

Univerza v Ljubljani  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO  
Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana

Realizacija n-bitnega polnega seštevalnika z uporabo kvantnih celičnih  
avtomatov  
SEMINARSKA NALOGA

Univerzitetna smer, 4 letnik  
Optične in nano tehnologije

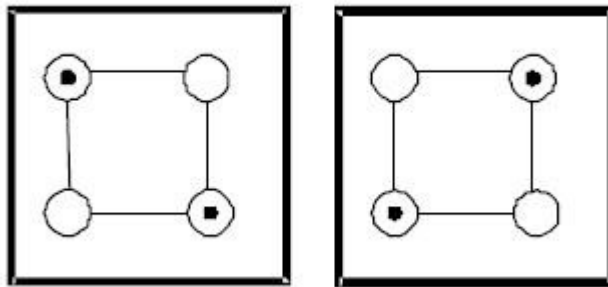
MATIC TOVŠAK  
GAŠPER ŽEJN  
TINE KAVČIČ  
JERNEJ GORIČKI

Ljubljana, 23.11.2008

## UVOD

V seminarski nalogi obravnavamo izgradnjo kvantnega celičnega avtomata, ki bo izvrševal funkcijo  $n$  bitnega polnega seštevalnika. Kvantne celične strukture omogočajo popolnoma drugačen pristop k izgradnji integriranih vezij. Izkoriščanje kvantnih učinkov namreč omogoča manjšo porabo energije in s tem manjše segrevanje, višji urin takt in posledično večjo hitrost, osnovni gradniki za povezovanje ne potrebujejo dodatnih materialov...

Osnovni gradnik je kvantna celična struktura s štirimi kvantnimi »pikami« in dvema elektronoma, kar zadostuje za realizacijo dvonivojske logike. Zaradi odbojne Coulombove sile se elektrona poskušata med seboj čim bolj oddaljiti. Kadar ni zunanjih vplivov, se zato elektrona nahajata v nasproti ležečih vogalih celice. Tako sta možni dve osnovni razporeditvi, kar ustreza predstavitvi logične ničle in enice.

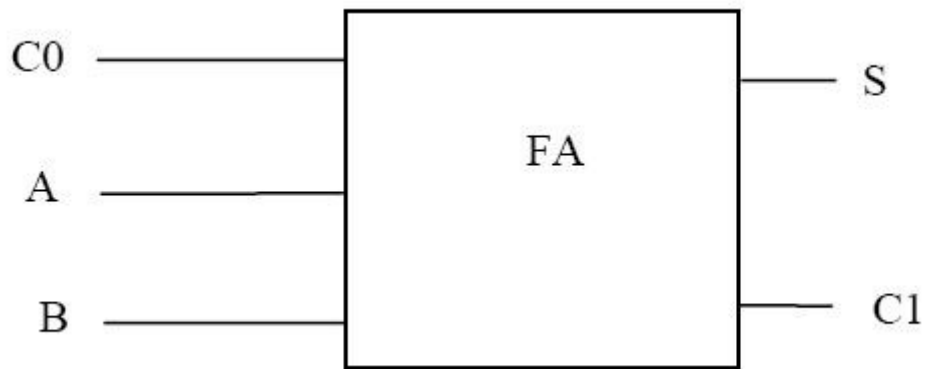


Slika 1 kvantna celica

Za realizacijo in simulacijo QCA strukture smo uporabili orodje QCAD designer, ki je na voljo na spletnem naslovu <http://www.qcadesigner.ca>

## OPIS

Polovični seštevalnik je vezje, ki pri seštevanju dveh enobitnih števil izračuna njuno vsoto in morebitni prenos. Ima samo dva vhoda, kamor pripeljemo operanda. Njegova nadgradnja je polni seštevalnik, ki poleg operandov upošteva še morebitni prenos. Polni seštevalnik ima tako 3 vhode, dva operanda in prenos.



Slika 2 simbol polnega seštevalnika

A	B	C0	S	C1
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Slika 3 pravilnostna tabela za polni seštevalnik

Standardne enačbe za polni seštevalnik, ki smo jih uporabili pri izdelavi strukture:

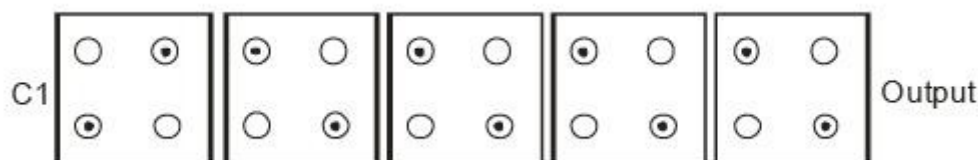
$$S = A \text{ xor } B \text{ xor } C0$$

$$C1 = (A \text{ and } B) \text{ or } (B \text{ and } C0) \text{ or } (A \text{ and } C0)$$

# Osnovne strukture, uporabljene pri realizaciji seštevalnika

## Linija

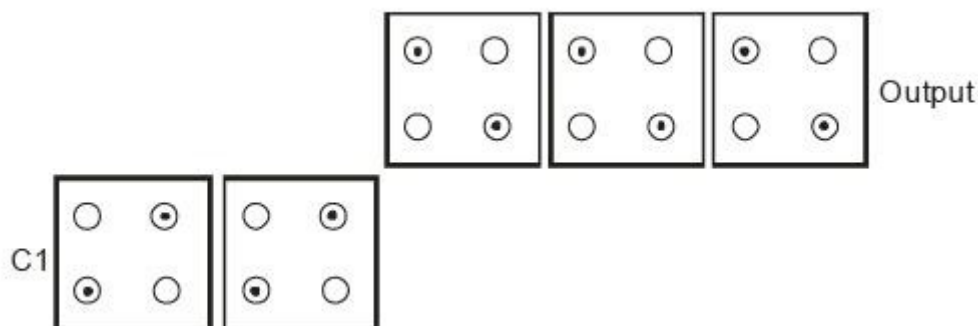
Prva in najpreprostejša uporabljenaa struktura je linija oziroma žica. Sestavlja jo zaporedje kvantnih celic, po katerih potuje signal. Signal se po liniji širi zaradi medsebojnih interakcij med sosednjimi celicami. Če prva celica spremeni polarizacijo, to povzroči odbojno silo in spremembo polarizacije v drugi celici, nakar se enak proces nadaljuje do konca linije. Novo osnovno stanje nastopi takrat, ko je Coulombov odboj med elektroni najmanjši možen, torej takrat, ko vse celice uskladijo svojo polarizacijo z vhodno celico in tako prenesejo informacijo preko linije.



Slika 4 linija

## Negator

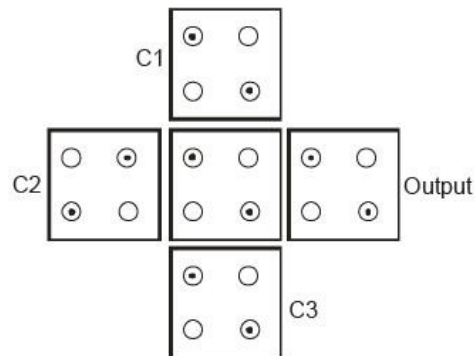
Izkorišča lastnost 45-stopinjske linije, da se celici, ki se stikata v vogalih postavita v nasprotni polarizaciji. Možnih je več različnih implementacij negatorja, razlikujejo pa se po občutljivosti na motnje morebitnih drugih celic v bližini. Pri naši realizaciji smo uporabili manj občutljivo varianto.



Slika 5 negator

## Majoritetna vrata

Majoritetna vrata so ena najpomembnejših struktur seštevalnika, ki vršijo logično operacijo nad tremi spremenljivkami. Princip njihovega delovanja je zelo enostaven. Izhod vrat podaja večinsko stanje vhodov – če je večina vhodov na logični enki, je tak tudi izhod, sicer je izhod na logični ničli. S tako strukturo lahko enostavno realiziramo osnovne logične funkcije kot sta AND in OR.



Slika 6 majoritetna vrata

## Ura

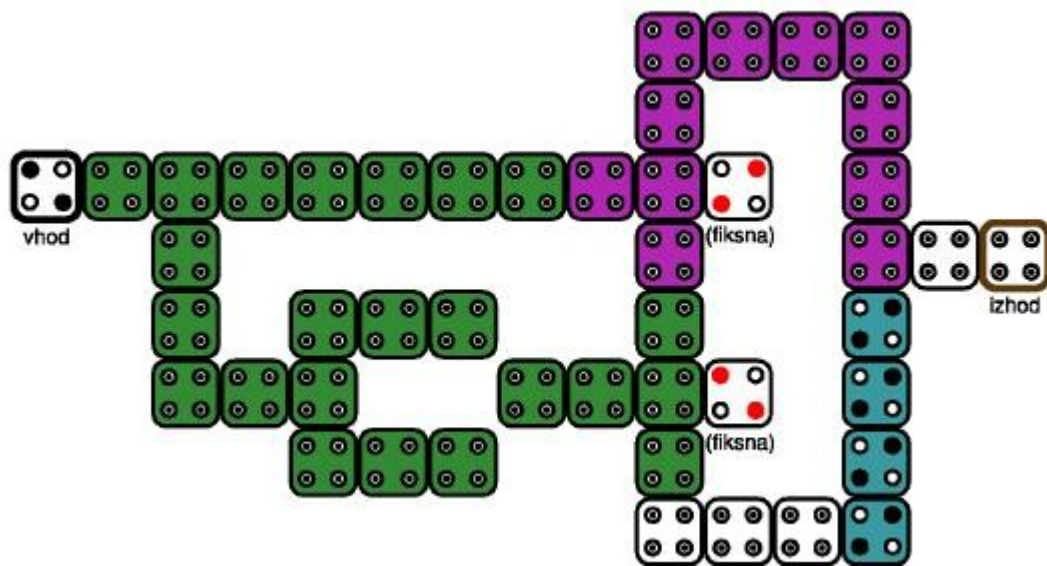
V strukturah, osnovanih na kvantni tehnologiji služi ura za močnostno ojačenje signala, torej skrbi da se kodirana informacija med prenosi ne popači.

Delovanje:

1. faza: ob dvigovanju pregrad celice pričnejo iz nepolariziranih stanj prehajati v polarizirana glede na vpliv okolice.
2. faza: pregrade so dvignjene, tuneliranje je onemogočeno – stanje celic se vzdržuje: te celice v tej fazi igrajo vlogo vhodnih celic – konstant
3. faza: pregrade se spuščajo: elektroni zopet začnejo prehajati med pikami
4. faza: pregrade so spuščene in celice so proste 1 urina perioda: = 4 opisane faze

## Pomnilna JK celica

Z izkoriščanjem ure je možno realizirati tudi sekvenčna vezja, ki smo jih uporabili pri realizaciji pomnjenja rezultata (register). Osnovna pomnilna celica je sestavljena iz večih kvantnih celic, povezanih v zanko. Zanka namreč omogoča nenehno osveževanje stanja kar posledično doprinese k ostajanju celic v enaki polarizaciji in s tem hranjenju informacije.

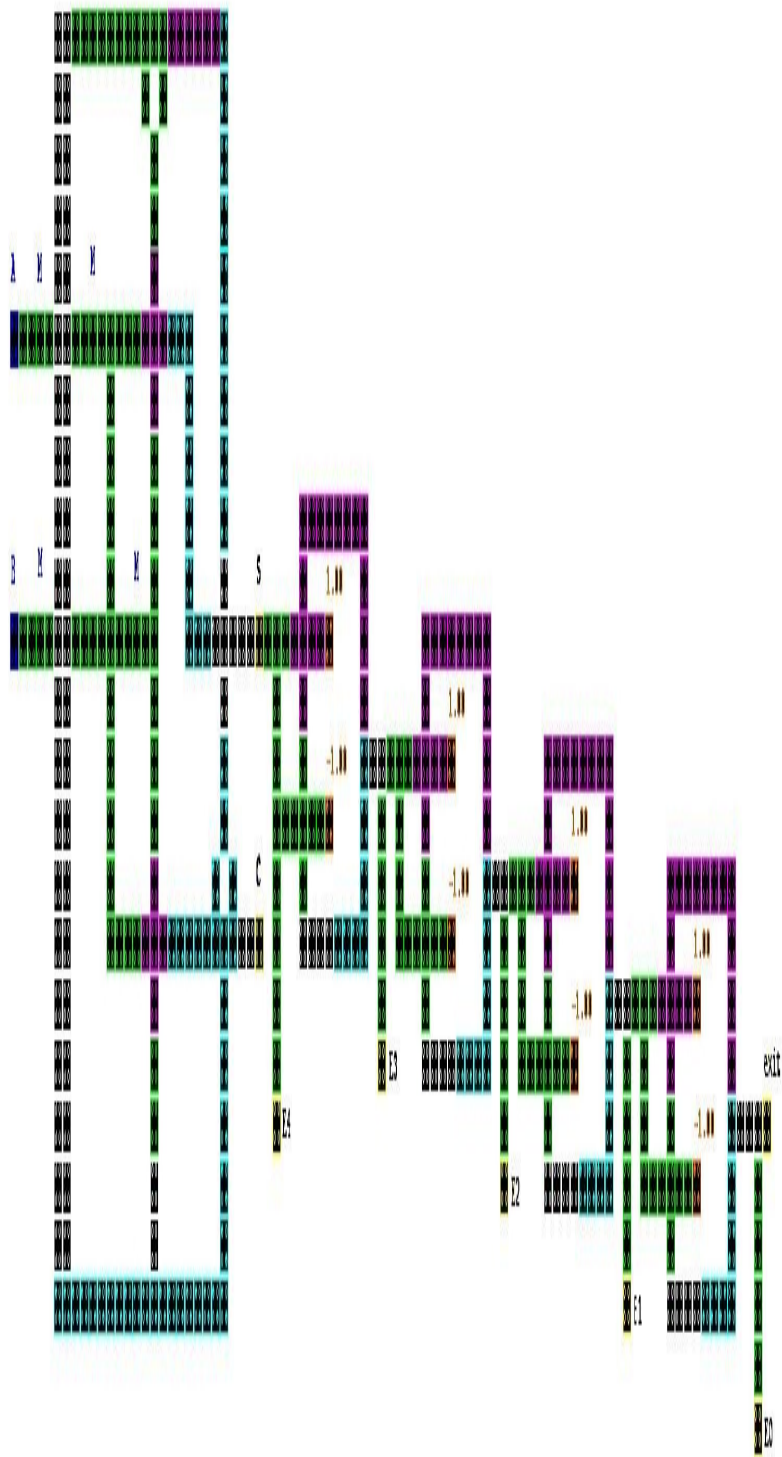


Slika 7 osnovna pomnilna celica

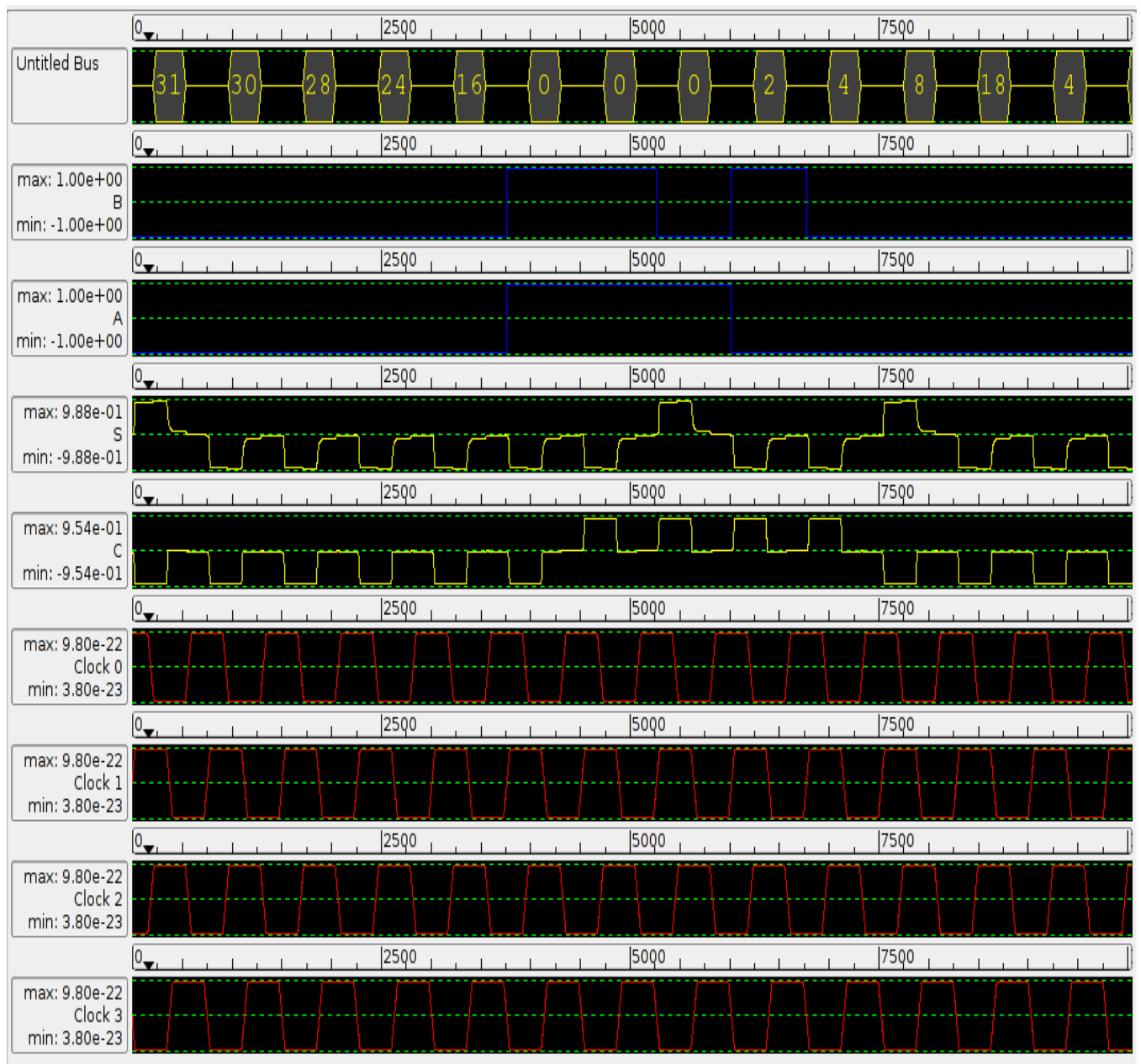
## Struktura in delovanje seštevalnika

Za izdelavo naše kombinatorične strukture (brez sekvenčnih elementov) smo uporabili 3 majoritetna vrata, 2 negatorja in linije. Za uspešno delovanje QCA strukture in za uspešen prenos bita carry uporabimo 4 ure s katerimi zagotovimo ojačanje signalov. Struktura predstavljena v naši seminarski nalogi je realizirana kot 4 bitni polni seštevalnik. Registri, namenjeni shranjevanju, so narejeni z štirimi zaporedno povezanimi JK celicami. Izhod seštevalnika je povezan na 4 zaporedno vezane pomnilne celice, ki predstavljajo registre namenjene hranjenju informacije. Za pravilno delovanje, moramo na začetku vhoda A in B postaviti na logično »0«, da se bit carry pravilno inicializira. Na prvi 2 majoritetni vrati pridejo vsi vhodi v obliki spremenljivk, na tretja pa pride seštevek operandov A in B z upoštevanje vrednostjo bita carry. Rezultat pa se na eno urino periodo prenaša iz ene pomnilne celice v drugo v smeri iz leve proti desni.

Da linije ne vplivajo ena na drugo pri križanju smo vezje realizirali v 3 plasteh. Pregled nad različnimi sloji uporabljenimi v trenutnem projektu omogoča QCADesigner preko "Layer view" pogovornega okna. Takšne točke kjer se vezje "dvigne" so na shemi označene s črko "M", za to poskrbi srednji nivo, ki povezuje dele zgornjega in spodnjega.



Slika 8 4 bitni polni seštevalnik



Slika 9 rezultat za primer ko je vhodni vektor  $A=0111$  in  $B=1011$

## VIRI

- prof. Miha Mraz: zapiski s predavanj pri predmetu ONT
- Tomaž Orač, Realizacija aritmetično-logičnih primitivov s strukturami kvantnih celičnih avtomatov; diplomska naloga