

PRIPOROČILNI SISTEMI

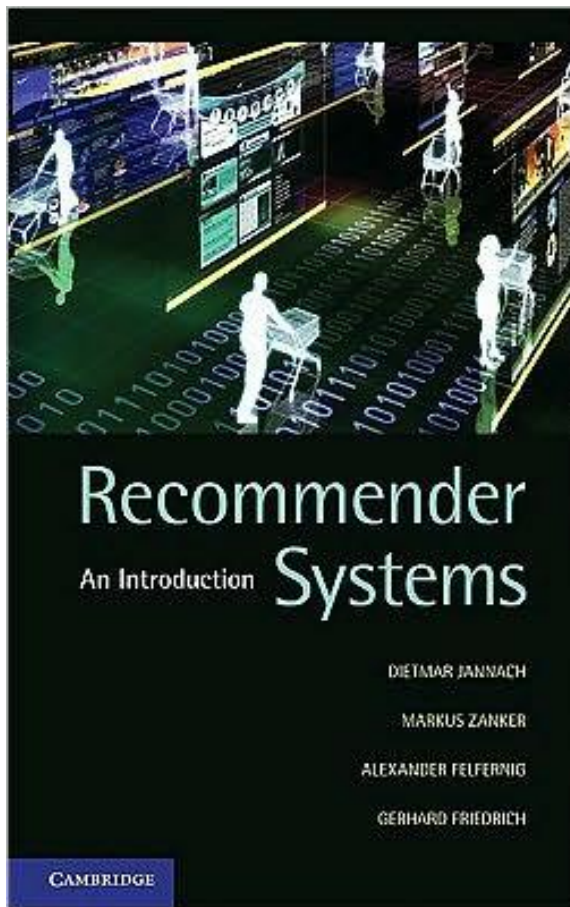
recommender systems

doc. dr. Matej Guid

Fakulteta za računalništvo in informatiko
Univerza v Ljubljani

February 2022

Jannach D, Zanker M, Felfernig A in Friedrich G. (2010). Recommender systems: an introduction. Cambridge University Press.



„RS have the potential to support and improve the quality of the decisions consumers make while searching for and selecting products online.“

(Xiao & Benbasat 2007)

Customers Who Bought This Item Also Bought



„One of the most famous examples of collaborative filtering is item-to-item collaborative filtering, an algorithm popularized by Amazon.com's recommender system.“ (Wikipedia)

- povečati št. zadetkov in kvaliteto obiskov
- optimizirati prodajo, maksimizirati dobiček



imamo podano

U = množica uporabnikov $u \in U, u = 1 \dots N$

I = skupina izdelkov $i \in I, i = 1 \dots M$

R = ratingi oz. ocene $r \in R \quad r = \{0,1\}$ ali $r = \{1,2,3,4,5\}$ ali $r = [-10,10]$

(u,i,r) = preference uporabnikov: uporabnik u je ocenil izdelek i z oceno r

Na voljo imamo lahko tudi dodatne opisne podatke o uporabnikih in izdelkih.

cilj

- pridobiti ocene relevantnosti (in nato razvrščanje...)
- z vidika predvidevanja: oceniti **R** iz **(U,I)** tako, da bo napaka čim manjša

MAE, RMSE, SSE...

**Priporočilni sistemi
z ocenjevanjem relevantnosti
zmanjšujejo
obremenjenost z informacijami**



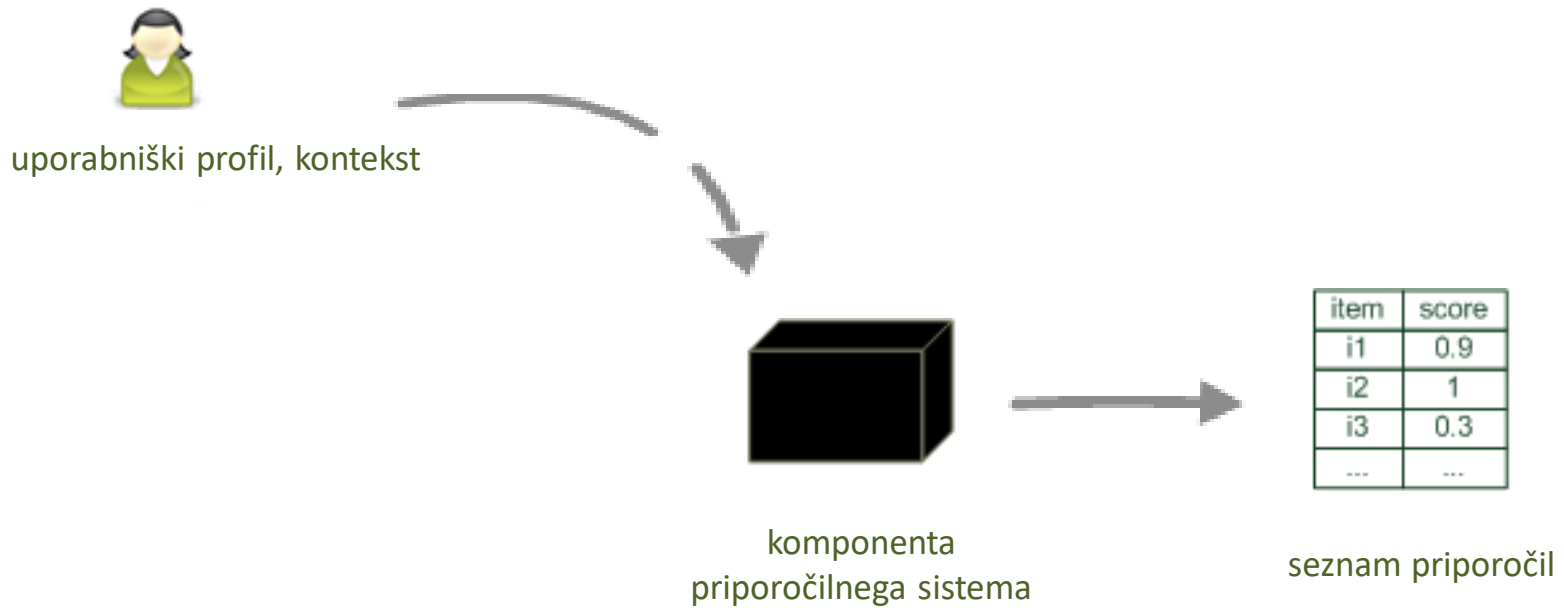
komponenta
priporočilnega sistema



item	score
i1	0.9
i2	1
i3	0.3
...	...

seznam priporočil

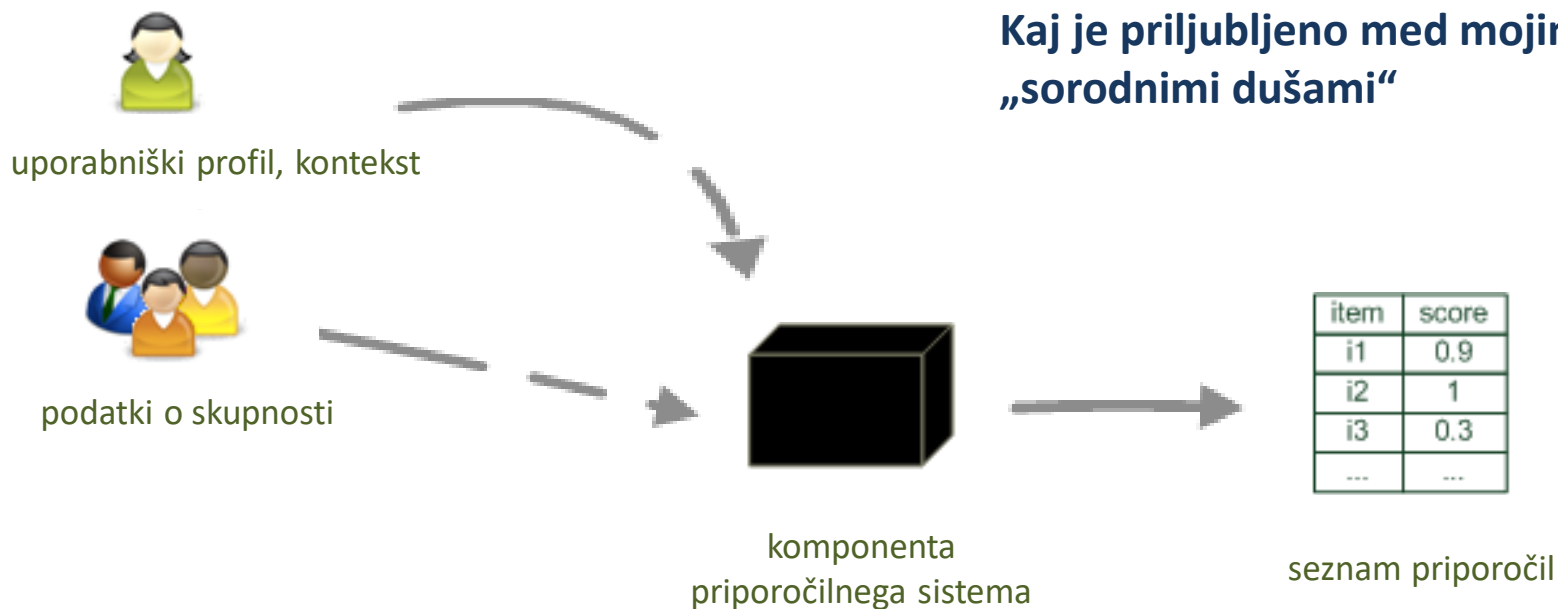
Personalizirana priporočila



collaborative filtering

Skupinsko filtriranje:

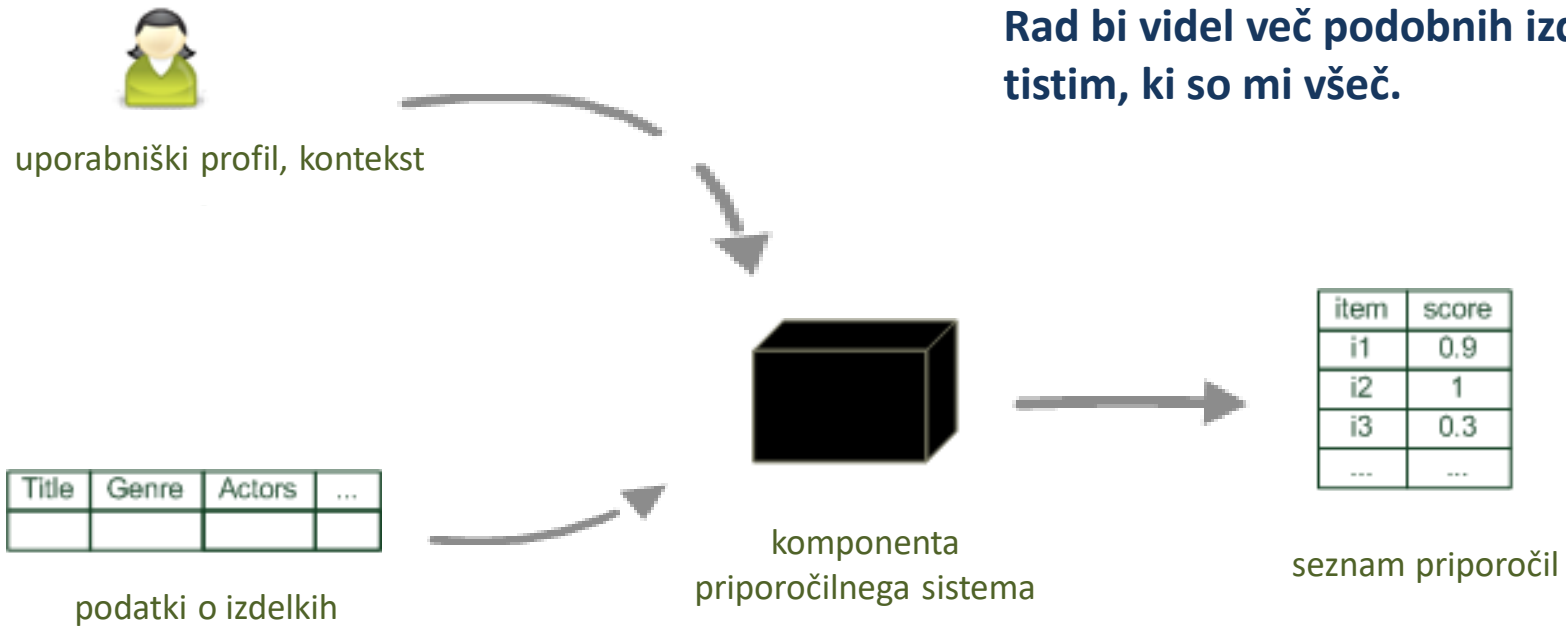
**Kaj je priljubljeno med mojimi
„sorodnimi dušami“**



content-based

Temelječi na vsebini:

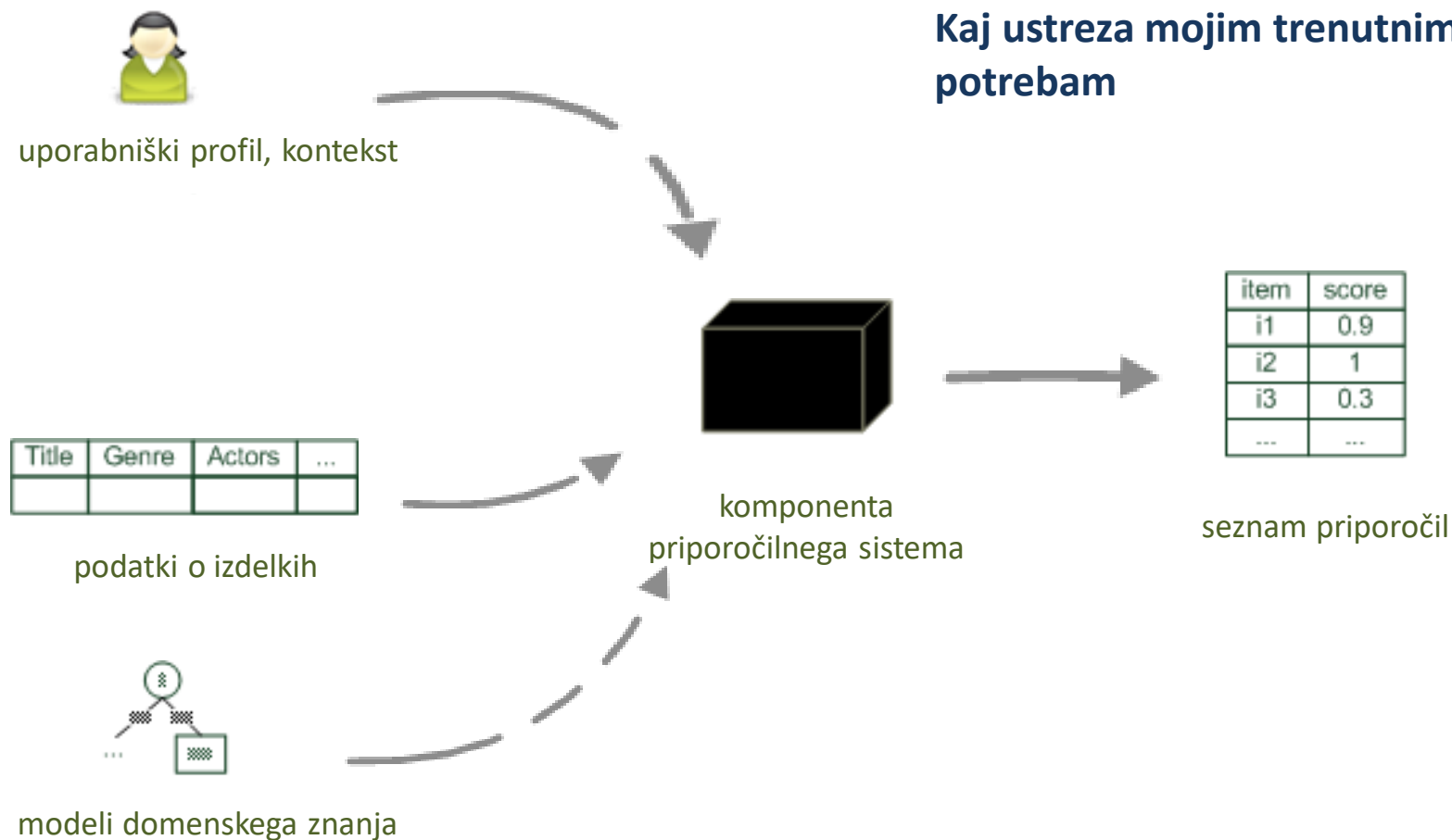
**Rad bi videl več podobnih izdelkov
tistim, ki so mi všeč.**



knowledge-based

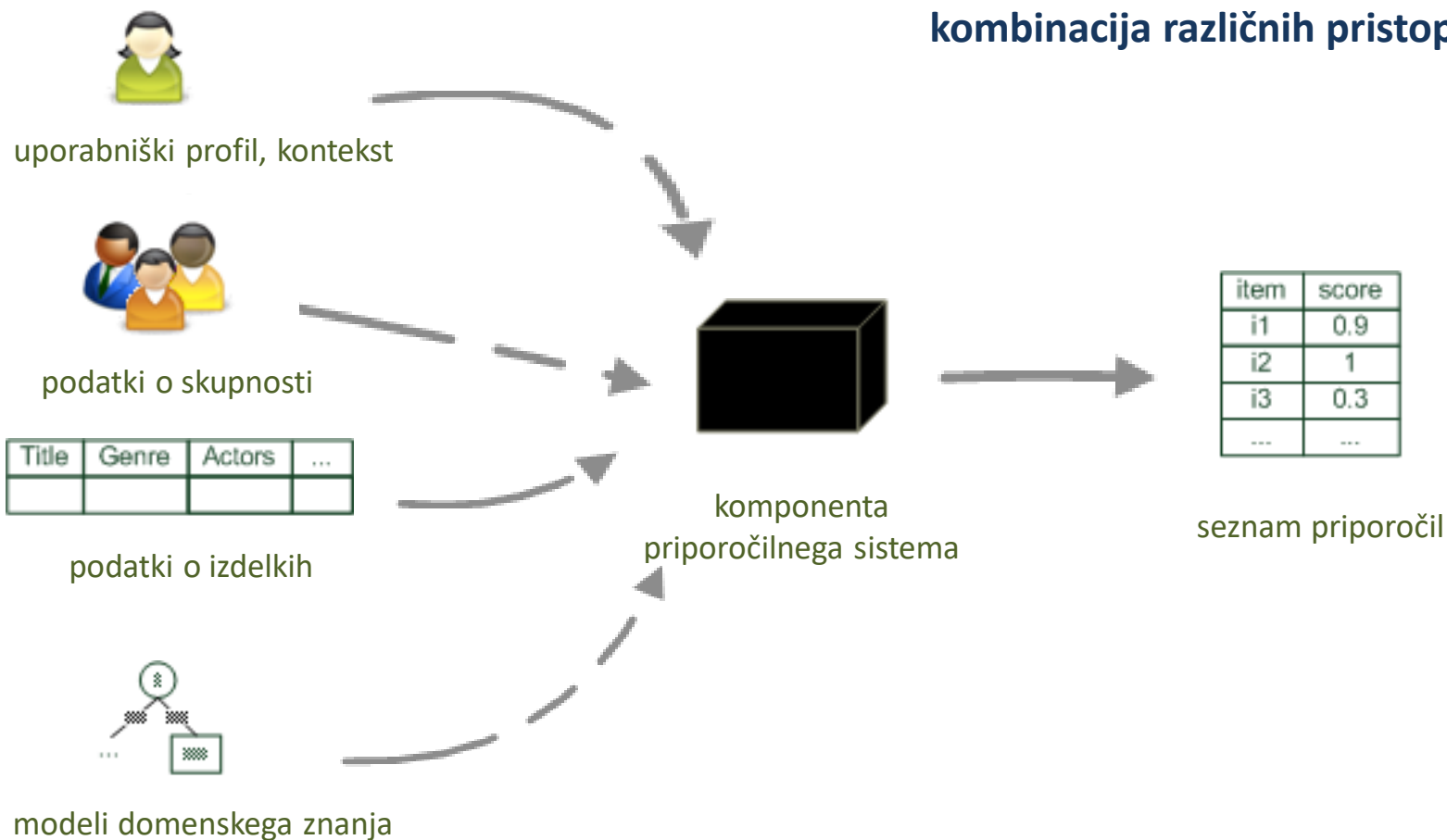
Temelječi na znanju:

Kaj ustreza mojim trenutnim potrebam



hybridization

Kombinirani:
kombinacija različnih pristopov





skupinsko filtriranje

collaborative filtering

- ni ročnega vnašanja znanja
- učenje zanimivih segmentov
- omogoča priporočanje „z repa“
- skalabilnost
- zahteva podane ocene
- novi uporabniki in novi izdelki: „hladen zagon“

temelječi na vsebini

content-based

- brez množice uporabnikov
- možnost primerjave izdelkov
- možnost razlag
- zahteva opise izdelkov
- novi uporabniki: „hladen zagon“
- ni presenečenj

temelječi na znanju

knowledge-based

- deterministično priporočanje
- tipično kvalitetna priporočila
- brez „hladnega“ začetka
- težavno zajemanje znanje (npr. iz domenskih ekspertov)
- ignoriranje kratkoročnih trendov

- najbolj priljubljena tehnika v praksi
- številni algoritmi, številne različice
- različne domene (knjige, filmi, DVD-ji, ...)



pristop

„modrost množice“ ... temelji na preferenčnem znanju množic uporabnikov

osnovna ideja in predpostavke

- uporabniki dajejo ocene izdelkom (implicitno ali eksplicitno)
- uporabniki, ki so imeli podoben okus v preteklosti, bodo imeli podoben okus še naprej

vhodni podatki

(le) matrika kombinacij ocen: uporabnik-izdelek

	Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
Uporabnik1	3	1	2	3	3
Uporabnik2	4	3	4	3	5
Uporabnik3	3	3	1	5	4
Uporabnik4	1	5	5	2	1

tipi izhodnih podatkov

- (numerična) napoved: kako vseč bo določen izdelek izbranemu uporabniku
- seznam („Top-N“) priporočenih predmetov

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

osnovna tehnika

- za izbranega uporabnika nas zanima, kateri so njemu podobni uporabniki
- z uporabo učnih podatkov ocenimo njegove preferenčne ocene neocenjenih izdelkov

osnovna ideja in predpostavke

- uporabniki, ki so imeli podoben okus v preteklosti, bodo imeli podoben okus še naprej
- uporabniške preference so stabilne in konsistentne skozi čas

PODOBNOST MED UPORABNIKI

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

- **Kako naj merimo podobnost med uporabniki**
- Kako generiramo napoved z uporabo ocen sosedov
- Koliko „sosedov“ naj upoštevamo pri tem

NERA PODOBNOSTI: PEARSONOV KORELACIJSKI KOEFICIENT

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

Pearson correlation coefficient

a, b : uporabnika

$r_{a,i}$: ocena uporabnika a za izdelek i

I : množica izdelkov, ocenjenih s strani obeh uporabnikov (a in b)

možne vrednosti so lahko na intervalu $[-1,1]$

$$sim(a, b) = \frac{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a)(r_{b,i} - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a)^2} \sqrt{\sum_{i \in I} (r_{b,i} - \bar{r}_b)^2}}$$

MERA PODOBNOSTI: PEARSONOV KORELACIJSKI KOEFICIENT

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

sim = 0,85

$$\bar{r}_{Ana} = \bar{r}_a = 4$$

$$\bar{r}_{Uporabnik1} = \bar{r}_b = 2,4$$

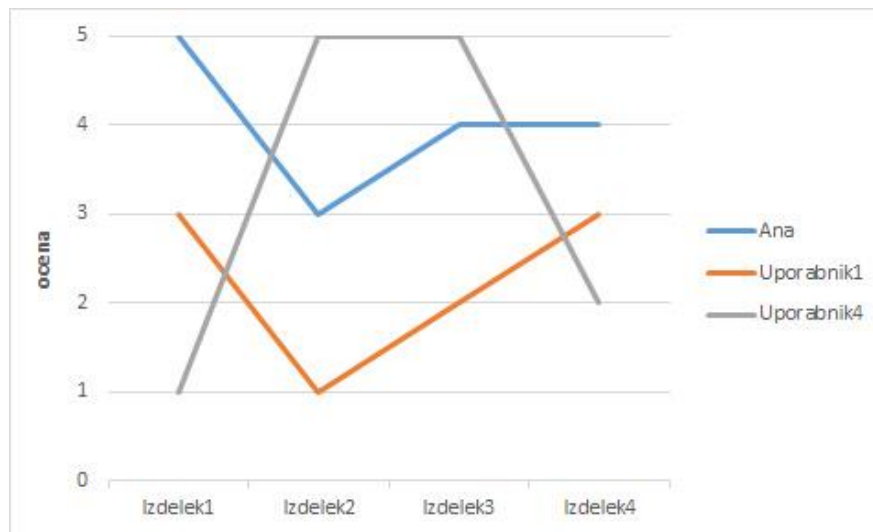
$$\frac{(5 - \bar{r}_a) * (3 - \bar{r}_b) + (3 - \bar{r}_a) * (1 - \bar{r}_b) + \dots + (4 - \bar{r}_a) * (3 - \bar{r}_b)}{\sqrt{(5 - \bar{r}_a)^2 + (3 - \bar{r}_a)^2 + \dots} \sqrt{(3 - \bar{r}_b)^2 + (1 - \bar{r}_b)^2 + \dots}} = 0,85$$

$$sim(a, b) = \frac{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a)(r_{b,i} - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a)^2} \sqrt{\sum_{i \in I} (r_{b,i} - \bar{r}_b)^2}}$$

NERA PODOBNOSTI: PEARSONOV KORELACIJSKI KOEFICIENT

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

sim = 0,85
sim = 0,70
sim = 0,00
sim = -0,79



		izdelki						
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5		
uporabniki	Ana	5	3	4	4			
	Uporabnik1	3	1	2	3	3		sim = 0,85
	Uporabnik2	4	3	4	3	5		sim = 0,70
	Uporabnik3	3	3	1	5	4		sim = 0,00
	Uporabnik4	1	5	5	2	1		sim = -0,79

- Kako naj merimo podobnost med uporabniki
- **Kako generiramo napoved z uporabo ocen sosedov**
- Koliko „sosedov“ naj upoštevamo pri tem

GENERIRANJE NAPOVEDI

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

sim = 0,85
sim = 0,70
sim = 0,00
sim = -0,79

Upoštevajmo pri izračunu samo najbolj podobna uporabnika (U1 in U2):

$$4 + \frac{(0,85 * (3 - 2,4)) + (0,70 * (5 - 3,8))}{0,85 + 0,70} = 4,87$$

$$pred(a, i) = \bar{r}_a + \frac{\sum_{b \in N} sim(a, b) * (r_{b,i} - \bar{r}_b)}{\sum_{b \in N} sim(a, b)}$$

IZBIRA RELEVANTNIH „SOSEDOV“

		izdelki						
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5		
uporabniki	Ana	5	3	4	4			
	Uporabnik1	3	1	2	3	3		sim = 0,85
	Uporabnik2	4	3	4	3	5		sim = 0,70
	Uporabnik3	3	3	1	5	4		sim = 0,00
	Uporabnik4	1	5	5	2	1		sim = -0,79

- Kako naj merimo podobnost med uporabniki
- Kako generiramo napoved z uporabo ocen sosedov
- **Koliko „sosedov“ naj upoštevamo pri tem**

neighborhood selection

▪ spodnja meja podobnosti

▪ fiksno število sosedov (tipično od 20 do 50)

Ugotavljanje podobnosti med uporabniki temelji na pomnjenju (ang. „*memory-based*“)

problem: skalabilnost

Pristopi, ki temeljijo na izgradnji napovednega modela (ang. „*model-based*“)

- *offline* predprocesiranje: učenje napovednega modela
- pri procesiranju „v živo“ uporabljamo le naučeni model
- napovedni model periodično nadgrajujemo
- uporabljane so številne tehnike (faktorizacija matrik, povezovalna pravila, ...)
- **podobnosti med izdelki** so tipično **bolj stabilne** kot podobnosti med uporabniki

PODOBOST MED IZDELKI

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

osnovna ideja

- uporabimo podobnost med izdelki (ne uporabniki) za določanje napovedi

ilustrativni primer

- poiščemo izdelke, ki so podobni *Izdelku5*
- vzemimo Anine ocene za podobne izdelke in jih uporabimo za napoved ocene

KOSINUSNA PODOBNOST

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

$$\text{sim}(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| * |\vec{b}|}$$

- koti med ocenami, le-te so n -dimenzionalni vektorji
- vrednosti med 0 in 1

Izračunajmo kosinusno podobnost med izdelkoma *Izdelek5* in *Izdelek1*:

$$\text{sim}(I5, I1) = \frac{3*3 + 5*4 + 4*3 + 1*1}{\sqrt{3^2+5^2+4^2+1^2}\sqrt{3^2+4^2+3^2+1^2}} = 0,99$$

PRILAGOJENA KOSINUSNA PODOBNOST

		izdelki						
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5		
uporabniki	Ana	5	3	4	4			
	Uporabnik1	3	1	2	3	3		$\bar{r}_u = 2,40$
	Uporabnik2	4	3	4	3	5		$\bar{r}_u = 3,80$
	Uporabnik3	3	3	1	5	4		$\bar{r}_u = 3,20$
	Uporabnik4	1	5	5	2	1		$\bar{r}_u = 2,80$

$$sim(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\sum_{u \in U} (r_{u,a} - \bar{r}_u)(r_{u,b} - \bar{r}_u)}{\sqrt{\sum_{u \in U} (r_{u,a} - \bar{r}_u)^2} \sqrt{\sum_{u \in U} (r_{u,b} - \bar{r}_u)^2}}$$

prilagojena kosinusna
podobnost

- transformacija upošteva povprečne ratinge uporabnikov
- U: množica uporabnikov, ki je ocenila oba izdelka (*a* in *b*)
- vrednosti med -1 in 1 (kot pri Pearsonovem korelacijskem koeficientu)

PRILAGOJENA KOSINUSNA PODOBNOST

		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	1,00	-1,00	0,00	0,00	
	Uporabnik1	0,60	-1,40	-0,40	0,60	0,60
	Uporabnik2	0,20	-0,80	0,20	-0,80	1,20
	Uporabnik3	-0,20	-0,20	-2,20	2,80	0,80
	Uporabnik4	-1,80	2,20	2,20	-0,80	-1,80

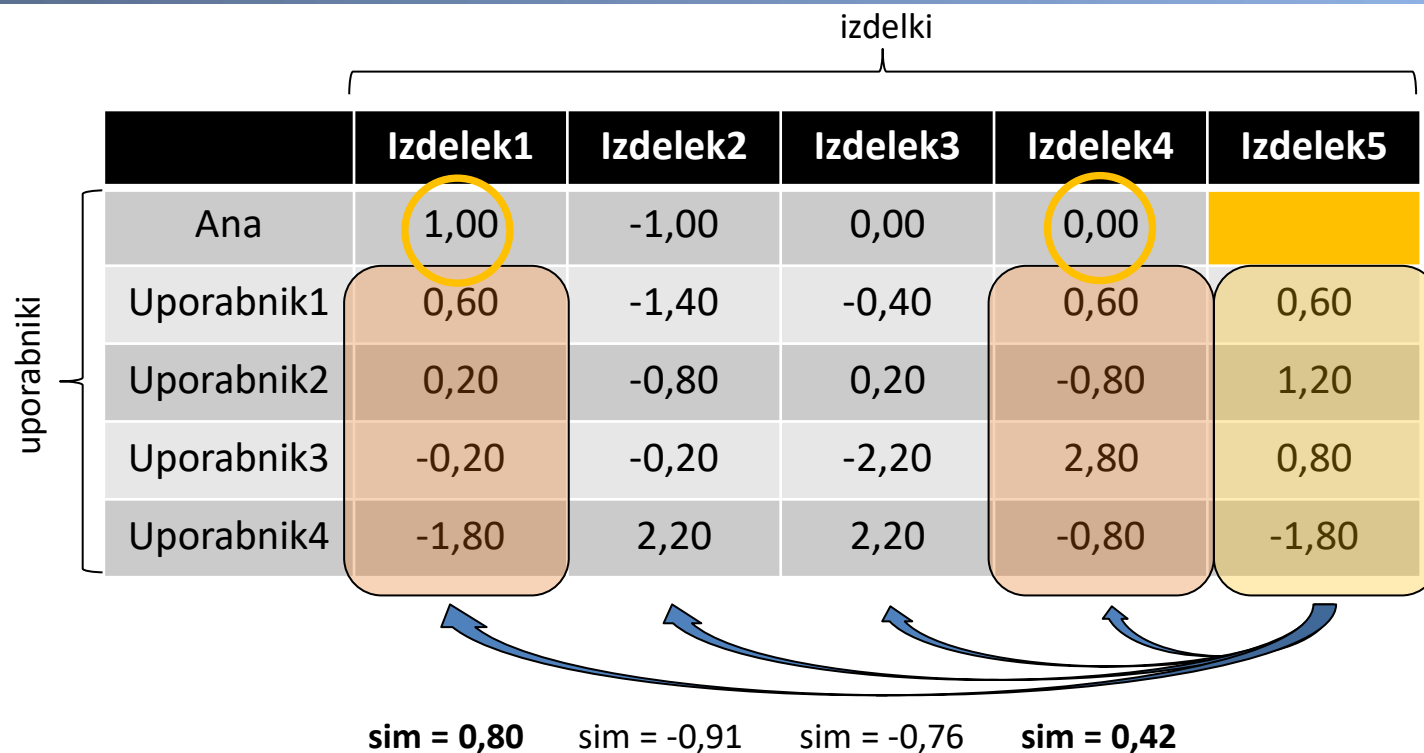
$$sim(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\sum_{u \in U} (r_{u,a} - \bar{r}_u)(r_{u,b} - \bar{r}_u)}{\sqrt{\sum_{u \in U} (r_{u,a} - \bar{r}_u)^2} \sqrt{\sum_{u \in U} (r_{u,b} - \bar{r}_u)^2}}$$

prilagojena kosinusna
podobnost

Izračunajmo prilagojeno kosinusno podobnost med izdelkoma *Izdelek5* in *Izdelek1*:

$$sim(I5, I1) = \frac{0,6*0,6 + 1,2*0,2 + 0,8*(-0,2) + (-1,8)*(-1,8)}{\sqrt{0,6^2 + 0,2^2 + (-0,2)^2 + (-1,8)^2} \sqrt{0,6^2 + 1,2^2 + 0,8^2 + (-1,8)^2}} = 0,80$$

PRILAGOJENA KOSINUSNA PODOBNOST



GENERIRANJE NAPOVEDI

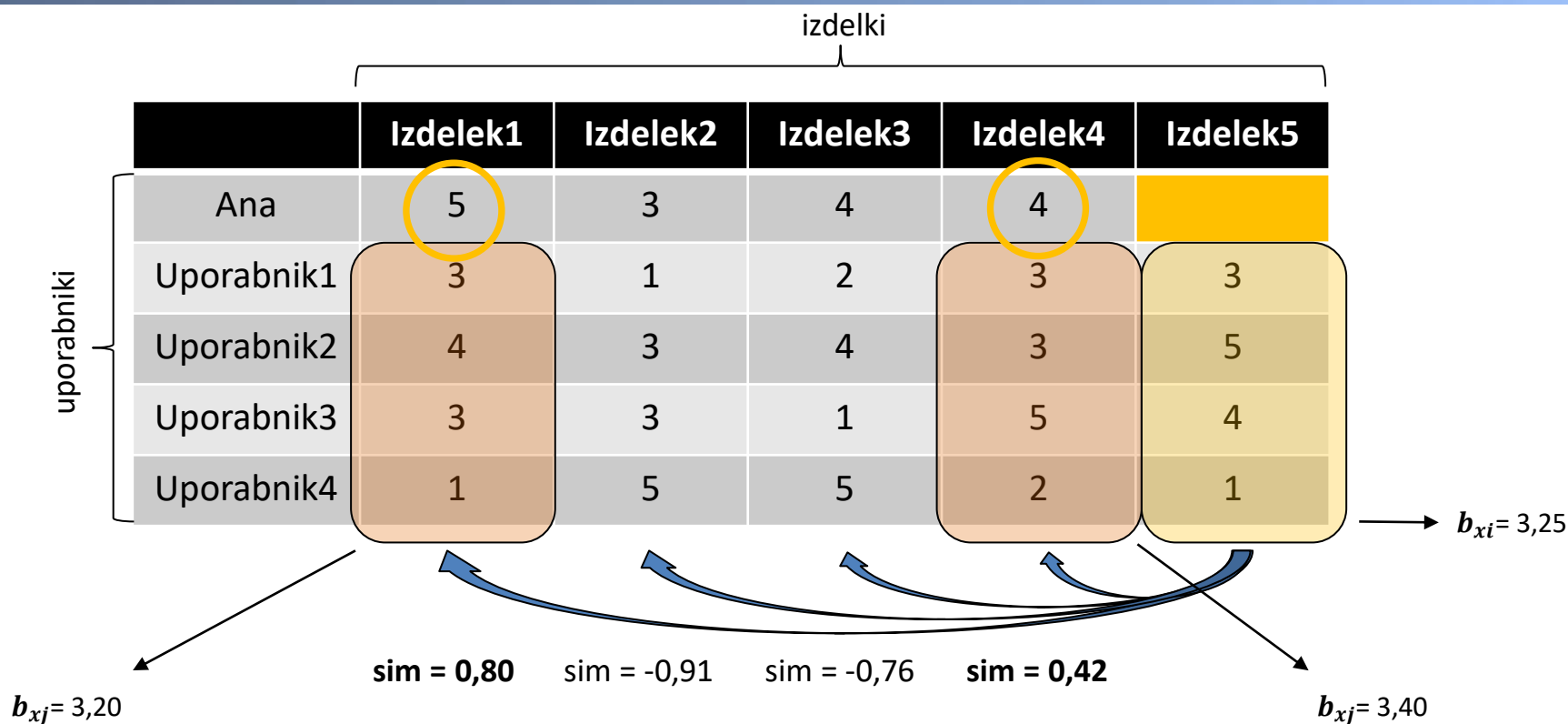
		izdelki				
		Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
uporabniki	Ana	5	3	4	4	
	Uporabnik1	3	1	2	3	3
	Uporabnik2	4	3	4	3	5
	Uporabnik3	3	3	1	5	4
	Uporabnik4	1	5	5	2	1

sim = 0,80 sim = -0,91 sim = -0,76 sim = 0,42

$$\frac{0,8*5 + 0,42*4}{0,8+0,42} = 4,66$$

$$pred(u, i) = \frac{\sum_{k \in ocenjenIzdelek(u)} sim(k, i) * r_{u,k}}{\sum_{k \in ocenjenIzdelek(u)} sim(k, i)}$$

GENERIRANJE NAPOVEDIV PRAKSI



$$r_{xi} = b_{xi} + \frac{\sum_{j \in N(i;x)} s_{ij} \cdot (r_{xj} - b_{xj})}{\sum_{j \in N(i;x)} s_{ij}}$$

upoštevamo lahko še več kriterijev,
ne le povprečnega ratinga predmeta

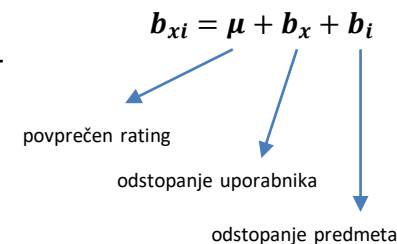
$$3,25 + \frac{(0,8 * (5 - 3,2)) + (0,42 * (4 - 3,4))}{0,8 + 0,42} = 4,90$$



„podóbnost -i ž (ó) lastnost, stanje podobnega

subjektivno!

$$r_{xi} = b_{xi} + \frac{\sum_{j \in N(i;x)} s_{ij} \cdot (r_{xj} - b_{xj})}{\sum_{j \in N(i;x)} s_{ij}}$$



ideja

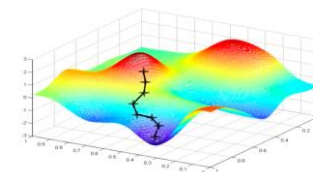
- modeliramo interakcijo med izdelki za določanje napovedi
- učimo se napovednih modelov, zastavimo kot optimizacijski problem

$$\hat{r}_{xi} = b_{xi} + \sum_{j \in N(i;x)} w_{ij} (r_{xj} - b_{xj})$$

w_{ij} modelira interakcijo med pari izdelkov (neodvisno od uporabnikov!)

minimiziramo to vrednost

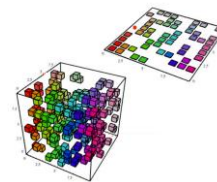
SSE: $\sum_{(i,x) \in R} (\hat{r}_{xi} - r_{xi})^2$



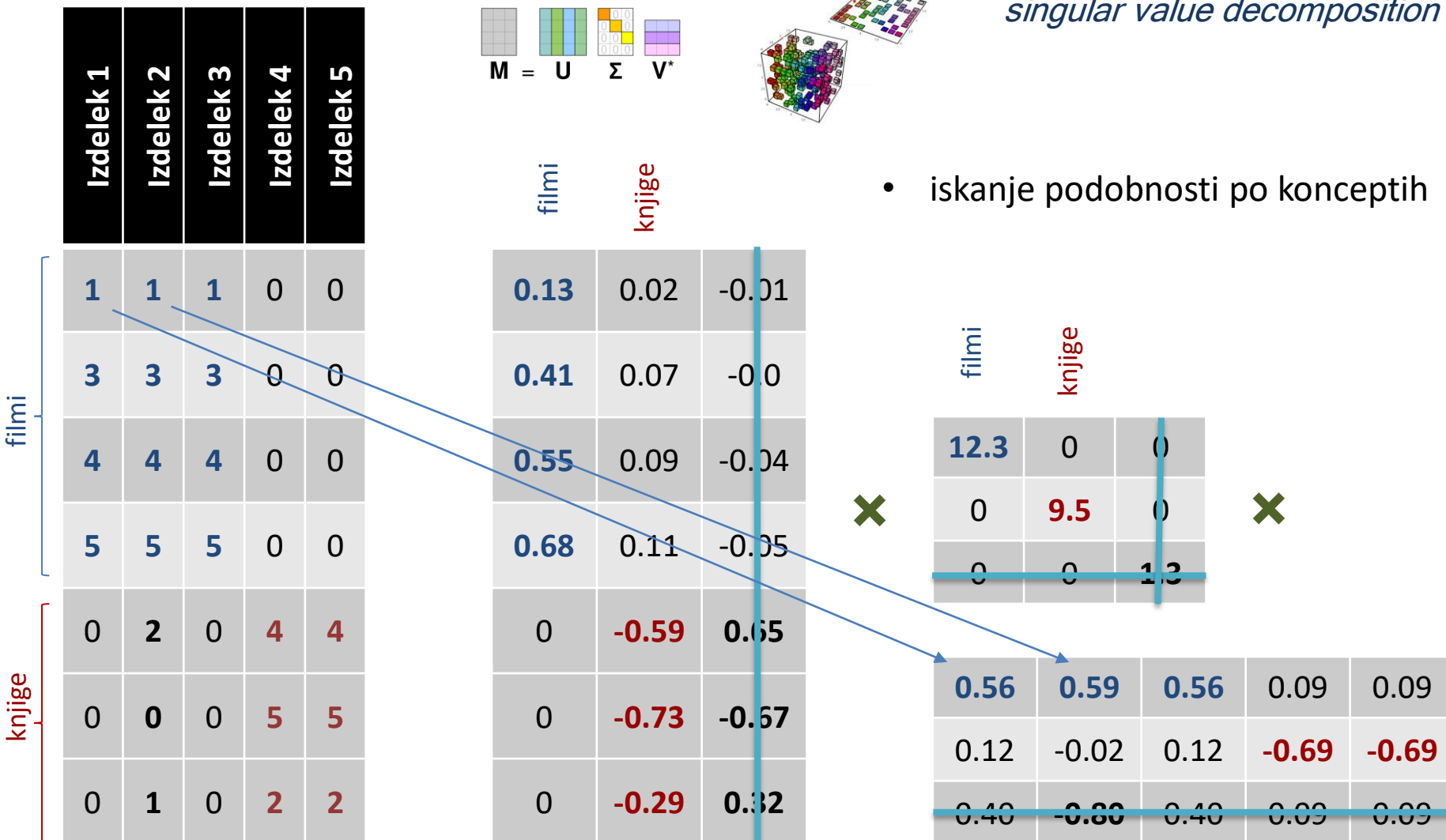
SVD - REDUKCIJA DIMENZIJ IN „PREPOZNAVANJE“ KONCEPTOV

singular value decomposition

$$M = U \Sigma V^*$$

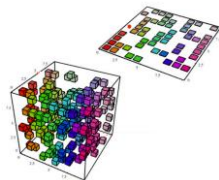


- iskanje podobnosti po konceptih



MATRIČNA FAKTORIZACIJA

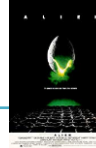
$$M = U \Sigma V^*$$



SVD - singular value decomposition

U_k	Dim1	Dim2
Ana	0,47	-0,30
Bor	-0,44	0,23
Cene	0,70	-0,06
Domen	-0,31	0,93

Σ_k	Dim1	Dim2
Dim1	5,63	0
Dim2	0	3,23

V_k^T					
Dim1	-0.44	-0.57	0.06	0.38	0.57
Dim2	0.58	-0.66	0.26	0.18	-0.36

$$\widehat{r}_{ui} = \bar{r}_u + U_k \times \Sigma_k \times V_k^T = 3 + 0,83 = 3,83$$

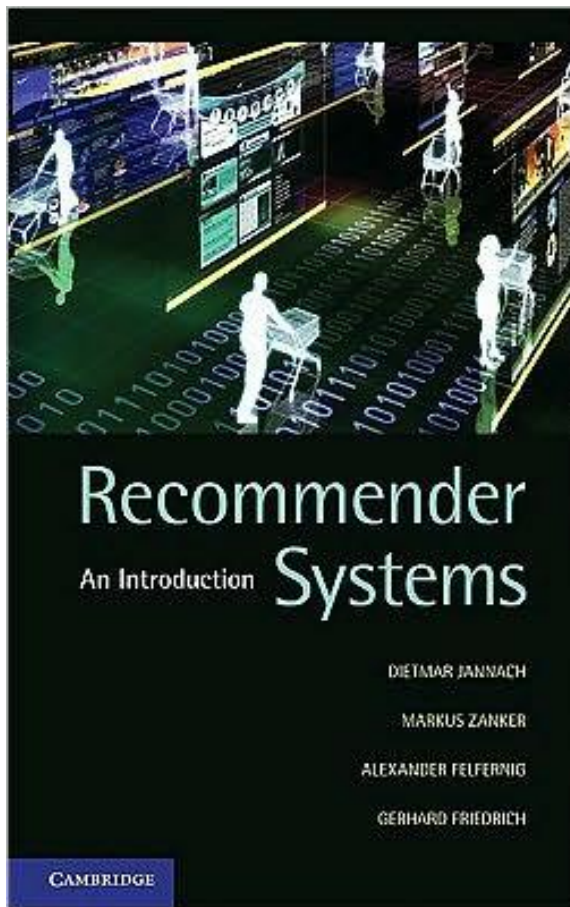
Ana

				
	-1,73	-0,87	-0,09	0,83
	1,52	0,92	0,04	-0,81
	-1,85	-2,12	0,19	1,46
	2,51	-0,99	0,68	-0,12

OCENJEVANJE KAKOVOSTI PRIPOROČIL



Jannach D, Zanker M, Felfernig A in Friedrich G. (2010). Recommender systems: an introduction. Cambridge University Press.



Kaj naj bo na seznamu priporočil?

Kako pa naj vemo, da so ta priporočila ustrezna?

Kaj so dobra priporočila?

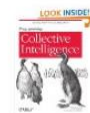
Customers Who Bought This Item Also Bought



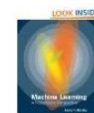
Recommender Systems
Handbook
Francesco Ricci
Hardcover
\$167.73



Algorithms of the Intelligent
Web
Haralambos Marmanis
★★★★★ (14)
Paperback
\$26.76



Programming Collective
Intelligence: ...
> Toby Segaran
★★★★★ (91)
Paperback
\$25.20



Machine Learning: A
Probabilistic ...
> Kevin P. Murphy
★★★★★ (15)
Hardcover
\$81.00



Data Mining: Practical
Machine Learning ...
> Ian H. Witten
★★★★★ (29)
Paperback
\$42.61

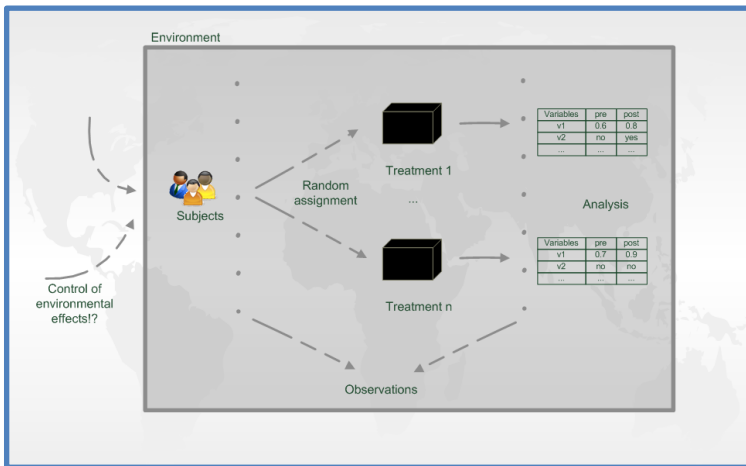
KAJ SO DOBRA PRIPOROČILA?

- povečati št. zadetkov in kvaliteto obiskov
- optimizirati prodajo, maksimizirati dobiček



testiranja z resničnimi uporabniki

- A/B testiranja
- mere: prihodki od prodaje, promocija izbranih izdelkov, št. klikov, % ponovnih obiskov...



laboratorijska testiranja

- nadzorovani eksperimenti
- mere: zadovoljstvo uporabnikov...

„offline“ testiranja

- zgodovinski podatki
- mere: natančnost napovedi...

Mean Absolute Error (MAE) meri razliko med napovedanimi in dejanskimi ocenami

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_i - r_i|$$

Root Mean Square Error (RMSE) prav tako, vendar bolj občutljiv na večja odstopanja

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - r_i)^2}$$

Ali je zmotiti se za 20 enot dvakrat slabše kot zmotiti se za 10 enot?

Ali nas res zanimajo vrednosti za vse izdelke? Ali pa morda samo za najbolj relevantne?

MERJENJE NAPAK PRI NAPOVEDIH

		RESNIČNOST	
		dobro	slabo
NAPOVED	dobra ocena	TRUE POSITIVE tp	FALSE POSITIVE fp
	slaba ocena	FALSE NEGATIVE fn	TRUE NEGATIVE tn

natančnost
precision

vsi priporočeni izdelki

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp} = \frac{|good\ movies\ recommended|}{|all\ recommendations|}$$

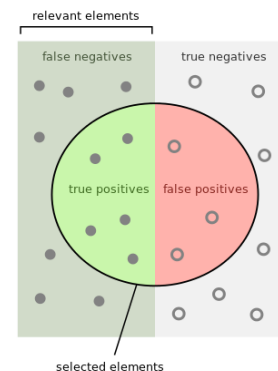
% priporočenih filmov, ki so res dobri

vsi dobri izdelki

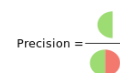
$$Recall = \frac{tp}{tp + fn} = \frac{|good\ movies\ recommended|}{|all\ good\ movies|}$$

% priporočenih od vseh dobrih filmov

priklic
recall



How many selected items are relevant?



Precision =

How many relevant items are selected?



Recall =

PRIPOROČANJE S POMOČJO POVEZOVALNIH PRAVIL



zaupanje (ang. confidence)



“**90%** transakcij, ki vsebujejo kruh in maslo, vsebujejo tudi mleko;
30% transakcij vsebuje vse tri izdelke (kruh, maslo in mleko).”



podpora (ang. support)

Primer 1

“90% **uporabnikom**, ki sta jim vseč izdelek A in izdelek B, je vseč tudi izdelek C;
30% uporabnikom so vseč vsi trije izdelki.”

Primer 2

“90% **izdelkov**, ki so vseč uporabnikoma A in B, je vseč tudi uporabniku C;
30% vseh izdelkov je vseč vsem trem.”

Primer 3

“90% izdelkov, ki so vseč uporabniku A in **niso vseč** B-ju, je vseč tudi uporabniku C;
30% vseh izdelkov je vseč uporabnikoma A in C, medtem ko uporabniku B niso vseč.”

zaupanje (ang. confidence)



**“90% transakcij, ki vsebujejo kruh in maslo, vsebujejo tudi mleko;
30% transakcij vsebuje vse tri izdelke (kruh, maslo in mleko).”**



podpora (ang. support)

Kako pretvoriti ocene uporabnikov v „transakcije“

Kako povezovalna pravila uporabiti za namen priporočanja

PRIPOROČANJE S POMOČJO POVEZOVALNIH PRAVIL

	Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
Ana	1	0	0	0	
Uporabnik1	1	0	1	0	1
Uporabnik2	1	0	1	0	1
Uporabnik3	0	0	0	1	1
Uporabnik4	0	1	1	0	0

najenostavnejši pristop

- pretvorimo ocene v binarna števila
- 1 = nadpovprečna ocena uporabnika

povezovalna pravila

- npr. *Izdelek1* → *Izdelek5*  brez Ane
- podpora (2/4), zaupanje (2/2)

priporočila

- poiščemo relevantna pravila (zgornje pravilo je relevantno, ker je Ana kupila *Izdelek1*)
- poiščemo izdelke, ki jih Ana še ni kupila
- razvrstimo te izdelke glede na vrednost zaupanja pravil

dodatne možnosti

- „ni mi všeč“ opcije v pravilih, povezovalna pravila z uporabniki (ne z izdelki)...

	U1:D	U1:N	U2:D	U2:N	U3:D	U3:N	Tomaž:D
Izdelek1	1	0	1	0	1	0	0
Izdelek2	0	1	0	0	1	0	1
Izdelek3	1	0	0	1	1	0	1
Izdelek4	0	1	0	1	0	1	0
Izdelek5	1	0	0	1	0	0	1

“90% **izdelkov**, ki so všeč uporabnikoma A in B, je všeč tudi uporabniku C;
30% vseh izdelkov je všeč vsem trem.”

$$U_A:D \wedge U_B:D \rightarrow U_C:D \quad (\text{z 90\% zaupanjem in 30\% podporo})$$

“90% izdelkov, ki so všeč uporabniku A in **niso všeč** B-ju, je všeč tudi uporabniku C;
30% vseh izdelkov je všeč uporabnikoma A in C, medtem ko uporabniku B niso všeč.”

$$U_A:D \wedge U_B:N \rightarrow U_C:D \quad (\text{z 90\% zaupanjem in 30\% podporo})$$

	U1:D	U1:N	U2:D	U2:N	U3:D	U3:N	Tomaž:D
Izdelek1	1	0	1	0	1	0	0
Izdelek2	0	1	0	0	1	0	1
Izdelek3	1	0	0	1	1	0	1
Izdelek4	0	1	0	1	0	1	0
Izdelek5	1	0	0	1	0	0	1

$$U_A:D \wedge U_B:D \rightarrow U_c:D \quad (\text{z } ___\% \text{ zaupanjem in } ___\% \text{ podporo})$$

“50% izdelkov, ki so všeč uporabnikoma U1 in U3, je všeč tudi Tomažu;
20% vseh izdelkov je všeč vsem trem.”

$$U_A:D \wedge U_B:N \rightarrow U_c:D \quad (\text{z } ___\% \text{ zaupanjem in } ___\% \text{ podporo})$$

“100% izdelkov, ki so všeč uporabniku U1 in **niso všeč** uporabniku U2, je všeč tudi Tomažu;
40% vseh izdelkov je všeč uporabniku U1 in Tomažu, medtem ko uporabniku U2 niso všeč.”

Korak 1

Poiščemo pravila, ki prožijo za ciljnega uporabnika. (kaj mu je všeč?)

$$U_A:D \wedge U_B:D \rightarrow U_x:D$$

$$U_A:D \wedge U_B:N \rightarrow U_x:D$$

Korak 2

Za vsako pravilo izračunamo zmnožek vrednosti *podpora* in *zaupanje* :

$$rezultat_{pravidlo_k} = podpora_{pravidlo_k} \times zaupanje_{pravidlo_k}$$

Korak 3

Za vsak izdelek izračunamo vrednost po naslednji formuli:

$$rezultat_{izdelek_i} = \sum_{k=1}^n rezultat_{pravidlo_k} \mid \text{če } pravilo_k \text{ proži za } izdelek_i$$

Korak 4

Priporočimo izdelke z največ zbranimi točkami (oz. z najvišjim rezultatom).

POVEZOVALNA PRAVILA Z UPORABNIKI: ILUSTRATIVNI PRIMER

user associations

Kateri izdelek naj priporočimo uporabniku UX?

	U1:D	U1:N	U2:D	U2:N	U3:D	U3:N	U4:D	U4:N	UX:D
Izdelek1	1				1			1	0
Izdelek2				1			1		0
Izdelek3	1		1			1		1	1
Izdelek4		1		1		1			?
Izdelek5		1				1			1
Izdelek6	1		1			1		1	?
Izdelek7	1					1		1	1
Izdelek8	1		1						?

Za katera pravila velja: UX:D = 1?

Za katere izdelke pravilo proži?

Izračunamo rezultat za vsak izdelek.

	supp	conf	score
U1:D=1 → UX:D=1	0,250	0,400	0,100
U4:N=1 → UX:D=1	0,250	0,500	0,125
U1:D=1 U4:N=1 → UX:D=1	0,250	0,500	0,125
U3:N=1 → UX:D=1	0,375	0,600	0,225
U1:D=1 U3:N=1 → UX:D=1	0,250	0,667	0,167
U3:N=1 U4:N=1 → UX:D=1	0,250	0,667	0,167
U1:D=1 U3:N=1 U4:N=1 → UX:D=1	0,250	0,667	0,167

Izdelek4	Izdelek6	Izdelek8
0	1	1
0	1	0
0	1	0
1	1	0
0	1	0
0	1	0
0	1	0

Izdelek4	Izdelek6	Izdelek8
0,000	0,100	0,100
0,000	0,125	0,000
0,000	0,125	0,000
0,225	0,225	0,000
0,000	0,167	0,000
0,000	0,167	0,000
0,000	0,167	0,000

Na osnovi izračuna uporabniku priporočimo Izdelek6:

0,23	1,08	0,10
------	-------------	------

	I1:D	I2:D	I3:D	I4:D	I5:D	I6:D	Ix:D
Uporabnik1	1	0	0	0	1	0	0
Uporabnik2	0	1	0	0	1	0	1
Uporabnik3	1	0	0	1	1	0	1
Uporabnik4	0	1	1	1	0	1	0
Uporabnik5	1	0	0	1	0	0	1

“90% **uporabnikom**, ki sta jim všeč izdelek A in izdelek B, je všeč tudi izdelek C;
30% uporabnikom so všeč vsi trije izdelki.”

$$I_A:D \wedge I_B:D \rightarrow I_C:D \quad (\text{z 90\% zaupanjem in 30\% podporo})$$

“100% uporabnikom, ki sta jim všeč izdelek I1 in izdelek I4, je všeč tudi izdelek Ix;
40% uporabnikom so všeč vsi trije izdelki.”

Ali naj izdelek AX priporočimo uporabniku Uporabnik6?

	A1:D	A2:D	A3:D	A4:D	A5:D	A6:D	A7:D	A8:D	AX:D
Uporabnik1	1				1			1	0
Uporabnik2				1			1		0
Uporabnik3	1		1			1		1	1
Uporabnik4		1		1		1			?
Uporabnik5		1				1			1
Uporabnik6	0		1			1			?
Uporabnik7	1					1		1	1
Uporabnik8	1		1						?

KORAK 1:

Za katera pravila $I_A:D \wedge I_B:D \dots \wedge I_N:D \rightarrow I_X:D$ velja,
da so izbranemu uporabniku vseh izdelki pred „→“?

KORAK 2:

Določimo minimalno zahtevano podporo:
npr. za katera pravila velja $\text{supp} > 0,25$?

	supp
A1:D=1 → AX:D=1	0,250
A6:D=1 → AX:D=1	0,375
A8:D=1 → AX:D=1	0,250
A1:D=1 A8:D=1 → AX:D=1	0,250
A1:D=1 A6:D=1 → AX:D=1	0,250
A6:D=1 A8:D=1 → AX:D=1	0,250

Pravilo A6:D=1 → AX:D=1 ima zadostno podporo, zato izbranemu uporabniku izdelek AX priporočimo.

Možnost uporabe mešane strategije, kombiniramo lahko:

❑ povezave med uporabniki:

tipično vodijo do bolj točnih napovedi

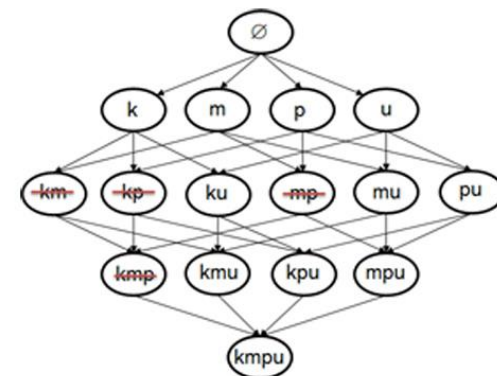
iščemo povezovalna pravila le za enega uporabnika hkrati!

❑ povezave med izdelki:

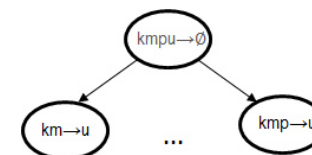
tipično hitrejše delovanje

uporabne še zlasti v primerih nizke podpore pri povezavah med izdelki

iščemo povezovalna pravila le za en izdelek hkrati!



V glavi pravila je le en uporabnik/izdelek hkrati!



Že nizko število pravil lahko vodi do dobrih priporočil!

Lin, W., Alvarez, S. A., & Ruiz, C. (2002). Efficient adaptive-support association rule mining for recommender systems. *Data mining and knowledge discovery*, 6(1), 83-105.

$$\text{Sparsity} = 1 - |R|/|I| \cdot |U|$$

R = ocene ... *ratings*

I = izdelki ... *items*

U = uporabniki ... *users*

ime	domena	uporabniki	izdelki	ocene	razpršenost
BX	knjige	278.858	271.379	1.149.780	0,9999
EachMovie	filmi	72.916	1.628	2.811.983	0,9763
Jester	vici	73.421	101	~ 4.100.000	0,4471
MovieLens	filmi	71.567	10.681	~ 10.000.000	0,9869
Netflix	filmi	~ 480.000	~ 18.000	~ 100.000.000	0.9999

Priljubljene množice podatkov. Vir: *Recommender systems: an introduction* (2010)

„hladen zagon“ *cold start problem*

Kako priporočati nove izdelke?

Kaj priporočati novim uporabnikom?

neposreden pristop

- od uporabnikov zahtevamo ocene izbrane množice izdelkov
- na začetku uporabimo neosebna priporočila, priporočila temelječa na vsebini, ...

alternative

- uporabimo algoritme, ki predpostavljajo „**tranzitivnost**“ med sosedi

	Izdelek1	Izdelek2	Izdelek3	Izdelek4	Izdelek5
Ana	5	3	4	4	?
Uporabnik1	3	1	2	3	?
Uporabnik2	4	3	4	3	5
Uporabnik3	3	3	1	5	4
Uporabnik4	1	5	5	2	1

sim = 0,85

predvidimo najprej oceno podobnega uporabnika

ideja

- predpostavljamo, da obstaja zelo podoben uporabnik, ki še ni ocenil izbranega izdelka
- izbrano metodo CF uporabimo rekurzivno in predvidimo to oceno
- uporabimo predvideno oceno namesto ocene bolj oddaljenih sosedov

Zhang, J., & Pu, P. (2007). A recursive prediction algorithm for collaborative filtering recommender systems. In *Proceedings of the 2007 ACM conference on Recommender systems* (pp. 57-64). ACM.

PROBLEM RAZPRŠENOSTI OCEN: VEČ VREDNOSTI ZA MIN. PODPORO

data sparsity

Kateri izdelek naj priporočimo uporabniku Uporabnik1?

	A1:D	A2:D	A3:D	A4:D	...	A6:D	A7:D	A8:D
Uporabnik1	1	0	1	0	...	?	?	?
Uporabnik2	1	0	1	0	...	1		
Uporabnik3	1	0	1	0	...	1		
Uporabnik4	1	0	1	1	...		1	1
Uporabnik5	1	0	1	1	...			1
Uporabnik6	1	1	1	1	...			1
...	...	...	...	...	...	...	...	...

redki izdelek

$A1:D \wedge A3:D \rightarrow A6:D$ (s 33% zaupanjem in 33% podporo)

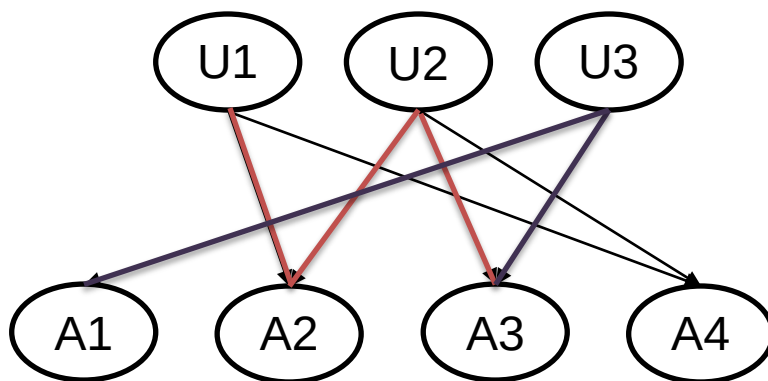
$A1:D \rightarrow A8:D$ (s 50% zaupanjem in 50% podporo)

ideja

- min. podpora preprečuje „eksplozijo pravil“, vendar preprečuje pravila z redkimi izdelki(!)
- uporabimo lahko več vrednosti za min. podporo, pri tem upoštevamo relativno frekvenco ocen
- pri odločanju glede priporočila damo večji pomen bližnjim sosedom

Gedikli, F., & Jannach, D. (2010). Neighborhood-restricted mining and weighted application of association rules for recommenders. In *Web Information Systems Engineering–WISE 2010* (pp. 157-165). Springer Berlin Heidelberg.

Kateri izdelek naj priporočimo uporabniku U1?

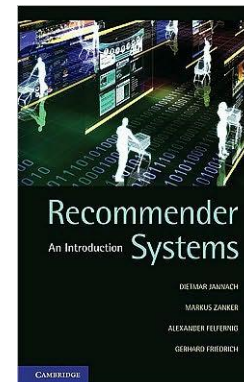


ideja

- uporabimo daljšo pot (>3 povezave) za dajanje priporočil
- dolžina 3 (klasične metode): priporočimo izdelek A3
- dolžina 5: priporočimo lahko tudi izdelek A1

Huang, Z., Chen, H., & Zeng, D. (2004). Applying associative retrieval techniques to alleviate the sparsity problem in collaborative filtering. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 22(1), 116-142.

- Jannach D., Zanker M., Felfernig A. in Friedrich G. (2010). Recommender systems: an introduction. Cambridge University Press.



- Segaran T. (2007) Programming Collective Intelligence, drugo poglavje (Making recommendations).
- Lin, W. (2000). Association rule mining for collaborative recommender systems (Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute).

**PRIPOROČANJE S POMOČJO
POVEZOVALNIH PRAVIL**

