Predstavljanje prostora i prostorno rezonovanje
Pregled

Ivana Tanasijević
Matematički fakultet, Beograd

Uvod

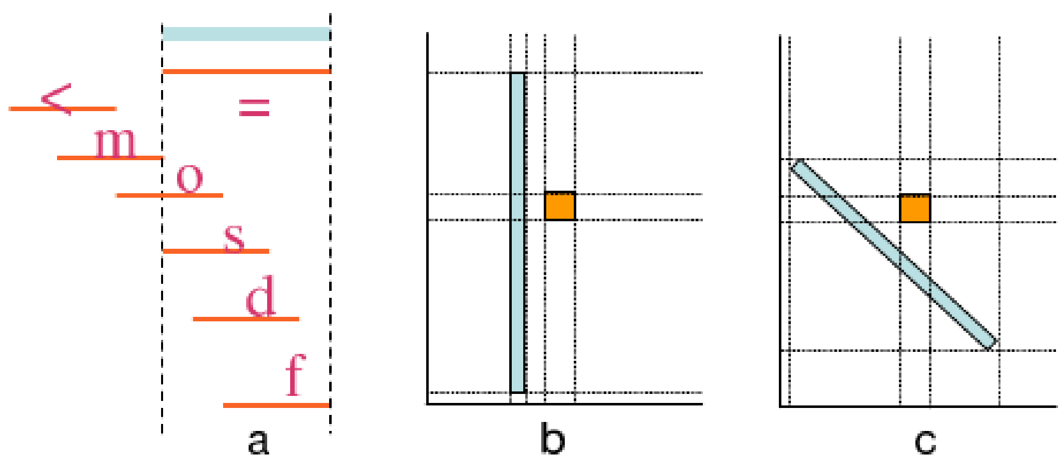
- Potreba za prostornim predstavljanjem i rezonovanjem je svuda prisutna u veštačkoj inteligenciji, od navigacije robota, preko predstavljanja vizuelnog ulaza, do razumevanja prirodnog jezika.

- Istraživano je predstavljanje zasnovano na metričkim merenjima, uglavnom kod rasterskog i vektorskog predstavljanja u GIScience.

- Ovde ćemo se baviti simboličkim i kvalitativnim predstavljanjem.

Šta je kvalitativno prostorno rezonovanje?

- Kada se radi sa jednom dimenzijom, uglavnom je dovoljno rezonovati na kvantitativan način.
- Kako je prostor višedimenzionalan, najčešće nije dovoljno predstaviti ga jednom skalarnom veličinom.



Šta je kvalitativno prostorno rezonovanje?

- Odnosi se na mnogo različitih aspekata prostora uključujući topologiju, orjentaciju, oblik, veličinu i razdaljinu.
- Predstavljanje prostora u ovim aspektima se značajno razlikuje.
- Daćemo pregled nekih od bitnijih tehnika kvalitativnog prostornog predstavljanja i rezonovanja.

Aplikacije u kojima se koristi Kvalitativno Prostorno Rezonovanje

- Istraživanje u polju QSR je motivisano velikim brojem aplikacija, medju kojima su i one iz oblasti: Geographic Information System (GIS), navigacija robota, prepoznavanje strukture dokumenata, biologija i druge

Aspekti Kvalitativnog Prostornog Predstavljanja

Ontologija

- Pod *čistim prostorom* podrazumevaćemo entitete kao što su tačke, linije, oblasti, pre nego proširene prostorne entitete kao što su fizički objekti ili geografski regioni.
- Tradicionalno su, u matematičkoj teoriji prostora, tačke smatrane za primarne primitivne entitete (eventualno tačke i linije), dok su oblasti bile definisane kao skupovi tačaka.
- U QSR zajednici postoji stroga tendencija da se oblasti smatraju primitivnim prostornim entitetima. Iako to znači da je potrebno izgraditi nove teorije za većinu prostornih i geometrijskih koncepata, postoje važni razlozi za to.

Ontologija

- Kada je izabrana ontologija, potrebno je dati odgovor na još neka pitanja:
- Da li je uključen prazan region? Da li je neophodno da oblasti budu regularne (ovo je teže zahtevati kada su dopuštene oblasti različitih dimenzija)? Da li oblasti moraju da budu povezane i kako?
- Sledeće pitanje je koja je priroda takvog prostora, odnosno šta je univerzalni entitet? Nekada je pogodno da to bude R^n, za neko n, dok je u nekom slučaju pogodniji *diskretan* i *konačan* univerzum.
- Koje primitivno izračunavanje treba koristiti? Odnosno, koje nelogičke simbole treba uvesti bez definicije?

Prostorne relacije

- Formalno, relacija *R* arnosti *k* je podskup proizvoda D_1 x … x D_k ,gde su D_i odgovarajući domeni.
- Veoma često je prostorna relacija binarna relacija i domeni su jednaki.
- Ako je dat skup relacija R = {R_1, ... , R_n}, možemo da koristimo algebarske operacije kao što su unija, presek, komplement, invert, kompoziciju relacija. Na ovaj način dobijamo *algebru relacija.*
- Treba izdvojiti relacije koje su atomične ili osnovne. Treba da važi sledeće: svaki par (a, b) iz *D* x *D* je član tačno jedne osnovne relacije.

Mereologija

- *Mereologija* se bavi teorijom sadržavanja, dobijena od Grčke reči *μερος (deo),* i formira osnovni aspekt prostornog predstavljanja.

- Može se definisati na razne načine, verovatno najviše korišćena je *minimal extensional theory*. Relacija Proper Part (PP) se uzima kao primitiva. Osnovni logički sistem je:

(SA0) Any axiom set sufficient for first-order predicate calculus with identity.

(SA1) $\forall x, y[\mathsf{PP}(x, y) \rightarrow \neg(\mathsf{PP}(y, x)]$

(SA2) $\forall x, y, z[[(\mathsf{PP}(x, y) \wedge (\mathsf{PP}(y, z)] \rightarrow \mathsf{PP}(x, z)]$

- Pomoću SA1 i SA2 definišemo PP kao relaciju parcijalnog uredjenja.

Mereologija

- Sledeći korak obezbedjuje da entitet ne može da ima samo jedan pravi deo. Aksioma kaže da entitet kaji ima jedan pravi deo, ima bar još jedan koji nema zajedničkih tačaka sa prvim.

$$(\mathrm{SA3})\ \forall x, y[\mathsf{PP}(x, y) \rightarrow \exists z[\mathsf{PP}(z, y) \wedge \neg \mathsf{O}(z, x)]].$$

- Aksioma SA6 obezbedjuje da dva entiteta koja se delimično preklapaju (overlap), imaju zajednički presek.

$$(\mathrm{SA6})\ \forall x, y[\mathsf{O}(x, y) \rightarrow \exists z \forall w[\mathsf{P}(w, z) \equiv \mathsf{P}(w, x) \wedge \mathsf{P}(w, y)]]$$

- Ovaj sistem od četiri aksiome se zove *minimal extensional mereology.*

Mereotopologija

- Topologijom jedino možemo da opišemo kvalitativne razlike, tako da ona formira osnovni aspekt QSR.

- Kako je nemoguće je definisati topologiju preko oznaka mereologije, to se one integrišu u mereotopologiju.

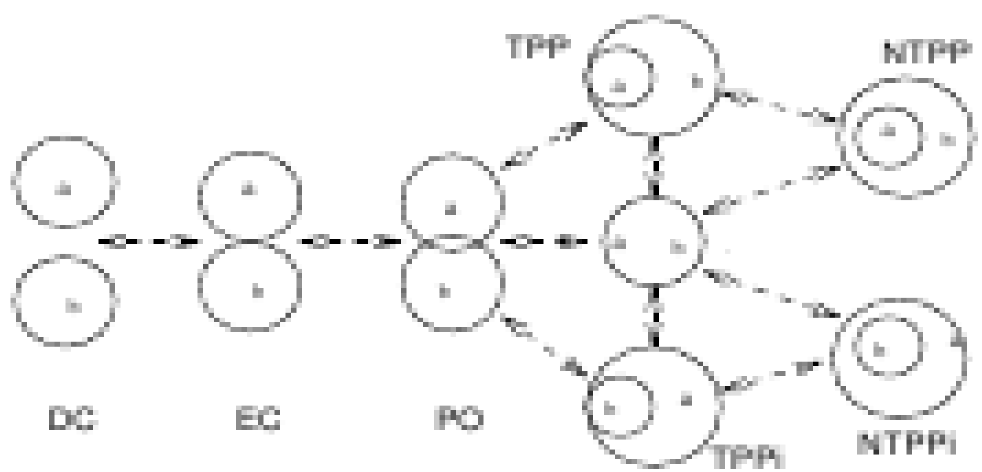
- Postoje tri glavne strategije:

- Uopštiti mereologiju dodajući topološke primitive.
- Topologija je primarna, mereologija je podteorija.
  Primer: U topologiji se preko C(x,z) definiše P(x,y)
- Topologija je podteorija mereologije.
  Ideja je da se koristi Rg(x) – x je region

$$\mathsf{C}(x,y) =_{df} \mathsf{O}(x,y) \wedge \mathsf{Rg}(x) \wedge \mathsf{Rg}(y).$$

Topologija definisana preko “n-preseka”

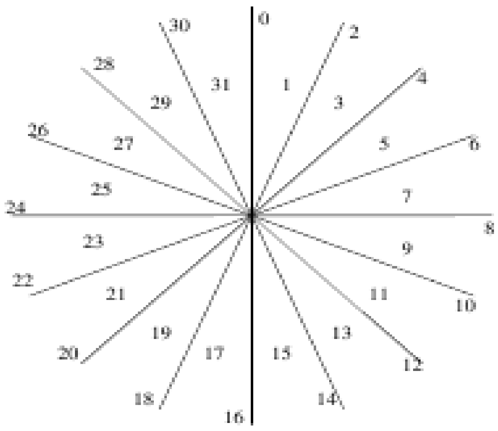
- Svakom regionu su pridružena tri skupa tačaka – unutrašnjost, granica i spoljašnjost. Relacije izmedju njih se mogu prikazati preko matrice dimenzija 3x3. Ovo je model “9-preseka”.
- Izgleda kao da ima 2^9=512 matrica, medjutim ako se uzme u obzir priroda regiona, nisu sve moguće. Dolazi se do zaključka da su moguće samo 8 matrica, što odgovara RCC-8 relacijama.

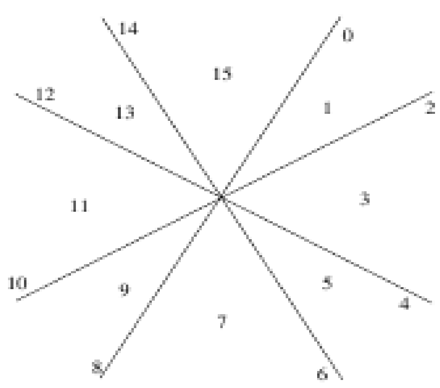


Načini predstavljanja kvalitativnih informacija

- Relacije *pravca i orjentacije* opisuju položaj jednog objekta u odnosu na drugi i mogu da budu definisane preko tri osnovna koncepta: primarni objekat, referencirani objekat i referentni okvir.

- Referentini okvir može da bude spoljašnji (istočno) i unutrašnji (levo). U prvom slučaju se uglavnom koristi STAR algebra sa proizvoljnim brojem presečnih linija.





Načini predstavljanja kvalitativnih informacija

- Relacije razdaljine se mogu podeliti u dve grupe: one koje mere nekom apsolutnom skalom i one koje omogućavaju relativno merenje.
- Kod relativnog predstavljanja se koristi primitiva *CanConnect(x,y,z),* koja je tačna ako telo *x* može da poveže *y* i *z* prostom translacijom.
- Na ovaj način se može definisati relacija "*bliže nego*", kao i relacija "*veće od*" (*x* je "veće od" *y* ako može povezati region koji *y* ne može)
- Drugi način da se odredi relativna veličina jednog tela u odnosu na drugo je da se translacijom dovedu do poklapanja (pretpostavljajuci da je oblik nebitan) i utvrdi da li je jedno telo pravi deo drugog tela.

Prostorno rezonovanje

Uvod

- Za neke svrhe je dovoljno samo predstaviti prostorne podatke. Medjutim, vrlo često je potrebno da zaključimo nešto više o datim podacima.
- *Inteligentni sistemi* mogu:
  da izvedu novo znanje na osnovu datog, da provere saglasnost datih informacija, da obnove dato znanje, da nadju minimalnu reprezentaciju, i slično.
- Iako deluje da su ovi problemi različiti, oni mogu da se transformišu jedni u druge. Algoritmi koji rešavaju jedan problem, uz malo promena, mogu da se naprave da rešavaju i ostale.
- Zbog ove osobine glavni naglasak pri istraživanju prostornog rezonovanja je na posebnom problemu – *problemu saglasnosti,* odnosno, da li je neki skup prostornih informacija saglasan ili ne.

Uvod

- Rezonovanje o prostornim podacima predstavljeno logičkom formom se ne razlikuje od rezonovanja nad drugim tipom podataka.

- Veliki deo informacija su podaci o posebnoj formi prostornih entiteta i relacijama izmedju njih. Uglavnom se radi sa binarnim ili ternarnim relacijama koje su predstavljene kao ograničenja prostornih osobina entiteta koji opisuju.

- Predstavljanje preko ograničenja daje mogućnost da se izgrade algoritmi koji su mnogo efikasniji nego standardno logičko izvodjenje, premda su manje moćni.

Prostorno rezonovanje

- Predstavljanje preko ograničenja se može zapisati logikom prvog reda

$$\exists x_1 \ldots \exists x_n \bigwedge_{i,j} \bigvee_{R \in A} R(x_i, x_j)$$

gde su $x_1, \ldots, x_n$ promenljive iz domena prostornih entiteta, *A* je skup dostupnih osnovnih relacija, $R(x_i, x_j)$ je ograničenje koje treba da zadovolje x_i i x_j.

- Rešavanje ove formule je problem zadovoljivosti ograničenja (*constraint satisfaction problem CSP*).
  Dok je standardni CSP nad *konačnim* domenom NP-kompletan, prostorni CSP nad *beskonačnim* domenom je potencijalno neodlučiv.

Teme istraživanja

- Odrediti složenost odlučivanja preko različitih prostornih računa.
- Dokazati da li je formalizam odlučiv i ako jeste, naći lako obradive skupove relacija ili čak maksimalne lako obradive skupove.
- Naći predstavljanje prostornog znanja koje daje efikasniji algoritam.
- Pronaći metod koji dokazuje laku obradivost skupova.
- Utvrditi da li je prostorno predstavljanje izvodljivo, odnosno da li se može predstaviti u ravni.

Dedukcija

- Kako su moderni SAT rešavači prilično efikasni, moguće je da se deduktivno rezonovanje iskoristi za efikasna rešenja problema prostornog rezonovanja.

- Uporedjivano je rezonovanje nad algebrom intervala koristeći metode rezonovanja nad ograničenjima sa deduktivnim rezonovanjem koristeći SAT rešavač. Prvi rezultati su da deduktivno rezonovanje može da bude mnogo efikasnije u nekim slučajevima.

Kompozicija

- Kada je dat domen D, prostorne relacije se mogu predstaviti kao podskupovi od dekartovog proizvoda D x D i mogu imati beskonačan broj članova.
- Ako je skup osnovnih (baznih) relacija A, tada je skup svih mogućih relacija 2^A, tada je lako izračunati uniju, presek i komplement.
- Najvažnija relacija koja je potrebna za prostorno rezonovanje je kompozicija.
- Izračunavanje kompozicije nije efikasno kada je domen beskonačan.

Prostorno rezonovanje nad ograničenjima

- Problem konzistentnosti se definiše ne sledeći način

  Neka je A konačan skup baznih binarnih relacija nad domenom D i neka je S bilo koja relacija. Problem konzistentnosti CSPSAT(S) se definiše kao

  Instanca: Konačan skup V promenljivih domena D i konačan skup Q binarnih ogranicenja xRy, gde je R iz S i x, y iz V

  Pitanje: Da li postoji instanca od svih promenljivih iz Q sa vrednostima iz D, takva da su sva ograničenja iz Q zadovoljena?

- Ovakvo rezonovanje koristi prepagiranje da eliminiše promenljive domena koje ne zadovoljavaju ograničenje.

Nalaženje efikasnog algoritma

- Da bi se našao lako obradiv skup prostornih relacija, potrebno je obezbediti sledeće korake

- Portebno je da imamo metod dokazivanja kompleksnosti datog skupa.
- Pronaći skupove koji su lako obradivi i koji mogu da budu podskupovi traženog skupa.
- Da bi se pokazalo da je dobijeni skup maksimalni koji je lako obradiv, treba pokazati da bilo koja relacija koja nije u skupu, ako se nadje u njemu vodi ka NP-teškom skupu. Potrebno je da imamo metod dokazivanja NP kompletnosti.
- Za kompletnu analizu, potrebno je pokazati da se skup ne može proširiti, a da ostane lako obradiv.