成、文本搜索、XML、信息集成); 另一个方向是为特殊领域设计特殊用途的数据库系统来改进数据库系统性能(例如数据流、读分析、XML)。这两个方向各有自己的优点, 并且他们之间的明显共性暗示着它们可以协同发挥作用: 特殊用途技术(例如新的存储和压缩形式)可以被应用到更广泛的普适系统中去, 同时普适结构化组件和配件(例如扩展查询优化框架)可以使得专业系统运行更快。

在核心数据库引擎领域，重要的研究课题有：(a)为多核处理器集群设计系统，显示了对离线芯片内存的有限的和非公平的访问方式；(b)采用远程的 RAM 和 Flash 作为固定存储媒介，而不只依赖于磁盘；(c)把查询优化和物理数据分布作为一项统一的自适应的自调优的任务来不断的执行；(d)结合数据分布和查询优化，在存储层上对数据进行压缩加密；(e)设计适用于非关系数据模型的系统，而不是只局限于关系表；(f)权衡一致性和可用性以提高系统性能，并使规模扩展到数千台机器；(g)设计具有能源意识的 DBMS，使得在不牺牲可扩展性的前提条件下限制能源消耗。

这个课题列表并不是很全面。一个工业界的参与者说，对于学术研究者现在是一个特殊的机遇：前景已经足够广阔，可以使用工业界现有代码为研究提供少许便利，并且大规模的集群硬件低成本的被广泛租借。其次、工业界和投资商都在寻找全新的想法和理念。对于主导系统设计的学者们，这个机遇是研究环境大大的改进。

2.2、新兴平台下的说明性编程语言

在计算机行业，程序员生产率是主要的挑战。Jim Gray 在十年前的图灵奖发言中就提到过数据库背景下的这个问题，并且是近几年公认的问题。今天问题的紧急程度随着编程人员所面临的复杂编程环境呈级数形式增长，包括多核芯片、分布式服务和云计算平台。非专业的编程人员应该能够很容易的写出健壮代码，使得很容易扩展到松耦合和紧耦合体系结构的混合处理器中。

虽然发展新的编程模式本质上不是数据库问题，数据独立性、描述性编程语言和基于代价优化的思想提高了受攻击的可能性。有明显的证据表明以数据为中心的方法可能对最近一段时期的编程产生巨大的影响。

最近流行的 Map-Reduce 是一个很好的例子。Map-Reduce 非常简单，建立在近几十年已知的语言和数据并发技术之上。对于数据库研究者，Map-Reduce 的重要意义在于使得新的编程开发者在数据并发编程上占有很大的优势。对于为提高我们的社会影响提供了有力的机会，通过开发更有力和有效的语言和运行机制帮助这些开发者解决更复杂的问题。

另一个实例，新的描述性语言经常以语法为基础被开发出来用于一些特殊领域的系统，在网络环境和分布式系统、计算机游戏、机器学习和机器人技术、编译程序、安全协议和信息抽取方面中表现为多种多样的形式。在这些应用背景下，描述性语言的使用大大减少了代码量，而且也使分布式或者并发执行成为可能。

第三个例子是在企业应用编程中产生的。像基于 Rails 和 LING 的 Ruby，最近的语言扩展鼓励编程者使用像查询一样的逻辑设计模式。但是这些包已经严重指出了跨机器编程的挑战。对于企业应用，一个主要的分布式设计决策是跨等级的逻辑和数据分片：Web 客户端，Web 服务器，应用服务器和后端数据库管理系统。XQuery 已经被作为一种扩展语言提出，它可以使这种说明性编程更便利，部分原因是 XML 经常被用于跨平台的协议中。

领会新的以数据为中心的编程技术是重要的。在研究过程中，我们面对的问题是语言设计、有效率的编译和运行、并行处理器水平分布和等级垂直分布之间的自动优化代码技术。并发和分布式数据库背后的技术——分片数据流和基于代价的查询优化——应该被扩展到新的环境中去，这点应该是很自然的。但是，为了成功，这些语言就不得被很好的表达，超出在现行的简单 Map-Reduce 和 Select-Project-Jion-Aggregate 数据流之上。有一种合成工作的需求，那就是从关于数据库和逻辑编程语言和优化的文献中获得有用的技术，并且认识和扩展它们到新的环境中去。

2.3 结构化和非结构数据的共存

越来越多的数据管理场合既包括结构化数据又包括半结构化的数据。在企业里，我们可以看到大量的与非结构化数据相关联的结构化异构数据集，如文档和邮件中。在宽带网上，大量的结构化数据主要来自三个数据源：(1) 上百万的隐藏在页面背后的数据库，(2) 网上成千上万的高质量的表格数据项，(3) 由 web2.0 服务提供的数据，如图片和视频的地址、协作注释服务和网上结构化数据集。

研究组织一个的长远目标就是从管理为结构化数据设计的模式固定的传统数据库过渡到管理分布在企业和网上由结构化、半结构化和非结构化数据组成的数据集。这更具挑战性，过去还被当作管理数据空间的挑战。

在 web 网上，研究组织主要以两种途径做出贡献。首先我们开发了只需要相对较少的工作就可以开发出专业领域搜索引擎的技术。其次我们开发了不依赖于专业领域的可以在网页中爬行（如自动向表单提交查询）并且在搜索引擎索引中找到结果网页。在企业中，最近为企业搜索和发现结构化和非结构化数据之间关系上作了一些贡献。

我们面临的第一个挑战是从非结构和半结构化数据中抽取结构和意义。现在，信息抽取技术能够非结构化的文本中抽取出结构化的实体和关系，甚至可从无监督的网络环境中抽取。我们期望能有上百个用于给定数据源的抽取器。因此我们需要用于运用和管理来自大量独立开发的抽取器中谓词的技术。我们也需要一些能够自检抽取的正确性并且用规则合并抽取片断的技术。当然我们不能只做这些工作，研究组织因该继续加强与信息检索以及机器学习研究组织的联系。

上下文是数据语义的一个重要方面。它有多种多样的形式，如在网页上与表格相关的文本和超链接、有注释或讨论的数据字典的名称以及物理上或时间上相邻的两个数据项之间的关系。或者数据是从非结构化的文本中提取出来的、或者很杂乱、或者对捕获到的条件很敏感，数据通常比传统数据库应用中的数据更不精确。所以，上下文可以帮助解释非传统应用中数据的含义。我们需要更好的数据库技术来管理上下文中的数据，特别是需要这样的技术：能够发现数据源，能够通过发现内在的关系来提高数据的质量，能够在确定数据语义时确定一个给定上下文的权重，以及在经过多级存储和计算之后还能保持数据出处。

第二个挑战是找到一种能够支持查询和获取异构数据合成集的变化的高效方法。一个具体的问题就是在大规模异构数据集中进行关键字查询。我们先要分析这个查询，接着提取出实际语义，最后到数据集中相关的数据源上去查询。当然，关键字查询仅仅是数据探索的一个切入点，我们还需要能引导用户找到最合适的查询方法的技术。不像之前在信息整合上所做的工作，在此难点在于我们不能假定已经拥有数据源的语义映射和知道查询或数据源的范围。我们需要开发在集成松散的数据上提供尽可能好的服务的算法。系统应该为不需要任何人工整合的查询提供有意义的查询结果，同时当发现或提取出语义关系时系统能及时更新。为了支持混合数据的查询，发展索引结构也是一个重要的挑战。当然，为了提供评测标准和让用户或系统开发人员做成本质量权衡，我们需要重新定义正确性和一致性这两个概念。我们还需要开发将这些功能联系在一起的恰当的系统概念。

除了管理已存在的数据集，我们在创建数据集上也有创新的机会。Web2.0 的出现为新型数据管理应用场景创造了机会。在这些应用场景中，用户可以加入特别的社区，然后可以在线创建、合并、修改以及讨论数据。因为这些社区很少提前在数据模式上达成一致，所以需要从数据推导出有很大的动态性的数据模式，但是我们仍可以用它们引导用户达成一致。在这种情况下，因为可视化促进探索和讨论，所以系统需要有效地加入可视化。但最重要的是这些系统非常易于使用。这就可能需要在一些典型的系统功能和提供从数据中挖掘出来的半自动提示上折中处理。这为这个反馈循环带来了机遇：当用这样的工具产生更多的数据时，信息抽取和查询变得更加容易。在这个研究领域，已经出现了一些商业或研究型原型系统，但是仍有很大的创新和研究空间。

2.4、云数据服务

经济因素正在主宰基础设施的增长，基础设施提供软件和计算机设施作为一种服务，被叫做云服务或者云计算。云服务既可以通过有限的预开支的集资费用还可以通过减少其拥有者的花销来为应用提供者提供效率。这些服务都集中在数据中心上，使用共享的商业硬件作为计算和存储资源。今天，我们可以获取一系列的不同种类的云服务，包括应用服务（salesforce.com）、存储服务（Amazon S3）、计算服务（Google App Engine, Amazon EC2）和数据服务（Amazon SimpleDB, Microsoft SQL Server Data Services, Google's Datastore）。这些服务代表一系列的数据管理体系结构的变革，甚至还有些超出了这个界限。我们预测，一些将来的以数据为中心的应用将会促进云数据服务的改变。

可管理性（或易管理性）在云环境中很重要。相对于传统的系统，它是较复杂的，原因有三个：

有限的人为干预、高差异的工作量和不同的共享基础设施。在大多数情况下，没有DBA或者系统管理员协助开发者了解他们的基于云的应用；平台不得不自动做很多工作。混合的工作量很难调优，但是在这种情况下是不可避免的。即使一个客户的工作量可以随着时间无限的变化：云服务的伸缩提供使得，有时候利用比他短期爆炸性工作需要的多几个数量级的资源对于用户要经济有效。同时，服务调优很大程度上依赖于共享基础设施被虚拟化的方式。例如Amazon EC2使用硬件层的虚拟机作为编程接口。相反的，salesforce.com在单一管理的DBMS中实施具有很多独立模式的多客户端集群。许多其他虚拟解决方案也是可行的。每个在工作流和平台之间具有不同的可见度，具用不同的彼此控制能力。这些变化需要重新考虑传统的规则和为跨层的资源管理担负责任。

云计算的垂直规模展示了它自己的挑战性。今天的SQL数据库不能被应用到分布在云环境下的数千个节点上。在存储前端，是否说明了带有不同事务实施技术、不同存储语义、或者两个都不同的限制，还不清楚。提到这些问题的数据库文献很多。当前的云服务已经开始寻找一些简单的使用方法，但需要做很多工作来从现有的关于云计算体系的文献中综合（合成）出新想法。从查询处理和优化角度来说，穷举搜索一个具有数千个处理节点的平面空间是不可行的，所以需要搜索空间和搜索方法做一定的限制。最后，编程者怎么在云环境下表达他们的程序不清楚，就像2.2部分提到的。在云基础设施上的物理资源的共享增加了用于数据安全和隐私的额外费用，数据安全和隐私不能通过机器和网络的实际范围被保证。因此云服务为合成和加速该领域的工作提供了有力的环境。在这个大的竞技场下成功的关键是在云上瞄准特定的目标，固定好对服务提供者和顾客的实际上的经济刺激。

随着云数据服务的流行，我们期望有新的规则伴随着这些挑战出现。例如，我们预见预装载大数据集的专门服务的出现，例如股市行情、天气历史和Web发展等等。从私有或者共有领域中获取数据的能力越来越吸引人，对于在2.3中提到的挑战提供了有力的推动力。这也指出了跨云服务的必然性。

2.5、移动对象和虚拟世界

有一类应用，是移动服务和虚拟世界的典型实例，特点是需要管理大量的重复的多种多样的用户创造的数据，智能的合成它，以及提供实时的服务。数据管理团队正在考虑这些应用所面对的挑战，但是需要做许多工作。依此可见，在这次会议上关于这个论题的讨论是比以前各个部分更具有投资商机的，但是我们觉得它们应该被关注。

在移动空间中，我们目睹了了两个重要的趋势。第一，建立移动应用的平台（硬件、软件和网络）正在成长为满足众多用户基本需求的程度，可以无所不在的支持强有力的交互“on the go”。第二，移动搜索和社会网络的出现暗示了一些新型的移动应用的出现。这些应用将会根据用户位置、个人喜好、社会圈子、外界因子和广泛的用户操作背景给移动用户进行实时的发布信息。提供这些服务需要综合从多个源收集到的用户输入和用户行为来决定用户的位置和目的。

虚拟世界就像第二次生命，正在迅速的成长，并在许多方面反映了移动应用的主体。当他们开始多用户的交互式模拟的时候，他们也就是在模糊虚拟世界和现实世界的不同，暗示着更多数据混合的潜在价值。单词co-space有时用来指虚拟和现实世界混合存在的空间。在co-space中，在现实世界中的位置和事件由大量的传感器和移动设备所获取，然后再虚拟世界中被具体化。相对的，虚拟世界中的一些行为和时间可以反映到现实世界中去（例如购物、产品推销和专业的计算机赌博）。co-space的应用包括丰富的社会网络、大型多级游戏、军事训练、教育性娱乐和知识共享。

在这两个领域，大量来自于用户的数据正在被综合起来，并用来影响虚拟和/或现实世界。这些应用提出了新的挑战，例如为了具体化现实世界需要处理多种多样的混合数据流，需要平衡共享私有实时信息的集体利益与隐私，对于大多数智能处理器需要把co-space上的有趣的时间反馈给现实世界的人。在游戏和虚拟世界中的虚拟任务的设计需要大规模的并发编程，在2.2中讨论的描述性方法已经被作为一种解决方案而提出来了。这些应用也需要不断发展创新2.1中提到的高效系统，包括适当的存储方法、数据处理引擎、并行和分布式体系结构和用来管理多数并发用户之间的事件和交流的软件技术。

3 展望

除了讨论研究问题，会议中还讨论了研究组织工作进程中的一些问题，包括出版流程的组织、人才的引入和培养以及确保研究的影响力等。

由于数据库研究组织的增加，鼓励研究交叉与融合的时机已经成熟。一个提议是共同建立一个全球共享的结构化数据集来促进数据驱动的研究。会上还讨论了开源软件的发展在数据库研究中的作用。不同机构的数据研究者很少重用或共享软件。就目前的情况，推进软件共享以及研究组织间的软件项目的合作是很有必要的。与会人员认为应该在信息整合领域中推行这项工作。会议的最后，将焦点集中在类似与 Netflix 的挑战以及 KDD CUP 的问题。此外，在数据库领域，可以在云计算系统组件（以高效性作为评比标准）和大规模信息抽取（以准确性和高效性作为评测标准）这两个领域里举行竞赛。会上强调以上这些提议需要大量的时间和精力去实现，一些与会者积极响应愿意开展这方面工作。行动已经开始，需要更多的研究人员行动起来去实现。

（富丽贞 范玉雷 陆嘉恒 孟小峰编译）