

And now for something
completely different!

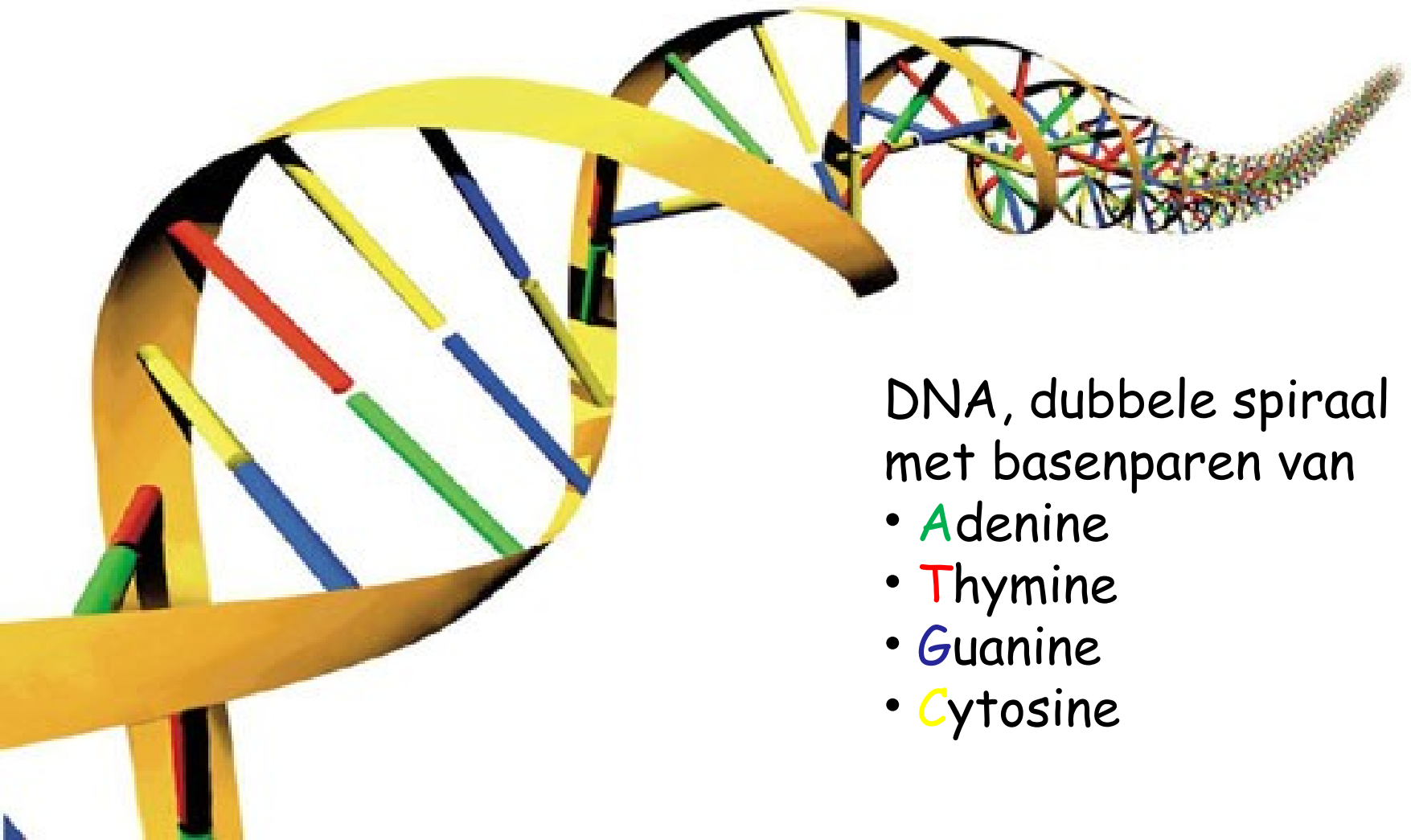
Of toch niet?

Erik Poll

Digital Security

Radboud University Nijmegen

1. Wat is dit?
2. Wat kun je ermee?



DNA codeert informatie



AATCGTGACTCGCTCGCTAGCTCGATAGATCGATCGATCAGCATA
TAGACTAGATCAGCATCAGCATCAGAGGCCAACCTCACGTAGCAT
AGCTAGVCTAGTCGAGCATGTCAGCTACGAGTCGTATCAGCTAGC
TGTAGTCAGTGCTAGTCGTAGTCGATGCTGAGCTCAGCGTAGCGT
AGCTTCATCATCGATGCGACGCTACGTACGTAGCTCGGCAGCTCA
GGCATCGTAGCTACTCTGTACGCTAGCTACCTCGTACGCACTCGA
CGTATAGAGGATCAAATCGTGACTCGCTCGCTAGCTCGATAGATC
GATCGATCAGCATATAGACTAGATCAGCATCAGCATCAGAGGCCA
ACCTCACGTAGCATAGCTAGVCTAGTCGAGCATGTCAGCTACGAG
TCGTATCAGCTAGCTGTAGTCAGTGCTAGTCGTAGTCGATGCTGA
GCTCAGCGTAGCGTAGCTTCATCATCGATGCGACGCTACGTACGT
AGCTCGGCAGCTCAGGCATCGTAGCTACTCTGTACGCTAGCTACC
TCGTACGCACTCGACGTATAGAGGATCAAATCGTGACTCGCTCGC
TAGCTCGATAGATCGATCGATCAGCATATAGACTAGATCAGCATCA
GCATCAGAGGCCAACCTCACGTAGCATAGCTAGVCTAGTCGAGCA
TGTCAGCTACGAGTCGTATCAGCTAGCTGTAGTCAGTGCTAGTCG

Wat is DNA?



DNA is een informatiedrager

Net als een floppy disk, CD, of USB stick



Informatici gebruiken 2 bits: 0 en 1,
biologie gebruikt er 4: A, T, G en C

Menselijk genoom is ± 3 miljard letters, dwz. 750 Mbyte

Wat kun je ermee?

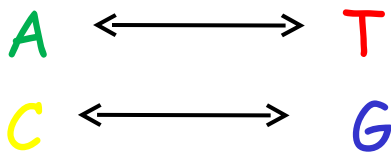


Deze informatie kan **verwerkt** worden,
bijv.

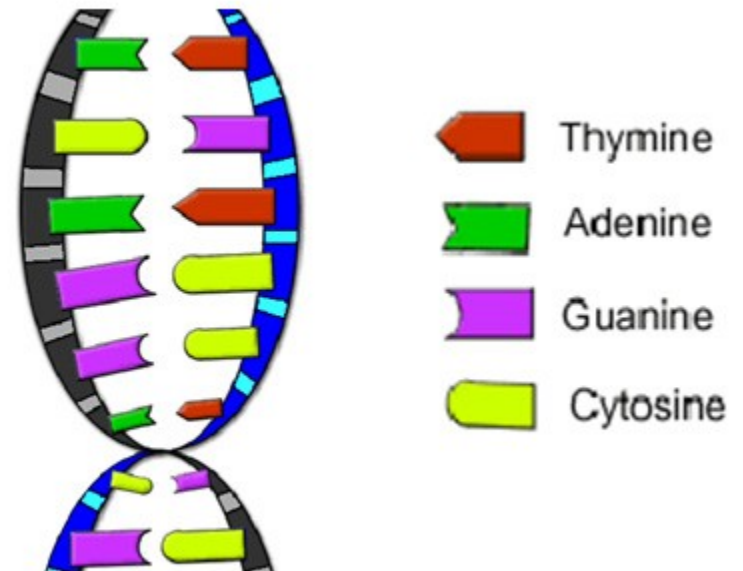
- **duplicatie** (celdeling)
- **combineren** (sex)
- allerlei **andere operaties** als onderdeel van biologische processen (spijsvertering, ziektes, ...)

Informatieverwerking met DNA

- DNA ketens hebben een Watson-Crick complement



Een keten en zijn complement plakken aan elkaar in een dubbele spiraal, in een proces dat **annealing** heet



Informatieverwerking met DNA

- **Splitsen**: een dubbele spiraal kan gesplits worden in de twee componenten (door verwarming)
- **Plakken**: een DNA keten en zijn complement kunnen samengevoegd worden (door afkoeling)
- **Selectief kopieëren**: Een **polymerase** creëert het complement van DNA ketens *die met een bepaald patroon beginnen*
Dit heet **PCR (Polymerase Chain Reaction)**
- **Knippen**: Een **restriction endonucleas** zoekt langs een DNA keten naar een patroon en knipt de keten daar in tweeën
- ...

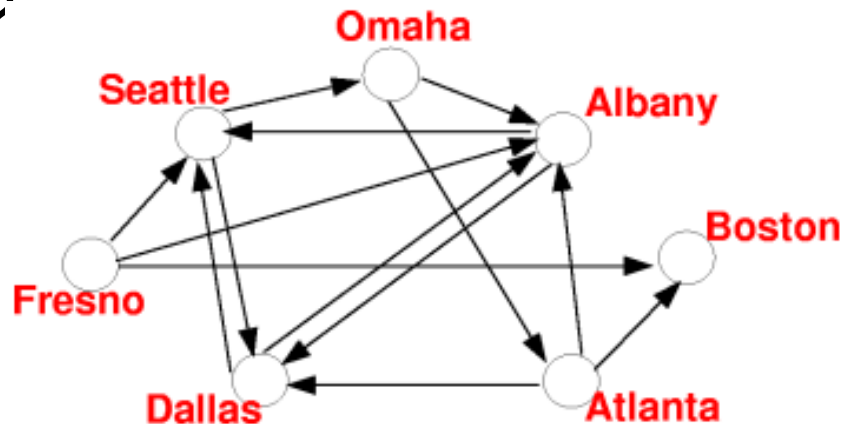
DNA Computing

- **Kunnen we hiermee rekenen?**
 - En bijv een schaakcomputer maken?

Ja, er zijn "DNA computers" bedacht bepaalde problemen (maar nog niet schaken) op te lossen

Hamiltonian pad probleem

- Gegeven een netwerk van steden met vliegverbindingen: is er een reis van stad X naar stad Y waarbij alle andere steden precies één keer worden aangedaan?



- Lijkt makkelijk, maar de enige manier is alle oplossingen te proberen en dat duurt erg lang!

Oplossen met DNA computer (1)

- Elke stad geven we een unieke DNA code
 - bijv **Atlanta** wordt **ACTTGCAG**

Notatie:

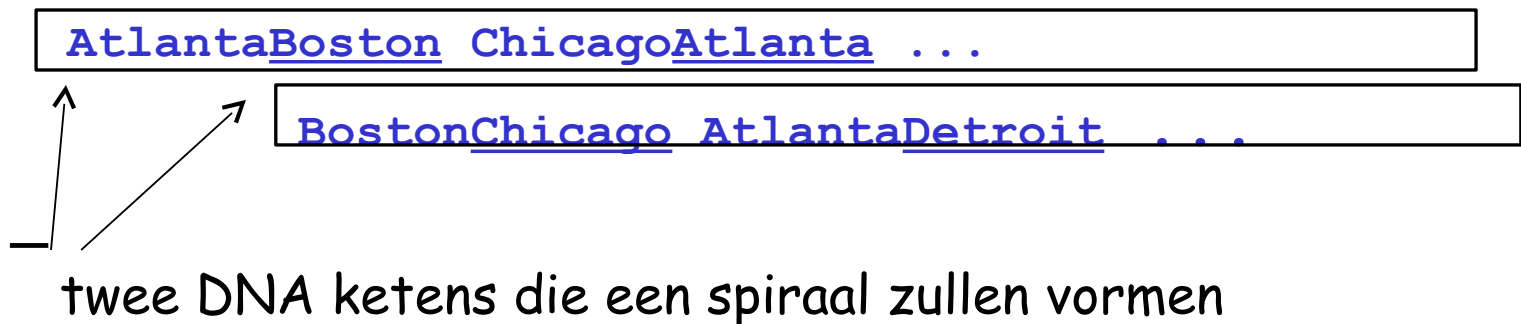
we schrijven gewoon **Atlanta** voor **ACTTGCAG**,
en **Atlanta** voor het complement **TGAACGTC**

- Een vlucht van Atlanta naar Boston coderen we met de DNA keten

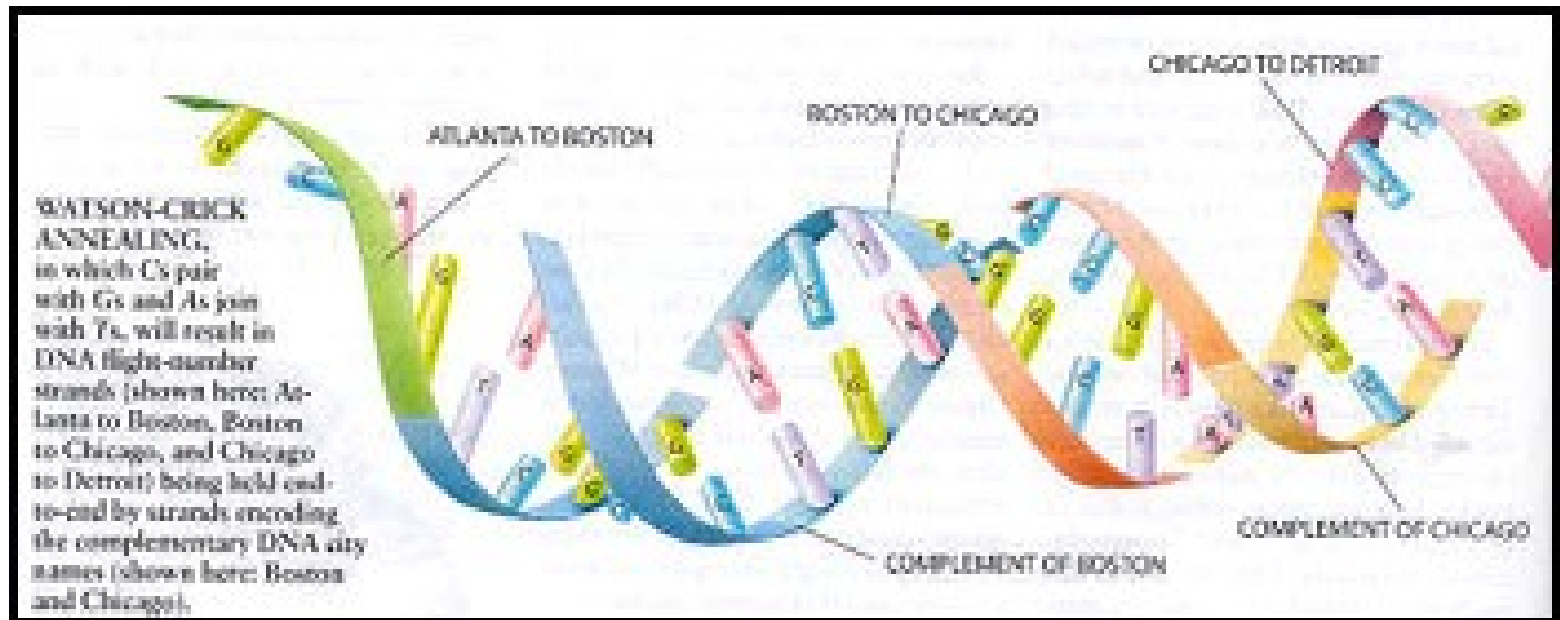
Atlanta **Boston**

Oplossen met DNA computer (2)

- Maak een heleboel (zeg 10^{18}) DNA ketens van alle bestaande vluchten (met DNA synthese)
- Gooi bijelkaar in reageerbuis en laat ze anneallen:
Bijv . AtlantaBoston kan aan BostonChicago plakken, en dan aan ChicagoAtlanta etc



Vormen van reisschema's (stap 2)



Oplossen met DNA computer (3)

- Met **Polymerase Chain Reaction (PCR)** laten we nu alle ketens met het goede beginpunt (Atlanta) en eindpunt (Detroit) vermenigvuldigen
- We eindigen met een mengsel waar verreweg de meeste ketens de goede begin & eindpunt hebben

Oplossen met DNA computer (4)

- Met **Gel electrophoresis** sorteren we alle DNA op lengte, en pakken we de alle ketens met de goede lengte
 - dwz lengte = aantal steden -1

Hierbij wordt de DNA op een gel gelegd en onder stroom gezet. DNA is negatief geladen en verplaatst zich dan, maar de kortere ketens doen dit sneller. Met chemicaliën en UV licht worden stroken van DNA ketens met verschillende lengtes zichtbaar.

Oplossen met DNA computer (5)

- Met **Affinity separation** selecteren hieruit de ketens waar alle steden tenminste 1 keer in voorkomen

Stukjes DNA met zeg Chicago worden aan een ijzeren balletjes geplakt & bij mengsel gegooid. Deze hechten zich aan ketens waar Chicago in voorkomt. Met een magneet kunnen nu al deze ketens verzameld worden. Dit wordt herhaald voor alle steden.

De oplossing

- Eindresultaat: DNA ketens
 - met goede begin- en eindpunt
 - van de goede lengte
 - waar alle steden in voorkomendwz alle oplossingen van het probleem

Alles bij elkaar duurt dit een week.

[Leonard M. Adleman, Computing with DNA, Scientific American, vol. 279, no. 2 pp 54-61, August 1998]

Andere toepassingen van DNA Computing

- **Het versleutelings-algoritme DES breken**

[D. Boneh, C. Dunworth, and R.Lipton, Breaking DES using a molecular computer, DIMACS workshop on DNA computing, 1995]



VS



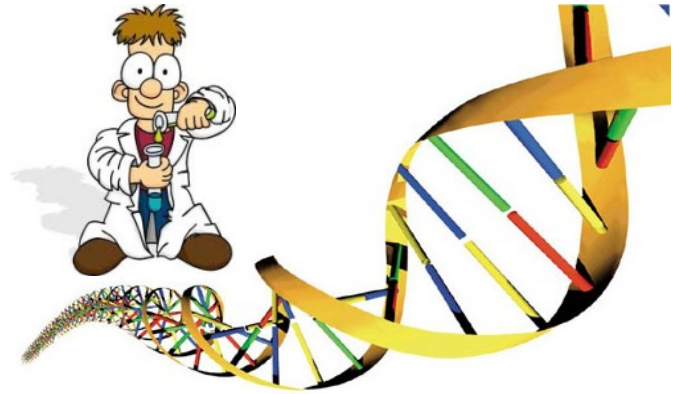
De Little Man Computer vs de "DNA computer"

- Overeenkomsten ?
- Verschillen?

De Little Man Computer is de klassieke Von Neumann architectuur die de meeste moderne computers gebruiken



VS



Overeenkomsten ?

- Allebei **verwerken gegevens**
opgeslagen in geheugen of gecodeerd in DNA ketens

Verschillen?

- **Programmeerbaarheid & notie van programma**
De LMC is programmeerbaar, en programma is weer op te slaan als 0'en en 1'en in geheugen.
- rekenen met DNA gebeurt op grote schaal **parallel**