

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO



Poročilo

ANALIZA VEČNIVOJSKE GRADNJE
TROJIŠKIH QCA (tQCA) STRUKTUR

2. SEMINARSKA NALOGA PRI PREDMETU
OPTIČNE IN NANOTEHNOLOGIJE

AVTORJI:

Simon Struna, 63050111

Luka Andrejak, 63050054

Jani Jež, 63050051

Marko Turšič, 63050121

Ljubljana, 2010

Kazalo

1	Opis naloge.....	3
1.1	Konfiguracija simulatorja	3
2	Razdalja, ki omogoča vertikalni prenos	4
3	Prenos čez več nivojev	5
4	Križanje linij na več nivojih	6
5	Križanje s premostitvijo.....	7
6	Križanje linij na več nivojih pri nepravokotni obliki 'mosta'	10
7	Zaključek.....	11
8	Viri in literatura	12
9	Priloge	13
9.1	Konfiguracijska datoteka 1	13
9.2	Konfiguracijska datoteka 2	13
9.3	Konfiguracijska datoteka 3	14
9.4	Konfiguracijska datoteka 4	15
9.5	Konfiguracijska datoteka 5	16
9.6	Konfiguracijska datoteka 6	17

1 Opis naloge

Dosedanje raziskave trojiških kvantnih celičnih avtomatov so bile osredotočene predvsem na ravninske strukture. V pričujoči nalogi so podani rezultati in ugotovitve delovanja vertikalnih povezav ter medsebojnih vplivov kvantnih celic na različnih nivojih.

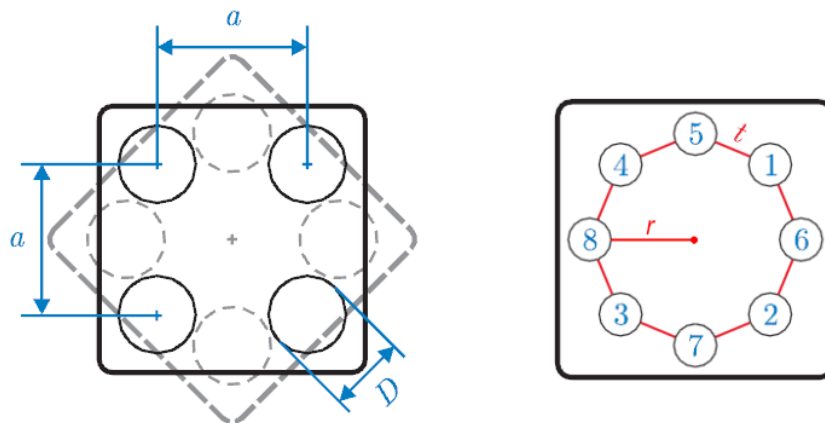
Cilj naloge je bil preveriti:

- razdaljo, ki omogoča vertikalni prenos
- prenos čez več nivojev
- potrebno število urinih faz
- zagotavljanje lihosti
- križanje linij z uporabo premoščanja preko več nivojev

Osnovno orodje, s katerim smo izvajali simulacije, je bil simulator razvit s strani LRSS FRI LJ.

1.1 Konfiguracija simulatorja

Celica je pri trojiških QCA strukturah sestavljena iz osmih kvantnih pik postavljenih v pravilen osemkotnik. Taka celica je sestavljena iz dveh dvojiških celic, kjer je ena celica diagonalno poravnana (Slika 1a). Velik vpliv na obnašanje celice ima razdalja med pikami (t), ki vpliva na celotno geometrijo celice.



Slika 1: Geometrija razširjene QCA celice dobljene z združitvijo normalne in diagonalno poravnane dvojiške celice

Za testiranje struktur v simulatorju smo uporabili geometriji celice '110' in '72'.

- Geometrija 110:
 - razdalja med pikami $t=20\text{nm}$
 - polmer očrtane krožnice $r = 26,1313\text{nm}$
- Geometrija 72:
 - razdalja med pikami $t=13,3333\text{nm}$
 - polmer očrtane krožnice $r=17,4208\text{nm}$

S preizkušanjem smo ugotovili, da je prenos med nivoji možen pri različnih razdaljah med nivoji. Zaradi kompaktnosti in geometrične usklajenosti pa smo največ testiranj izvedli z razdaljo med nivoji 50nm pri geometriji 110, kar je malo manj kot dvakratna vrednost polmera očrtanega kroga ($2r$) tQCA celice. Pri geometriji 72 pa smo uporabljali razdaljo 39nm, kar je tudi blizu vrednosti $2r$.

2 Razdalja, ki omogoča vertikalni prenos

Razdaljo, ki omogoča vertikalni prenos in lastnost, da se celice na večih nivojih med seboj ne 'motijo', smo ugotavljali na več načinov:

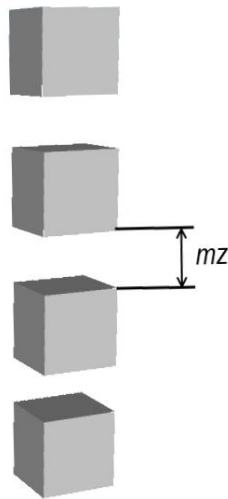
- Vertikalna linija, ki omogoča prenos preko več nivojev (ni križanj) – slika 2 :
 - geometrija 110 – vertikalna razdalja med nivoji od 15nm do 138nm
 - geometrija 72 – vertikalna razdalja med nivoji od 17nm do 108nm
- Križanje linij brez prenašanja informacije preko več nivojev (brez vertikalne linije, ki bi povezovala nivoje) – slika 3:
 - geometrija 110 – vertikalna razdalja med nivoji najmanj 34nm
 - geometrija 72 – vertikalna razdalja med nivoji najmanj 19nm
- Križanje linij na več nivojih – slika 5:
 - geometrija 110 – vertikalna razdalja med nivoji od 50nm do 168nm
 - geometrija 72 – vertikalna razdalja med nivoji od 39nm do 129nm

Glede na dobljene rezultate smo ugotovili, da mora biti najmanjša razdalja med nivoji 50nm pri geometriji celice 110, če želimo prenos informacije preko več nivojev, oziroma križanje linij. Pri geometriji 72 pa je ta razdalja 39nm.

3 Prenos čez več nivojev

Tako kot pri dvojiških QCA strukturah, tudi pri trojiških pri prenosu med dvema nivojema stanja celic alternirajo, zato je potrebno zagotavljati liho število nivojev. To pomeni, da če hočemo na zadnjem nivoju pravilno vrednost, mora biti skupno število nivojev liho.

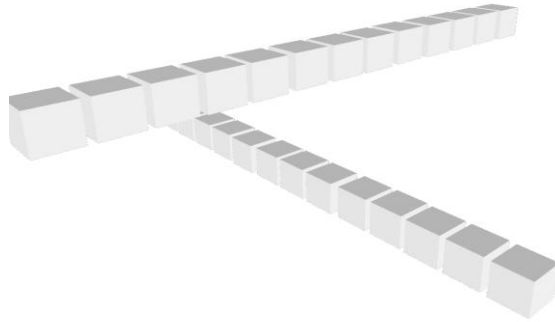
Prenašamo lahko čez poljubno število nivojev, paziti moramo samo na pravilno postavitev urinih faz. Ugotovili smo, da lahko v eni urini fazi pravilno prenesemo vrednost čez največ 21 nivojev pri razdalji $mz=50$ nm, pri razdalji 110nm pa čez 34 nivojev. Pri razdalji $mz=120$ nm ali več pa smo ugotovili, da se vrednost uspešno prenaša preko 247 nivojev.



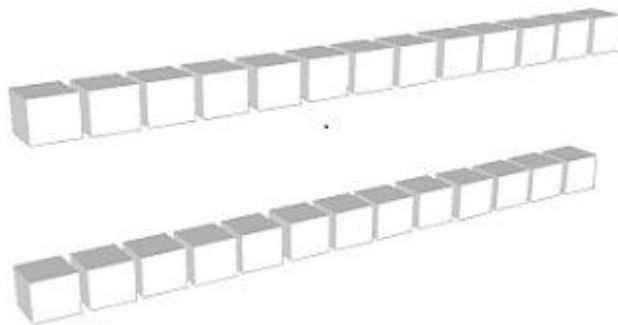
Slika 2: Vertikalna linija, kjer parameter mz predstavlja razdaljo med dvema nivojema – priloga 9.1

4 Križanje linij na več nivojih

Križanje dveh neodvisnih linij (ki nista povezani) na različnih nivojih deluje pod pogojem, da je med nivojema vsaj en vmesni nivo. Minimalna razdalja mz med nivoji pri 110 geometriji mora biti vsaj 34nm. Pri razdalji 49nm pa lahko liniji postavimo tudi tako, da tečeta vzporedno vsaka na svojem nivoju kot prikazuje slika 4.



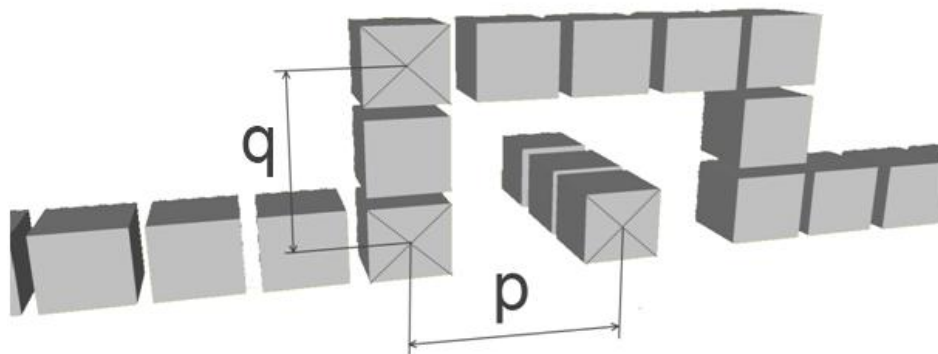
Slika 3: Neodvisni liniji na različnih nivojih – priloga 9.2



Slika 4: Neodvisni liniji na različnih nivojih

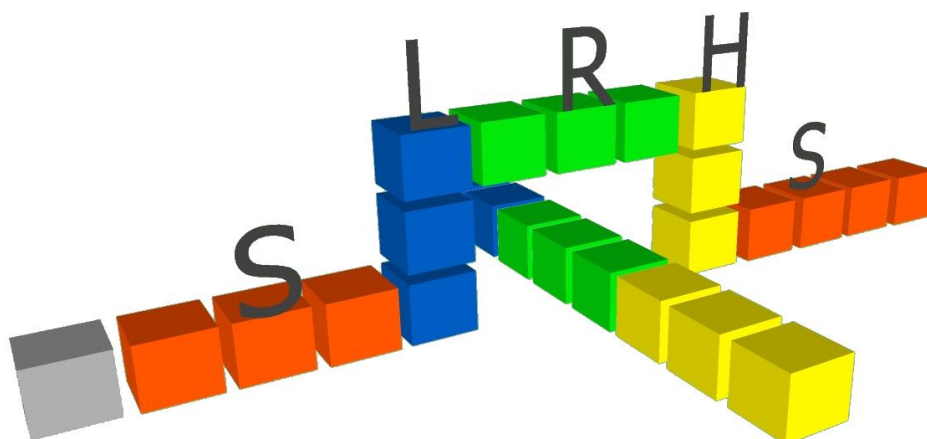
5 Križanje s premostitvijo

Pri križanju na več nivojih s premostitvijo smo ugotovili, da mora biti prav tako med nivoji vsaj en vmesni nivo (q na sliki 4), razdalja med nivoji pa mora biti med 50 in 168 nm pri geometriji 110, ter med 39 in 129nm pri geometriji 72. Premostimo lahko tudi več linij hkrati. Linije, ki so pod mostom so lahko poljubno fazno zamaknjene. Dovolj je, da je linija, ki je najbližja mostu, od vznožja mosta oddaljena za eno celico (p na sliki 4), kjer je horizontalna oddaljenost med celicami 110nm.



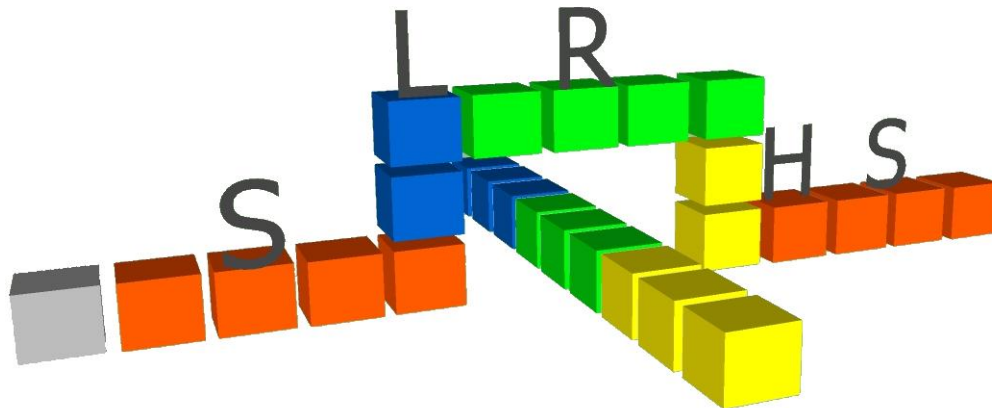
Slika 5: Potrebno število vmesnih nivojev (q) in celic med mostom in linijo(p) pri premoščanju.

Pravilno delujočo in stabilno premostitev smo realizirali s štirimi urinimi fazami. Poskušali smo sicer tudi z drugimi kombinacijami urinih faz, vendar nismo prišli do pravilnega delovanja linije.



Slika 6: Potrebno število urinih faz za pravilno delovanje linije - priloga 9.3

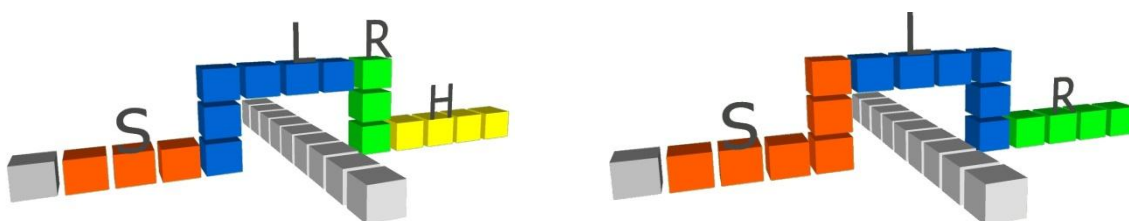
Razporeditev faznih zamikov na liniji, ki premošča s slike 5 ni edina delujoča rešitev. Naredili smo več testov z različnimi kombinacijami le-teh in dobili pravilne rezultate. Ena od teh kombinacij je predstavljena na sliki 6. Pogoj za pravilno delovanje (prenašanje vrednosti) je torej liho število celic ter zakasnitev za štiri urini faze (cel urin cikel).



Slika 7: Kotna razporeditev urinih faz – priloga 9.4

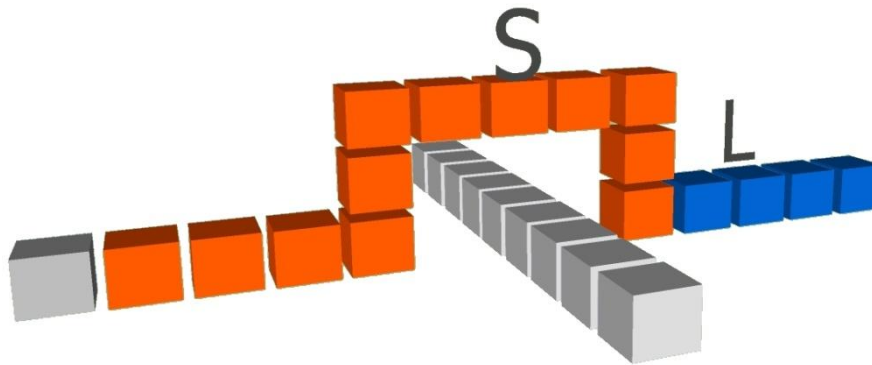
Ostale testirane kombinacije urinih faz pri premostitvi, ki niso delovale:

- celoten premostitveni del linije v treh urinih fazah pri različni kombinaciji faznih zamikov (primer je prikazan na sliki 7 desno)
- celoten premostitveni del linije v dveh urinih fazah pri različni kombinaciji faznih zamikov (primer je prikazan na sliki 7 levo)



Slika 8: Nedelujoče premoščanje s tremi urinimi fazami (levo) in z dvema urinima fazama (desno)

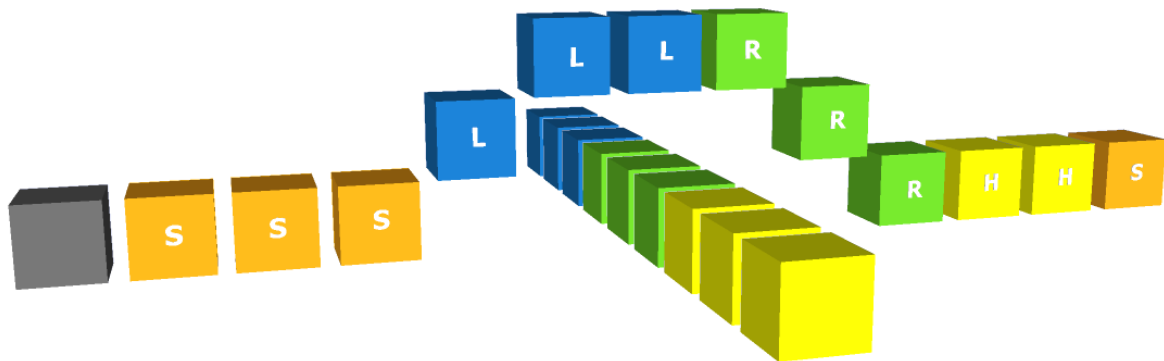
Zanimivo je tudi to, da smo uspešno realizirali most v eni urini fazi (slika 8). Ko pa smo pod mostom postavili linijo, je to pripeljalo do napačnega delovanja linije, ki premošča. Do pravilnega delovanja nismo prišli tudi z večanjem števila vmesnih nivojev (slika 4, parameter q) oziroma z oddaljevanjem spodnje linije od vznožja mostu (slika 4, parameter p).



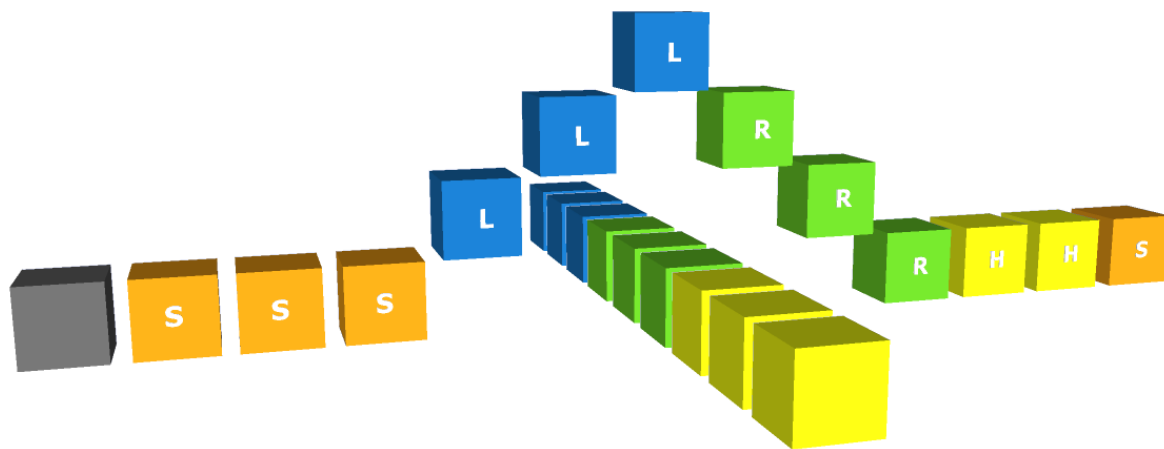
Slika 9: Premoščanje v eni urini fazi, ki deluje nepravilno ko pod njo postavimo linijo

6 Križanje linij na več nivojih pri nepravokotni obliki 'mosta'

Testirali smo tudi križanje linij na več nivojih s premostitvijo, kjer je 'most' trapezne (slika 10) oziroma trikotne oblike (slika 11). Tudi tu mora biti med nivoji vsaj en vmesni nivo. Pri oddaljenosti 52nm med nivoji so se vhodne vrednosti prenesle pravilno pri obeh geometrijah celice. Za pravilen prenos so pri obeh oblikah premoščanja potrebne le tri urine faze.



Slika 10: Premoščanje linij, pri katerem je 'most' trapezne oblike – priloga 9.5



Slika 11: Premoščanje linij, pri katerem je 'most' trikotne oblike – priloga 9.6

7 Zaključek

Glede na rezultate simulacij, ki smo jih naredili, smo ugotovili, da se trojiške QCA strukture obnašajo podobno kot dvojiške. Pri prenosu preko več nivojev stanja celic na sosednjih nivojih alternirajo (A->B, B->A, C->D, D->C). Zaradi tega razloga moramo informacije prenašati preko lihega števila nivojev, da na ciljnim nivoju dobimo pravilen rezultat.

Velik vpliv na prenos čez več nivojev ima razdalja med nivoji, saj je delovanje pri premajhnih oziroma prevelikih razdaljah napačno. Testirali smo vertikalni prenos brez križanja, križanje linij na dveh neodvisnih nivojih ter križanje linij na povezanih nivojih (premoščanje). Ugotovili smo, da če hočemo v željeni strukturi uporabljati vse tri tehnike mora biti razdalja med nivoji med 50nm in 128nm pri geometriji celice 110 in med 39nm ter 108nm pri geometriji 72.

Pravilno delovanje pri premoščanju linij (križanje preko več nivojev - premoščanje) smo dosegli samo takrat, ko smo linijo ki premošča, pravilno zakasnili. Ta zakasnitev znaša en cel urin cikel (štiri faze – S L R H). Z različnimi kombinacijami faz, ki bi dale manjšo zakasnitev, nismo dobili pravilnega delovanja.

Zanimivo je tudi to, da je delovanje premoščanja neodvisno od zamika urinih faz, kar je razvidno iz slik 5 in 6. Važno je samo to, da je skupno število celic pri premoščanju liho in da so urine faze štiri (zakasnitev za en urin cikel).

8 Viri in literatura

- [1] I. Lebar Bajec, M. Mraz, "Towards multi-state based computing using quantum-dot cellular automata", *Unconventional Computing 2005: From cellular Automata to Wetware*, 105-116, 2005.
- [2] I. Lebar Bajec, N. Zimic, M. Mraz, "Toward bottom-up concept: extended quantum-dot cellular automata", *Microelectronic Engineering*, 83(4-9):1826-1829, 2006.
- [3] I. Lebar Bajec, N. Zimic, M. Mraz, "The ternary quantum-dot cell and ternary logic", *Nanotechnology*, 17(8):1937-1942, 2006.
- [4] P. Pecar, M. Mraz, N. Zimic, M. Janez, I. Lebar Bajec, "Solving the ternary QCA logic gate problem by means of adiabatic switchnig", *Japanese Journal of Applied Physics*, 47(6):5000-5006, 2008.
- [5] P. Pecar, A. Ramsak, N. Zimic, M. Mraz, I. Lebar Bajec, "Adibatic pipelining: A key to ternary computing with quantum dots", *Nanotechnology*, 19(49):495401, 2008.
- [6] M. Janez, I. Lebar Bajec, P. Pecar, A. Jazbec, N. Zimic, M. Mraz, "Automatic Design of Optimal Logic based on ternary Quantum-ot Cellular Automata", *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 9(7):919-9289, 2008.
- [7] P. Pečar, M. Janež, N. Zimic, M. Mraz, I. Lebar Bajec, "The ternary quantum-dot cellular automata memorizing cell", *Proceedings of the IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI*, 223-228, 2009

9 Priloge

9.1 Konfiguracijska datoteka 1

```
%[x:float y:float z:float]
110 110 108
% cells; nCells
T E 0 0 0 U A
T D 0 0 1 S A
T I 0 0 2 S A
T I 0 0 3 L A
T I 0 0 4 L A
T I 0 0 5 R A
T I 0 0 6 R A
T I 0 0 7 H A
T I 0 0 8 H A
T I 0 0 9 S A
T O 0 0 10 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero smo testirali prenos vertikalne linije preko več nivojev.

9.2 Konfiguracijska datoteka 2

```
%[x:float y:float z:float]
110 110 19
% cells; nCells
T E 0 0 0 U A
T D 0 1 0 S A
T I 0 2 0 S A
T I 0 3 0 L A
T I 0 4 0 L A
T I 0 5 0 R A
T I 0 6 0 R A
T I 0 7 0 H A
T I 0 8 0 H A
T I 0 9 0 S A
T O 0 10 0 S A

T E -5 5 2 U A
T D -4 5 2 S A
T I -3 5 2 S A
T I -2 5 2 L A
T I -1 5 2 L A
T I 0 5 2 R A
T I 1 5 2 R A
T I 2 5 2 H A
T I 3 5 2 H A
T I 4 5 2 S A
T O 5 5 2 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero s katero smo testirali križanje linij brez prenašanja informacije preko več nivojev.

9.3 Konfiguracijska datoteka 3

```
§[x:float y:float z:float]
110 110 129
§ cells; nCells
T E 0 0 0 U A
T D 1 0 0 S A
T I 2 0 0 S A
T I 3 0 0 S A
T I 4 0 0 S A
T I 5 0 0 L A
T I 5 0 1 L A
T I 5 0 2 L A
T I 6 0 2 R A
T I 7 0 2 R A
T I 8 0 2 R A
T I 9 0 2 H A
T I 9 0 1 H A
T I 9 0 0 H A
T I 10 0 0 S A
T I 11 0 0 S A
T O 12 0 0 S A
```

```
T E 7 -9 0 U A
T D 7 -8 0 S A
T I 7 -7 0 S A
T I 7 -6 0 S A
T I 7 -5 0 S A
T I 7 -4 0 L A
T I 7 -3 0 L A
T I 7 -2 0 L A
T I 7 -1 0 L A
T I 7 0 0 R A
T I 7 1 0 R A
T I 7 2 0 R A
T I 7 3 0 R A
T I 7 4 0 H A
T I 7 5 0 H A
T I 7 6 0 H A
T I 7 7 0 H A
T I 7 8 0 S A
T I 7 9 0 S A
T I 7 10 0 S A
T O 7 11 0 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero smo testirali križanje linij na več nivojih.

9.4 Konfiguracijska datoteka 4

```
%[x:float y:float z:float]
110 110 50
% cells; nCells
T E 0 0 0 U A
T D 1 0 0 S A
T I 2 0 0 S A
T I 3 0 0 S A
T I 4 0 0 S A
T I 5 0 0 S A
T I 5 0 1 L A
T I 5 0 2 L A
T I 6 0 2 R A
T I 7 0 2 R A
T I 8 0 2 R A
T I 9 0 2 R A
T I 9 0 1 H A
T I 9 0 0 H A
T I 10 0 0 S A
T I 11 0 0 S A
T O 12 0 0 S A
```

```
T E 7 -10 0 U A
T D 7 -9 0 S A
T I 7 -8 0 S A
T I 7 -7 0 S A
T I 7 -6 0 S A
T I 7 -5 0 L A
T I 7 -4 0 L A
T I 7 -3 0 L A
T I 7 -2 0 L A
T I 7 -1 0 R A
T I 7 0 0 R A
T I 7 1 0 R A
T I 7 2 0 R A
T I 7 3 0 H A
T I 7 4 0 H A
T I 7 5 0 H A
T I 7 6 0 H A
T I 7 7 0 S A
T I 7 8 0 S A
T I 7 9 0 S A
T O 7 10 0 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero smo testirali premostitev linije pri kotnih urinih fazah.

9.5 Konfiguracijska datoteka 5

```
%(x:float y:float z:float)
```

```
110 110 52
```

```
% cells; nCells
```

```
T E 0 0 0 U A
```

```
T D 1 0 0 S A
```

```
T I 2 0 0 S A
```

```
T I 3 0 0 S A
```

```
T I 4 0 0 S A
```

```
T I 5 0 1 L A
```

```
T I 6 0 2 L A
```

```
T I 7 0 2 L A
```

```
T I 8 0 2 R A
```

```
T I 9 0 1 R A
```

```
T I 10 0 0 R A
```

```
T I 11 0 0 H A
```

```
T I 12 0 0 H A
```

```
T I 13 0 0 S A
```

```
T I 14 0 0 S A
```

```
T I 15 0 0 S A
```

```
T O 16 0 0 S A
```

```
T E 7 -10 0 U A
```

```
T D 7 -9 0 S A
```

```
T I 7 -8 0 S A
```

```
T I 7 -7 0 S A
```

```
T I 7 -6 0 S A
```

```
T I 7 -5 0 L A
```

```
T I 7 -4 0 L A
```

```
T I 7 -3 0 L A
```

```
T I 7 -2 0 L A
```

```
T I 7 -1 0 R A
```

```
T I 7 0 0 R A
```

```
T I 7 1 0 R A
```

```
T I 7 2 0 R A
```

```
T I 7 3 0 H A
```

```
T I 7 4 0 H A
```

```
T I 7 5 0 H A
```

```
T I 7 6 0 H A
```

```
T I 7 7 0 S A
```

```
T I 7 8 0 S A
```

```
T I 7 9 0 S A
```

```
T O 7 10 0 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero smo testirali križanje linij na več nivojih, kjer je 'most' trapezne oblike.

9.6 Konfiguracijska datoteka 6

```
%[x:float y:float z:float]
110 110 52
% cells; nCells x
T E 0 0 0 U A
T D 1 0 0 S A
T I 2 0 0 S A
T I 3 0 0 S A
T I 4 0 0 S A
T I 5 0 1 L A
T I 6 0 2 L A
T I 7 0 3 L A
T I 8 0 2 R A
T I 9 0 1 R A
T I 10 0 0 R A
T I 11 0 0 H A
T I 12 0 0 H A
T I 13 0 0 S A
T I 14 0 0 S A
T I 15 0 0 S A
T O 16 0 0 S A
```

```
T E 7 -10 0 U A
T D 7 -9 0 S A
T I 7 -8 0 S A
T I 7 -7 0 S A
T I 7 -6 0 S A
T I 7 -5 0 L A
T I 7 -4 0 L A
T I 7 -3 0 L A
T I 7 -2 0 L A
T I 7 -1 0 R A
T I 7 0 0 R A
T I 7 1 0 R A
T I 7 2 0 R A
T I 7 3 0 H A
T I 7 4 0 H A
T I 7 5 0 H A
T I 7 6 0 H A
T I 7 7 0 S A
T I 7 8 0 S A
T I 7 9 0 S A
T O 7 10 0 S A
```

Konfiguracijska datoteka s katero smo testirali križanje linij na več nivojih, kjer je 'most' trikotne oblike.