

SAP企业信息化与最佳实践丛书

SAP公司
官方指南

内存数据管理 教程

A Course in In-Memory Data Management:
The Inner Mechanics of In-Memory Databases

[德]哈索(Hasso Plattner) 著
程志国 曹乃刚 舒戈 译



清华大学出版社



SAP企业信息化与最佳实践丛书

内存数据管理教程

[德] 哈索 (Hasso Plattner) 著
程志国 曹乃刚 舒戈 译

清华大学出版社

北 京

Hasso Plattner

A Course in In-Memory Data Management: The Inner Mechanics of In-Memory Databases

EISBN: 978-3-642-36523-2

Translation from English language edition:

A Course in In-Memory Data Management: The Inner Mechanics of In-Memory Databases by Hasso Plattner

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved.

本书中文简体字翻译版由德国施普林格公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2014-0428

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

内存数据管理教程 / (德)哈索(Hasso. P.) 著; 程志国, 曹乃刚, 舒戈 译. —北京: 清华大学出版社, 2014
(SAP企业信息化与最佳实践丛书)

书名原文: A Course in In-Memory Data Management: The Inner Mechanics of In-Memory Databases

ISBN 978-7-302-38320-8

I.①内… II.①哈… ②程… ③曹… ④舒… III.①企业管理—应用软件—教材 IV.①F270.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第241516号

责任编辑: 陈 莉 高 岫

封面设计: 周晓亮

版式设计: 方加青

责任校对: 曹 阳

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京密云胶印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 175mm×226mm

印 张: 20.5

字 数: 279千字

版 次: 2014年12月第1版

印 次: 2014年12月第1次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 49.80元

产品编号: 054485-01

SAP企业信息化与最佳实践丛书

编 委 会

总 编	张志琦		
执行主编	和轶东		
编 委	王 强	黎文宪	彭俊松
	鲁百年	Elke Simon-Keller(爱可)	
	刘 涛	毛 彦	曹乃刚
	李国裕	陈 今	郭 磊

丛书总序 一

SAP是一家具有40年历史的全球最大的企业管理和协同化商务解决方案供应商。作为全球领先的企业应用软件解决方案提供商，SAP帮助各行业不同规模的公司提供商务软件解决方案和咨询服务，以帮助它们成为最佳运营企业。从企业后台到公司管理层、从工厂仓库到商铺店面、从电脑桌面到移动终端——SAP助力用户和企业更加高效地协作，同时更加有效地获取商业洞见，在竞争中保持领先地位。

目前，SAP的应用程序和服务帮助全球120多个国家的超过197 000家客户实现运营盈利、不断完善和稳步增长。《财富》500强80%以上的企业正在从SAP的管理方案中获益。10多年来，我们深耕中国，服务超过1 500家企业，其中超过80%是本地客户，70家以上的合作伙伴与我们维持稳定紧密的合作关系，2 000多名经过认证的顾问为我们的客户带来高品质、本地化的服务及商业价值。

SAP中国的发展价值与目标十分明确——建立互信、互助、互动、互惠的行业生态系统。我们借由与合作伙伴密切合作，将先进的管理理念与方法转变为切实帮助中国企业迈向成功、走入世界的现实。我们凭借与政府的携手配合，贴近国家经济与社会发展的步伐，积极参与行业相关标准与法规制定程序，并引入SAP几十年来在全球不同市场的最佳业务实践，从根本上协助政府注入创新技术与运营模式，从而推动国家信息化建设，完全秉持“在中国、为中国、与中国一起发展茁壮”的一贯信念。

SAP拥有多元且全面的产品与解决方案。在广度上，我们可以服务于不同行业、规模、类型的企业；在深度上，客户企业的各业务线与各类信息化需求都能通过缜密的部署实施得到满足。从后勤办公室到董事会、仓库到店面、桌



面设备到移动设备，SAP支持人员和企业提高合作效率，更加高效地利用业务洞察力来保持竞争优势。我们可以通过企业预置、按需随选、移动应用等来扩展软件的可用性，从而更加灵活地实现上述目标。

我们希望通过与清华大学出版社合作的《SAP企业信息化与最佳实践》丛书，帮助您更进一步地了解SAP先进的方案、产品、技术和SAP中国，同时期望您的许多关于信息化管理、技术应用以及企业运营的疑问能够获得解答。

我们的使命是帮助各种规模及行业的公司更卓越地运营。我们的愿景是帮助世界更卓越地运转。我们期待与您一起“蕴韬略，更卓越”！

萧洁云

SAP全球高级副总裁、中国区总裁

2012年12月于北京

丛书总序二

长期以来，坚持不断创新和持续发展使SAP当之无愧地成为行业的领军者。SAP一直基于领先的产品技术、丰富的实践积淀和优质的保障服务，为中国企业提供企业预置、按需随选、移动应用等协调运营的企业管理解决方案，以满足不同行业、不同规模和不同类型的企业的信息化需求，为客户提供高端业务洞察力与全方位管理企业商务智能和企业信息的技术平台。

SAP面向企业的行业需求，量身定制行业解决方案。其融合了SAP及其合作伙伴40年的“最佳业务实践”，不仅仅为众多制造行业企业提供富有效率的工具和最佳业务实践经验，使得从行业领袖到不同规模大小的企业从中受益，同时更为包括电力、电信、物流等非制造业企业提供面向其特殊需求的解决方案，从而帮助他们提高管理水平，提升效益，增强竞争能力并制定正确的商业决策。

有别于市场上的其他管理软件供应商，SAP公司提供的SAP最佳业务实践，是一套整体的、可配置的、端到端的业务财务一体化解决方案。通过SAP最佳业务实践可以帮助企业管理财务、人力资源、采购、库存、制造、物流、新品开发，贯通从企业的内部服务到外部客户服务、连接销售和营销等各方面的商业事项。

SAP最佳业务实践为商务流程提供的支持和方法功能反映了SAP解决方案在超过125个国家，跨26个行业，超过40 000次实施中获得的经验教训，以利于企业实施和消费SAP系统软件的功能。借助SAP最佳业务实践，企业可以免去软件实施项目中最复杂的实施步骤，并且避免大量资源的投入。过去在启动项目时仅能开启很少的基础功能，现在企业可以通过SAP最佳业务实践获得丰富的行业知识，外加合作伙伴的行业知识与经验，支持标准的行业和跨行业流程，专为您的业务需求而预先配置。



一直以来，SAP通过产品和服务推动全球企业创新。我们相信，其将帮助全世界的企业实现增长并创造新的价值源泉，最终惠及整个行业和经济。正是基于不断创新这样一个最基本的理念，SAP在2012年把创新分成五大市场，分别是移动解决方案、商务分析、企业应用、数据库与平台技术以及云计算。

移动应用无处不在，移动应用改变未来。SAP和Sybase(SAP旗下公司)一起致力打造无线企业，为客户提供广泛的移动应用和基础设施，将企业的人员、信息、移动设备整合起来，让工作者随时随地、在任何设备上安全地访问业务流程，实现企业移动化变革。SAP在其强大的移动应用平台基础上，不仅提供了移动销售、移动工作流等系统级移动应用以拓展企业CRM和ERP，还提供了专业的移动商务智能应用扩展企业决策支持的覆盖面。SAP在各应用和技术领域不断创新，为企业创造短、平、快的无线增值应用，以帮助企业能够快速实施、快速部署、快速实现应用价值。

SAP商务分析系列解决方案包含商务智能解决方案、信息管理解决方案、企业绩效管理解决方案，以及治理、风险管理及合规解决方案。其中，商务智能和信息管理解决方案均构建在一个得到市场公认的智能平台之上。SAP商务分析解决方案组合有助于各类机构有效地做到合规和应对业务风险，缩小战略与执行之间的差距，从而实现优化业务绩效的目标。采用SAP商务分析系列解决方案，企业将获得更为广泛的洞见，同时将各项战略有机地结合起来，优化决策流程，改善风险管理，而这些都不受底层特定事务系统的约束。SAP商务分析解决方案让企业把对业务的洞察转化为策略，再将业务策略转化为能够即刻执行的运营决策。

SAP企业应用的核心是SAP商务套件。SAP商务套件是一套真正完整集成的解决方案和应用平台。它提供开放的商务应用软件，通过集成人员、信息和流程来获得最大的回报。SAP商务解决方案使企业从容应对不断变化的客户和市场需求，使得企业成功地驾驭与客户、供应商、后勤伙伴、金融服务商以及员工的关系，并从这些关系中获得效率和收益。它包括功能强大的跨行业方案和26个行业解决方案。SAP商务套件可以优化企业的业务和IT战略，使其更有效率，更具灵活性，提高企业对业务的洞察力。其独特优势有：丰富的应用解决方案能针对每个行业的业务流程提供持续的管理创新；融合最佳行业实践的管理理念可以促进企业管理核心业务绩效的改善；其功能增强包可以帮助企业在不停机的情况下在线升级，灵活地应对业务需求与状况的改变，以更低的整

体拥有成本实现企业创新；SAP平台能无限扩展端到端的流程，在确保流程的完整性的同时增强业务和IT效率；新套件基于企业级SOA可以全面提高IT对业务的敏捷性；其内置的分析功能能够实现对业务清晰透明的洞察和实时监控；SAP统一协调的用户界面能够有效地提升最终用户使用系统的效率。

SAP的数据库与平台技术的核心是业界领先的内存计算平台与解决方案——SAP HANA。SAP HANA提供多用途的内存应用设备，企业可以利用它即时掌握业务运营情况，从而对所有可用的数据进行分析，并对快速变化的业务环境做出迅速响应。使用 SAP HANA，企业可以即时访问相关信息，更快地做出更加可靠的决策，并降低获取洞察力时对IT部门的依赖。SAP HANA提供灵活、节约、高效、实时的方法管理海量数据。利用它，企业可以不必运行多个数据仓库、运营和分析系统，从而削减相关的硬件和维护成本。

云计算已经深远地改变了人们互动的方式。随着各企业以全新方式与其全球客户和合作伙伴互联和协作，这种影响力将更加难以估量。基于云的协作重新定义了业务网络创新的概念，而SAP在这一变革早期便已成为弄潮儿。随着SuccessFactors和Ariba的加入，SAP可以为企业创建业务网络，为客户实现立竿见影的价值。同时SAP在成长型企业信息化领域拥有领先的理念、技术、产品和实践经验，推动在云端部署的解决方案，为广大成长型企业用户带来符合自身需求的最佳实践。

SAP致力于通过创新来提高全球企业的运营效益。这五大市场的创新是我们的未来发展的指导愿景，是我们通过思考自己在全球市场中应该扮演的角色后做出的。通过五大创新，我们希望创造一个更加高效的世界，所有企业都能在其中找到和把握新的机会，平衡风险，从而实现赢利性增长。

我们始终相信“立足中国，创新中国”！通过清华大学出版社《SAP企业信息化与最佳实践》丛书的出版，我们希望中国更多的企业管理者、IT从业人员以及院校师生能更好地了解SAP和SAP的解决方案。

欢迎您走近SAP！

张志琦

SAP中国区方案与架构设计部总经理

2012年12月于上海

为什么我们写这本书

从2006年起我们的HPI研究机构就开始针对企业应用的内存数据管理进行研究。随着SAP HANA的成功，关于字典编码和列式内存数据库的观点和概念获得了巨大动力。作为尖端产品，SAP HANA受到越来越多的用户的欢迎。因此我们意识到有必要在这一领域与大家做一些交流。无论是学生还是研发人员，对于概念及技术的深入了解是使用此技术的基础。

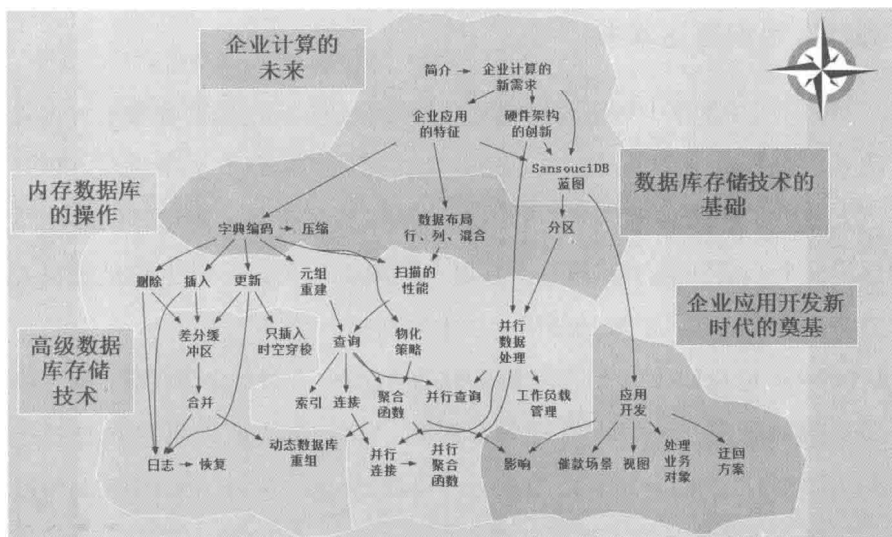
从2009年起我们就开始在我们的培训机构中开设内存数据管理的相关课程。当了解到现在在网络上流行公开课时，我立即决定将我们的课程对外开放。在2012年3月我们开始了在线教育，可通过<http://www.openHPI.de>网站了解详情。在13 126名参与第一次循环课程的学员中，有2 137人获得了我们授予的学位。欢迎在openHPI.de注册，我们会通知您接下来的新课程。

数以千计的学员用我们的材料完成了在线课程的作业及考试。这本书是基于我们在在线社区上提供的阅读材料编辑而成的。此外，我们结合了一些改进的建议，并提供了练习题及详细讲解。我们相信这本书将帮助您更好地了解字典编码和列式内存数据库。



章节浏览

授课时，课程内容一般都是按顺序编排的。您可以根据自己的兴趣爱好进行阅读学习。我们提供了一张学习路线图(见图I-1)，这张路线图在第1章也会出现，便于大家了解。各章节间的关系在学习路线图中都有展示，比如第25章“差分缓冲区”是本书较后的内容。尽管如此，您可以提前阅读这一章节，但前提是您理解了不存在差分缓冲区的情况下“删除”、“插入”和“更新”是如何运作的。



图I-1 学习路线图

每章节的后面都有自测题，您可以在本书后面找到对应的答案和讲解。

关于本书的撰写过程

我想感谢位于德国波茨坦大学的哈索·普拉特纳学院，他们作为我们这次研究“企业平台和集成概念”的主要团队做出了很大的贡献，可以说没有这个团队的支持，将不会有这本书。

特别感谢我们的在线教学核心团队，他们是：Ralf Teusner、Martin Grund、Anja Bog、Jens Krüger和Jügen Müller。

在准备及进行在线教学的过程中，研究团队回复了所有的提问邮件，并解决了学习资料中全部的报错和漏洞，在此我要感谢研究助理Martin Faust、Franziska Häger、Thomas Kowark、Martin Lorenz、Stephan Müller、Jan Schaffner、Matthieu Schapranow、David Schwalb、Christian Schwarz、Christian Tinnefeld、Arian Treffer、Johannes Wust以及团队助理Andrea Lange的投入工作。

在撰写过程中，一些HPI本科生(Frank Blechschmidt、Maximilian Grundke、Jan Lindemann、Lars Rückert)及研究生(Sten Ächtner、Martin Boissier、Eketarina Gavrilova、Martin Köppelmann、Paul Möller、Michael Wolowyk)也在线上教学课程准备中做出了贡献。特别感谢Martin Boissier、Maximilian Grundke、Jan Lindemann和Jasper Schulz，他们进行了全书校对，并调整教学材料以使本书顺利出版。

帮助提升本书

我们致力于不断提升本书中的内容，如果您发现有任何问题，欢迎通过 hasso.plattner@hpi.uni-potsdam.de 联系我们。

至今，我们已经收到很多读者发来的报错报告，这对在线教学学习材料的修改有很重要的帮助。热心的读者有：Shakir Ahmed、Heiko Betzler、Christoph Birkenhauer、Jonas Bränzel、Dmitry Bondarenko、Christian Butzlaff、Peter Dell、Michael Dietz、Michael Max Eibl、Roman Ganopolskyi、Christoph Gilde、Hermann Grahm、Jan Grasshoff、Oliver Hahn、Ralf Hubert、Katja Huschle、Jens C. Ittel、Alfred Jockisch、Ashutosh Jog、Gerold Kasemir、Alexander Kirov、Jennifer Köenig、Stephan Lange、Francois-David Lessard、Verena Lommatsch、Clemens Müller、Hendrik Müller、Debanshu Mukherjee、Holger Pallak、Jelena



Perfiljeva、Dieter Rieblinger、Sonja Ritter、Veronika Rodionova、Viacheslav Rodionov、Yannick Rödl、Oliver Roser、Alice-Rosalind Schell、Wolfgang Schill、Leo Schneider、Jürgen Seitz、David Siegel、Markus Steiner、Reinhold Thurner、Florian Tönjes、Wolfgang Weinmann、Bert Wunderlich以及Dieter Zürn。

非常感谢大家的反馈意见。我们希望这些学习资料能在内存数据库社区中得到进一步改进。

哈索教授

目 录

	第 1 章 简介	1
1.1	课程目标	1
1.2	基本理念	1
1.3	学习路线图	3
1.4	参考文献	3
1.5	自测题	4

第一部分 企业计算的未来

	第 2 章 企业计算的新需求	7
2.1	事件数据的处理	7
2.2	整合结构化和非结构化数据	9
2.3	社交网络和网站	11
2.4	运营云环境	11
2.5	移动运营	12
2.6	生产及分销计划	13
2.7	参考文献	14
2.8	自测题	15
	第 3 章 企业应用的特征	17
3.1	多样的应用	17
3.2	OLTP与OLAP的对比	17
3.3	OLAP与OLTP分离的缺点	18
3.4	对比OLTP和OLAP的访问模式	19



3.5	集OLTP与OLAP于一身的数据库	19
3.6	企业数据的特征	20
3.7	参考文献	20
3.8	自测题	21
	第4章 硬件架构的创新	23
4.1	内存单元	23
4.2	内存层级	25
4.3	内部高速缓存	26
4.4	地址转换	27
4.5	预读取机制	28
4.6	存储器层级和延迟	29
4.7	非一致性内存访问架构(NUMA)	31
4.8	不断扩展的主内存系统	33
4.9	远程内存访问	34
4.10	参考文献	34
4.11	自测题	35
	第5章 SanssouciDB蓝图	37
5.1	主存中的数据存储	37
5.2	以列为导向	37
5.3	列式存储的启示	38
5.4	活动数据与非活动数据	39
5.5	架构概览	40
5.6	参考文献	41
5.7	自测题	41

第二部分 数据库存储技术的基础

	第6章 字典编码	45
6.1	压缩举例	46
6.2	排序的字典	48

6.3	基于编码的操作	49
6.4	自测题	49
	第 7 章 压缩	53
7.1	前缀编码	53
7.2	运行长度编码	55
7.3	集群编码	56
7.4	间接编码	58
7.5	变量编码	61
7.6	限制	63
7.7	参考文献	63
7.8	自测题	64
	第 8 章 内存中的数据布局	67
8.1	应用性能上的缓存效应	67
8.2	行式布局和列式布局	71
8.3	列式布局的优点	72
8.4	混合表布局	73
8.5	参考文献	74
8.6	自测题	75
	第 9 章 分区	77
9.1	定义和分类	77
9.2	垂直分区	78
9.3	水平分区	78
9.4	选择合适的分区策略	80
9.5	参考文献	81
9.6	自测题	81

第三部分 内存数据库的操作

	第 10 章 删除	85
10.1	物理删除示例	85



10.2	参考文献	87
10.3	自测题	87
	第 11 章 插入	89
11.1	示例	89
11.2	性能方面的考虑	94
11.3	自测题	95
	第 12 章 更新	97
12.1	更新类型	97
12.2	更新示例	98
12.3	参考文献	100
12.4	自测题	101
	第 13 章 元组重建	103
13.1	简介	103
13.2	行式数据库的元组重建	104
13.3	列式数据库的元组重建	105
13.4	补充示例和讨论	106
13.5	自测题	107
	第 14 章 扫描的性能	111
14.1	简介	111
14.2	行式布局: 全表扫描	112
14.3	行式布局: 步长访问	113
14.4	列式布局: 全列扫描	114
14.5	补充示例和讨论	115
14.6	自测题	116
	第 15 章 查询	117
15.1	关系代数	117
15.2	数据检索	118
15.3	自测题	120