

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



2. EQCA – razširjeni kvantni celični avtomati

II.stopnja RI, 2014/2015

Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

8. oktober
2014



1. Uvod

- angl. *extended quantum-dot cellular automata* – EQCA
- osnovni cilj: postavitve strukture zmožne procesiranja tako dvovrednostnih, kot tudi večvrednostnih logičnih operacij
- pozabljeni zgodovinski termin: analogno procesiranje (angl. *analogue computing*)



2. Motivacija za trovrednostno logiko

- angl. *Ternary computing* (D.E.Knuth – prof.emeritus: Stanford University)
- prednosti trojiškega zapisa (glej vir [1]):
 - trditev: baza 2 je premajhna, 10 prevelika, 3 najbližje idealu
 - štetje: 0,1,2,10,11,12,20,21,22,100,101....
 - $19_{10} = 10011_2 = 201_3$
- splošno: $\dots d_3 r^3 + d_2 r^2 + d_1 r^1 + d_0 r^0$
- r – baza, d – digiti (kodi) n vrednostnega zapisa
- vrednostni zapisi glede na n niso ekvivalentni



- desetiški zapis = (?) štetje na prste
- dvojiški zapis: ustreza tehnologiji izvedbe logičnih operacij, ki je izšla iz dvostanjskih sistemov (enostavno in zanesljivo)
- trojiški zapis ($r=3$): najefektivnejši – najbolj ekonomičen zapis
- unarni zapis: $1.000.000 = 111111\dots\dots\dots 1$
- minimizacija dolžine zapisa vodi v eksplozijo potencialne zaloge vrednosti digitov
- minimizacija potencialne zaloge digitov vodi v eksplozijo dolžine zapisa
- idealen zapis: ustrezno razmerje med dolžino zapisa (w) in velikostjo potencialne zaloge digitov – kodov (r)



- cilj: doseganje $\min(r^* w)$, pri zadrževanju konstantne vrednosti r^w
- problem lažje analitično rešljiv, če $r, w \in R$: analitična rešitev nam za rešitev ponuja $r=e$ (približno 2,718)
- glede na to, da je 3 najbližje po vrednosti e , v večini primerov predstavlja najustreznejšo izbiro vrednostnega izpisa

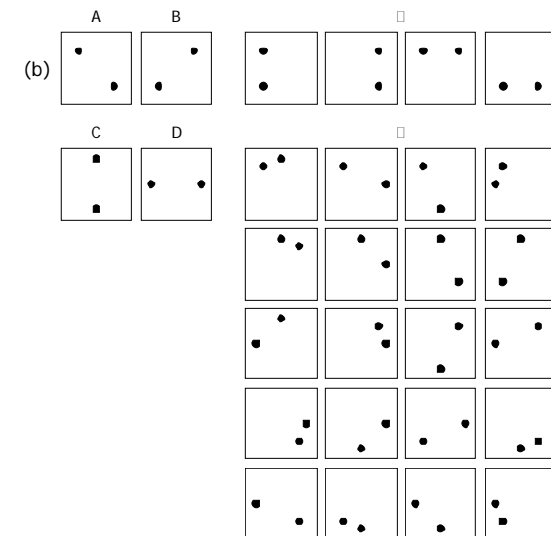
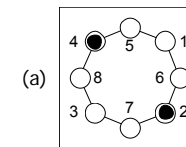


- družina računalnikov Setun (bivša Sovjetska zveza):
 - Moscow state University 1958
 - Balanced ternary computer (digi -1,0,1)
 - Tryte (\equiv byte): 6 trits (\cong 9,5 bits)
 - Proizvedenih 50 enot
- Ternary arithmetic [2]:
 - Predstavitev velikih števil z manj ciframi (manjše enote obdelave (npr. 1 zložni dostopi do pomnilnika), manjša kompleksnost priključkov)
 - Od logike do tranzistorskih implementacij



3. tQCA celica kot primer EQCA

- Ternary QCA (trojiški QCA) [3]
- Cilj: posplošitev celice, ki se bo v doslej danih pogojih obnašala kot klasična Lentova, v dodatnih razširjenih pogojih pa po konceptu trovrednostne logike
- Slika zgoraj: osem točkovna celica z dvema elektroni, spodaj A, B, C, D kot stabilna stanja in preostala "nedosegljiva" stanja v tQCA celicah
- Modeliranje je temeljilo na predhodno prikazanih fizikalnih temeljih kvantne fizike



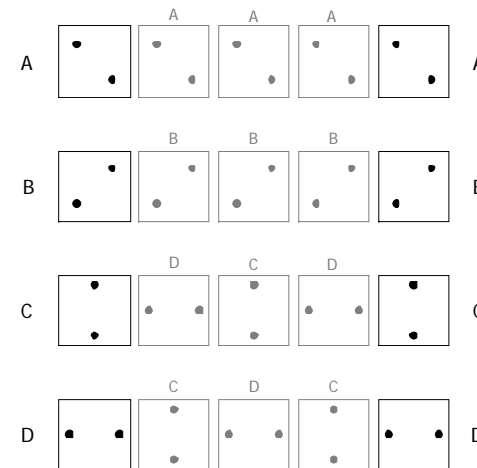


- Štiri pike na istih legah, kot v Lentovi celici
- Nove štiri pike ponujajo dve novi diagonalni legi elektronov
- Imena "diagonalnih leg":
 - A: logična "0" po Lentu
 - B: logična "1" po Lentu
 - C: nova vertikalna lega
 - D: nova horizontalna lega



4. Dinamika linije v tQCA strukturah

- Linija – žica kot možnost transfera podatkov v tQCA strukturah
- Delovanje:
 - prenos A in B enak kot pri Lentu
 - prenos C in D je alternirajoč: za transfer uporabljamo samo linije – žice lihih dolžin





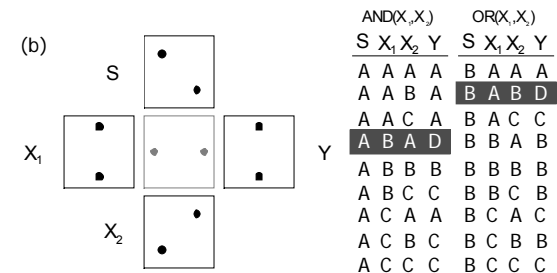
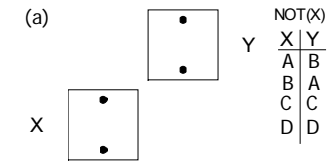
5. Obravnava štirih možnih stanj v tQCA celici

- Zaradi kompleksnosti simulacijskih izračunov se vrednosti D (horizontalna lega elektronov) odpovemo kot vrednosti na vhodnih celicah
- Hipoteza: vrednosti D nikdar ne dobimo kot vrednosti na izhodnih celicah \rightarrow na vseh in izhodih pričakujemo le vrednosti $\{A, B, C\}$ \rightarrow množico proglasimo za trovrednostni sistem $\{0, 1, 1/2\}$, seveda le na vhodnih celicah in izhodih; vrednost D dopuščamo kot vrednost v "notranjih" celicah strukture
- S prehodom na trovrednostni sistem (trovrednostna logika) se opremo na trovrednostno logično teorijo po Lukasiewicz-u (obstaja množica trovrednostnih logik, Lukasiewiczova le ena od mnogih)



6. Trovrednostna negacija, konjunkcija in disjunkcija

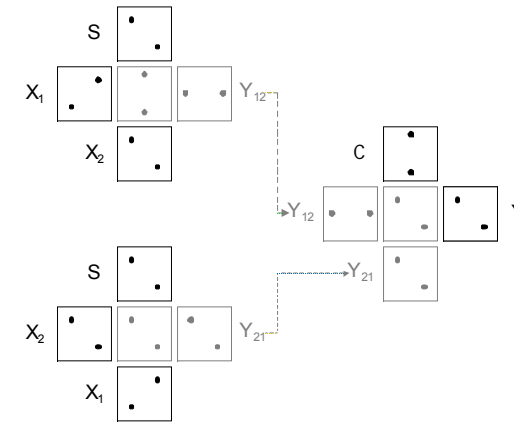
- Negacija (zgoraj): deluje korektno v primerih vhodov A, B, C; vhod D nas ne zanima;
- AND, OR (spodaj): S vrši funkcijo izbire med AND in OR in je tako možna vrednost na vhodu le 0 ali 1; vsi funkcijski izhodi ustrezajo logičnim tabelam po Lukasiewiczu, razen v primerih AND(1,0) (pravilno 0-A) in OR (0,1) (pravilno 1-B), ko funkcije ne delujeta pravilno; še več na izhodu dobimo neželjeni D
- pade hipoteza, da bomo večinska majoritetna vrata le razširili (glede na vrata Lenta)





7. Popravki majoritetnih vrat

- Potrebna je dopolnitev ali popravilo majoritetnih vrat;
- Rešitev na sliki na desno: uporabimo troja majoritetna vrata, s čimer dosežemo obnašanje "po" Lukasiewicz-evi trovrednostni pravilnostni tabeli; pomen: detekcija in eliminacija vrednosti D [3]
- Spodaj: pravilnostna Lukasiewiczzeva tabela



S, X, X ₂	S, X, X ₁ , Y ₁₂	S, X ₂ , X ₁ , Y ₂₁	C, Y ₁₂ , Y ₂₁ , Y	Y
0 0 0	A A A A	A A A A	C A A A	0
0 0 1/2	A A C A	A C A A	C A A A	0
0 0 1	A A B A	A B A A	C A D A	0
0 1/2 0	A C A A	A A C A	C A A A	0
0 1/2 1/2	A C C C	A C C C	C C C C	1/2
0 1/2 1	A C B C	A B C C	C C C C	1/2
0 1 0	A B A D	A A B A	C D A A	0
0 1 1/2	A B C C	A C B C	C C C C	1/2
0 1 1	A B B B	A B B B	C B B B	1
1 0 0	B A A A	B A A A	C A A A	0
1 0 1/2	B A C C	B C A C	C C C C	1/2
1 0 1	B A B D	B B A B	C D B B	1
1 1/2 0	B C A C	B A C C	C C C C	1/2
1 1/2 1/2	B C C C	B C C C	C C C C	1/2
1 1/2 1	B C B B	B B C B	C B B B	1
1 1 0	B B A B	B A B D	C B D B	1
1 1 1/2	B B C B	B C B B	C B B B	1
1 1 1	B B B B	B B B B	C B B B	1



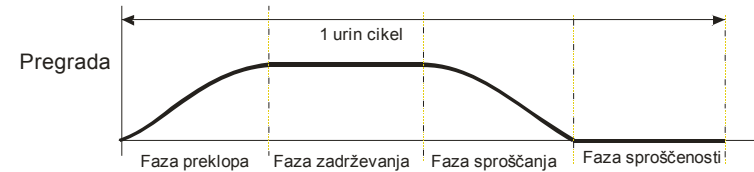
8. Preostali nedelujoči gradniki

- Kotna linija
- Razvejitvena linija



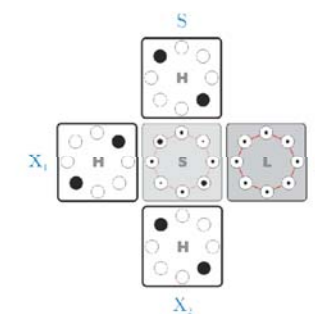
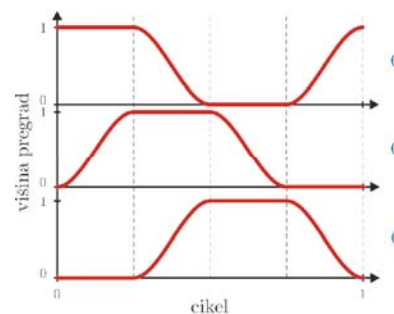
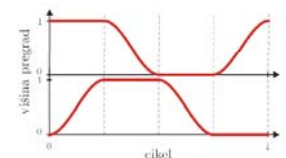
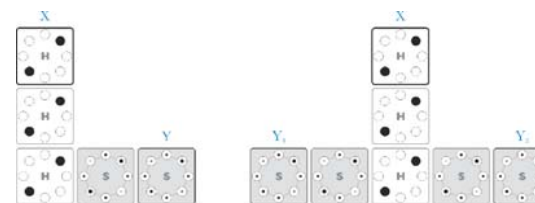
9. tQCA ob prisotnosti adiabatnega preklopa (ure)

- Zaradi prej naštetih težav zopet vpeljemo 4.fazni urni cikel [4];
- S tem dosežemo sinhronizacijo prenosa podatkov
- Nova oblika funkcije urinega signala (zaradi prehitrega prehoda celic v fazo preklopa





- S tem rešimo probleme delovanja kotne in razvejitvene linije, ki pri urno nenadzorovanih tQCA nista delovali (glej gornjo sliko desno) in delovanja majoritetnih vrat (glej spodnjo sliko desno)





10. Viri

- [1] B.Hayes: Third Base, American Scientist, Vol.89, Num.6
- [2] <http://www.trinary.cc/>
- [3] I.Lebar Bajec, M.Mraz: Večstanjsko procesiranje v strukturah kvantnih celičnih avtomatov. *Elektroteh. vestn.*, 2006, letn. 73, no. 2/3, str. [105-110]
- [4] P.Pečar: Uporaba adiabatnega pristopa pri realizaciji trojiškega procesiranja na osnovi kvantnih celičnih avtomatov (mag.delo na FRI)