

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo  
in informatiko



# 15. Ostale paradigme nekonvencionalnega procesiranja

II.Stopnja RI, 2022/2023

Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

5.januar  
2023



# 1. Nekonvencione platforme in metode procesiranja

## Platforme (P) in metode (M)

### Predelano do sedaj:

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

### Ostale paradigme:

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

15. Ostale paradigme

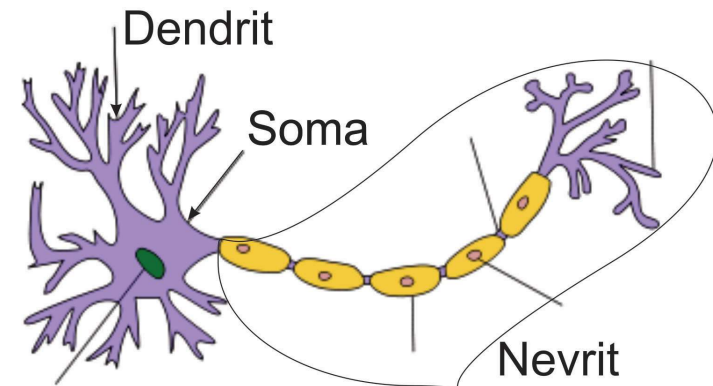


- Kaj pravi Wikipedia?  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Unconventional\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Unconventional_computing)



## 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 nevrta (O, redkeje I):
  - večinoma služi kot izhod iz some (O)
  - po njem se prenaša izhodni signal proti drugemu nevronu
  - redkeje ima nevrta vhodno funkcijo (I)
  - običajno je nevrta le eden, povezave pa tvori z več nevrni
- Funkcija some (procesiranje): evaluacija vsote živčnih impulzov (pragovna funkcija)



- Na nevrin vstopi iz some 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 nevrinom 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 nevrina



- „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)
  - Vrši 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;



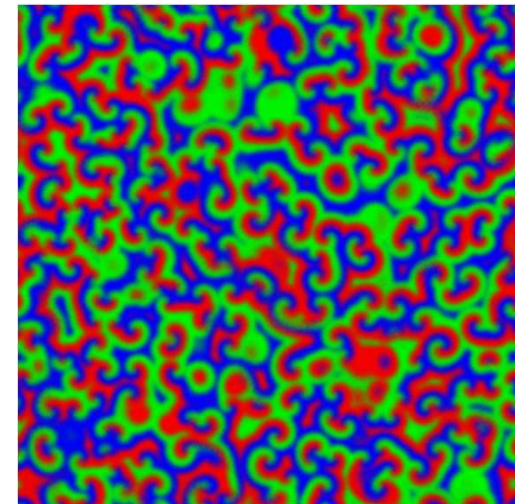
- Definiciji difuzije:
  - spontano širjenje snovi, toplote, gibalne količine, itd. zaradi **prostorske nehomogenosti** opazovanih fizikalnih količin
  - rezultat **turbulentnega gibanja** snovi, ne pa samih kemijskih reakcij ali delovanja zunanjih sil
- Hitrosti difuzije:
  - v plinih difuzija najhitrejša (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

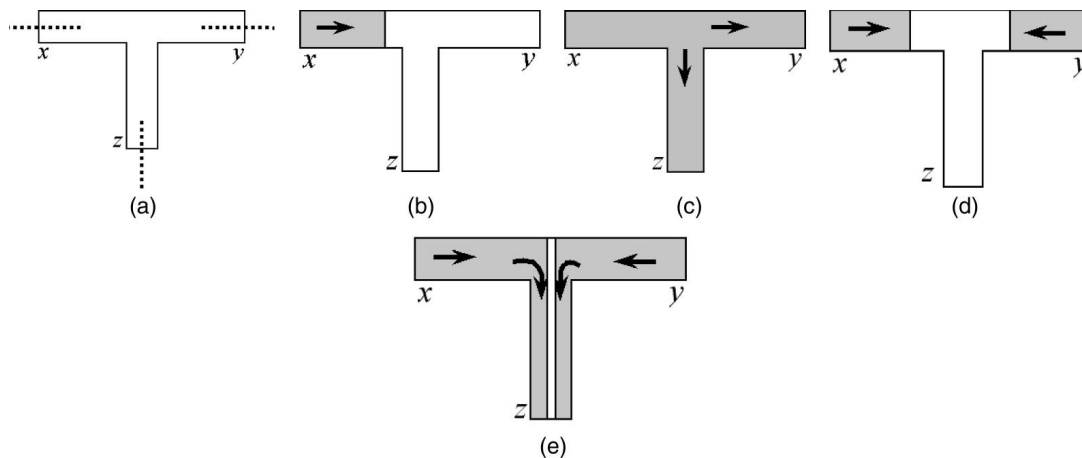




- Tipičen zgled tovrstnega procesiranja [1]:
  - Enostaven primer reakcijsko difuzijskih logičnih XOR vrat
  - Vhod (2x): Dva prostorsko ločena difuzna valova istega reaktanta
  - Procesiranje: Ob interakciji valov se tvori **nov vzorec** (izhod)
  - Reaktor: paladijev klorid, medij: gel



- $Z = X \text{ xor } Y$
- 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>



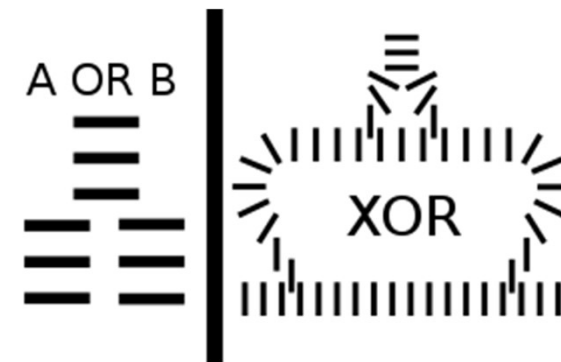


## 4. „Domino“ procesiranje

- 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>



## 6. Kognitivno procesiranje

- Kognitivno procesiranje se ukvarja s področjem modeliranja človeškega zaznavanja, sklepanja in odzivanja na stimulanse;
- Cognitive computing is **the use of computerized models to simulate the human thought process in complex situations where the answers may be ambiguous and uncertain**. The phrase is closely associated with IBM's cognitive computer system, Watson;
- Metodologije: signalno procesiranje, AI



# 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.