Sammanfattning

Att kunna resonera om spatial och geografisk information är centralt inom många datalogiska områden. Fokus för detta arbete utgörs av ett tidtabellsinformationssystem för lokal busstrafik som är tillgänligt via ett telefonbaserat naturligt-språkgränssnitt såväl som ett www-baserat multimodalt gränssnitt. I ett sådant system behövs spatial och geografisk kunskap för att hantera geografiska angivelser från användare. I uppsatsen behandlas frågan om hur spatial och geografisk kunskap kan representeras och användas i ett system för tidtabellsupplysningar.

Olika angreppssätt för att representera spatial och geografisk kunskap diskuteras och jämförs i uppsatsen. Baserat på de presenterade teorierna och en empirisk undersökning av hur människor uttrycker sig då de begär tidtabellsinformation, har en spatial representation och resonemangsmekanismer utformats. Denna består av ett geografiskt informationssystem i vilket information om geografiska objekt och deras egenskaper representeras, samt en spatial resonerare som kan extrahera information om spatiala relationer mellan objekten.

Denna typ av representation har flera fördelar. För det första är det enkelt att uppdatera information om de geografiska objektens position och utsträckning. För det andra kan den geografiska informationen enkelt kopplas till en karta. Dessutom kan tidtabellsinformationsystemet hantera vag och ofullständig information som ofta ges av användare.

Tidtabellsinformaitonssystemet kan med hjälp av den geografiska kunskapen bland annat matcha olika typer av platsangivelser till närliggande hållplatser. Detta är en mycket viktig uppgift i tidtabellsinformationssystemet eftersom människor ofta anger en avrese- eller ankomstplats i termer av geografiska objekt och vill veta mellan vilka hållplatser de kan åka. I arbetet visas att man genom att tillföra en relativt liten mängd spatial och geografisk kunskap till ett informationssystem får ett system som beter sig på ett intelligent sätt och i vilket det är enklare och mer intuitivt för en användare att specificera geografisk och spatial information.

Innehåll

Kapitel 1

Inledning

Att kunna representera och använda geografisk och spatial kunskap är nödvändigt inom många datalogiska forsknings- och tillämpningsområden. En robot som ska navigera i en komplex omgivning måste till exempel kunna resonera om de objekt som existerar i omgivningen vilket kräver en representation av objektens placering och relationer dem emellan. Ett exempel på en annan domän inom vilken geografisk kunskap är central är geografiska beslutstödssystem som används för bland annat samhällsplanering. Trafikinformation utgör också ett tillämpningsområde och det är representation och användning av geografisk kunskap i ett tidtabellsinformationssystem för busstrafik som utgör fokus i den här uppsatsen.

1.1 Bakgrund

ÖstgötaTrafiken är ett bolag som bedriver lokal- och länstrafik med buss och tåg i Östergötland. Idag erbjuder bolaget sina resenärer en tjänst där servicepersonal via telefon svarar på frågor om bland annat när och var bussar och tåg avgår eller anländer. Till sin hjälp har personalen traditionella tidtabeller och kartor i pappersformat. Denna typ av trafikupplysningar skulle också kunna finnas tillgängliga i ett datasystem och vid Institutionen för datavetenskap vid Linköpings universitet pågår ett projekt för att utveckla ett tidtabellsinformationssystem som ska kunna besvara samma typ av frågor som resenärer ställer till ÖstgötaTrafikens personal.

Informationssystemet ska förses med två olika typer av gränssnitt, ett naturligt språk-gränssnitt tillgängligt via telefon och ett webb-baserat multimodalt gränssnitt. Det naturliga språk-gränssnittet utnyttjar endast talad dialog mellan användare och system. I det multimodala gränssnittet kan kommunikation mellan systemet och användare ske i både språk och bild, med hjälp av till exempel formulär och kartor.

För att kunna besvara frågor om när en buss eller ett tåg anländer eller ankommer eller hur lång tid det tar att åka mellan två hållplatser behöver systemet både temporal och spatial kunskap, det vill säga den typ av kunskap som bland annat återfinns i pappersversioner av tidtabeller och kartor.

1.2 Syfte

Syftet med det här arbetet är att undersöka hur spatial och geografisk kunskap kan representeras och användas i ett tidtabellsinformationssystem. Arbetet ska resultera i en representation som kan användas för att hantera komplexa spatiala och geografiska uttryck från användare av tidtabellsinformationssystemet. Representationen av den spatiala och geografiska kunskapen ska utformas så att den stödjer interaktionen mellan användare och system via ett naturligt språk-gränssnitt såväl som ett multimodalt gränssnitt.

1.3 Översikt

En del av arbetet består i att identifiera och analysera de problem som kan förekomma och som ska kunna hanteras i tidtabellsinformationsystemet. Tyngdpunkten i arbetet ligger dock på utformning av den spatiala och geografiska representationen samt frågan om hur denna information kan användas för att hantera spatiala uttryck. Vid utformning av den spatiala representationen krävs kunskap om vad som karakteriserar spatial och geografisk information samt de olika angreppssätt som existerar för att modellera sådan information. Man måste också ta hänsyn till begränsningar och möjligheter hos övriga moduler och komponenter i systemet.

I kapitel 2 görs en analys av de problem som ska kunna hanteras med hjälp av den spatiala och geografiska kunskapen. Problemen identifieras med utgångspunkt i en korpus som består av dialoger mellan resenärer och personal som arbetar för ÖstgötaTrafiken.

Kapitel 3 innehåller en beskrivning av tidtabellsinformationssystemets ingående komponenter och moduler. De begränsningar och förutsättningar som de olika typerna av gränssnitt medför diskuteras.

I kapitel 4 beskrivs vad som karakteriserar spatial och geografisk kunskap, och i de två följande kapitlen, kapitel 5 och kapitel 6, jämförs olika sätt att representera denna kunskap.

I kapitel 7 diskuteras utformningen av den geografiska representationen i tidtabellsinformationssystemet med utgångspunkt i de problem som beskrivits i kapitel 2 och de teorier som presenterats i kapitel 4, kapitel 5 och kapitel 6.

I kapitel 8 beskrivs hur den spatiala representationen och de resonemang som systemet utför har implementerats.

Uppsatsen avslutas med kapitel 9 som innehåller slutsatser och reflektioner.

1.4 Tack till

Jag vill tacka alla personer som bidragit till arbetet med denna uppsats. Speciellt vill jag tacka Arne Jönsson som handlett mig i mitt arbete och gett mig många användbara kommentarer på uppsatsen samt min rumskamrat Åsa Järrenberg med vilken jag haft flera givande diskussioner och som gett mig moraliskt stöd i de stunder sådant behövts. Ett tack också till ÖstgötaTrafiken som gjort det möjligt att samla in den korpus som ligger till grund för arbetet och till Oscar Lindwall som transkriberade materialet.

Kapitel 2

Probleminventering

I det här kapitlet beskrivs de problem som tidtabellsinformationssystemet bör kunna hantera. Problemen identifieras med utgångspunkt i olika situationer som kan förekomma då användare efterfrågar tidtabellsinformation.

2.1 Tillvägagångssätt

För att undersöka vilka situationer som kan tänkas förekomma då resenärer använder tidtabellsinformationssystemet och vilka problem som är relaterade till dessa situationer utnyttjades en korpus. Korpusen bestod av ca 40 telefonsamtal som spelats in på ÖstgötaTrafiken och transkriberats till text. Telefonsamtalen var från resenärer och gällde i de flesta fall tidtabellsupplysningar, till exempel frågor om när nästa buss avgår eller hur man kan resa med buss mellan två orter. De frågor som resenärer ställde till personalen i korpusen kan betraktas som representativa för den typ av frågor användare kan tänkas ställa till tidtabellsinformationssystemet via det naturliga språk-gränssnittet och ett multimodalt gränssnitt. Eftersom människor kommunicerar på ett annorlunda sätt vid interaktionen med andra människor än vid interaktionen med ett datasystem (Jönsson & Dahlbäck, 1988) är det dock möjligt att en del av de situationer som förekommer i korpusen aldrig uppstår vid interaktion mellan användare och system. Det är också troligt att nya situationer som inte återfinns i korpusen kommer att uppstå vid användandet av tidtabellsinformationssystemet. De problem som identifierats med hjälp av korpusen kan dock användas som en grund för utformning av den spatiala och geografiska representationen och resonemang.

2.2 Problem

Det vanligaste problemet av spatial karaktär som förekommer i korpusen är att resenärer inte använder de officiella namnen på busshållplatser då de anger vart de vill åka från eller till. Istället använder de namn på orter, platser, vägar eller områden. Eftersom tidtabeller endast innehåller information om busshållplatser och busslinjer måste de olika typerna av platsangivelser matchas till närliggande hållplatser innan en sökning kan göras i tidtabellerna. I följande avsnitt presenteras problemen efter den typ av geografisk information som användaren anger för att specificera avrese- och ankomstplats.

2.2.1 Ortnamn

I korpusen förekommer det många samtal från resenärer som vill åka från en ort till en annan ort. Följande utdrag ur korpusen utgör exempel på typiska förfrågningar.

> Resenär: Jag bor i Skeda och ska transportera mig till Rimforsa och vara där klockan åtta och femton på morgonen. Vilka möjligheter finns det?
>
> Resenär: Jag undrar när nästa expressbuss från Borensberg till Linköping går.

Systemet måste för att hantera denna typ av geografiska angivelser kunna matcha ett ortnamn till en liten mängd med hållplatser. För en liten ort, som Skeda eller Rimforsa i exemplet ovan, är det möjligt att ta fram alla hållplatser som ligger i orten och göra en sökning på dessa. Eventuellt kan man först filtrera bort de hållplatser som passeras av samma busslinjer och på det sättet begränsa sökningen. För stora orter som Linköping blir detta angreppsätt problematiskt eftersom det stora antalet möjliga hållplatser blir svårhanterligt. För att begränsa antalet hållplatser kan man gå tillväga på flera sätt. Om resenären angivit vilken busslinje han eller hon vill åka med kan denna information användas för att begränsa de möjliga hållplatserna till att endast gälla de hållplatser som passeras av linjen. Ett annat alternativ är att be resenären att precisera sig, till exempel genom att ange mer exakt vart i orten han eller hon vill åka. Servicepersonalen på ÖstgötaTrafiken har löst problemet genom att utgå ifrån speciella nyckelhållplatser, som till exempel Resecentrum, Centralstationen och Bussterminalen, som trafikeras av de flesta länsbussarna och länstågen. Denna strategi skulle kunna användas förutsatt att systemet har kunskap om, eller kan resonera sig fram till, vilka hållplatser som är nyckelhållplatser.

2.2.2 Hållplatsnamn

Om en resenär vet namnet på en hållplats kan en sökning i tidtabellerna för det mesta göras direkt. Det finns dock problematiska fall som måste kunna hanteras. Det förekommer bland annat att hållplatser med samma namn, till exempel Bussterminalen, återfinns i flera städer. Om användaren angivit annan geografisk information, som till exempel namnet på en ort eller ett gatunamn, kan denna information användas för att finna den avsedda hållplatsen. I de fall då informationen inte är tillräcklig måste systemet vända sig till resenären och be om ett förtydligande i form av ny spatial information, till exempel den ort som avses.

Ibland kan en sökning i tidtabellsdatabasen som utgår ifrån den av användaren angivna hållplatsen resultera i en resrutt som är mycket sämre än den som utgår ifrån en annan närliggande hållplats. Systemet skulle därför kunna göra sökningar även på närliggande hållplatser och i de fall dessa resulterar i bättre resrutter presentera dem för resenären. Detta innebär att systemet bör undersöka om det för en hållplats finns intressanta alternativa hållplatser som ligger i närheten.

2.2.3 Platser

Många resenärer utnyttjar i korpusen en plats för att ange varifrån eller vart han eller hon vill åka. Vanliga platsangivelser är byggnader, till exempel sjukhus och skolor eller torg. Denna typ av platsangivelse måste matchas mot de hållplatser som ligger i närheten av platsen.

På samma sätt som hållplatsnamn så kan platsangivelser som till exempel Stora torget och Järnvägsstationen vara tvetydiga då de finns i flera orter. I exemplet nedan, som hämtats ur korpusen, är platsen *sjukhuset* tvetydig.

> Resenär: Jag skulle vilja veta hur jag tar mig från sjukhuset ner till IKEA i Linköping.
> Telefonist: Du är i Linköping nu va?

I exemplet kan telefonisten sluta sig till vilken plats som avses genom att konstatera vilken ort den ligger i. Ibland finns det dock flera platser med samma namn i en ort, till exempel vårdcentraler. I de fallen behövs även information om vilket område en plats ligger i eller namnet på en gata som ligger i närheten. Systemet måste alltså avgöra vilken typ av klargörande information som behövs utifrån den information som användaren gett tidigare i dialogen.

2.2.4 Adresser och gatunamn

Det förekommer även platsangivelser i form av gatuadresser, till exempel:

> Resenär: Jag ska till Ugglegatan 8.

Systemet måste i dessa fall matcha adressen mot de hållplatser som ligger längs med eller i närheten av gatan. Om en gata sträcker sig mycket långt, till exempel runt ett område eller genom en ort, behövs det mer information i form av till exempel en kompletterande referenspunkt för att kunna finna den bästa hållplatsen.

2.2.5 Förhållandet mellan hållplatsnamn, namn på platser och gatunamn

Eftersom hållplatsnamn ofta sammanfaller med namn på platser eller gatunamn kan det ibland vara svårt att veta om resenären avsett en specifik hållplats eller angivit en ungefärlig platsbeskrivning. Om den spatiala modulen alltid utgår ifrån en specifik hållplats kan den missa närbelägna hållplatser som egentligen skulle vara mycket bättre alternativ. En resenär som till exempel vill åka mellan Örngatan och Gamla Linköping kan åka direkt från Örngatan till Bobergsgatan, som ligger nära platsen Gamla Linköping, med busslinje 222 vilket tar ca 4 minuter. Att åka från Örngatan till hållplatsen Gamla Linköping innebär att resenären måste byta buss och att resan tar ca 40 min.

Att alltid utgå ifrån det minst specifika, det vill säga gatunamnet eller platsen, ger upphov till andra problem. Om en resenär anger namnet på en lång väg, till exempel Rydsvägen, som avreseplats och systemet tolkar detta som en väg, matchas denna mot en mängd hållplatser som är geografiskt spridda eftersom Rydsvägen är lång. Systemet ber därför användaren att precisera sig trots att denna kanske egentligen avsåg den specifika hållplatsen med namnet Rydsvägen från början.

Ett sätt att hantera dessa problem är att i tveksamma fall be användaren att tala om ifall han eller hon avser hållplatsen, platsen eller vägen innan den systemet letar efter hållplatser som matchar det angivna namnet.

Ett annat problem är att användare kan ange motstridig information, till exempel att hon eller han vill åka från biblioteket vid Rydsvägen trots att det inte finns någon plats med namnet "biblioteket" vid vägen med namnet "Rydsvägen". Systemet måste kunna upptäcka och hantera sådana felaktigheter.

2.2.6 Områden

Ganska vanligt är att resenärer vill åka från eller till centrum i en stad.

> Resenär: Jag undrar när det går någon spårvagn tre från centrala Norrköping ut mot Klockartorpet.

Detta är ett exempel på en platsangivelse med utgångspunkt i ett geografiskt område. De geografiska områdena motsvaras i princip av stadsdelar. Områden kan matchas mot alla hållplatser inom dess gränser och ibland kan alla dessa hållplatser användas vid sökningen om man filtrerar bort de hållplatser som passeras av samma busslinjer. I många områden fungerar detta angreppsätt eftersom de flesta busslinjerna passerar flera hållplatser vilket medför att mängden busshållplatser inte blir så stor. Ibland kan dock en specificering, i form av en gata eller plats, behövas från resenären för att begränsa antalet möjliga hållplatser och busslinjer.

> Resenär: Jag undrar när nästa buss från Malmslätt in till stan går.
> Telefonist: Då ska vi se här. Buss 213 går, var i Malmslätt vill du gå på?
> Resenär: Kärna kors

2.2.7 Geografisk position i en karta

Korpusen har använts för att kartlägga på vilka sätt användare kan tänkas ange ankomst- och avreseplatser för buss- och tågresor i naturligt språk. I det multimodala gränssnittet kan inmatning förutom naturligt språk ske via formulär och klickningar i en karta. Detta innebär att även geografiska positioner som angivits genom klickningar i kartan ska matchas mot närliggande hållplatser.

2.3 Implikationer för utformning av den spatiala modulen

Tidtabellsinformationssystemet måste hantera en mängd med problem som kräver kunskap om geografiska objekt och relationer mellan dem. kunskapen kan samlas i en separat modul i tidtabellsinformationsystemet. Denna modul kallas i fortsättningen för den spatiala modulen. Den spatiala modulens huvudsakliga uppgift skulle alltså vara att med hjälp av spatial och geografisk kunskap matcha platsangivelser som matats in via ett naturligt språk-gränssnitt eller ett multimodalt gränssnitt till närliggande hållplatser som kan användas vid sökning i tidtabeller. Problem relaterade till denna uppgift som ska hanteras av den spatiala modulen i tidtabellsinformationssystemet kan delas in i följande kategorier:

Resonemang om spatiala relationer mellan geografiska objekt För att kunna matcha olika typer av platsangivelser till de närliggande hållplatserna måste den spatiala modulen kunna resonera om hur de olika geografiska objekten, det vill säga gator, områden orter etc, förhåller sig till varandra.

Tvetydiga namn Namn kan vara flertydiga då det kan förekomma hållplatser, platser, vägar och områden med samma namn i olika områden och/eller orter. Den spatiala modulen behöver därför metoder för att avgöra vilket geografiskt objekt som användaren avser.

Klargöranden Ibland är den spatiala information som användaren angivit otillräcklig. Den spatiala modulen måste därför kunna resonera om när den ska begära klargörande information och vilken typ av information som behövs.

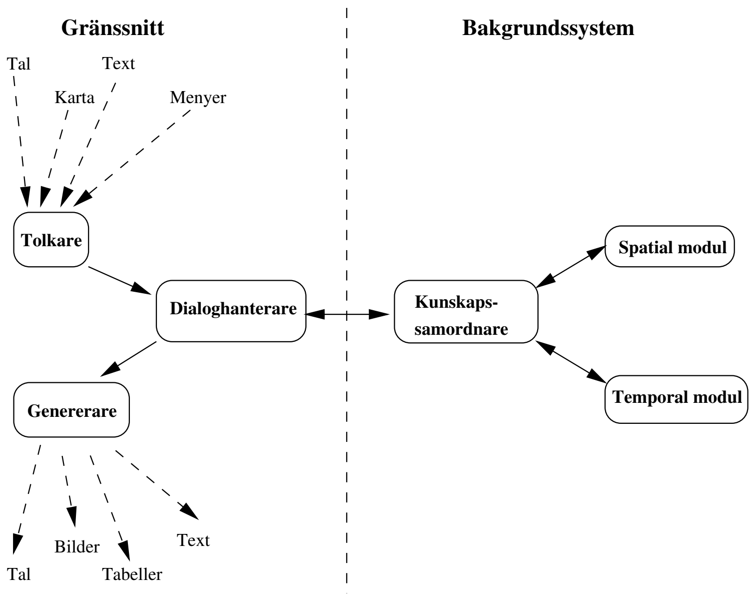
Preciseringar Ett problem besläktat med klargöranden uppstår när den spatiala modulen matchat en platsangivelse till en mängd med hållplatser och antalet alternativ blir alltför stort. I dessa fall måste den spatiala modulen be användaren att precisera sig. Den spatiala modulen måste kunna resonera om vilken typ av information som ska efterfrågas.

Felaktig indata Om användaren angivit motstridig information, till exempel att han eller hon vill åka från Resecentrum till Universitetet med busslinje 222 och denna busslinje inte passerar dessa hållplatser bör den spatiala modulen upptäcka detta och upplysa användaren om problemet. Det är viktigt att felmeddelanden till användaren är informativa och erbjuder användaren en möjlighet att rätta till felet (Nielsen, 1993).

Kapitel 3

Beskrivning av systemet

Vid utformning av den spatiala modulen måste man ta hänsyn till de begränsningar och möjligheter som de andra modulerna och komponenterna i systemet utgör. I detta kapitel beskrivs därför dessa kortfattat. Systemets arkitektur visas översiktligt i figur 3.1.



Figur 3.1: Tidtabellsinformationssystemts arkitektur.

Tidtabellsinformationsystemet ska förekomma i två versioner, en med enbart ett naturligt språk-gränssnitt och en med ett multimodalt gränssnitt.

3.1 Gränssnitt

Gränssnittet i tidtabellsinformationssystemet består av tre komponenter: en tolkare, en genererare och en dialoghanterare.

3.1.1 Tolkare

Tolkaren mottar information från användaren och tolkar denna. I det multimodala gränssnittet kan inmatning av information ske på flera sätt. Användaren kan till exempel ange varifrån han eller hon vill åka genom att fylla i text i ett formulär, använda menyer, genom att markera en plats med en klickning i en karta eller som en mening uttryckt i naturligt språk. En klickning i kartan ger upphov till en platsangivelse som består av två koordinater. Detta koordinatpar representerar en unik plats som ska matchas till närliggande hållplatser på samma sätt som en platsangivelse som består av ett namn.

Det naturliga språk-gränssnittet i tidtabellsinformationssystemet utgörs av en talad dialog mellan användare och system. Ett naturligt språk-gränssnitt kan beskrivas som ett program som tillåter användare att kommunicera med datorsystemet på sitt eget språk (Jönsson, 1993). Den inmatade informationen består i detta gränssnitt därför enbart av språkliga yttranden. Tolkning av yttranden kan ske på många sätt men i tidtabellsinformationssystemet används en parser som gör partiella tolkningar med hjälp av ett lexikon och en grammatik (Jönsson & Strömbäck, 1998). En partiell tolkning innebär att endast de delar som är väsentliga för förståelsen av ett yttrande analyseras. Parsern kan till exempel i meningen “Jag ska åka buss till min kompis som bor i Lambohov” finna och analysera deluttrycket “Lambohov” som uttrycker en ankomstplats.

Informationen om när och varifrån användare vill åka och annan typ av information som Tolkaren erhåller vid analysen av den inmatade indata används av dialoghanteraren.

3.1.2 Dialoghanterare

Dialoghanteraren utgör kärnan i multimodala och i naturligt språk-gränssnitt. Det är den som styr interaktionen mellan användare och system. Det är dialoghanterarens uppgift att hämta information från bakgrundssystemen, i det här fallet de spatiala och temporala modulerna, och vidarebefordra denna till användaren. I de fall dialoghanteraren saknar information eller om informationen är tvetydig kan dialoghanteraren initiera klargörande subdialoger med användaren. Om en användare till exempel säger att han eller hon vill åka från Fogdegatan där Fogdegatan är namnet på både en gata och en hållplats kan dialoghanteraren fråga om användaren avser gatan eller hållplatsen.

Dialoghanteraren i tidtabellsinformationssystemet modellerar den information som erhålls från Tolkaren i dialogobjekt. Ett dialogobjekt innehåller fokusparametrar som beskriver vilken typ av fråga användaren ställt och vilken spatial och temporal information som denne har angivit. Dialoghanteraren skapar nya dialogobjekt då dialogen fortskrider och kopierar information om fokusparametrarna till de nya objekten (Jönsson, 1997). Det är denna information som vidarebefordras till bakgrundssystemet då information om resor eller resrutter efterfrågas.

3.1.3 Genererare

Genererarens uppgift är att presentera den efterfrågade informationen för användaren. I det naturliga språk-gränssnittet är all interaktion talad och generens uppgift är i detta fall att generera fraser i naturligt språk. I det multimodala gränssnittet kan systemet presentera den efterfrågade informationen som en kombination av text, tabeller och grafik, till exempel en karta.

3.2 Bakgrundssystem

Bakgrundssystemet utgörs av de moduler som innehåller domänkunskapen, det vill säga den spatiala och temporala informationen samt metoder för att manipulera denna information.

3.2.1 Kunskapssamordnare

Kunskapssamordnaren integrerar temporal och spatial information. Om en användare anger att han eller hon vill åka från centrum till universitetet klockan fem skickar dialoghanteraren en förfrågan till kunskapssamordnaren. Denna hämtar information om lämpliga hållplatser från den spatiala modulen och vänder sig sedan till den temporala modulen för att få information om möjliga resrutter. Om den spatiala modulen inte kan leverera hållplatser är det kunskapssamordnarens uppgift att förmedla att ett klargörande eller en specificering behövs till dialoghanteraren.

3.2.2 Temporal modul

Temporal information har givetvis en central roll i ett tidtabellsinformationssystem som ska ge tidtabellsupplysningar. Tidtabellsinformation lagras i en databas i den temporala modulen. Olika sökalgoritmer används för att ta fram information om den kortaste resrutten mellan två hållplatser eller för att sammanställa en tidtabell för en specifik busslinje eller resrutt. Som tidigare nämnts innebär alla sökningar i databasen att man måste kunna namnge de hållplatser man är intresserad av.

3.2.3 Spatial modul

Den spatiala modulen mottar två platsangivelser från kunskapssamordnaren då en resrutt efterfrågas av användaren. Dessa platsangivelser ska matchas till mängder med hållplatser som kan användas av den temporala modulen. I ett system med multimodalt gränssnitt ska den spatiala modulen också kunna matcha platsangivelser i form av koordinater till motsvarande platsangivelse i form av en hållplats, plats, gata eller område.

3.3 Implikationer för utformning av den spatiala modulen

De två typerna av gränssnitt i tidtabellsinformationssystemet ställer olika krav på den spatiala modulen. Det multimodala gränssnittets utformning innebär till exempel att den spatiala modulen måste kunna resonera om platsangivelser i form av exakta koordinater och att den representerade informationen ska kunna visualiseras i en karta. Det naturliga språk-gränssnittet utgår istället från språkliga beskrivningar som utgörs av namn på olika typer av geografiska objekt.

Kapitel 4

Spatial och geografisk kunskap

I det här kapitlet behandlas frågan "Vad är spatial och geografisk kunskap?". Först beskrivs den spatiala och geografiska kunskapen som människor använder för att resonera om och utföra uppgifter i sin omgivning. Spatial och geografisk kunskap är knuten till hur rymd upplevs av människor. Därför diskuteras olika sätt att konceptualisera spatial och geografisk rymd och distinktionen mellan spatial och geografisk rymd tas upp. Ett vanligt sätt att betrakta spatial och geografisk rymd är som en mängd med objekt eller entiteter som är relaterade till varandra. Kapitlet avslutas därför med en beskrivning av geografiska entiteter och de spatiala relationer som kan förekomma mellan dem.

4.1 Mänsklig spatial och geografisk kunskap

De flesta modeller av spatial och geografisk kunskap utgår ifrån att människor använder åtminstone två olika typer av spatial kunskap, procedurell och översiktlig kunskap. En del forskare föreslår en finare uppdelning i tre eller fler kategorier. Mark (1993) delar upp spatial kunskap och kognition i tre olika klasser; deklarativ, procedurell och konfigurativ. Freundshuh (1991) gör en liknande uppdelning i geografiska fakta, ruttkunskap och konfigurativ kunskap. Med geografiska fakta eller deklarativ kunskap avses fakta om en plats som man tror är sanna. Kunskap om till exempel position, storlek och befolkning för olika geografiska objekt är typiska exempel på deklarativ geografisk information. Procedurell geografisk kunskap eller ruttkunskap är den typ av kunskap som stödjer utförandet av uppgifter som till exempel att finna en väg mellan två platser. Denna typ av kunskap är inte alltid medveten. Konfigurativ geografisk kunskap liknar ofta den som återfinns i kartor och utgör en tvådimensionell representation av rymden.

Sammanfattningsvis kan sägas att spatial och geografisk kunskap är kunskap om den spatiala och geografiska rymden, där kunskap avser all information som kan representeras antingen som deklarativ kunskap eller procedurell kunskap, det vill säga i form av regler, data i en databas eller som kontrollstrategier (Brownston, Farrell, Kant & Martin (1985) refererad i Freundshuh (1991)). För att få en större förståelse av vad som karakteriserar spatial och geografisk kunskap bör man studera spatial och geografisk rymd och deras egenskaper.

4.2 Spatial och geografisk rymd

Det har gjorts många försök att definiera vad rymd är. Gatrell (1991) (refererad i Worboys (1997)) har definierat rymd som en relation definierad för en mängd objekt. Detta är dock en mycket vid definition som inkluderar nästan alla typer av strukturerade samlingar. Ett försök att snäva in definitionen är att begränsa den till den fysiska rymd som vi kan uppleva med våra sinnen. Nunes (1991) konstaterar att den mest spridda och accepterade uppfattningen är att rymd är en behållare eller ett ramverk inom vilket ting existerar.

Freksa & Habel (1990) (refererade i Hernandéz (1994)) tar upp fyra olika typer av rymd, den abstrakt matematiska rymden, den fysiska rymden, den psykologiska rymden, samt den metaforiska rymden. Den fysiska rymden utgörs av den rymd i vilken människor existerar och verkar. Psykologisk rymd är en modell baserad på människans perception av den fysiska rymden. Den metaforiska rymden uppstår då spatiala koncept överförs till icke-spatiala domäner.

Couclelis & Gottsegen (1997) skiljer också mellan fyra rymder och deras associerade ontologier och de påpekar att ontologierna för dessa ofta blandas vilket kan leda till förvirring och oklarhet. De kallar de olika rymderna för matematisk, socioekonomisk, beteendemässig och upplevelsemässig. I tabell 4.1 ges exempel på de skiftande ontologierna.

Rymderna är ordnade efter ökande semantisk och psykologisk komplexitet och minskande formell definition. Varje term i sekvensen expanderar och modifierar semantiken för den föregående genom att lägga till deskriptiva, funktionella, symboliska och andra egenskaper.

Tabell 4.1: Exempel på ontologier för de fyra typer av rymder som beskrivs av Couclelis och Gottsegen.

Matematisk	**Socioekonomisk**	**Beteendemässig**	**Upplevelsemässig**
punkt	läge	landmärke	plats
linje	rutt	stig	väg
area	region	distrikt	territorium
plan	slätt	omgivning	domän
konfiguration	distribution	spatial layout	värld

Couclelis och Gottsegen gör en jämförelse av den matematiska och upplevda rymden. Punkter i den matematiska rymden och platser i den upplevelsemässiga rymden har båda en position. Platser skiljer sig dock från punkter på så sätt att de har en unik identitet. De har också en intern struktur vilket punkter saknar. Platser är dessutom kontextberoende koncept och inkluderar inte bara meningsfulla egenskaper utan också funktioner som relaterar dem till människors interaktion med dem.

Både linjer och vägar avgränsar ett område och de förbinder två platser med varandra. En väg har dock tjocklek vilket matematiska linjer saknar. Vägar implicerar dessutom ofta en riktning.

Entiteter med en utsträckning kallas för areor respektive territorier. Skillnaden mellan en punkt och en area är dock mycket tydligare än den mellan en plats och ett territorium. I det senare fallet är det i stor utsträckning kontexten som avgör vad som är en plats och vad som är ett territorium.

Ofta görs en skillnad mellan spatial rymd och geografisk rymd. Worboys (1997) definierar geografisk rymd som en rymd som refererar till en geografisk skala. Den matematiska rymden kan hänföras till den spatiala rymden medan den geografiska rymden refererar till upplevelsemässig eller fysisk rymd.

Worboys gör en distinktion mellan spatiala objekt och spatialt refererade objekt. De spatiala objekten punkt, linje, yta och volym används för att beskriva spatiala egenskaper hos de spatialt refererade objekten, till exempel kan en väg beskrivas som en linje och en ort som en yta. Jag följer denna uppdelning men kallar de spatialt refererade objekten för geografiska objekt i fortsättningen.

4.2.1 Absolut rymd och relativ rymd

Rymd kan konceptualiseras på två skilda sätt, som en mängd platser som har olika egenskaper (absolut rymd) eller som en mängd entiteter som har spatiala egenskaper (relativ rymd). Denna dikotomi mellan absolut och relativ rymd existerade redan på de gamla grekernas tid men den absoluta synen på rymd var länge dominerade, mycket på grund av Kants och Newtons inflytande. I och med att Einsteins relativitetsteori fick genomslagskraft så förändrades dock synen på rymd (Nunes, 1991). Studier av hur människor förstår, kategoriserar och beter sig i geografiska rymder tyder dock på att båda typerna av konceptualisering används (Couclelis, 1992).

Yuan & Albrecht (1995) har undersökt hur människor ser på geografisk information och hur de använder den. Intervjuer användes för att finna de primitiva objekt, sheman och skript som utgör komponenter av geografisk information. Fyra konceptuella modeller baserade på hur personer bedömde skogsbränder i olika situationer togs fram. Två av dessa var baserade på platser och de andra två var baserade på entiteter. I de platsbaserade modellerna konceptualiserades verkligheten som en serie bilder av en plats eller en mosaik medan de entitetsbaserade såg till entiteternas beteende eller deras påverkan.

Hur människor konceptualiserar rymd verkar alltså vara knutet till kontexten inom vilken kunskapen ska användas. Det platscentrerade synsättet dominerar då man undersöker kontinuerliga fenomen som till exempel miljöproblem och jordtyper medan det entitetsbaserade synsättet används då man är intresserad av hur olika objekt i omgivningen förhåller sig till varandra. Eftersom domänen i det här arbetet är trafikinformation och jag är intresserad av hur olika typer av geografiska objekt är relaterade till varandra utgår jag i fortsättningen från ett entitetsbaserat synsätt och beskriver vad som utmärker geografiska entiteter och deras relationer.

4.3 Geografiska entiteter

Nunes (1991) definierar en geografisk entitet på följande sätt.

> En del av jordens yta som definieras i termer av en eller flera spatiala och/eller icke-spatiala egenskaper, vilket medför att den utgör en rymd i sig självt, fysiskt och/eller funktionellt skild från omgivningen, och som därmed kan existera självständigt i tiden, och som kan varseblis av människor som en sådan entitet. (sid 27, min översättning)

Hon definierar sedan geografisk rymd som en ändlig mängd med sådana geografiska entiteter, deras egenskaper och relationer.

Laurini & Thompson (1992) gör en något annorlunda definition av en geografisk entitet. Enligt dem är ett geografiskt objekt ett fenomen som inte kan delas upp i beståndsdelar av samma typ som sig självt. En geografisk entitet innehåller enligt dem fem komponenter: en identifierare, en position, spatiala egenskaper, icke-spatiala egenskaper samt roll, beteende eller funktion. Identifieraren kan användas för att referera till entiteten men måste inte nödvändigtvis vara unik. Ofta används ett namn eller en numerisk kod för detta syfte. Informationen om positionen används för att ange var en entitet är belägen på jordens yta. Spatiala egenskaper är knutna till entitetens position och utsträckning. Exempel på sådana egenskaper är längd, yta, form och riktning. Entitetens andra karakteristika eller icke-spatiala egenskaper kan utgöras av information om färg, pris, antal invånare eller dylikt. Roll, beteende och funktion kan beskriva förändringar över tid eller vad som sker i eller på en entitet.

4.4 Spatiala relationer

De spatiala relationer som kan förekomma mellan de geografiska entiteterna kan delas upp i olika klasser. Worboys (1997) skiljer mellan topologiska, euklidiska och mängdbaserade relationer.

4.4.1 Topologiska relationer

Topologiska relationer beskriver hur två objekts gränser är relaterade till varandra (Hernandéz, 1994). Termen topologi refererar till de egenskaper som förblir oförändrade under transformationer som till exempel rotation, skalning och utsträckning. För att få en förståelse för topologiska relationer kan man föreställa sig en bild målad på en tunn gummiyta. Topologiska relationer och egenskaper är de som inte förändras då man töjer ut gummit. Ett objekt som befinner sig inuti ett annat objekt eller en yta som överlappar en annan yta fortsätter att göra det oavsett hur mycket man sträcker på gummit. Exempel på topologiska relationer för två regioner är korsas, möts, överlappar, är inuti, och täcker.

4.4.2 Euklidiska relationer

De euklidiska eller metriska relationerna omfattar bland annat form och storlek hos de geografiska entiteterna, relativ och absolut orientering samt avstånd och riktning mellan objekt. Ofta utgår man ifrån objekt som saknar utsträckning men om man har objekt med utsträckning måste man betänka att formen och storleken hos de geografiska objekt som ingår i en relation kan påverka hur relationen upplevs och hur den beräknas (Mark, Comas, Egenhofer, Freunshuh, Gould & Nunes, 1995).

4.4.3 Mängdbaserade relationer

Mängdbaserade relationer utgår ifrån förhållandet mellan element och mängder. Även om sådana relationer är abstrakta och inte kan användas för att modellera spatiala relationer i någon större utsträckning så är de viktiga då man resonerar om geografiska objekt. En väg som ligger i ett område som i sin tur ligger i en ort ligger också i orten. Denna typ av hierarkiska relationer kan med fördel modelleras med hjälp av mängdbaserade relationer. Exempel på mängdbaserade relationer är medlemskap, delmängd, union, snitt och kardinalitet som anger antalet element i en mängd.

4.5 Implikationer för utformning av den spatiala modulen

I den spatiala modulen i tidtabellsinformationssystemet behövs spatial och geografisk kunskap för att kunna matcha en platsangivelse till närliggande hållplatser. Eftersom platsangivelser i korpusen ges i termer av geografiska objekt, till exempel vägar och områden, bör den geografiska representationen vara entitetsbaserad. I nästa kapitel beskrivs därför olika sätt att representera geografiska objekt, deras egenskaper och relationer. De aspekter som jämförs är ontologi, det vill säga vilka spatiala entiteter som används för att spatialt referera ett geografiskt objekt, hur geografiska objekts position kan representeras, topologiska relationer samt de euklidiska relationerna avstånd och riktning.

Kapitel 5

Representation av spatial och geografisk kunskap

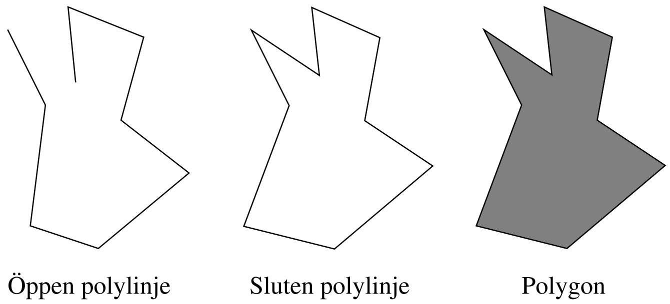
Hur geografisk information kan representeras både konceptuellt och som lagrade observationer är en central fråga inom alla fält där fenomen på, över eller under jordens yta studeras. Det finns många aspekter att ta hänsyn till då man ska representera objekt och deras relationer i en rymd. Ofta finns det flera sätt att modellera och representera en relation på. I det här kapitlet beskrivs och jämförs det traditionella kvantitativa angreppssättet med nyare kvalitativa angreppssätt och kartan som representationsmedium.

5.1 Kvantitativa representationer

Utmärkande för kvantitativa representationer är att värden kan uttryckas numeriskt med avseende på en fördefinierad enhet. Kvantitativa representationer är ofta abstrakta matematiska modeller av det representerade fenomenet. Den del av matematiken som behandlar spatiala relationer är geometrin. Den mest använda och intuitiva geometrin för oss i västvärlden är den euklidiska geometrin. Med hjälp av denna geometri kan spatiala relationer transformeras till relationer mellan tupler av tal som kan manipuleras och användas vid beräkningar. Euklidisk geometri utgår från ett koordinatsystem bestående av ortogonala axlar som möts i en utgångspunkt (Worboys, 1997).

5.1.1 Ontologi

Den grundläggande spatiala entiteten i euklidisk geometri är punkten. En punkt i en tvådimensionell rymd definieras av ett koordinatpar (x, y) som beskriver avståndet från ursprungspunkten på de båda axlarna. Andra spatiala entiteter med utsträckning, som till exempel linjer, kan definieras som en mängd med punkter. Ett linjesegment från en punkt a till en punkt b kan till exempel definieras som punktmängden $\{\Delta \text{ a} + (1 - \Delta)\text{b} \mid \Delta \in [0, 1]\}$. Genom att sätta samman flera linjesegment kan man skapa polylinjer. En polylinje kan vara öppen eller sluten. Öppna polylinjer kan kombineras för att skapa nätverk. En polygon motsvarar den yta som innesluts av en sluten polylinje. Skillnaden mellan öppna och slutna polylinjer samt relationen mellan en sluten polylinje och en polygon illustreras i figur 5.1 (Worboys, 1997).



Figur 5.1: Förhållandet mellan en öppen polylinje, en sluten polylinje och en polygon.

5.1.2 Position

Koordinatsystemet kan användas som referenssystem för att specificera en spatial entitets position och utsträckning. Referenssystemet kan vara globalt, det vill säga alla beskrivningar görs i samma referenssystem, eller lokalt, olika referenssystem i olika situationer (Freksa & Rörhig, 1993). I ett globalt referenssystem kan axlarna i koordinatsystemet utgöras av ekvatorn och 0-meridianen och en position kan uttryckas med hjälp av longitud och latitud. Ett lokalt referenssystem för till exempel en ort kan utgå från en central punkt i orten och ange positioner i meter från denna punkt.

5.1.3 Topologi

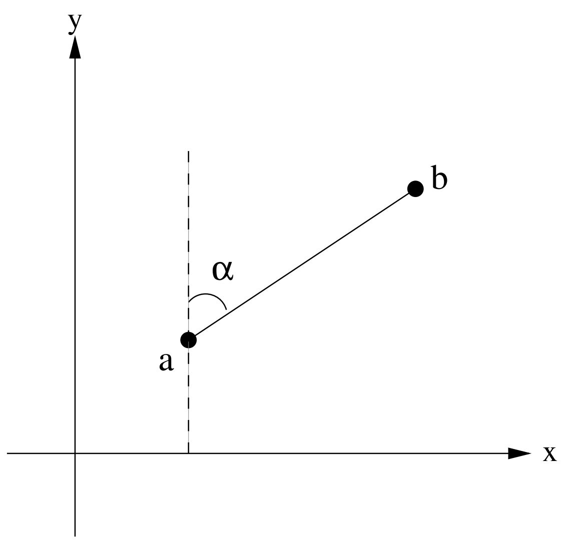
Topologiska egenskaper och relationer kan i den euklidiska geometrin definieras och beräknas på olika sätt. De två vanligaste typerna av topologi är punktmängdstopologi och algebraisk eller analytisk geometri.

Punktmängdstopologin utgår, som väntat, från mängder med punkter medan algebraisk topologi är baserad på tre mängdprimitiver: inre, gräns och sluten mängd. En mängds inre motsvaras av de punkter som ingår i mängden. Gränsen för en mängd består av de punkter som skiljer mängden från omgivningen. En sluten mängd kan definieras som unionen av dess inre mängd och gränsmängden (Herring, 1991). De topologiska relationerna kan uttryckas i termer av en regions gränsmängd och inre mängd. En region överlappar till exempel en annan region om de har gemensamma inre punkter och två regioner möts om deras gränser har en gemensam punkt.

5.1.4 Avstånd och riktning

Euklidiska relationer som avstånd och riktning kan beräknas baserat på de spatiala entiteternas position i koordinatsystemet. Avståndet mellan två punkter a = (x_1, y_1) och b = (x_2, y_2), eller längden på ett linjesegment mellan a och b, kan enkelt beräknas med formeln $\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$. Laurini & Thompson (1992) tar upp flera aspekter man bör betrakta då det gäller avstånd. Formeln ovan beskriver den raka linjen, fågelvägen, mellan två punkter men i en del tillämpningar kan det ge en felaktig uppfattning om ett avstånd. Om en bilförare till exempel vill veta hur långt det är mellan två orter måste man ta hänsyn till nätverket av vägar då man beräknar avståndet. Om ytan man beräknar ett avstånd över inte är plan kan man också behöva ta hänsyn till höjdskillnader.

Riktningen med avseende på två punkter a och b kan uttryckas som vinkeln α mellan den vertikala linjen genom a och linjesegmentet genom a och b, se figur 5.2.



Figur 5.2: Kvantitativ representation av riktning. Vinkeln α kan användas som ett mått på riktningen mellan punkt a och punkt b.

Hittills har avstånd och riktning mellan punkter diskuterats men ofta är man intresserad av avståndet eller riktningen mellan entiteter med utsträckning. Ett exempel på ett sådant problem är avstånd och riktning från en ort till motorvägen. Ska man i detta fall beräkna avståndet och riktningen från ortens centrum till den närmaste punkten på motorvägen eller ska man betrakta orten som en yta? Det senare alternativet ger upphov till mer komplexa beräkningar men det har utvecklats algoritmer för att hantera avstånd och riktning mellan objekt med geografisk utsträckning (Worboys, 1997).

5.2 Kvalitativa representationer

Kvalitativa representationer karakteriseras av att situationer kan beskrivas med hjälp av variabler som bara kan anta en liten mängd av fördefinierade symboliska värden (Egenhofer, 1995). Den viktigaste egenskapen är dock att den diskreta uppdelningen av verkligheten är relevant för det modellerade fenomenet. En distinktion införs alltså endast om den är nödvändig för att beskriva en speciell aspekt av domänen med avseende på uppgiften den ska användas för (Cohn, 1997).

5.2.1 Ontologi

Vid kvalitativa resonemang utgår man ofta från regioner som den primitiva spatiala enheten. En del forskare har dock följt det traditionella matematiska angreppssättet och valt punkter och linjer som primitiver (Cohn, 1997). Valet mellan punkter och objekt med utsträckning som spatiala primitiver beror enligt Freksa & Rörhig (1993) på hur abstrakt representationen ska vara. Spatiala objekt som till exempel regioner begränsar generaliteten hos spatiala inferenser eftersom det finns en stor variation av former och detta leder till en stor variation av spatiala relationer. Användandet av punkter å andra sidan, innebär att man går miste om flera spatiala aspekter som till exempel form och storlek.

5.2.2 Position

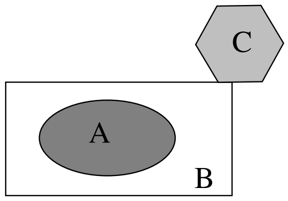
I kvantitativa representationer av rymd anges vanligtvis ett objekts absoluta position med hjälp av ett koordinatsystem men i kvalitativa representationer är ett objekts position relativ och beskrivs i termer av avstånd och orientering i förhållande till andra objekt. Clementi, Felice & Hernandéz (1997) uttrycker ett objekts position i förhållande till ett annat objekt, referensobjekt, med hjälp av ett par bestående av objektets avstånd till referensobjektet samt objektets orientering i förhållande till referensobjektet. Dessutom behövs en referensram för att kunna bestämma objektens orientering. Referensramen kan antingen ligga utanför, det vill säga utgöras av en oberoende yttre faktor, eller vara inneboende, det vill säga baserad på inbyggda egenskaper hos referensobjektet som till exempel fram- och baksida, eller deiktisk, till exempel i form av en intern observatör.

5.2.3 Topologi

Ett kvalitativt angreppsätt till resonemang om topologiska relationer baserat på regioner är RCC-systemet (Cohn, 1997). Detta utgår ifrån att två regioner är sammankopplade om de delar en punkt, vilket beskrivs med predikatet C(x, y) där x och y är regioner. Med hjälp av denna primitiv kan man definiera många predikat och funktioner som beskriver intressanta och användbara topologiska distinktioner.

Topologiska relationer kan också beskrivas med hjälp av 'n-intersections' (Cohn, 1997). Detta angreppsätt är besläktat med algebraisk topologi och utgår från att varje region associeras med tre mängder av punkter: dess inre, dess gräns och dess yttre.

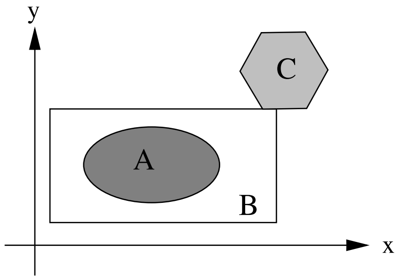
Relationen mellan två regioner kan då representeras med hjälp av en 3x3 matris som kallas '9-intersection' i vilken det markeras om snittet mellan två mängder är tom eller ej. Ett exempel på en '9-intersection' ges i figur 5.3.



	Inre(A)	Yttre(A)	Gräns(A)
Inre(C)	$\emptyset$	$\neg\emptyset$	$\emptyset$
Yttre(C)	$\neg\emptyset$	$\neg\emptyset$	$\neg\emptyset$
Gräns(C)	$\emptyset$	$\neg\emptyset$	$\emptyset$

Figur 5.3: Matrisen till höger visar hur den topologiska relationen mellan objekt A och objekt B i bilden till vänster kan representeras som en '9-intersection'.

Chang, Shi & Yan (1987) (refererade i Papadias & Kavouras (1994)) utvecklade en tvådimensionell strängrepresentation för att lagra symboliska bilder, bilder i vilka distinkta objekt betecknas med olika symboler. En tvådimensionell sträng består av ett par med endimensionella strängar (u, v) där u representerar den symboliska projektionen av objekten på x-axeln och v är den symboliska projektionen av objekten på y-axeln. 2D-strängar representerar därmed topologiska relationer och riktningsrelationer. I figur 5.4 presenteras en bild och den motsvarande 2D-strängsrepresentation av bilden.



u : B | AB | B | BC | C

v: B | AB | B | C

Figur 5.4: Strängarna till höger visar hur den topologiska relationen mellan objekt A och objekt B i bilden till vänster kan representeras som en 2D-sträng.

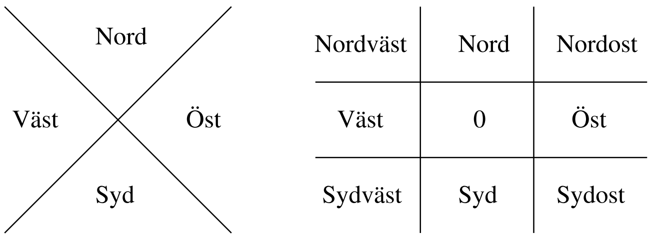
Flera forskare har vidareutvecklat idén med 2D-strängar som representation. Papadias & Sellis (1994) har skapat symboliska spatiala index och symboliska arrayer, en hierarkisk version av symboliska bilder, används som representationsmedium för 'computational imagery' (Glasgow & Papadias, 1992).

5.2.4 Avstånd och riktning

Avstånd mäts ofta på en linjär skala. Skalan kan vara absolut eller relativ. De flesta kvalitativa formalismer är av den absoluta typen, ett exempel på detta är deltakalkylen som inkluderar en relation x(>, d)y som innebär att x är större än y med skillnaden d, x(>, y)y betyder att x är dubbelt så stor som y.(Cohn, 1997)

de Laguna (1922) (refererad i Cohn (1997)) var den förste personen att föreslå en relativ representation. Han introducerade en primitiv relation CanConnect(x, y, z) som är sann om regionen x kan binda samman regionerna y och z utan skalning, rotation eller förändring av formen. Med hjälp av denna primitiv går det att definiera andra relationer.

Riktning kan representeras kvalitativt med hjälp av en kompass som delas in i ett antal fält. Ofta används de fyra väderstrecken som möjliga värden (Frank, 1992). En annan uppdelning kan göras med utgångspunkt i halvplan (Sharma, Flewelling & Egenhofer, 1994). De båda typerna av representation illustreras i figur 5.5.



Figur 5.5: Kvalitativ representation av riktning. Till vänster en konformad uppdelning av riktningar och till höger en uppdelning baserad på halvplan.

Riktning och avstånd är relaterade till varandra eftersom avståndet mellan objekt A och objekt C inte kan härledas från avståndet mellan A och ett objekt B samt avståndet mellan B och C om man inte också vet hur objekten A, B och C är orienterade. Det finns därför ett antal kalkyler som är baserade på primitiver som kombinerar avstånds och riktningsinformation. En enkel idé är att kombinera riktning med ett avståndsmått, nära eller långt bort.

En mer sofistikerad kvalitativ avståndskalkyl är Hernandéz ramverk för representation av avstånd som utökats för att inkludera riktning. Riktningsrelationer beskriver var ett objekt är placerat i förhållande till ett annat objekt. Relationen utgår ifrån tre objekt, primärobjektet, referensobjektet och en utgångspunkt. Referensobjektet och utgångspunkten utgör en referensram som kan användas för att dela upp rymden i olika regioner som kan benämnas som framför och bakom, höger eller vänster, eller på ett annat sätt som passar domänen. Att resonera med kvalitativa riktningar innebär att man måste kunna relatera riktningar på olika detaljerade nivåer till varandra, kunna transformera riktningar mellan olika referensramar, kunna beräkna sammansättningar av två riktningar samt bibehålla de restriktioner som finns i systemet.

Distansrelationer är också baserade på de tre elementen: primärobjekt, referensobjekt och utgångspunkt. Avstånd mellan två punkter är inte nödvändigtvis något som bestäms av den faktiska skillnaden mätt i meter. De kvalitativa avstånden kan definieras med hänsyn till hur lång tid det tar att förflytta sig mellan två objekt eller något annat avståndsmått. Avståndssymbolerna, till exempel nära och långt bort, kan översättas till endimensionella geometriska intervall med hjälp av ett distanssystem. Om man utgår ifrån att det finns skarpa gränser mellan intervallen kan dessa användas för att resonera om avstånd, till exempel kan [a, b] + [c, d] definieras som [min(a, c), max(b, d)].

Frank (1992) har också utvecklat ett kvalitativt representationssystem för avstånds- och riktningsrelationer. Han utgår ifrån den geometriska definitionen av kvantitativa avstånd som en funktion som mappar två punkter till ett positivt tal och definierar på samma sätt en kvalitativ funktion som kan matcha två punkter till ett kvalitativt avstånd. Han definierar dessutom en kvalitativ version av operatorerna + och <=. Kvalitativa värden kan rangordnas med <= och den kvalitativa versionen av operatorn + kan användas för att addera kvalitativa avstånd. De kvalitativa avstånden kombineras med kvalitativa riktningar baserade på en konformad uppdelning.

5.2.5 Kvalitativa resonemang

I traditionella kvantitativa representationer av rymd kan ny information härledas med hjälp av geometriska och numeriska beräkningar. Kvalitativa representationer ställer andra krav på och understödjer andra typer av resonemang. Sharma, Flewelling & Egenhofer (1994) presenterar en kvalitativ spatial resonerare och dess egenskaper. Den spatiala resoneraren är baserad på en representation av explicita spatiala relationer som till exempel kardinalriktningar, ungefärliga avstånd och topologiska relationer. Frågor av följande typ kan hanteras:

- Vilken är den spatiala relationen av typen topologi, riktning eller avstånd mellan de givna spatiala objekten?
- Vilka är de kända spatiala relationerna mellan de givna spatiala objekten?

- Vilka objekt har en specificerad spatial relation med det givna spatiala objektet?
- Vilka objekt är sammanlänkade av en speciell spatial relation?

Den spatiala resoneraren kan besvara frågor på tre olika sätt:

1. Genom att använda explicit lagrad kvalitativ information.
2. Genom att härleda informationen med hjälp av kvalitativa resonemangsmekanismer.
3. Genom att transformera frågan till en kvantitativ euklidisk koordinatrymd där den kan besvaras numeriskt och sedan översätta svaret till kvalitativa data.

Kvalitativa resonemang av den typ som avses i punkt 2 är ofta baserade på relationsalgebra och härledningstabeller. Relationsalgebror formaliserar vissa egenskaper hos relationer som är viktiga då ny information ska härledas. En av dessa egenskaper är sammansättning som innebär att relationen R1 mellan objekten A och C kan härledas givet kunskapen om relationerna R2 mellan objekt A och objekt B samt relationen R3 mellan B och C. Härledningar av detta slag kan göras med deduktiva resonemang och inferensmekanismer. Ett vanligt sätt att göra resonemangen mer effektiva är dock att lagra resultatet av en sammansättning av relationer för olika objekt i tabeller. I figur 5.6 visas en härledningstabell för sammansättning av riktningar hämtad från Frank (1992).

	N	**Ö**	**S**	**V**	**0**
N	N		o		N
Ö		Ö		o	Ö
S	o		S		S
V		o		V	V
0	N	Ö	S	V	0

Figur 5.6: Härledningstabell för kvalitativa riktningar. Ur tabellen kan utläsas resultatet av sammansättningar av kvalitativa riktningar. o är en approximering av 0, det vill säga ingen riktning i de fall två motsatta riktningar tar ut varandra.

5.3 Kartor

Enligt Monmonier (1996) har kartor tre utmärkande egenskaper: skala, projektion och symbolik. Kartor är mindre än den verklighet de representerar och skalan talar om hur mycket mindre de är. Eftersom jorden är rund men kartor är platta måste jordens rundade tredimensionella yta transformeras till det tvådimensionella planet. Transformationen kan utföras på olika sätt vilket ger upphov till olika kartprojektioner av jorden. Alla projektioner leder till att några av kartans aspekter förvrids, om man till exempel vill bibehålla formen förändras avstånd och storlek. I kartan används grafiska symboler för att visualisera platser, särdrag och annan geografisk information. Den grafiska koden kan bli mycket komplex i kartor men består i grund och botten av geometriska figurer.

Barowsky & Freksa (1997) försöker beskriva relationen mellan kartan som representation och den spatiala kunskapen som kodas i denna. Kartor integrerar geometriska aspekter med symboliska representationer vilka båda är nödvändiga. Utan den symboliska representationen kan inte användaren veta vad som avbildas i kartan och utan geometrin kan inte användaren avgöra vad de avbildade entiteterna har för position eller vilka spatiala relationer som gäller mellan dem.

Couclelis & Gottsegen (1997) har studerat hur människor tolkar den information som finns representerad i kartor. Många teorier om hur människor tolkar kartor är baserade på semiotik. I semiotik består ett tecken av två komponenter; den fysiska extensionen som vanligtvis kallas form och tecknets betydelse eller mentala koncept vilket kallas för innehåll. Dessa två komponenter motsvarar de entiteter som är placerade i kartan och den geografiska kunskap som de representerar.

Couclelis och Gottsegen konstaterar att en karta är både mer och mindre än en exakt återgivning av det representerade landskapet. Det representerade landskapet kan tolkas på många olika sätt av olika personer vid olika tillfällen. Det är därför viktigt att skilja på den semiotiska distinktionen mellan form och innehåll. En karta markerar existensen av flera geografiska kartentiteter och deras spatiala relationer. Samtidigt innehåller den praktiska, funktionella, kulturella och symboliska betydelser som för det mesta är implicita och varierar beroende på person, tidpunkt och situation. Detta innebär att varje karta är en unik representation av en given domän som kan användas för flera skilda syften.

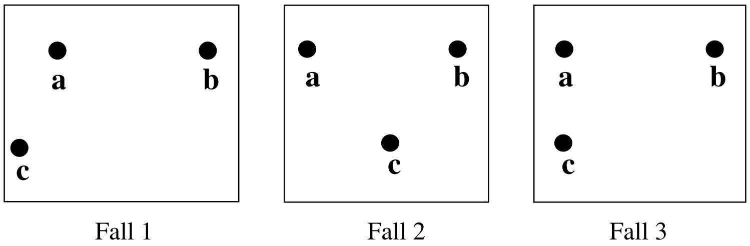
5.4 Jämförelse

Kvalitativa och kvantitativa angreppssätt har mycket olika egenskaper. Medan kvantitativa modeller använder absoluta värden hanterar kvalitativa modeller värden som kan betraktas som abstraktioner av kvantitativa detaljer.

Då in- och utdata ges i numerisk form, till exempel sensordata från en robot, är kvantitativa representationer mycket användbara. De tillåter effektiva och kraftfulla beräkningar (Sharma, Flewelling & Egenhofer, 1994). Även om euklidisk geometri är en lämplig modell för rigorösa analytiska angreppssätt så är de inte en lämplig modell för mänsklig analys. Verbala beskrivningar av rymd är sällan geometriskt precisa. Det behövs därför kvalitativa representationer av rymd som bättre överensstämmer med hur människor upplever och interagerar med rymd (Vieu, 1993).

Kvalitativa representationer har flera fördelar framför kvantitativa angreppssätt. De kan hantera vag, partiell och inexakt information. Kvalitativ kunskap är dessutom ofta billigare att lagra (Papadias & Sellis, 1994). Kvalitativ information är också kontextberoende och innehåller inte bara information om de inneboende egenskaperna utan även information om hur de förhåller sig till andra objekt (Clementi, Felice & Hernandéz, 1997).

En nackdel med kvalitativa representationer är den förlorade precisionen. Då man resonerar med kvalitativ information kommer man ofta inte fram till ett entydigt resultat utan snarare en mängd med möjliga värden. Om objekt b ligger öster om objekt a och objekt c ligger väster om b så kan c ligga väster om a, fall 1 i figur 5.7, eller till öster om a, fall 2 i figur 5.7, men inget av fallen måste gälla, se fall 3 i figur 5.7.



Figur 5.7: Osäkerhet vid kvalitativa resonemang. Trots vetskap om hur a förhåller sig till b och hur b förhåller sig till c är det svårt att härleda hur a förhåller sig till c.

En annan nackdel är relaterad till att kvalitativa spatiala representationer är baserade på en diskretisering av verkligheten. Eftersom kvalitativa begrepp ofta är vaga och imprecisa kan det vara problematiskt att finna precisa gränser för en uppdelning i till exempel nära, medelavstånd och långt bort.

Kartor kan betraktas både som kvalitativa och kvantitativa geografiska representationer. Spatiala egenskaper och relationer som till exempel position och avstånd kan utläsas som exakta mått i en karta. Å andra sidan tolkar personer den information som återfinns i en karta på olika sätt beroende på situationen i vilken den används vilket ger upphov till kontextberoende kvalitativ kunskap.

Det finns forskare (Pratt, 1993) som försökt att skapa en formell semantik för kartografiska representationer. Att utforma resonemangsmekanismer för att extrahera och resonera om information representerad i kartor är dock problematiskt eftersom kartor inte tolkas på ett entydigt sätt. En kartrepresentation kan dock kombineras med någon annan typ av geografisk representation då den har fördelen att på ett enkelt sätt visualisera spatial och geografisk kunskap.

Cohn (1997) menar att kvalitativ information och kvalitativa resonemang inte ska betraktas som en ersättning för kvantitativa angreppsätt, de är snarare komplementerande metoder som bör appliceras när så är möjligt. För många beslutsprocesser är kvalitativ information tillräcklig men ibland behövs kvantitativa precisa numeriska mått och detta kräver en integration av kvantitativ information i kvalitativa resonemang.

Bennett, Cohn & Isli (1997) tar upp möjligheten att kombinera kvalitativa och kvantitativa representationer och resonemang. De menar att kvalitativa angreppssätt kan tillföra kraftfull funktionalitet till spatiala informationssystem som traditionellt sätt innehållit endast kvantitativa data. Även om data lagras i en kvantitativ form så behövs det mekanismer för att extrahera och manipulera kvalitativa relationer.

I dagens datasystem är spatial information nästan alltid helt baserad på numeriska koordinater och parametrar. Ändå är en stor mängd av de test som utförs med denna information relaterade till kvalitativa relationer. För att kunna avgöra om en kvalitativ relation är sann för två entiteter behövs därför en algoritm som kan operera på den numeriska datastrukturen för att extrahera den information som behövs.

Ett steg i denna riktning är geografiska informationssystem där information lagras i kvantitativ form men där systemet innehåller fördefinierade funktioner för analys av den geografiska informationen. Nästa kapitel beskriver därför hur geografisk information kan lagras och manipuleras i ett geografiskt informationssystem.

Kapitel 6

Geografiska informationssystem

I det här kapitlet beskrivs vad ett geografiskt informationssystem, GIS, är, och hur ett sådant kan användas för att representera och manipulera geografisk information.

6.1 Definition av geografiska informationssystem

Många personer har gett en definition av vad ett geografiskt informationssystem (GIS) är. Tyngdpunkten läggs på olika aspekter av GIS men de flesta definitioner innehåller de väsentliga särdragen. ESRI (Environmental Systems Research Institute) definierar GIS som ett datorbaserat verktyg för att kartlägga och analysera objekt och händelser som äger rum på jorden. GIS-teknologi integrerar vanliga databasoperationer med de unika visualiseringar och geografiska analyser som kan göras med hjälp av kartor (ESRI, 1998). Worboys (1997) ger en annan definition:

> Ett geografiskt informationssystem (GIS) är ett datorbaserat informationssystem som möjliggör insamling, modellering, manipulation, hämtning, analys och presentation av geografiskt refererade data. (sid 1, min översättning)

Ytterligare en definition av Star & Estets (1990) (citerade i Foote & Lynch (1997)) lyder:

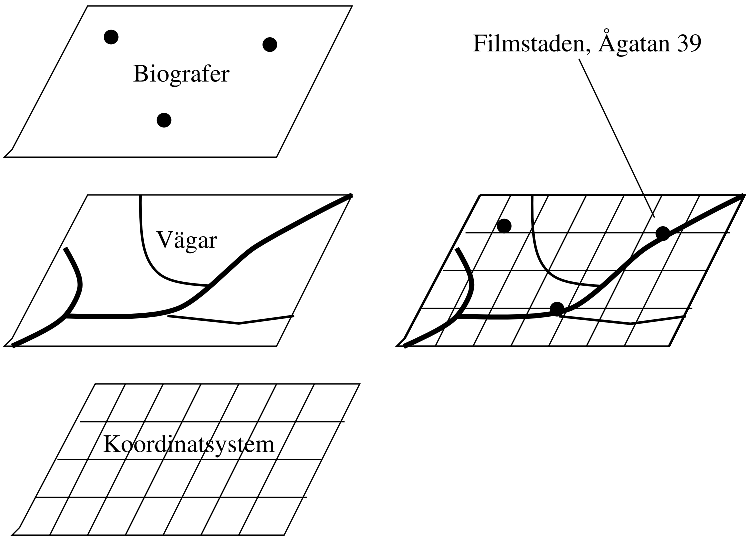
> Ett GIS är ett informationssystem som designats för att arbeta med data som refereras av spatiala eller geografiska koordinater. Med andra ord, ett GIS är både ett databassystem med specifika förmågor för spatialt refererad information och en mängd med operationer för att arbeta med data... Ett GIS kan på sätt och vis betraktas som en högre ordningens karta. (sid 4, min översättning)

6.2 Arkitektur

Ett GIS består i princip av tre komponenter; en databas, en analytisk motor och ett användargränssnitt. Designen av databasen styr hur GISet lagrar och modellerar verkligheten. Den analytiska motorn är ansvarig för manipulation och transformation av data. Det är denna del som tillhandahåller systemets analytiska funktioner och är därför mycket viktig för de allra flesta applikationerna. Gränssnittets utformning avgör vilka typer av uppgifter som kan göras samt hur enkla de är att utföra (van Deursen, 1995).

6.2.1 Representation av geografisk information

Utgångspunkten för lagring av geografiska data i ett GIS är ofta en digital karta där varje punkt kan identifieras i form av ett koordinatpar. På denna bakgrundskarta kan man sedan lägga olika skikt eller lager med tematiska kartor. En tematisk karta kan innehålla information om geografiska objekt, indelningar och områden eller annan datorbaserad information som till exempel befolkningstäthet och trafiksäkerhet. De tematiska kartorna relateras till den underliggande kartan med hjälp av geografiska referenser som kan vara i form av koordinater, adresser eller postnummer. I figur 6.1 visas hur olika tematiska lager kan se ut och kombineras.



Figur 6.1: Tematiska lager i ett GIS. De olika lagren med information som visas till vänster kan kombineras för att skapa den geografiska representationen till höger.

Informationen om fenomenen i en tematisk karta lagras i en eller flera databaser. Den vanligaste typen av databas är relationsdatabasen som används i de flesta GIS. En relationsdatabas kan visualiseras som en samling tabeller. Varje tabell motsvarar ett lager, eller en tematisk karta i ett GIS. Särdragens egenskaper motsvaras i tabellen av attribut och varje entitet utgörs av en tupel med värden för de olika attributen, det vill säga en rad i tabellen. I figur 6.2 visas hur en tematisk karta som innehåller information om biografer kan representeras i en databas.

Namn	**Position**	**Stad**	**Telefonnummer**
Filmstaden	Punkt	Linköping	013-130030
Royale	Punkt	Linköping	013-125500
Filmstaden	Punkt	Norrköping	011-127400

Figur 6.2: Information lagrad i en relationsdatabas. I tabellen lagras informationen som återfinns i det tematiska lagret för biografer.

Idag förekommer det två metoder för att representera och lagra data i GIS, raster- och vektorstrukturer. I en vektorstruktur lagras information om de geografiska objektens position som punkter, linjer och polygoner. Detta gör att vektormodellen är bra på att beskriva distinkta fenomen men mindre användbar för att beskriva kontinuerliga fenomen som till exempel nederbörd. För sådana särdrag är en rastermodell bättre lämpad. En rasterstruktur består av en samling celler ungefär som en scannad karta eller bild (Herring, 1991). Skillnaden mellan raster- och vektorrepresentationer är besläktad med distinktionen mellan absolut och relativ rymd. Valet av representationsstruktur får konsekvenser för vilka beräkningar som är enkla att utföra. Vilken typ av representation man bör använda beror därför på de fenomen som ska modelleras.

6.2.2 Manipulation av geografisk information

Analyser utförs i en GIS med hjälp av kommandon eller funktioner med utgångspunkt i de tematiska kartorna eller i databasen. De flesta system stöder en mängd med analytiska funktioner, till exempel aritmetik, trigonometri, statistiska funktioner och utvärderingsfunktioner (van Deursen, 1995).

Genom att kombinera den information som finns representerad i de olika tematiska kartorna kan man undersöka hur olika geografiska fenomen är relaterade till varandra och söka efter spatiala mönster. Processen då information från ett eller flera lager transformeras eller kombineras kallas ibland för kartalgebra eller lageralgebra eftersom den innebär att information adderas eller subtraheras (Foote & Lynch, 1997).

Delis, Hadzikacos & Tryfona (1994) har definierat fyra operationer som tillsammans utgör en algebra för manipulation av lager eller tematiska kartor. Dessa operationer är attributhärledning, spatial beräkning, reklassificering och överlagring. Attributhärledning innebär att nya attribut läggs till ett lager utan att de underliggande geometriska figurerna förändras. Man kan till exempel till ett lager med information om biografer lägga ett attribut som beskriver antal besökare per månad. Spatial beräkning använder geometriska operationer för att förändra de geometriska figurerna i ett lager. Reklassificering slår samman närliggande figurer om deras icke-spatiala attribut har identiska värden, till exempel kan man skapa lantbruksregioner genom att slå samman områden med lika jordmån, nederbörd och temperatur. Överlagring innebär att två lager kombineras för att skapa ett nytt lager där de geometriska figurerna får nya och fler egenskaper.

Manipulation av informationen kan också ske direkt i databasen. SQL (Structured Query Language) kan användas i relationsdatabaser för att lägga till, modifiera eller hämta information. En SELECT-sats kan till exempel användas för att hämta information om en entitets attribut. I figur 6.3 nedan hämtas information om de biografer som ligger i Linköping.

```
SELECT namn
FROM biografer
WHERE stad = "Linköping"
```

Figur 6.3: En SELECT-sats i SQL. SELECT-satsen tar fram namnet på de biografer som ligger i Linköping.

I en del GIS används ett utökat frågespråk baserat på SQL som tillåter att man använder spatiala operationer som till exempel WITHIN-DISTANCE-OF och INTERSECTS (Raper & Bundock, 1991).

6.3 GIS-applikationer inom transportdomänen

Ett tillämpningsområde för geografiska informationssystem är transportmodellering, GIS-T. Inom detta område kan GIS användas för bland annat automatisk reseplanering och utformning av transportnät. Papacostas (1998) har studerat hur ett GIS kan användas för att automatiskt samla in data om och övervaka lokal busstrafik. I samband med detta identifierar och diskuterar han de spatiala datastrukturer som är relevanta att modellera i ett bussnätverk. Peng, Groff & Dueker (1995) har också studerat hur GIS kan användas i transportapplikationer. De behandlar delvis samma frågor som Papacostas, det vill säga hur ett GIS kan hantera representation av relationer mellan spatiala entiteter. De problem som berörs är utformning av nätverk, representation av rutter och relationen mellan rutter och busshållplatser.

6.3.1 Nätverksstrukturer

Papacostas beskriver två sätt att representera nätverk och platser i dessa, som länkar och noder eller med hjälp av rutt och milstolpesnotation. Den första metoden beskriver ett nätverk bestående av en mängd platser eller noder som är förbundna med varandra med hjälp av länkar. Den andra metoden innebär att nätverket representeras av rutter och att platser anges genom att referera till en rutt och avståndet från start- eller slutpunkt på rutten.

6.3.2 Bussrutter

Rutter kan enligt Papacostas representeras som listor med sekventiella länkar. Vanligtvis får en stamlinje och dess subrutter samma ruttnummer. De kan skiljas från varandra med hjälp av ruttbeskrivningar, till exempel destinationen i båda riktningarna. Detta medför dock att rutter som i stor utsträckning överlappar varandra kan ha olika ruttnummer även om deras förhållande liknar det mellan stamlinjer och subrutter. Papacostas föreslår därför att rutterna inte ska definieras i separata GIS-lager utan ska refereras till det underliggande gatunätverket istället. På det sätt kan man lättare kombinera information om de olika rutterna.

Peng, Groff & Dueker utgår istället från hållplatser och ruttsegment. En hållplats är en egen geografisk plats där bussar stannar för att släppa av eller på passagerare. Ett segment är en länk mellan två eller flera hållplatser. En mängd med segment kan kombineras för att skapa en rutt.

6.3.3 Relation mellan busshållplatser och bussrutter

Både Papacostas och Peng, Groff & Dueker betonar relationen mellan busshållplatser och bussrutter. Bussar behöver inte nödvändigtvis stanna vid alla hållplatser som de passerar och många hållplatser passeras av flera bussrutter. Det behövs därför ett effektivt sätt att specificera och associera hållplatser med bussrutter. En metod som använts flitigt är att ange en hållplats som en nod i vägnätverket. Denna har enligt Papacostas flera nackdelar. För det första måste vägnätverket modifieras och dessutom skulle förändringar av hållplatsernas position kräva att representationen av hela vägnätverket behöver göras om. För det andra blir en sådan representation ineffektiv eftersom beskrivningar av rutter kräver en längre lista av länkar. För det tredje måste rutter som inte stannar vid alla hållplatser i alla fall definieras i termer av dessa eftersom de är en explicit del av vägnätverket. En mycket bättre metod är att lagra hållplatserna i ett separat punktlager. Hållplatsernas position kan anges med hjälp av koordinater eller en adress. Denna metod har flera fördelar, bland annat är det lätt att tillföra mer information om hållplatserna och att uppdatera en hållplats position. Delmängder av hållplatserna kan sedan associeras med rutter i en icke-spatial databas. Detta kan göras med hjälp av en rutt och hållplats associationsarray som identifierar den sekvens av hållplatser som tillhör varje rutt.

Peng, Groff & Dueker förespråkar en kombination av absolut och relativ position för att representera hållplatser. En hållplats relativa position på en rutt kan användas för att ange relationen mellan bussrutter och hållplatser. Den absoluta positionen uttryckt med hjälp av koordinater eller en adress är användbar då man vill undersöka relationen mellan hållplatser på olika busslinjer eller relationen mellan hållplatser och andra geografiska objekt som till exempel vägar.

6.4 Implikationer för utformning av den spatiala modulen

I början av detta kapitel gavs flera definitioner av vad GIS är, det genomgående draget är dock att ett GIS är ett system i vilket geografisk information kan modelleras och representeras samt bearbetas och analyseras. Den geografiska informationen kan modelleras på olika sätt, till exempel med hjälp av raster- eller vektorstrukturer, men gemensamt för de allra flesta GIS är att de integrerar en kvantitativ representation med en karta. Detta gör GIS till en lämplig kandidat för representation av geografisk information i ett multimodalt system där kartor används vid interaktionen mellan system och användare.

De inbyggda funktionerna i ett GIS underlättar manipulation av och resonemang baserade på den representerade informationen. Databasoperationer kan användas för att välja ut alla objekt av en specifik typ som har ett bestämt värde för ett attribut. Med hjälp av kartalgebraiska operationer kan man finna alla objekt i ett tematiskt lager som ligger inom ett givet avstånd till ett eller flera objekt i ett annat tematiskt lager. Eftersom funktionerna opererar på den representerade informationen som är av kvantitativ karaktär kräver de dock exakta mått och levererar också exakta resultat. Detta gör GIS mindre lämpad i ett system med ett naturligt språk-gränssnitt där användare uttrycker sig i kvalitativa termer snarare än kvantitativa. Möjligheten att kombinera ett GIS med en kvalitativ resonerare tas därför upp i nästa kapitel. I nästa kapitel diskuteras också hur geografiska objekt och relationer mellan dem ska representeras baserat bland annat på de slutsatser av Papacostas och Peng, Groff & Dueker som presenterats i detta kapitel.

Kapitel 7

Utformning av den spatiala modulen

I detta kapitel diskuteras hur den geografiska representationen i tidtabellsinformationssystemet bör utformas. I kapitel 4 beskrevs två olika sätt att se på geografisk rymd, baserat på antingen entiteter eller platser. Det konstaterades att hur människor konceptualiserar den geografiska rymden beror på kontexten i vilken kunskapen ska användas (Nunes, 1991; Yuan & Albrecht, 1995). I den aktuella domänen, det vill säga busstrafik, är ett entitetsbaserat synsätt bäst lämpat eftersom det rör sig om distinkta objekt som är relaterade till varandra. Valet av geografiska entiteter, egenskaper och relationer som ska representeras görs med utgångspunkt i de problem som identifierats i korpusen. Med stöd i de teorier som presenterats i kapitel 5 och kapitel 6 avgörs sedan hur den geografiska kunskapen ska representeras.

7.1 Geografiska entiteter och egenskaper

I korpusen kan man urskilja fem kategorier av geografiska objekt som resenärer använder som platsangivelser. Dessa är hållplatser, gator och vägar, platser, områden, och orter. Dessutom utgör busslinjer en typ av geografiskt objekt. Platsangivelser som enbart består av en geografisk position, resultatet av en klickning i en karta, kan matchas mot ett geografiskt objekt men utgör i sig självt inte ett sådant. En geografisk position är abstrakt och kan jämföras med en punkt i den matematiska eller spatiala rymden.

De geografiska entiteterna kan karakteriseras i termer av de fem komponenterna identifierare, position, spatiala egenskaper, icke-spatiala egenskaper, och roll, beteende eller funktion. En sammanställning av dessa ges i tabell 7.1

7.1.1 Identifierare

Människor identifierar geografiska objekt med hjälp av deras namn. Eftersom ett objekt kan ha flera namn och ett namn inte behöver vara unikt för ett objekt, det vill säga det kan finnas flera objekt med samma namn, bör dock inte namn användas som identifierare. Som identifierare för de geografiska entiteterna används istället en unik numerisk kod som bland annat kan användas vid sökning i tidtabellsdatabasen.

7.1.2 Position

Ett geografiskt objekts position kan representeras på flera sätt vilka har beskrivits i kapitel 5. En position kan beskrivas i absoluta termer, till exempel som en koordinat i ett koordinatsystem eller som en adress i ett gatunätverk, eller relativt andra objekt i närheten. Både Papacostas och Peng, Groff & Dueker ger exempel på hur busshållplatsers position kan representeras relativt andra objekt som till exempel vägnätverket eller bussrutter eller som absolut positioner oberoende av dessa, (jfr. kapitel 6). Papacostas förespråkade en absolut representation med hjälp av koordinater eller adresser medan Peng et al. framhöll att en kombination av både absolut och relativ position är det bästa alternativet.

I tidtabellsinformationssystemet ställs krav på att en geografisk position som uppstår vid en klickning i kartan ska kunna matchas till närliggande hållplatser eller andra typer av geografiska entiteter. Eftersom denna geografiska position är absolut och uttrycks i termer av koordinater bör de geografiska objektens position uttryckas på samma sätt för att underlätta matchningen. En absolut representation av positioner har också fördelen att de olika objektens position är oberoende av varandra vilket medför att ett objekts position kan uppdateras utan att det påverkar de andra objekten. I de fall en relativ position är av intresse, till exempel om man vill veta hur en hållplats förhåller sig till en rutt, kan denna information härledas från den absoluta positionen för objekten. I den spatiala modulen representeras därför de geografiska objektens absoluta position med hjälp av koordinater.

7.1.3 Spatiala egenskaper

En central spatial egenskap för de geografiska objekten är deras form och utsträckning. Eftersom ett objekts position representeras med hjälp av koordinater som motsvarar en punkt i den geografiska rymden modelleras objektens form och utsträckning baserat på punkter, polylinjer och polygoner. Objekten i den geografiska rymden beskrivs alltså i termer av mer abstrakta spatiala entiteter som tillhör den matematiska rymden som beskrivits i kapitel 4 (4.2).

Hållplatser kan representeras av punkter eftersom dessa saknar form och utsträckning i egentlig mening. Eftersom de allra flesta platser i domänen täcker en relativt liten yta har jag valt att representera även dessa som punkter. Detta innebär en ganska hög abstraktionsnivå på representationen som medför att beräkningar och resonemang blir enklare men också att representationen överensstämmer sämre med den verklighet som modelleras. Områden beskrivs av polygoner medan vägar och rutter är spatialt refererade av polylinjer.

För vägar, områden och orter är storleken av intresse, vägar har därför den spatiala egenskapen längd medan områden och orter har en area. Dessa egenskaper kan användas för att avgöra när ett klargörande är nödvändigt. Om en väg är mycket lång kommer de hållplatser som ligger i närheten av vägen att vara geografiskt spridda och ett klargörande från användaren behövs för att begränsa alternativen innan en sökning i tidtabellsdatabasen kan utföras.

7.1.4 Icke-spatiala egenskaper

Som nämnts tidigare är de geografiska objektens namn centrala, det är dessa människor använder för att identifiera ett objekt. De geografiska objekten i domänen har därför den icke-spatiala egenskapen namn. För hållplatser, platser, vägar, områden och orter används deras officiella namn medan bussrutternas namn utgörs av bussnumret för de bussar som trafikerar rutten.

För busshållplatser behövs dessutom information om ifall en hållplats är en nyckelhållplats. Nyckelhållplatser är de hållplatser som passeras av de flesta länstrafiksbusslinjerna. I de fall en användare enbart anger en ort som avrese- eller destinationsplats kan den spatiala modulen utgå ifrån de hållplatser som är nyckelhållplatser.

7.1.5 Roll, beteende och funktion

Relationen mellan hållplatser och busslinjer kan representeras på flera sätt vilket diskuterades i det föregående kapitlet (6.3). Papacostas förslag var att representera hållplatserna och bussrutterna oberoende av varandra och representera kopplingen mellan hållplatser och rutter som en sekvens av hållplatser som passeras av en rutt. Jag har valt att modellera relationen mellan hållplatser och bussrutter som två beteenden, hållplatser *passeras av* en mängd med bussturer och bussrutter *passerar* en mängd med hållplatser. Egentligen kan information om vilka objekt som uppfyller den ena relationen härledas ur information om vilka objekt som uppfyller den andra relationen men detta kräver omfattande resonemang. Genom att representera båda relationerna explicit är det enkelt att på ett effektivt sätt hämta informationen. En nackdel med denna dubbla lagring av informationen är dock att en förändring av den ena relationen för det mesta medför en förändring i den andra relationen och att uppdateringar därmed blir mer komplicerade.

De geografiska objekten och deras egenskaper åskådliggörs i tabell 7.1.

Tabell 7.1: Geografiska objekt och deras egenskaper i den spatiala modulen.

Entitet	**Identifierare**	**Position**	**Spatiala egenskaper**	**Icke-spatiala egenskaper**	**Beteende**
Hållplats	Hållplats kod	Punkt	-	Namn, Nyckelhållplats	Passerande busslinjer
Plats	Idnummer	Punkt	-	Namn	-
Väg	Idnummer	Polylinjer	-	Namn	-
Område	Idnummer	Polygon	-	Namn	-
Ort	Idnummer	Polygon	-	Namn	-
Busslinje	Idnummer	Polylinjer	-	Linjenummer	Hållplatser som passeras

7.2 Geografiska och spatiala relationer

För att kunna matcha en platsangivelse till en mängd hållplatser behövs kunskap om hur de olika geografiska objekten är relaterade till varandra. Av de metriska eller euklidiska relationerna är avstånd eller *närhet* den centrala relationen. De relevanta topologiska relationerna mellan objekt kan uttryckas med hjälp av ett koncept - *i*.

7.2.1 I

I kapitel 4 (4.4.1) gavs exempel på flera topologiska relationer. Många av dessa beskriver relationen mellan ytor och är inte av intresse i tidtabellsinformationssystemet där ytor utgörs av antingen områden eller orter. Ingen av dessa typer av geografiska objekt kan till exempel överlappa eller täcka ett annat objekt av dessa typer. Den enda relationen av intresse är *inneslutsav* som kan beskriva hur ett område förhåller sig till en ort. Det vanligaste exemplet på topologisk relation för linjer är *korsar*, en linje kan korsa en annan linje eller en yta. För punkter förekommer endast en topologisk relation, *ligger i*.

Dessa topologiska relationer kan sammanföras till en enda relation *i* som gäller för alla typer av geografiska objekt i domänen. Hållplatser och platser ligger i ett område eller en ort och områden kan ligga i en ort. Dessa typer av entiteter kan därför bara förekomma i endast ett område och/eller en ort. Vägar kan däremot ligga i flera områden och i vissa fall flera orter samtidigt på grund av sin utsträckning. En väg ligger definitionsmässigt i ett område eller en ort om den passerar genom området eller orten.

Relationen *i* kan användas på tre olika sätt:

- För att ta fram alla hållplatser, platser, vägar eller områden som ligger i ett specificerat område eller ort. Ett exempel på detta är att söka alla hållplatser som ligger i Linköpings centrum.
- För att ta fram alla områden eller orter som en hållplats, plats, väg eller område kan ligga i. Om en användare till exempel sagt att han vill åka till centrum kan relationen i användas för att undersöka vilka orter som användaren kan tänkas avse.
- För att kontrollera om en specifik hållplats, plats, väg eller område ligger i ett specificerat område eller ort. Om den spatiala modulen misstänker att användaren angivit felaktig information kan den kontrollera att den angivna hållplatsen, platsen eller vägen verkligen ligger i det angivna området eller orten.

7.2.2 Nära

Euklidiska relationer, till exempel avstånd och riktning, beskriver hur geografiska objekt är relaterade till varandra med utgångspunkt i deras position. I tidtabellsinformatinssystemet är riktningen inte relevant men avståndet mellan två objekt står i fokus i många situationer. För att kunna matcha en platsangivelse till lämpliga busshållplatser måste den spatiala modulen kunna avgöra om ett objekt är *nära* ett annat objekt eller ej.

Det förekommer två olika användningssituationer av närhetsrelationen:

- Ta fram alla geografiska objekt av en given typ som ligger nära en specificerad hållplats, plats eller väg, exempelvis då den spatiala modulen ska matcha en väg till de närliggande hållplatserna.
- Kontrollera om en specifik hållplats, plats eller väg ligger nära en annan specifik hållplats, plats eller väg. Om användaren angivit en plats och en väg och det finns flera platser med samma namn kan *nära*-relationen användas för att avgöra vilken av platserna som ligger nära den angivna vägen.

En aspekt att ta hänsyn till är att närhet är ett kvalitativt och därmed kontextberoende koncept. I en ort ligger två objekt nära varandra om det inte är långt att gå mellan dem. Närhet kan därför definieras i termer av fågelavståndet mellan två objekt. När det gäller länstrafik mellan orter ökar avståndet mellan hållplatserna och definitionen av närhet förändras därmed. Om man måste använda sig av något transportmedel för att ta sig till en hållplats kan man inte längre beräkna fågelavståndet mellan objekten, istället måste man ta hänsyn till vägarnas sträckning. Eftersom hållplatserna är glest utplacerade på landsbygden kan det också vara mer intressant att ta fram de närmaste hållplatserna istället för de som ligger inom ett förutbestämt avstånd.

7.2.3 Mängdbaserade relationer

Eftersom en platsangivelse matchas mot en mängd hållplatser är även de mängdbaserade relationerna av intresse. Om en användare anger att han eller hon vill åka från Kyrkogården vid Malmslättsvägen ska detta matchas mot de hållplatser som ligger nära Malmslättsvägen och Kyrkogården vilket motsvarar snittet av mängden hållplatser som ligger nära Malmslättsvägen och mängden hållplatser som ligger nära Kyrkogården.

7.3 Representation av geografiska entiteter, egenskaper och relationer

I kapitel 5 och kapitel 6 presenterades flera olika angreppsätt för att representera geografisk information. Det multimodala gränssnittets krav på möjligheten att ange en avrese- eller ankomstplats som en geografisk position i kartan talar för en kvantitativ representation. I en kvantitativ representation kan de absoluta positionerna för geografiska objekt enkelt representeras som koordinater och en geografisk position kan utan svårigheter matchas mot ett eller flera objekt. Ett argument mot en kvantitativ representation är att relationerna *nära* och *i* är kvalitativa snarare är kvantitativa. En kombination enligt Bennett, Cohn & Isli (1997) verkar vara den bästa lösningen. Genom att använda en kvantitativ representation och skapa mekanismer som kan extrahera kvalitativa relationer fångar man det bästa i båda typerna av angreppssätt.

Jag har valt att använda ett Geografiskt Informationssystem för att representera de geografiska entiteternas egenskaper. GISet har satts samman med en spatial resonerare som kan extrahera kvalitativ information om relationerna mellan objekten och utföra andra resonemang. Att använda en GIS har flera fördelar. För det första stödjer GIS användandet av kartor vilket är viktigt för det multimodala gränssnittet. För det andra tillhandahåller ett GIS en mängd med fördefinierade funktioner för manipulation av den representerade informationen. Ytterligare en fördel är att det finns mycket information tillgänglig i ett format som kan användas av GIS. Vidare motsvarar de geografiska objekten i ett GIS olika tematiska lager och lagras oberoende av varandra i databasen. Det blir därför enkelt att uppdatera ett objekts position utan att relationen mellan de andra objekten påverkas. Detta är en viktig egenskap eftersom hållplatser ibland flyttas och busslinjer förändrar utseende.

Kapitel 8

Implementation av den spatiala modulen

I det här kapitlet redovisas hur de geografiska objekten och egenskaperna samt de spatiala relationerna och resonemangen i den spatiala modulen har implementerats. Implementeringen är begränsad till busstrafik i Linköping.

Modulen består av ett GIS som utökats med funktionalitet för att resonera om relationer mellan geografiska entiteter och andra typer av resonemang. Den del av modulen som utför de spatiala resonemangen kallas för den spatiala resoneraren och består av en samling skript som implementerar olika algoritmer.

8.1 Geografiska entiteter och egenskaper

De olika typerna av geografiska entiteter representeras i GISet som frikopplade tematiska lager och lagras i en relationsdatabas. Hållplatserna utgör till exempel ett separat punktlager som markerar var de är belägna. I databasen lagras de i en tabell där egenskaperna Namn, Id, Position, Nyckelhållplats och Passerande linjer utgör attribut. Se figur 8.1.

Namn	Id	Position	Passerande linjer	Nyckel-hållplats
RYDS C	214	Punkt	205 213 214 215	Nej
SAAB HUVUDPORTEN	64	Punkt	47 57 210	Nej
RESECENTRUM	50	Punkt	52 53 55 65 ...	Ja
...	...	...	...	...

Figur 8.1: Tabellen visar hur information om hållplatser lagras i GISet.

På samma sätt lagras informationen om platser, vägar, områden, orter och bussrutter.

8.2 Geografiska och spatiala relationer

De två kvalitativa relationerna *i* och *nära* används av den spatiala resoneraren för att bland annat matcha ett geografisk objekt till närliggande hållplatser men också för att resonera om hur olika objekt förhåller sig till varandra i fall då användaren uttryckt sig på ett tvetydigt sätt.

8.2.1 I

Det finns flera fördefinierade funktioner i GISet som kan användas för att extrahera information. En möjlighet är att ställa frågor direkt till databasen som innehåller de olika tematiska lagren eller att använda operationer av kartalgebraisk karaktär (se 6.2.2). GISets frågespråk innehåller några spatiala primitiver som motsvarar enkla spatiala relationer, till exempel INTERSECTS, LIES_COMPLETELY_WITHIN och COMPLETELY_CONTAINS. Den spatiala resoneraren formulerar en fråga med hjälp av dessa. GISet gör sedan de nödvändiga beräkningarna för att finna de objekt som uppfyller relationen.

Skriptet som extraherar information om *i*-relationen mellan olika geografiska objekt tar två argument. Dessa kan vara specifika geografiska objekt eller en variabel som anger vilken typ av geografiskt objekt som efterfrågas. Algoritm 1 i figur 8.2 används för att finna en specifik typ av geografiskt objekt som ligger *i* ett angivet område eller ort.

För att ta fram de objekt som uppfyller den spatiala relationen *i* utnyttjar den spatiala resoneraren alltså de kartalgebraiska operationer som GISet tillhandahåller för manipulation av de lager som representerar de olika typerna av

```
Om det angivna objektet, O, är ett område
   Finn det tematiska lager, L1, som innehåller områden
I annat fall, om det angivna objektet, O, är en ort
   Finn det tematiska lager, L1, som innehåller orter

Välj ut det angivna objektet O i L1

Om de eftersökta objekten är av typen hållplats
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller hållplatser
I annat fall, om de eftersökta objekten är av typen plats
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller platser
I annat fall, om de eftersökta objekten är av typen väg
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller vägar
I annat fall, om de eftersökta objekten är av typen område
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller områden

Om de eftersökta objekten är av typen väg
   Välj ut de objekt i L2 som korsar O i L1, dessa utgör
   mängden R
Om de eftersökta objekten är av typen hållplats, plats eller område
   Välj ut de objekt i L2 som ligger i O i L1, dessa utgör mängden R

Returnera mängden R
```

Figur 8.2: Algoritm 1 extraherar information om den kvalitativa relationen *i*

geografiska entiteter. Baserat på typen av objekt som efterfrågas väljer den spatiala resoneraren att definiera *i* som **korsar** (INTERSECTS) eller **ligger i** (LIES_COMPLETELY_WITHIN). I de fall relationen *i* används för att finna det område eller ort som ett angivet geografiskt objekt ligger i utgår den spatiala resoneraren ifrån **innehåller** (COMPLETELY_CONTAINS) istället.

8.2.2 Nära

Den implementerade relationen *nära* är baserad på fallet med lokaltrafik där närhet kan definieras som ett exakt avstånd. Eftersom de flesta hållplatser som trafikeras av lokaltrafik är utplacerade med ca 200-600 meters avstånd utgår jag ifrån att en hållplats ligger *nära* en annan hållplats, plats eller väg om avståndet är 300 meter. Denna siffra kan användas för att ställa en exakt fråga till GISet som kan beräkna vilka objekt som ligger inom det angivna avståndet.

Algoritm 2 i figur 8.3 används för att finna de objekt som ligger *nära* ett specifikt objekt.

```
Om det angivna objektet, O, är en hållplats
   Finn det tematiska lager, L1, som innehåller hållplatser
I annat fall, om det angivna objektet, O, är en plats
   Finn det tematiska lager, L1, som innehåller platser
I annat fall, om det angivna objektet, O, är en väg
   Finn det tematiska lager, L1, som innehåller vägar

Välj ut det angivna objektet O i L1

Om de eftersökta objekten är av typen hållplats
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller hållplatser
I annat fall, om de eftersökta objekten är av typen plats
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller platser
I annat fall, om de eftersökta objekten är av typen väg
   Finn det tematiska lager, L2, som innehåller vägar

Välj ut de objekt i L2 som ligger inom 300 m avstånd till O i L1,
dessa utgör mängden R

Returnera mängden R
```

Figur 8.3: Algoritm 2 extraherar information om den kvalitativa relationen *nära*

På samma sätt som för *i*-relationen formulerar den spatiala resoneraren en fråga i termer av de tematiska lagren och en spatial primitiv **ligger inom X meters avstånd** (LIES_WITHIN_DISTANCE_OF X M).

8.3 Resonemang

Den spatiala modulens primära uppgift i tidtabellsinformationssystemet är att matcha platsangivelser till hållplatser som kan användas för sökningar i tidtabellsdatabasen. För att klara detta måste den spatiala modulen hantera de problem som identifierades med hjälp av korpusen och presenterades i kapitel 2 (2.3). Den spatiala modulen använder algoritm 3, som visas i figur 8.4, då den av användaren inmatade informationen ska matchas mot en mängd med hållplatser.

Delprocedurerna använder de spatiala relationerna *i* och *nära* för att hantera de problematiska situationer som kan uppstå. I resten av detta avsnitt beskrivs de olika delprocedurerna som används mer i detalj.

```
Identifiera de geografiska objekt som angivits av användaren

Om användaren angivit en hållplats H, vars namn är tvetydigt
   Försök disambiguera namnet med hjälp av övrig spatial information
   Om en unik hållplats kan identifieras
      Låt H vara den unika hållplatsen
   I annat fall
      Returnera en begäran om klargörande information
Om användaren angivit en plats P, vars namn är tvetydigt
   Försök disambiguera namnet med hjälp av övrig spatial information
   Om en unik plats kan identifieras
      Låt P vara den unika platsen
   I annat fall
      Returnera en begäran om klargörande information
Om användaren angivit en väg V, vars namn är tvetydigt
   Försök disambiguera namnet med hjälp av övrig spatial information
   Om en unik väg kan identifieras
      Låt V vara den unika vägen
   I annat fall
      Returnera en begäran om klargörande information
Om användaren angivit ett område O, vars namn är tvetydigt
   Försök disambiguera namnet med hjälp av övrig spatial information
   Om ett unikt område kan identifieras
      Låt O vara det unika området
   I annat fall
      Returnera en begäran om klargörande information

Matcha de geografiska objekten som identifierats till de närliggande
hållplatserna, låt H vara mängden med hållplatser

Om H är tom
   Undersök vad som är fel
   Returnera ett felmeddelande och en begäran om klargörande information

Om H innehåller för många hållplatser
   Försök begränsa resultatet med hjälp av den spatiala information
   Om mängden H kan begränsas
      Låt H vara den begränsade mängden
   I annat fall
      Returnera en begäran om specificering

Returnera H
```

Figur 8.4: Algoritm 3 matchar spatial information till de närliggande hållplatserna

8.3.1 Identifiering av objekt

Den spatiala modulen får som indata namnet på de olika typer av geografiska objekt som användaren givit för att specificera avgångs- och ankomstplats. Eftersom namn nödvändigtvis inte är unika innebär det första steget att objekten identifieras. Identifiering av ett objekt innebär att den spatiala resoneraren från GISet hämtar de geografiska objekt som har det angivna namnet. Den spatiala resoneraren formulerar en fråga som påminner om SELECT-satsen i figur 6.3 och ställer denna till databasen i GISet. Om GISet returnerar fler än ett objekt är namnet flertydigt och den spatiala resoneraren måste finna ett sätt att unikt identifiera objektet användaren avsett.

8.3.2 Hantering av flertydiga namn

Om ett namn kan referera till flera objekt försöker den spatiala resoneraren att finna en unik referent med hjälp av den övriga information som användaren givit. Den undersöker systematiskt vilka av objekten med det tvetydiga namnet som ligger *nära* eller *i* de andra geografiska objekten som användaren använt som platsangivelser. Ofta resulterar denna strategi i att ett unikt objekt kan väljas ut från de möjliga alternativen. I de situationer då så inte är fallet krävs ett klargörande från användaren. Den spatiala resoneraren anger då vilken typ av information, det vill säga vilken typ av geografiskt objekt, som krävs. Den spatiala resoneraren avgör vilken klargörandeinformation som behövs med utgångspunkt i vilken typ av geografiskt objekt som är ambiguent. Eftersom hållplatser är unikt namngivna i varje ort kan ett klargörande i form av ortnamn användas då ett hållplatsnamn är tvetydigt. När det gäller platser kan det förekomma flera med samma namn inom en ort och i dessa fall begärs ett klargörande i form av en väg eller ett område istället.

Nedan presenteras en del av algoritm 4 som används för att disambiguera ett namn, i det här fallet rör det sig om namnet på en plats som finns i flera orter. Skriptet som implementerar algoritmen får som indata det ambiguenta namnet samt den övriga spatiala information som användaren använt för att ange avrese- eller destinationsplats.

```
Om det ambiguenta namnet, N, är namnet på en plats
   Välj ut alla platser med namnet N, dessa utgör mängden A med
   möjliga alternativa platser
   Om användaren angivit en hållplats, H
      Välj ut alla platser som ligger nära H, dessa utgör mängden P
      Välj ut den delmängd platser som tillhör både A och P,
      dessa utgör den nya mängden A med möjliga alternativa platser
      Om endast ett alternativ återstår i A
         Returnera mängden A
   Om användaren angivit en väg, V
      Välj ut alla platser som ligger nära V, dessa utgör mängden P
      Välj ut den delmängd platser som tillhör både A och P,
      dessa utgör den nya mängden A med möjliga alternativa platser
      Om endast ett alternativ återstår i A
         Returnera mängden A
   Om användaren angivit ett område, O
      Välj ut alla platser som ligger i O, dessa utgör mängden P
      Välj ut den delmängd platser som tillhör både A och P,
      dessa utgör den nya mängden A med möjliga alternativa platser
      Om endast ett alternativ återstår i A
         Returnera mängden A
   Om användaren angivit en ort, O
      Välj ut alla platser som ligger i O, dessa utgör mängden P
      Välj ut den delmängd platser som tillhör både A och P,
      dessa utgör den nya mängden A med möjliga alternativa platser
      Om endast ett alternativ återstår i A
         Returnera mängden A

   Om ingen unik plats har kunnat urskiljas, det vill säga A innehåller
   fler än ett alternativ
      Returnera en begäran om klargörande information, det vill säga
      information om vilket område och vilken ort som avses
```

Figur 8.5: Algoritm 4 används för att disambiguera flertydiga namn.

8.3.3 Matcha objekt till närliggande hållplatser

Om den spatiala resoneraren lyckas med att unikt identifiera de geografiska entiteterna innebär nästa steg att dessa matchas mot hållplatser. För varje geografiskt objekt som användaren angivit tas de hållplatser som ligger *nära* eller *i* objektet fram. Den spatiala resoneraren tar sedan snittet av dessa mängder för att få fram de hållplatser som samtidigt ligger *nära* eller *i* alla de angivna typerna av objekt. Om en användare till exempel angivit Storgatan i centrum som avreseplats blir resultatet de hållplatser som ligger *nära* både

Storgatan såväl som *i* centrum.

Figur 8.6 visar algoritm 5 som används för matchning av platsangivelser till hållplatser.

```
Om användaren angivit en unik hållplats, H
   Välj ut de hållplatser som ligger nära H, dessa utgör mängden H1
Om användaren angivit en unik plats, P
   Välj ut de hållplatser som ligger nära P, dessa utgör mängden H2
Om användaren angivit en unik väg, V
   Välj ut de hållplatser som ligger nära V, dessa utgör mängden H3
Om användaren angivit ett unikt område, O
   Välj ut de hållplatser som ligger i O, dessa utgör mängden H4
Om användaren enbart angivit en unik ort, O
   Välj ut de hållplatser som ligger i O och är nyckelhållplatser,
   dessa utgör mängden H5

Välj ut de mängder som tillhör {H1, H2, H3, H4, H5} och som inte är
tomma mängder. Låt H vara den delmängd med hållplatser som tillhör
alla dessa icke-tomma mängder.

Returnera mängden H
```

Figur 8.6: Algoritm 5 matchar geografiska objekt till hållplatser.

8.3.4 Specificeringar

Ibland kan en platsangivelse matchas mot ett stort antal hållplatser, här är gränsen satt vid 5. Detta sker vanligtvis då platsangivelsen är i form av en lång väg, ett stort område eller en ort. Den spatiala resoneraren kan i dessa fall tala om varför en precisering behövs och be användaren att precisera sig. Detta kan ske på olika sätt, till exempel kan de olika alternativen presenteras för användaren som får välja ett av dem, eller så kan ny information efterfrågas på samma sätt som för klargöranden vid ambiguenta namn.

Då den spatiala resoneraren ska begränsa antalet alternativ i en stor mängd hållplatser får den in en mängd med de alternativa hållplatserna, S, samt övrig information som angivits av användaren för att specificera avrese- eller ankomstplats. Med hjälp av denna information och algoritm 6 som presenteras i figur 8.7 försöker den spatiala resoneraren att begränsa antalet alternativ eller finna ut vilken typ av klargörande information som ska efterfrågas.

```
Om användaren angivit en specifik busslinje, L
   Välj ut de hållplatser som passeras av L, dessa utgör mängden H
   med hållplatser
   Välj ut den delmängd av hållplatser som tillhör både H och mängden
   med alternativ hållplatser, S, dessa utgör den nya mängden S1
   Om S1 innehåller färre än 5 hållplatser
      Returnera S1

Om användaren angivit en hållplats, H
   Returnera H

Om användaren angivit en plats, P
   Returnera en begäran om en specificering där användaren får välja
   ett av alternativen i S

Om användaren angivit en väg, V
   Om V är längre än 300 m
      Returnera en begäran om en specificering i form av ny information
      om en hållplats eller plats och förklara att den angivna vägen är
      för lång.
   I annat fall
      Returnera en begäran om en specificering där användaren får välja
      ett av alternativen i S

Om användaren angivit ett område, O
    Om antalet alternativ i S är fler än 10
      Returnera en begäran om en specificering i form av ny information
      om en hållplats, plats eller väg och förklara att det angivna
      området, O, är för stort.
   I annat fall
      Returnera en begäran om en specificering där användaren får välja
      ett av alternativen i S

Om användaren angivit en ort, O
   Om antalet alternativ i S är fler än 10
      Returnera en begäran om en specificering i form av ny information
      om en hållplats, plats, väg eller område och förklara att det
      angivna orten, O, är för stor.
   I annat fall
      Returnera en begäran om en specificering där användaren får välja
      ett av alternativen i S
```

Figur 8.7: Algoritm 6 används för att begränsa antalet hållplatser i en stor mängd

Då den spatiala resoneraren avgör vilken typ av precisering som ska efterfrågas av användaren, det vill säga att välja ett alternativ från en mängd eller ange ny information, utgår den enbart från antalet alternativ i mängden S. En alternativ och kanske bättre strategi är att utgå från vilken typ av gränssnitt som används. Ett multimodalt gränssnitt erbjuder en möjlighet att presentera de olika alternativen grafiskt, till exempel i en karta, vilket gör det lättare för användaren att överblicka och välja det bästa alternativet. I ett telefonbaserat naturligt språk-gränssnitt som enbart tillåter en talad dialog är det mycket svårare att presentera de olika alternativen på ett överblickbart sätt för användaren, och i det fallet kan det vara bättre att be användaren om mer specifik information.

8.3.5 Felhantering

Om mängden som är ett resultat av matchningen från geografiska objekt till hållplatser är tom kan det bero på att användaren lämnat motstridig information, till exempel en väg och en plats som inte ligger i närheten av varandra eller en plats som inte passeras av en angiven busslinje. Den spatiala resoneraren undersöker då vilka spatiala relationer som inte stämmer mellan objekten och ber användaren om ett förtydligande.

I figur 8.8 beskrivs den del av algortim 7 som används för att finna den motstridiga informationen:

```
Om användaren har angivit en plats, P
   Om användaren har angivit en hållplats, H
      Om P inte ligger nära H
         Returnera ett felmeddelande som talar om att P inte ligger nära H
   Om användaren har angivit en väg, V
      Om P inte ligger nära V
         Returnera ett felmeddelande som talar om att P inte ligger nära V
   Om användaren har angivit ett område, O
      Om P inte ligger i O
         Returnera ett felmeddelande som talar om att P inte ligger i O
   Om användaren har angivit en ort, O
      Om P inte ligger i O
         Returnera ett felmeddelande som talar om att P inte ligger i O
```

Figur 8.8: Algoritm 7 undersöker om användaren angivit felaktig information.

Förutom att tala om för användaren vad för information som är felaktig skulle den spatiala resoneraren också kunna ta fram möjliga korrekta alternativ baserad på den information som användaren givit. En användare kan till exempel säga att han eller hon vill åka till Mikaelskyrkan i Skäggetorp men Mikaelskyrkan ligger i ett annat område, Ryd. Den spatiala resoneraren skulle då kunna ta fram det område i vilket Mikaelskyrkan ligger och fråga användaren om det var detta som avsågs. Ett annat alternativ är att presentera de platser som ligger i Skäggetorp och be användaren att välja en av dessa.

8.4 Ett exempel

Med utgångspunkt i en hypotetisk dialog illustreras i detta avsnitt hur de olika komponenterna i ett tidtabellsinformationssystem med naturligt språkgränssnitt interagerar samt de olika typer av resonemang som den spatiala resoneraren utför [1].

> Användare: Jag skulle vilja åka från Norrköping och vara vid Järnvägsstationen klockan fem.

Tolkaren mottar yttrandet och identifierar Norrköping som en ort och avreseplats, Järnvägsstationen som en hållplats och ankomsplats, samt klockan fem som ankomsttid. Denna information vidarebefordras till dialoghanteraren som modellerar den i ett dialogobjekt med hjälp av fokusparametrar som beskriver avreseplats, ankomstplats, tidsangivelse samt frågetyp. Användaren har begärt information om en resrutt och dialoghanteraren kontrollerar att användaren lämnat tillräckligt med information. Därefter skickar dialoghanteraren en förfrågan om möjliga resrutter till den spatio-temporala modulen. Denna ber i sin tur den spatiala modulen att matcha avrese- och ankomstplatser till hållplatser.

Den spatiala resoneraren identifierar Norrköping som en unik ort och matchar den mot de nyckelhållplatser som ligger i orten, se algortim 5 i figur 8.6. Det finns 7 möjliga hållplatser så den spatiala resoneraren undersöker hur mängden kan preciseras. Eftersom användaren inte lämnat någon annan information om avreseplatsen som kan användas för att begränsa antalet alternativ returneras en begäran om mer information i form av en hållplats, plats väg eller ett område. Dialoghanteraren initierar en klargörande sub-dialog baserat på den information den mottar från den spatiala modulen.

[1] Exemplet avser främst att illustrera beteendet hos den spatiala modulen, snarare än beteendet hos tidtabellsinformationssystemet

System: Det finns många hållplatser i Norrköping, kan du ange en hållplats, plats eller väg?
Användare: Centralstationen.

Den nya informationen tolkas som en hållplats. Dialoghanteraren skapar ett nytt dialogobjekt och kopierar den gamla informationen som integreras med den nya. Avreseplatsen består nu av två fokusparametrar, hållplatsen Centralstationen och orten Norrköping. Dialoghanteraren gör en ny förfrågan till den spatio-temporala modulen som vänder sig till den spatiala modulen för matchning av platsangivelserna till hållplatser.

Norrköping identifieras ännu en gång som en unik ort men det finns flera hållplatser med namnet Centralstationen vilket innebär att den spatiala resoneraren måste försöka att disambiguera namnet. Genom att använda algortim 4 kan den spatiala resoneraren finna den unika hållplatsen med namnet Centralstationen som ligger i Norrköping. Denna hållplats matchas sedan mot de hållplatser som ligger nära den vilket resulterar i en mängd som innehåller 2 hållplatser, Centralstationen och Bussterminalen.

Den spatiala resoneraren försöker därefter matcha ankomstplatsen till en mängd närliggande hållplatser. Järnvägsstationen är dock ett hållplatsnamn som förekommer i flera städer så den spatiala resoneraren måste hitta ett sätt att disambiguera även detta namn. Eftersom användaren inte gett någon information som kan användas för att avgöra vilken hållplats som avses ber den spatiala resoneraren om klargörande information i termer av ett område eller en ort. Dialoghanteraren formulerar en fråga som ställs till användaren.

System: Det finns flera hållplatser med namnet Järnvägsstationen.
Kan du tala om vilket område eller ort du avser?
Användare: Linköping

Dialoghanteraren sammanför den nya informationen med den gamla i ett nytt dialogobjekt och vidarebefordrar informationen till den spatiala modulen via den spatio-temporala modulen. När den spatiala resoneraren försöker disambiguera namnet Järnvägsstationen denna gång tar den snittet av alla bushållplatser som ligger i Linköping och mängden med hållplatser som har namnet Järnvägsstationen, men då det saknas en hållplats med namnet Järnvägsstationen i Linköping blir resultatet en tom mängd hållplatser (se algoritm 4). Algoritm 7 används därför för att resonera om vad som är fel. Den spatiala resoneraren finner att den angivna hållplatsen inte ligger i den angivna orten och returnerar denna information till dialoghanteraren. Än en gång ber dialoghanteraren användaren om mer information.

> System: Det finns ingen hållplats med namnet Järnvägsstationen i Linköping, kan du ange en ny hållplats i Linköping eller en annan ort?
> Användare: Resecentrum.

Dialoghanteraren ersätter denna gång informationen om fokusparametern hållplats i dialogobjektets specifikation av ankomstplatsen. Den nya informationen skickas till den spatio-temporala modulen och den spatiala modulen. Hållplatsnamnet Resecentrum är fortfarande flertydigt men denna gång kan den spatiala resoneraren med hjälp av algoritm 4 och informationen om vilken ort som avses finna en unik hållplats. Denna matchas mot de närliggande hållplatserna (algoritm 5) och resulterar i en mängd som innehåller två hållplatser.

Nu kan de två mängder som innehåller möjliga avrese- och ankomsthållplatser returneras till den spatio-temporala modulen. Denna skickar en förfrågan om möjliga förbindelser mellan dessa hållplatser för den angivna tiden till den temporala modulen. Den temporala modulen gör en sökning i tidtabellsdatabasen och returnerar de bästa resrutterna. Dessa skickas via den spatio-temporala modulen till dialoghanteraren som presenterar informationen för användaren.

> System: Du kan åka från Bussterminalen i Norrköping till Resecentrum i Linköping med buss 480 som avgår klockan 15.30 med byte vid Kimstad kyrka till buss 510 som ankommer klockan 16.35 eller ta lokaltåget som avgår från Centralstationen i Norrköping klockan 16.20 och ankommer till Resecentrum i Linköping klockan 16.47.

Kapitel 9

Slutsatser och reflektioner

Syftet med det här arbetet var att studera hur spatial och geografisk kunskap kan representeras och användas i ett tidtabellsinformationssystem. Tidtabellsinformationssystemet ska kunna anropas via ett multimodalt www-baserat gränssnitt såväl som via ett telefonbaserat naturligt språk-gränssnitt. I det här kapitlet sammanställs och diskuteras de slutsatser som framkommit i arbetet. Dessutom tas möjliga vidareutvecklingar upp.

9.1 Att representera spatial och geografisk kunskap

En representation kan betraktas som en mängd med ontologiska antaganden som avgör på vilket sätt man betraktar världen. Davis, Shrobe & Szolovits (1993) jämför de ontologiska antagandena med ett par starka glasögon som avgör vilka faktorer vi kan se och vilka som förblir ofokuserade. Valet av ontologi påverkar hur vi betraktar ett problem och vilka typer av resonemang som kan utföras. I kapitel 4 diskuterades två olika sätt att konceptualisera geografisk rymd, absolut och relativ. Dessa motsvaras av två typer av geografiska representationer, platsbaserade respektive entitetsbaserade.

Baserat på en korpus bestående av dialoger mellan resenärer och servicepersonal på ett busstrafiksbolag valdes en entitetsbaserad representationen. I korpusen framgick det nämligen att personer som efterfrågar tidtabellsinformation använder geografiska objekt som till exempel hållplatser, vägar och områden för att ange geografiska platser att åka till eller ifrån. Eftersom människor i tidtabellsinformationssystemets användningssituation konceptualiserar geografisk rymd som bestående av entiteter och relationer dem emellan är en entitetsbaserad representation bäst lämpad i tidtabellsinformationssystemet.

Geografiska objekt och spatiala relationer kan representeras på flera sätt och i kapitel 5 kontrasterades det kvantitativa angreppsättet med det kvalitativa angreppsättet. Båda angreppsätten har styrkor och svagheter:

Vag och partiell kunskap En kvantitativ representation ger exakt och entydig information men kan inte hantera den typ av partiell och vag information som människor ofta använder. Kvalitativa representationer, som är baserade på symboliska värden, stämmer bättre överens med hur människor talar om och resonerar om spatial och geografisk information men förlorar i precision och säkerhet vid manipulation av den representerade informationen.

Position I kvantitativa representationer kan objektens absoluta positioner lagras och användas som utgångspunkt för att beräkna relationerna mellan objekten. Kvalitativa representationer utgår istället ifrån relationerna mellan objekten och beskriver den relativa positionen. Att utgå ifrån absoluta positioner har fördelen att det är möjligt att koppla representationen till en karta och med denna visualisera de olika objekten och deras inbördes förhållanden. Användandet av absoluta positioner gör det också enklare att uppdatera ett geografiskt objekts position utan att påverka de andra entiteterna.

Relationer Eftersom kvalitativa representationer är baserade på relationerna mellan de geografiska objekten är det relativt enkelt att resonera om hur olika objekt förhåller sig till varandra. I kvantitativa representationer krävs komplexa beräkningar för att ta fram samma typ av information.

I den spatiala modulen i tidtabellsinformationssystemet kombineras de båda angreppsätten för att bevara fördelarna men undvika nackdelarna. Kvantitativ information representeras i ett geografiskt informationsystem, GIS, som kompletteras med en spatiala resonerare som kan resonera om de kvalitativa relationerna mellan objekten. De kvalitativa relationerna extraheras från den kvantitativa informationen med hjälp av GISets inbyggda funktioner.

Denna lösning ger följande fördelar:

- Det är enkelt att uppdatera information om de geografiska objektens position och utsträckning. Detta är en viktig egenskap eftersom busshållplatser kan behöva flyttas och busslinjer förändrar utseende.

- Den geografiska informationen kan länkas till en karta. I tidtabellsinformationsystemets multimodala gränssnitt kan både inmatning och presentation av geografisk information göras med hjälp av kartrepresentationen.
- Tidtabellsinformationsystemet kan hantera vag och partiell information som ges av en användare. Kvalitativa relationer översätts till exakta kvantitativa relationer som kan beräknas matematiskt i GISet och sedan transformeras tillbaka till kvalitativa relationer.

De geografiska objekt som representeras i den spatiala modulen i tidtabellsinformationssystemet identifierades med utgångspunkt i en analys av hur människor uttryckte sig i korpusen. Dessa är hållplatser, platser, vägar, områden, orter och busslinjer. Det visade sig att de relevanta spatiala relationerna mellan objekten kunde sammanfattas i två kvalitativa begrepp, *i* och *nära*. *I* inkluderar de topologiska relationerna av intresse i den aktuella domänen och *nära* är en kvalitativ avståndsrelation.

Relationen *i* är kontextberoende och kan användas på flera sätt, bland annat för att ta fram alla hållplatser, platser eller vägar som ligger i ett område, eller för att ta fram området eller orten som en specifik hållplats, plats eller väg ligger i. Beroende på vilka typer av objekt som handhas definieras konceptet som den topologiska relationen ligger i (inside), korsar (intersects) eller innehåller (contains). I tidtabellsinformationssystemet är kunskap om dessa relationer tillräckligt men om man vill utföra mer komplexa spatiala analyser, till exempel undersöka i hur stor utsträckning busslinjer överlappar varandra, kan fler topologiska relationer behövas. En fördel med den spatiala modulens geografiska representation är att man enkelt kan utöka den spatiala resoneraren med skript som extraherar information om nya relationer.

Av de metriska eller euklidiska relationerna är endast avstånd representerad i tidtabellsinformationssystemets spatiala modul. En grov uppdelning av avstånd som nära eller inte nära gjordes, där närhet motsvarar ett kvantitativt avstånd mindre än 300 meter. Denna uppdelning är avsedd för lokaltrafik och avstånd inom orter. För att kunna hantera avstånd mellan objekt som inte ligger i orter behöver man ta hänsyn till kontexten och eventuellt göra en finare uppdelning av avstånd i till exempel nära, ganska nära, ganska långt och långt. Om den spatiala resoneraren inte kan finna en hållplats som ligger nära den angivna platsen och hållplatserna är geografiskt spridda kan den istället leta efter hållplatser som ligger ganska nära. Avståndsrelationen kan förändras i den spatiala modulen genom att ange nya intervall för de olika kvalitativa avstånden.

Riktning och orientering är metriska relationer som utelämnats i den spatiala representationen. I korpusen förekommer inga exempel på användning av dessa relationer men det är möjligt att beskriva en plats som ”hållplatsen på höger sida av kyrkan” och i detta fall behöver den spatiala resoneraren ta hänsyn till objektens orientering.

Den spatiala modulens primära uppgift i tidtabellsinformationssystemet är att matcha platsangivelser till närliggande hållplatser. För detta syfte är de två spatiala relationerna *i* och *nära* tillräckliga. Med hjälp av enbart dessa två relationer kan den spatiala modulen i tidtabelsinformationssystemet utföra komplexa resonemang och hantera de problem som uppstår.

9.2 Att använda spatial och geografisk kunskap

I kapitel 2 beskrevs de typer av problem som den spatiala modulen i tidtabellsinformationssystemet behövde klara av. Dessa var:

- Resonemang om realtioner mellan geografiska objekt
- Tvetydiga namn på geografiska objekt
- Klargöranden
- Preciseringar
- Felaktig indata

Med hjälp av information om relationerna *i* och *nära* mellan de geografiska objekten kan den spatiala resoneraren hantera de olika problemen på ett sätt som ökar tidtabellinformationssystemets användbarhet. Dialogen mellan användaren och systemet bli mer naturlig då användaren kan uttrycka avrese- och ankomstplatser på ett sätt som är naturligt, istället för att tvingas använda de officiella namnen på hållplatserna. Användandet av spatial information medför också att interaktionen mellan användare och system blir mer robust eftersom den spatiala resoneraren kan upptäcka felaktigheter i den inmatade informationen och be användaren om en rättelse. Detta innebär att användaren får en möjlighet att reparera misstag istället för att få ett felmeddelande. I situationer där ett klargörande behövs kan den spatiala modulen förse dialoghanteraren med information om vad som ska efterfrågas och på detta sätt förbättras interaktionen mellan användare och tidtabellsinformationssystemet ytterligare.

9.3 Vidareutvecklingar

I följande avsnitt tas exempel på möjliga vidareutvecklingar upp. Dessa är hantering av komplexa spatiala uttryck, integrering av spatial och temporal kunskap samt hybridrepresentationer som kombinerar det kvantitativa och kvalitativa angreppsättet.

9.3.1 Komplexa spatiala uttryck

Utformningen av representationen och resonemangen i den spatiala modulen är baserad på de relativt enkla spatiala uttryck som förekommer i korpusen. Användare anger ofta en plats i termer av ett geografiskt objekt, ibland förekommer konstruktioner med flera objekt som till exempel "IKEA i Linköping". Den explicita relationen mellan de olika typerna av geografiska objekt utelämnas därför av Tolkaren då ett yttrande analyseras. Om den spatiala resoneraren får i uppgift att matcha vägen Kaptensgatan och orten Linköping till närliggande hållplatser, antar den implicit att Kaptensgatan ligger i Linköping. Detsamma gäller om platsangivelsen är i termer av en väg och en plats då den spatiala resoneraren antar att användaren avsett de hållplatser som ligger *nära* både vägen och platsen. Uttryck som "hållplatsen som ligger på Malmslättsvägen men inte vid Gamla Linköping" kommer därför helt felaktigt att tolkas som de hållplatser som ligger *nära* både Gamla Linköping och Malmslättsvägen tvärtemot vad användaren avsåg.

Den strategi som den spatiala modulen använder fungerar alltså endast om tidtabellsinformationssystemets användare uttrycker sig på samma sätt som personerna i korpusen. Den spatiala representationen och den spatiala resoneraren behöver därför utvärderas i verkliga situationer med typiska användare. Utvärderingen kan ge svar på frågor som hur komplexa uttryck används, om nya relationer för till exempel riktning och orientering behövs, eller om en del av resonemangen i den spatiala modulen är överflödiga eller behöver modifieras.

9.3.2 Integrering av spatial och temporal kunskap

I tidtabellsinformationssystemets nuvarande utformning är den spatiala kunskapen skild från den temporala kunskapen, den spatiala modulen ansvarar för att leverera hållplatser till den temporala modulen som tar fram information om tider för rutter mellan hållplatserna. Genom att kombinera dessa representationer skulle mer avancerade resonemang kunna utföras. Tidtabellsinformationssystemet skulle till exempel kunna ta fram bussrutter med byten som innebär att resenären får gå från en hållplats till en annan närliggande hållplats. I dagens system är detta inte möjligt eftersom den temporala modulen endast kan finna rutter där byten görs på hållplatser som passeras av flera busslinjer. En integrering av spatial och temporal information skulle också medföra att kartan i ett multimodalt gränssnitt kan variera över tiden för att spegla den service som är aktuell vid en given tidpunkt, till exempel skulle endast de hållplatser och rutter som trafikeras vid den tidpunkt som användaren vill åka kunna visas i kartan.

9.3.3 Kvantitativa och kvalitativa representationer

Medan datorer är bra på att bearbeta numeriska värden och kan utföra komplexa beräkningar på ett effektivt sätt använder människor istället ungefärliga värden och uppskattningar då de resonerar som saker och ting. Detta speglas i språket då människor talar om egenskaper hos eller relationer mellan objekt. Den spatiala och geografiska representationen i tidtbellsinformationssystemet utformades med ett multimodalt och naturligt språk-gränssnitt i åtanke. Det var därför viktigt att ta hänsyn till den kvalitativa aspekten hos språkliga uttryck.

I tidtabellsinformationssystemet valdes en kombination av kvantitativ och kvalitativ representation av den spatiala och geografiska informationen. När information om kvalitativa relationer behövs extraheras dessa från den kvantitativa representationen i GISet. Att kombinera kvalitativa representationer med kvantitativa innebär att systemets kunskap bättre överensstämmer med användarens och kan uttryckas på ett mer naturligt sätt. Detta underlättar om man vill skapa ett naturligt språk-gränssnitt till ett system eftersom användaren kan uttrycka sig på ett naturligt sätt istället för att behöva anpassa sig till systemet och det sätt på vilket kvantitativ information är lagrad.

Hybridrepresentationer av detta slag är dock ovanliga idag. De flesta system är baserade på antingen kvantitativa eller kvalitativa representationer och resonemang. Ett undantag är Bennett (1996) som beskriver hur kvalitativa representationer och resonemang om topologiska relationer kan integreras med ett kvantitativt GIS. Mer forskning inom detta område behövs dock för att finna bra sätt att kombinera de båda, i vissa avseenden motstridiga, angreppsätten.

9.4 Summering

I inledningen konstaterades att spatial och geografisk kunskap är central inom många områden. Detta arbete har fokuserat på hur sådan kunskap kan representeras och användas i ett tidtabellsinformationsystem för busstrafik. Arbetet tyder på att man genom att tillföra en relativt liten mängd med spatial och geografisk kunskap till ett informationssystem kan få ett system som beter sig på ett intelligent sätt och som är enklare och mer intuitivt för en användare att interagera med det.

Referenser

A.G. Cohn, B. Bennett, J. G. N. G. (1997). Representing and reasoning with qualitative spatial relations about regions. In Stock, O. (Ed.), *Spatial and Temporal Reasoning*, pages 97–134. Kluwer Publishing Company.

Barowsky, T. & Freksa, C. (1997). Cognitive requirements on making and interpreting maps. In Hirtle, S. C. & Frank, A. U. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'97*, volume 1329 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag.

Bennett, B. (1996). The application of qualitative spatial reasoning to gis (extended abstract). In Abrahart, R. (Ed.), *Proceedings of the 1st International conference on GeoComputation.*

Bennett, B., Cohn, A., & Isli, A. (1997). Combining multiple representations in a spatial reasoning system. In *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'97)*, pages 314–322.

Brownston, L., Farrell, R., Kant, E., & Martin, N. (1985). *Programming Expert Systems inOPS5: An introduction to rule-based programming.* Addison-Wesley.

Chang, S. K., Shi, Q. Y., & Yan, C. W. (1987). Iconic indexing by 2-d string. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *9*, 413–428.

Clementi, E., Felice, P. D., & Hernandéz, D. (1997). Qualitative representation of positional information. *Artificial Intelligence*, *95*, 317–156.

Cohn, A. (19). Qualitative spatial representation and reasoning techniques. In Brewka, G., Habel, C., & Nebel, B. (Eds.), *KI-97 : Advances in artificial intelligence : proceedings of 21st Annual German Conference on Artificial*

Intelligence, volume 1303 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 1–30. Springer-Verlag.

Couclelis, H. (1992). People manipulate objects (but cultivate fields): Beyond the raster-vector debate in gis. In Frank, A., Campari, I., & U-Formentini (Eds.), *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space: proceedings / International Conference GIS - From Space to Territory: Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning*, volume 639 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 65–77. Springer-Verlag.

Couclelis, H. & Gottsegen, J. (1997). What maps mean to people: Denotation, connotation, and geographic visualization in land-use debate. In Hirtle, S. C. & Frank, A. U. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'97*, volume 1329 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 153–162. Springer-Verlag.

Davis, R., Shrobe, H., & Szolovits, P. (1993). What is a knowledge representation? *AI Magazine*, *14*, 17–33.

de Laguna, T. (1922). Point, line and surface as sets of solids. *The Journal of Philosphy*, *19*, 449–461.

Delis, V., Hadzikacos, T., & Tryfona, N. (1994). An introduction to layer algebra. In Waugh, T. C. & Healey, R. G. (Eds.), *Advances in GIS Research: proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, volume 1, pages 1020–1040. Taylor & Francis.

Egenhofer, M. J. (1995). Naive geography. In Frank, A. & Kuhn, W. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'95*, volume 988 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1–15. Springer-Verlag.

ESRI (1998). About gis. URL: www.esri.com/library/gis/index.html.

Foote, K. E. & Lynch, M. (1997). Geographic information systems as an integrating technology: Context, concepts, and definitions. URL: www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/intro/intro.html.

Frank, A. U. (1992). Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space. *Journal of Visual Languages and Computing*, *3*, 343–371.

Freksa, C. & Habel, C. (1990). Warum interessiert sich die kognitionsforschung für die darstellung räumlichen wissens? In Freksa, C. & Habel, C. (Eds.), *Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens*. Springer.

Freksa, C. & Rörhig, R. (1993). Dimensions of qualitative spatial reasoning. In Carreté, N. P. & Singh, M. (Eds.), *Qualitative Reasoning and Decision Technologies: proceedings of the IMACS Workshop on Qualitative Reasoning and Decision Technologies – QUARDET'93*, pages 483–492. International Center for Numerical Methods in Engineering.

Freundshuh, S. M. (1991). The effect of the pattern of the environment on spatial knowledge acquisition. In Mark, D. M. & Frank, A. U. (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, pages 167–183. Kluwer Academic Publishers.

Gatrell, A. C. (1991). Concepts of space and geographical data. In Maguire, D. J. & Rhind, M. F. G. D. W. (Eds.), *Geographical Information Systems*, volume 1, pages 119–134. Harlow:Longmans.

Glasgow, J. & Papadias, D. (1992). Computational imagery. *Cognitive Science*, *16*, 335–394.

Hernandéz, D. (1994). *Qualitative Representation of Spatial Knowledge.* Springer Verlag.

Herring, J. R. (1991). The mathematical modeling of spatial and non-spatial information in geographic information systems. In Mark, D. M. & Frank, A. U. (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, pages 313–350. Kluwer Academic Publishers.

Jönsson, A. (1993). *Dialogue Management for Natural Language Interfaces.* PhD thesis, Linköping University.

Jönsson, A. (1997). A model for habitable and efficient dialogue management for natural language interaction. *Natural Language Engineering*, *3*(2/3), 103–122.

Jönsson, A. & Dahlbäck, N. (1988). Talking to a computer is not like talking to your best friend. In *Proceedings of the First Scandinavian Conference on Artificial Interlligence, Tromsø.*

Jönsson, A. & Strömbäck, L. (1998). Robust interaction through partial interpretation and dialogue management. In *Proceedings of Coling/ACL'98, Montréal.*

Laurini, R. & Thompson, D. (1992). *Fundamentals of Spatial Information Systems.* Academic press.

Mark, D. M. (1993). Human spatial cognition. In Medyckyj-Scott, D. & Hearnshaw, H. M. (Eds.), *Human Factors in Geographical Information Systems*, pages 51–60. Belhaven Press.

Mark, D. M., Comas, D., Egenhofer, M. J., Freunshuh, S. M., Gould, M. D., & Nunes, J. (1995). Evaulating and refining computational models of spatial relations through cross-linguistic human-subjects testing. In Frank, A. & Kuhn, W. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'95*, volume 988 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 553–568. Springer-Verlag.

Monmonier, M. (1996). *How to Lie with Maps* (second ed.). Univ. of Chicago Press.

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering.* Academic Press.

Nunes, J. (1991). Geographic space as a set of concrete geographical entites. In Mark, D. M. & Frank, A. U. (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, pages 9–33. Kluwer Academic Publishers.

Papacostas, C. (1998). Gis application to the monitoring of bus operation. URL: www.eng.hawaii.edu/c̃sp/Mygis/busgis.html.

Papadias, D. & Kavouras, M. (1994). Acquiring, representing and processing spatial relations. In Waugh, T. C. & Healey, R. G. (Eds.), *Advances in GIS Research: proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, volume 2, pages 631–645. Taylor & Francis.

Papadias, D. & Sellis, T. (1994). On the qualitative representation of spatial knowledge in 2d space. *Very Large Data Bases Journal*, *4*, 100–138.

Peng, Z., Groff, J. N., & Dueker, K. J. (1995). An enterprise gis database design for transit applications. In *Proceedings of the 1995 Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T).*

Pratt, I. (1993). Map semantics. In Frank, A. U. & Campari, I. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'93*, volume 716 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 77–91. Springer-Verlag.

Raper, J. & Bundock, M. (1991). Ugix: A layer model for a gis user interface. In Mark, D. M. & Frank, A. U. (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, pages 449–475. Kluwer Academic Publishers.

Sharma, J., Flewelling, D. M., & Egenhofer, M. J. (1994). A qualitative spatial reasoner. In Waugh, T. C. & Healey, R. G. (Eds.), *Advances in GIS Research: proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, volume 2, pages 665–681. Taylor & Francis.

Star, J. & Estets, J. (1990). *Geographic Information Systems*, chapter 1. NJ:Prentice-Hall.

van Deursen, W. (1995). *Geographical Information Systems and Dynamic Models.* PhD thesis, University Utrecht.

Vieu, L. (1993). A logical framework for reasoning about space. In Frank, A. U. & Campari, I. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'93*, volume 716 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 19–45. Springer-Verlag.

Worboys, M. F. (1997). *GIS: A Computing Perspective.* Taylor & Francis.

Yuan, M. & Albrecht, J. (1995). Structural analysis of geographic information and gis operations from a users perspective. In Frank, A. & Kuhn, W. (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS: proceedings from European Conference, COSIT'95*, volume 988 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 107–122. Springer-Verlag.