

Jednička, nula, či obojí (současně) ?

Z. Huňa

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,

Břehová 7, 115 19 Praha 1

t3d1.livi@centrum.cz

Abstrakt

Naše civilizace v dnešní době „stojí“ na polovodičích. Mikrovlonné trouby, pračky, ledničky, hodinky, auta, televize...tam všude můžeme najít polovodiče; lépe řečeno většinou vlastně takové 'shluky' polovodičů, jimž říkáme **RADIČE**. Stejně tak i v číslicových počítačích, které dnes a denně používáme k práci či zábavě. Tyto se řídí binární logikou a binárními algoritmy. Existují však už i počítače kvantové. V čem se liší od těch stávajících? Na jakých principech pracují? Spoustu věcí ukáže až čas. Co už ale víme, s tím Vás, v rámci svých možností, rád seznámím.

1 O co jde?

Co se týká číslicových počítačů, je dnešním trendem neustálá miniaturizace. Na křemíkové destičky umísťujeme stále více a více polovodičových součástek. Kousek takovéto destičky s vhodně uspořádanými součástkami vytváří takový “blok“, jenž když zabalíme do pouzdra, vznikne procesor, klíčová součástka počítače. Dnes už běžně procesory obsahují i více takovýchto “bloků“, říkáme jim jádra. Zvláštností už nejsou ani počítače s více procesory (tím více myšleno i několik mnoho tisíc ☺). Ale zpátky k té miniaturizaci. I tak pořád jednu součástku, převážně tranzistor, tvoří asi miliarda atomů. Budeme-li v našem zmenšování pokračovat, jednou dospějeme k tomu, že takový 'přepínač' bude tvořen jedinou molekulou či atomem a jeho stav budeme moci charakterizovat například jeho spinem (můžeme si jej zjednodušeně představit jako rotaci). Logickými hodnotami 1/0 bychom pak mohli označit rotaci po nebo proti směru hodinových ručiček. Na takovémto stupni miniaturizace se však projevují jiná pravidla a zákony chování. Je to už tak trochu jiný svět, svět jímž se zabývá kvantová teorie (Max Planck, r.1900). Zásadní novinkou bude pro nás fakt, že naše jednotlivé částice se mohou vyskytovat jak ve stavech 1 a 0, tak i v obou těchto stavech současně. V důsledku této kvantové rozmazanosti se již takovýto systém bude chovat indeterministicky (stejná příčina nebude mít vždy stejný důsledek). Kvantová mechanika nám říká, že částice se v každém okamžiku nenachází na jednom konkrétním místě, ale v superpozici všech možných přípustných poloh. Až v okamžiku, kdy se ji budeme snažit změřit, její nahodilý stav narušíme a její superpozice náhodným způsobem zkolabuje na jednu jedinou možnost. A právě toho využijeme pro vytvoření našich kvantových počítačů.

2 Tak se na to podíváme hlouběji

ERP jev

Roku 1935 se Albert Einstein s kolegy Nathanem Rosenem a Borisem Podolskym (odtud ERP) pokusili dokázat, že kvantová teorie se mýlí a každá dosud nepozorovaná částice letící prostorem je určena konkrétními vlastnostmi jako i jiné objekty. Experiment spočíval v představě částice, jež se rozpadne na dva fotony letící navzájem opačnými směry. Oba fotony mají svůj spin, což je vlastnost, jež se zachovává, na začátku i na konci děje se sobě musí rovnat. Myšlená rozpadnutá částice má nulový spin, a tedy oba rozpadnuté fotony se musejí 'otáčet' opačně. Z kvantové mechaniky plyne, že dokud nejsou fotony změřeny nenabývají konkrétních vlastností, jsou ve stavu superpozice. Po nějaké době jeden z fotonů změří a tím ho donutí si vybrat svou hodnotu spinu. Pro druhý foton však musí platit, že ať už je jakkoliv daleko, musí se v tomtéž okamžiku překlopit do opačného stavu, kvůli zachování spinu. Tato fotonová synchronizace by musela být okamžitá a tedy rychlejší než světlo, což právě Einsteinovi vadilo. Tato absurdita se dnes zdá být prokázána a laboratorní experimenty existenci ERP jevu potvrdili. Částice nacházející se na jakkoliv vzdálených místech jsou vzájemně "propleteny".

Nové možnosti

Číslicový počítač však pořád pevně stojí na zákonech našeho světa, žádné neurčitosti, stejný vstup dá vždy stejný výstup. Jednotlivé přepínače jsou buďto zapnuté nebo vypnuté. S dostatkem času a paměti můžeme takovýmto počítačem simulovat jakýkoliv jiný počítač. Staré Atari může simulovat Pentium 4, rozdíl bude pouze v čase. Když ale takovýto počítač použijeme k simulaci kvantového systému, jako například srážky subatomárních částic, stane se takovýto úkol pro ně nepřekonatelný, okamžitě se zahlčí spoustou dat, jejichž zpracování by jim trvalo celé věky. Řekněme, že chceme nasimulovat chování několika kvantových částic, jež se mohou otáčet na jednu nebo druhou stranu. Spočítáme tedy všechny možné kombinace stavů. S využitím číslicových přepínačů to bude pro pět částic 2^5 kombinací pro deset 2^{10} pro dvacet 2^{20} atp. S každou další částicí počet kombinací exponenciálně naroste a nároky na výpočet se zvýší. Jelikož každá částice se ale může točit na obě strany současně, můžeme k výpočtu použít jen jeden řádek přepínačů kvantových. Takže místo použití 2^5 běžných bitů použijeme jen 5 tzv. q-bitů, což je vlastně 5 částic ve stavu kvantové neurčitosti. Systém těchto částic tak bude ve stavu superpozice všech 2^5 kombinací současně najednou. Pak místo např. 2^{30} bitů jen 30 q-bitů. A to je znatelný rozdíl použít místo 1073741824 elementů jen 30. Miliony potenciálních šachových tahů můžeme vyhodnotit současně pomocí téměř neviditelného řetízku qubitů.

A co realizace?

Číslicové obvody se zpravidla skládají z logických hradel. Vlastně nakonec cokoliv můžeme realizovat pomocí jednoho typu hradla a to NAND. V případě dvouvstupového NANDu dostaneme na výstupu nulu, když jsou oba vstupy jedna, a jinak dostáváme vždy jedna. Mimo hradlo NOT (negace) jsou tato hradla nevratná, tzn. že nemůžeme určit jestli výsledek 4 vzešel z výpočtu $3+1$ nebo $2*2$. Kvantová hradla však musejí být již z principu plně vratná. Historie výpočtu se musí zachovat. Jestliže se jedna částice rozpadne na dvě jiné, musí sloučením těchto

dvou vzniknout zase ta původní. Informace opouští kvantový systém jen tehdy, je-li systém změřen, pozorován; jinými slovy interaguje-li s okolním světem. Superpozice zkolabuje a výpočet zůstane nedokončen.

Jak ale s jednotlivými qubity počítat? Nejdřív je musíme někde "uchytit". Jedním ze způsobů je pomocí tzv. iontových pastí. Vlivem elektrických a magnetických polí můžeme jeden ion zachytit uvnitř vakuové komory; jeho pohyb utlumíme ostřelováním laserem vždy do protisměru jeho aktuálního pohybu. Předpokládáme, že zachycený atom má na vnější slupce jeden elektron. Posvítíme-li na něj laserem správné frekvence, můžeme jej vyexcitovat na vyšší hladinu a tak si zvolit úroveň 1 a 0. Jiná technika se nazývá "dutinová QED" (quantum electrodynamics). Jedná se vlastně o kousek prostoru ohraničeného zrcadly, mezi nimiž poletuje foton sem a tam a vědci se jej snaží přinutit provádět výpočty interakcemi s jinými atomy (protože fotony mezi sebou navzájem neinteragují). Úspěchu ale také dosahuje metoda zvaná NMR (nukleární magnetická rezonance), jedná se o počítání s celými molekulami. Molekula tvoří zjednodušeně řečeno řetězec qubitů, elektrony obíhající kolem jádra nejsou pak jedinými objekty, jež můžeme přepínat mezi stavy 1 a 0. Můžeme to dělat taky s jádry atomů. Podle toho, zda-li je jádro složeno z lichého počtu částic, může mít nenulový spin a též reprezentovat logickou 1 a 0. Pomocí správně načasovaných vysokofrekvenčních pulsů pak můžeme nastavovat jednotlivé q-bity. Ke vzájemné interakci qubitů a provádění výpočtů se využívá právě jejich kvantové provázanosti.

3 Jsme teprve na začátku

Teoretické počítání s qubity máme tedy jaksi zvládnuté, existují kvantové algoritmy na řešení různých problémů. Větším problémem zůstává tedy hardware. Například problémy s velikostí zařízení potřebné pro takové stroje nebo dekoherence, což je stav, kdy qubity provádějící výpočet zkolabují dříve než jej dokončí. Řádově vlastně dokážeme systém pro výpočet udržet ve stavu vhodném pro výpočet jen zlomky sekund. Nejdéle metodou NMR (cca sekundy). Pak dojde ke zkolabování systému. Ovšem s číslicovými počítači to taky nebylo snadné a po několika desetiletích vystřídaly obrovské sálové počítače napájené vlastními elektrárnami počítače, co se vejdou na stůl, do baťohu či do kapsy s minimální spotřebou. Nedávno firma D-Wave z kanadského Vancouveru předvedla svůj nový počítač Orion, založený na technologii kvantového počítače. K výpočtům používá procesor obsahující 16 niobiových prvků. Ty reprezentují qubity. Je to spíš jen o úzce zaměřený stroj využívající některé prvky kvantové mechaniky. Podle firmy jde spíše o ukázkou, že "to jde", a hodlají svůj výtvar uvést na trh v prvním čtvrtletí roku 2008.

Reference

- [1] G. Johnson, Zkratka napříč časem, Dokořán, 2004
- [2] R. P. Feynman, Neobyčejná teorie světla a látky, AURORA, 2001
- [3] <http://www.dwavesys.com/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=4&cntnt01returnid=21>