

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



15. Ostale paradigme nekonvencionalnega procesiranja

II.Stopnja RI, 2019/2020

Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

10.januar
2020



1. Nekonvencione platforme in metode procesiranja

Platforme (P) in metode (M)

Predelano do sedaj:

2. QCA + computing (P+M)
3. Reversible computing (M)
4. Ternary computing (M)
5. tQCA (M+P)
6. Cellular automata (M)
7. DNA computing (P+M)
8. Amorphous computing (M)
9. Nanotubes (P)
10. MEMS&NEMS devices (P)
11. Quantum computing (M)
12. Natural computing (M)
13. Analogous computing (M)
14. Optical computing (P)

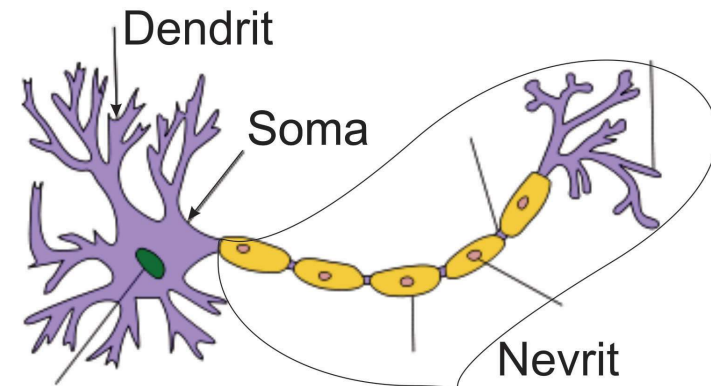
Ostale paradigme:

- WetWare computing
- Chemical computing - Reaction – diffusion computing)
- Domino computing
- Molecular computing
- Human computation
- Ostalo: peptide computing, nanocomputing, fluidics computing, itd.



2. WetWare computing

- Angl. *Organic computer, artificial organic brain, neurocomputer*
- Sistem: zgrajen iz živih nevronov (živčnih celic)
- Funkcija nevrona: proženje in prevajanje živčnih impulzov
- Sestava nevrona:
 - PERIKARION ali SOMA (telo nevrona)
 - DENDRITI: izrastki iz telesa nevrona (dendritsko drevo)
 - NEVRIT (angl. *axon*): najdaljši izrastek iz some (dolžina do 1 m)





- Funkcija dendritov – dendriškega drevesa (I):
 - sprejemanje informacij (sinaptičnih signalov) od sosednjih (do nekaj 1000) nevronov
 - dolžina do 1mm
- Funkcija nevrita (O, redkeje I):
 - večinoma služi kot izhod iz some (O)
 - po njem se prenaša izhodni signal proti drugemu nevronu
 - redkeje ima nevit vhodno funkcijo (I)
 - običajno je nevit le eden, povezave pa tvori z več nevroni
- Funkcija some (procesiranje): evaluacija vsote živčnih impulzov (pragovna funkcija)



- Na nevrni vstopi iz soma vsota dražljajev, ki jih pridobijo dendriti; vsota dražljajev mora biti večja od nekega predvidenega praga (v tem primeru se sproži akcijski potencial – **potujoči signal**)
- Definicija **sinapse**: možni kontakt med nevrnom enega nevrona in dendritom ali somo drugega nevrona (aksodendritske in aksosomatske sinapse)
- Nevriti: primarni prevodniki živčnega sistema in se združujejo v živce
- Sinaptični signali: aktivacijski (vzburjevalni) ali represijski (angl. excitatory or inhibitory)
- Posebni nevroni:
 - Nevroni brez dendritov
 - Nevroni brez nevrta



- „Sinaptični signalni proces“ – deloma električen, deloma v obliki kemijskih reakcij
- Primerjava z računalniškim sistemom:
 - Imamo vhodni segment (dendritsko drevo)
 - Imamo izhodno-vhodni segment (nevrit)
 - Prag: pragovno procesiranje – kontrolirana pogojna propagacija signala
 - Imamo signal (akcijski potencial)
 - Imamo možnost izkoriščati električno vzburljivost nevrona
- WetWare = Neurocomputing ??



- Umetni (angl. artificial) nevron (UN):
 - n vhodov (ideja dendritov)
 - Vršni matematično funkcijo:
 - Različne uteži posameznih vhodov w_{kj} (j indeks vhoda – vplivnega nevrona – nevrita, k indeks opazovanega nevrona), x_j vhodna vrednost
 - Seštevanje vhodov v izhodno vrednost
 - Izhodna vrednost se funkcijsko obdela preko aktivacijske (sigmoidne, stopničaste, nelinearne, itd.) prevajalne funkcije f ; slednje predstavlja prenos preko nevrita (sinaptični vpliv na druge UN v zaporedju)
- Povezovanje UN v umetna nevronska omrežja

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^n (w_{kj}x_j)\right)$$



- Vrste prevajalnih funkcij y :
 - Stopničaste
 - Linearne kombinacije
 - Sigmoidne
- Metodološka pristop:
 - Nevronske mreže
 - Možnosti učenja (avtomatizirano prilagajanje pragov in prevajalnih funkcij posameznih nevronov)

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } u \geq \theta \\ 0 & \text{if } u < \theta \end{cases}$$



3. Chemical computing (CC)

- Kemijsko procesiranje (angl. *chemical computing, reaction diffusion computing*)
- Kemijski računalnik (CC):
 - **reakcijsko difuzijski sistem**
 - **BZ computer (Belousov Zhabotinsky)**
 - **Gooware computer**
- Nosilci časovno spremenljivega stanja sistema:
 - Spremenljive koncentracije kemijskih zvrsti
- Operacije procesiranja se izvajajo na osnovi **naravno porajajočih** se kemijskih reakcij;



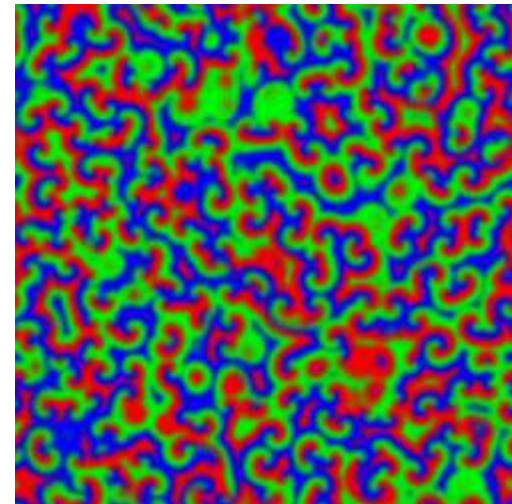
- Definiciji difuzije:
 - spontano širjenje snovi, toplote, gibalne količine, itd. zaradi **prostorske nehomogenosti** opazovanih fizikalnih količin
 - rezultat **turbulentnega gibanja** snovi, ne pa samih kemijskih reakcij ali delovanja zunanjih sil
- Hitrosti difuzije:
 - v plinih difuzija najhitrejša (npr. dim v zraku),
 - v tekočinah počasnejša (črnilo v vodi),
 - v snoveh najpočasnejša (toplota v gretem telesu)



- Reakcijska difuzija: difuzija pogojena s kemijskimi reakcijami (dinamika) -> na osnovi nje si interpretiramo dinamiko procesiranja (menjavanje stanj sistema)
- Prednosti CC:
 - Robustnejši od tehnologij za snovanje procesorjev (CMOS)
 - Tok podatkov v klasičnem procesorju je omejen – poti (bitov - podatkov) so predvidene
 - Tok podatkov v CC ni prostorsko omejen -> bogatejša zaloga možnih izhodnih stanj in posredno dinamike (analogija s člov.možgani – hitrost prenosa podatkov ni velika, a nabor poti je v primerjavi s klasičnim procesorjem večji)



- Kemijske reakcije imajo v osnovi tendenco, da vodijo do **ravnovesij** (stabilnih) stanj
- Obstajajo posebne skupine reakcij, ki ne vodijo v ravnovesja (stabilna stanja), temveč ciklirajo – krožijo med dvema stanjema -> ni tendence ravnovesja
- Primeri razreda cikličnih reakcij: reakcije Belousov Zhabotinskega (angl. *BZ cocktails*, *BZ computer*)
- Zgleda cikličnih dinamik – slika desno

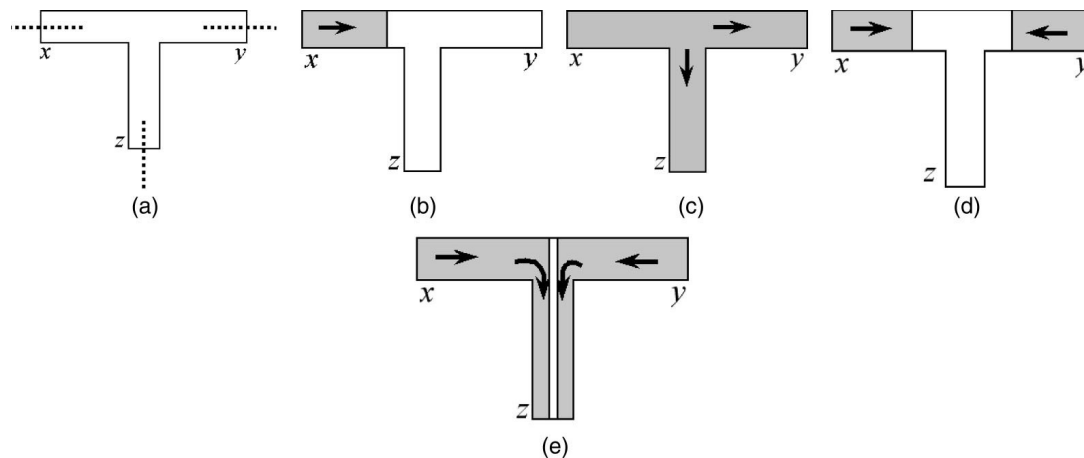




- Tipičen zgled tovrstnega procesiranja [1]:
 - Enostaven primer reakcijsko difuzijskih logičnih XOR vrat
 - Vhod (2x): Dva prostorsko ločena difuzna valova istega reaktanta
 - Procesiranje: Ob interakciji valov se tvori **nov vzorec** (izhod)
 - Reaktor: paladijev klorid, medij: gel



- $Z = X \text{ xor } Y$
- Lokacije meritev toka označene z „.....“
- (b): $X(t) = \text{High}$, $Y(t) = \text{Low}$, (c): $Z(t+1) = \text{High}$
- (d): $x(t) = \text{High}$, $Y(t) = \text{High}$, (e): $Z(t+1) = \text{Low}$ (nepobarvani sektor), slika – vir [1]





- Film „Belousov Zhabotinsky reaction“:
<https://www.youtube.com/watch?v=IBa4kgXI4Cg>
- Film kemijski oscilator (3:30)
<https://www.youtube.com/watch?v=ew7juIUGKZw>

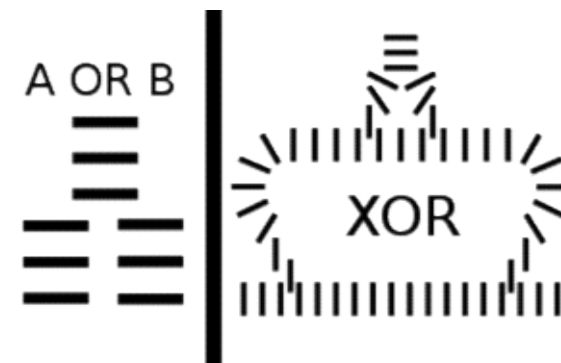


4. „Domino“ procesiranje

- Domino computer (DC):
 - Mehanski sistem po principu domin
 - Dinamika temelji na podiranju domin
- Zgledi uporabe:
 - Mehansko ojačanje impulza
 - Aplikacije logičnih vrat (log.vhodi in izhodi)
- Zgledi:
 - A or B
 - A xor B
- Poln funkcijski nabor:
 - $A \text{ xor } 1 = \text{Neg}(A)$... negacija
 - $(A \text{ or } B) \text{ xor } (A \text{ xor } B) = A \& B$... Konjukcija
 - OR, NEG, AND -> poln funkcijski sistem



- Shemi razpostavitvev OR in XOR vrat (glej sliko desno)
- Problem Domino computinga:
 - Način razpostavitvev domin
 - Nezmožnost resetiranja
- Domina leži (logična 1), domina stoji (logična 0) -> neposredna izdelava negatorja nemogoča
- Funkcije s samimi log.vhodi nič ne morejo poroditi logične enice (ni podiranja domin);
- Kaj že narejeno: 4 bitni seštevalnik





5. Molecular computing

- Reševanje NP polnih problemov (Adlemanov eksperiment)
- Pomnjenje v DNA (2012, 2013)
- Procesiranje v DNA (že obdelano)
- Transcriptor – prvi DNA tranzistor
<http://www.extremetech.com/extreme/152074-standford-creates-biological-transistors-the-final-step-towards-computers-inside-living-cells> (2013)
- Film Molecular factory
<https://www.youtube.com/watch?v=TZZmhVEeZ4U>



Viri

- [1] A.Adamatzky, B.De Lacy Costello: Experimental logical gates in a reaction-diffusion medium: The XOR gate and beyond, PHYSICAL REVIEW E **66**, 046112, 2002.