

Computadores del futuro

Sergio Fernández Oyarvide, Catuxa Irene Fernández Vázquez, Felipe González Fanjul, Juan Noriega Menéndez

Estudiantes de Ingeniería Informática Superior en la Escuela Universitaria de Ingeniería de Gijón, Universidad de Oviedo
{uo173574, uo180169, uo189388, uo165227}@uniovi.es

Abstract. Classical computation is not able to sustain its current growth indefinitely. As time passes and more limitations to the current model are exposed, different alternatives appear to overcome them. This document analyzes these alternatives, and takes a deeper look at analogical computation and its applications in these new models.

Resumen. La computación clásica no es capaz de mantener su actual ritmo de crecimiento de forma indefinida. Conforme pasa el tiempo y afloran las limitaciones del sistema actual, aparecen distintas alternativas para subsanarlas. Este documento analiza dichas alternativas, y estudia las nuevas aplicaciones de la computación analógica en estos nuevos modelos.

1 Introducción

Durante los últimos 70 años, la computación electrónica digital ha sido el principal objeto de estudio en el mundo de los computadores. Pese a que esta situación no está próxima a cambiar, sí que empiezan a verse las primeras limitaciones de este sistema. No es posible mejorar cuantitativamente cada componente electrónico de forma indefinida; ni mucho menos, lograr que cada mejora sea siempre viable. Para sufragar estas limitaciones, se proponen diversas alternativas.

A corto plazo, los estudios se centran en modificar la estructuración del hardware existente, introduciendo mejoras cualitativas que ya están empezando a entrar en vigor, como la unificación de componentes o la replicación de unidades funcionales.

A medio y largo plazo, sin embargo, se están estudiando nuevos modelos de computación revolucionarios, desarrollando distintos nuevos enfoques. Especial atención merecen los computadores mecánico-cuánticos, los biológicos y los ópticos.

Además, en el futuro, se prevén nuevos usos para la computación analógica; ya que, pese a no presentarse como una alternativa sólida al modelo digital a día de hoy, sí se considera factible su aplicación tras la entrada de los nuevos modelos.

2 Avances sobre sistemas actuales

Las tendencias más recientes para mejorar los computadores electrónicos de uso habitual no pasan tan solo por mejoras cuantitativas de la tecnología de fabricación y la capacidad de almacenaje de los distintos niveles dentro de la jerarquía de memoria. Distintas empresas fabricantes de hardware están estudiando formas de mejorar el hardware modificando la propia estructuración del mismo.

Las dos principales alternativas que se presentan para los próximos años, y que no son excluyentes entre sí, se presentan a continuación.

2.1 Unificación de componentes

En los computadores modernos, existen ciertos componentes que, pese a encontrarse (actualmente) físicamente separados, tienen un modus operandi similar; y pueden ser integrados en una sola estructura en un futuro próximo.

En el caso de los computadores personales, el mejor ejemplo puede encontrarse en la tupla procesador central-procesador gráfico. Actualmente, el procesador gráfico es independiente del procesador central. Cada uno tiene su propia memoria caché, y su propio conjunto de instrucciones y registros. Sin embargo, la semejanza entre ambos procesadores y la necesidad de que se coordinen entre sí hace que los desarrolladores de hardware comiencen a estudiar formas de integrarlos en un solo chip; mejorando notablemente el rendimiento al acercar ambos componentes. Este estudio está bastante avanzado, teniendo como premisa el Intel Larrabee, cuyo diseño concluyó este mismo año. Se trata de un proyecto que ha fracasado, pero que ha sido tomado como base por diversos laboratorios para proseguir con la investigación.

Sin embargo, no solo pueden juntarse procesador central y gráfico. Se prevé que, tras esta primera integración, la memoria principal comience también a incluirse dentro del propio chip del procesador junto con la caché; mejorando aún más las comunicaciones entre los componentes principales del computador. En definitiva: Se tenderá a hacer el sistema más atómico y compacto.

Además de la unificación de componentes, existe otra rama de la investigación que opta por darle al procesador gráfico un uso más general; pudiendo realizar funciones hasta ahora reservadas al procesador central. A este concepto de unificación se lo conoce comúnmente como GPGPU (General Purpose computing on Graphics Processing Unit).

2.2 Replicación de unidades funcionales

La replicación de unidades funcionales ya es observable en la actualidad; y lo era hasta cierto punto desde hace bastante tiempo, pese a que era mucho más discreta (afectando solo a componentes muy específicos y puntuales).

Los límites de frecuencias de reloj establecidos debido a la disipación del calor en los procesadores modernos fuerzan a que se considere la replicación de sus núcleos como alternativa al mero incremento de velocidad. Dicho de otro modo: En lugar de

trabajar con un procesador mononúcleo con una frecuencia alta (lo que requeriría un gasto prohibitivo en energía para la refrigeración, dado que se calentaría demasiado) se trabaja con varios núcleos de frecuencias bajas integrados en un solo chip, que se coordinan entre sí para realizar operaciones concurrentemente. Con ello, puede lograrse procesar la misma cantidad de instrucciones con un gasto energético mucho menor.

Como ya se ha mencionado; la replicación de unidades funcionales no es una técnica nueva. Era habitual que, en los primeros ordenadores electrónicos, se replicasen determinadas unidades funcionales, como las unidades aritmético-lógicas. Sin embargo, por aquél entonces aún no existía el concepto de procesador como elemento atómico encargado de la ejecución de instrucciones.

Pese a las grandes ventajas de ahorro de energía y funcionamiento que se logran con replicación de unidades funcionales, existen también ciertos límites. En el caso de los procesadores modernos, no se observa un incremento de velocidad que justifique seguir con la replicación a partir de los 32 núcleos. Incluso existen sectores que afirman que el límite viable se encuentra en los 16. Esto es debido a la saturación del tiempo de procesamiento por parte de las instrucciones relacionadas con el manejo de la concurrencia. Por tanto, no se puede depender indefinidamente de esta técnica.

3 Avances sobre sistemas en desarrollo

Los sistemas que se describen en este apartado están en proceso de investigación y desarrollo, y se presentan como alternativas a medio y largo plazo. Son los computadores mecánico-cuánticos, los computadores biológicos y los computadores ópticos (fotónicos).

Cabe destacar que, pese a presentarse como sistemas computacionales independientes, con frecuencia los prototipos que se construyen de los mismos a día de hoy suelen ser híbridos entre el sistema en cuestión y el sistema de computación electrónico (empleado en la actualidad). Además, no se descarta que estos modelos se combinen entre sí en el futuro para aprovechar las características que brinda cada uno (dado que, precisamente, los computadores ópticos no son sino una derivación de los cuánticos, como se comentará posteriormente).

3.1 Computación mecánico-cuántica

La computación mecánico-cuántica hace uso de los fenómenos de superposición y entrelazamiento, presentes en esta ciencia, para representar datos y realizar operaciones sobre los mismos.

La superposición se da cuando una partícula *puede* poseer simultáneamente dos ó más valores de una cantidad observable; debido precisamente a la imposibilidad de aseverar en qué estado se encuentra dicha partícula. Por ejemplo: Una partícula estar en dos lugares simultáneamente dentro del sistema estudiado, o tener varios estados distintos a la vez. Como dato, la célebre paradoja del gato de Schrödinger hace referencia a esta propiedad.

Por su parte, el entrelazamiento describe a la propiedad que tienen los objetos cuánticos por la cual, cuando dos o más de los mismos están unidos cuánticamente, el estado de un determinado objeto del sistema resultante puede describirse solamente si se tienen en cuenta los estados del resto de los objetos del sistema. Dicho de otra manera: Cada elemento del sistema se describe en base a los demás.

Obviamente, estas propiedades no están descritas ni presentes en la física clásica; y por tanto no pueden aplicarse en sistemas que hacen uso de transistores. Para hacer notar esta diferencia, ya no se considera el bit como unidad mínima de información, sino el qubit (quantum bit).

En esencia, si un computador clásico equivale a una máquina de Turing determinista, un computador clásico sería una máquina de Turing no determinista.

3.1.1 Construcción y funcionamiento

Existen distintos acercamientos para decidir sobre qué elementos hardware ha de basarse un computador cuántico. Por el momento, los que se más se están tomando en consideración son los superconductores, los espines nucleares y los medios ópticos. Éstos últimos serán descritos con mayor grado de detalle posteriormente.

Un computador mecánico-cuántico representa la información mediante secuencias de qubits. Al contrario que con los bits, que solo pueden encontrarse en estado 0 ó 1; un qubit puede estar en estado 0, 1, ó en superposición cuántica. Este último estado es continuo, y en él, debido a lo ya especificado acerca de la superposición, el qubit puede tomar varios valores. Es decir: Puede ser 0 ó 1.

Este dato revela una interesante propiedad: Mientras que en un computador electrónico una secuencia de bits tiene un valor concreto, en un computador cuántico se habla de que “es posible” que la secuencia de qubits tenga dicho valor, de entre todos los valores o “estados” que podría tomar esa agrupación de qubits. Gracias al entrelazamiento (por el cual la descripción de un estado depende del resto de estados del sistema), el computador cuántico es capaz de tomar todos estos estados y resolverlos al mismo tiempo; pudiendo después elegir el estado “correcto” para la operación que se esté realizando. Esta tremenda capacidad de exploración paralela de cada uno de los estados de un sistema es lo que verdaderamente hace de la computación cuántica una potentísima herramienta si se compara con los dispositivos actuales.

Sin embargo, y contrariamente a lo que se pueda pensar, un computador cuántico no es capaz de realizar más tipos de operaciones que las que pueden hacer un computador clásico; pero sí puede trabajar a una velocidad muy superior, tanto por las mejoras cualitativas (derivadas de la propiedad que se acaba de explicar, y afectando sobretudo a la algoritmia) como por las cuantitativas (la tecnología de fabricación actual ofrece cifras irrisorias si son comparadas con el ínfimo tamaño de las partículas representativas de cada cuanto).

3.1.2 Estado del arte

Los computadores mecánico-cuánticos son la principal línea de investigación en cuanto a nuevos sistemas de computación se refiere; y su proceso de desarrollo está bastante avanzado.

Precisamente, el primer modelo de computador cuántico escalable se espera que sea terminado este mismo año 2010. Será un modelo muy básico, sin apenas uso comercial, e insuficiente para cumplir con las expectativas marcadas; pero supondrá un hito en la investigación en esta rama de la computación moderna.

En cuanto a la distribución comercial de computadores cuánticos para uso personal, ésta se considera como una realidad a largo plazo, en unos 50 años. Por el momento, el uso a corto plazo se prevé en computadores orientados a la investigación, la gran empresa y el ejército.

3.1.3 Conclusiones

La computación cuántica se origina debido a las limitaciones físicas de la computación electrónica: No es posible hacer uso de una tecnología de fabricación infinitamente pequeña. Tras pasar la barrera de los nanómetros, algunos componentes dejan de funcionar correctamente debido al “efecto túnel”; por el cual los electrones se escapan de los canales por los que deben circular.

La computación cuántica, puede ser crucial a la hora de trabajar en la resolución de problemas (con un determinado algoritmo) en las que la búsqueda de una solución válida con los sistemas electrónicos actuales podría demorarse siglos, milenios, e incluso más tiempo; gracias a la capacidad de estos nuevos computadores de resolver de forma paralela todos los estados en un sistema completo.

3.2 Computación biológica

La computación biológica realiza ejecuta instrucciones apoyándose en sistemas de moléculas biológicas (biomoléculas), como diversas proteínas e incluso ADN. Estas entidades reemplazan transistor como unidad básica de operación; por lo que comúnmente también son llamadas “transistores orgánicos”.

El desarrollo de este concepto es posible a los avances en nanobiotecnología, que hace uso de elementos existentes en la naturaleza a pequeñísima escala para fabricar nuevos componentes. La gran ventaja es que la reproducción de estos componentes puede realizarse de forma sencilla y a un bajo coste; dado que toda entidad biológica cuenta, necesariamente, con algún tipo de mecanismo de reproducción o replicación (sin el cual sería imposible concebir la existencia de organismos vivos).

Se pretende definir distintas entradas y salidas determinadas en estos componentes aprovechando su metabolismo. Además, se prevé que, al contrario que con los computadores cuánticos, con los computadores biológicos sí podrán realizar más funciones de las que pueden hacer con un computador actual; como, por ejemplo, el reconocimiento de imágenes por hardware.

3.2.1 Tipos y funcionamiento

Actualmente, se reconocen tres tipos computadores biológicos; atendiendo a los parámetros o características que se toman como señal de salida (output) de las biomoléculas implicadas en el sistema.

3.2.1.1 Computadores bioquímicos

Aprovechan los ciclos de realimentación que tienen lugar de forma constante en la mayoría de las reacciones químicas que ocurren entre o sobre entidades de carácter biológico (biomoléculas). Dicha realimentación garantiza la conservación de la mayor parte de los reactantes tras cada interacción química, siendo mínimas las pérdidas entre los componentes implicados en cada interacción.

El funcionamiento es el siguiente: Al combinarse en distinta proporción los factores que intervienen en tal reacción química, el resultado puede generar una salida (output) más o menos cargada de un determinado parámetro en la interacción; pudiendo así representarse un valor positivo o negativo (un bit), e incluso especular con valores analógicos. Como parámetro puede tomarse cualquiera de las características de las biomoléculas que tomen parte en la reacción: Nivel de concentración de una determinada enzima u otros productos, proporción existente de cada entidad biológica presente en la interacción, etcétera.

Por supuesto, para poder generar dichas reacciones debe diseñarse una determinada secuencia de interacciones químicas que sirvan de señal de entrada y fueren dichas interacciones (input).

3.2.1.2 Computadores biomecánicos

Aprovechan los estados que puede tomar una determinada entidad biológica tras ser estimulada (química o electrónicamente) para determinar la salida de una operación.

Como “estado” de la entidad puede estudiarse su estructura molecular e incluso su estructura física exterior (la “forma” de la partícula). Este estudio “mecánico” de la partícula puede traducirse en una señal de salida que, nuevamente, puede interpretarse como analógica o digital.

3.2.1.3 Computadores bioelectrónicos:

Aprovechan la variación de la conductividad entre entidades biológicas. Para ello, se deben diseñar entidades biológicas que conduzcan valores específicos de corriente eléctrica, atendiendo a un estímulo externo (químico o electrónico).

Ante una determinada entrada, las biomoléculas actuarán como conductores de una determinada densidad de corriente; mientras que, ante la carencia del dicho valor de entrada o la existencia de otra fuente de estimulación, las biomoléculas aumentarán o reducirán su conductividad – pudiendo incluso volverse aislantes. Midiendo este parámetro puede interpretarse un valor de salida.

3.2.2 Estado del arte

A día de hoy, las aplicaciones de la computación biológica se limitan a la construcción de pequeñas máquinas experimentales en laboratorios que cuentan con medios especializados.

En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), por ejemplo, se han reproducido puertas lógicas de diversos tipos empleando agrupaciones de biomoléculas; y en su homólogo en Georgia (GIT) se ha logrado construir un sumador sencillo.

En el Laboratorio de Nanorobótica de la Universidad de Montreal, se manipularon bacterias de forma directa para forzarlas a viajar a través de la corriente sanguínea de

un roedor e incluso a montar (una vez juntas en grandes grupos) piezas microscópicas de un pequeño puzzle; quedando demostrado hasta qué punto es posible hacer que una biomolécula cambie su comportamiento tras recibir un determinado estímulo externo.

Sin embargo, el presupuesto y los medios para la investigación sobre biocomputadores han aumentado considerablemente a lo largo de la última década; y se están realizando avances de cierta importancia.

3.2.3 Conclusiones

Hay grandes expectativas de futuro, por la poca cantidad de energía que se requiere para operar estos elementos y la gran capacidad de reacción que tienen, además de su bajo coste. Los avances en la manipulación de estos componentes pueden incluso tener repercusión en otros campos de la ciencia como la medicina o la botánica, pudiendo forzar diversos comportamientos específicos en agrupaciones de biomoléculas; actuando, en definitiva, como nanomáquinas.

Pese a todo, la investigación sobre la computación biológica se encuentra, comparativamente, en un estado de madurez muy inferior a otros sistemas de computación en desarrollo; y se considera como alternativa a largo plazo. Sin embargo, es de esperar que en el futuro se desarrolle este estudio en profundidad, dado el gran potencial que parece tener. Por lo pronto, el computador biológico más avanzado y complejo del que se tiene constancia es el cerebro humano.

3.3 Computación óptica

La computación óptica (o computación fotónica), como la computación cuántica, hace uso de cuantos y sus propiedades de superposición y entrelazamiento para realizar operaciones. En este caso, se pretende hacer uso de fotones (también llamados “cuantos de luz”). El tipo de luz a emplear es la infrarroja; debido a que, a nivel atómico, crea una cierta vibración que hace más sencillo el estudio y la medición de estas partículas.

La unidad básica de construcción es, en este caso, el transistor óptico, inventado durante los años '80.

En esencia, la computación óptica puede considerarse una subrama dentro de la computación cuántica. Sin embargo, su importancia y sus características particulares la hacen merecedora de considerarse como un modelo independiente.

3.3.1 Construcción y funcionamiento

La principal línea de investigación sobre la computación óptica se centra en imitar el funcionamiento existente en computadores electrónicos con componentes ópticos, más rápidos y fiables.

La primera gran ventaja sobre los computadores electrónicos es que la interferencia (o superposición de ondas) de una onda lumínica es muy sensible a las variaciones de frecuencia. Esto implica que las bandas de fotones que transportan cada bit pueden ser verdaderamente finas; permitiendo una anchura de la palabra de bus muy superior a la de un computador clásico. Se habla de envíos de datos del orden de millones de bits en un solo ciclo; frente a las tasas de 32, 64 ó 128 bits de los computadores actuales, que

tienen un ancho de bus mucho más limitado - sobretodo, si se pretende enviar los datos a altas velocidades, principalmente por cuestiones de ruido térmico e interferencias entre las señales del bus.

Para construir transistores ópticos (y, por tanto, puertas lógicas) equivalentes a los construidos en sistemas electrónicos, se usan polímeros de distinta traslucidez; que además han mostrado ser mucho más eficientes que sus homólogas electrónicas, siendo más pequeños y más rápidos.

Como equivalente a la memoria principal, de forma experimental, se han usado diversos cristales para actuar como almacenes temporales de luz.

En cuanto a la disposición física del sistema, no existen problemas con que varios rayos se crucen o solapen unos sobre otros; dado que entre las ondas generadas por distintas fuentes luminosas no ocurren interferencias (al contrario que en sistemas electrónicos). Esto posibilita la construcción de computadores más pequeños y planos.

3.3.2 Estado del arte

Actualmente, el avance en la computación óptica ha permitido crear algunos prototipos funcionales, aunque en su mayoría no son completamente ópticos; sino que cuentan también con partes electrónicas.

Sin embargo, y pese a ser una disciplina bastante novedosa, se contemplan sus aplicaciones comerciales a medio plazo; pues la mayoría los elementos necesarios para su funcionamiento ya han sido validados y comprobados de forma independiente..

3.3.3 Conclusiones

La computación óptica otorga una ventaja importante respecto a la clásica (electrónica): Permite velocidades de transferencia de datos muy superiores (dada la mayor velocidad de desplazamiento de los fotones frente a sus homólogos, los electrones), con una disipación de calor muy inferior.

Por el contrario, en cuanto al consumo de energía, la computación óptica se ve superada por la electrónica; sobretodo, para distancias cortas. Esto ocurre debido a que el ruido de disparo en un canal de comunicación óptico es muy superior al ruido térmico en un canal electrónico; y por tanto hace falta más cantidad de energía en la señal para enviar una determinada cantidad de datos. También la combinación de ondas lumínicas requiere más energía que la de una onda eléctrica; por lo que realizar operaciones también es más costoso.

Sin embargo, conforme se aumenta la distancia, el ruido térmico del canal electrónico empieza a aumentar respecto al de disparo de un canal óptico; justificando así el uso de la computación óptica en sistemas donde los componentes se encuentren alejados unos de otros.

En definitiva: La computación óptica se muestra como una alternativa cada vez más próxima a la computación electrónica; pues permite velocidades de procesamiento prohibitivas en el modelo actual debido al calentamiento de los componentes.

3.4 Comparativa

A continuación, se ofrece una breve comparativa entre los tres modelos propuestos.

Tabla 1. Tabla comparativa entre los 3 modelos de computación del futuro estudiados

| | Cuánticos | Biológicos | Ópticos |
|--|-------------|------------------------------------|------------------------------|
| Tiempo de aplicación | Corto plazo | Largo plazo | Medio plazo |
| Consumo | Bajo | Muy bajo | Alto |
| Coste de construcción | Alto | Bajo | Alto |
| Unidad hardware mínima | Varios | Biomolécula (enzima) | Trans. óptico (polímeros) |
| Partícula a medir | Varios | Características de la biomoléc. | Fotón |
| Más funciones que un computador clásico | No | Sí | No |

4 Computación analógica

La computación analógica (o computación real) no es un sistema en sí, sino un modelo aplicable a todos los sistemas de computación existentes; pudiendo darse en computadores electrónicos, cuánticos, etcétera.

Este enfoque se acerca al concepto ideal de poder interpretar, procesar y transmitir una señal de forma directa e íntegra (sin pérdida). La computación analógica prescinde, por tanto, del sistema binario. Es decir: Se trata de manejar una entrada y salida continua; basándose en las distintas características de una onda dada.

Al inicializarse los parámetros del sistema, deben inicializarse las ondas de entrada con un cierto valor neutro.

4.1 Funcionamiento

Un sistema analógico habitualmente se apoya en los parámetros o características de una onda para representar valores reales. Así pues, por ejemplo, en un sistema electrónico, pueden utilizarse el voltaje o el amperaje extraídos de la onda como valores representativos finales en la operación. Dicho de otro modo: En lugar de hacer uso de subidas o bajadas de tensión para representar bits a 1 ó a 0; la tensión en sí es la que representa el valor final. Naturalmente, no tiene por qué considerarse $1V = 1$ ó $1mA = 1$; sino que puede especificarse a qué escala se ha de trabajar, evitando así usar valores de tensión o intensidad de corriente excesivos.

Como es de esperar, si bien este sistema ofrece grandes posibilidades, también está tremendamente limitado en algunos otros aspectos. Uno de los mayores problemas es el ruido que puede existir en la onda; puesto que pueden fácilmente interpretarse valores erróneos, al existir una correspondencia directa entre alguna característica de la onda y el valor con el que se está trabajando. Debido a esto, la precisión o el rango

de valores representable se ve considerablemente reducido; siendo la utilización de componentes de más calidad y precisión la única forma de mejorar esta situación.

4.2 Interés de cara la computación del futuro

En la actualidad, los computadores analógicos no tienen un uso comercial extendido; si bien para pequeños sistemas de tiempo real y en simulaciones de sistemas con componentes mecánicos ofrecen una buena respuesta, dado que son capaces de trabajar con valores análogos a los existentes en la realidad.

Sin embargo, recientemente, con el avance en la investigación sobre los nuevos sistemas de computación, se prevén nuevos usos para la computación analógica. Concretamente, en los computadores ópticos, la mayor precisión de los componentes emisores y receptores y la posibilidad de utilizar mayores cantidades de energía de señal para sobreponerse al ruido (sin que ello comprometa la integridad del canal de comunicación, que no es más que un rayo de luz) están creando expectativas muy optimistas en la comunidad científica.

También se ha considerado la creación de computadores analógicos siguiendo los modelos mecánico-cuántico y biológico; aunque la mayoría de las investigaciones tratan de ofrecer una alternativa digital. Sin embargo, respecto al modelo de computador biológico, existe la prueba de que es posible una implementación viable y útil en la existencia del sistema nervioso de los seres vivos.

Referencias

1. <http://www.wikipedia.org>
2. <http://www.straight.com/article-280259/vancouver/geek-speak-vern-brownell-ceo-dwave-systems>
3. http://qist.lanl.gov/pdfs/rm_intro.pdf
4. http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/ast28apr_1m/
5. <http://www.popsci.com/technology/article/2010-03/video-computer-controlled-bacteria-assemble-minature-pyramid>
6. <http://www.alphagalileo.es/ViewItem.aspx?ItemId=66617&CultureCode=en>