الباب الخامس عشر

الحاسبات الجزيئية والحيوية والكمّية

١٥-١ مقدمة عامة .

١٥-٢ الحاسبات الجزيئية والحيوية .

١٥-٣ الحاسبات الكمّية .

obeikandl.com

obeikandl.com

الباب الخامس عشر

الحاسبات الجزيئية والحيوية والكمّية

١٥-١ مقدمة عامة

لقد بدأت محاولات التصغير المستمرة للشذرات الميكرومترية (Micro chips) تواجه صعوبات كبيرة فى التنفيذ ، وعلى الأخص عندما تصل أبعاد المكونات إلى ١٠٠ نانومتر (١ نانو = ١ على بليون) . لذلك كان من الضرورى البحث منذ فترة عن بدائل أخرى واستيعاب تكنولوجياتها ؛ بحيث يمكن استخدامها عندما تصل صعوبات التكنولوجيا الميكرومترية إلى مداها حوالى عام ٢٠١٢ . إحدى هذه البدائل تسمى «التكنولوجيا النانومترية» (Nanotechnology) ، كذلك هناك اتجاهات أخرى ترتبط بها وهى الإلكترونيات أو الحاسبات الجزيئية (Molecular Computers) وكذلك الحاسبات الكمّية (Quantum Computing) ، والتكنولوجيا النانومترية تشكل إطاراً مختلفاً عن التكنولوجيا الميكرومترية ؛ حيث يتم فيها بناء المكونات ذرة بذرة (Atom by atom) أو بوجه عام تستخدم ما يسمى طريقة «من أسفل إلى أعلى» (Bottom up) . وتطبيقاتها متعددة ولكننا سنبين هنا فقط بعض التطبيقات المرتبطة بالنبائط الإلكترونية والحاسبات . وهناك عدة تطورات علمية وتكنولوجية ستساعد فى عملية الإنتاج النانومترى ، وهى : اختراع «ميكروسكوب المسح النفقى» (Scanning Tunnelling Microscope) (STM) فى معامل شركة IBM للأبحاث فى زيوريخ بسويسرا بواسطة «بينج» (Binnig) و «رورر» (Rohrer) والذين حصلا على جائزة نوبل فى الطبيعة عام ١٩٨٦ ، والذى يسمح بعرض أشكال السطوح وخصائصها الكيميائية على المستوى الذرى . كذلك تطوير ما يسمى «ميكروسكوب القوة الذرية» (Atomic Force Microscope) (AFM) ، والذى يستخدم أيضاً فى تصوير السطوح والتعامل مع ذراتها ، وقد استخدم فى إنتاج بعض وسائط تخزين المعلومات عالية الكثافة . كما يتم تكثيف البحوث حالياً فى مجال «المواد ذاتية التجميع» (Self - assembling materials) . كذلك البحوث فى مجال البروتينات الاصطناعية من خلال ما يسمى «هندسة البروتينات» (Protein Engineering) (هناك أحد التقارير المتاحة على شبكة الإنترنت من خلال الموقع التالى : [http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Public.Brochure] [Drexler, 1991] [Stix, 1996] .

وهناك برامج بحثية متعددة فى مجال التكنولوجيا النانومترية بوجه عام فى الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان والصين والهند وكوريا الجنوبية وأستراليا وغيرها من الدول [Siegel, 1999] .

كما أن هناك تكثيفاً للجهود الآن فى انتاج «أنابيب نانومترية» (Nanotubes) من الكربون ولها خصائص متميزة ، نذكر منها على سبيل المثال الآتى : قطرها يتراوح ما بين ٠,٦ إلى ١,٨ نانومتر وكثافتها تتراوح ما بين ١,٣٣ إلى ١,٤٠ جرام للسنتيمتر المكعب ، وقوة الشد تصل إلى ٤٥ بليون باسكال (بعض سبائك الصلب القوية تتحمل فقط ٢ بليون باسكال) وقدرتها على إمرار التيار الكهربى تصل إلى بليون أمبير للسنتيمتر المربع (الأسلاك النحاسية تتحمل فقط حوالى مليون أمبير للسنتيمتر المربع) . وهناك تطبيقات مهمة تستخدم فيها أنابيب أشباه الموصلات الكربونية النانومترية لانتاج أنواع من الترانزستور ، تستخدم قدراً أقل بكثير من تلك المستخدمة فى السليكون ، ويمكن أن تصل سرعاتها إلى ١ تيراهرتز أى حوالى ١٠٠٠ مرة ماهو متاح حالياً [Collins, 2000] .

كما أن هناك بحوثاً تجرى الآن فى مجال يسمى «الحاسبات الخلوية غير المتبلورة» (Cellular Amorphous Computing) والتى تعتمد على انبثاق السلوك المتوافق من تعاون كم كبير من «الجسيمات الحسابية» (Computational particles) التى تتصل فيما بينها بطريقة غير معروفة وغير منتظمة ومتغيرة مع الوقت. إنها تعتمد على الدروس المستفادة من الأنظمة البيولوجية ودراسة التعاون الذى يحدث بين الخلايا الحية لتحقيق الوظائف المحددة [Abelson, 2000] .

وسنعرض فيما يلى موجزاً للتطورات فى مجال الحاسبات الجزيئية والحيوية وكذلك فى مجال الحاسبات الكميّة .

١٥-٢ الحاسبات الجزيئية والحيوية

لقد بدأت الآن محاولات متعددة لإنتاج دوائر إلكترونية على مستوى الجزيئات (molecules) حتى يمكن الوصول إلى أحجام أقل بكثير من تلك التى تتاح على مستوى التكنولوجيا الميكرومترية . فلو فرضنا أن طول ترانزستور السليكون الواحد وصل إلى ١٢٠ نانومتر ، فإن مساحته تظل أكبر ٦٠٠٠٠ مرة من مساحة النبائط الجزيئية [Reed, 2000] . ويستخدم تعبير الحسابات الجزيئية للإشارة إلى كل من معالجة المعلومات فى المنظومات الحيوية الجزيئية الطبيعية مثل المخ ، وكذلك بالنسبة لمعالجة المعلومات فى المنظومات الاصطناعية التى تستخدم مواد أو أفكار حيوية جزيئية. وبوجه عام فإنها تشير إلى الأشكال المختلفة لمعالجة المعلومات ، التى تستخدم جزيئاً واحداً أو تجمع جزيئات [Conrad, 1992] [Ghonaimy, 1993] .

وقد أدت الأبحاث فى هذا المجال إلى توسيع فكرة الحسابات وعلى الأخص العلاقة بين وجهة النظر البنائية (Structural view) ووجهة النظر الوظيفية (Functional view) وفى الوقت الحالى يتم الفصل بينهما فى معظم الأحيان ، كما هو واضح بين الفصل بين المكونات الجامدة (Hardware) والمكونات اللينة

(Software). وقد بدأت بعض الاتجاهات فى الاهتمام بالنواحى البنائية ، مثل استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial neural networks) التى تنفذ باستخدام حاسبات متوازية تستخدم وحدات «عصبونية إصطناعية» (Artifial neurons) تتصل فيما بينها بطريقة تحاكى ما يتم فى المخ . معنى ذلك أن هذه الطريقة تهمل الطبيعة المادية للعصبونات الحيوية.

ولكن هناك اتجاها آخر يسمى «البنوية المادية» (Material Structuralism) يستخدم الجزيئات الكربونية المختلفة فى تنفيذ الحسابات المطلوبة . وهناك بعض النماذج المعملية التى تم تحقيقها على الأخص فى مجال الحسابات الضوئية وعمليات التخزين الضوئى ثلاثى الأبعاد ، وفى «ذاكرات التداعى الهولوجرافية» (Holographic Associative Memories) . وسنقدم فيما يلى عرضاً مختصراً لاستخدام نوع من أنواع البروتينات فى تنفيذ نوعية من الذاكرات . وتعتمد هذه الذاكرة على نوع من البروتين يسمى (Bacteriorhodopsin) يوجد فى الغشاء الأرجوانى لأحد الكائنات الدقيقة تسمى (Halobacterium halobium) وتعيش هذه الكائنات فى المستنقعات شديدة الملوحة حيث يصل تركيز الملح فيها ستة أضعاف تركيزه فى مياه البحار . وينمو الغشاء الأرجوانى عندما ينخفض تركيز الأكسوجين بدرجة كبيرة بحيث لا يسمح للكائن بالتنفس . وعندما يتعرض البروتين الموجود فى الغشاء للضوء فإنه يقوم بضخ أحد البروتونات عبر الغشاء حيث يعمل ذلك على إتاحة مصدر بديل للطاقة . معنى ذلك أن هذا الكائن يتحول من التنفس إلى التمثيل الضوئى ، عندما تدعو الحاجة إلى ذلك ، وهى قدرة فريدة بين الكائنات الحية . وقد كان بعض العلماء فى روسيا هم أول من أشار إلى إمكانية استعمال طبقة رقيقة من هذا البروتين فى التطبيقات المختلفة للهندسة الضوئية ؛ نتيجة لتحول حالته عند تعرضه لشعاع ضوئى . تشتمل هذه التطبيقات على وحدات التضمين الضوئية الفراغية (Spatial Light Modulators) (SLM) وذاكرات التداعى الهولوجرافية (Holographic Associative Memories) والذاكرات الضوئية ثلاثية الأبعاد .

وهذا النوع الأخير من الذاكرات يعتمد فى كتابة وقراءة بيانات الذاكرة على شعاعين متعامدين من أشعة الليزر ، يعملان على إضاءة حجم صغير جداً من السائل البروتينى يقدر بحوالى ١ إلى ٥٠ ميكرومتر مكعب ، وعلى هذا الأساس فإن سعة هذه الذاكرة تصل إلى ٥١٢ جيجابايت لكل ٥ سنتيمتر مكعب [Birge, 1995] . [Birge, 1992]

كما أن هناك اتجاهاً آخر لاستخدام جزيئات «دنا» (DNA) فى حل مسائل

رياضية معقدة . و «دنا» هو أحد الأحماض النووية فى نواة الخلية الحية والمركبات الأساسية فيه أربعة فقط مرتبة فى سلسلتين طويلتين يلتفان حول بعضهما فى شكل حلزون مزدوج . وقد اقترح «ليونارد أدلمان» (Leonard Adleman) استخدام هذه الحاسبات الجزيئية السائلة ، والتى يمكنها إجراء ترليونات العمليات الحسابية على التوازى [Adleman, 1998] .

بوجه عام تحظى بحوث الحاسبات الحيوية باهتمام كبير منذ التسعينيات من القرن العشرين فى الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان [Kaminuma, 1991] [Hameroff, 1987] [Rifkin, 1998] .

١٥-٣ الحاسبات الكمّية

تتطور الدوائر المتكاملة باستمرار منذ أن تم اختراعها فى عام ١٩٥٨ ، وهى الأساس فى صناعة المعالجات الدقيقة وذاكرات الحاسبات ، وإذا استمر معدل التطور كما هو الآن فإنه بحلول عام ٢٠٢٠ سيقترب حجم المكونات الداخلة فى هذه الدوائر إلى حجم الذرات ، وعلى هذا الأساس فإن النموذج الحالى للحسابات والذى يعتمد على ما يسمى «آلة تورنج العامة» (Universal Turing Machine) سيتم استبداله بنموذج آخر . ويبزغ الآن مجال جديد يسمى «الحسابات الكمّية» (Quantum Computing) يتم فيه إعادة صياغة علم الحاسبات ونظرية المعلومات بشكل يتوافق مع «فيزياء الكم» (Quantum Physics) التى تمثل أضبط نموذج لتوصيف الحقيقة المادية حتى الآن [Williams, 1998] .

وهذه النظرية الجديدة تتنبأ بأن الحاسبات الكمّية سيمكنها القيام بعمليات حسابية أسرع بصورة «أسية» (Exponential) من الحاسبات التقليدية . هذا بالإضافة إلى أنها ستتيح إمكانية «كسر» بعض «أكواد التشفير» (Breaking Encryption Codes) والمفروض فى الوقت الحالى أنها غير قابلة للكسر فى إطار قدرات الحاسبات الحالية ، كما أنها تتيح فى الوقت نفسه تطوير أنظمة تشفير لتأمين المعلومات يصعب أو يستحيل كسرها [Townsend, 2000] [Bennet, 1992] . وقد ابتدأت البحوث فى مجال «التشفير الكمى» (Quantum Cryptography) فى عام ١٩٨٤ باقتراح قدمه « تشارلز بينيت » (Charles Bennett) من شركة IBM و «چيلز براسار» (Gilles Brassard) من جامعة مونتريال بكندا باستخدام بروتوكول للاتصالات الضوئية ، يتم فيه إرسال المفاتيح السرية عن طريق «قطبية الفوتونات الوحيدة» (Polarization of single photons) . ومنذ بداية التسعينيات من القرن العشرين ابتدأت التجارب على تشفير البيانات ونقل المفاتيح على الألياف الضوئية حتى وصلت إلى مسافة ٥٥ كيلو متراً فى بعض الحالات [Townsend, 2000] كما قامت بعض الجهات مثل «هيئة الاتصالات الألمانية» [Deutsche Telekom]

بالحصول على براءة اختراع عالمى رقم (WO 99/62220) خاصة بإحدى النبائط (Devices) التى تتيح توليد «فوتونات وحيدة» وبعض العمليات الأخرى المطلوبة فى عملية التشفير الكمى [Fiber Systes, 2000] .

وأحد التطبيقات المهمة لنظم التشفير الكمى ستكون فى مجال التجارة والبنوك الإلكترونية بالإضافة إلى تأمين المعلومات الحكومية المختلفة . وبالطبع هناك تطبيقات مهمة فى مجال الأمن القومى للدول المختلفة ، ولكن التقدم فى هذه المجالات يحاط عادة بستار كثيف من السرية .

وأحد اتجاهات البحوث فى هذا المجال تتعلق بموضوع «آلات تورنج الكمية» (Quantum Turing Machine) (QTM) من خلال الدراسات التى نشرها «دافيد دويتش» (David Deutsch) الأستاذ بجامعة أكسفورد بإنجلترا فى عام ١٩٨٥ . والفكرة الأساسية هنا أن كل «حالة» State من حالات هذه الآلة تشتمل على مزيج أو «تركيب» (Superposition) من الأرقام الثنائية «صفر» و «واحد» فى الوقت نفسه . ولذلك تسمى هذه الحالة «الوحدة الثنائية الكمية» (Quantum bit) (qubit). وينتج عن ذلك ما يسمى «التوازى الكمى» (Quantum Parallelism) ، ومعنى ذلك أنه فى النظام الثنائى العادى يمكن على سبيل المثال تمثيل عدد ثنائى واحد باستخدام ١٠ أرقام ، ولكن فى النظام الثنائى الكمى يمكن استخدام ١٠ وحدات ثنائية كمية (qubits) فى تمثيل ١٠٢٤ عدداً مختلفاً (٢ مرفوعة إلى الأس ١٠) وبالتالى يمكن للحاسب الكمى معالجة ١٠٢٤ عملية على التوازى مقابل عملية واحدة فى نظم الحاسبات العادية . ولذلك كلما ازداد عدد هذه الوحدات، زادت كمية معالجة البيانات على التوازى . وهناك مقترحات عديدة لتنفيذ الحاسبات الكمية ، ولكن مازالت هناك مشاكل كثيرة يجب التغلب عليها للوصول إلى نموذج عملى . وبعض هذه المقترحات قدمها «بنيوف» (Benioff) و «فينمان» (Feynman) [Milburn,1998] و «دويتش» (Deutsch) [Steane,2000] [Llyod,1995] [Spiller, 1996] .

كذلك اقترحت بعض الأفكار الخاصة باستخدام ظاهرة «الرنين المغناطيسى النووى» (Nuclear Magnetic Resonance) فى تطوير بعض الحاسبات الكمية التى تعتمد على جزيئات بعض السوائل [Gershenfeld, 1998] . وبعض المشاكل الأساسية التى كانت تواجه الباحثين ارتبطت بكيفية نقل البيانات الكمية بين الدوائر المنطقية المختلفة ؛ حيث إن «فكرة عدم اليقين لهيزنبرج» (Heisenberg's Uncertainty Principle) كانت تمنع قياس الحالات الكمية الكاملة . ولكن تم تقديم اقتراح فى عام ١٩٩٣ بواسطة عدد من الباحثين بينهم «بينيت» (Bennett)

من شركة IBM وبعض العلماء من جامعة مونتريال ومعهد «تخنيون» بإسرائيل وكلية وليامز لاستخدام فكرة «التشابك الكمّى» (Quantum Entanglement) فيما يسمى «الانتقال الكمى» (Quantum Teleportation) [Zeilinger, 2000] . وتعتمد هذه الفكرة على إمكانية توليد جسيمات متشابكة كمّيا (Quantum entangled particles) فمثلاً يمكن توليد زوج من الفوتونات ذات قطبية (Polarization) عشوائية ولكنها متشابهة ، ويظل كل فوتون على هذه الحالة فى أثناء نقله من مكان إلى آخر حتى يتم رصده ، وفى هذه الحالة تكون له قيمة محددة ويسمى ذلك «فك الالتحام الكمّى» (Quantum decoherence) . وهناك أفكار عديدة مطروحة الآن يقوم الباحثون بمحاولة دراستها أملاً فى الوصول إلى أحد البدائل التى ينتج عنها الحاسب المناسب [Williams, 1995] .

كما يسير على التوازى مع ذلك تطوير الخوارزمات التى يمكنها الاستفادة من إمكانيات الحاسبات الكمية عند تواجدها . وأحد هذه الخوارزمات يسمى «خوارزم شور» (Shor algorithm) لتحليل الأعداد الكبيرة ، والذى يمكن استخدامه فى كسر بعض أنظمة التشفير [Williams, 1998] . ويمكن الاتصال بالموقع التالى على الإنترنت للحصول على بيانات ومقالات مرتبطة بهذا الموضوع (http://www.qubit.org) .

وفى النهاية تجدر الإشارة إلى أن هناك بحوثاً أخرى فى مجال تطوير «النبائط الكمّية» (Quantum devices) من بينها على سبيل المثال ما يسمى «ترانزستور الإلكترون الواحد» (Single Electron Transistor) (SET) أو أحياناً يسمى «ترانزستور النقطة الكمّية» (Quantum Dot Transistor) ، وسيستخدم فى تطوير الذاكرات ذات السعة الكبيرة . هذا بالإضافة إلى عديد من المقترحات ، التى تعكف على تطويرها الجامعات ومعامل البحوث المختلفة [Geppert, 2000] .