

Universität Stuttgart

Fakultät Informatik

Studiengang : Informatik
Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. Kurt Rothermel
Betreuer : Dipl.-Inf. Tobias Drosdol
Beginn am : 8. Dezember 2003
Beendet am : 6. Juni 2004
CR-Nummer : C2.4, E1, G2.2, H3.4

Studienarbeit Nr. 1930

Entwurf und Bewertung von Lokationsmodellen

Mirko Knoll



Institut für Parallele und
Verteilte Systeme (IPVS)
Abteilung Verteilte Systeme
Universitätsstraße 38
70569 Stuttgart

Kurzfassung

Inhalt dieser Arbeit ist die Suche nach Kriterien zur Auswahl eines effizienten Lokationsmodells. Das heißt, dass durch Überlegungen und Berechnungen für jede Umgebung das Modell gefunden wird, welches den minimalen Aufwand mit dem größten Nutzen kombiniert.

Zuerst werden daher die Faktoren bestimmt, die ein Lokationsmodell effizient erscheinen lassen. Die Unterstützung der Anfragetypen und die Genauigkeit – speziell bei Nachbarschaftsanfragen – stellen dabei die Kernanforderungen dar. Daher ist es von großer Bedeutung sich dann einen Überblick über die verschiedenen Modelle zu verschaffen. Die anschließende Diskussion über die verschiedenen Vor- und Nachteile gibt Aufschluss über die Einsetzbarkeit in verschiedenen Umgebungen. Dabei wird klar, dass kein Modell alle Anforderungen gleich gut erfüllt. Daher wird eine Kenngröße eingeführt, die es erlaubt die einzelnen Modelle an derselben Umgebung zu vergleichen.

Da die Modelle jeweils nur mit einem unterschiedlichen Aufwand realisiert werden können stellt diese Arbeit eine Hilfe dar, das Modell zu wählen, welches den Anforderungen in der Genauigkeit genügt, aber gleichzeitig auch den geringsten Aufwand mit sich bringt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Sensor Technologien	5
2.2 Lokationsmodelle	8
2.3 Lokationsmanagement	12
2.3.1 Anfragetypen	12
2.3.2 Navigation	15
2.4 Herausforderungen.....	17
3 Problemstellung.....	19
3.1 Fragestellung.....	19
3.2 Systemmodell.....	20
4 Analyse der existierenden Modelle	23
4.1 Das Zonenmodell	23
4.2 Das Zellmodell.....	24
4.3 Hierarchische Modelle.....	25
4.3.1 Das baumförmige Modell	25
4.3.2 Das gitterförmige Modell	27
4.4 Graphbasierte Modelle	30
4.4.1 Ungewichteter Graph	31
4.4.2 Variante: Ungewichteter Graph mit Entscheidungspunkten	32
4.4.3 Gewichtete Graphen	33
4.4.4 Modell der mehrfachen Gewichtung	35
5 Leistungsaspekte.....	37
5.1 Grundlagen	37
5.2 Namensvergabe	41
5.3 Modellierungsaufwand (Überlappung).....	42
5.4 Exklusive Koordinaten (PA)	43
5.5 Wahl des Referenzpunkts (PA)	44

5.6	Modellierung von Inklusionen (GA).....	47
5.7	Modellierung von Überlappungen (GA).....	47
5.8	Entfernungsabschätzung im Gitter (NA).....	49
5.9	Ungewichteter Graph (NA).....	51
5.10	Knotengewichteter Graph (NA).....	54
5.11	Der 1-fach kantengewichtete Graph (NA).....	57
5.12	Mehrfache Gewichtung (NA).....	61
5.13	Variante: Gerichtete Graphen (NA).....	63
5.14	Ergebnis	64
6	Zusammenfassung.....	67
6.1	Ergebnis	67
6.2	Ausblick	68
	Literaturverzeichnis	XII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Interaktion der Komponenten	12
Abbildung 2 - Vier verschiedene Formen der Navigation.....	16
Abbildung 3 - Hierarchisches (links) und geometrisches (rechts) Modell.....	20
Abbildung 4 - Beispiel-Modellierung im Zonenmodell	23
Abbildung 5 - Überschneidungen von Koordinaten.....	24
Abbildung 6 - Koordinaten im baumförmigen Modell	26
Abbildung 7 - Multiple Zugehörigkeit im Gittermodell	28
Abbildung 8 - typische Bürolandschaft	31
Abbildung 9 - Büros im ungewichteten Graphen	32
Abbildung 10 - ungewichteter Graph mit Entscheidungspunkten	33
Abbildung 11 - kantengewichteter Graph	34
Abbildung 12 - Fehler durch Abkürzungen.....	34
Abbildung 13 - Szenarien bei der Entfernungsmessung	38
Abbildung 14 - Unvergleichbare Objekte	40
Abbildung 15 - Beispielmodell für Nachbarschaftsanfragen.....	41
Abbildung 16 - Kennzeichnung von Objekten.....	41
Abbildung 17 - Aufwand zur Modellierung mit und ohne Überlappung	42
Abbildung 18 - Wechselbeziehung zwischen Mittel- und Schwerpunkt bezogen auf die Benutzeranzahl.....	45
Abbildung 19 - Koordinatenwahl bei länglichen Räumen.....	46
Abbildung 20 - Hotspots im baumförmigen Modell	47
Abbildung 21 - Überlappung von Sensoren.....	48
Abbildung 22 - Verhalten der Aufenthaltswahrscheinlichkeit unter Verwendung des Schwerpunkts.....	49
Abbildung 23 - Auswirkungen der Senderpositionen im Bezug auf die Überlappungen.....	50

Abbildung 24 - Beispiel modelliert im ungewichteten Graphen.....	51
Abbildung 25 - Knotengewichteter Graph	54
Abbildung 26 - Abweichung im knotengewichteten Graphen	55
Abbildung 27 - Komponentenweise Berechnung der Entfernungen und resultierender Graph.....	58
Abbildung 28 - Kantengewichteter Graph	58
Abbildung 29 - Mehrfach gewichteter Graph	61
Abbildung 30 - Allgemeine Werte der Modellierungsvarianten	65
Abbildung 31 - Übersicht der Werte am gewählten Beispiel.....	65

Abkürzungsverzeichnis

AO	Aufenthaltort
Dist	Distanz / Entfernung
$G(x)$	Gewicht von Kante / Knoten x
GA	Gebietsanfragen
GPS	Global Positioning System
MP	Mittelpunkt
NA	Nachbarschaftsanfragen
PA	Positionsanfragen
RD	gerundet
SP	Schwerpunkt
Sup	Supremum / kleinste obere Schranke
Wc	worst case / ungünstigster Fall

1 Einleitung

Dieses Kapitel bietet eine generelle Einführung in das Themengebiet der Modellierung von Lokationen. Die Aufgabenstellung verdeutlicht dabei die Notwendigkeit der genaueren Untersuchung der verschiedenen Lokationsmodelle für den Einsatz in einem Lokationsdienst.

1.1 Motivation

„Nach 100 Metern, rechts abbiegen. Das Ziel befindet sich auf der linken Seite.“ Solche und ähnliche Stimmen von Navigationssystemen werden uns immer vertrauter. Schon heute lässt sich ein GPS gesteuertes Navigationssystem als Option in Mittelklassewagen installieren, in der Oberklasse ist es sogar fast schon Standard. Diese Technik führt uns auf der Straße sicher von jedem Ausgangspunkt zum Ziel. Der nicht anhaltende Preisverfall und die steigende Beliebtheit sorgen dafür, dass ständig an Erweiterungen gearbeitet wird. So ist es heute möglich, sich nicht nur zu einem festen Ziel leiten zu lassen, sondern auch Anfragen an das System zu stellen, wie z.B. „wo befindet sich die nächste Tankstelle?“ Mittlerweile lassen sich die Kartendaten auf PDAs mit GPS Empfänger laden und dadurch ähnliche Anfragen überall stellen. Ähnliches bieten auch die Mobilfunk – Netzbetreiber ihren Kunden mit Hilfe von ortsbasierten Anwendungen an. Somit können uns Computer an nahezu jedem Ort bei der Orientierung unterstützen.

Leider hat auch diese Technologie ihre Grenzen. Ohne ein explizites Abbilden (Mapping) der bei GPS üblichen geometrischen Koordinaten auf eine symbolische Karte, wie beispielsweise ein Stadtplan, ist es dem Benutzer nur schwer möglich ein bestimmtes Ziel zu finden. Für Gebäude existieren solche Karten in der Regel nicht. Für eine Realisierung in einem Gebäude müssten daher zuerst alle Räume vermessen werden und anschließend diese Informationen auf einer Karte werden verzeichnet werden um für den Benutzer verwertbare Informationen zu generieren. Der Aufwand hier ist jedoch beträchtlich. Dieses Abbilden ist aber unbedingt notwendig, da die Aussagekraft geometrischer Koordinatenangaben weit hinter denen der Symbolischen zurückbleibt. Die meisten Menschen finden durch symbolische Bezeichner wie „die Bücherei im Informatikgebäude der Universität Stuttgart“ schneller dorthin, als mit der bei GPS üblichen Koordinatenangaben von 9°6' 26" E 48°44' 43" N. Ein weiterer gravierender Nachteil von GPS ist seine limitierte Empfangsmöglichkeit innerhalb von Gebäuden. Ohne ein kontinuierliches Signal ist die Navigation nur erschwert möglich.

Auf Grund dieser Tatsachen ist es sinnvoll für die Modellierung in Gebäuden anstatt geometrischer symbolische Verfahren zu nutzen. Ein Problem, das diese Entscheidung mit sich bringt, ist dass bei den symbolischen Verfahren implizit keine räumlichen Beziehungen modelliert werden. Grundlegende Anfragen wie „wo ist der nächste Drucker“ lassen sich somit nicht mehr beantworten. Wo sich mit absoluten Koordinaten (GPS) noch Entfernungen zwischen Punkten berechnen lassen, ist es für das zu Grunde liegende System nicht ohne weiteres zu entscheiden, ob der Benutzer näher beziehungsweise näher am Drucker in Raum 1.342 oder in Raum 1.488 ist. Um solche Anfragen wieder möglich zu machen, kann der Entwickler aus einer Vielzahl von so genannten Lokationsmodellen wählen und seine Umgebung mit dem gewählten Modell abbilden. Doch welches Modell eignet sich am besten?

1.2 Aufgabenstellung

Dass es keine pauschale Antwort auf die Frage nach dem besten Modell geben kann, war zu erwarten. Die komplexeren Modelle haben zwar den Vorteil, dass sie die Realität genauer abbilden, als die einfacheren Modelle, dafür muss um diese Genauigkeit zu erreichen auch sehr viel mehr Aufwand in die Modellierung investiert werden. Daher ist es wichtig sich einen Überblick über die derzeit verfügbaren Modelle zu machen und ihre Stärken und Schwächen genauer zu betrachten.

Von den meisten Modellen gibt es Varianten, die ein oder mehrere Features unterschiedlich implementieren. Diese Arbeit erläutert auch die Unterschiede der einzelnen Varianten und versucht mit Hilfe von Formeln Anhaltspunkte zur Entscheidungsfindung zu geben. Der Entwickler des Systems kann berechnen, ob es sich der Aufwand lohnt genauer zu modellieren. Das heißt, ob Anfragen nach der aktuellen Position des Benutzers oder eines Objekts (Positionsanfragen) sowie nach allen Personen (gilt bei allen Anfragetypen gleichermaßen für Objekte) in einem bestimmten Gebiet (Gebietsanfragen) oder der nächsten Person mit besonderen Eigenschaften (Nachbarschaftsanfragen) mit deutlich höherer Genauigkeit beantwortet werden können oder nicht.

Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit soll das Lokationsmodell gewählt werden können, dass für den Einsatz in jeder beliebigen Umgebung den besten Aufwand – Nutzen Faktor hat.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der weitere Verlauf der Arbeit gliedert sich folgendermaßen. Das nächste Kapitel vermittelt zunächst einen Überblick über die verschiedenen Positionierungssysteme, die sich derzeit am Markt befinden. Darauf aufbauend wird dann eine Basis für das Verständnis des Lokationsmanagement geschaffen. Das folgende Kapitel geht noch einmal näher auf die Aufgabenstellung ein und grenzt diese Arbeit von anderen ab. Danach folgt eine vertiefende Analyse der Lokationsmodelle, welche eine Grundlage für die Effizienzbetrachtungen im nächsten Kapitel darstellt. Diese erläutert, welche Faktoren für die Effizienz eines Modells entscheidend sind und verdeutlicht diese an einem Beispiel. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Arbeit und gibt einen Ausblick auf weitere Möglichkeiten der Erweiterung bestehender Lokationsdienste beziehungsweise Lokationsmodelle.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden Grundkenntnisse vermittelt, auf die die später behandelten Methoden und Techniken aufbauen. Dabei wird ein kurzer Überblick über derzeit verfügbaren Sensorsysteme zur Positionsbestimmung gegeben. Im Anschluss folgt eine kurze Einführung in das Gebiet der Lokationsmodelle. Das Lokationsmanagement vermittelt einen Überblick über das Grundgerüst, das notwendig ist um Anwendungen die Interaktion mit den Sensoren und dem Lokationsmodell zu ermöglichen. Die verschiedenen Möglichkeiten der graphischen Unterstützung bei der Navigation geben Aufschluss über die Vielfalt dieses Gebietes. Das Kapitel schließt mit Herausforderungen auf dem Gebiet der Realisierung von Lokationsdiensten und Modellen, die von Wichtigkeit sind, aber im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden.

2.1 Sensor Technologien

Um die Position von Menschen oder Gegenständen zu bestimmen sind so genannte Sensor Technologien notwendig. Im Laufe der Jahre haben sich verschiedene Technologien entwickelt von denen jede ihre Vor- und Nachteile hat. Daher findet sich heute eine Vielzahl eingesetzter Sensoren über die ein kurzer Überblick folgt (siehe [11]).

- GPS

Das Global Positioning System (GPS) ist die wohl bekannteste Technologie zur Positionsbestimmung. Weltweit umkreisen 24 Satelliten (21 im Einsatz, 3 Backup) die Erde und senden konstant Daten, die es den GPS Receivern ermöglichen durch Triangulation ihre Position zu bestimmen. Sind Signale von mindestens drei Satelliten vorhanden, so kann eine Genauigkeit auf ca. 15 m erreicht werden. Aufgrund der verwendeten Trägerfrequenz und einer geringen Signalstärke ist ein Empfang in Gebäuden nicht möglich. Somit ist diese Technologie für den Innenbereich nicht geeignet ([17], [22]).

- Active Badge (Olivetti Research Laboratory)

Das Active Badge System war eines der ersten Systeme, das speziell für die Lokalisierung in Gebäuden entwickelt wurde. Jede Person trägt einen Sender (Badge), der periodisch oder auf Anforderung, die ID des Trägers per Infrarot-signal ausstrahlt. Ein zentraler Server sammelt die Signale aller im Gebäude

verteilten Empfänger und wertet sie aus. Der Standort der Empfänger kann mit einem symbolischen Bezeichner (z.B. dem Raumnamen) versehen werden und ermöglicht eine einfache Ortung der Personen. Die Reichweite der Sender wird durch fluoreszierendes Licht sowie direkter Sonneneinstrahlung beeinflusst und liegt im Normalfall bei einigen wenigen Metern. Für größere Räume müssen somit schon mehrere Empfänger pro Raum verwendet werden (siehe [23]).

- Active Bat (AT&T Cambridge)

Eine Weiterentwicklung des Active Badge stellt das Active Bat System dar. Anstatt von Infrarotsignalen werden hier Ultraschallsignale verwendet, die gegenüber Fremdlichteinwirkung unempfindlich sind. Die Empfänger werden gitternetzförmig im Abstand von einem Meter an der Decke angebracht. Eine zentrale Steuereinheit misst dann die Signallaufzeit zwischen dem Stellen der Positionsanfrage und Erhalt des Signals. Da mehrere Empfänger das Signal empfangen kann über Triangulation die Position recht genau bestimmt werden. Die Ungenauigkeiten sind dabei selten größer als 10 cm (vgl. [11]). Ein Nachteil ist der hohe Bedarf an Empfängern und die hohen Kosten bei der Installation der Empfänger in der Decke.

- RADAR (Microsoft Research)

Um die Kosten für die Geräte beziehungsweise die Lokalisierung zu senken entwickelte Microsoft Research ein System, das auf der Standard Funk-LAN Technologie (IEEE 802.11) basiert. Die Basisstationen messen die Signalstärke und den Rauschabstand der Signale der mobilen Sender (Tags). Mit diesen Daten und einem gespeicherten Gebäudeplan (muss für das System gesondert erstellt werden) kann die Position der Sender bis auf ca. 4 Meter genau bestimmt werden. Obwohl das System kostengünstig ist, hat es doch zwei gravierende Nachteile, die den Einsatz in großen Gebäuden beeinträchtigen. Zum einen können mit dem System nur Objekte geortet werden, die mit einem WLAN Anschluss ausgestattet sind, zum anderen ist es in einem mehrstöckigen Gebäude nicht ohne weiteres feststellbar, auf welchem Stockwerk sich das Objekt befindet.

Der Firma Ekahau gelang es dieses Problem zu lösen indem dem System zur genaueren Positionierung ein validierter Gebäudeplan integriert wird. Das heißt in der Lernphase werden „Beispielpunkte“ (ca. alle drei Meter) auf dem Plan abgegangen und mit diesen das System kalibriert (vergleiche [8], [9]). Dadurch wird eine durchschnittliche Genauigkeit von 1,9 m erreicht. Die Visualisierung der lokalisierten Objekt erfolgt dann in Echtzeit auf einem Client.

Die Genauigkeit kann bis auf einen Meter erhöht werden, jedoch nur bei gleichzeitiger Erfassung durch vier Access Points. In typischen Einsatzumgebungen ist dies aber eher unwahrscheinlich, da zur reinen Kommunikation weniger Access Points ausreichend sind.

- Cricket (MIT)

Alle bisherigen Systeme berechnen die Position in den Basisstationen. Einen anderen Ansatz stellt das vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelte Cricket System dar. Im Raum verteilte Emitter senden eine Kombination aus Funk- und Ultraschallsignalen ([2], [20]). Die Entfernung wird dann durch die Verzögerung in den verschiedenen Signallaufzeiten der beiden Signale berechnet. Da im Funksignal weitere Daten wie z.B. der Raumname übermittelt werden, kann auch bei Kontakt zu nur einem Emitter trotzdem eine Positionsbestimmung erfolgen. Die Genauigkeit fällt dabei von 1,2x1,2 Metern (derzeit mit Triangulation) auf die Granularität des symbolischen Bezeichners des Emitters. Einer der Hauptvorteile dieses Verfahrens ist der Schutz der Privatsphäre und die Skalierbarkeit des Systems, da auf eine zentrale Komponente verzichtet werden kann. Dafür entsteht jetzt in den mobilen Geräten ein hoher Energiebedarf, denn alle Berechnungen werden im Endgerät durchgeführt.

- High-end Range Finder Fiore (NEC)

Ein Durchbruch in der Gesichtserkennung ist jüngst NEC geglückt [I, J]. Durch einen neuartigen Algorithmus zur Personenbeschreibung kann nun mit Hilfe von 3D Kameras eine Trefferrate von 96,5 % erreicht werden. Der verwendete GIB (Geodesic Illumination Basis) Algorithmus soll eine optimale Beschreibung der Gesichtscharakteristika bei verschiedenen Posen und Beleuchtungsverhältnissen ermöglichen. In einer Fotokabine werden innerhalb von 0,6 Sekunden von vier Kameras Aufnahmen der linken und rechten Gesichtshälfte gemacht und diese zu einem 3D Modell zusammengefügt. Die Anfrage erfolgt durch ein konventionelles 2D Bild (z.B. von einer Überwachungskamera), das mit 3D Formen und Oberflächenreflektionen aus der Datenbank verglichen wird. Dadurch kann laut Hersteller selbst bei widrigen Umwelteinflüssen innerhalb kurzer Zeit (~ 2-8 sec) ein exaktes Ergebnis geliefert werden.

Weder das NEC System noch das sehr ähnliche Produkt aus dem Hause A4Vision (siehe [1]) haben bislang die Marktreife erlangt. Daher gibt es auch keine weiteren Details zur Leistungsfähigkeit des Systems, wie die Anzahl der gespeicherten Objekte in der Datenbank bei der die kurze Antwortzeit garantiert wird, noch wie viele Kameras gleichzeitig an das System angeschlossen

werden können. Es bleibt abzuwarten, ob sich Fiore in der Feldstudie BIOP II (siehe [5]) am Frankfurter Flughafen behaupten kann um die Alltagstauglichkeit abschätzen zu können.

2.2 Lokationsmodelle

Um die von Positionierungssystemen empfangenen Positionen von Objekten miteinander in Bezug zu bringen ist ein Lokationsmodell notwendig. Dieses verwaltet die Menge alle Lokationsangaben und repräsentiert diese in einem Bezugssystem. Nach [17] gibt es hierfür unterschiedliche Modelltypen als Ausgangsbasis:

Geometrische Modelle

Die geometrischen Modelle stellen Lokationen als n – Tupel geometrischer Koordinaten dar. Die Koordinaten entsprechen dabei Punkten, Flächen oder Körper (der Raum bzw. das Gebiet mit seiner ganzen Höhe).

Eine Klassifizierung der geometrischen Modelle kann über die Anzahl der verwendeten Referenzkoordinatensysteme vorgenommen werden. Einfache geometrische Modelle (simple geometric models) basieren auf einem Koordinatensystem, während die vereinigten geometrischen Modelle (unified geometric models) mehrere verwenden.

Vorteile

- Die Referenzkoordinatensysteme lassen sich meist ohne Anpassung wieder verwenden (z.B. Längen- und Breitengrade im GPS System).
- Die Genauigkeit der Informationsangaben bleibt beim Abbilden von einem Koordinatensystem zum anderen erhalten, solange die Abbildung verlustfrei ist.
- In einem geeigneten Bezugssystem stellen Koordinaten eine eindeutig interpretierbare Positionsangabe dar.
- Für den Datenaustausch in einem vereinigten geometrischen Modell genügt es, wenn die Sensoren und Anwendungen eines der verwendeten Koordinatensysteme unterstützen.

Nachteile

- Für ein effizientes Management (Bsp.: Zutrittskontrolle, Tür „Serverraum“ ist aussagekräftiger als Tür 23) der Koordinaten werden symbolische Bezeichner benötigt. Ebenso benötigen die Benutzer ein gesondertes Verzeichnis in dem die Koordinaten auf aussagekräftigere Bezeichner abgebildet werden.
- Geometrische Koordinaten sind nur schwach strukturiert. Dies macht den Vergleich von Koordinaten aufwendig.
- In einem vereinigten geometrischen Modell müssen alle Daten in ein Referenzkoordinatensystem übersetzt werden, da sonst die Konsolidierung der Positionsangaben aus verschiedenen Koordinatensystemen scheitert. Dies führt zu unzähligen Berechnungen, die das System unnötig auslasten.
- Letztlich sind geometrische Koordinaten für den Menschen nicht intuitiv verständlich. Ein Ziel in Gradmaßen anzugeben hilft nicht das Ziel zu finden („Gehe zu 9°6' 26" E 48°44' 43' N“).

Symbolische Modelle

In einem symbolischen Modell werden die Lokationsangaben durch symbolische Bezeichner (z.B. „Raum 2.340“ oder „Konferenzraum VS“) referenziert. Die Koordinaten werden dabei als Menge gesehen, die lokalisierten Objekte als Elemente. Wenn ein Objekt nun Element einer Menge ist, bedeutet dies, dass sich dieses Objekt in der durch die Koordinate beschriebenen Fläche bzw. Raum befindet. Auch wenn geometrische Koordinaten eine höhere Genauigkeit (punktgenau) suggerieren, so kann auch unter Verwendung von symbolischen Koordinaten eine Genauigkeit erreicht werden, die dem Benutzer genügt. Eine natürliche Unterteilung in einem Gebäude wäre die Unterteilung nach Räumen, welche durch Anpassung der Auflösung von Sensorsystemen realisiert werden kann. Während geometrische Koordinaten keinerlei Struktur aufweisen, erlauben symbolische Modelle verschiedene räumliche Beziehungen (Abstand, Inklusion) zu modellieren. Nicht jedes Modell bietet dieselben Möglichkeiten, weshalb sie in Klassen unterteilt werden:

Das Zellmodell (cell models)

Als Zellen werden die geographischen Gebiete bezeichnet, die durch symbolische Koordinaten modelliert werden. Diese Zellen dürfen sich beliebig überlappen, was eine spätere Erweiterung vereinfacht. Jedoch werden in diesem Modell diese Inklusionsbeziehungen nicht berücksichtigt. Das heißt, dass für ein Objekt immer nur eine Koordinate gefunden wird, obwohl es sich gleichzeitig in mehreren aufhalten könnte.

Das Zonenmodell (zone models)

Die symbolischen Bezeichner beschreiben exklusive Gebiete (Zonen), die sich nicht überlappen dürfen. Für die Objekte bedeutet dies, dass sie sich zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur in einer Zone aufhalten können.

Das hierarchische Modell (location trees, location domains)

Als Basis dient hier das Zonenmodell, welches um die vollständige Überdeckung zweier Gebiete erweitert wird. Durch die Modellierung der Inklusionen wird die Menge der symbolischen Bezeichner in einer baumförmigen Struktur angeordnet. Dies prädestiniert die Modellierung von Hierarchien und erlaubt somit beispielsweise eine einfache Modellierung von organisatorischen Zugehörigkeiten. Daher können Gebietsabfragen mit organisatorischem Bezug (z.B. „wo ist der nächste Farbkopierer der Abteilung VS?“) leicht realisiert werden. Die Gittermodelle lockern die Restriktionen des Baumes und erlauben jedem Objekt mehrere Väter. Doch der Nachteil, dass sich diese Modelle für Nachbarschaftsanfragen nur schlecht eignen, kann dadurch auch nicht behoben werden.

Graphbasierte Modelle (location graphs)

Dieses Modell bietet eine große Modellierungsfreiheit, denn die symbolischen Koordinaten können jedes beliebige geographische Gebiet beschreiben. Generell stellen die Knoten Gebiete, die Kanten begehbare Wege dar. Dabei gibt es unterschiedliche Varianten. Zum einen kann man die Gewichtung ganz vernachlässigen, zum anderen kann man die Knoten oder auch die Kanten gewichten. Das Gewicht drückt dabei die Größe des Gebiets bzw. die Entfernung zweier Gebiete voneinander aus. Daher sind diese Modelle für Nachbarschaftsanfragen gut geeignet. In diesen so genannten Erreichbarkeitsgraphen können Hierarchien wiederum nicht abgebildet werden, weshalb sie sich für Gebietsanfragen nur bedingt eignen.

Vorteile

- Ausdrucksstarke Gebietsnamen erlauben dem Benutzer eine einfachere Orientierung als geometrische Koordinaten.
- Managementaufgaben (z.B. Zugriffkontrolle) sind durch die Verwendung von symbolischen Bezeichnern für Gebiete einfacher handhabbar. Die symbolische Bezeichner (z.B. „Tresorraum“) sind ausdrucksstärker als der äquivalente geometrische Bezeichner.
- Die Einführung von Hierarchien ermöglicht eine problemlose Erweiterung und einfaches Management des Lokationsmodells.

Nachteile

- Symbolische Modelle benötigen eine zusätzliche Abstraktionsschicht, die modellierten Gebieten einen Bezeichner zuordnet.
- Die Menge der sinnvollen Bezeichner ist abhängig vom Einsatzgebiet des Systems. In großen Systemen wird es zu einer wichtigen Aufgabe eindeutige Bezeichner zu finden und diese so zu verwalten, dass sie nicht mehrfach vergeben werden oder zu Verwechslungen führen.
- Die symbolischen Koordinaten schränken die Genauigkeit des Systems ein, falls die Positionierungssysteme eine höhere Genauigkeit liefern könnten. Des Weiteren ist es aufwändig die Genauigkeit im Nachhinein zu erhöhen, da die Bezeichner hierfür umbenannt werden müssen, um der feineren Modellierung zu entsprechen.

Hybride Modelle

Betrachtet man die beiden Modelle, so liegt der Schluss nahe, die beiden Modelle zu kombinieren und sich die jeweiligen Vorteile der Modelle zu nutzen zu machen. Die symbolischen Modelle lassen sich sehr gut strukturieren und erleichtern somit das Management. Ein Problem dieses Modells ist die Genauigkeit des Modells. Sie ist abhängig von der „Größe“ der symbolischen Koordinate und kann nicht ohne weiteres verändert werden. Einen Genauigkeitsvorteil haben die geometrischen Modelle. Sie bieten sehr genaue Koordinatenangaben, die jedoch nur schwer zuordenbar sind und die Umgebung nicht berücksichtigen. So kann zwar bestimmt werden, dass sich ein Terminal nur einen Meter von meiner Position befindet, aber da die dazwischen liegende Wand nicht modelliert wird, ist diese Information wertlos.

Genau hier setzen die hybriden Modelle an. Lokalisierte Objekte werden durch ihre geometrischen Koordinaten genauestens beschrieben und im Anschluss werden diese Koordinaten durch von symbolischen Bezeichnern beschriebene Gebiete abgebildet. Dadurch sind die hybriden Modelle universell einsetzbar und erzielen bei jedem Anfragetyp optimale Ergebnisse.

Ein großer Nachteil bleibt aber dennoch erhalten. Der Aufwand dieser hybriden Modelle ist deutlich höher. Dies beschränkt sich nicht nur auf den doppelten Aufwand (geometrisches und symbolisches Modell) bei der Modellierung, sondern auch auf die Wartungsarbeiten, wenn Änderungen am Modell notwendig sind. Hier ist es von entscheidender Wichtigkeit darauf zu achten, dass die Daten beider Modelle konsistent sind. Ansonsten lässt sich nur schwer nachvollziehen, welche der Daten aktuell sind.

2.3 Lokationsmanagement

Das alleinige Bereitstellen von Positionsangaben mit Hilfe der vorgestellten Sensortechnologien reicht nicht für kontextsensitive Anwendungen aus. Der Großteil der verfügbaren Bandbreite würde dazu verwendet werden um alle Objekte innerhalb eines bestimmten Bereiches zu finden, anstatt ihnen konkrete Anfragen zu schicken. Daher ist es notwendig eine Instanz zu erstellen, die die Positionsangaben aller Objekte erfasst, speichert und die Informationen anfragenden Applikationen zügig zur Verfügung stellt (vgl. [7]). Ein Lokationsdienst erfüllt diese Anforderungen. Somit interagiert er mit den Positionierungssystemen und externen Anwendungen gleichermaßen.



Abbildung 1 - Interaktion der Komponenten

Der Lokationsdienst muss daher Schnittstellen bieten um mit den verschiedenen sich im Einsatz befindlichen Sensoren zu kommunizieren. Nach erfolgter Erfassung der georteten Objekte werden ihre Positionen in einer Datenbank gespeichert. Die Anwendungen greifen über eine weitere Schnittstelle auf den Lokationsdienst zu und können dem Benutzer weitergehende Dienste zur Verfügung stellen.

2.3.1 Anfragetypen

Durch die Kenntnis der Positionen aller Objekte können weitere grundlegende Aufgaben durch den Lokationsdienst erfüllt werden. Die Ergebnisse können von externen Anwendungen verwendet werden um den Benutzer bei komplexen Aufgaben zu unterstützen. Zu diesen zählen nach [7] unter anderem:

- Positionsaktualisierungen

Werden in erster Linie von den Positionierungssystemen an den Lokationsdienst geleitet um ihn von der aktuellen Position des Knoten in Kenntnis zu setzen. Die Aktualisierungen enthalten eine eindeutige Objekt – ID sowie eine eindeutige Lokationsangabe.

Um die Genauigkeit so gut wie möglich zu halten, empfiehlt es sich die Position der Objekte durch möglichst kleine Lokationen zu beschreiben. Doch die Genauigkeit hat ihre Grenzen in Verwendung bzw. Aufteilung der Sensoren (ein Büro ist eine deutlich genauere Angabe, als ein Fußballstadion). Es besteht hier ein direkter Zusammenhang zwischen der Modellierung des Lokationsgebietes und der Sensortechnologie. Es ist nutzlos eine sehr exakte Modellierung der Umgebung einzusetzen, solange nicht genügend Sensoren verfügbar sind um auch eine entsprechend genaue Zuordnung zu treffen. Der Knoten würde sich dann oftmals an einem unbekanntem Ort befinden. Umgekehrt ist der Einsatz vieler Sensoren bei einer sehr groben Modellierung genauso nutzlos, da dann oftmals von verschiedenen Sensoren dieselbe Positionsangabe gemeldet wird.

- Positionsanfragen

Eine Applikation bekommt auf ihre Anfrage nach der Position eines Objektes eine möglichst genaue Lokationsangabe. Diese beinhaltet die Koordinate der letzten Positionsaktualisierung. Bei den hier betrachteten symbolischen Modellen ist es vorteilhaft, aussagekräftige Koordinaten zu verwenden um den Nutzen beim Benutzer zu erhöhen. Die Funktionalität wird dadurch aber nicht beeinflusst.

- Gebietsanfragen

Auf eine Gebietsanfrage liefert der Lokationsdienst alle von ihm verwalteten Objekte, die sich zum Zeitpunkt der Anfrage innerhalb des angefragten Bereiches aufhalten. Mit der Liste der Objekte wird auch ihre jeweilige Position übertragen. Dies kann vor allem bei der Verwendung von hierarchischen Modellen von Nutzen sein, wenn größere Gebiete abgefragt werden und man eine genaue Übersicht über die vorhandenen Objekte wünscht.

Das Zielgebiet der Anfrage wird durch symbolische Koordinaten bestimmt. Um nun die sich dort befindlichen Knoten zu bestimmen, müssen Beziehungen zwischen den gespeicherten Positionsangaben der Objekte und der des Zielgebiets hergestellt werden. Befindet sich die Koordinate des Objektes vollständig im Zielgebiet, so hält sich auch das Objekt dort auf. Der Lokationsdienst muss also alle Koordinaten, die sich innerhalb der Lokationsangabe oder einer Kombination daraus befinden, ausmachen können.

Eine Kombination von Lokationsangaben kann zur Erhöhung der Genauigkeit beitragen. Ist die Größe der mit Sensoren ausgestatteten Gebiete bekannt, so bietet sich die Möglichkeit zur Berechnung des Überdeckungsgrades mehrerer

Gebiete. Die Berechnung ist zwar mit einem gewissen Aufwand verbunden, erlaubt jedoch eine genauere Aussage über den Aufenthaltspunkt von Objekten. Befindet sich ein Objekt im Schnitt zweier Gebiete so schränkt dies die aktuelle Position genauer ein, als es ohne Überlappung bei gleicher Größe der modellierten Gebiete möglich wäre. Der Überdeckungsgrad für das Gebiet G_j berechnet nach [7] sich wie folgt:

$$\text{Überdeckung } (G_i, G_j) = \frac{\text{Größe } (G_i \cap G_j)}{\text{Größe } (G_j)} \quad (2.1)$$

Der Wert dieser Formel liegt zwischen 0 und 1, wobei zwei disjunkte Gebiete die 0 ergeben und der Wert 1 aussagt, dass G_j vollständig in G_i liegt. Eine Angabe, die zur Berechnung dringend notwendig ist, ist die Größenangabe eines Gebietes. Der Aufwand alle Gebiete zu Vermessen kann sehr groß sein, besonders in Umgebungen, in denen keine regelmäßigen Strukturen (z.B. ein Bürokomplex mit unterschiedlich großen Räumen) vorherrschen.

- Nachbarschaftsanfragen

Dieser Anfragetyp gibt Antwort auf Fragen wie „wo befindet sich der nächste Kopierer?“. Gesucht sind also Objekte, die zu unserer oder einer beliebigen anderen Position einen minimalen Abstand haben. Dazu vergleicht der Lokationsdienst die gespeicherte Position der gewünschten Objekte mit dem Ausgangspunkt der Anfrage. Speziell im Indoor Bereich ist es nicht sinnvoll die Entfernung über die „Luftlinie“ zu bestimmen, da dieser Weg durch Wände, Decken oder andere Hindernisse versperrt sein kann. Daher ist es wichtig begehbare Wege zu modellieren und die Entfernung daran festzumachen.

Nur so können weitere Einschränkungen und Optimierungen vorgenommen werden, wenn etwa bestimmte Wege nicht zur Verfügung stehen, weil

- Rollstuhlfahrer oder Roboter nur Aufzüge oder Rampen benutzen können um ein Stockwerk zu wechseln
- Nicht jede Person über alle Zutrittsbefugnisse verfügt und somit nicht durch Gebiete mit höherer Sicherheitsstufe gehen kann
- Umbauten den Weg blockieren.

Die kürzesten Wege können daher nicht vorausberechnet werden, sondern erst zum eigentlichen Zeitpunkt der Abfrage. Die Objekte (z.B. Personen) zu denen die Entfernung gemessen werden soll, können sich ja schließlich auch bewegen und somit ständig ihre Position ändern. Die Messung der Entfernung in Meter führt häufig nicht zum besten Ergebnis. Bedenkt man, dass in

großen Umgebungen Wartezeiten durch die Verwendung von Aufzügen oder Treppen entstehen, so stellt sich die Frage ob es nicht sinnvoll wäre, als Entfernungsmaß die Zeit zu verwenden. Dies setzt allerdings voraus, dass jetzt nicht nur alle Gebiete, sondern auch alle unterschiedlichen Wege (Ebene, Treppe hoch, Treppe runter, Aufzug) genau modelliert werden. Nur eine exakte Modellierung führt im Betrieb zu realitätsnahen Ergebnissen.

Eine Ungenauigkeit, die sich in unserem Systemmodell nicht ohne weiteres vermeiden lässt, ist die Tatsache, dass eine symbolische Koordinate für ein Gebiet und nicht für einen Punkt steht. Daher entsteht ein gewisser Fehler beim Berechnen der Wegstrecke. In den modellierten Gebieten wird davon ausgegangen, dass sich alle Objekte am Berechnungspunkt (meist dem Mittelpunkt) befinden. Dies ist eine sehr ungenaue Annäherung, welche im schlimmsten Fall folgenden Fehler verursacht:

$$Fehler_{Gebiet(MP)} = \sup \left\{ \frac{Dist(x, y)}{2} \mid x, y \in Gebiet \right\} \quad (2.2)$$

Unabhängig von der Berechnung des dazwischen liegenden Weges, kann diese Ungenauigkeit im Start- und Zielgebiet bei Nachbarschaftsanfragen auftreten. Maximal kann sie also doppelt so groß wie in (2.2) werden.

Die Formeln für den durchschnittlichen und den besten Fall erhält man, wenn man anstatt des supremums die Funktion average beziehungsweise infimum verwendet. Gibt es mehrere Ziele, die bei einer Nachbarschaftsanfrage in Betracht kommen, so kann je nach Betrachtung (schlimmster / durchschnittlicher / bester Fall) dieser Fehler darüber entscheiden, welches Objekt, als das Nächste ausgegeben wird.

2.3.2 Navigation

Um in einem Gebäude schnell und zuverlässig einem gewünschten Punkt zu erreichen, reicht es nicht nur eine Positionsangabe zu liefern. Nun ist zwar bekannt wo sich das Objekt befindet, allerdings kann es sein, dass der Benutzer alleine mit dem symbolischen Bezeichner für den Aufenthaltsort das Ziel nicht findet (X befindet sich in Raum B20). Um den Lokationsdienst effizient zu nutzen ist es deshalb notwendig sich mit dem Gedanken der Navigation sowie ihrer Visualisierung auseinanderzusetzen. Die Auflösung der eingesetzten Sensortechnologie spielt hierbei eine große Rolle (siehe [4], [14]). Bewegt sie sich im Meterbereich kann das System nicht entscheiden auf welcher Seite einer Mauer sich ein Person befindet und somit nicht im-

mer den richtigen Weg weisen. Bei der Auswahl und Konfiguration der Sensoren müssen daher solche Fälle beachtet werden.

Die grafische Darstellung der Navigationshilfe ist abhängig von Genauigkeit der Sensordaten. Man unterscheidet daher zwischen drei verschiedenen Typen von Situationen in Hinblick auf die Qualität der Positionsangabe sowie der räumlichen Orientierung:

1. Ausreichende Positions- und Orientierungsinformation
2. Ausreichende Positions- aber unzureichende Orientierungsinformation
3. Unzureichende Positions- und Orientierungsinformation

Im ersten Fall hat das System ausreichend Informationen um dem Benutzer eine einfache Orientierungshilfe zu geben (z.B. durch einen Pfeil wie in Abbildung 2.1). Bei abnehmender Genauigkeit der Orientierung (z.B. mehrere Gänge, die nah beieinander liegen) muss ein detaillierterer Hinweis erfolgen. Der Benutzer kann sich mit diesem Hinweis selbst orientieren und dann den entsprechenden Weg einschlagen (Abbildung 2.2). Rücken die Entscheidungspunkte nah aneinander, so dass eine Positionsangabe mehrere Punkte überdeckt muss eine weitere Detailstufe dazugeschaltet werden. Abbildung 2.3 zeigt einen Gang an den von jeder Seite drei Räume angrenzen und die Positionsangabe alle drei Entscheidungspunkte überdeckt. Ohne den Einsatz von Landmarken wie z.B. Raumnummern ist es hier kaum möglich noch eine nützliche Hilfe zu geben. Im Falle einer weiteren Verschlechterung hat das System nur noch eine sehr grobe oder auch gar keine Informationen mehr über die Position und räumliche Orientierung der Person. Somit kann keine direkte Hilfe zum weiteren Fortschreiten gegeben werden, der Benutzer des Systems muss sich selber orientieren. Das System stellt ihm dazu einen größeren Kartenausschnitt mit auffälligen Landmarken zur Verfügung. Abbildung 2.4 verdeutlicht die notwendige Richtungsänderung am Entscheidungspunkt durch die Markierung des Lifts und des Treppenhaus.

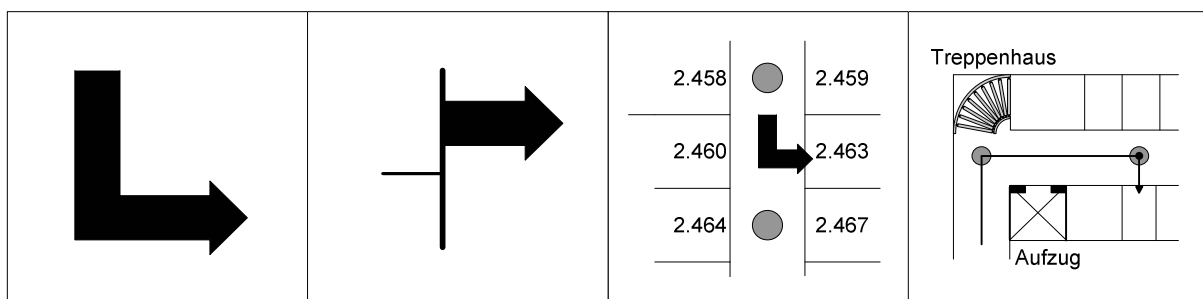


Abbildung 2 - Vier verschiedene Formen der Navigation

Ein anderer Aspekt wird in [3] verdeutlicht. Eine genaue Angabe einer Route zum Zielpunkt ist oftmals der Situation nicht angemessen. Bei größeren Entfernungen,

dauert die Berechnung der optimalen Route eine Zeit, zum anderen tut sich der Benutzer häufig schwer, genau diese Route zu finden. Es wäre denkbar, dem Benutzer nur einfache Richtungsangaben mitzugeben (z.B. Richtung Haupteingang) und den Benutzer selber „seinen“ optimalen Weg dahin zu nehmen. In der Nähe des Zieles können dann genauere Angaben gemacht werden, die den Benutzer das Ziel finden lassen.

Wir haben gesehen, dass durch die Visualisierung von Richtungsangaben die Navigation in Gebäuden deutlich vereinfacht werden kann. Besonders in großen und unbekanntem Gebäuden können symbolische Bezeichner nicht ausreichend Informationen beinhalten um genügend Hinweise über den Aufenthaltsort zu geben. Ansätze, wie der Einsatz der Entscheidungspunkte müssen nicht zwangsweise durch die Navigation abgedeckt werden, sondern können auch in den Modellen (z.B. graphbasiertes Modell) realisiert werden.

2.4 Herausforderungen

In den letzten Jahren sind auf dem Gebiet der Modellierung große Fortschritte erzielt worden. Lokationsdienste können auf Basis aller heutigen Modelle Berechnungen durchführen, um den Benutzern mehr oder weniger gute Antworten auf ihre Anfragen zu liefern. Die folgende Aufzählung (siehe [10], [16]) zeigt kurz einige der weiteren wichtigen Punkte die beim Entwurf eines Systems zu beachten sind. Diese Aspekte sind jedoch nicht Thema dieser Arbeit, daher wird nur ein kurzer Einblick gegeben:

- *Skalierbarkeit*: Um die Akzeptanz eines Lokationsmodells zu gewährleisten, muss sichergestellt sein, dass es um eine beliebige Zahl von Gebieten erweiterbar ist und gleichzeitig die Komplexität noch handhabbar bleibt. Hier haben sich hierarchische Strukturen, ähnlich DNS (siehe [17]), bewährt. Somit ist es später möglich mehrere modellierte Umgebungen „zusammen zu hängen“ und zu konsolidieren.
- *Unterschiedliche Umgebungen*: Für den Einsatz in unterschiedlichsten Umgebungen ist es notwendig, dass das Modell mit jeder der dort eingesetzten Sensortechnologien verwendet werden kann, insbesondere mit den verschiedenen Datenformaten. Denn je nach Umgebung kann es ratsam sein, mehrere verschiedene Sensortypen gleichzeitig zu verwenden. Um alle verfügbaren Daten auszuwerten sollten im Modell keine Abhängigkeiten mit einer bestimmten Technologie (und dem entsprechenden Datenformat) bestehen.
- *Privatsphäre*: Es muss für einen Knoten entscheidbar sein, ob er zulässt dass seine Position an andere Systeme bzw. andere Knoten weitergegeben wird,

z.B. das Ablehnen der Anfrage „wo befindet sich Knoten X?“. In einem Lokationsdienst mit einem passiven Positionierungssystem kann der Knoten selbst entscheiden, ob er seine Position berechnet und zur Verfügung stellt. Die Mehrzahl heutiger Realisierungen verwendet jedoch ein aktives Positionierungsverfahren und hat somit Kenntnis über die Aufenthaltsorte der vorhandenen Objekte. Zu entwickeln bleibt eine Möglichkeit für den Benutzer ohne großen Aufwand dem System mitzuteilen, ob seine Position verwendet werden darf oder nicht (siehe [18], [2]). Ein weiterführendes System könnte auch die Genauigkeit der Ortung variieren. (Beispiels sind Entfernungsangaben wie 10m, 50m usw. vorstellbar)

- *Namensvergabe*: Eine eindeutige Referenzierung der Objekte ist nur möglich wenn diese aussagekräftige Namen zugewiesen bekommen. Von Vorteil erweist es sich wenn dazu kein flacher Namensraum verwendet wird, sondern die Namen hierarchisch aufgebaut sind.
- *Entfernung*: Oftmals kann die optimale Verbindung („wo ist der nächste Farbdrucker?“) nicht einfach euklidisch berechnet werden. Vielmehr spielen Faktoren wie Kosten, Zeit oder Verfügbarkeit (z.B. Drucker hat schon 10 Jobs in der Warteschlange) eine entscheidende Rolle. Die derzeitigen Systeme können jeweils nur einen dieser Blickwinkel betrachten. Es fehlt noch an einem Ansatz der alle Aspekte in Betracht zieht. Des Weiteren müssen die Wahrscheinlichkeiten der Positionsangaben überprüft werden um Fehler nicht aufzusummieren. Dies kann zum Beispiel durch die Einführung einer Aufenthalts – Historie (ähnlich dem Zeitmodell von [6]) verhindert werden. Es werden die letzten Positionsangaben gespeichert und mit der nächsten Ortung verglichen. Sollten hierbei große Sprünge auftreten so sinkt die Wahrscheinlichkeit für die Korrektheit der letzten Messung.
- *Räumliches Bewusstsein*: Anstatt nur die eigentliche Position zu übermitteln, ist es vor allem bei geringer Auflösung hilfreich noch eine Richtungsangabe zu übermitteln um die Navigation zu erleichtern. Bei zu genauen Angaben in einer sehr detailreichen Umgebung kann es schwierig werden den optimalen Weg zum gewünschten Objekt zu finden.
- *Normierung*: Innerhalb eines Unternehmens ist die Realisierung eines Lokationsdienstes ein durchführbares Vorhaben. Um aber vor allem im öffentlichen Bereich erfolgreich zu sein, sind Informationen von weiteren Quellen notwendig. Dazu müssen Schnittstellen existieren über die sich Systeme austauschen können. Falls die Systeme auf völlig verschiedenen Ansätzen basieren, kann es notwendig sein, ein abstraktes Basismodell (z.B. in XML) zu erstellen über das die Informationen dann eingelesen werden können.

3 Problemstellung

Nachdem die Grundlagen für diese Arbeit gegeben wurden, werden in diesem Kapitel die Ziele dieser Arbeit detaillierter beschrieben. Das nachfolgende Systemmodell stellt dabei die Grundvoraussetzung dar, auf denen die weiteren Betrachtungen basieren.

3.1 Fragestellung

Die symbolische Modellierung einer Lokation gewährt dem Entwickler eine enorme Freiheit in der Wahl der verwendeten Sensorsysteme, des zugrunde liegenden Modells, dem Grad der Modellierung und vielem mehr. Jeden einzelnen dieser Punkte und seine Auswirkungen ausführlich zu betrachten und mit den anderen Aspekten in Beziehung zu bringen führt zu einer Vielzahl an möglichen Kombinationen. Diese können alle auch nicht im Rahmen einer einzigen Arbeit erfasst werden.

Diese Arbeit konzentriert sich daher auf die Leistungsfähigkeit, das heißt die Genauigkeit und den dazu notwendigen Aufwand in der Modellierung, des einzelnen Lokationsmodells. Dies geschieht völlig unabhängig von den oben genannten Faktoren. Dies erlaubt dem Entwickler eines Lokationsdienstes durch Eingabe einiger weniger Kennzahlen vorab einen Test mit allen Modellen durchzuführen, um sie auf ihre Genauigkeit hin zu untersuchen. Die verschiedenen Modelle lassen sich bezüglich ihrer Komplexität bzw. dem Modellierungsaufwand ordnen. Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Arbeit ist es dem Entwickler möglich, bei Unterschreiten eines frei festlegbaren Fehlers, sich Arbeit einzusparen und anstatt einem komplexeren Modell ein einfacheres Modell zu implementieren.

Wie im Kapitel 2.1 schon erwähnt, gibt es verschiedene Sensortechnologien. Einige von ihnen sind für den Einsatz unter freiem Himmel konzipiert (z.B. GPS), andere dagegen hauptsächlich für den Einsatz in Gebäuden. Obwohl die in dieser Arbeit betrachteten Aspekte und Ergebnisse prinzipiell auch im Außenbereich gelten, so liegt der Schwerpunkt doch auf der Betrachtung und Optimierung von Modellen im Innenbereich.

3.2 Systemmodell

Im Kapitel Sensortechnologien wurden einige der gängigen Techniken vorgestellt, die es ermöglichen ein Objekt teilweise bis auf wenige Zentimeter zu lokalisieren. Oftmals wird dies realisiert, indem die Signalstärke des Senders gemessen wird. Kann man das Signal an mehreren Stellen messen, so verringert sich die Ungenauigkeit. Jedoch eignet sich nicht jedes Gebiet (Bsp. Gebäude mit Stahlbetonwänden) gleich gut um solche Techniken einzusetzen. Um uns daher mehr auf die Modellierung und den entsprechenden Aufwand zu konzentrieren, binden wir uns nicht an eine bestimmte Technologie und lassen die Genauigkeit der Positionsangabe außer Acht. Stattdessen geben wir uns damit zufrieden, dass uns die Sensoren zuverlässige Aussagen liefern können, ob sich ein Objekt in einem bestimmten modellierten Gebiet befindet oder nicht.

Der Lokationsdienst weiß über die Positionen aller Objekte Bescheid. Dies muss aber nicht automatisch heißen, dass in jedem modellierten Gebiet ein eigener Sensor vorhanden ist. Durch die Speicherung der Informationen über die georteten Objekte (Position, Sensor ID) ist es möglich die Genauigkeit der Positionierung in einigen Fällen ohne größeren Aufwand zu erhöhen.

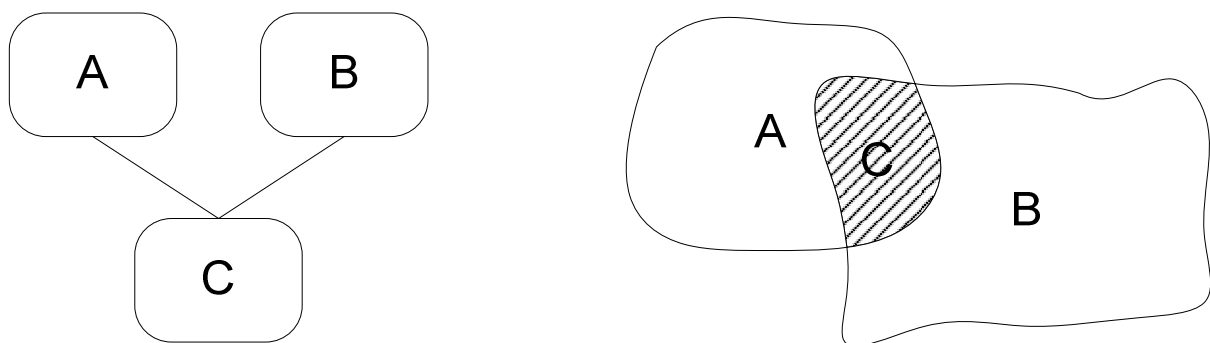


Abbildung 3 - Hierarchisches (links) und geometrisches (rechts) Modell

Abb. 3 zeigt die Modellierung zweier sich überschneidender Gebiete, die es erlauben drei Gebiete durch zwei Sensoren abzudecken. Das Gebiet C kann in einem hierarchischen Modell als Kind von den Gebieten A und B modelliert werden. Der Lokationsdienst, der eine Gebietsabfrage durchführt erhält von seinem Sensor die Koordinate von A. Ist dieser Grad an Genauigkeit ausreichend, muss keine weitere Berechnung ausgeführt werden. Um die bestmögliche Genauigkeit zu erhalten wird überprüft ob A Kinder hat. Ist dies der Fall, so werden weitere Väter dieses Kindes (hier C) gesucht, die einen eigenen Sensor haben. Es wird dann überprüft ob die Sensoren dieser Gebiete das Objekt O auch geortet haben. Folgende Fälle können daher unterschieden werden:

$$O \in B \rightarrow O \in (A \cap B) \rightarrow O \in C \quad (3.1)$$

$$O \notin B \rightarrow O \notin C \rightarrow O \in A \setminus B \quad (3.2)$$

Der zweite Fall liefert somit nicht nur das Gebiet A zurück, sondern schränkt dieses auch noch ein. Die Genauigkeit der Positionierung kann dadurch verbessert werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen eine Entscheidungshilfe darstellen, wie genau die Umgebung im Lokationsdienst nachmodelliert wird. Wir gehen davon aus, dass die Sensoren schon bei den entsprechenden Räumlichkeiten angebracht wurden und die Position der Sensoren darin nicht bekannt ist. Um weitere Unabhängigkeit zu garantieren nehmen wir an, dass innerhalb der Sensorreichweite die Möglichkeit der Positionierung nicht mit der Entfernung abnimmt.

4 Analyse der existierenden Modelle

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die derzeitigen Modelle. Dabei wird kurz auf Eigenschaften betreffend den Aufbau und den Ablauf der Modelle eingegangen. Es werden die Schwachstellen der Modelle betrachtet um eine Basis für die Leistungsbeurteilungen im folgenden Kapitel zu geben. Die Ergebnisse dieses Kapitels basieren auf [17] und [7], wo auch weitergehende Informationen zu finden sind.

4.1 Das Zonenmodell

Bei dem Zonenmodell handelt es sich um ein Modell mit exklusiven Koordinaten. Die zu modellierende Fläche wird somit in viele disjunkte Gebiete (Zonen) unterteilt und ein Objekt kann sich zu jedem Zeitpunkt nur in einem dieser Gebiete aufhalten.

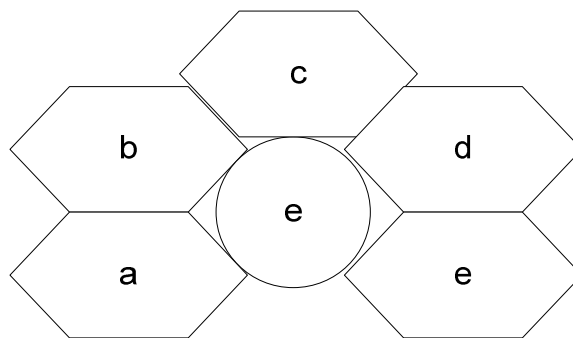


Abbildung 4 - Beispiel-Modellierung im Zonenmodell

Da das Modell keine Überlappungen von Koordinaten zulässt, ist es nicht effizient mehrere verschiedene Sensoren einzusetzen. Diese hätten unterschiedliche Reichweiten und Ausleuchtzonen und es würde zu Überschneidungen kommen. Da diese nicht modelliert werden, hat man keine Verbesserungen bezüglich der Genauigkeit. Denn wenn ein Objekt von zwei sich überlappenden Sensoren geortet wird, so kann das System als Aufenthaltsort nur $A \cup B$ melden, was eine deutliche Verschlechterung darstellen würde.

Durch den Verzicht der Modellierung von Inklusionsbeziehungen und der Verwendung von exklusiven Koordinaten bringt die Berechnung des Überdeckungsgrads keine weiteren Vorteile. Der Aufwand zur Modellierung eines Gebiets ist somit relativ gering. Positionsanfragen kann das Modell beantworten, es wird die letzte bekannte Zelle, in der sich das gesuchte Objekt aufgehalten hat, zurückgemeldet. Dagegen ergeben sich Schwierigkeiten bei Gebietsanfragen. Hier wirkt sich die Wahl von exklusiven Koordinaten nachteilig aus. In einem Bürogebäude mit mehreren

Stockwerken, kann beispielsweise keine Gebietsanfrage nach einem bestimmten Stockwerk gestellt werden, da es hierfür keine Koordinate gibt. Die einzige Möglichkeit, die noch zur Verfügung steht um in größeren Gebieten zu suchen, ist die Kombination von mehreren Koordinaten. Die Vereinigung stellt hier ein probates Mittel dar, jedoch ist die Vereinigung von Koordinaten nicht äquivalent zu einer einzelnen Koordinate, die dieses Gebiet beschreibt. Eine Anwendung muss bei Verwendung der kombinierten Koordinaten bei der Suche nach einem Objekt einen deutlich höheren Aufwand betreiben. Ein weiteres Problem tritt bei Nachbarschaftsanfragen auf. In diesem Modell wird bezüglich der Distanz zwischen modellierten Gebieten keine Aussage gemacht. Dies verhindert dadurch die Möglichkeit eine Ordnung zwischen den Koordinaten herzustellen um die Entfernung von Gebieten zu vergleichen. Somit sind Nachbarschaftsanfragen nicht auflösbar.

4.2 Das Zellmodell

Das Zellmodell stellt eine Erweiterung des Zonenmodells dar. Gebiete dürfen sich nun überschneiden und erlauben somit eine größere Freiheit beim Modellieren. Die Überlappung von Koordinaten ermöglicht es mehrere Sensoren zu koppeln und somit eine bessere Genauigkeit zu erreichen.

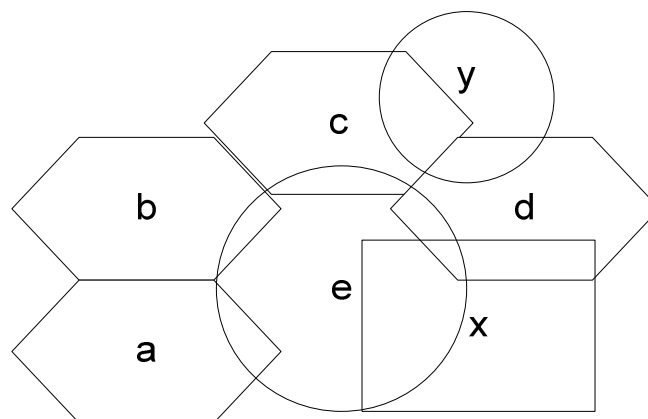


Abbildung 5 - Überschneidungen von Koordinaten

Ein Defizit bleibt aber die fehlende Modellierung der räumlichen Beziehung der Koordinaten. Ähnlich wie beim Zonenmodell, kann auch hier kein Vorteil daraus gewonnen werden, dass ein Objekt von mehreren Sensoren geortet wird. Gleichzeitig ist der Überdeckungsgrad nicht berechenbar und es kann vorkommen, dass eine Koordinate die andere vollständig überdeckt, ohne dass diese Inklusion bemerkt wird. Liegt ein Objekt im Schnitt zweier modellierter Gebiete oder das Gebiet in einem anderen so hat dieses Objekt auch zwei Koordinaten.

Je nach Realisierung des Lokationsdienstes kann sich dieses Verhalten negativ auf Positionsanfragen auswirken. Im ungünstigen Fall wird für ein Objekt, welches von 2 Sensoren positioniert wird, die Koordinate des großen Gebietes zurückgemeldet. Und das obwohl sich das Objekt noch in einem zweiten modellierten Gebiet befindet, welches vollständig im ersten Gebiet liegt, und daher eine wesentlich genauere Koordinate für das Objekt vorliegt. Dasselbe Problem wirkt sich auch bei Gebietsanfragen aus. Ohne die separate Modellierung überlappter Gebiet wird die nutzbare Kombination von Lokationsangaben verhindert. Daher kann es passieren, das ein durch zwei Koordinaten A und B vollständig überdecktes Objekt, bei einer Gebietsanfrage an A nicht aufgezählt wird, da für dieses Objekt gerade die Koordinate B verwendet wird. Es können in diesem Sinn keine zuverlässigen Aussagen über die Objekte in einem Gebiet gemacht werden. Ein weiterer kritischer Punkt ist das Fehlen einer geeigneten Größenangabe für eine Koordinate. Auch für die Entfernung zwischen modellierten Gebieten gibt es kein Maß. Daher lässt sich weder eine absolute Entfernung noch ein Vergleich von Entfernungen zwischen Gebieten anstellen und verhindert somit die Beantwortung von Nachbarschaftsanfragen.

Ein Vorteil, den das Zellmodell gegenüber dem Zonenmodell hat, ist die einfache Erweiterbarkeit des Systems. Dadurch dass sich Zellen überlappen dürfen, können jederzeit problemlos neue Gebiete modelliert und weitere Sensoren angebracht werden.

4.3 Hierarchische Modelle

Die hierarchischen Modelle sind die ersten, bei denen die Inklusion der Koordinaten modelliert wird. Dies ist entscheidend für Gebietsanfragen, denn es ist so möglich, größere Gebiete zu beschreiben und abzufragen. Dazu müssen alle Koordinaten auf ihre Lage (eventuelle Inklusionen) untersucht und entsprechend modelliert werden. Daraus ergibt sich eine hierarchische Struktur, die die Aufgabe der Namensvergabe bezüglich der Ausdrucksfähigkeit erleichtert.

4.3.1 Das baumförmige Modell

Das baumförmige Modell stellt eine Erweiterung des Zonenmodells dar. Im Gegensatz zu diesem Modell mit exklusiven Koordinaten erlaubt das baumförmige Modell die vollständige Überdeckung zweier Lokationen. Somit sind zwei Koordinaten entweder disjunkt oder es liegt eine vollständige Überlappung (Inklusion) vor.

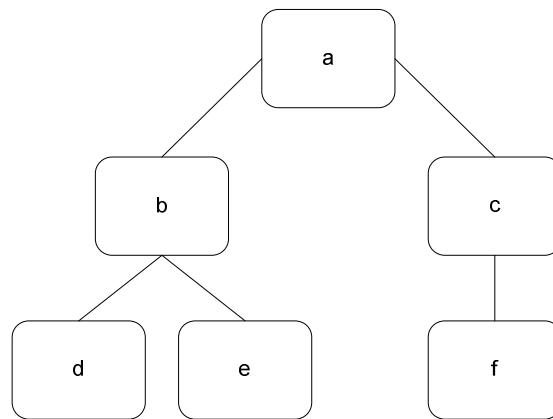


Abbildung 6 - Koordinaten im baumförmigen Modell

Da es somit keine partielle Überlappung geben kann, muss der Überdeckungsgrad nicht aufwendig berechnet werden, er ist entweder 0 oder 1. Die Hierarchie bietet zudem Vorteile für die Namensvergabe. Die gewählte Struktur (z.B. organisatorische Zugehörigkeit) kann hierfür Anhaltspunkte geben. Jedoch ist es nur schwer möglich symbolische Bezeichner zu finden, die alle für den Benutzer relevanten Daten (org. Zugehörigkeit, Funktion,...) im Namen enthalten. Für die jeweilige Umgebung muss einmalig eine Entscheidung getroffen werden, welcher Aspekt die wichtigste Rolle spielt und anschließend muss die Modellierung danach ausgerichtet werden. Mehrfache Zugehörigkeiten können erst in komplexeren Modellen berücksichtigt werden (siehe nächstes Kapitel).

Da partielle Überlappungen nicht erlaubt sind, liegt die Genauigkeit bei Positionsanfragen wie bei den bisherigen Modellen, bei der Größe des modellierten Gebietes in der sich das Objekt befindet. Dieser Verzicht auf teilweises Überlappen schränkt die Möglichkeiten der Gebietsanfragen ein. So können größere Gebiete nur modelliert werden, wenn sie sich gegenseitig nicht einschränken. In großen Gebäuden wäre eine Definition von Stockwerken und Flügeln somit nicht möglich. Eine Kombination von Lokationsangaben zur Erhöhung der Anzahl beschreibbarer Gebiete ist dagegen ohne weiteres möglich. Besonders durch die Vereinigung oder den Ausschluss (A ohne B) sind weitere Gebiete beschreibbar. Durch die Verwendung einer Baumstruktur können dann weitere Aussagen über die räumliche Beziehung zwischen verschiedenen Koordinaten getroffen werden. Somit sind Gebietsanfragen vom System grundsätzlich beantwortbar. Die Verwendung einer Hierarchie im baumförmigen Modell erlaubt es jetzt auch eine gewisse Aussage über Nachbarschaften zu treffen. Je nach gewählter Struktur (z.B. organisatorische Nähe) lassen sich jetzt verschiedene Objekte miteinander vergleichen und so eine partielle Ordnung erstellen. Bezogen auf die geographische Entfernung, reicht diese Modellierungsvariante aber nicht um zuverlässige Aussagen zu treffen. Ein Modell, das zuverlässige Aussagen für ein Objekt trifft, muss nicht automatisch für einen anderen Bezugspunkt auch gelten (vergleiche dazu [7]).

Möchte man ein global gültiges Modell schaffen, so sind viele Überprüfungen und Erweiterungen nötig, was dazu führt, dass der Modellierungsaufwand spürbar steigt. Ebenso sind spätere Erweiterungen des Modells aufgrund der nötigen Überprüfungen aufwendiger, als bei den bisherigen Modellen.

4.3.2 Das gitterförmige Modell

Die Ausgangsbasis für das gitterförmige Modell ist durch das baumförmige Modell gegeben. Eine Verbesserung dazu stellt die Möglichkeit dar überlappende Gebiete modellieren (vgl. Zellmodell) zu können. Dadurch kann jetzt eine Menge von Inklusionsbeziehungen betrachtet werden und so kann es durchaus vorkommen, dass ein Knoten mehrere Väter hat. Der resultierende Graph formt dann ein Gitter mit dem sich mehrere Strukturen (Ort, organisatorische Zugehörigkeit,...) einfach realisieren lassen.

Dieses flexible Modell stellt keinerlei Einschränkungen an die Modellierung. Jeder Lokation und jeder Überlappung wird eine Koordinate zugewiesen. Des Weiteren müssen alle Inklusionsbeziehungen definiert werden. Dies und die Einführung zweier weiterer Koordinaten „irgendwo“ und „nirgends“ sorgen dafür dass die Existenz eines supremums und eines infimums gemäß der mathematischen Definition eines Gitters jederzeit gewährleistet wird.

Definition Gitter ([13]):

Ein Gitter ist eine partiell geordnete Menge M mit der Ordnungsrelation \leq , bei der für jedes Paar $x, y \in M$ eine kleinste obere Schranke (supremum) $\sup(x, y) \in M$ und eine größte untere Schranke (infimum) $\inf(x, y) \in M$ existiert.

Betrachtet man nun zwei Koordinaten, so stellt das supremum das kleinste modellierte Gebiet, in dem beide Koordinaten liegen, dar. Das infimum bildet die Überlappung zweier Gebiete. Dadurch, dass diese Schranken jederzeit bestimmt werden können, ist es jetzt möglich Aussagen über den räumlichen Bezug der Koordinaten zu machen. Damit dies möglich ist, muss aber jede Überlappung modelliert werden und dies wirkt sich natürlich negativ auf den Modellierungsaufwand aus.

Positionsanfragen können wie in den Modellen zuvor auch ohne Genauigkeitsverlust beantwortet werden. Dadurch dass jede Überlappung eine eigene Koordinate zugewiesen bekommt, kann man eine gute Genauigkeit schon mit wenigen sich überlappenden Sensoren erreichen. Gebietsanfragen können im Allgemeinen sehr unterschiedlich ausfallen, doch können sie mit diesem Modell auch jederzeit beantwortet

werden. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Kombination mehrerer Gebiete. Besonders der Schnitt und die Differenz sind hilfreich bei der Beschreibung neuer Gebiete. Die Vereinigung von Gebieten ist jedoch nicht möglich, da es hier zu Problemen bei der Auflösung von Inklusionen kommen kann (vgl. [7]). Der Überdeckungsgrad lässt sich in diesem Modell wegen einer fehlenden Größenangabe für die Gebiete nicht berechnen. Auch eine Abschätzung, ähnlich der im baumförmigen Modell, ist nicht möglich, da hier partielle Überdeckungen möglich sind und daher auch keine Abschätzung über die Anzahl der überdeckten Gebiete möglich ist. Dies trägt dazu bei, dass Nachbarschaftsanfragen nicht auf Basis von euklidischen Berechnungen beantwortet werden können. Die Tatsache, dass ein Objekt mehrere Väter haben kann, ermöglicht es die organisatorische Zugehörigkeit sehr genau zu beschreiben (vgl. Informatik Gebäude Abbildung 7) und so eine vielfältige Struktur aufzubauen.

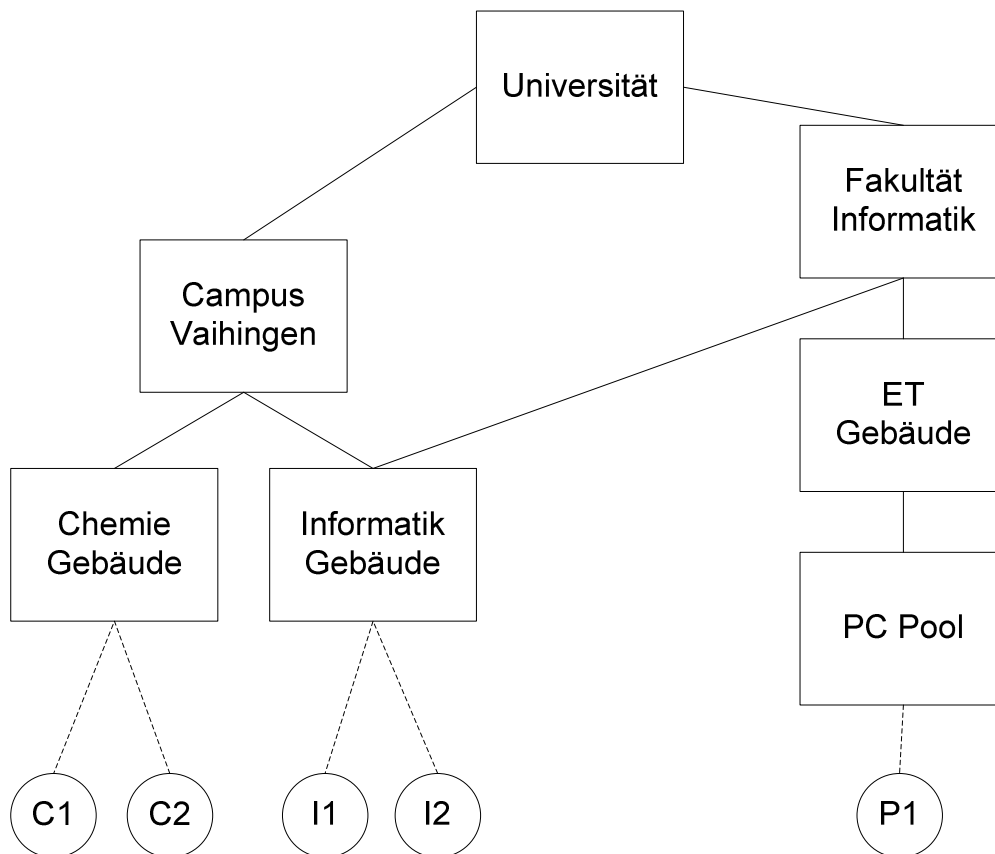


Abbildung 7 - Multiple Zugehörigkeit im Gittermodell

Weiterhin wird in diesem Modell auch kein Maß für die Entfernung zweier modellierter Gebiete verwendet. Um dennoch Nachbarschaftsanfragen beantworten zu können, wäre es möglich die geometrische Distanz im Vergleich mit anderen Gebieten abzuschätzen. Dazu verwendet man die partielle Ordnung, die entsteht wenn man die Gebiete bzw. ihren enthaltenen Objekte in der Hierarchie miteinander ver-

gleich. Das heißt die oberen Schranken im Gitter lassen eine ungefähre Entfernung wie folgt abschätzen:

$$\sup(C1, I2) \leq \sup(C1, P1) \rightarrow \text{dist}(C1, I2) \leq \text{dist}(C1, P1) \quad (4.1)$$

Diese Aussage ist jedoch an eine Bedingung geknüpft. Es lassen sich nur Objekte vergleichen, bei denen ein Supremum das andere überdeckt. Nur so kann eine partielle Ordnung erstellt werden. Sind die Suprema verschieden, so sind sie nicht vergleichbar und lassen auch keine weiteren Rückschlüsse zu.

Beispiel:

Wir befinden uns in Gebäude I1 und suchen den nächsten Farblaserdrucker. Einer steht in P1 der andere in C1. Welcher Weg der kürzere kann nicht bestimmt werden.

Im Gitter ist die die Summe der Gebiete die beim Aufsteigen bis zum Supremum durchlaufen werden kein allgemeingültiges Maß zur Entfernungsbestimmung, denn manche Gebiete können genauer modelliert sein. Dennoch kann die kleinste obere Schranke einen Rückschluss auf die Entfernung zwischen zwei Objekten zulassen. Dabei spielt der Grad der Modellierung eine entscheidende Rolle. Werden eher weniger Gebiete modelliert, so wird bei vielen Anfragen häufig dieselbe obere Schranke das Ergebnis sein. Somit wird die Aussagekraft geschwächt. Es ist zum Beispiel nicht möglich zu entscheiden ob I1 oder I2 näher zu C1 liegt. Werden dagegen viele Gebiete und Hierarchien modelliert sind sehr viel differenziertere Aussagen möglich, allerdings nur unter einem deutlich höheren Modellierungsaufwand. Leider hat auch diese Variante ihre Grenzen, je weiter Objekte voneinander entfernt sind, desto häufiger werden die Entfernungen der Objekte aufgrund unterschiedlicher Suprema nicht vergleichbar sein. Daher sind auch im Gitter Nachbarschaftsanfragen nur sehr eingeschränkt möglich.

Erweiterungen sind in diesem Modell einfach zu bewerkstelligen, es gibt praktisch keine Einschränkungen. In größerer Umgebung eingesetzt, spielt aber die Integritätsprüfung eine größere Rolle. Schließlich muss jedem neu hinzugefügten modellierten Gebiet und jeder neu entstehenden Überlappung eine Koordinate zugewiesen werden. Ansonsten ist das Modell nicht mehr korrekt und es kommt zu Fehlern.

4.4 Graphbasierte Modelle

Alle bisher betrachteten Modelle unterstützen Anfragen nach Position und Gebieten schon recht gut und auch Nachbarschaftsanfragen können bezüglich einer organisatorischen Nähe beantwortet werden. Schwierigkeiten gibt es beim Beantworten von Fragen nach einer geographischen Distanz. Ohne ein Maß zur Entfernung sind nur Abschätzungen möglich. Entweder über die Anzahl der Räume (setzt eine gewisse Regelmäßigkeit voraus und schränkt somit die Modellierungsfreiheit ein) oder künstliche Punkte (vergleiche auch Landmarken in [4]), die in einem festen Abstand über das Gesamtgebiet verteilt sind. Modellierungen dieser Art benötigen eine große Anzahl definierter Koordinaten und erhöhen den Aufwand ungemein.

Ein Ansatz, der in erster Linie die Entfernung zwischen symbolischen Koordinaten modelliert, ist der der graphbasierten Modelle. Die Koordinaten werden als Knoten und die Verbindungen als Kanten modelliert. Die Kanten stellen dabei einen begehbaren Weg zwischen den Koordinaten dar und eignen sich somit zur Modellierung von Türen oder auch zwischen Gebäuden. Die Genauigkeit des Gesamtsystems hängt somit davon ab wie präzise und vollständig einzelne Verbindungen modelliert werden. Die Möglichkeiten dazu sind vielfältig, denn das Modell erlaubt die Gewichtung von Knoten und/oder Kanten.

Im Folgenden werden nur graphbasierte Modelle betrachtet, die mit exklusiven Koordinaten arbeiten. Knoten könnten zwar auch überlappende Gebiete darstellen, doch welche Interpretation bleibt dann für die Kanten? Bestenfalls kann mit diesem Ansatz eine durchschnittliche Entfernung bestimmt werden, da keine räumliche Beziehung mehr zwischen den Koordinaten herstellbar ist. Dadurch ist dieser Ansatz für das Lokationsmanagement nicht geeignet und wird nicht weiter betrachtet.

Doch selbst die Einschränkung auf exklusive Koordinaten erlaubt noch viele verschiedene Modellierungsansätze. Diese Arbeit behandelt einige dieser Ansätze, die das komplette Spektrum, vom einfachen Modell bis hin zum komplexen, aber dafür sehr genauen Modell, abdecken.

Bezogen auf Positionsanfragen weisen alle Modelle identisches Verhalten auf. Es liegt kein Verlust an Genauigkeit vor. Als Position wird jeweils die Koordinate des Gebiets in den sich das Objekt gerade befindet zurückgemeldet.

Ein grundsätzlicher Nachteil der graphbasierten Modelle ist jedoch ihre eingeschränkte Nutzbarkeit bei Gebietsanfragen. Die Abfrage von einzelnen modellierten Gebieten stellt kein Problem dar, jedoch ist es aufgrund einer fehlenden Hierarchie nicht möglich Gebiete zusammenzufassen und abzufragen. Auch kombinierte Loka-

tionsangaben bringen keinen ersichtlichen Vorteil mit sich. Die Vereinigung von Gebieten ist der sequentiellen Abfrage von Gebieten gleichzusetzen und Schnitt oder Differenz sind bei exklusiven Koordinaten ohnehin nicht möglich. Daher konzentrieren sich die Betrachtungen bei graphbasierten Modellen auf die optimale Unterstützung von Nachbarschaftsanfragen.

Ziel ist es ein optimales Modell insbesondere für den Innenbereich zu finden. Diese Arbeit untersucht die folgenden Modelle bezogen auf ihre Genauigkeit und Einsetzbarkeit an einem typischen Szenario (siehe Abbildung 8). Jedes Modell wird mit dem nötigen Aufwand eine gewisse Nutzbarkeit erzielen. Dabei versucht man mit so wenig Aufwand wie möglich unter einer geringen Fehlerrate den größtmöglichen Nutzen zu erreichen.

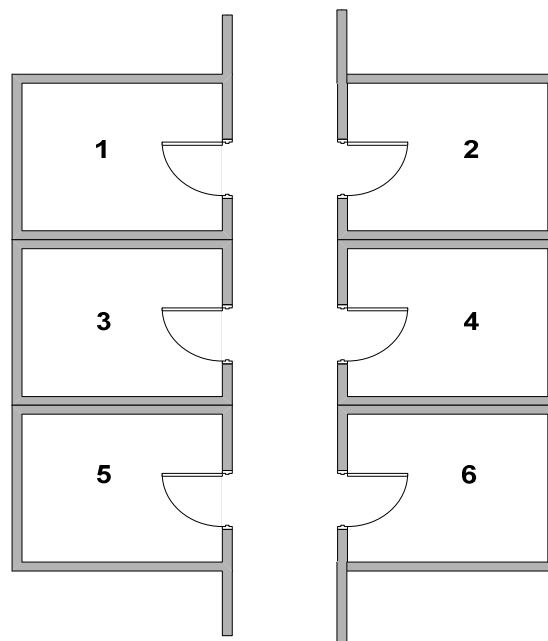


Abbildung 8 - typische Bürolandschaft

4.4.1 Ungewichteter Graph

In einem ungewichteten Graph werden keine metrischen Informationen festgehalten, weder bei den Kanten noch bei den Knoten. Außer den Knoten werden nur die bestehenden Verbindungen zwischen den Gebieten modelliert. Das senkt den Modellierungsaufwand auf ein Minimum.

Daher entsteht ein großer Nachteil bei Nachbarschaftsanfragen. Denn die Möglichkeiten Entfernungen zu bestimmen sind durch den beschränkten Modellierungsgrad sehr begrenzt und sehr abstrakt. Bestenfalls ist ein Vergleich von Entfernungen über

die Anzahl, dazwischen liegender Gebiete möglich. Dies setzt aber wiederum gleichmäßig strukturierte Räume voraus und schränkt die Freiheit der Modellierung ein. Bei der Modellierung des gewählten Szenarios wird deutlich, dass keinerlei vernünftige Aussage über Entfernungen gemacht werden können.

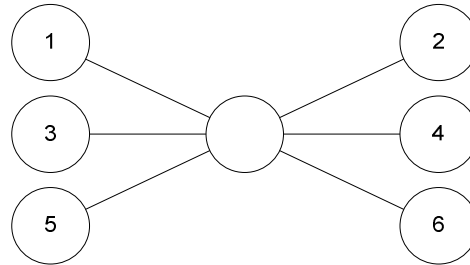


Abbildung 9 - Büros im ungewichteten Graphen

In Abbildung 9 wird ersichtlich, dass alle Büros eine Verbindung zum Flur haben und sie über diesen eine Möglichkeit haben in jedes weitere Büro zu kommen. Eine höhere Genauigkeit ist nicht möglich. Laut Modellierung sind die Wege von jedem Büro zum Mittelpunkt des Gangs gleich lang. Somit wäre der Weg von Büro 1 zu Büro 6 genauso weit wie von 1 zu 2.

Nichtmodellierte Gebiete nachträglich zu modellieren stellt keine großen Schwierigkeiten dar, es muss lediglich darauf geachtet werden, dass alle begehbaren Verbindungen zum Randknoten hinzugefügt werden. Die Erhöhung der Genauigkeit in schon vorhandenen Gebieten ist möglich, so lange sich die Gebiete nicht überlappen. Sind in einem Büro beispielsweise zwei Arbeitsplätze, so wird der Knoten für das Büro um zwei weitere Knoten (für die Arbeitsplätze) erweitert. Der ursprüngliche Knoten für das Büro stellt dann im weiteren Verlauf die Tür zu diesem Raum dar. Es ist einsichtig, dass dieses Modell zwar schnell aufgestellt werden kann, doch eignet es sich nur begehbare Wege zu finden, keinesfalls aber für genaue Nachbarschaftsanfragen.

4.4.2 Variante: Ungewichteter Graph mit Entscheidungspunkten

Eine interessante Erweiterung des ungewichteten Graphen ist die Variante mit Entscheidungspunkten. Dabei wird jede Stelle, an der der Benutzer mehrere Möglichkeiten hat weiterzugehen, modelliert. Dies resultiert in einem geringfügig höheren Modellierungsaufwand, erlaubt aber gleichzeitig Entfernungen miteinander zu vergleichen und eine partielle Ordnung herzustellen.

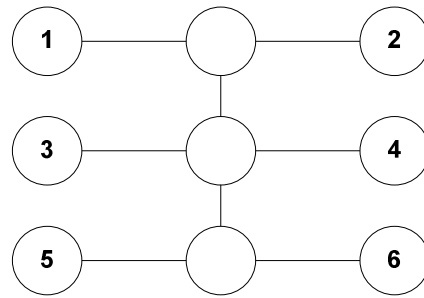


Abbildung 10 - ungewichteter Graph mit Entscheidungspunkten

Es ist ersichtlich, dass trotz fehlender Maßangaben Aussagen über Entfernungen getroffen werden können. Im Vergleich zu dem Modell ohne Entscheidungspunkte ist hier deutlich, dass sich 2 deutlich näher an 1 befindet als 6. Anfragen wie „der nächste Kopierer in 10m Entfernung“ können so zwar noch nicht beantwortet werden, die partielle Ordnung erlaubt aber Aussagen welcher der verfügbaren Kopierer mir am nächsten steht. In Umgebungen mit vielen unterschiedlich großen Räumen, lässt sich aber auch hier ein Fehler nicht vermeiden. Die Abschätzungen treffen nur dann zu, wenn die Kanten größtenteils dieselbe Länge vorweisen.

4.4.3 Gewichtete Graphen

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten der Gewichtung. Zum einen können die Knoten mit Gewichten versehen werden, zum anderen die Kanten. Diese beiden Verfahren sind sich sehr ähnlich. Für den Fall der Knotengewichtung wird ein Gewicht gesucht, das die Größe des Raumes repräsentiert, im Fall der Kantengewichtung stellt das Gewicht die Entfernung zwischen modellierten Gebieten dar. Der Aufwand der Modellierung entspricht dabei dem des ungewichteten Graphen zuzüglich dem Aufwand für das Messen bzw. Abschätzen der Entfernungen. Die weiteren Gesichtspunkte gewichteter Graphen werden unter der Annahme, dass die Kanten gewichtet sind, betrachtet, da es praktisch keine Unterschiede zwischen Kanten- und Knotengewichtung gibt:

$$g(\text{Kante}) = \frac{1}{2} g(\text{Knoten 1}) + \frac{1}{2} g(\text{Knoten 2}) \quad (4.2)$$

Ein Vorteil durch die Einführung von Maßzahlen ist, dass nun absolute Werte vorhanden sind. Die Angabe kann in Meter und Zentimeter erfolgen und somit auch über größere Distanz recht genaue Entfernungen angeben.

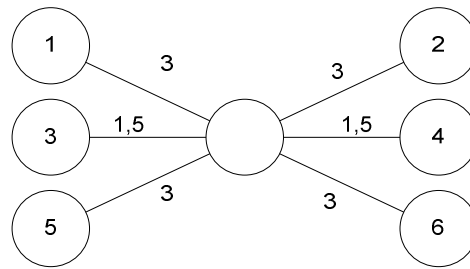


Abbildung 11 - kantengewichteter Graph

Die Ungenauigkeit, die entsteht wenn beispielsweise die Entfernung vom Schreibtisch zur Tür nicht modelliert wird, kann ausgeglichen werden. Man kann abschätzen, dass im Durchschnitt die Schreibtische so weit von der Türe entfernt sind wie der Mittelpunkt des Raumes. Dieser Wert kann auf das Kantengewicht aufsummiert werden und spiegelt somit im Durchschnitt einen Wert wieder, der damit wieder etwas näher an der Realität liegt.

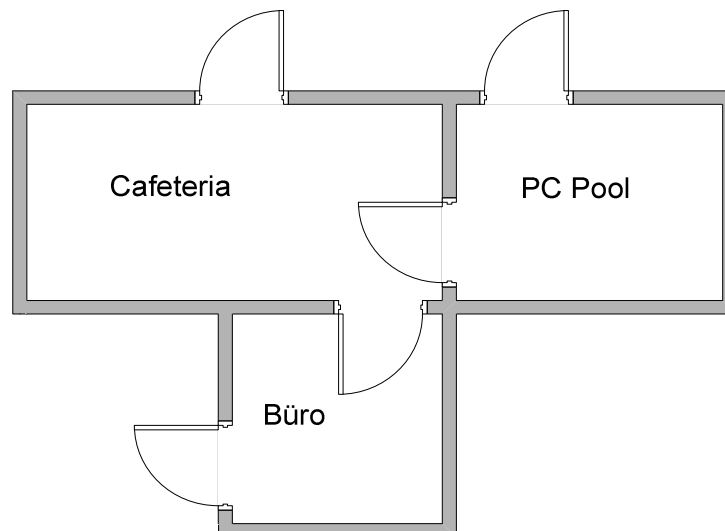


Abbildung 12 - Fehler durch Abkürzungen

Nicht berücksichtigt werden können Abkürzungen, das heißt Wege wie vom PC Pool ins Büro (siehe Abb. 12), die nicht durch den Mittelpunkt des Raumes führen. Dies liegt daran, dass für einen Raum nur ein Gewicht „zur Verfügung“ steht und davon ausgegangen wird, dass immer vom Mittelpunkt eines Raumes zum Mittelpunkt des nächsten Raumes zu gehen.

Im Bezug auf die nachträgliche Erweiterung des Modells um neue Räume und Verbindungen verhält sich dieses Modell identisch mit dem Modell der ungewichteten Graphen.

4.4.4 Modell der mehrfachen Gewichtung

Die feinste Auflösung erreicht man dadurch, dass jede einzelne Entfernung zwischen Objekten genau ausgemessen und im Modell abgebildet wird. Für Nachbarschaftsanfragen eignet sich dieses Modell dank der exakten geographischen Entfernungen sehr gut.

Für jeden Knoten müssen alle Abstände zwischen den Ausgängen und von dort zur Raummitte ermittelt werden. Bei der Berechnung des Weges kann dann die direkte Verbindung zwischen zwei Türen gewählt werden. Bei bisherigen Modellen mussten die zwei Verbindungen über die Raummitte herangezogen werden, was bei zu traversierenden Gebieten unweigerlich zu einer Ungenauigkeit führt.

Die sonstigen Anforderungen unterscheiden sich nicht gravierend von anderen graphbasierten Modellen. Einzig und allein an das System werden eben höhere Systemanforderungen gestellt. Pro Knoten müssen jetzt die Namen der Nachbarn und die jeweiligen Entfernungen gespeichert werden. Um in einer detailreichen Umgebung immer noch dieselbe Performance (verglichen mit einfacheren Modellen) zu erzielen muss eine entsprechende Rechenleistung des Systems gewährleistet sein.

Das Vorhandensein dieser umfangreichen Messwerte setzt voraus, dass diese auch aktuell gehalten werden. Sollten sich Entfernungen ändern (Sicherheitsgrade verbieten bestimmte Wege, Umzüge und ähnliches) müssen viele Werte überprüft werden und eventuell Nachmessungen angestellt werden. Somit ist der Aufwand um die Anzahl der Wege höher, als im einfach gewichteten Graphen.

5 Leistungsaspekte

In diesem Abschnitt werden anhand der bisher vorgestellten Modelle gezeigt, welche Aspekte beachtet werden sollten um einen Lokationsdienst effizient aufzubauen. Dass das aufwendigste Modell die verschiedenen Anfragen am genauesten beantworten kann, war abzusehen. Es ist aber nicht immer notwendig den Fehler bei Entfernungsmessungen auf das kleinste zu minimieren. Daher werden die Modelle bezüglich ihrer Komplexität und ihrem Zeitaufwand betrachtet und bewertet um so einen Anhaltspunkt über die Tauglichkeit in bestimmten Einsatzfeldern zu geben. Jeder betrachtete Aspekt bietet eine Vielzahl von verschiedenen Möglichkeiten bezüglich der Realisierung mit sich. Da die Diskussion über alle diese Möglichkeiten den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, legen wir hier den Fokus auf die Genauigkeit bei Gebiets- und Nachbarschaftsanfragen.

Für den Erfolg eines Lokationsdienstes ist es wichtig, dass der Aufwand in einem gesunden Verhältnis zum Nutzen steht. Es ist schwierig alle Aspekte in eine Gesamtformel miteinzubeziehen. Der Schwerpunkt liegt darauf, einen Kompromiss zwischen dem Modellierungsaufwand und der Genauigkeit bei der jeweiligen Einsatzumgebung zu finden.

5.1 Grundlagen

Jedes Modell eignet sich prinzipiell gleich gut um Positionsanfragen zu beantworten. Einschränkungen sind höchstens dadurch gegeben, ob sich Gebiete überlappen dürfen oder nicht (vgl. dazu auch Kapitel 5.1.2). Dagegen sind bei Gebietsabfragen allein die hierarchischen Modelle in der Lage Auskunft zu geben. Diese eignen sich im Bezug auf Nachbarschaftsanfragen aber höchstens noch um eine organisatorische Nähe zu betrachten. Für die Berechnung der geometrischen Distanz kommen nur graphbasierte Modelle in Frage. Je nach Häufigkeit eines bestimmten Anfragetyps kommt eher das eine oder das andere Modell in Frage. Um alle Anfragetypen abzudecken ist eine Kombination aus verschiedenen Modellen denkbar (siehe [17], [12]).

Positionsanfragen:

Die möglichst präzise Angabe der aktuellen Position eines Objekts ist sehr wichtig, da sie Grundlage für die Nachbarschaftsanfragen ist. Je genauer die Position angegeben wird umso genauer können später Wege berechnet werden. Im Systemmodell wurde festgelegt, dass die Positionierung nur raumgenau vorgenommen wird. Bei Positionsanfragen ist damit keine genauere Aussage möglich. Für andere Anfragety-

pen (z.B. Nachbarschaftsanfragen) kann die Wahl des Referenzpunkts aber für die Genauigkeit entscheidend sein. Die in diesem Abschnitt besprochenen Faktoren erläutern dies weitergehend.

Gebietsanfragen:

Gebietsanfragen werden generell nur von hierarchischen Modellen sinnvoll unterstützt. Die baum- oder gitterartige Struktur ermöglicht es auf einfache Weise größere Gebiete abzufragen, da in diesen Modellen Inklusionen modelliert werden. Werden diese größeren Gebiete aber nicht aufgrund einer organisatorischen sondern einer geometrischen Nähe gebildet, so haben Gebietsanfragen eine ähnliche Charakteristik wie Nachbarschaftsanfragen. Ein Beispiel für eine solche Gebietsanfrage wäre „nenne alle Objekte in einem Umkreis von 20 m von meiner Position“. Daher können die Aspekte, die bei einer Nachbarschaftsanfrage auftreten, für eine Gebietsanfrage ebenso wichtig sein.

Nachbarschaftsanfragen:

Das Ziel bei Nachbarschaftsanfragen ist es, aus einer Menge von Objekten mit gewünschten Eigenschaften, das Objekt zu finden, welches sich am nächsten zu meiner oder einer beliebigen anderen Position befindet. Dadurch ist es notwendig, die Entfernungen der umliegenden Objekte bestimmen zu können. Da die Messung je nach Modell mit einem Fehler behaftet ist, ergibt sich ein Bereich (Position +/- x Meter) in dem sich ein Objekt aufhalten kann. Eine konkrete Aussage kann daher nur getroffen werden, wenn sich die Bereiche nicht überlappen und eine genügend große Entfernung voneinander aufweisen.

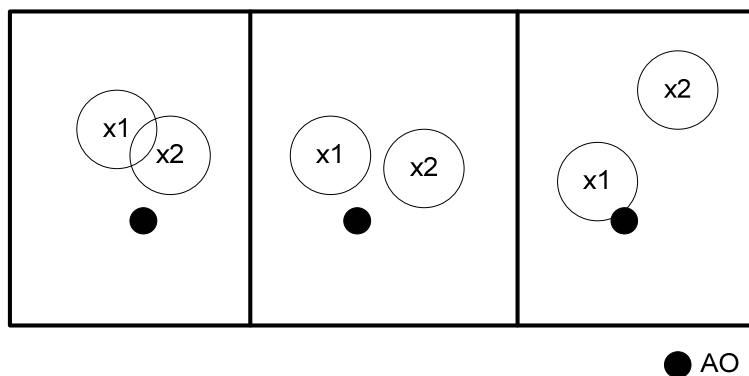


Abbildung 13 - Szenarien bei der Entfernungsmessung

Die Abbildungen 13.1-13.2 verdeutlichen, dass eine hundertprozentig richtige Aussage in diesem Fall nicht getroffen werden kann. Dies ist nur unter ausreichendem Un-

terschied der Entfernungen möglich (vgl. Abb. 13.3). Im späteren Verlauf der Arbeit wird der notwendige Unterschied dieser Entfernung (*diff*) dann für die verschiedenen Modelle berechnet.

Diese Entfernung ist abhängig von zwei Komponenten. Zum einen ist die Ungenauigkeit des jeweiligen Modells (*err*) pro Raum und Gewicht entscheidend, zum anderen die Anzahl der durchlaufenen Räume (*n*). Die notwendige Entfernung wird daher wie folgt berechnet:

$$diff > n * err \quad (5.1)$$

Um eine allgemeine Aussage über die Anzahl der Räume machen zu können, muss diese abgeschätzt werden, denn ansonsten gelten die Ergebnisse nur für ein bestimmtes Szenario. Die Anzahl der Räume lässt sich aber durch die minimale und maximale Ausdehnung (d_{\min} bzw. d_{\max}) modellierter Räume unter Annahme einer festen Entfernung (*x*) für das gesuchte Objekt folgendermaßen eingrenzen:

$$\frac{x}{d_{\max}} < n < \frac{x}{d_{\min}} \quad (5.2)$$

Durch die Begrenzung der zu durchlaufenden Räume ergeben sich aus (5.2) zwei Fälle:

Fall a beschreibt die Entfernung, die ein Objekt näher am Bezugspunkt sein muss, als ein gegebenes Objekt. Das heißt, wir gehen davon aus, dass wir die Entfernung zu einem Objekt kennen und berechnen nun den Wert, den ein anderes Objekt näher in Richtung des Bezugspunkts sein muss, damit es vom Lokationsdienst als näher erkannt wird. Als Bezugspunkt kommt dabei der Aufenthaltsort des Benutzers oder eine beliebige andere Position innerhalb des modellierten Gebietes in Frage.

Fall b beschreibt die Entfernung, die ein Objekt weiter entfernt sein muss, als ein bekanntes Objekt. Das heißt die berechnete Differenz wird auf die Entfernung des bekannten Objekts aufaddiert und ergibt dann die Mindestentfernung für eine korrekte Unterscheidung der Objekte bezüglich der Nähe.

$$Fall a : diff > \frac{x}{d_{\max}} * err \quad (5.3)$$

$$Fall b : diff > \frac{x}{d_{\min}} * err \quad (5.4)$$

Um Aussagen über die Effizienz der einzelnen Modelle machen zu können muss nur die „Error Variable“ für die Modelle möglichst genau abgeschätzt werden. Nach dem Einsetzen der verschiedenen Parameter entsprechend der Umgebung, die modelliert werden soll, lässt sich die erforderliche Entfernung pro Modell berechnen. Diese „Entfernung“ ist eine wichtige Kennzahl, denn mit ihr kann die Ungenauigkeit, die durch das Modell induziert wird abgeschätzt werden. Abbildung 14 zeigt die Auswirkungen der berechneten Differenz. Je kleiner diese ist, desto kleiner ist die Fläche der unvergleichbaren Objekte. Eine Vergrößerung der Differenz sorgt somit dafür, dass die Entfernung weiterer Objekte (hier: Schraffur) nicht voneinander unterschieden werden kann. Unter Berücksichtigung des Modellierungsaufwands der Modelle kann sich der Entwickler des Lokationsmodells ein Bild über die Genauigkeit der Modelle in seinen Räumlichkeiten machen und für sich den Aufwand / Nutzen Faktor bestimmen. Da der Aufwand der Modellierung mit dem Grad der Komplexität zunimmt, ist es unnötig ein komplexes Modell zu realisieren, wenn die Genauigkeit eines einfacheren Modells auch genügt.

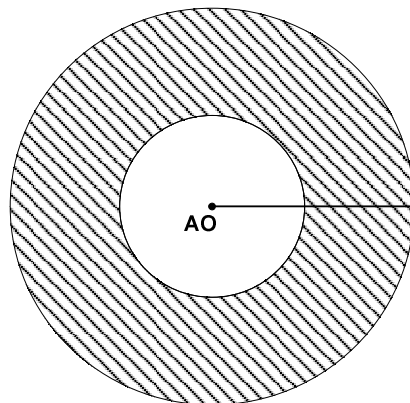


Abbildung 14 - Unvergleichbare Objekte

Um dem Leser eine Vorstellung zu geben, wie unterschiedlich die Ergebnisse bei den einzelnen Modellen ausfallen können, betrachten wir die Modelle zusätzlich anhand eines möglichen Szenarios.

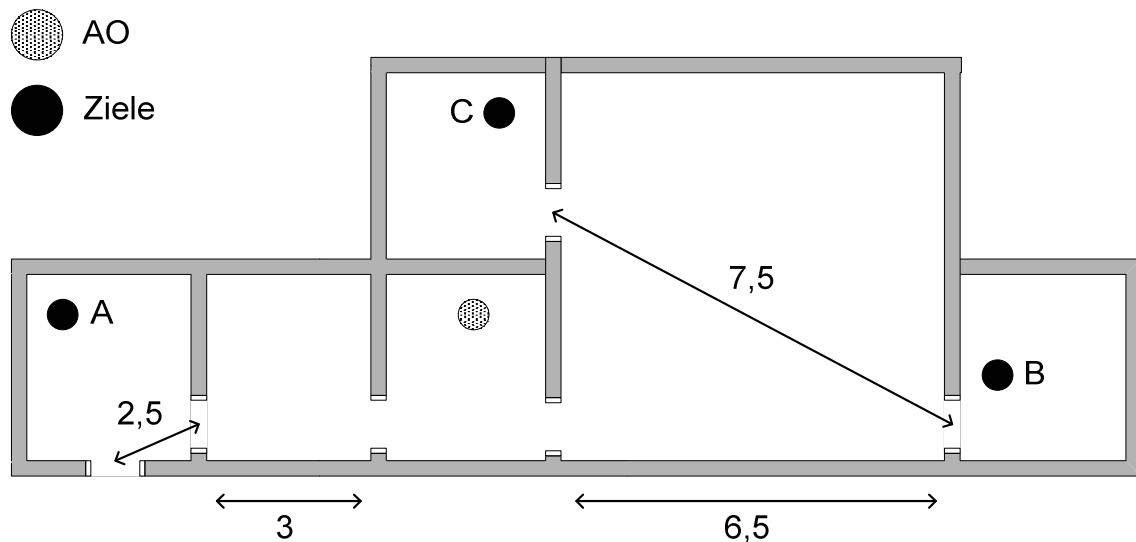


Abbildung 15 - Beispielmodell für Nachbarschaftsanfragen

Da einige der nun betrachteten Aspekte haben einen starken Effekt auf bestimmte Anfragetypen haben, wird dieser in Klammer mit angegeben.

5.2 Namensvergabe

Um Objekte miteinander in Bezug zu bringen ist es notwendig, dass jedes Objekt mindestens einen eindeutigen Namen bzw. Bezeichner erhält um es von anderen zu unterscheiden. Das System könnte die lokalisierten Objekte einfach nach der Reihenfolge ihrer Lokalisierung durchnummerieren. Diese Nummern sind aber für Benutzer, die Anfragen an das System stellen, nicht aussagekräftig. Daher müssen geeignete Bezeichner gefunden werden, die dem Benutzer eine intuitive Zuordnung mit den Objekten erlauben.

In Bereichen mit regelmäßigen Strukturen wie etwa einem Bürohochhaus, bietet es sich an die Struktur des Gebäudes in die Namensvergabe miteinfließen zu lassen. Dabei können verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Ist es wichtig die Objekte möglichst schnell zu finden und somit die Navigation im Gebäude zu unterstützen, erscheint es sinnvoll für stationäre Objekte (Drucker, Fax und ähnliches) eine ähnliche Bezeichnung wie in Abbildung 16 zu verwenden.



Abbildung 16 - Kennzeichnung von Objekten

Durch die Konkatenation von semi-geographischen Daten (z.B. Inklusion von Stockwerksnummer im Name) mit einem Bezeichner können Objekte einer bestimmten Koordinate zugeordnet werden. Ebenso ist es möglich die organisatorische Zugehörigkeit als Präfix zu verwenden. Dieses Vorgehen wird von hierarchischen Lokationsmodellen unterstützt, da sie mit der Modellierung des Gebiets übereinstimmen kann.

In unregelmäßig strukturierten Gebäuden kann das hierarchische Modell nicht so effektiv herangezogen werden. Es ist hier sehr viel schwieriger eine Kennzeichnung zu finden, die sich auf das Ganze zu modellierende Gebiet anwenden lässt. Der Freiheitsgrad liegt hier höher, bringt aber eine erhöhte Eigenverantwortung bezüglich der Eindeutigkeit mit sich.

Für mobile Objekte (Personen) ist eine solche Nomenklatur nicht von großem Nutzen, da sich diese Objekte immer in Bewegung befinden und nicht einer einzigen Lokation zuzuordnen sind. Daher muss für diese Objekte eine andere, möglichst einheitliche Bezeichnung zu finden. Da in großen Gebäuden mit vielen mobilen Objekten Namen doppelt auftreten können, wird die Notwendigkeit deutlich einen Präfix (z.B. organisatorische Zugehörigkeit) zu verwenden.

5.3 Modellierungsaufwand (Überlappung)

Eine Entscheidung, die ebenfalls frühest möglich getroffen werden sollte, ist die Frage, ob Gebiete exklusiv modelliert werden oder Überlappungen erlaubt sind. Die Einschränkung auf Überlappung zu verzichten stellt einen Verlust an Genauigkeit dar. Möchte man bei einem exklusiven Modell eine ähnlich gute Genauigkeit erreichen, so stellt das zwangsläufig einen höheren Modellierungsaufwand dar. Denn durch die Überlappung werden die ursprünglichen Gebiete kleiner. Dadurch ist die Ungenauigkeit in der Positionierung von Objekte in den neuen Gebieten ($A, B, A \cap B$) kleiner, als ohne Überlappung. Um denselben Grad an Genauigkeit ohne Überlappung zu erreichen, müssen daher mehr Gebiete modelliert werden.

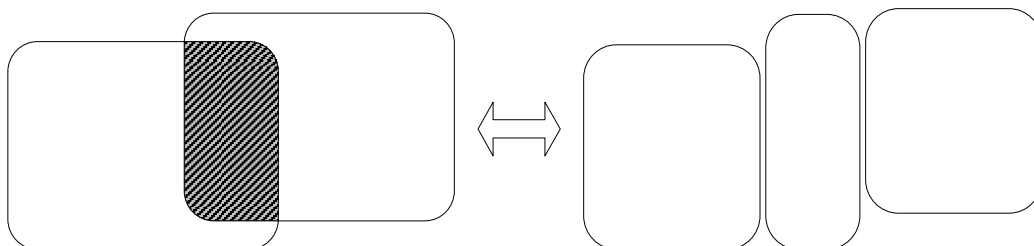


Abbildung 17 - Aufwand zur Modellierung mit und ohne Überlappung

Daraus ergibt sich noch ein weiteres Problem. Die Modellierung von Lokationen (z.B. Räumen) wird zum Problem, da die Ausleuchtzone der Sensoren selten genau mit der Größe der Lokation übereinstimmt. Sensoren in angrenzenden Lokationen könnten dann nicht das vollständige Gebiet abtasten, da es sonst zu Überschneidungen kommen würde. Dies hat weitere Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit zur Laufzeit.

5.4 Exklusive Koordinaten (PA)

Überschneiden sich die Ausleuchtzonen von Sensoren, so entstehen Gebiete in denen Objekte von beiden Sensoren geortet werden können. Werden diese Gebiete exklusiv gekennzeichnet, so ergibt sich ein Vorteil in der Genauigkeit der Lokationsangabe. Im Hinblick auf Abbildung 3 (Kapitel 3.2 Systemmodell) wird klar, dass sich eine Vergrößerung der überlappenden Gebiete (Gebiet C) positiv auf die Genauigkeit auswirkt. Die einzelnen Gebiete in denen sich ein Objekt aufhalten kann werden kleiner. Somit verringert sich auch die Entfernung jedes Objekts von der Koordinate, die das Gebiet beschreibt. Die maximal erreichbare Genauigkeit wird erreicht, wenn die Überlappungsfläche genauso groß ist wie die kleinere von A und B. Daraus ergibt sich folgender Verbesserungsfaktor:

$$\text{Verbesserungsfaktor} = \lim_{\text{Überdeckung}(G_A, G_B) \rightarrow \min(A, B)} (\text{Überdeckung}(G_A, G_B)) \quad (5.5)$$

Da sich der Grenzwert am kleineren der beiden Gebiete orientiert, ist es wichtig, dass die Überdeckung des kleineren Gebiets (G_A) durch das Größere (G_B) berechnet wird. Denn wenn diese beiden Werte vertauscht werden, so wird der Verbesserungsfaktor = 1. Das würde bedeuten, dass das kleinere Gebiet vollständig innerhalb des großen Gebietes liegt. Die Inklusion wird aber zum einen nicht von allen Lokationsmodellen unterstützt, zum anderen ist der Verlust an der Gesamtfläche, in der Objekte positioniert werden können, nun minimal.

Im Vergleich zu einem Modell mit exklusiven Koordinaten verringert sich die Ungenauigkeit bei der Positionsangabe um den Verbesserungsfaktor. Der Wertebereich, der dabei beschrieben wird, reicht von 0 (keine Überdeckung) bis hin zu 0,5 (das kleinere von beiden Gebieten wird durch das größere Gebiet genau zur Hälfte überdeckt).

5.5 Wahl des Referenzpunkts (PA)

Welche Position für den Referenzpunkt eines Gebiets herangezogen wird hat einen entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit der Positionsangaben. Der Referenzpunkt ist der Punkt im Raum, der zur Messung der Entfernungen herangezogen wird. Zur Auswahl stehen verschiedene Referenzpunkte: der Mittelpunkt des Raums, der Schwerpunkt (Punkt der höchsten Aufenthaltswahrscheinlichkeit) oder der Universalpunkt (arithmetisches Mittel aus Mittelpunkt und Position der Türen).

Je nachdem welcher Punkt als Koordinate für den Referenzpunkt eines Gebiets gewählt wird, werden einige Anfragetypen besser und einige schlechter unterstützt. Daher werden zwei Fälle unterschieden:

Fall a: Der Fehler bei Positionsangaben soll möglichst klein sein

Da sich die gesuchten Objekte in der Regel im Durchschnitt in der Mitte des Raumes und nicht am Rand befinden ist es nahe liegend dem Gebiet die Koordinate des Mittelpunkts zuzuweisen. Für die Berechnung des Mittelpunkts ist die Form des Gebiets entscheidend:

1) rechteckige Räume

In diesem Fall lässt sich der Mittelpunkt einfach bestimmen. Die Koordinaten des Punktes lauten dann: $MP : (\frac{Länge}{2} / \frac{Breite}{2})$

2) beliebige Vielecke

Beliebige Vielecke müssen durch Verlängerung der äußeren Kanten erst zu einer Rechtecksform erweitert werden. Danach kann der Mittelpunkt wie im ersten Fall berechnet werden.

Anstatt des Mittelpunkts kann auch der Schwerpunkt als Koordinate des Raums in Betracht gezogen werden. Definiert man diesen Punkt, als Punkt mit der höchsten Aufenthaltswahrscheinlichkeit, so sinkt die Ungenauigkeit bei einer Positionsanfrage. Der Nutzen der Verwendung des Schwerpunkts ist aber abhängig von der Anzahl der positionierten Objekte im Raum. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies:

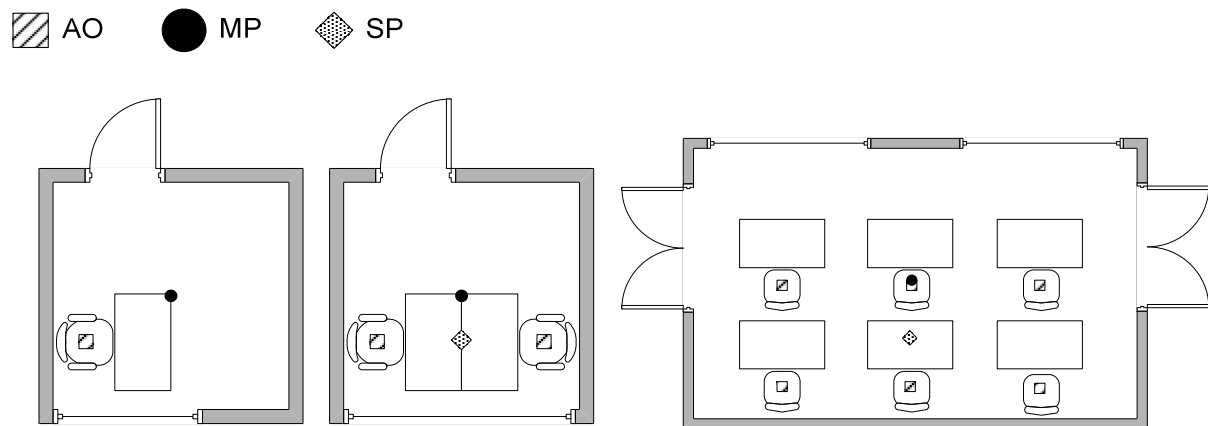


Abbildung 18 - Wechselbeziehung zwischen Mittel- und Schwerpunkt bezogen auf die Benutzeranzahl

Anhand der 18.1-18.3 wird deutlich, dass unter Annahme einer durchschnittlich gleichmäßigen Verteilung gilt: je mehr Personen sich in einem Raum aufhalten, desto mehr rückt der Schwerpunkt in Richtung des Mittelpunkts. Somit wird der Fehler der Positionsangabe bei Verwendung des Mittelpunkts immer geringer. Legt man ein Koordinatensystem über die Fläche des Raumes und bestimmt anhand diesem die Koordinaten des Mittel- und des Schwerpunkts so lässt sich die durchschnittliche Abweichung des Schwerpunkts vom Mittelpunkt mit folgender Gleichung berechnen.

$$Abweichung = \sqrt{\left(x_{MP} - \frac{\sum x_i}{i}\right)^2 + \left(y_{MP} - \frac{\sum y_i}{i}\right)^2} \quad (5.6)$$

Die Formel zeigt, dass bei symmetrischer Verteilung der Aufenthaltspunkte (damit ist der Platz im Raum gemeint, an dem sich der Benutzer am häufigsten aufhält) im Raum gilt: je höher die Anzahl der lokalisierten Objekte in einem Raum ist, desto sinnvoller ist es statt dem statistischen Schwerpunkt den Mittelpunkt als Koordinate des Raumes zu verwenden. Anders ausgedrückt, je größer der Raum desto geringer wird der Abstand prozentual gesehen zur Raumgröße. Fällt der Wert des Fehlers in (5.6) unter eine frei wählbare Grenze ($Abweichung < z$), so kann man sich unter Verwendung des Mittelpunkts die aufwendige Berechnung des Schwerpunkts ersparen.

Für sehr exakte Positionsangaben lohnt sich die Verwendung des Schwerpunkts folglich nur dann, wenn sich nur ein Objekt im jeweiligen Gebiet aufhält. Dann stimmt die Positionsangabe unter ihrer stochastischen Wahrscheinlichkeit genau mit der tatsächlichen Position des Objekts (vgl. Abbildung 18.1: ein Benutzer am Schreibtisch in einem Büro) überein. Durch mobile Objekte kann die Anzahl der Objekte in einem Raum schwanken, daher empfiehlt es sich bei häufiger Änderung der Objekt-

anzahl in einem Raum von vornherein auf die Modellierung des Schwerpunkts zugunsten des Mittelpunktes zu verzichten.

Fall b: Der Fehler bei Nachbarschaftsanfragen soll möglichst gering sein

In einigen Fällen, kann es sein, dass die Verwendung des Mittelpunkts als Referenzpunkt nicht geeignet ist (siehe Abbildung 19). In einfacheren Modellen, kann es durchaus von Vorteil sein, als Referenzpunkt den Punkt zu nehmen, der von allen Zugängen (Türen, Treppen, Aufzüge usw.) gleich weit entfernt ist. Im knotengewichteten Graphen könnte der Abstand zu diesem Punkt zur Bestimmung der Raumgröße und somit des Gewichts herangezogen werden.

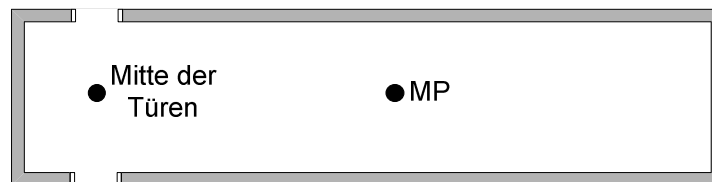


Abbildung 19 - Koordinatenwahl bei länglichen Räumen

Gerade auch bei Nachbarschaftsanfragen, bei denen viele Räume durchlaufen werden, ist die Überlegung durchaus legitim, als Referenzpunkt den Mittelpunkt der Türen für das jeweilige Gebiet zu verwenden.

Als nachteilig erweist sich die Entscheidung bei kurzen Wegen. Denn hier wird im Start- und Zielgebiet, die Entfernung zwischen dem Mittelpunkt der Türen und dem Mittelpunkt des Raumes unterschlagen. Wenn man von einer davon ausgeht, sich größtenteils in der Mitte des Raumes aufzuhalten (vgl. Abbildung 19) ist der Fehler in der Entfernungsberechnung verglichen mit der gesamten Weglänge nicht unerheblich. Dies kann dazu führen, dass ein Objekt dem Lokationsdienst fälschlicherweise näher erscheint, als das in der Realität nahste Objekt.

Kompromiss:

Um beide Fälle zu berücksichtigen wird der Universalpunkt als Referenzpunkt festgelegt. Er bildet sich aus dem arithmetischen Mittel der Koordinaten der Türen und des Mittelpunktes. Dadurch entsteht ein Kompromiss aus den beiden Extremfällen. Die Position der Türen wird jetzt berücksichtigt, ebenso wie die Ausdehnung des Raumes und somit auch die Position des Mittelpunktes.

5.6 Modellierung von Inklusionen (GA)

Wird auf Modellierung von Überlappungen verzichtet, so bleibt für die Erhöhung der Genauigkeit innerhalb eines Raumes nur die Abdeckung eines besonderen Gebietes (Hotspot) durch weitere Sensoren. Im baumförmigen Modell dient diese Technik dazu, markante Gebiete separat zu kennzeichnen um die dort befindlichen Personen separat anzusprechen. Beispielsweise könnte den VIPs auf dem Podium A mehr Informationen zugänglich gemacht werden, als den üblichen Teilnehmern im Konferenzsaal. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies:

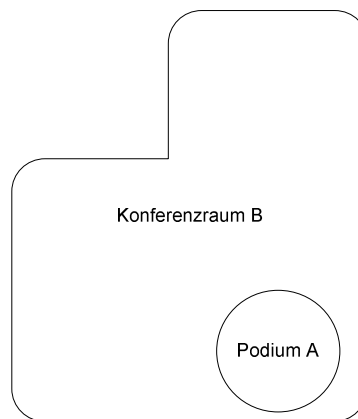


Abbildung 20 - Hotspots im baumförmigen Modell

Dem Lokationsdienst ist es dann möglich, Lokationsangaben zu kombinieren. Somit können alle Objekte bestimmt werden, die in B sind, aber nicht gleichzeitig in A sind. Die Genauigkeit bei Gebietsanfragen wird dadurch erhöht.

5.7 Modellierung von Überlappungen (GA)

Wenn in Betracht gezogen wird, dass nicht jedes lokalisierbare Objekt dieselben Sensoren verwendet wie sie in den einzelnen Räumen installiert sind, so ist sinnvoll, wichtige Stellen durch Zweit-Sensoren abzudecken. Funkbasierte Sensoren (z.B. Access Points) sind nicht an die Raumgrenzen gebunden und überdecken somit mehrere Gebiete. Daher können sich aber Ungenauigkeiten ergeben. Es ist beispielsweise möglich, dass ein Objekt, welches nicht vom den Raumsensoren erfasst wird, im Bereich des AP liegt.

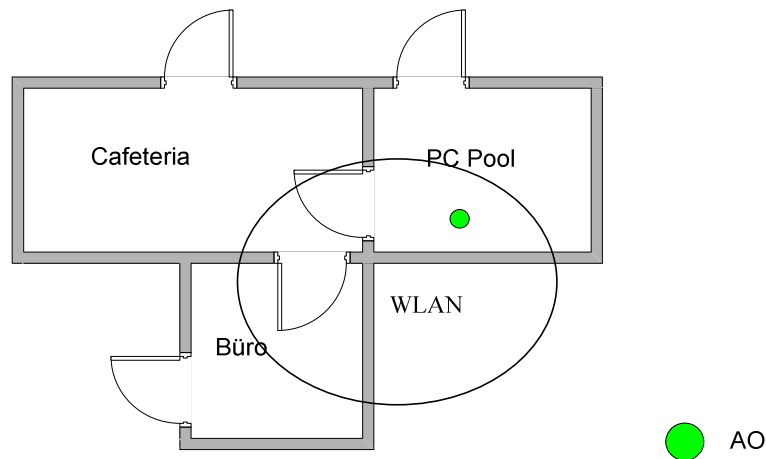


Abbildung 21 - Überlappung von Sensoren

Eine genaue Positionsbestimmung ist nun nicht möglich. Es ist nur möglich Aussagen unter einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu treffen. Dazu muss die Größe der beteiligten Gebiete sowie des WLANs bekannt sein. Daraufhin kann mit der Formel (2.1) der Überdeckungsgrad und somit auch die jeweils überdeckte Fläche berechnet werden. Der Anteil der überdeckten Fläche an der Gesamtfläche des Funkgebiets ergibt die Wahrscheinlichkeit (W) in der sich das Objekt (x) in dem jeweiligen Raum (G_i) aufhält:

$$W(x \in G_i) = \frac{\text{Größe}(G_i \cap \text{WLAN})}{\text{Größe}(\text{WLAN})} \quad (5.7)$$

Da die Gesamtfläche des WLANs nicht vollständig von modellierten Gebieten überdeckt sein muss (nicht modellierter „leerer Raum“), ergeben alle Wahrscheinlichkeiten addiert nicht automatisch 1.

Um die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Aussage anzuheben kann die Position des Schwerpunktes – nur falls dieser modelliert wurde – der beteiligten Räume mit in Betracht gezogen werden. Dies ist möglich, da zur Bestimmung der Größe des Funkgebiets Messungen in den Räumen durchgeführt werden müssen. Ist zu diesem Zeitpunkt die Position und dazugehörige Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Schwerpunktes (W_{SP}) schon bekannt, ist es möglich festzustellen, ob er sich innerhalb oder außerhalb des Empfangsbereichs befindet. Liegt der Schwerpunkt eines oder mehrerer Räume in Reichweite des WLAN so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für den Aufenthalt des Objektes in diesem Raum ($W_{SP}(x \in G_j)$). Ausgehend von (5.7) errechnet sich die Wahrscheinlichkeit unter Betrachtung des Schwerpunktes im Raum wie folgt:

$$W_{SP}(x \in G_j) = W(SP_j) + (1 - \sum_{k=1}^n W(SP_k)) * W(x \in G_j) \quad (5.8)$$

Im folgenden Beispiel gehen wir davon aus, dass sich die Schwerpunkte des PC Pools und des Büros innerhalb des WLAN Bereichs befinden. Somit fließen die Wahrscheinlichkeiten der Schwerpunkte für diese Räume in die Berechnung ein. Die Werte für (W_{SP}) sind frei gewählt und sollen nur die Änderung der Wahrscheinlichkeiten mit und ohne Schwerpunktbetrachtung verdeutlichen.

Beispiel (vgl. Abbildung 21):

Gebiet	W(x)	SP im Schnitt	W(SP _j)	W _{SP} (x)
Cafeteria	0,15	-	0,00	0,06
PC Pool	0,25	X	0,20	0,30
Büro	0,20	X	0,40	0,48
unmodelliert	0,40	-	0,00	0,16

Abbildung 22 - Verhalten der Aufenthaltswahrscheinlichkeit unter Verwendung des Schwerpunkts

5.8 Entfernungsabschätzung im Gitter (NA)

Hierarchische Modelle eignen sich gut für Gebietsanfragen, haben jedoch ihre Defizite bei Nachbarschaftsanfragen. Anstatt die Größe der einzelnen Gebiete jedoch genau zu bestimmen und anschließend W_{SP} zu berechnen, kann man auch eine Abschätzung über die Anzahl der Kinder im Gitter (entspricht den überdeckten Gebieten) vornehmen:

$$W_{rd}(x \in G_i) = \frac{1}{\#Kinder + \#leere R\ddot{a}ume} \quad (5.9)$$

Um eine möglichst genaue Abschätzung zu machen, unterscheiden wir hierfür je nach Modellierung der Umgebung folgende Fälle:

- alle Gebiete sind in etwa gleich groß

Nehmen wir an, dass alle modellierten Gebiete in etwa dieselbe Fläche abdecken. Ohne weitere Betrachtungen schon jetzt zu versuchen eine Aussage zu treffen würde zu großen Ungenauigkeiten führen. Ein nicht zu vernachlässigender Punkt ist die Position des Sensors innerhalb eines Gebietes. Je näher der Sensor in Richtung der überlappenden Gebiete zeigt, desto ähnlicher sind sich die Überdeckungsgrade der angrenzenden Gebiete. Dies verdeutlicht Abbildung 23:

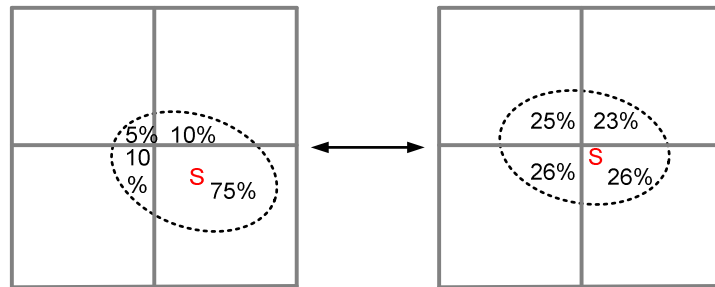


Abbildung 23 - Auswirkungen der Senderpositionen im Bezug auf die Überlappungen

Eine Hilfe zur Entscheidung über die Verwendung von Formel (5.9) kann durch folgende Überlegungen gegeben werden. Nachdem die Größe des Funknetzes gemessen wurde ist bekannt, wie viele Gebiete es überdeckt. Je näher die Größe der Fläche des Gebietes mit Sensor sich an $(1/\text{Anzahl der überdeckten Gebiete})$ annähert, desto eher kann eine genaue Abschätzung getroffen werden.

- die Gebiete haben deutlich unterschiedliche Größen

In diesem Fall werden die Gebiete unterschiedlich stark von den Zweitsensoren überdeckt. Im äußersten Fall, werden ein oder mehrere Gebiete nur zu einem Prozent überdeckt. Eine Abschätzung über die Anzahl der Kinder wäre in diesem Fall mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit falsch.

Betrachten wir folgende Extremfälle. Außer dem Gebiet, welches den Sensor enthält, gibt es noch mindestens zwei weitere Gebiete. In einem Fall sind die Gebiete ungefähr gleich groß, im Anderen beträgt das Kleine gerade mal ein Prozent und das Große den Rest. Typischerweise werden bei allen Modellierungen die Werte zwischen diesen beiden Fällen liegen. Daraus folgt:

$$\frac{100 - W(\text{Gebiet}_{\text{Sensor}})}{\# \text{Räume} - 1} < x < 100 - W(\text{Gebiet}_{\text{Sensor}}) - (\# \text{Räume} - 2) * 0,01 \quad (5.10)$$

Um hier ein Ergebnis zu erhalten genügt es das Gebiet, welches den Sensor enthält im Verhältnis zur Gesamtabdeckung des Funknetzes zu schätzen. Der bei der Abschätzung entstehende Wert x kann Aufschluss über eine mögliche Ungenauigkeit geben. Die Fläche, die x beschreibt kann anhand der Gesamtfläche des Funknetzes berechnet werden. Wenn wir davon ausgehen, dass im idealisierten Fall, die Fläche des Funknetzes einen Kreis beschreibt, kann man weiterhin den Radius den ein Kreis dieser Fläche hätte berechnen. Übersteigt der Durchmesser des Kreises die minima-

len bzw. durchschnittlichen Abmessungen der Räume, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Abschätzung über die Anzahl der Kinder nicht exakt ist.

5.9 Ungewichteter Graph (NA)

In einem ungewichteten Graphen sind die Mittel zur Darstellung von Entfernungen beschränkt. Dadurch ergeben sich bei Nachbarschaftsanfragen entsprechend auch Probleme. Die Realisierung des Beispiels (siehe Abbildung 24) sieht in diesem Modell wie folgt aus:

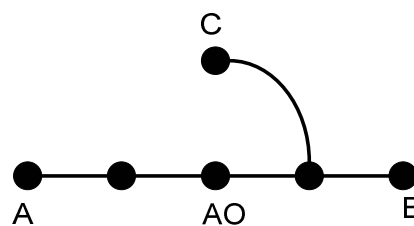


Abbildung 24 - Beispiel modelliert im ungewichteten Graphen

Bei dieser Variante werden keine Kenngrößen für die Entfernung modelliert. Daher bleibt dem Lokationsdienst nur die triviale Entfernungsabschätzung über die Anzahl der Räume. Gesetzt den Fall, dass zu mehreren Objekten aber eine identische Anzahl Räume durchquert werden muss, ist der Lokationsdienst nicht mehr in der Lage zu entscheiden welches der Objekte dem Benutzer am nächsten ist.

In homogenen Umgebungen, in der die Mehrzahl alle Räume dieselbe Größe hat und es keine Abkürzungen gibt, sind Abschätzungen über die Anzahl der Räume in der Regel korrekt. In heterogenen Umgebungen dagegen kann es schnell zu Falschaussagen kommen. Es ist durchaus möglich mehrere Räume so zu durchlaufen, dass der Gesamtweg kürzer ist, als der Weg, der nur durch einen Raum geht. In diesem Fall würde das Objekt, das geometrisch weiter entfernt, aber im angrenzenden Raum ist, einem näheren Objekt, das aber durch zwei kleine Räume getrennt ist, fälschlicherweise vorgezogen. Mit der folgenden Ungleichung lässt sich überprüfen, ob nach Durchlaufen von n Räumen der mögliche Fehler größer ist, als die kürzeste Verbindung (d_{min}) zweier Räume:

$$Check : n * (d_{max} - d_{min}) > d_{min} \quad (5.11)$$

Da in diesem Modell keine Größenangaben vorhanden sind, kann die Error Variable auch nur sehr ungenau bestimmt werden. Um überhaupt eine Abschätzung vornehmen zu können, muss wenigstens die kleinste und die größte Verbindung (globa-

le Werte) in der modellierten „Welt“ gefunden werden. Der Lokationsdienst selbst kann jedoch zu keiner Zeit unterscheiden, ob der Weg durch einen kleinen oder einen großen Raum geführt hat. Im ungünstigsten Fall beläuft sich der Fehler pro Raum daher um:

$$err_{ungewichtet} = d_{\max} - d_{\min} \quad (5.12)$$

Dafür, dass die Error Variable recht ungenau berechnet wird, ist der Aufwand für die Erstellung eines Modells gemäß dieser Variante bescheiden. Für jeden Raum wird ein Knoten und für jede Verbindung eine Kante modelliert. Da in diesem Modell keine Gewichte modelliert werden, berechnet sich der Aufwand daher wie folgt:

$$Aufwand_{ungewichtet} \leq n \text{ Knoten} + \frac{n(n-1)}{2} \text{ Kanten} \quad (5.13)$$

Beispiel:

Um zeigen zu können, wie groß die Mindestentfernungen werden können und wie ungenau diese Modellierungsvariante ist, berechnen wir die Werte anhand des kleinen Beispiels aus Abbildung 15 (siehe Seite 41). Dadurch sind die Werte für die minimale und maximale Entfernung vorgegeben, die Entfernung für das Objekt (x_1) wird auf 24 Meter festgelegt:

d_{\min}	= 2,5 m	(Verbindung der zwei Türen in Raum A),
d_{\max}	= 7,5 m	(schräg gegenüberliegende Türen im großen Raum)
$\text{Dist}(x_1)$	= 24 m	

Durch Einsetzen der Error Variable aus (5.12) in die Abschätzung über die Räume (5.3) bzw. (5.4) ergeben sich die folgenden zwei Fälle:

Fall a: Abschätzung zum Bezugspunkt

$$\begin{aligned} diff &> \frac{x}{d_{\max}} * err_{ungewichtet} \\ diff &> \frac{x (d_{\max} - d_{\min})}{d_{\max}} \end{aligned} \quad (5.14)$$

Werden nun die Werte aus dem Beispiel in die Formel (5.14) eingesetzt, so ergibt sich für den Mindestabstand:

$$\begin{aligned}diff &> \frac{5}{7,5}x \\diff &> \frac{5}{7,5} * 24m \rightarrow diff > 16 m\end{aligned}\tag{5.15}$$

Das Referenzobjekt befindet sich 24 Meter vom Bezugspunkt. Damit mit Sicherheit korrekt unterschieden werden kann, welches Objekt näher am Bezugspunkt ist, muss das andere Objekt 16 m näher sein. Das heißt, das Objekt x_2 darf sich nicht weiter als $24 - 16 = 8 m$ vom Bezugspunkt befinden.

Fall b: Abschätzung weg vom Bezugspunkt

$$\begin{aligned}diff &> \frac{x}{d_{\min}} * err_{\text{ungewichtet}} \\diff &> \frac{x(d_{\max} - d_{\min})}{d_{\min}}\end{aligned}\tag{5.16}$$

Der Mindestabstand ergibt sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned}diff &> \frac{5}{2,5}x \\diff &> \frac{5}{2,5} * 24 \rightarrow diff > 48 m\end{aligned}\tag{5.17}$$

In diesem Fall muss die berechnete Differenz auf die Entfernung zum Referenzobjekt addiert werden. Das ergibt für das Objekt x_2 eine Mindestentfernung von $24 + 48 = 72 m$.

Die Beispielrechnungen verdeutlichen, dass enorme Entfernungsunterschiede notwendig sind um noch mit Sicherheit eine korrekte Aussage treffen zu können. Bei der Suche nach mobilen Objekten (z.B. Personen) ist ein Lokationsdienst ohnehin unabdingbar. Anders sieht es aber in diesem Fall bei stationären Objekten aus. Bei Abfragen über weniger häufig vorhandene Objekte (z.B. Faxgeräte) kann der Benutzer, schon bei geringer Kenntnis der Umgebung, häufig schon intuitiv das nähere Objekt wählen ohne dafür einen Lokationsdienst zu befragen.

5.10 Knotengewichteter Graph (NA)

Nach dem ungewichteten Graphen ist dies nun die nächst aufwendigere Modellierungsart. Denn in diesem Graphmodell wird ein Gewicht pro Knoten vergeben. Dadurch lassen sich im Bezug auf Nachbarschaftsanfragen genauere Ergebnisse erzielen. Das Beispielszenario sieht als Graph dann wie folgt aus:

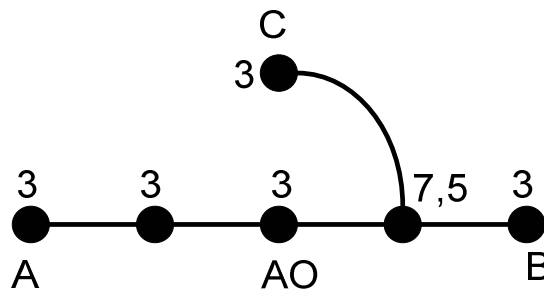


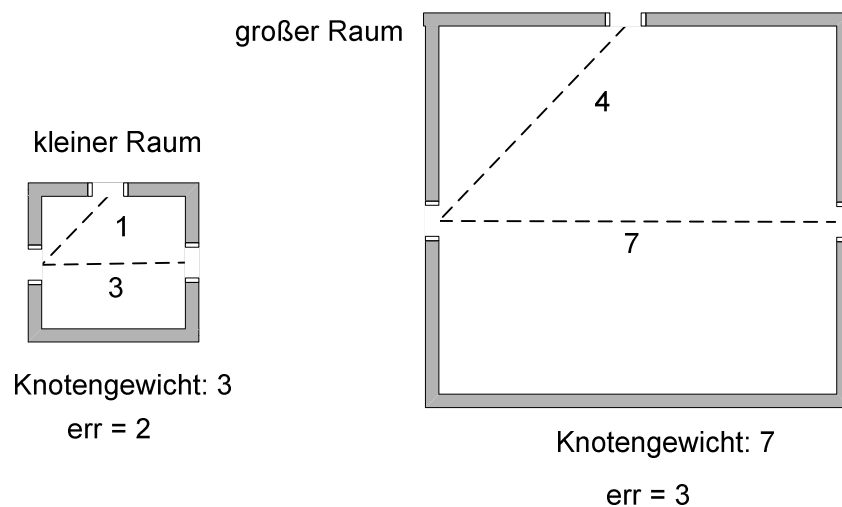
Abbildung 25 - Knotengewichteter Graph

Das Knotengewicht steht dabei für die maximale Entfernung von einer Tür zu einer anderen. Bei Räumen, die nur eine Tür haben, wird der doppelte Abstand der Tür zum Mittelpunkt als Knotengewicht gewählt. Um Entfernungen zu berechnen werden daher die Gewichte der durchlaufenen Knoten einfach aufaddiert. Da es im Mittel unwahrscheinlich ist, dass sich die gesuchten Objekte und unser Aufenthaltsort in der Nähe des Ein- bzw. Ausgangs eines Raumes befinden, sondern eher in der Mitte des Raumes, werden für den Start- und den Zielknoten deshalb nur die halben Knotengewichte addiert.

In diesem Modell gehen Abkürzungen durch Räume „verloren“. Das heißt, dass das Knotengewicht die maximale Entfernung zum nächsten Raum darstellt. Da ein Raum an mehrere Räume angrenzen kann (vier sind ohne weiteres denkbar) muss ein Gewicht ausgewählt werden um die Raumgröße darzustellen. Abkürzungen (vgl. vom Aufenthaltsort zu Objekt C) sind als Größenaussage für den Raum nicht repräsentativ und werden daher nicht verwendet. Dadurch erscheint dem Lokationsdienst das Objekt A näher als B und C. Die Unterschiede in der Entfernung (AO-B und AO-C) werden durch die einheitlichen Größenaussagen nicht mehr messbar.

Der Vorteil dieses Modells liegt bei der Modellierung von Räumen mit nur zwei Türen. Bei diesen Räumen wird als Knotengewicht die exakte Entfernung herangezogen. Dadurch kann eine Ungenauigkeit bei Nachbarschaftsanfragen in diesen Räumen vermieden werden. Bei Räumen mit mehr als zwei Türen tritt weiterhin ein Fehler auf. Jedoch ist dieser geringer als bei den ungewichteten Graphen. Da dort keine Größenangaben für die Räume vorliegen, muss zur Abschätzung des Fehlers der glo-

bale Wert für d_{\max} herangezogen werden. Im knotengewichteten Graphen kann diese Abschätzung verfeinert werden. Da für jeden Raum jetzt ein Gewicht vergeben wird, werden zur Ermittlung dieses Wertes nicht die globalen, sondern die lokalen Werte für die Entfernung von Türen verwendet. Als Knotengewicht bekommt jeder Raum dann die maximaler Türentfernung zugewiesen. Dies beschränkt den Fehler in eine Richtung. In der Berechnung kann jetzt die individuelle Ausdehnung für jeden einzelnen Raum miteinbezogen werden. Dadurch entsteht bei Nachbarschaftsanfragen im Vergleich zum ungewichteten Graphen ein genaueres Ergebnis. Besonders bei heterogenen Umgebungen zeigt sich der Vorteil dieser Modellierungsvariante.



Vergleich ungewichteter Graph: $d(\max) - d(\min) \rightarrow \text{err} = 6$

Abbildung 26 - Abweichung im knotengewichteten Graphen

Diese Vorteile wirken sich auch bei der Bestimmung der Error Variable aus. Der Wert ist abhängig von dem Verhältnis der Türenabstände im ungünstigsten Fall. Da für die Räume in diesem Modell ein Gewicht vorliegt, wird der Fehler durch die größte Abweichung von diesem vergebenen Gewicht bestimmt. Daher wird der Raum gesucht, der die größte Differenz bei maximalem und minimalem Türenabstand aufweist. Dies entspricht dem Fehler, der im ungünstigsten Fall pro Raum (n) gemacht werden kann:

$$err_{\text{knotengewichtet}} = \max \{ d_{\max(i)} - d_{\min(i)} \mid 1 \leq i \leq n \} \quad (5.18)$$

Natürlich kann die Verbesserung dieses Modells in der Genauigkeit nur durch einen höheren Aufwand erreicht werden. Der Graph an sich ist bis auf die Knotengewichte mit dem ungewichteten Graph identisch. Nur wird zusätzlich für jeden Knoten (Raum) noch genau ein Knotengewicht vergeben. Dadurch ergibt sich ein Gesamtaufwand:

$$\text{Aufwand}_{\text{knotengewichtet}} \leq n \text{ Knoten} + \frac{n(n-1)}{2} \text{ Kanten} + n \text{ Gewichte} \quad (5.19)$$

Beispiel:

Für die Differenz zweier Objekte, die notwendig ist um korrekte Nachbarschaftsanfragen ausführen zu können, ergibt sich anderes Bild wie vorher. Betrachtet man das Beispiel aus Abbildung 15, so wird man im Vergleich zum ungewichteten Graphen eine Verbesserung feststellen. Der Raum mit dem schlechtesten Verhältnis ist der große Raum in der Mitte. Die neuen Werte lauten daher:

$$\begin{aligned} d_{\min} &= 3,0 \text{ m (großer Raum)} \\ d_{\max} &= 7,5 \text{ m (großer Raum)} \\ \text{Dist}(x_1) &= 24 \text{ m} \end{aligned}$$

Fall a: Abschätzung zum Bezugspunkt

$$\text{diff} > \frac{x}{d_{\max}} * (\max\{d_{\max(i)} - d_{\min(i)} \mid 1 \leq i \leq n\}) \quad (5.20)$$

Nach Einsetzen der Werte ergibt sich:

$$\text{diff} > \frac{4,5}{7,5} x \rightarrow \text{diff} > 14,4 \text{ m} \quad (5.21)$$

In diesem Fall ist x_1 das weiter entfernte Objekt. Mit Hilfe der neu berechneten Differenz ergibt sich dann für das Objekt x_2 eine Maximalentfernung von $24 - 14,4 = 9,6 \text{ m}$ vom Bezugspunkt.

Fall b: Abschätzung weg vom Bezugspunkt

$$\text{diff} > \frac{x}{d_{\min}} * (\max\{d_{\max(i)} - d_{\min(i)} \mid 1 \leq i \leq n\}) \quad (5.22)$$

Die Differenz ergibt sich dann folgendermaßen:

$$\text{diff} > \frac{4,5}{2,5}x \rightarrow \text{diff} > 43,2 \text{ m} \quad (5.23)$$

Geht man davon aus, dass Objekt x_2 weiter entfernt ist, so berechnet sich die Mindestentfernung für dieses Objekt dann durch $24 + 43,2 = 67,2 \text{ m}$.

Die Einführung eines Knotengewichts ist mit einem gewissen Aufwand – der Vergabe eines Knotengewichts für jeden Raum – verbunden. Das schlechteste Verhältnis der Größenangaben in der modellierten Umgebung zu finden, setzt voraus, dass die minimalen und maximalen Türenabstände in jedem Raum bekannt sind. Sind diese Werte jedoch einfach zu ermitteln, so lässt sich allein mit einem Gewicht pro Raum schon eine deutliche Verbesserung erzielen. Allein im *Fall b* können knapp fünf Meter gut gemacht werden.

5.11 Der 1-fach kantengewichtete Graph (NA)

Unter einem 1-fach kantengewichteten Graphen verstehen wir folgendes: für jede Verbindung wird ein Gewicht festgelegt, welches die Entfernung zwischen den beiden beteiligten Gebieten (repräsentiert durch Knoten) ausdrückt. Ab diesem und den folgenden komplexeren Modellen ist es möglich mehrere Gewichte für ein Gebiet zu modellieren. Würden alle Kanten im Raum dasselbe Gewicht aufweisen, so wäre das Modell äquivalent zum knotengewichteten Graphen, also nur ein Gewicht pro Raum. Die unterschiedlichen Gewichte, die zustande kommen können, wenn sich Hindernisse (z.B. ein Schrank) im Weg befinden und den Benutzer zwingen einen Umweg zu laufen, grenzen diese Modellierungsvariante somit von der knotengewichteten Variante ab. Daher können jetzt in diesem Modell Entfernungen deutlich präziser dargestellt werden (siehe Abbildung 28).

Um den Verbindungen Gewichte zuzuordnen, bietet es sich an, jede Verbindung als zweiteilige Komponente zu sehen. Das Gewicht des ersten Teils repräsentiert die Entfernung vom Mittelpunkt zur Tür und entsprechend steht das Gewicht des zweiten Teils für die Entfernung von genau dieser Tür zum Mittelpunkt des zweiten Raums.

Dieses Verfahren zeigt seine Vorteile besonders in heterogenen Umgebungen. Dadurch dass sich das Gewicht der Verbindungen komponentenweise zusammensetzt,

kann von jeweils zwei Gebieten die exakte Entfernung in das Kantengewicht miteinfließen. Es bleibt zu beachten, dass es sich bei den Komponenten der Kantengewichte immer nur um die Teile handelt, die sich im selben Raum befinden. Im Vergleich zu knotengewichteten Graphen muss nicht mit der maximalen Entfernung oder einem Durchschnittswert gerechnet werden. Abbildung 27 verdeutlicht dies.

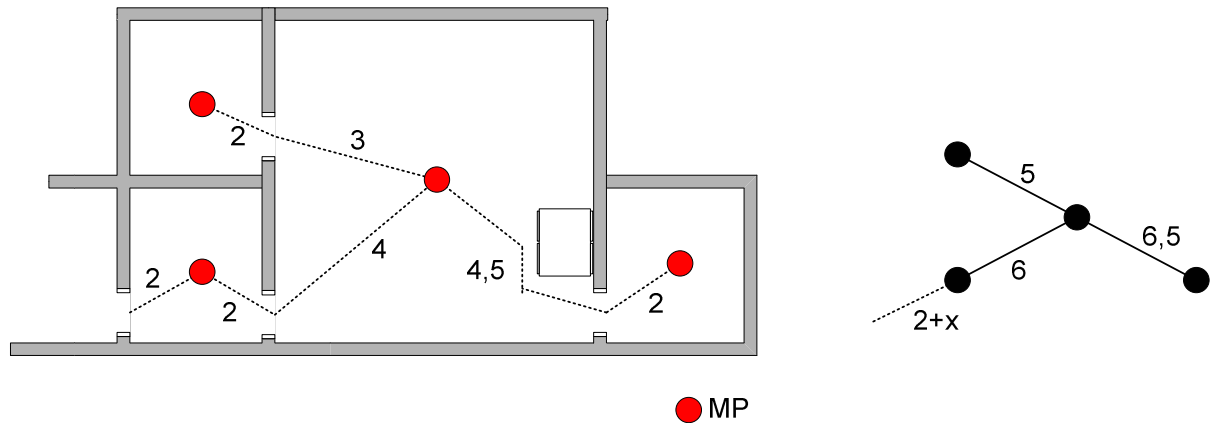


Abbildung 27 - Komponentenweise Berechnung der Entfernungen und resultierender Graph

Aufgrund der Tatsache, dass von einem Raum aus mehrere Gewichte möglich sind, ist diese Methode daher auch aufwendiger in der Modellierung als der knotengewichtete Graph. Nur im Falle, dass jeder Raum höchstens 2 Türen hat bleibt der Aufwand mit $(n-1)$ zu vergebenden Gewichten minimal. Sobald mehr Türen vorhanden sind übersteigt der Aufwand n Gewichte und ist somit aufwendiger als beim knotengewichteten Graph.

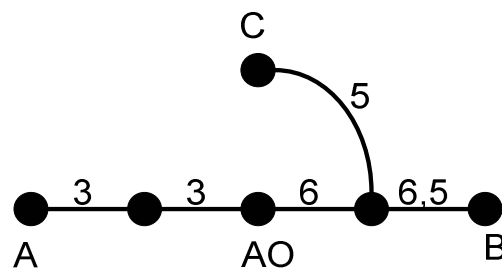


Abbildung 28 - Kantengewichteter Graph

Durch die Einführung weiterer Gewichte kann in einigen Fällen eine höhere Genauigkeit erreicht werden. Es zeigt sich allerdings nicht immer ein Mehrwert. In quadratischen Räumen erhalten unter Verwendung des Mittelpunkts für die Koordinate alle Kanten ähnlich Kantengewichte. Dadurch amortisiert sich der Vorteil verschiedene Gewichte für alle Kanten zu vergeben. In Umgebungen mit einer Vielzahl quadratischer Räume wird bei diesem Modell daher die Verwendung des Schwerpunkts als

Referenzpunkt zur Kantengewichtung favorisiert. Die Stärken des Modells werden daher eher in nicht-quadratischen (z.B. L – förmigen) Räumen deutlich.

Jede Kante hat also ihr eigenes Gewicht. Im Vergleich zum knotengewichteten Graphen wird hier kein durchschnittlicher Wert verrechnet. Ein Nachteil, der aber dennoch vorhanden ist, ist das jede Kante über den Mittelpunkt oder auch Schwerpunkt läuft. Daher können die berechneten Entfernungen von Wegen, die nicht durch die Raummitte führen (vgl. AO-C in Abbildung 28) deutlich abweichen.

Um die Error Variable zu bestimmen wird also die maximale Differenz der Summe zweier Verbindungen (d_i, d_j)– bzw. der Komponenten, die sich im selben Raum befinden – und der tatsächlichen Entfernung zwischen diesen beiden Türen über den Mittelpunkt (d_{ij}). Der maximale Wert, der dabei gefunden wird ist gleichzeitig der größte Fehler, der in einer Nachbarschaftsanfrage in einem Raum auftreten kann.

$$err_{1-fach-kantengewichtet} = \max\{(d_i + d_j) - d_{ij} \mid i, j \in Raum_l\} \quad (5.24)$$

Es ist wichtig diese Berechnung gleich nach der Messung der Entfernungen, vom Mittelpunkt zur Tür, die Fehlerberechnung zu starten. Nach dem der Graph erstellt wurde, sind die beiden Komponenten jeder Verbindung zu einem Gewicht zusammengefasst. Eine Verbindung läuft dann über zwei Räume und verhindert somit die Bestimmung der Error Variable innerhalb eines Raumes.

Die Genauigkeit bei Nachbarschaftsanfragen ist daher im Vergleich zu den bisher betrachteten Modellen am höchsten. Dafür steigt aber den Aufwand zur Modellierung ebenso – allein für den großen Raum (Bildmitte Abbildung 27) müssen drei Gewichte vergeben werden. Der Gesamtaufwand zur Modellierung dieser Variante beläuft sich daher auf:

$$Aufwand_{1-fach-kantengewichtet} \leq n \text{ Knoten} + \frac{n(n-1)}{2} \text{ Kanten} + \frac{n(n-1)}{2} \text{ Gewichte} \quad (5.25)$$

Beispiel:

Der Raum mit den ungünstigsten Verhältnissen entsprechend der Bedingungen für die Error Variable, ist der große Raum in der Bildmitte von Abbildung 27. Die berechnete Entfernung der Strecke AO-C weicht am weitesten von der tatsächlichen Entfernung ab:

d_i	= 4,0 m	(Tür bei Raum AO – Mittelpunkt großer Raum)
d_j	= 3,0 m	(Mittelpunkt großer Raum – Tür bei Raum C)
d_{ij}	= 3,0 m	(direkte Verbindung: Tür (AO) – Tür (C))
$\text{Dist}(x_1)$	= 24 m	

Fall a: Abschätzung zum Bezugspunkt

$$\text{diff} > \frac{x}{d_{\max}} * (\max\{(d_i + d_j) - d_{ij} \mid i, j \in \text{Raum}_i\}) \quad (5.26)$$

Durch Einsetzen von Werten ergibt sich:

$$\text{diff} > \frac{4}{7,5} x \rightarrow \text{diff} > 12,8 \text{ m} \quad (5.27)$$

Damit ergibt sich für das Objekt x_2 eine Maximalentfernung von $24 - 12,8 = 11,2 \text{ m}$ vom Bezugspunkt.

Fall b: Abschätzung weg vom Bezugspunkt

$$\text{diff} > \frac{x}{d_{\min}} * (\max\{(d_i + d_j) - d_{ij} \mid i, j \in \text{Raum}_i\}) \quad (5.28)$$

Dadurch berechnet sich die Differenz durch:

$$\text{diff} > \frac{4}{2,5} x \rightarrow \text{diff} > 38,4 \text{ m} \quad (5.29)$$

Für das Objekt x_2 berechnet sich die Mindestentfernung dann entsprechend durch $24 + 38,4 = 62,4 \text{ m}$.

Im 1-fach kantengewichteten Graphen kann durch die Modellierung weiterer Gewichte eine Verbesserung in der Genauigkeit erzielt werden. Der Aufwand dafür steigt jedoch bezüglich der zu vergebenden Gewichte stark an.

5.12 Mehrfache Gewichtung (NA)

Dies ist das wohl aufwendigste Modellierungsverfahren. Als Erweiterung zu dem 1-fach gewichteten Graphen werden zusätzlich zu den Verbindungen von Mittelpunkt zu den Türen auch noch die Verbindungen von Tür zu Tür modelliert. Dadurch können Wege durch zu traversierenden Gebieten exakt beschrieben werden. Dies wirkt sich folgendermaßen auf den Graphen aus:

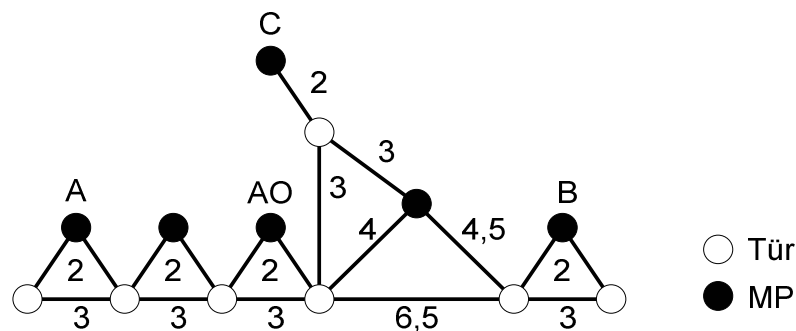


Abbildung 29 - Mehrfach gewichteter Graph

Durch das Einfügen weiterer Verbindungen steigt die Genauigkeit bei Nachbarschaftsanfragen. Begehbare Wege können nun sehr genau modelliert werden. Abkürzungen durch Räume können ebenso gut berücksichtigt werden wie Hindernisse, die im direkten Weg liegen. Wege, die nicht verwendet werden sollen (z.B. Wege durch sicherheitsbeschränkte Gebiete), können mit dem Gewicht „unendlich“ (∞) belegt werden.

Der Nutzen dieses Modells steigt in Gebäuden mit großen Räumen und vielen Türen, denn dann ist die Ungenauigkeit der anderen Modelle am größten. Das liegt größtenteils daran, dass der minimale und maximale Türenabstand hier sehr weit auseinander geht. Bei Abschätzungen, die den maximalen, minimalen oder auch den durchschnittlichen Wert verwenden kommt daher im Vergleich ein deutlich ungenaueres Ergebnis zustande.

Die Error Variable soll helfen, den Mindestabstand zweier Objekte zu finden um eindeutig das Nähere bestimmen zu können. Dadurch, dass in dieser Modellierungsvariante nun alle Verbindungen modelliert und gewichtet werden, kann für alle zwei Objekte, die sich in verschiedenen Räumen aufhalten, eine genaue Ordnung hergestellt werden. Abgesehen von den Messfehlern (Genauigkeit des Kantengewichts) fallen daher keine weiteren Ungenauigkeiten mehr an. Im Systemmodell (Kapitel 3.2) wurde festgelegt, dass ein Sensor ein Objekt nur auf den Raum genau positioniert. Das heißt, innerhalb des Raumes kann keine Entfernung zu einem Objekt berechnet werden. Dies bedeutet, dass die Error Variable dieses Modells gleich null ist.

In die Berechnung des Aufwandes fließt erstmals direkt die Anzahl der Türen (m) mit ein, da jetzt auch Kanten für die Verbindungen von Tür zu Tür modelliert werden. Der Aufwand erhöht sich dadurch um $2m$ für die Verbindungen von Tür zu Mittelpunkt. Der Wert muss doppelt gerechnet werden, da jede Tür an zwei Räume grenzt und für jeden Raum die Kanten zu dieser Tür hinzugefügt werden müssen. Für die Verbindungen von Tür zu Tür kommen noch einmal $\frac{n(n-1)}{2}$ Kanten hinzu.

Dies ist der Aufwand im ungünstigsten Fall. Es kann auch vorkommen, dass der Mittelpunkt auf halber Linie zwischen zwei Türen liegt, die sich auf selber Höhe befinden. In diesem Fall kann die Verbindung Tür – Tür durch die zwei Teilstrecken zum Mittelpunkt ersetzt werden.

$$\text{Aufwand}_{\text{mehrfach-gewichtet}} \leq n \text{ Knoten} + (2m + \frac{n(n-1)}{2}) \text{ Kanten} + (2m + \frac{n(n-1)}{2}) \text{ Gewichte} \quad (5.30)$$

Exkurs:

Für den Fall, dass dem Leser, das gewählte Systemmodell zu ungenau ist, sei hier eine Idee gegeben um die Genauigkeit innerhalb eines Raumes zu erhöhen. Angenommen die Sensoren positionieren die Objekte beliebig genau. Dann bedeutet dies für die Error Variable, dass der Mindestabstand im ungünstigsten Fall so groß sein muss, wie die längste Verbindung in der „modellierten Welt“.

$$\text{err}_{\text{mehrfach-gewichtet}} = \max\{d_i \mid i \in \text{Gewichte}\} \quad (5.31)$$

Beispiel:

In diesem Modell gibt es keine zwei Fälle, die unterschieden werden müssen. Der ungünstigste Fall ist von einem einzigen Raum abhängig und eine Messungenauigkeit wird nicht über mehrere Räume aufaddiert. Für die Berechnung des Mindestabstands zweier Objekte ist daher nur der folgende Wert aus Abbildung 15 von Interesse:

$$d_{\max} = 7,5 \text{ m} \quad (\text{großer Raum})$$

Dies bedeutet, dass sobald zwei Objekte mehr als $7,5 \text{ m}$ voneinander entfernt sind, eine eindeutige Aussage darüber getroffen werden kann, welches der beiden Objekt näher zum Aufenthaltspunkt ist.

In diesem Modell wird die maximale Genauigkeit im Bezug auf die Messung von Streckenlängen erreicht. Jeder Kante kann ein exaktes Gewicht entsprechend ihrer Länge zugewiesen werden, daher entsteht hier kein weiterer modellbedingter Messfehler. Für Vergleiche von Objekten, die sich nicht im Raum des Benutzers aufhalten, kann somit immer eine konkrete Aussage getroffen werden. Um Aussagen innerhalb eines Raums machen zu können, ist eine Änderung des Systemmodells – erhöhte Genauigkeit beim Positionieren innerhalb eines Raums – notwendig.

5.13 Variante: Gerichtete Graphen (NA)

Der gerichtete Graph ist eine Erweiterung des mehrfach gewichteten Graphen. Der Modellierungsaufwand für dieses Modell ist beträchtlich und daher ist das Modell nur in besonderen Fällen angemessen. Ein Faktor, der zu Ungenauigkeiten führen kann, ist die Vernachlässigung der Modellierung unterschiedlicher Transportmittel und unterschiedlicher Wege, vor allem über verschiedene Stockwerke. In „ebenerdigen“ Nachbarschaftsanfragen, kann davon ausgegangen werden, dass man den Weg zu Fuß (alternativ auch mit dem Rollstuhl) zurücklegt. Daher sind hier die Gewichte für den Hin- und Rückweg identisch. Beim Wechsel der Stockwerke stehen dem Benutzer meist verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: das Treppenhaus, Aufzüge oder eventuell auch Rampen. Für jeden dieser Möglichkeiten benötigt der Benutzer unterschiedlich lange. Der Aufwand dieser Modellierung ist jedoch immens und bringt dem Benutzer nur Vorteile, wenn häufig zu einem Objekt verschiedene Gewichte in beide Richtungen existieren (z.B. beim Etagenwechsel zu Fuß). Daher nehmen wir diese Variante nicht in unseren Vergleich auf, sondern erläutern lediglich einige Aspekte:

Um eine optimale Leistung zu erreichen, müssen viele Werte gespeichert werden und eine Vielzahl Messungen durchgeführt werden. Selbst im Fall, dass die Durchschnittswerte für den Aufzug und das Treppenhaus nahe beieinander liegen, lohnt es sich, anstatt dem Wert für den Aufzug auch noch den Wert für die Treppen bzw. die Rampe zu speichern. So kann für jede Benutzergruppe (gesunde und gehbehinderte Menschen) der optimale Weg bei der Nachbarschaftsanfrage berücksichtigt werden. In [15] wird erläutert wie sich die „Reisezeit“ beim Aufzug in mehrere einzelne Abschnitte gliedert: den Knopfdruck zum Ruf des Aufzugs, das Warten auf den Aufzug, das Öffnen und Schließen der Türen, die eigentliche Fahrt und letztlich das nochmalige Öffnen der Türen. Bei Fahrten über mehrere Stockwerke müssen eventuelle Zwischenstopps mit einberechnet werden. Dies verdeutlicht den Aufwand, der betrieben werden muss um ein sinnvolles Gewicht zu finden.

Des Weiteren kann es zu Ungenauigkeiten kommen wenn die Richtung des Weges nicht auch gesondert betrachtet wird. Die Zeiten, die der Aufzug für den Auf- und Abstieg benötigt, schwanken zwar nur minimal aber deutlich anders sieht es aus wenn der Benutzer die Treppen benutzt. Hier unterscheiden sich die Zeiten je nach Anzahl der durchlaufenen Stockwerke und vor allem der Richtung (Treppen hoch oder runter) doch sehr. Analog verhält es sich mit Rollstuhlfahrern oder Robotern, die ihren Weg über Rampen zurücklegen.

Um ein Lokationsmodell zu perfektionieren, müssen die oben genannten Aspekte berücksichtigt werden. Diese sind aber mit einem enormen Aufwand verbunden. Der Entwickler des Lokationsmodells muss für sich entscheiden, ob die Häufigkeit der verschiedenen Gewichtung durch Aufzüge, Treppen oder ähnliches einen derartigen Aufwand in seiner Umgebung rechtfertigt.

5.14 Ergebnis

In den Abbildungen auf der folgenden Seite werden die Ergebnisse dieses Kapitels noch einmal übersichtlich zusammengefasst. Um sich ein konkretes Bild über die Effizienz der behandelten Modellierungsvarianten machen zu können, werden die Modelle nicht nur im ungünstigsten Fall allgemein, sondern auch anhand des am Anfang gewählten Szenarios, verglichen. Im allgemeinen Teil werden die Error Variablen aufgelistet und der für die jeweilige Variante notwendige Aufwand betrachtet. Anhand des Beispiels werden dann die berechneten Entfernungen und die Abweichung zur Realität berechnet. Die durchschnittliche Abweichung kann je nach Szenario und den Einzelwerten stark schwanken. Im Anschluss werden die benötigten Entfernungen aufgelistet, die notwendig sind um von zwei Objekten mit Sicherheit, das nähere auswählen zu können. Der Aufwand gibt Aufschluss darüber wie viel Kanten und Gewichte modelliert werden müssen um die Effizienz der Modelle mit ihrem notwendigen Aufwand in Bezug bringen zu können.

Modell:	ungewichtet	knotengewichtet	1-fach kantengew.	mehrfach kantengew.
Error Variable =	$d(\max(\text{global})) - d(\min(\text{global}))$	$\max \{ d(\max(i)) - d(\min(i)) \mid 1 \leq i \leq n \}$	$\max \{ d(i) + d(j) - d(ij) \mid i, j \in \text{Raum}(k) \}$	$\max \{ d(i) \mid i \in \text{Gewichte} \}$
Aufwand:				
Knoten	n	n	n	n
Kanten_{wc}	$n(n-1)/2$	$n(n-1)/2$	$n(n-1)/2$	$(2m+n(n-1))/2$
Gewichte_{wc}	-	n	$n(n-1)/2$	$(2m+n(n-1))/2$

Abbildung 30 - Allgemeine Werte der Modellierungsvarianten

	Dist(A)	Dist(B)	Dist(C)	
Reale Entfernung	7,3	9,8	6,2	
Modell:	ungewichtet	knotengewichtet	1-fach kantengew.	mehrfach kantengew.
Distanz (A)	n.v.	4	9	7
Distanz (B)	n.v.	5,5	10,5	9,5
Distanz (C)	n.v.	5,5	10	6
Abweichung (A)	n.v.	-45,21%	23,29%	-4,11%
Abweichung (B)	n.v.	-43,88%	7,14%	-3,06%
Abweichung (C)	n.v.	-11,29%	61,29%	-3,23%
Mittelwert	n.v.	-33,46%	30,57%	-3,47%
Error Variable	5,00	4,50	4,00	0 / 7,5*
Differenz Fall a	16,00	14,40	12,80	n.v.*
Differenz Fall b	48,00	43,20	38,40	n.v.*
*siehe Text zu mehrfach gewichteten Graphen				

Abbildung 31 - Übersicht der Werte am gewählten Beispiel

6 Zusammenfassung

Dieses Kapitel fasst noch einmal die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt dem Leser einen Einblick in die vielen Erweiterungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Lokationsdienste.

6.1 Ergebnis

Diese Arbeit hat Aufschluss über die Überlegungen, die zur Implementierung eines Lokationsmodells in einem Lokationsdienst notwendig sind, gegeben. Dies schließt die Auswahl eines geeigneten Modells mit möglichst optimalen Aufwand / Nutzen Faktor ebenso mit ein wie einige modellunabhängige Faktoren.

Das in der Einleitung geschilderte Szenario, hat einen Einblick gegeben, welche Anwendungen die Sensortechnologie ermöglicht. Im Folgenden wurde daher noch näher auf die verschiedenen Ansätze und Funktionsweisen der gängigen Technologien eingegangen.

Nach einer Einführung des Zusammenspiels von Lokationsmodell, Anwendung und Lokationsdienst und der Bedeutung der Komponenten an sich, wurden die verschiedenen Anfragetypen, die vom Lokationsdienst unterstützt werden sollen, analysiert. Die anschließende Diskussion hat die Umsetzbarkeit dieser Anfragen durch die verschiedenen Modelle weiter erläutert. Des Weiteren wurden dabei weitere Schwachstellen der Modelle untersucht.

Ein prädestiniertes Lokationsmodell für den Einsatz im Lokationsmanagement, hat auch diese Arbeit nicht finden können. Zu groß sind die Unterschiede in Aufwand und Genauigkeit der einzelnen Modelle. Dem Leser wird jedoch anhand der gegebenen Formeln die Möglichkeit gegeben, die Effizienz der einzelnen Modelle in seiner Umgebung zu berechnen. Dadurch ist es ihm möglich für jede Einsatzumgebung, dank den Ergebnissen dieser Arbeit, leicht das passende Modell zu finden. Denn diese Arbeit konzentriert sich sehr darauf den Anwender bei der Genauigkeitsfindung in Nachbarschaftsanfragen zu unterstützen. Dabei wird der Mindestabstand zweier Objekte berechnet, der notwendig ist, damit der Lokationsdienst eindeutig entscheiden kann, welches der beiden Objekte das nähere ist. Da die Werte der Betrachtung im ungünstigsten Fall entsprechen, fallen diese mitunter sehr hoch aus. Dies ist aber doch sehr realistisch, da zum Beispiel im ungewichteten Graphen keinerlei Maßangaben vorhanden sind, die eine Entfernungsschätzung vereinfachen würden. Durch die berechneten Werte ist es dem Entwickler des Lokationsdienstes möglich für seine

Umgebung das Modell zu finden, welches seinen Anforderungen genügt, d.h. die Mindestentfernung ist klein genug um effizient zwischen den vorhandenen Objekten zu unterscheiden, und sich gleichzeitig mit dem geringsten Aufwand modellieren lässt. Denn dieser kann je nach Modellierungsvariante sehr unterschiedlich ausfallen. Der ungewichtete Graph besteht aus n Knoten und $(n-1)$ Kanten, der mehrfach gewichtete Graph dagegen benötigt $((2m + n(n-1))/2)$ Kanten und zusätzlich ebensoviel Gewichte. Dabei darf nicht nur der Aufwand der Modellierung betrachtet werden, sondern auch der Aufwand der Messung der jeweiligen Entfernungen. Daher können die Ergebnisse dieser Arbeit den Entwicklern viel Arbeit ersparen, wenn anstatt eines komplexen Modell ein „einfaches,, Modell realisiert wird, da schon dort die Genauigkeit ausreichend ist.

6.2 Ausblick

Die mehrfach gewichteten Graphen erlauben eine sehr gute Genauigkeit und Flexibilität bei Nachbarschaftsanfragen. Doch die Entwicklung geht ständig weiter und es wird versucht die Modelle weiter zu verfeinern um noch genauere Ergebnisse zu erzielen und weitere Einsatzzwecke zu erschließen. Dies ist beispielsweise durch die Modellierung zusätzlicher Eigenschaften der Umgebung realisierbar.

Zum einen ist denkbar, den Lokationsdienst mit einem Sicherheitssystem zu koppeln. In diesem wird jede Person einer Gruppe mit einer eindeutigen ID zugeordnet. Im Lokationsdienst werden außer dem Gewicht bei jeder Kante zusätzlich die IDs der Gruppen gespeichert, die diesen Weg benutzen dürfen. Dadurch ist der Lokationsdienst in der Lage, Wege um sicherheitsbeschränkte Räume herum zu suchen. Aufgrund dieser Basis können auch in solchen Umgebungen Nachbarschaftsanfragen nun korrekt beantwortet werden.

Ein weiterer möglicher Einsatzzweck baut auf dem sicherheitsbeschränkten Modell auf. Anstatt Wege aufgrund von unzureichenden Sicherheitsrechten in Anfragen außen vor zu lassen, so kann es sich dabei auch einfach nur um Wege handeln, die für manche Gruppen nicht begehbar sind. Gerade in Umgebungen, die sich über mehrere Etagen verstreuen, wäre es von Vorteil die Wegtypen zu kennzeichnen. Bei Anfragen, die von gehbehinderten Menschen oder Robotern gestellt würden, könnte das System dann nur die Wege berücksichtigen, die sich auf demselben Stockwerk befinden oder per Aufzug zu erreichen sind.

Die Modellierung verschiedener Transportmittel in einem Gebäude (Treppen, Aufzüge usw.) ist – wie schon in Kapitel 5.13 erläutert – ein Mittel zur Erhöhung der Genauigkeit bei Nachbarschaftsanfragen. Doch außer den Zeiten für die dort beschrie-

benen Komponenten (z.B. Ruf des Aufzugs, Einsteigen, Fahrt...) sind durchaus noch weitere Aspekte von Bedeutung. In Umgebungen in denen viele Menschen zusammenkommen, ist die Wahrscheinlichkeit von „Behinderungen“ groß. Dies liegt an den Stoßzeiten (morgens, mittags, abends) zu denen die Menschen im Gebäude unterwegs sind. Dies führt zu Verzögerungen, vor allem an viel besuchten Plätzen und viele Werte werden zu diesen Zeiten von den gemessenen oder berechneten Werte deutlich abweichen: Wartezeit auf die Aufzüge, durchschnittliche Anzahl Zwischenstopps, Wegverbindungen über „Hauptflure“ und viele andere. Um den Zeitfaktor bei Nachbarschaftsanfragen berücksichtigen zu können ist es notwendig mehrere Messungen der Kernfaktoren durchzuführen um zum Zeitpunkt der Anfrage an den Lokationsdienst möglichst exakte Werte zur Berechnung heranziehen zu können.

Die Speicherung der zusätzlichen Gewichte und weiterer Informationen erlaubt die genaue Modellierung der Umgebung unter Betrachtung weiterer persönlicher und geographischer Aspekte. Dies resultiert in einem höheren Speicheraufwand pro Kante und einer längeren Rechenzeit des Systems pro Anfrage. Die Rechenleistung zukünftiger Computergenerationen wird mit diesen zusätzlichen Aufgaben sicherlich keine Probleme haben, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass die hier beschriebenen Aspekte in naher Zukunft mit in den Lokationsdienst integriert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] A4 Vision (2004): 3D Facial. URL: http://www.a4vision.com/2_3dfacial.html
- [2] H. Balakrishnan und N. B. Priyantha (2003): The Cricket Indoor Location System: Experience and Status. Proceedings of the 2003 Workshop on Location-Aware Computing at UbiComp 2003, Seite 7-9, Seattle, Washington, USA.
- [3] G. Bieber (2001): Non-Deterministic Location Model on PDA's for Fairs, Exhibitions and Congresses. UbiComp 2001: Workshop on Location Modeling for Ubiquitous Computing, Seite 113-120, Atlanta, Georgia, USA.
- [4] A. Butz, J. Baus, A. Krüger und M. Lohse (2001): A Hybrid Indoor Navigation System. Proceedings of International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI), ACM Press.
- [5] c't (2004): Nächster Biometrie-Testlauf am Frankfurt Airport. URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/45569>
- [6] W. Dangelmaier (1998): Modelle der Produktionsplanung und -steuerung. Workshop Modelle und Informationsverarbeitung 1998, Paderborn, Deutschland.
- [7] T. Drosdol (2003): Unterstützung symbolischer Koordinaten im Lokationsmanagement. Diplomarbeit, Universität Stuttgart, Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS), Stuttgart, Deutschland.
- [8] Ekahau Inc. (2004): Ekahau Positioning Engine 2.1. URL: <http://www.ekahau.com/products/positioningengine/>
- [9] J. Geier (2002): Ekahau Positioning Engine 2.0. URL: <http://www.wi-fiplanet.com/reviews/SW/article.php/1560261>
- [10] R. J. Glassey und R. I. Ferguson (2003): SpaceSemantics: An Architecture for Modeling Environments. Proceedings of the 2003 Workshop on Location-Aware Computing at UbiComp 2003, Seite 19-21, Seattle, Washington, USA.
- [11] J. Hightower und G. Borriello (2001): Location Systems for Ubiquitous Computing. IEEE Computer, Vol. 34, Nr. 8, Seite 57-66.

- [12] C. Jiang und P. Steenkiste (2002). A Hybrid Location Model with a Computable Location Identifier for Ubiquitous Computing. Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2002), Seite 246-263, Göteborg, Schweden.
- [13] W. Kainz, M. Egenhofer und I. Greasley (1993). Modeling Spatial Relations and Operations with Partially Ordered Sets. International Journal of Geographic Information Systems, Vol. 7, Nr. 3, Seite 215-229.
- [14] A. Krüger, J. Baus und A. Butz (2000): Smart Graphics in Adaptive Way Descriptions for Pedestrians. Proceedings of Advanced Visual Interfaces (AVI), ACM Press, Palermo, Italien.
- [15] B. Latronico, C. Martin und P. Koopman (2001). Analyzing Dependability of Embedded Systems from the User Perspective. Workshop on Reliability in Embedded Systems in conjunction with SRDS.
- [16] A. Leonardi und U. Kubach (1999): An Architecture for a Distributed Universal Location Service. Proceedings of the European Wireless Conference 1999, München, Deutschland
- [17] U. Leonhardt (1998): Supporting Location-Awareness in Open Distributed Systems. PhD Thesis, Imperial College, Department of Computing, London, Großbritannien.
- [18] A. K. Narayanan (2001): Realms and States: A Framework for Context Aware Mobile Computing. Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Commerce 2001, Rom, Italien.
- [19] NEC (2003): NEC Develops 3D Face Recognition Algorithm that Realizes World's Most Accurate Personal Identification System. NEC Press Release 22. März, Japan.
- [20] N. B. Priyantha, A. Chakraborty und H. Balakrishnan (2000). The cricket location-support system. Proceedings of the sixth annual international conference on Mobile computing and networking, Seite 32–43, ACM Press.

- [21] S. Sakamoto, R. Ishiyama und J. Tajima (2002): 3D Model-Based Face Recognition System with Robustness against Illumination Changes. NEC Research and Development, Vol. 43, No. 1, January 2002, Japan.
- [22] Thales Navigation Inc. (2004): About Satellite Navigation. URL: <http://www.magellangps.com/en/about/aboutgps/>
- [23] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons (1992). The Active Badge location system. ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10, No. 1, Seite 91-102.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und bei der Erstellung nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Mirko Knoll