

eXamen.press

eXamen.press ist eine Reihe, die Theorie und Praxis aus allen Bereichen der Informatik für die Hochschulausbildung vermittelt.

Alexander Schill · Thomas Springer

Verteilte Systeme

Grundlagen und Basistechnologien

2. Auflage

 Springer Vieweg

Prof. Dr. Alexander Schill
TU Dresden
Fakultät Informatik
Dresden, Deutschland

Dr. Thomas Springer
TU Dresden
Fakultät Informatik
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-642-25795-7
DOI 10.1007/978-3-642-25796-4

ISBN 978-3-642-25796-4 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Für unsere Familien

Vorwort zur zweiten Auflage

Nach der im Jahr 2007 veröffentlichten ersten Auflage liegt nun 4 Jahre später eine zweite Auflage des Buches vor. Dies ist zum einen der erfreulichen Tatsache geschuldet, dass die Exemplare der ersten Auflage weitestgehend ihre Leser gefunden haben. Zum anderen entwickelt sich das Themengebiet der Verteilten Systeme, wie die meisten Bereiche der Informatik, stetig weiter. Aus diesem Grund wurde die zweite Auflage um einige Themen erweitert und an einigen Stellen aktualisiert.

Die bedeutendste Änderung betrifft das Thema dienstorientierter Architekturen. Diese haben sich in den letzten Jahren zum vorherrschenden Paradigma für die Umsetzung Verteilter Systeme entwickelt. Wurden dienstorientierte Architekturen in der ersten Auflage im wesentlichen als Systemmodell unter dem Aspekt einer lose gekoppelten, interoperablen Kommunikation verteilter Systembausteine beschrieben, findet sich in der zweiten Auflage ein eigenes Kapitel mit einer ausführlichen Diskussion der wesentlichen Konzepte und Technologien zur Umsetzung dienstbasierter Systeme und Geschäftsprozesse. Weitere Ergänzungen betreffen etwa die Themen AJAX und Cloud Computing sowie Übungsaufgaben und Musterlösungen. Im Gegenzug wurde beim Thema der Anonymität gekürzt, so dass das Fachbuch auch weiterhin einen kompakten Überblick über das Themengebiet gibt.

Für die Unterstützung bei der Erstellung der zweiten Auflage danken wir dem Springer-Verlag sowie allen beteiligten Kollegen und Studierenden.

Dresden,
November 2011

Alexander Schill und Thomas Springer

Vorwort

Verteilte Systeme bilden das Rückgrat vieler industrieller Anwendungen, indem sie die gezielte Zusammenarbeit vernetzter Programme auf unterschiedlichen Rechnern ermöglichen. Einsatzfelder sind etwa die Büroautomatisierung, die Fertigungssteuerung, der elektronische Handel und natürlich auch das World Wide Web. Ausgehend vom Client-/Server-Modell entwickelten sich die Basistechnologien Verteilter Systeme seit Anfang der 90er Jahre intensiv weiter.

Das vorliegende Lehr- und Fachbuch gibt eine umfassende, aber dennoch kompakte Einführung in den Bereich der Verteilten Systeme. Ausgehend von konkreten Praxisbeispielen werden die wichtigsten Zielsetzungen Verteilter Systeme erörtert, Systemmodelle für deren Realisierung vorgestellt und dann einzelne Ansätze bis hin zu aktuellen objektorientierten und komponentenbasierten Technologien vertieft. Dabei spielen insbesondere verteilte Systemdienste für die Kommunikation, die Transaktionsverarbeitung, die Sicherheit und die Verwaltung von Namen und Ressourcen eine wichtige Rolle. Die teilweise eher abstrakten Konzepte werden regelmäßig durch Programmbeispiele in Verbindung mit einem durchgängigen Anwendungsbeispiel näher illustriert und zugänglich gemacht. Unter dem Gesamtkonzept der Middleware und der zugehörigen Application Server werden integrierte Systemlösungen präsentiert. Schließlich wird auch auf Werkzeuge zur Softwareentwicklung Verteilter Systeme unter Abdeckung des gesamten Lebenszyklus eingegangen und die Verzahnung mit Middleware-Lösungen aufgezeigt. Aufgrund der stark wachsenden Bedeutung mobiler Kommunikationsmöglichkeiten bildet das Mobile Computing, also die Realisierung mobiler Verteilter Systeme, einen weiteren aktuellen Schwerpunkt.

Das Buch wendet sich damit gleichermaßen an Praktiker aus der Software-Entwicklung und dem IT-Management, die einen aktuellen Überblick über Verteilte Systeme und Middleware suchen, wie auch an Dozenten und Studierende der Informatik und der damit verwandten Bereiche, die eine systematische und gleichermaßen auch praxisbezogene konzeptionelle Darstellung des Fachgebiets für die Ausbildung an der Hochschule suchen.

Das Fachbuch konzentriert sich auf die am weitesten verbreiteten Architekturkonzepte und Grundprinzipien Verteilter Systeme. Speziellere Aspekte wie etwa anwendungsspezifische verteilte Algorithmen, verteilte Dateisysteme oder auch ganz konkrete Produkte und kurzlebige Technologiedetails werden dagegen weitgehend ausgeblendet bzw. nur im konzeptionellen Überblick vorgestellt. Elementare Grundlagen wie etwa die Ressourcenverwaltung im Betriebssystem, die Details kryptografischer Verfahren, das World Wide Web, die Prinzipien der objektorientierten Programmierung oder die Programmier-

sprache Java, die alle durchweg in zahllosen anderen Publikationen und Lehrveranstaltungen vorgestellt werden, wurden bewusst nicht nochmals vertieft, sondern mit entsprechenden Literaturhinweisen unterlegt. Grundkenntnisse der Programmiersprache Java sowie des World Wide Web bzw. Internet werden vorausgesetzt. Vertiefende Kenntnisse in den Bereichen der Rechnernetze und Protokolle, Mobilfunktechnologien oder Sicherheit werden jedoch nicht erwartet.

Um das Buch für den Einsatz in der Lehre in entsprechenden Vertiefungsveranstaltungen noch attraktiver zu machen, werden die einzelnen Kapitel um Übungsaufgaben ergänzt, zu denen auch Musterlösungen zur Verfügung stehen.

Das vorliegende Buch entstand aus einer über viele Jahre hinweg realisierten und kontinuierlich weiterentwickelten Vorlesungsreihe zu Verteilten Systemen für das Hauptstudium in Informatik bzw. das Master's Program in Computational Engineering an der Technischen Universität Dresden. Wir danken allen beteiligten Kollegen und Studierenden für ihre fachlichen Hinweise, die mit in diese Ausarbeitung eingeflossen sind. Dem Springer-Verlag gebührt unser Dank für die kontinuierliche Unterstützung bei der Bucherstellung und -publikation.

Dresden,
März 2007

Alexander Schill und Thomas Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	
1.1	Anwendungsbeispiel	3
1.2	Zielsetzung Verteilter Systeme	5
1.3	Basiskonzepte	6
1.4	Übungsaufgaben	9
2	Systemarchitekturen	
2.1	Client/Server-Modell	14
2.2	Objektorientiertes Modell	15
2.3	Komponentenbasiertes Modell	18
2.4	Dienstorientiertes Modell	20
2.5	Mehrstufige Architekturen	22
	2.5.1 Dreistufige Architekturen	23
	2.5.2 Cluster	24
2.6	Grid Computing	26
	2.6.1 Grid-Architektur	28
	2.6.2 Anwendungsfelder des Grid Computing	29
2.7	Cloud Computing	31
	2.7.1 Dienstmodelle des Cloud-Computing	31
	2.7.2 Anwendungsfelder und Plattformen Lösungen für Cloud-Lösungen	34
2.8	Peer-to-Peer-Architekturen	36
	2.8.1 Typen von Peer-to-Peer-Architekturen	37
	2.8.2 Anwendungsgebiete von Peer-to-Peer-Architekturen	39
2.9	Zusammenfassung	39
2.10	Übungsaufgaben	41
3	Kommunikation	
3.1	Remote Procedure Call	46
	3.1.1 Architektur	47

3.1.2	Schnittstellenbeschreibung	49
3.1.3	Bindevorgang	49
3.1.4	Parameterübergabe	51
3.1.5	Prozessverwaltung	52
3.1.6	Fehlersemantik	53
3.1.7	Asynchrone RPCs	55
3.1.8	Erweiterungen	56
3.2	Remote Method Invocation	57
3.2.1	Java Remote Method Invocation	57
3.2.2	Schnittstellenbeschreibung	58
3.2.3	Server-Programm	60
3.2.4	Client-Programm	61
3.2.5	Automatische Speicherverwaltung	63
3.3	Asynchrones JavaScript und XML	64
3.3.1	Grundkonzept	66
3.3.2	AJAX Technologien	66
3.4	Web Services	69
3.4.1	Grundkonzept	69
3.4.2	Web Services Description Language	70
3.4.3	SOAP	73
3.4.4	Universal Description, Discovery and Integration	75
3.4.5	Bindevorgang und Dienstaufwurf	77
3.5	Message Oriented Middleware	78
3.5.1	MQ Series	80
3.5.2	Java Messaging Service	81
3.5.3	Fazit	82
3.6	Mobiler Code und Mobile Objekte	83
3.6.1	Mobiler Code	84
3.6.2	Mobile Objekte	85
3.7	Strombasierte Kommunikation	92
3.7.1	Anwendungsklassen und Anforderungen	93
3.7.2	Verbindungssteuerung	95
3.7.3	Strombasierte Kommunikation auf Basis von Internetprotokollen	96
3.8	Zusammenfassung	99
3.9	Übungsaufgaben	102
4	Transaktionen	
4.1	Grundkonzepte	107
4.2	Entfernter Datenbankzugriff	108
4.3	Verteilte Transaktionen	112
4.3.1	Zwei-Phasen-Commit-Protokoll	114
4.3.2	Optimistisches Zwei-Phasen-Commit-Protokoll	116
4.3.3	Nebenläufigkeitskontrolle	116
4.3.4	Geschachtelte verteilte Transaktionen	120

4.4	Transaktionsmonitore	122
4.4.1	Realisierte Mechanismen	122
4.4.2	Systemmodell	123
4.4.3	Legacy-Integration	125
4.4.4	Komponentenbasierte Transaktionssteuerung	127
4.5	Zusammenfassung	128
4.6	Übungsaufgaben	128
5	Sicherheit und Schutz	
5.1	Anforderungen	133
5.1.1	Angriffsszenarien	133
5.1.2	Schutzziele	134
5.2	Verschlüsselung	135
5.2.1	Symmetrische Kryptoverfahren	136
5.2.2	Asymmetrische Kryptoverfahren	137
5.2.3	Digitale Signaturen	139
5.2.4	Kombinierte Verfahren	139
5.3	Authentisierung	140
5.3.1	Authentisierung mittels symmetrischer Kryptoverfahren ..	140
5.3.2	Authentisierung mittels asymmetrischer Kryptoverfahren .	143
5.4	Autorisierung	144
5.4.1	Gruppen und Rollen	146
5.4.2	Zugriffskontrolllisten	147
5.4.3	Capabilities	148
5.5	Firewalls	150
5.5.1	Typen von Filtern	150
5.5.2	Firewall-Architekturen	152
5.6	Anonymität	153
5.6.1	Pseudonyme	154
5.7	Zusammenfassung	154
5.8	Übungsaufgaben	155
6	Namens- und Verzeichnisdienste	
6.1	Anforderungen	160
6.1.1	Anforderungen an die Namensstruktur	160
6.1.2	Anforderung an die Realisierungseigenschaften	160
6.2	Grundbegriffe und Namensstrukturen	161
6.2.1	Kontexte	161
6.2.2	Namensinterpretation	162
6.2.3	Junctions: Kombination von Namensräumen	163
6.3	Realisierungstechniken	163
6.3.1	Realisierungsarchitektur	164
6.3.2	Optimierungsmöglichkeiten	166
6.4	Systembeispiele	169
6.4.1	Internet Domain Name System	169

6.4.2	X.500 Directory Service	172
6.4.3	Java Naming and Directory Interface	176
6.5	Zusammenfassung	177
6.6	Übungsaufgaben	178
7	Komponentenbasierte Entwicklung Verteilter Systeme	
7.1	Komponentenbasierte Softwareentwicklung	182
7.1.1	Softwarekomponenten	185
7.1.2	Softwareentwurf und -lebenszyklus	188
7.1.3	Anwendungsmodellierung mit UML	192
7.1.4	Komponentenplattformen	194
7.2	Middleware und Application Server	211
7.2.1	Objektorientierte Middleware: Java RMI und CORBA	212
7.2.2	Message Oriented Middleware (MOM)	213
7.2.3	Komponentenbasierte Middleware	214
7.2.4	Gesamteinordnung der Middleware-Ansätze	216
7.3	Test und Debugging	217
7.3.1	Prinzip des Debugging	218
7.3.2	Test und Debugging Verteilter Systeme	218
7.3.3	Lamport-Verfahren	220
7.3.4	Reexecution und Replay	221
7.3.5	Haltepunkte	222
7.3.6	Beherrschung der Informationsflut	223
7.4	Zusammenfassung	223
7.5	Übungsaufgaben	224
8	Dienstbasierte Architekturen und Technologien	
8.1	Schritte zur Realisierung dienstorientierter Geschäftsprozesse ..	231
8.1.1	Grundlegende Konzepte	231
8.1.2	Vorgehensweise	233
8.2	Modellierung von Geschäftsprozessen	235
8.2.1	Petri-Netze	236
8.2.2	Business Process Model and Notation (BPMN)	239
8.3	Ausführung von Geschäftsprozessen	242
8.3.1	Business Process Execution Language (BPEL)	242
8.3.2	Fazit	247
8.4	Technologien und Standards zur Umsetzung dienstorientierter Architekturen	248
8.4.1	Verzeichnisdienste	249
8.4.2	Transaktionsunterstützung	250
8.4.3	Sicherheit mit WS-Security	254
8.5	Realisierungsplattformen	260
8.5.1	Enterprise Service Bus (ESB)	260
8.5.2	Java Business Integration (JBI)	262
8.5.3	Service Component Architecture (SCA)	263

8.6	Zusammenfassung	265
8.7	Übungsaufgaben	266
9	Weiterführende Konzepte der Softwareentwicklung	
9.1	Architekturbeschreibungssprachen	271
9.2	Konfigurationsprogrammierung	276
9.3	Model Driven Architecture	281
9.4	Aspektororientierte Programmierung	283
9.5	Zusammenfassung	287
9.6	Übungsaufgaben	287
10	Mobile Computing	
10.1	Mobile Computing: Anwendungen	291
10.2	Mobilfunknetze	295
10.2.1	Multiplexverfahren	295
10.2.2	Zellulare Weitverkehrsnetze	297
10.2.3	Lokale Funknetze	299
10.2.4	Satellitenbasierte Netze	301
10.2.5	Gesamteinordnung	302
10.3	Protokolle für Mobile Computing	304
10.3.1	Dynamic Host Configuration Protocol	304
10.3.2	Mobile IP	305
10.3.3	Mobile TCP	306
10.3.4	Mobile RPC	308
10.4	Unterstützungsmechanismen für Mobile Computing	310
10.4.1	Stellvertreteransatz	310
10.4.2	Abgekoppelte Operationen	312
10.4.3	Autonome Operationen	314
10.4.4	Dateisysteme für Mobile Computing	315
10.4.5	Datenbanklösungen für Mobile Computing	318
10.4.6	Objektorientierte Erweiterungen	321
10.4.7	Mechanismen zur Adaption von Anwendungsdaten	324
10.5	Adaptive Web-Anwendungen	329
10.5.1	Wireless Application Protocol	330
10.5.2	Verwendung einer gemeinsamen Beschreibungssprache	333
10.6	Java-basierte Anwendungen für mobile Rechner	343
10.6.1	Grundlegender Aufbau	343
10.6.2	Anwendungsentwicklung	346
10.7	Kontextabhängige Systeme	348
10.7.1	Lokationsabhängige Dienste	349
10.7.2	Basiskonzepte für kontextabhängige Systeme	354
10.8	Ausblick	363
10.9	Zusammenfassung	364
10.10	Übungsaufgaben	366

11 Zusammenfassung und Ausblick**A Lösungen**

A.1	Kapitel 1	377
A.2	Kapitel 2	378
A.3	Kapitel 3	382
A.4	Kapitel 4	388
A.5	Kapitel 5	391
A.6	Kapitel 6	393
A.7	Kapitel 7	396
A.8	Kapitel 8	402
A.9	Kapitel 9	410
A.10	Kapitel 10	411

Literaturverzeichnis	419
-----------------------------	------------

Index	427
--------------	------------