

## Ordenadores termodinámicamente complejos y programación matemática

Luis Lafuente\* y Neil Gershenfeld  
*The Center for Bits and Atoms*  
*Massachusetts Institute of Technology*  
 20 Ames Street, Cambridge 02139 MA, USA

El uso de componentes cada vez más pequeños en sistemas de computación cada vez más grandes alcanzará un límite en el que el número de grados de libertad que contienen información sea comparable con el de los grados de libertad físicos del sistema. En este límite, si queremos crear este tipo de sistemas, debemos conseguir construir una estructura coherente que unifique los conceptos de la Informática con los de la Física.

Para alcanzar este objetivo será necesario revisar hipótesis históricas sobre la naturaleza del microcódigo (introduciendo grados de libertad físicos en la representación de un programa), de los lenguajes de alto nivel (poniendo en correspondencia objetivos globales con dinámicas locales), y de los sistemas operativos (codificando la construcción de un programa).

Un ordenador concebido de tal modo escalaría con la física subyacente porque es en ella sobre la que está construido. En el último límite, proporcionaría arquitecturas de computación continuas.

Este trabajo se centra específicamente en la parte relacionada con el lenguaje de alto nivel y el problema de la compilación en este tipo de arquitecturas.

Supongamos que hemos resuelto el problema del microcódigo. Aunque no sepamos exactamente cuál es la solución, de manera general podemos pensar que consiste en un microcódigo celular,<sup>1</sup> donde cada “célula” puede contener un bit de estado que representa el resultado de una operación lógica entre los estados de las células vecinas (red Booleana). Bajo esta hipótesis, todo programa vendría definido, en este microcódigo celular, por una serie de reglas locales y una configuración inicial. En la figura podemos ver la implementación en un microcódigo de este tipo de un algoritmo “bubble sort”.<sup>2</sup>

Para resolver el problema de compilar un programa en una arquitectura de esa naturaleza, debemos ser capaces de traducir descripciones globales del problema en dinámicas locales equivalentes. La Física está llena de estas equivalencias: el principio de Fermat del camino óptico mínimo y las leyes de Snell, el principio de mínima acción y la mecánica de Newton, el teorema H de Boltzmann y la teoría cinética de los gases, las integrales de camino de Feynmann y la ecuación de Schrödinger, etc. Basados en estas equivalencias, nuestra propuesta consiste en *obtener las reglas locales que representan el programa a nivel del microcódigo como soluciones distribuidas de un problema de optimización global con ligaduras*.

Por tanto, *la programación matemática (en el sentido de la teoría de optimización) constituiría nuestro lenguaje de programación de alto nivel*. El proceso de compilación consistiría en usar las técnicas de descomposición de un

problema de optimización con ligaduras<sup>3</sup> para resolver el programa matemático.<sup>4</sup> Dicho proceso consistiría en tres pasos: (1) formulación del problema de optimización, (2) preprocesado de la formulación para asegurar que la estructura de la arquitectura está implícita en el programa matemático, y (3) aplicación de la teoría de descomposición para obtener las dinámicas locales.

Como primer paso para desarrollar la teoría de compilación necesaria, hemos estudiado el problema de ordenar una lista de números dados. El objetivo es formularlo como un problema de optimización apropiado y a partir de ahí obtener unas reglas locales como, por ejemplo, las que se ilustran en la figura .

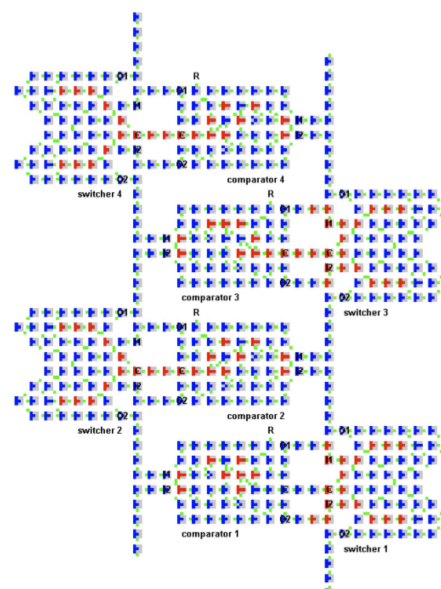


Figura 1. Ejemplo de un “bubble sort” implementado en microcódigo celular.

\* luis.lafuente@cba.mit.edu

<sup>1</sup> Estos modelos están siendo analizados por D. Dalrymple en su tesis de máster en el M.I.T.

<sup>2</sup> D. E. Knuth (1998). *The Art of Computer Programming: Volume 3*. Reading, MA: Addison-Wesley.

<sup>3</sup> D.P. Bertsekas (1999). *Nonlinear Programming*. Belmont, MA: Athena Scientific.

<sup>4</sup> La teoría de descomposición ya se ha aplicado con éxito para describir de manera unificada y coherente las distintas capas de transporte en las arquitecturas de redes. [M. Chiang, S. H. Low, A. R. Calderbank y J. C. Doyle (2007). *Proc. IEEE* **95** (1), 255-312.]