

1 Einführung und Motivation

Durch die zunehmende Verbreitung programmierbarer, tragbarer und vernetzbarer Hardware wie Personal Digital Assistants (PDAs), Laptops, Notebooks oder Mobiltelefonen sowie der (zumindest in Europa) fast flächendeckenden Verfügbarkeit von Funknetzwerken, bietet sich ihren Nutzern prinzipiell die Möglichkeit, auf Informationen jederzeit und an jedem Ort zugreifen zu können. Die dafür notwendige Software stellen mobile Datenbanken und Informationssysteme zur Verfügung.

1.1 Rahmenbedingungen

Informationssysteme in Rechnernetzwerken, denn nichts anderes bilden kommunizierende Mobilgeräte, sind heute Stand der Technik. Von einem vernetzten Arbeitsplatz-PC haben wir jederzeit Zugriff auf die neuesten Börsenkurse, den Chat mit Kollegen oder die Firmendatenbank. Dank Breitbandinternetanschlüssen geht das zudem kostengünstig und schnell. Von dieser Qualität sind mobile Informationssysteme, trotz der Propagierung von UMTS, noch weit entfernt. Dafür gibt es eine Reihe von, zum Teil prinzipiell fundierten, Gründen, die gewissermaßen die Rahmenbedingungen für mobile Datenbanken und Informationssysteme stellen und bei ihrer (Software-)Architektur immer berücksichtigt werden müssen.

Drahtlose Netzwerktechnik

Datenübertragung in den heute großflächig, aber nicht überall verfügbaren Funknetzwerken wie GSM, GPRS oder in Zukunft UMTS ist sehr teuer und verglichen mit kabelbasierten Netzwerken für den Einzelnen deutlich langsamer. Der Preis für die Datenübertragung wird durch die nur begrenzt verfügbaren Übertragungsfrequenzen und die hohen Investitionen der Betreiber beim Aufbau der Netzinfrastruktur bestimmt. Im Gegensatz zu Breitbandanschlüssen wie DSL müssen sich Mobilfunkteilnehmer in zellulären Netzen die maximale Bandbreite, bei UMTS etwa 2 Mbit/s, in einer Zelle teilen. Wollen viele Nutzer gleichzeitig ein Angebot nutzen, kann die für den Einzelnen erzielbare Übertragungsrate deutlich vom Maximum nach unten abweichen. Schnellere und

preiswertere Funknetzwerke wie WLANs sind dagegen nur an ausgewählten, stark frequentierten Orten (z. B. Hotels, Flughäfen und Bahnhöfen) anzutreffen und eher als bequemer Ersatz für eine kabelgebundene Verbindung zu betrachten.

Mobile Hardware

Mobile Endgeräte sind zwar mittlerweile recht leistungsfähig, aber auch weiterhin auf eine transportable Energiequelle angewiesen. Die Systemperformance sowie die Dauer und Sendeleistung für die Datenübertragung hängen von der Leistungsfähigkeit der Energiequelle ab. Die Energiedichte traditioneller Akkus ist begrenzt, so dass ein Mehr an Kapazität mit einem Mehr an Gewicht und damit verringerter Transportabilität einhergeht. Erst die Entwicklung neuer Energiespeicher, wie Brennstoffzellen, wird hier in Zukunft deutlich längere autonome Laufzeiten ermöglichen. Auf der einen Seite begrenzt die Transportabilität eines mobilen Rechners seine Größe nach oben, auf der anderen Seite kann ein mobiles Gerät auch nicht beliebig verkleinert werden, ohne seine Darstellungsfähigkeit und Handhabbarkeit einzubüßen.

1.2 Anforderungen und neue Möglichkeiten

Berücksichtigt man die Rahmenbedingungen der drahtlosen Netzwerktechnik und mobiler Hardware, ergibt sich eine Reihe von Anforderungen, die insbesondere an die Datenverarbeitung gestellt werden. So kann nicht garantiert werden, dass ein mobiles Gerät im Netzwerk immer erreichbar ist, sei es aufgrund eines Funklochs oder weil der Nutzer die Batterie schonen will und es einfach ausschaltet. In diesem Fall sind die Daten und Dienste, die dieses mobile Gerät speichert oder anbietet, für andere nicht verfügbar. Umgekehrt sind für den Nutzer, der gerade offline ist, Daten und Dienste im Netzwerk nicht zugreifbar. Im ersten Fall muss dafür gesorgt werden, dass für die nicht verfügbaren Rechner ein Ersatz bereitsteht bzw. gefunden werden kann. Will der Nutzer im zweiten Fall weiterarbeiten, setzt das voraus, dass die benötigten Daten vorher auf das mobile Gerät kopiert wurden.

Auf der einen Seite bringt die Mobilität Einschränkungen mit sich, die auf der anderen Seite aber durch neue Möglichkeiten mehr als ausgeglichen werden. Bei lokationsbasierten Diensten werden die Informationen über den Aufenthaltsort und den Kontext eines Nutzers genutzt, um eine für seine Situation passende Antwort zu erzeugen, zum Beispiel die Anzeige der nächstgelegenen Parkmöglichkeiten im Falle eines Autofahrers.

Zusammenfassend ergeben sich aus den bisher skizzierten Problemen und Perspektiven zwei zentrale Aspekte für mobile Datenbanken und Informationssysteme:

- ❑ *Drahtlosigkeit* und
- ❑ *Mobilität*.

Der Umgang mit diesen beiden Eigenschaften erfordert neue Konzepte und Techniken, die über die von herkömmlichen Datenbanken und Informationssystemen hinausgehen.

1.3 Anwendungsbeispiel

Welche Anforderungen an ein mobiles Informationssystem zu stellen sind, wird maßgeblich vom Anwendungsszenario bestimmt, das den mobilen Nutzern angeboten wird. Beispiele für bereits etablierte Anwendungen reichen von der persönlichen Termin- und Adressverwaltung auf dem PDA über den mobilen Zugriff auf das Firmennetz bis hin zur Unterstützung von Außendienstmitarbeitern. Dabei ist klar, dass ein lokationsbasierter Staumelder, bei dem die Nutzer Informationen nur konsumieren, andere Anforderungen stellt als eine mobile Datenbankanwendung, die auch bei Verbindungsunterbrechung ein normales Weiterarbeiten auf dem mobilen Gerät erlaubt.

Da wir in diesem Buch alle zentralen, für mobile Datenbanken und Informationssysteme erwachsenden Anforderungen und ihre Lösungen aufzeigen wollen, benötigen wir ein Rahmenszenario, das möglichst viele der zu beschreibenden Konzepte auf natürliche Weise enthält. Als Rahmenszenario dient ein (noch) fiktives Reiseinformationssystem. Das Reiseinformationssystem soll einen Touristen während seines Aufenthalts in einer Stadt unterstützen. Das System ist datenbankbasiert, das heißt, die abrufbaren Informationen sind in einer relationalen Datenbank gespeichert und können von den Touristen selbst aktualisiert werden. Die Idee eines interaktiven mobilen Reiseinformationssystems geht auf das an der Universität Jena entwickelte HERMES-Reiseinformationssystem zurück [BG03].

Begleiten wir einen Nutzer des Reiseinformationssystems, den wir im Folgenden *Peter* nennen wollen, während seines Aufenthalts in der Stadt Berlin. Wir gehen davon aus, dass Peter bei seinem Stadtbummel auf drahtlose Verbindungen angewiesen und nur gelegentlich über einen festen Datenanschluss, etwa im Hotel, mit dem Informationssystem verbunden ist. Es ist für ihn also wichtig, die bei der Recherche ausgewählten Informationen zur späteren Benutzung auch auf seinem mobilen Gerät zu speichern. Nehmen wir als Ausgangssituation an, Peter hält sich am Freitag Abend in seinem Hotel in Berlin auf (er ist dort gegen Gebühr mit dem Internet verbunden) und sucht ein gutes Restaurant für sein Abendessen. Dazu erfragt er über das Reiseinformationssystem die Daten und Nutzerkommentare aller Restaurants im Umkreis von 1000 m und lässt das Ergebnis zusammen mit einem geeigneten Stadtplan für die spätere Benutzung auf sein mobiles Gerät speichern.

Ortsbezug

Der erste Schritt zur Ausführung von Peters Anfrage ist die Bestimmung der Menge der in Frage kommenden Restaurants. Diese ist offensichtlich abhängig vom aktuellen Aufenthaltsort. Wir werden je nach Standort in Berlin eine andere Ergebnismenge auf unsere Anfrage erhalten. Diese Art von Anfragen, bei denen die Position des Anfragers entweder explizit Teil der Anfrage ist oder wie in unserem Fall über die Adresse des Hotelinternetanschlusses automatisch hinzugefügt werden kann, nennt man *ortsabhängige Anfragen*. Wir haben damit die erste Anforderung an unser Reiseinformationssystem identifiziert, die Unterstützung ortsabhängiger Anfragen. Wir werden uns in Kapitel 5 ausführlich mit Sprachen für ortsabhängige Anfragen und deren effizienter Ausführung beschäftigen.

Informationsanpassung

Nachdem das Reiseinformationssystem die in Frage kommenden Restaurants bestimmt hat, werden die geforderten Daten in den Speicher des Clients übertragen. Dabei muss das System die Art und Leistungsfähigkeit des von Peter verwendeten mobilen Gerätes berücksichtigen. Nehmen wir die geforderte Straßenkarte als Beispiel. So ist klar, dass deren Größe und Auflösung bei der Übertragung an das von seinem Gerät angebotene Display angepasst werden muss. Nehmen wir weiter an, zu den Restaurantinformationen gehört ein längerer Text zur Historie des jeweiligen Restaurants. Möchte Peter beispielsweise mit seinem Handy auf die Informationen zugreifen, ist die Übertragung einer Kurzfassung anstatt des kompletten Textes sinnvoll. Die beiden Beispiele gehören zur Anforderung an das Reiseinformationssystem, angefragte Daten für die jeweils vom Nutzer verwendete Geräteklasse und seinen jeweiligen Kontext aufzubereiten. Wir fassen die Problemstellung unter dem Begriff *Informationsanpassung* zusammen und widmen ihr das Kapitel 7.

Kopieren von Daten

Für das Kopieren der Daten und deren Aktualisierung greifen wir auf die Konzepte des *Caching* und der *Replikation/Synchronisation* zurück. Beide Konzepte werden bereits seit langem zur Erhöhung der Verfügbarkeit und Performance in den klassischen Bereichen der Client/Server-Kommunikation und den verteilten Datenbanken eingesetzt. Sie sind ebenso das Mittel der Wahl, wenn es um die Unterstützung des unverbundenen Arbeitens in mobilen Umgebungen geht. Allerdings unterscheiden sich die Einsatzbedingungen in mobilen Umgebungen deutlich von denen in vernetzten Umgebungen. Beispielsweise müssen die eingesetzten Verfahren sparsam mit den verfügbaren Ressourcen, vor allem lokaler Gerätespeicher und Übertragungsbandbreite, umgehen. Auch spielt die Behandlung von Änderungskonflikten eine viel größere Rolle als in nur kurz-

zeitig getrennt arbeitenden Systemen. Die Kapitel 9, 10 und 11 dieses Buches beschäftigen sich mit Caching-, Replikations- bzw. Synchronisationsverfahren unter den Bedingungen der Drahtlosigkeit.

Mobile Transaktionsverarbeitung

Wir wissen jetzt, wie wir mit dem Informationswunsch Peters umgehen müssen. Begleiten wir ihn also auf seinem Weg durch Berlin zu seinem ausgewählten Restaurant. Leider muss Peter bei seiner ersten Wahl feststellen, dass alle Plätze belegt sind. Er überlegt sich deshalb auf dem Weg zu seinem zweiten Ziel, dort einen Tisch zu reservieren. Die Client-Software des Reiseinformationssystems bietet ihm dazu eine Funktion an, die er über eine drahtlose Verbindung ausführen kann. Nun handelt es sich bei einer Tischreservierung am Freitag Abend in Berlin um eine zeitkritische Angelegenheit. Wir erwarten deshalb für den Vorgang ein transaktionsorientiertes Verhalten. In festvernetzten Umgebungen eine Standardtechnik, gibt es bei der Mobilität mindestens eines Transaktionspartners eine Reihe von zusätzlichen Problemen zu lösen, die wir in Kapitel 8 betrachten werden.

Informationsverbreitung

Wir sind bisher davon ausgegangen, dass Peter seine Entscheidung ausschließlich anhand der zu Beginn im Hotel kopierten Informationen treffen muss. Aus Sicht der Restaurantbesitzer erscheint es sinnvoll, ihn auch auf seinem Weg über das Reiseinformationssystem mit aktuellen Informationen etwa zu besonderen Attraktionen oder freien Sitzplätzen versorgen zu lassen. Die Informationen können dabei orts- und kontextabhängig, zum Beispiel in Bezug auf die gespeicherten Daten, angeboten werden. Diese so genannten *Push*-Techniken oder *Broadcast*-Dienste, die hierfür zum Einsatz kommen, benötigen meist eine spezielle Infrastruktur und eine andere Datenverwaltung als die bisherige direkte Kommunikation zwischen Client- und Reiseinformationssystem. Das Thema *Informationsverbreitung* ist Gegenstand von Kapitel 12.

Dienstfindung

Schließlich kommt Peter im gewünschten Restaurant an, wo er feststellen muss, dass er nicht alle Worte der italienischen Speisekarte versteht. Auch hier hilft ihm sein mobiles Gerät: Er sucht gezielt nach einem Dienstanbieter, der einen Übersetzungsdienst Italienisch-Deutsch anbietet, den er nutzen kann, um sich die unverständlichen Wörter übersetzen zu lassen. Nach dem Essen sucht er einen Dienst, der ihm die neuesten Nachrichten der Welt sowie aus Berlin liefert. Es gibt gleich mehrere Anbieter, aus denen er einen geeigneten auswählt. Diese Aufgaben fallen unter das Themengebiet der effizienten Auffindung von

geeigneten Diensten in mobilen Umgebungen wie Zell- oder Ad-hoc-Netzen und wird in Kapitel 4 behandelt.

Bewegliche Objekte

Es ist spät geworden, und Peter möchte sich von einem Taxi zu seinem Hotel zurückfahren lassen. Das Reiseinformationssystem bietet ihm dazu Links zu Berliner Taxiunternehmen an. Für die Anforderung muss Peter nicht einmal das Telefon bemühen, er bestellt das Taxi bequem aus dem Programm heraus bei bestehender drahtloser Verbindung. Auf der Kommunikationsstrecke Client–Taxiunternehmen gleicht die Anforderung auf den ersten Blick der für die Tischreservierung. Wechseln wir unseren Fokus auf die Software des Taxiunternehmens stellt sich hier eine neue, bisher noch nicht aufgetretene Anforderung durch die Mobilität. Die Software muss anhand der Positionsdaten von Peter und der bekannten Position, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit aller freien Taxis entscheiden, welches Taxi Peter nach Hause bringen soll. Wir haben es hier also mit Anfragen an *bewegliche Objekte* zu tun. Wie man damit effizient umgeht und was dabei beachtet werden muss, lernen wir in Kapitel 6.

1.4 Gliederung des Buches

Im vorangegangenen Abschnitt haben wir bereits eine grobe Gliederung des Buches am Beispiel unseres Anwendungsszenarios skizziert. Im Folgenden wollen wir kurz auf die einzelnen Kapitel eingehen:

- ❑ Die technischen Grundlagen mobiler und drahtloser Umgebungen werden in Kapitel 2 besprochen. Grundlegende Begriffe wie zum Beispiel mobile Geräte oder drahtlose Netze werden hier eingeführt.
- ❑ Kapitel 3 beschäftigt sich mit den Dimensionen der Mobilität und der Rolle der Lokation in mobilen Umgebungen. Zentrales Augenmerk liegt hierbei auf der Verwaltung von Lokationsinformationen.
- ❑ Das Auffinden und Vermitteln von Diensten in mobilen Umgebungen ist Thema von Kapitel 4. Existierende Techniken werden klassifiziert und beispielhaft vorgestellt.
- ❑ Die Verarbeitung von Anfragen, die von mobilen Nutzern gestellt werden, ist Gegenstand von Kapitel 5. Es werden lokationsabhängige und lokationsbezogene Anfragen behandelt und Verfahren zur automatischen Anfragetransformation skizziert.
- ❑ Kapitel 6 widmet sich der Speicherung und Indexierung von beweglichen Objekten in Datenbanken und zeigt, wie diese Objekte angefragt werden können und welche Anpassungen existierender Datenbankkonzepte zu ihrer Unterstützung notwendig sind.

- ❑ Kapitel 7 diskutiert, wie Anfrageergebnisse aufbereitet werden können, so dass sie auf mobilen Geräten gut darstellbar sind, und geht der Frage nach, wie diese Darstellung an den Kontext des mobilen Nutzers angepasst werden kann.
- ❑ Die Transaktionsverwaltung spielt auch in mobilen und drahtlosen Umgebungen eine zentrale Rolle als Mittel zur fehlertoleranten, nebenläufigen Verarbeitung von Daten. Kapitel 8 nimmt sich dieser Thematik an. Es stellt insbesondere Transaktionsmodelle vor, die auf die Anforderungen mobiler Anwendungen zugeschnitten sind.
- ❑ Die mobile Informationsverarbeitung kann durch geeignetes Caching erheblich beschleunigt werden, indem Daten, die noch gebraucht werden, auf dem mobilen Gerät zwischengespeichert werden. Kapitel 9 widmet sich den Konzepten und Techniken des semantischen Caching.
- ❑ Eine Erweiterung des Caching stellt das Horten von Daten dar, das Daten präventiv besorgt und auf dem mobilen Gerät zwischenspeichert, um den späteren Zugriff zu beschleunigen. Kapitel 10 diskutiert die Problematik des Hoarding und stellt Lösungsansätze vor.
- ❑ Die Replikation und Synchronisation von Daten als zentrales Konzept zur (konsistenten) Verarbeitung von Information in mobilen und drahtlosen Umgebungen wird in Kapitel 11 thematisiert.
- ❑ Kapitel 12 diskutiert Mechanismen zur Verbreitung von Information in mobilen und drahtlosen Umgebungen.
- ❑ Zum Abschluss stellt Kapitel 13 mit Oracle Lite, IBM DB2 Everyplace, Microsoft SQL Server CE und Sybase Adaptive Server Anywhere vier ausgewählte Vertreter kommerzieller mobiler Datenbanksysteme vor. Der Fokus der Präsentation liegt auf der Architektur der jeweiligen Systeme sowie auf den unterstützten Replikations- und Synchronisationsmechanismen.

1.5 Wegweiser

Das vorliegende Buch ist in erster Linie als Lehrbuch konzipiert und richtet sich somit primär an Studierende und Dozenten der Informatik sowie informatiknaher Studiengänge. Es behandelt Mobilität und Drahtlosigkeit auf der Ebene der Informationssysteme. Kapitel 2 dient der Auffrischung notwendiger Grundlagen und kann von Lesern, die bereits bewandert in den Themen kabellose Kommunikation, mobile Endgeräte und Positionsbestimmung sind, übersprungen werden. Die anderen Kapitel sind in zwei Teile aufgegliedert, die zum einen die aus der Mobilität resultierenden Fragestellungen und zum anderen Techniken zum Umgang mit der Drahtlosigkeit beschreiben. Beide Teile bauen aufeinander auf, so dass wir empfehlen, beim Studieren und Lehren

sequentiell vorzugehen. Beispielsweise wird beim Cachen lokationsabhängiger Daten, das in Kapitel 9 behandelt wird, ein Bewegungsmodell als bekannt vorausgesetzt, das bereits in Kapitel 6 eingeführt wird.

Zu Beginn von Kapitel 3 wird kurz beschrieben, welche Verzahnung die »Mobilitätskapitel« untereinander aufweisen. Analog dazu leitet Kapitel 9 die »Drahtlosigkeitskapitel« ein. Da Transaktionen im mobilen Kontext beide Bereiche tangieren, bildet Kapitel 8 die Überleitung zwischen beiden Teilen. Je nach Art der Lehrveranstaltung ist es bei Kapitel 13 sinnvoll, sich auf ein betrachtetes System zu konzentrieren und dieses anhand von vertiefender Literatur detailliert zu evaluieren. In der vorliegenden Form bietet das Kapitel aber durchaus einen guten Überblick darüber, wie Replikation und Synchronisation in kommerziellen (mobilen) Datenbanksystemen realisiert werden. Für das Verständnis ist eine vorherige Lektüre des Replikationskapitels 11 zu empfehlen.

Das Buch richtet sich aber auch an Praktiker, die sich für aktuelle Forschungsansätze interessieren. Auch für sie gilt, dass Kapitel 2 lediglich die notwendigen Grundlagen behandelt. Für mehr Details zu den dort besprochenen Themen verweisen wir von vornherein auf die referenzierte vertiefende Literatur. Sind Sie an einem speziellen Thema interessiert, so steht es Ihnen frei, direkt in das diese Thematik behandelnde Kapitel einzusteigen. Die Verzahnung der Inhalte dieses Buches ist durchgehend durch Verweise dokumentiert, so dass gegebenenfalls zurückgeblättert und nachgelesen werden kann.

1.6 Konventionen

Neu eingeführte Begriffe werden durch *Kursivschrift* hervorgehoben. Programmtexte und aus ihnen entnommene Bezeichner werden in einer serifenlosen Schrift notiert. Schlüsselwörter, vordefinierte Datentypnamen und Typkonstruktornamen sind in einer **serifenlosen Fettschrift** gesetzt.

1.7 Weitere Informationen

Die Webseite <http://www.dpunkt.de/buch/mobis> stellt Begleitmaterial zum Buch bereit. Sie enthält unter anderem aktuelle Informationen über kommerzielle Systeme, Vorlesungsfolien sowie Lösungen für die Übungsaufgaben.