

### ***DNA Computers – Arabic Paper***

---

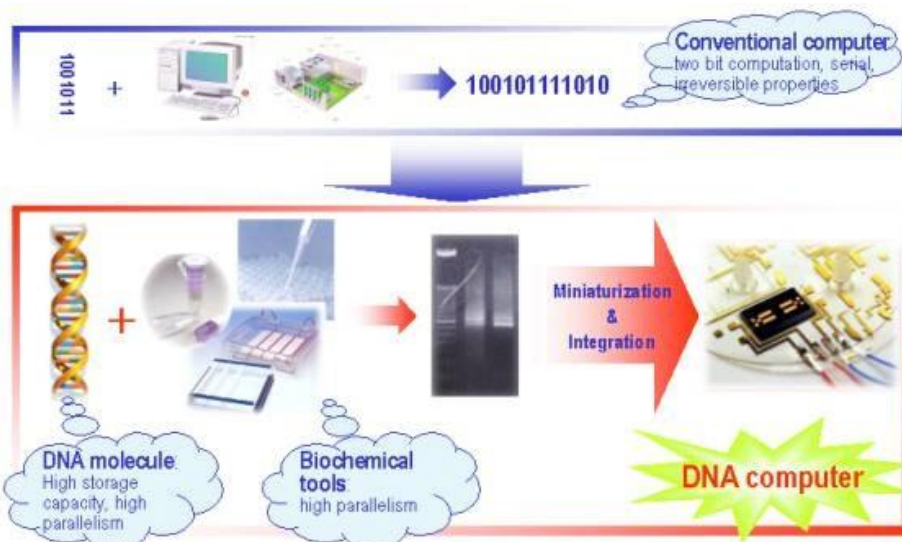
ASK PC "The Largest Arabic Technical Support Community Online"

Sponsored by "Culminis"

Published: July 3, 2007

Author: Moustafa Hussein Mohamed

Supervised by: Mohamed N. El-Guindy, ASK PC Community Leader



## مقدمه

حوسبة الدنا شكل جديد من أنماط الحوسبة يستخدم الدنا و البيولوجيا الجزيئية بدلا من تقنيات الحوسبة التقليدية المعتمدة على السليكون. بدأت هذه الدراسات بالتطور على يد ليونارد أدلمان من جامعة كاليفورنيا الجنوبية. في عام 1994 ، قام أدلمان بتقديم أحد تطبيقات استعمال الدنا في عملية حوسبة لحل مسألة مسار هاميلتون سباعية النقاط. و منذ تجارب أدلمان البدائية حدثت تطورات هائلة في هذا المجال و تم البرهنة على قابلية تطبيق العديد من آلات تورينغ عن طريق مركبات حيوية مثل DNA يمكننا القول بأن الدمج بين أكثر من فرعين للعلوم التطبيقية جاء بنتائج مذهلة و أدى إلى قفزات كبيرة في مجال التطور في السنوات الأخيرة.

فقد توصل علم الوراثة إلى اكتشاف أدق تفاصيل الخلية وقد عمل العلماء في الفترة الأخيرة بتقنية غاية في الصغر هي تقنية النانو متر وقد دفع هذا التطور بعلم الجينات الوراثية العلماء إلى التفكير باستخدامها في تكنولوجيا صناعة الكمبيوتر كبديل عن السيلكون كمادة أساسية في صناعة قطع الحاسب لما يتمتع به من مزايا في التخزين وصغر الحجم و توفير الطاقة

## ماهو الحمض النووي

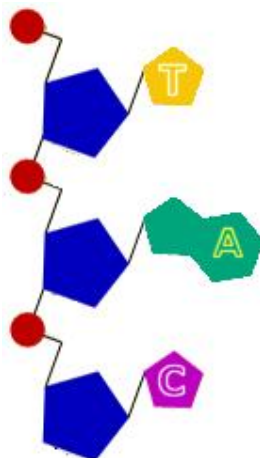


سلسلة دي إن أي

يتكون الإنسان من بلايين الخلايا المتراسة فوق بعض أو جنب إلى جنب . ولكل خلية نواه مملوءة بـ 46 كروموسوم،. يبدو هذا جميلاً ولكن ماذا في داخل هذه الكروموسومات وكيف تحفظ المعلومات في داخلها ؟ . دعني أجيب على هذا السؤال .



قد تكون قد سمعت عن الحمض النووي دي أن ايه ( DNA ) . تخيل الذي إن أي مثل عقد من اللؤلؤ طوله بآلاف الأمتار ولكنك لا تراه بالعين المجردة ،انه أرق من خيط الملابس بملايين المرات.



هذا العقد الطويل ( DNA ) يجدل ويطوى طياً محكماً ويرص ويصف بشكل بديع ليصبح كروموسوما. لذلك الكروموسوم في الواقع عبارة عن خيط طويل ملتف من الحمض النووي ( DAN ) . وكما أن عقد اللؤلؤ الطبيعي يحتوي على حبات لؤلؤ مرصوفة على طوليه ، فأیضا الحمض النووي ( DAN ) يحتوي على حبات مصفوفة على طوليه تسمى مورثات أو جينات (مفرد مورث أو جين). يوجد 30000 مورثه موزعه على الـ 46 كروموسوم ( 30000 حبه لؤلؤ في كل العقود ) . تحتوي هذه المورثات على وصفات ( كمقادير إعداد الطعام ) لتحضير جميع البروتينات بأنواعها. وكما ذكرنا سابقاً فالبروتينات هي المواد الأساسية لبناء الخلية ولاستمرارها في العمل. في كل خلية من خلايا

جسمنا نسختين من كل مورث، واحدة منها موجودة على الكروموسوم الذي ورثناه من أمهاتنا والمورثة الأخرى موجودة على الكروموسوم الذي ورثناه من آبائنا. وكما أن حبات اللؤلؤ مرصوفة على طول عقد اللؤلؤ الطبيعي ، كذلك المورثات كل واحدة منها لها مكانها الخاص والمحدد على طول الكروموسوم .

تركيبه \_\_\_\_\_ دي ان اي (DNA)  
اخذ اسم الذي ان اي من الاحرف الاولى الحمض النووي المؤكسد باللغة الانجليزية (DeoxyriboNucleic Acid) و الاحماض النووية (Nucleic Acid) مركبة من سلسلة متراسة من الحمض النووية المسماه النيوكليدات (Nucleotides). وكل نيوكليديت

يتركب من ثلاث قطع: فوسفات (Phosphate) و سكر (Sugar) و قاعدة نيتروجينية (Nitrogenous base). و هذه النيوكليدات تصطف جنباً الى جنب لتكون سلك طویل و مترابط و ذلك عن طريق رابطة فوسفاتية تربط السكر الذي قبلها بالسطر الذي بعدها (و بالتحديد تربط الكربون رقم 5 في السكر الاول بالكربون رقم 3 في السكر الذي يليها). و هكذا يستمر هذا الخيط الطویل من النيوكليدات. و الذي ان اي هو عبارة عن خيطين من من تلك النيوكليدات متلاصقين و مجدولين كما تجدل ضفيرة الشعر و ذلك بشكل محكم و دقيق و يحافظ على ذلك النظام الروابط التي هذه المركبات خاصة الروابط الفسفورية و الروابط التي

بين القواعد النيتروجينية. و لذلك

فانه يطلق على الذي ان اي سلسلة

الذي ان اي (DNA CHAIN)

كما هو شائع بين المختصين. .

السكر و القواعد النيتروجينية:

هناك نوعان اساسيان من السكر

الذي يتركب منه الاحماض

النوية. النوع الاول يسمى سكر

الديوكسي ريبوز (DeoxyRibose)

و هذا هو النوع الذي يدخل في تركيبة الذي ان اي. و النوع الثاني يسمى

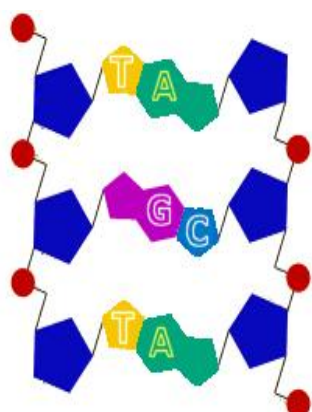
بسكر الريبوز (Ribose) و يدخل في تكوين الار ان اي (RNA).

و بينما تنقسم القواعد النيتروجينية الى خمسة انواع، ثلاثة منها تدخل في تكوين ال "دي ان اي"

و "الار ان اي" بينما الرابع و الخامس يدخل في تكوين الار ان اي او الذي ان اي لوحده. و

يرمز لهذه القواعد النيتروجينية بالحرف الاول من اسمها الانجليزي كما هو مبين في الجدول

التالي:



سلسلة طويلة  
و مترابطة  
و مزدوجة  
من الذي ان اي

RNA	DNA
Adenine	Adenine
Cytosine	Cytosine
Guanine	Guanine
Uracil	Thymine

و تلاحظ من الجدول السابق ان الثيامين لوجود فقط في الذي ان اي بينما  
اليوراسيل يوجد فقط في الار ان اي.و لذلك و عند تكوين الار ان اي من ال  
اي ان اي فان الخلية تستبدل كل قاعدة نيتروجينية من نوع الثيامين بقاعدة  
نيتروجينية من نوع اليوراسيل.

و تقسم القواعد النيتروجينية ايضا الى نوعين اساسيين:الاول يسمى بالبيورينات  
( Purines ) و هي اكبر حجما من النوع الثاني و يدخل تحت هذا النوع  
الجوانين و السيتوسون.و النوع الثاني تسمى بالبيروديمينات ( pyrimidines )  
و هي اسغر حجما من النوع الاول و يدخل تحتها السيتوسون و الثيامين و ايوراسيل  
و بما ان الذي ان اي عبارة عن خيط مزدوج فانه من البديهي ان لا يتقابل نوع واحد من  
القواعد النيتروجينية على طول تلك السلسلة.و لذلك فالخيط الاول لا تكون القواعد النيتروجينية  
متمثلة بالنوع جوارها،و لكنها مختلفة و لكن هذا الاختلاف منتظم و محدد.فلذلك كل قاعدة  
نيتروجينية يقابها نوع معين من القواعد النيتروجينية و هذه القاعدة ثابتة و لا تتبدل اطلاقاً.

القاعدة الاولى	ترتبط بهذه القاعدة دائماً
A	T
A	U
C	G

شرح مبسط عن - DNA deoxyribonucleic acid

لنتصور أن كل كائن حي يحتوي مليارات من  
الخلايا وكل منها تحوي دماغاً خاصاً بها يدعى

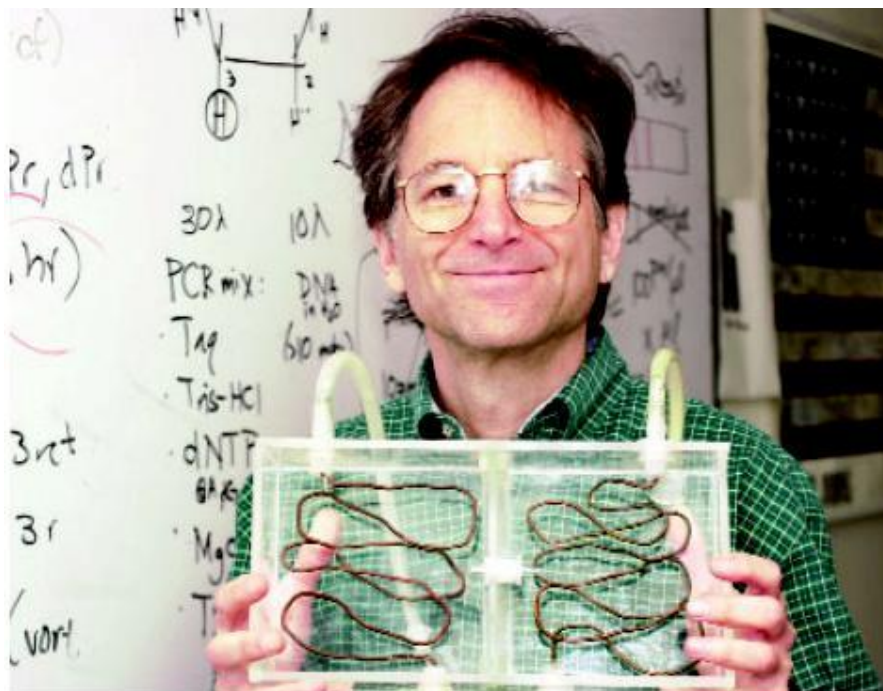
النواة وبداخل هذه النواة يوجد ما يسمى بحمض DNA . فعلى الرغم من حجمه الذي هو من  
رتبة النانو متر إلا أنه مسئول عن إظهار جميع الصفات في الكائن الحي. يتألف حمض الـ  
DNA من سلسلتين حلزونيتين ملتفتتين حول بعضهما تحملان النكليوتيدات ( الأدينين والتايمين  
والغوانين والسيتوزين ) يتم الأدينين التايمين في السلسلة المقابلة وكذلك يتم السيتوزين  
الغوانين . حيث كل ثلاثة نكليوتيدات متتالية على السلسلة تشكل شيفرة وراثية التي ترمز  
حمضاً أمينياً واحداً مسئول مع غيره من الحموض عن تشكيل السلاسل البروتينية التي ترمز  
الصفات يتميز الـDNA بقدرته على التضاعف الذاتي بسرعة خارقة و هو غاية في الصغر  
حيث يبلغ طوله حوالي المترين في كل نواة ويحتوي على 7 مليارات من اشغاف النكليوتيدات  
و إن خصائص الـDNA هذه دفعت العلماء إلى التفكير بتوظيفه داخل التطور الحالي.

اكتشف العلماء ان جزيئات الـ DNA ان ايه تملك القدرة على القيام بعدد من العمليات الحسابية  
بسرعة أكبر بعدة مرات من

العمليات التي يمكن أن يقوم بها أسرع معالج مصنوع من السيلكون في العالم حالياً

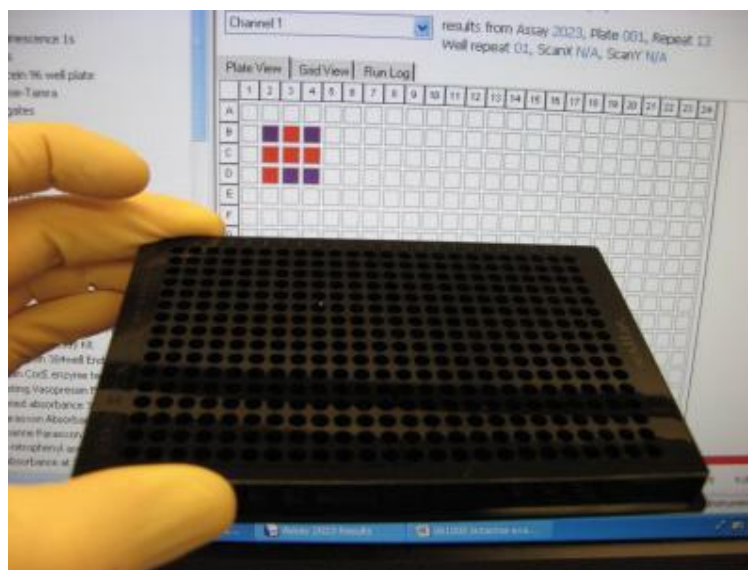






*Professor Adleman with his deceptively simple looking DNA computer.*

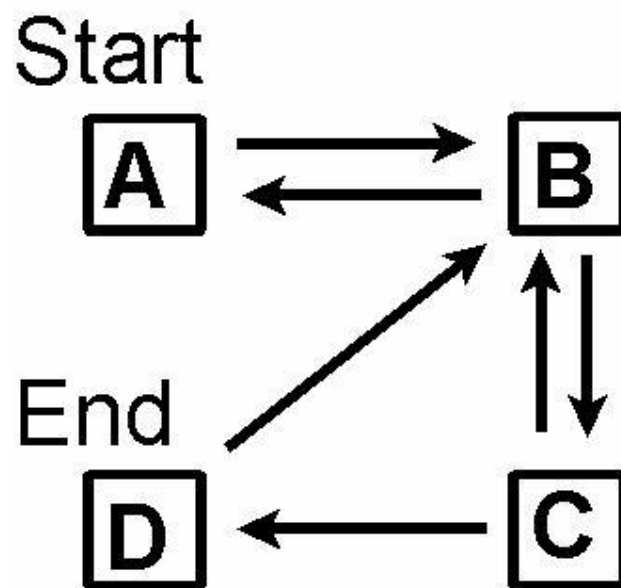
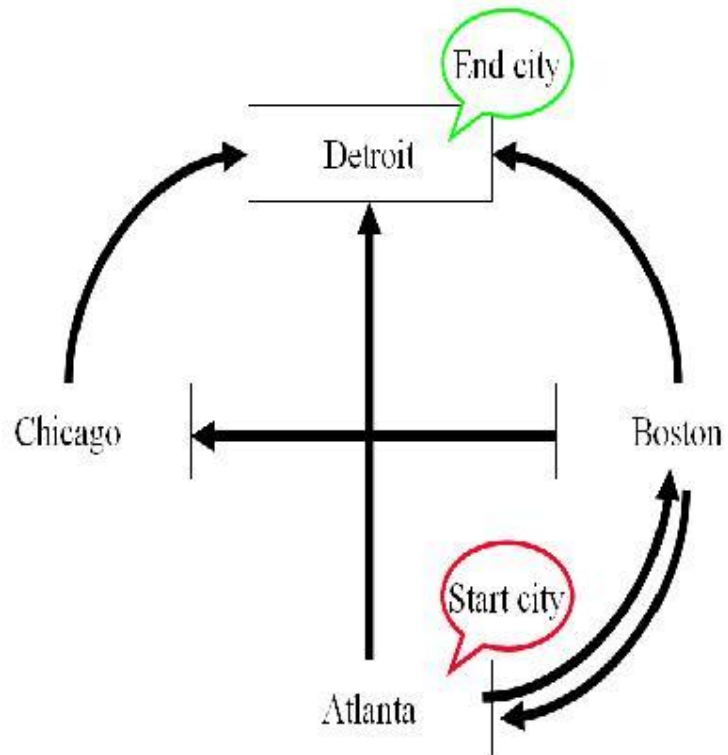
وفي عام 1994 طرح العالم أدليمان من جامعة كاليفورنيا فكرة حل المسائل الرياضية المعقدة باستخدام الحمض النووي بعد أن قرأ كتاب  
Molecular Biology of The Gene  
للكاتب جيمس واتسون الذي أعاد اكتشاف بنية الحمض النووي حيث اكتشف أدليمان أن بنية الحمض النووي تشبه إلى حد كبير بنية القرص الصلب وكذلك طريقة التخزين !!... استخدم أدليمان الحمض النووي في حل مسألة هاملتون وأدى النجاح الذي توصل إليه في حل هذه المسألة إلى توجيه الأنظار نحو هذا الحاسوب الدقيق الموجود داخل الخلية .



### مسألة هاملتون

تهدف مسألة هاملتون أو البائع المتنقل إلى إيجاد المسار الأقصر بين عدد من المدن بحيث لا يتكرر المرور بالمدينة أي البدء بمدينة معينة والمرور بعدد من المدن والانتهاء بمدينة النهاية دون تكرار المرور بالمدن وهي مسألة قد تبدو سهلة للمرة الأولى عندما نفكر بأنها ثلاث أو أربع مدن لكنها تزداد تعقيداً بازدياد عدد المدن فمثلاً من أجل تسع مدن هناك 18000 مسار ممكن لقد فاجئ أدليمان الجميع عندما طرح فكرة حل المسألة باستخدام حمض الدى ان ايه.





[X]	D	->	B	->	A
[X]	B	->	C	->	D
[X]	A	->	B	->	C
[X]	C	->	D	->	B
[X]	A	->	B	->	A
[X]	A	->	B	->	D
[O]	A	->	B	->	C
					D
[X] A -> B -> A -> B -> C -> D					

### كيف شفر أدليمان الحالات باستخدام الـ DNA

رمز أدليمان كل مدينة بتتابع معين من النكليوتيدات فمثلاً من أجل مدينة أطلنطا أخذ الشيفرة  
 ACTTGCAG  
 ومن أجل مدينة بوسطن أخذ الشيفرة  
 TCGGACTG  
 ثم من أجل ترميز المسار بين المدينتين أخذ النصف الثاني من الشيفرة الأولى مع النصف  
 الأول من الشيفرة الثانية ليكون  
 GCAGTCGG  
 وهكذا بالنسبة لباقي المدن كما في الجدول :

CITY	DNA NAME	COMPLEMENT
ATLANTA	ACTTGCAG	TGAACGTC
BOSTON	TCGGACTG	AGCCTGAC
CHICAGO	GGCTATGT	CCGATACA
DETROIT	CCGAGCAA	GGCTCGTT
CONNECTING PATH	DNA PATH	
ATLANTA-BOSTON	GCAGTCGG	
ATLANTA-DETROIT	GCAGCCGA	
BOSTON-CHICAGO	ACTGGGCT	
BOSTON-DETROIT	ACTGCCGA	
BOSTON-ATLANTA	ACTGACTT	
CHICAGO-DETROIT	ATGTCCGA	

### مستقبل DNA Computers

العنصر الأهم داخل التطور الحالي هو عملية تصغير القطع الحاسوبية والعمل بتقنيات تصنيع تقترب من النانو متر حيث يتم زيادة عدد القطع الالكترونية الموجودة ضمن المعالج السيلكوني وحسب قانون مور فإن عدد القطع داخل المعالج سيتضاعف كل 18 شهرا إلا أن لهذا الأمر نهاية أو حد ولن تستطيع بعد ذلك الشركات مضاعفة عدد القطع في الحجم ذاته و هنا تأتي DNA Computers لتحل المشكلة ولتفتح أفقا جديدا لتقنيات التصنيع النانوي .

يقول العلماء أنه خلال خمس إلى عشر سنوات سيتم البدء بتصنيع أول حاسب يعتمد على DNA بدل السيلكون وسيتميز هذا الحاسب بقدرات خارقة حيث :

- قد تصل سرعته إلى 10 تريليون عملية حسابية معقدة بنفس الوقت وبإضافة عدد أكبر من الجزيئات فإن عدد العمليات الحسابية سوف يزداد. وهذا يعود إلى التفرعية التي تعمل بها جزيئات الـ DNA كما ذكرت من قبل وهذا يساعد في الحل المسائل المعقدة التي كانت تتطلب سنوات في الحواسيب السيلكونية

- قدرة تخزينية خيالية حيث أن باونداً واحداً يمكن أن يخزن كل المعلومات الموجودة في الحواسيب المصنعة حتى الآن .
  - حجم غاية في الصغر يمكن وضع أكثر من 10 تريليون جزيئه DNA في منطقة لا تتجاوز 1 سنتيمتر مكعب .
  - توفير الطاقة حيث أن الطاقة المصروفة صغيرة جداً فهي تعادل 10-10 من الطاقة المصروفة في supercomputer خطوات التجربة العملية
  - 1- وضع في أنبوب الاختبار قطع الـ DNA المحضرة ومزجها مع بعضها ( سنتصل القطع مع بعضها عشوائياً لتشكل شيفرات كل المسارات المختلفة للمسألة )
  - 2- تنفيذ تفاعل (PCR) عند البداية والنهاية ( هذه العملية تولد ملايين النسخ من الـ DNA التي تبدأ بشفرة مدينة البداية وتنتهي بشفرة مدينة النهاية بسبب خاصية التناسخ الذاتي)
  - 3- بواسطة أداة تدعى Gel electrophoresis نبقى فقط القطع التي تحوي على العدد المطلوب N داخل الأنبوب.
  - 4- باستخدام جزيئات تدعى مسبر الـ DNA نبقى القطع التي تمر بكل المدن
  - 5- كل القطع المتبقية داخل الأنبوب هي حل لمسألة هاملتون .
- فإذا كان هناك قطع DNA داخل الأنبوب فهناك حل لمسألة هاملتون أو أكثر وتسلسل نكليوتيدات قطعة الـ DNA المسار المطلوب .

### مميزات هذه الطريقة

- 1- سرعة الحل بسبب الطريقة التفرعية حيث تعمل قطع الـ DNA مع بعضها بنفس الوقت وبذلك تم تنفيذ الخوارزمية بشكل تفرعي عوضاً عن الطريقة التقليدية التسلسلية .
  - 2 - الطاقة المصروفة صغيرة جداً فهي تعادل  $10^{-10}$  من الطاقة المصروفة في supercomputer
- لكن لهذه الطريقة مشكلة واحدة وهي التدخل البشري في عملية العزل يمكن أن تحل خلال تطور جيل DNA computers

### بوابات منطقية من المادة الوراثية.

أقدم في ما يلي لمحة عن التصور المستقبلي عن كيفية عمل البوابات المنطقية البيولوجية ولن أتعرض إلى الخوض في التفاصيل العميقة أو تفاصيل التصنيع لأن ذلك يدخلنا في بحث جديد ضمن بنية الحاسب .

لقد كان هدف العلماء من البحث في هذا المجال هو إيجاد خلايا بيولوجية قابلة للبرمجة لما تتمتع به من خصائص ( الحجم المجهرى والتضاعف الذاتى وتوفير الطاقة ) وتطبيقها في مجالات المعالجة الطبية والزراعة والنظم المضمورة ( systems embedded )

إمكانية بناء بوابة

Not

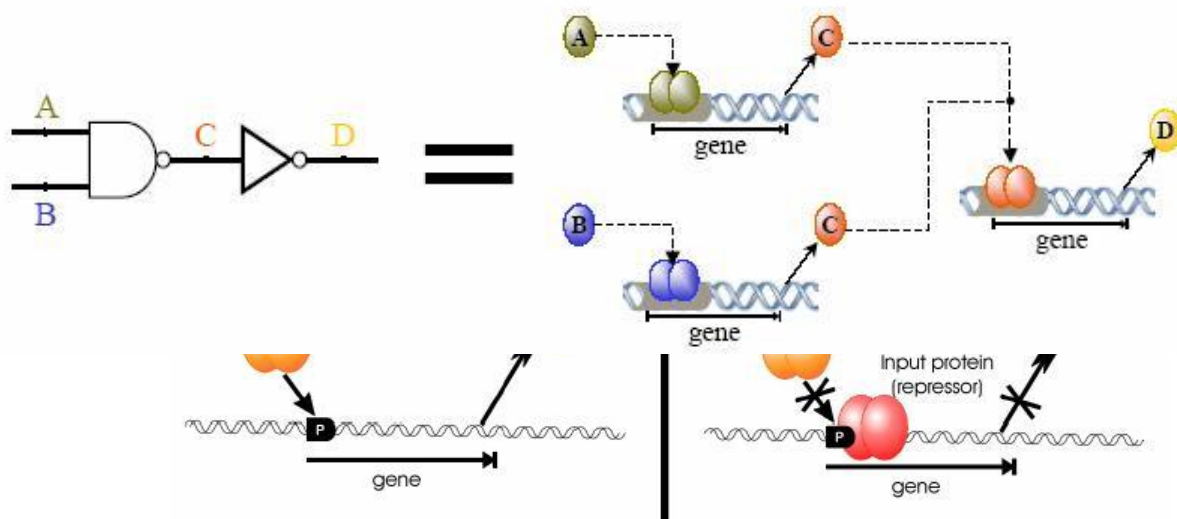
باستخدام خلية واحدة:

تعتمد فكره على معادلتين اساسيتين هما :

•  $\text{signal} = \text{protein synthesis rate}$

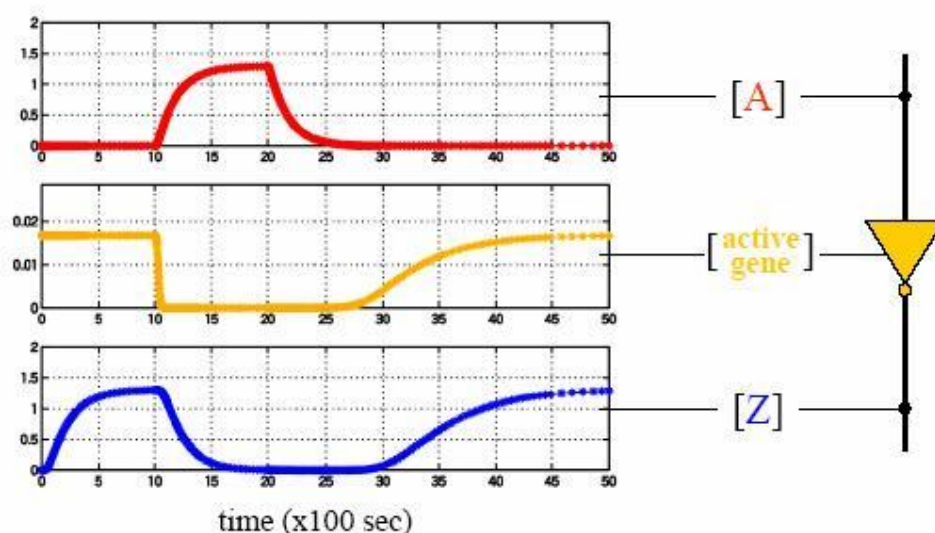
•  $\text{computation} = \text{protein production} + \text{decay}$

فإذا اعتبرنا الإشارة هي درجة أو معدل تركيب البروتين واعتمدنا على حساب الفرق بين

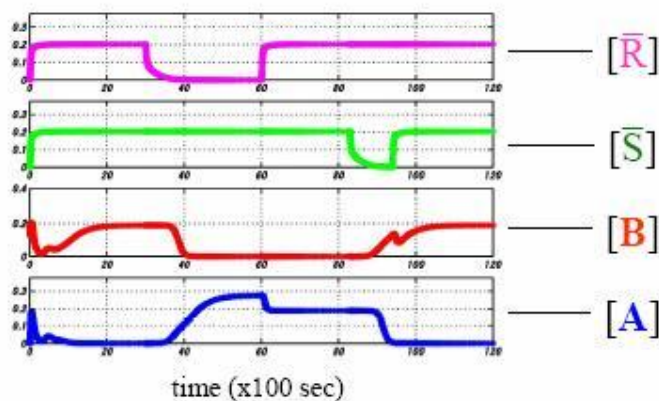
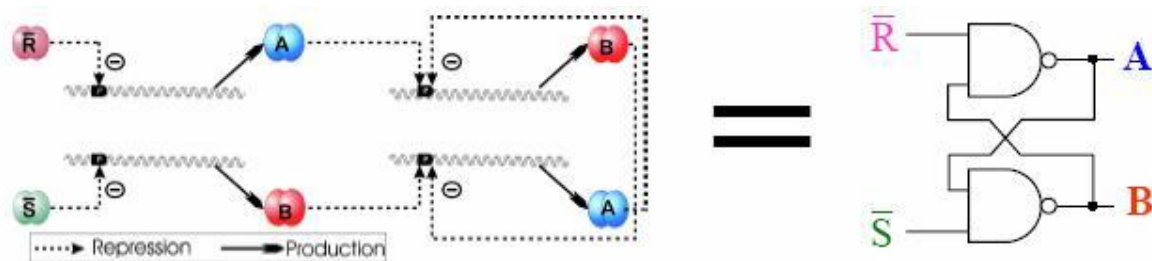


عملية تركيب وانحلال البروتين أمكن تصور بوابة not بيولوجية كما يوضح الشكل التالي وبنفس الطريقة يمكن الحصول على أي دائرة منطقية أكثر تعقيداً يبين الشكل التالي كيفية الحصول على دائرة الـ NAND البيولوجية يلحقها بوابة not وبذلك تشكل مجموعها دائرة AND البيولوجية

حيث تمثل البروتينات هنا الإشارات عوضاً عن التيار الكهربائي و الجينات هنا هي البوابات المنطقية . يبين الشكل التالي مرور الإشارة عبر بوابة NOT البيولوجية





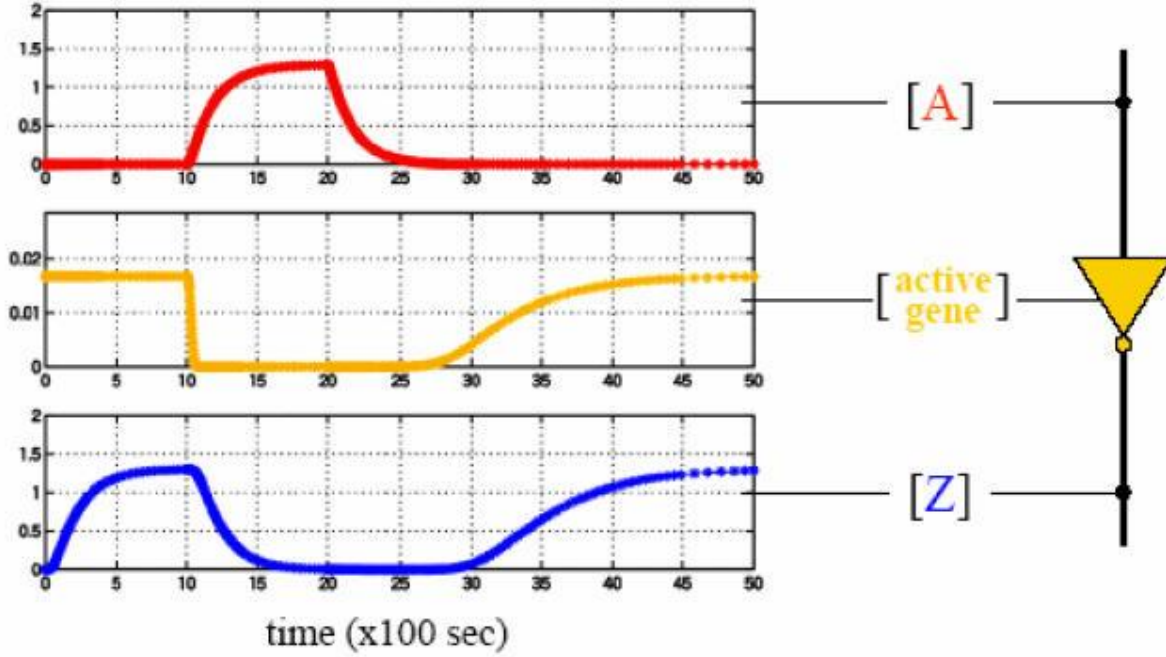


يمثل الشكل التالي دائرة القلاب RS (الذاكرة)

تستخدم نفس التقنية الموجودة في مجموعة (vivo) للمواد البيولوجية حيث ان هذه الحادثة تتم

في مرحلتين: • الملائمة: DNA → RNA

• الترجمة: RNA → protein



حدود تعقيد الدارة:

كمية الـ (DNA) المسامي الذي من الممكن إدخاله أو حقنه في الخلية

- النقل في الخلية القابلة للتطبيق أو القابلة للنمو من المتطلبات أو الاحتياجات الزائدة >
- تحديد أو تقدير الضغط الذي يمكن للخلية تحمله ( أي تقدير معدل العمليات التي يمكن للخلية إنجازها )

تحديات :

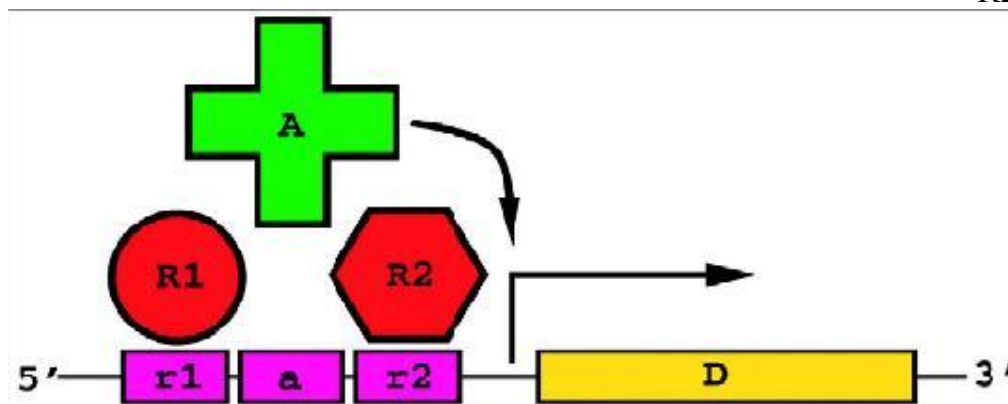
- مظاهر التجهيزات الهندسية
- تطوير علم تصنيع الآلات والأدوات النمذجية >
- إنشاء مبادئ تنظيم الكمبيوتر :
- 1. إدخال لغات من أجل وصف الظواهر
- 2. بناء نموذج من أجل تنظيم سلوك لمعالجة المعلومات >
- إنشاء فرع جديد من العلم حيث يعلم أو يخصص لطلاب الهندسة وطلاب علم الكيمياء

الحيوية

طرق أخرى للتمثيل

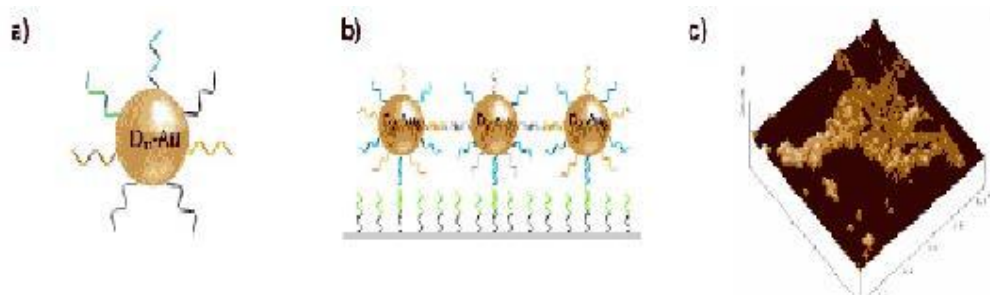
بوابة NOR

ترتبط البروتينات بشريط DNA وأذكر هنا طريقة لتمثيل بوابة NOR يظهر الشكل سلسلة 3' - 5' DNA وليكن عليها المواضع r1, r2, a, D. إن إشارة الـ + تمثل البروتين النشط الذي يريد أن يرتبط بالسلسلة وهناك بروتينان آخران هما R1, R2 ففي هذه الحالة إذا اعتبرنا أن الخرج سوف يكون بانتقال A على السلسلة إلى D وهذا الانزلاق على السلسلة لا يمكن طالما أن البروتينين R1, R2 متوضعين على السلسلة فإذا رمزنا لغياب أحد هذين البروتينين بصفر ووجوده بواحد فحتى يتوضع البروتين A على السلسلة يجب أن يكون كل من R1=0, R2=0 وبالتالي ستكون المعادلة  $R1 \text{ NOR } R2 = D$



### الأسلاك البيومعدنية

أصبح الـ DNA في السنوات الأخيرة أداة مفيدة في تجميع الجزيئات من رتبة النانو المعدنية والنصف ناقلة ولن أطيل في ذكر ما يتمتع به الـ DNA من مزايا خارقة من التناسخ الذاتي إلى الحجم النانوي وما إلى ذلك من ميزات نعرفها جميعاً...أتكلم هنا عن توظيف الجزيئات النانوية للذهب التي تشمل على تسلسلات مختلفة من الـ DNA فقد تم توليد جزيئات هجينة بين الذهب والـ DNA تدعى بـ (Dn\_AU) يستفاد منها في صناعة أسلاك تتمتع بمزايا الذهب في النقل حيث يمكن تصغير قطر السلك إلى مرحلة من رتب النانو لما يتمتع به الـ DNA من ميزات



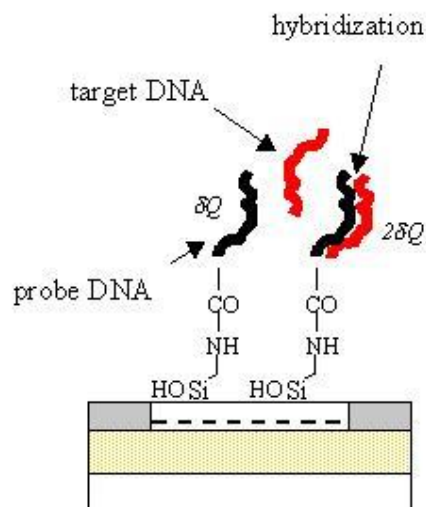
## الحساسات البيوكيميائية

تقوم إحدى الجامعات بتطوير حساسات هجينة بين المواد نصف الناقلة والجزيئات الحيوية (hybrid molecular-semiconductor) والتي تصل إلى درجة عالية من التكامل بتكاليف زهيدة وهي متعددة الاستعمالات .

يتألف الحساس من طبقة جزيئات مستقطبة وحيدة تلتصق بطبقة مناسبة من الدارات المتكاملة من نوع CMOS تحتها . لقد صمم الحساس بهذا الشكل ليتم كشف الوجه الذي يحتوي على الجزيئات الحيوية للوسط الخارجي بحيث إذا تعرضت لأي منبه كيميائي سيتغير تركيبها الفيزيائي وبالتالي سيتغير استقطابها . هذا التغير في الاستقطاب سيكتشفه ترانزستور حساس موجود تحت طبقة الجزيئات مباشرة . يمكن جعل هذا الحساس البيوكيميائي يستجيب لمجال واسع من التغيرات في الأوساط الكيميائية . هذا النوع من التكنولوجيا

جمع ما وصل إليه التطور في أهم المجالات الفيزيائية، الطبية و الالكترونية . إن نجاح هذه التجربة سيفتح أفق واسع للتطور في هذا المجال فهذا النوع من الحساسات يتميز بميزات هامة مثل قلة تكلفتها و صغر حجمها ومرونتها ، وسيكون ممكناً فتح فرع لصناعة الدارات المتكاملة التي تعتمد على توظيف العناصر الحساسة في الدارات الالكترونية القادرة على معالجة الإشارات الرقمية والتشابهية معاً

إن خرج الشريحة في هذا الحساس يمكن أن يوصل مع جهاز كمبيوتر ليتشكل بذلك نظام كامل لمراقبة التغيرات الكيميائية التي تؤثر في نوعية حياتنا . في البداية يزود target DNA بعلامة مشعة (يستخدم الفلور) حيث توضح شريحة DNA مع الفلور المشع لمدة معينة ثم بعد ذلك تغسل برفق .



## ملخص

يمكن إجمال ما سبق بأن DNA Computers عبارة عن أفق جديد لتطور قطع الحاسب من حيث الأداء والسرعة والدقة والحجم حيث تبين أن استخدام المادة الوراثية سيلغي الحدود التي ستتوقف عندها التكنولوجيا الحالية بسبب مشاكل التوازن بين الحرارة والسرعة ومشاكل توفير الطاقة وسيفتح باباً جديداً في الثورة التكنولوجية لاستخدام أوسع لما وصل إليه العلم في كافة المجالات وتوظيفه في صناعة الكمبيوتر وغيره .

و يلخص الجدول التالي مقارنة بسيطة بين حواسيب السيلكون وحواسيب الـ DNA

حواسيب الـ DNA	حواسيب السيلكون	
١٠ تريليون جزيئه DNA في منطقة لا تتجاوز ١ سنتيمتر مكعب	الحجم الطبيعي للحاسب وأصغر ما يمكن هو الكمبيوتر الكفي	الحجم
١٠ تريليون عملية حسابية معقدة بنفس الوقت	لا تتجاوز ٥ جيجا هرتز	السرعة
باوند من DNA يمكن أن يحتوي كل المعلومات المخزنة حتى الآن	الفراد يمكن أن يخزن معلومات تصل إلى ١٠٠٠ جيجا بايت	كمية المعلومات المخزنة
تعاادل $10^{-10}$ من الطاقة المصروفة في Supercomputer	كبيرة نسبياً	الطاقة المصروفة
الـ DNA موجود في جميع الخلايا الحية	السيلكون متوفر بكثرة في القشرة الأرضية	المادة الأساسية المستخدمة
صعب في الوقت الحالي	سهل بطرق متعددة	استخراج المادة الأساسية

## المراجع

wikipedia.org

How DNA Computer will work

[www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)

[http://www.xtrj.org/ssm6/usc\\_experiment.htm](http://www.xtrj.org/ssm6/usc_experiment.htm)

موقع الوراثة الطبيه

موقع جامعه دمشق

عده منتديات مختلفه