

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



3. Reverzibilno procesiranje

II.stopnja RI, 2015/2016

Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

14. oktober
2015



1. Uvod

- Zgled vozila [1]
- Reverzibilen proces (angl. *reversible process*) – obrnljivost dinamike:
 - $f(I) \rightarrow O$,
 - $f^{-1}(O) \rightarrow I$.
- T.Toffoli (1980): „*A dynamical system is reversible if from any point of its state set one can uniquely trace a trajectory backward as well as forward in time.*“
- “Konzervacija” zgodovinskih stanj sistema
- Zahteva za reverzibilnost: injektivnost in bijektivnost tranzicijske preslikave f
- Izgubnost uničevanja bitov: izgubljanje informacij v „termičnem kaosu“

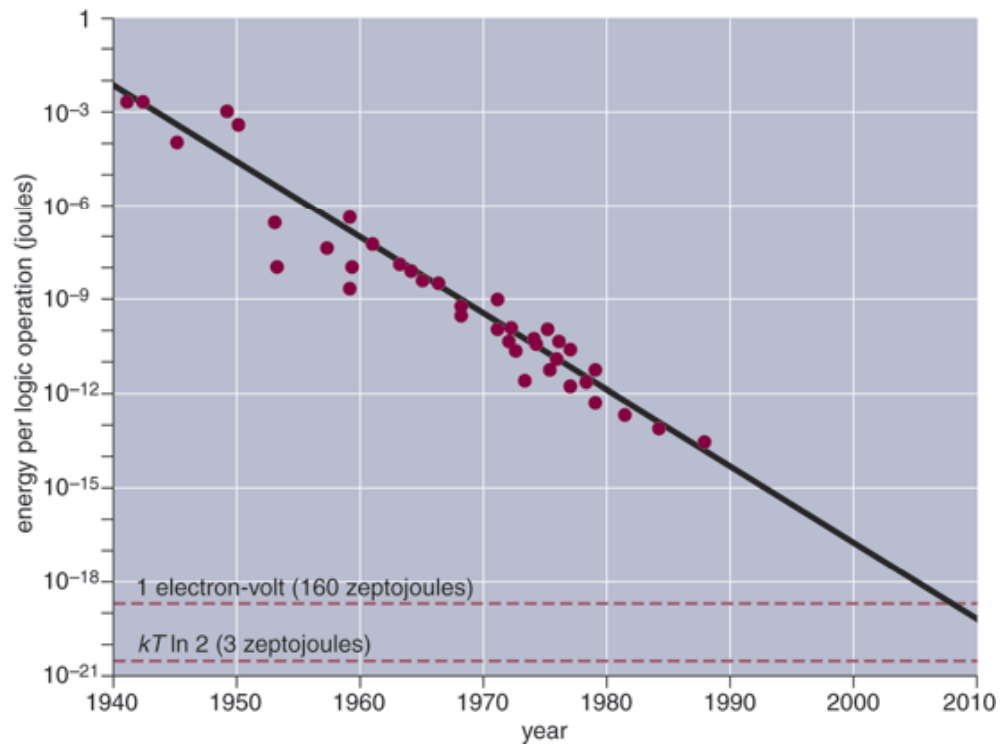


- R.Landauer, Von Neuman: definicija spodnje meje izgube energije na bit ob izvedbi ireverzibilne logične operacije;
- T – temperatura okolja
- k – Boltzmanova konstanta ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$)
- Sobna T (300 kelvinov):
 $E = 3 \cdot 10^{-21} \text{J}$

$$E \geq k * T * \ln 2$$



- Poraba energije na logično operacijo [1] :





- Landauer, Von Neuman: dva principa za približanje limiti:
 - procesiranje na nižjih temperaturah (T) – cenovno nesprejemljivo – zniževanje limite
 - prehod na reverzibilno procesiranje – zniževanje izgub na operacijo
- C.H.Bennet [2]:
 - Turingov stroj z “zgodovinskim trakom” – teoretična osnova za reverzibilnost procesiranja



2. Fizična in logična reverzibilnost

- Fizična reverzibilnost:
 - proces je fizično reverzibilen, če ne rezultira v zvečanje fizične entropije (ni disipacije – topl.izgub)
 - v praksi takih procesov ni, lahko pa zvečanje entropije poljubno minimiziramo – zniževanje limite
 - pogoj za fizično reverzibilnost: logična reverzibilnost
- Logična reverzibilnost:
 - če je prevajalna funkcija "one-to-one" funkcija
 - inf.o sistemskem stanju se nikoli ne izgubi (\neq pomnjenju)
- Časovna nesimetričnost: f in f^{-1} imata opcijsko različni trajanji;



3. Primeri reverzibilnih logičnih funkcij

- Cilj: Iskanje operacij, pri katerih ni „brisanja“ delnih rezultatov
- AND, OR – ireverzibilni funkciji (vstopa večja količina informacije, kot jo dobimo na izhodu) -> izguba (disipacija toplote), nezmožnost sklepanja na vhodni del, če poznamo izhodni del;
- NEG – reverzibilna funkcija, IDENTITETA – reverzibilna funkcija
- Predpogoj za reverzibilno funkcijo: mora imeti isto število vhodov in izhodov v logični funkciji
- Primer dvovhodne reverzibilne funkcije: $y_1 = x_1$, $y_2 = \text{xor}(x_1, x_2)$
- IDENT (1vh), NEG (1vh), XOR(2 vh) niso poln funkc.nabor;



- Toffolijeva vrata (poln funkc.nabor):
if ($x_1 = x_2 = 1$) then
 ($y_3 = \text{Neg}(x_3)$) &
 ($y_1 = x_1$) & ($y_2 = x_2$)
else ($y_1 = x_1, y_2 = x_2, y_3 = x_3$)

x1	x2	x3	y1	y2	y3
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	0



- Fredkinova vrata
(samostojen poln
funkc.nabor):

$$c_2 = c_1$$

if ($c_1 = 0$) then

$$(y_1 = x_1) \& (y_2 = x_2)$$

if ($c_1 = 1$) then

$$(y_1 = x_2) \& (y_2 = x_1)$$

c1	x1	x2	c2	y1	y2
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1



4. Problemi in izhodišča

- Problemi:
 - Katera materialna platforma zadošča z reverzibilnostjo kriterijem brezizgubnosti?
 - Kaj je z obrnljivostjo procesov zaokroževanja?
 - Kaj je z obrnljivostjo postopkov prevajanja?
- Izhodišča:
 - nova generacija prevajalnikov (maksimizacija reverzibilnih log.funkcij, R jezik)
 - iskanje ustrezne materialne platforme?



5. Cenovne ocene učinkovitosti i/revertibilnega procesiranja [3]

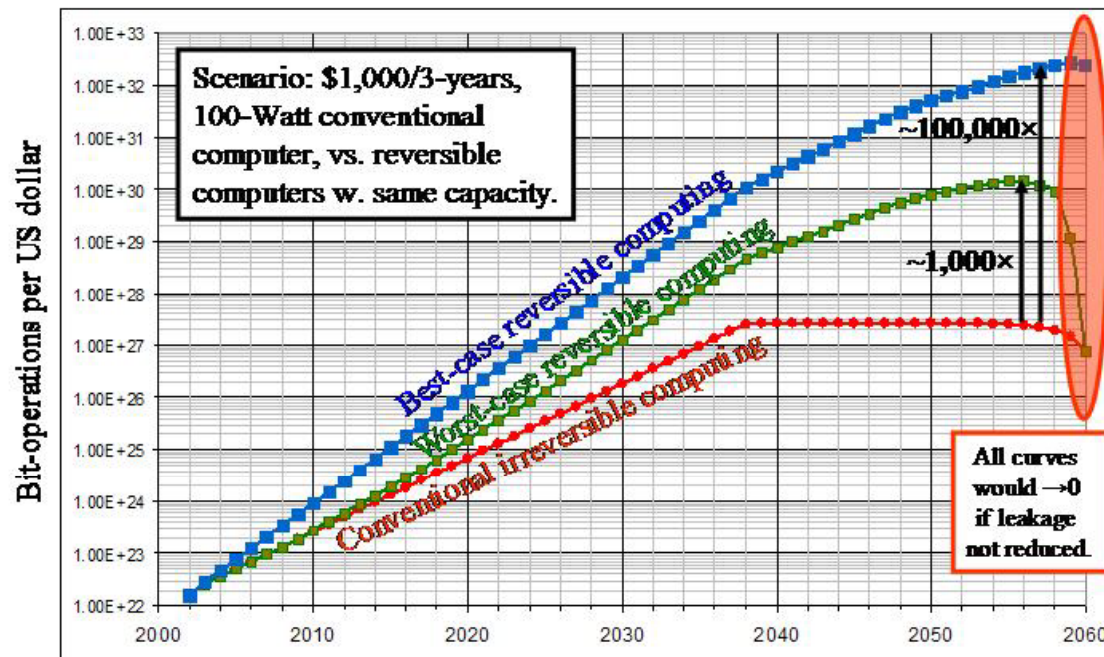
-



CISE



Cost-Efficiency of Reversibility





6. Literatura

- [1] B:Hayes: Reverse engineering, American Scientist, March-April 2006, Vol.94, Num.2, p.107
- [2]<http://www.research.ibm.com/journal/rd/176/ibmrd1706G.pdf>
- [3] <http://www.cise.ufl.edu/research/revcomp/>
- [4] M.Frank, Reversibility for efficient computing, MIT, osnutek doktorske disertacije, 1999
- [5] T.Toffoli: Reversible computing, Feb.1980