

Na poti do kvantnega fuzzy računalnika

Franc Jurkovič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Inštitut za elektroniko in telekomunikacije, Smetanova ul. 17, 2000 Maribor
E-pošta: franc.jurkovic@uni-mb.si

Povzetek. V pričujočem delu pokažemo, da je tudi matematična statistika povezovalni člen med kopenhavsko interpretacijo kvantne mehanike in fuzzy logiko in da bi bilo mogoče zgraditi kvantni fuzzy računalnik delujoč po navedeni analogiji.

Ključne besede: kvantno računalništvo, fuzzy logika

Towards a quantum fuzzy computer

Extended abstract. In this work we show that the mathematical statistics is a connecting link between the Copenhagen interpretation of the quantum mechanics and fuzzy logic and we can speak about the quantum fuzzy computer supposing the Copenhagen interpretation as well. To physically realize such a computer we need defined quantum systems with selected Hamiltonians, which is not a simple task. A solution to the issue could be artificial quantum systems with changeable Hamiltonians, a task to be dealt with in future.

Keywords: quantum computation, fuzzy logic

1 Uvod

Med dogodki z začetka dvajsetega stoletja, ki niso utonili v pozabo, je brez dvoma odkritje kvantne narave energije (Max Planck). Malo pozneje, v tridesetih letih, je sledil razvoj tako imenovane kvantne mehanike [1]. Ponudila je odgovore na številna vprašanja. Poznejši odkritji tranzistorja in integriranega vezja sta sprožili fantastičen razvoj informacijske tehnologije. Brez njenih dosežkov si skoraj ne moremo predstavljati vsakdanjega življenja. Zakoni evolucije se neusmiljeno uresničujejo, čas neusmiljeno teče naprej in tisto, kar je nekdanj sodilo na področje znanstvene fantastike, je danes resničnost. Zanimanje za kvantno mehaniko se je ponovno povečalo proti koncu dvajsetega stoletja. Vzrok je bila ideja, konstruiranje računalnika, ki bi deloval po zakonih kvantne mehanike [2], [3].

Na drugi strani teorija fuzzy množic (L.A.Zadeh)

omogoča posplošitev vseh področij matematike, ki temeljijo na klasični teoriji množic. Zanimiv je podatek, da se je ruska matematična šola ukvarjala s podobnimi problemi [4]. Izraz fuzzy je prodril šele po zaslugi inženirjev [5]. Razvoj je privedel tudi do posebne računalniške strojne opreme, namenjene za potrebe naprav, delujočih po fuzzy načelih [6]. Omenimo le fuzzy logične regulatorje. E. Prugovečki je prvi povezal kvantno mehaniko in teorijo fuzzy množic. Nadaljnji koraki, med njimi ideja o kvantnem fuzzy računalniku [7], niso več presenečenje.

2 Analogija

Razvpita dualnost kvantnih sistemov val-delec ima globoke korenine. Dualnost zasledimo že v upodobitvah prastarega etruščanskega in poznejšega starorimskega boga Janusa. Upodabljali so ga z glavo, ki je imela dva obraza. Dualnost zasledimo tudi v napisu na rojstni hiši Krištofa Kolumba v Genovi: "Bil je en svet. Dva sta, je rekel on. Bila sta." V filozofske razlage pojma dualnost se ne bomo spuščali in se raje vrnimo h kvantni mehaniki.

Stanje kvantnega sistema, podano v Diracovem zapisu, opisuje vektor $|\Psi\rangle$ v abstraktnem Hilbertovem prostoru mogočih stanj sistema. Operator, delujoč na kvantno stanje, podaja kot rezultat lastnost sistema v tem stanju. Stanje kvantnega sistema se spreminja koherentno in reverzibilno, kadar je ta izoliran od okolice. Matematični opis takih sprememb je Schrödingerjeva enačba:

$$\mathbf{H}|\Psi\rangle = i\hbar \frac{\partial |\Psi\rangle}{\partial t}, \quad (1)$$

\mathbf{H} : Hamiltonov operator, energija kvantnega sistema,

$i^2 = -1$: imaginarna enota,

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h : Planckova konstanta,

t : čas.

Obnašanje je podobno valovanju. Pri vplivu okolice ali merilnega aparata pa se kvantni sistem obnaša nekoherentno in ireverzibilno in lahko govorimo o podobnosti z obnašanjem delca. Najpreprostejši kvantni sistem je kvantni bit (qubit). Njegovo stanje, superpozicijo dveh baznih stanj $|0\rangle$ in $|1\rangle$ opisuje enačba:

$$|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle, \quad (2)$$

a, b : koeficienta, na splošno kompleksni števili.

Fizikalni pomen kvantnega stanja je še vedno odprto vprašanje. Kopenhavska interpretacija kvantne mehanike, ortodoksna razlaga, uči, da lahko kvantno stanje tik pred meritvijo s klasičnim merilnim aparatom opišemo z verjetnostjo odčitka merilnega aparata. Izid posamezne meritve je torej po tej razlagi realizacija naključnega procesa, vrednost iz zaloge vrednosti naključnega procesa in tako se znajdemo na področju matematične statistike [8]. Enačbo (2) normaliziramo, vsota verjetnosti je 1 in sledi:

$$|a|^2 + |b|^2 = 1. \quad (3)$$

Posamezne meritve na kvantnem bitu dajejo izkupiček nič ali ena. $|\Psi\rangle$ pade v eno izmed baznih stanj, govorimo o vsakokratnem kolapsu. Funkcija gostote verjetnosti kvantnega bita ima za operator vrednost bita:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

vrednosti $|b|^2$ za vrednost bita 1 in $|a|^2$ za vrednost bita 0. Omenimo le še, da ustrežata zapisoma $|0\rangle$ in $|1\rangle$ vektorja $[01]^T$ in $[10]^T$.

L. A. Zadeh [9] je omenil analogijo med kompozicijskim pravilom sklepanja, posplošenim pravilom modus ponens:

$$y = x \circ R, \quad (5)$$

y : fuzzy množica; konsekvencia,

x : fuzzy množica; antecedens,

R : fuzzy relacijska matrika,

\circ : operator kompozituma,

in izrazom za mejno verjetnost, podano s pogojno verjetnostjo:

$$r_j = \sum_i q_i \cdot p_{ij}, \quad (6)$$

$$r_j = p\{Y = y_j\},$$

$$q_i = p\{X = x_i\},$$

$$p_{ij} = p\{Y = y_j | X = x_i\},$$

X : naključna spremenljivka z zalogo vrednosti x_1, x_2, \dots ,

Y : naključna spremenljivka z zalogo vrednosti y_1, y_2, \dots ,

p : verjetnost dogodka $\{\dots\}$.

Sledi sklep, da je tudi matematična statistika povezovalni člen med kopenhavsko interpretacijo kvantne mehanike in teorijo fuzzy množic. Kvantna sistema, analogija z X in Y , sta bolj zapletena kot sam kvantni bit. Še težje je z analogijo $Y_j | X_i$. Vidimo pa, da velja analogija med kvantno mehaniko in teorijo fuzzy množic seveda le, če je kopenhavska interpretacija kvantne mehanike pravilna. Zanimiva je tudi enakost izrazov za pričakovano ali srednjo vrednost naključne spremenljivke in za defuzifikacijo, prirejanje realnega števila pripadnostni funkciji, po težiščni metodi COG:

$$x_0 = \sum_i u_i \cdot \mu(u_i), \quad (7)$$

$\mu(u_i)$: vrednost pripadnostne funkcije pri podpori u_i ,

x_0 : realno število, defuzificirana normirana fuzzy množica $\mu(u_i)$.

Konkretna realizacija računalnika bi zahtevala med drugim kvantne sisteme izolirane od okolice s spremenljivimi Hamiltonovimi operatorji. To pa ni preprosta zadeva, je težak problem, za sedaj prepuščen prihodnosti.

3 Sklep

Bralcu se bo morda zdelo, da je to, kar je tukaj napisano, le nekaj hrupa za nič. Ne smemo pa pozabiti, da je kvantno računalništvo šele v povojih in da so konkretno rešeni problemi trivialni. Eden izmed njih je razstavitev števila 15 na prafaktorja 3 in 5 [10]. Prispevek končujemo s citatom Nielsa Bohra: "Vsi smo enotni, da je vaša teorija nora. Vprašanje, ki nas razdvaja, je le, ali je dovolj nora, da bi imela upanje, da je pravilna."

4 Zahvala

Zahvaljujem se vsem, ki so na kakršenkoli način pripomogli k temu, da je sploh nastalo to delo. Poimenski seznam bi bil predolg.

5 Literatura

- [1] M. Jammer, "The philosophy of quantum mechanics. The interpretations of quantum mechanics in historical perspective". Wiley, New York, 1974.

- [2] T. P. Spiller, "Quantum information processing: cryptography, computation and teleoperation", *Proceedings of the IEEE*, vol.84, no.12, pp.1719-1746, 1996.
- [3] D. Deutsch, "Lectures on quantum computation", <http://www.quiprocone.org>
- [4] J. Virant, "Normalne oblike funkcij zvezne logike", *Elektrotehniški vestnik (Electrotechnical Review)*, letnik 36, št. 11-12, pp. 309-313, 1969.
- [5] J. M. Mendel, "Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial", *Proceedings of the IEEE*, vol.83, no.3, pp.345-377, 1995.
- [6] A. Kandel, G. Langholz, "Fuzzy hardware, architectures and applications", Kluwer, Boston, 1998.
- [7] H. J. Caulfield, L. Lopez, "What can quantum logic and fuzzy logic teach each other?", *Proceedings of the SPIE*, vol. 1710, Science of artificial neural networks, pp.486-487, 1992.
- [8] L. Gyergyek, "Statistične metode v teoriji sistemov, teorija o informacijah", Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1971.
- [9] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*, vol. SMC-3, no.1, pp.28-44, 1973.
- [10] L.M. K. Vandersypen, "Experimental quantum computation with nuclear spins in liquid solution", Ph.D. Dissertation, Stanford University, 2001, <http://arxiv.org>, quant-ph/0205193.

Franc Jurkovič je diplomiral leta (1975), magistriral (1980) in doktoriral (1991) na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je kot docent na Inštitutu za elektroniko in telekomunikacije, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Med drugim je bil zaposlen kot član investicijske skupine za zgradnjo Tovarne sladkorja Ormož.

UDK 621.3:681.3

ISSN 0013-5852

*Elektrotehniški vestnik Vol. 74, 2007**Electrotechnical Review Vol. 74, 2007*

Letno kazalo

V. Ažbe, R. Mihalič: Uporaba direktne Ljapunove metode za ugotavljanje stabilnosti elektroenergetskih sistemov z univerzalnim prečnim transformatorjem67

R. Babič: glej pod B. Jarc

J. Bešter: glej pod U. Sedlar, M. Jenko, A. Krenker, I. Humar, D. Savič, T. Pfajfar

U. Bogataj: glej pod I. Humar

J. Brest, V. Žumer, M. Sepesy Maučec: Velikost populacije pri algoritmu diferencialne evolucije55

A. Brodnik: glej pod A. Malej

L. G. Corzo: glej pod P. Peer

A. Černigoj, R. Fišer: Konstrukcijski ukrepi za zmanjšanje samodržnega vrtilnega momenta sinhronskega motorja s trajnimi magneti207

R. Čop, F. Dimc, D. Paliska: Merjenje lastnosti vozniaka osebnega avtomobila v prometnem toku na mikroskopski ravni25

K. Deželak, B. Klopčič, G. Štumberger, D. Dolinar: Poenostavljena metoda upoštevanja dinamičnih histereznih izgub v modelu enofaznega transformatorja ...261

F. Dimc: glej pod R. Čop

F. Dimc, B. Mušič, R. Osredkar: Določanje položaja z enofrekvenčnim sprejemnikom GPS na podlagi kode C/A signala za potrebe arheo-geofizikalnih preiskav..255

T. Dogša: glej pod M. Šalamon

D. Dolinar: glej pod B. Klopčič, K. Deželak

B. Drnovšek, D. Križaj: Načrtovanje elektromagnetnega sprožnika s pomočjo numerične simulacije273

V. Efimushkin, D. Žepič: Performance evaluation of Call-center with call redirection79

R. Ferlič, M. Trlep: Analiza elektromagnetnega polja v okolici 400 kV daljnovidov1

T. Filimonova: glej pod S. Omerović

R. Fišer: glej pod A. Černigoj

A. Gams, J. Lenarčič, L. Žlajpah: Vrtenje žiroskopske naprave z robotom223

G. Geršak: Merjenje homogenosti magnetnega polja v večplastni solenoidni tuljavi303

J. Guna: glej pod M. Jenko

V. Guštin: Intelovi 64-bitni procesorji201

M. Hebar, P. Planinšič: Comparison of video codecs and coded video sequences quality using the latest objective and subjective assessment methods171

D. Heric, B. Potočnik: Objective assessment of image segmentation algorithms13

R. Hribar: glej pod R. Mahkovic