

Computació quàntica: la fi de l'era del silici

Els xips dels ordinadors tenen cada cop dimensions més petites. Aquest fet farà que, previsiblement, ben aviat s'arribi al límit físic pel qual el seu funcionament deixa de ser fiable. Hom pensa que aquest límit serà assolit en la pròxima dècada.

La civilització humana ha avançat a mesura que hom ha descobert noves maneres d'aprofitar els recursos físics, com ara materials, forces i energies. Al segle XX la informació ha estat inclosa en aquesta llista amb la invenció dels equips electrònics que processen dades complexes i, en particular, els ordinadors. La història de la tecnologia dels ordinadors ha implicat una sèrie de canvis d'un tipus de realització física a un altre: d'engranatges a relés, de vàlvules a transistors i d'aquests a circuits integrats, i així successivament. Des del començament d'aquesta revolució tecnològica ha estat una constant el fet de reduir les dimensions d'aquests components per aconseguir una contínua millora en les seves prestacions, bàsicament velocitat de processament i cost de fabricació. Per començar, veurem amb més detall la tecnologia que avui dia és el fonament de la microelectrònica i de la indústria dels ordinadors en particular: la tecnologia dels semiconductors.

Microelectrònica basada en la tecnologia dels semiconductors.

La majoria d'equips electrònics i la totalitat dels ordinadors d'avui dia es basen en la tecnologia dels semiconductors, els quals són elements que permeten el pas de corrent elèctric en unes condicions concretes. El més utilitzat d'aquests elements semiconductors és el silici, que s'empra en la indústria de la informàtica i en altres indústries de l'electrònica.

Els circuits integrats o xips consisteixen en una pastilla de sílici sobre el qual "es graven" circuits electrònics —els components i les pistes que els connecten— mitjançant tècniques litogràfiques. Les avançades tècniques litogràfiques

actuals permeten fabricar xips amb unes dimensions d'una fracció de micra, és a dir, inferiors a la milionèsima part d'un metre.

El component més interessant d'un circuit electrònic és el transistor d'efecte camp, que permet o no el pas de corrent elèctric a través seu segons el valor de la tensió elèctrica aplicada entre els seus electrodes. És a dir, es comporta com una porta elèctrica, amb dos estats possibles: obert o tancat.

El tractament de la informació consisteix a fer operacions amb dades binàries, és a dir, amb dades que només poden prendre els valors 0 i 1. L'emmagatzematge d'aquestes dades i el seu processament es fan a través de la combinació d'una quantitat ingent de transistors. El cor d'un ordinador —la seva CPU— és formada per milions de transistors.

Però la tecnologia basada en transistors i els circuits integrats no només afecta els ordinadors, sinó que té múltiples aplicacions a la vida quotidiana. Els dispositius microelectrònics basats en el silici han revolucionat el nostre món du-

La recerca per obtenir memòria electrònica més barata, i processadors més ràpids i potents ha estat contínua

La mecànica quàntica ens explica un seguit de fenòmens estranys a la nostra intuïció, habituada als processos físics relacionats amb el nostre entorn més immediat

rant les darreres tres dècades. Els circuits integrats, construïts a partir de components fets de silici (com ara els transistors o els díodes), ho controlen tot: cotxes, telèfons, aparells de ràdio i de televisió, Internet, productes d'electrònica de consum... La recerca per obtenir memòria electrònica més barata, i processadors més ràpids i potents, ha estat contínua. Cada any veiem xips més potents, amb dimensions més petites, amb millors prestacions i més barats. Aquesta evolució és descrita segons la llei de Moore: per a cada nova generació de xips de memòria i de velocitat de processament dels microprocessadors, el nombre de components en un xip es quadruplica cada tres anys. Fins ara aquesta tendència no ha tingut aturador, però la miniaturització dels dispositius electrònics que componen els circuits integrats assolirà les dimensions atòmiques cap al 2012, segons preveu la indústria dels semiconductors. És aleshores que la tecnologia del silici arribarà al seu límit físic fonamental, més enllà del qual deixa d'ésser útil per emmagatzemar informació. Si volem que hi hagi una millora contínua en les prestacions dels ordinadors, cal començar a trobar alternatives a la tecnologia actual.

Computació quàntica. És en aquest marc, doncs, en què apareix la computació quàntica com a alternativa per processar la informació. Aquesta nova tecnologia es fonamenta en els principis de la mecànica quàntica, que descriu els fenòmens físics del món atòmic, a diferència de la mecànica clàssica, que descriu els fenòmens físics del món macroscòpic que ens envolta. La mecànica quàntica ens explica un seguit de fenòmens estranys a la nostra intuïció, habituada als processos físics del nostre entorn més immediat.

La construcció de computadors quàntics no és encara una realitat, malgrat que els estudis teòrics estan molt

avançats. Tot i això s'han dut ha terme experiències reeixides encaminades cap a aquest objectiu.

Ordinadors quàntics. Per explicar com funciona un ordinador quàntic mirarem amb més detall què vol dir la unitat bàsica d'informació: el bit. Des d'un punt de vista físic un bit és un sistema físic que pot ésser preparat en un dels dos estats diferents que representen dos valors lògics –sí o no, cert o fals, o simplement 1 o 0–. En el cas del transistor, el valor 1 és representat per un estat de conducció, pel qual hi ha pas de corrent elèctric, i el 0, per l'absència de corrent.

Però en la codificació de 0 i 1 (valors

lògics) podem emprar com a sistema físic un àtom que pot estar preparat en una superposició coherent de dos estats diferents. Això vol dir, i aquí intervé la mecànica quàntica, que l'àtom és alhora a l'estat 0 i a l'estat 1. No hi ha equivalència d'aquesta superposició en el món clàssic, és purament un fenomen quàntic.

Prenem ara la idea de la superposició d'estats més enllà. Considerem un registre compost de tres bits físics. Un registre clàssic d'aquest tipus només pot emmagatzemar en un determinat instant una de les vuit possibles configuracions: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Un registre quàntic, per contra, compost



La computació quàntica apareix com una alternativa per processar informació. Tot i que les investigacions estan molt avançades, l'ordinador quàntic no és una realitat encara.

de tres qubits (bits quàntics) pot emmagatzemar en un mateix instant totes les vuit combinacions en una superposició quàntica.

Si el nombre de qubits d'un registre quàntic augmenta, s'incrementa la seva capacitat d'emmagatzematge de manera exponencial, és a dir, tres qubits poden emmagatzemar vuit nombres diferents alhora, quatre qubits en poden emmagatzemar $2^4=16$ nombres alhora, i així successivament: en general, L qubits poden emmagatzemar 2^L nombres alhora. Un cop el registre és preparat en una superposició de diferents nombres, pot efectuar operacions sobre tots alhora. Per exemple, si els qubits són àtoms, aleshores l'emissió de polsos de llum làser poden afectar els seus estats electrònics i fer que les superposicions d'estats inicials de nombres evolucionin a unes altres superposicions. Durant aquesta evolució cada nombre en la superposició és afectat, i com a resultat es genera

un càlcul massiu en paral·lel en una sola unitat de *hardware* quàntic. Això representa que un ordinador quàntic pot en un sol pas de computació efectuar la mateixa operació sobre 2^L nombres diferents codificats en una superposició coherent de L qubits. Per dur a terme la mateixa tasca, un ordinador clàssic —com els actuals— hauria de repetir la mateixa operació 2^L vegades, o bé hauria de ser un ordinador que emprés 2^L processadors diferents treballant en paral·lel. En altres paraules, un ordinador quàntic ofereix un enorme guany en temps i en memòria.

Estat actual de la computació quàntica. En principi sabem com construir un ordinador quàntic: podem començar amb unitats lògiques quàntiques separades i integrar-les en circuits quàntics —això seria en analogia amb el que passa amb els transistors respecte dels circuits integrats—. Una unitat lògica

quàntica és un senzill dispositiu que efectua una operació quàntica elemental en una determinada unitat de temps. Tanmateix, en integrar aquestes unitats en un mateix circuit sorgeixen seriosos problemes pràctics. Com més components hi ha involucrats, més probable és que la computació quàntica dissipï irreversiblement informació cap a l'entorn, en un procés anomenat de descoherència. El procés de descoherència representa la fi de la superposició coherent d'estats diferents. Així doncs, la qüestió és dissenyar sistemes microscòpics en què els qubits interaccionin només amb si mateixos però en cap cas amb l'entorn físic que els envolta.

Alguns físics són pessimistes pel que fa als substancials avenços en aquest camp. Pensen que el fenomen de descoherència mai es podrà reduir de manera que permeti més que uns pocs passos computacionals consecutius. Altres, més optimistes, creuen que hi haurà ordinadors quàntics pràctics més aviat en qüestió d'anys que de dècades. És per això que molts experimentadors no es rendeixen. El repte actual no és construir directament un ordinador quàntic complet, sinó més aviat partir d'un seguit d'experiments en els quals hom observa fenòmens quàntics per arribar a experiments en què puguem controlar aquests fenòmens. Les proves experimentals indueixen a pensar que determinats sistemes poden mantenir superposicions quàntiques durant hores.

La recerca teòrica i experimental en computació quàntica s'accelera arreu del món. Es proposen noves tecnologies per fabricar ordinadors quàntics, contínuament es descobreixen nous tipus de computació quàntica i hom espera que alguns donin fruits tecnològics.

Gervasi Herranz Casabona

Per saber-ne més:

A. Barenco, *Quantum Physics and Computers*. A: *Contemporary Physics*, 37, pàg 375-389.

D. Deutsch, *The Fabric of Reality*. London: Editat per Viking Penguin Publishers, 1997.

