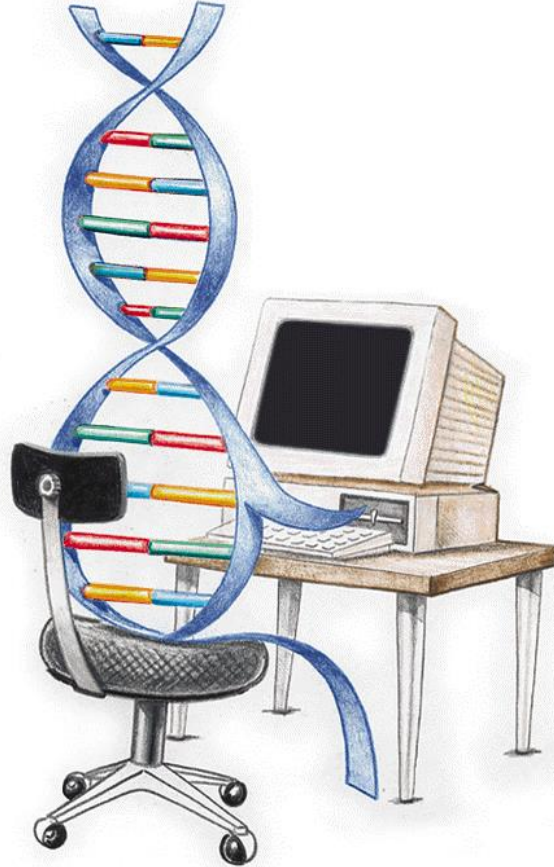


المتحكمات العصبونية و العائمة

محاضرة 7

Genetic Algorithms

د. فادي متوج





What are Genetic Algorithms?

➤ **الخوارزميات الوراثية genetic algorithms** هي نماذج حسابية تعتمد على علم الوراثة والتطور في الكائنات الأحياء.

➤ تعتمد فلسفة الخوارزميات الوراثية على **توليد** عدد كبير من الحلول الممكنة لمشكلة معينة.

➤ بعد ذلك، يتم **تقييم** كل حل من هذه الحلول. وتكون للحلول الأفضل فرص أكبر لتوليد حلول أخرى في حين تقل فرص توالد الحلول السيئة.

➤ وبتكرار هذه العملية **تتطور** نوعية الحلول المطروحة و تصل أو تقترب من الحل الأمثل للمشكلة تماماً مثلما تتطور الكائنات الحية حتى تتكيف بشكل أفضل مع بيئاتها.

Genetics in real life

- صفات كل كائن حي مشفرة في **جينات (مورثات)** هذا الكائن الحي، والتي بدورها ترتبط معا في سلاسل طويلة تسمى **الكروموسومات (الصبغيات) chromosomes**.
- يمثل كل جين سمة محددة للكائن الحي، مثل لون العين أو لون الشعر أو زمرة الدم، و يمكن أن يأخذ كل جين قيمة من بين عدة قيم مختلفة. على سبيل المثال، جين لون الشعر قد يكون أشقر، أسود أو بني محمر. وعادة ما يشار إلى هذه الجينات وقيمها **بالتركيب الوراثي للكائن**.
- معظم قيم الجينات يتم توارثها من الأم والأب للطفل.
- في بعض الأحيان، تتغير بعض قيم الجينات (على سبيل المثال، من 0 إلى 1)، قد يحصل ذلك بسبب بعض المؤثرات الكيميائية أو الفيزيائية أو البيولوجية الغير العادية (على سبيل المثال، تعرض جين للإشعاعات الذرية). ويسمى هذا التغير في قيمة الجين بـ **الطفرة mutation**.

- في أي نوع من أنواع الكائنات الحية، فإن الأفراد الذين يتكيفون بطريقة أفضل مع البيئة لديهم احتمالات أعلى للبقاء على قيد الحياة، وبالتالي لديهم احتمالات أعلى لإنجاب أطفال.
- على مدى أجيال، يتم تكرار هذه العملية، والنتيجة هي أن هؤلاء الأفراد والجينات التي تتكيف بشكل أفضل مع البيئة يميلون إلى **البقاء** بينما تلك التي لا تتكيف تميل إلى **الانقراض**.
- وتسمى نظرية الفرز الطبيعية هذه بالداروينية (Darwinian evolution).

- الخوارزميات الوراثية **الحسابية** التي سوف ندرسها هي **نماذج مختصرة** من علم الوراثة الطبيعية وعملية التطور التي ناقشناها سابقاً.
- الخوارزميات الجينية تشمل مفاهيم مثل الكروموسومات chromosomes والجينات genes، التزاوج mating or crossover breeding، الطفرة mutation، والتطور evolution.
- العملية الأساسية للخوارزمية الجينية هي على النحو التالي:
 - في البداية، نولد عشوائياً حلول أو "كروموسومات" للمشكلة.
 - بعد التوليد الأولي للحلول، نقوم بأدوار تكرارية iterations. ويتكون كل تكرار من عدة خطوات - نختار حلول جيدة نجري عملية تزاوج .
 - في بعض الأحيان قد تكون لدينا طفرات على بعض الحلول. من خلال اختيار حلول جيدة خلال التكرار، سيقوم الكمبيوتر بتطوير أفضل الحلول باستمرار كما في حالة من التطور الطبيعي.

- يمكن تطبيق الخوارزميات الجينية لحل كثير من المسائل مثل مسائل إيجاد الحل الأمثل لمشكلة مطروحة (optimization)

- فمثلاً لو أراد مندوب إحدى الشركات زيارة عشرين مدينة مختلفة باستعمال السيارة مع مراعاة تقليل وقت التنقل و عدد الكيلومترات المقطوعة فإنه سيجد نفسه أمام إشكالية رياضية معقدة.

- وهذه إشكالية كلاسيكية تعرف باسم "مشكلة البائع المتجول" (Traveling Salesman Problem TSP). لكن حل هذه المشكلة و مشكلات أخرى مماثلة أو أكثر تعقيداً يكون سهل باستعمال الخوارزميات الوراثة.



Representations of solutions

- A **solution** here means any value that is a candidate for a **correct solution** or a final answer.
- A solution may or may not be the correct solution.
- For example, suppose we want to maximize function $y = 5 - (x - 3)^2$. Then $x = 1$ is a solution, $x = 2.5$ is another solution, and $x = 3$ is the correct solution that maximizes y .

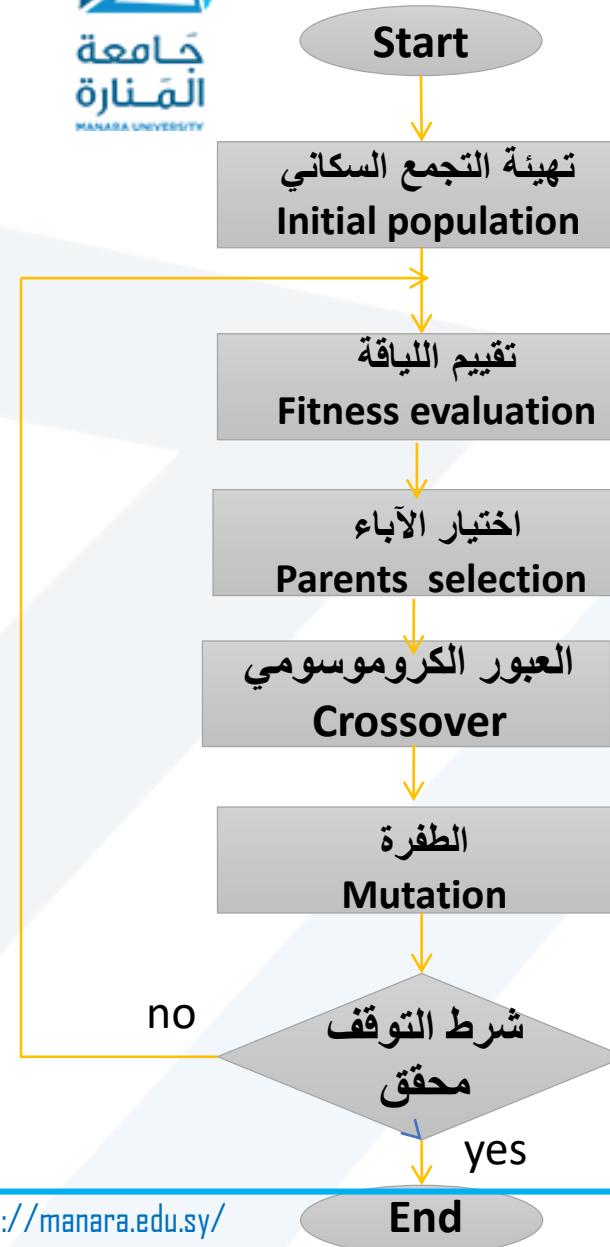
- قد يختلف تمثيل الحلول من مسألة إلى أخرى و لكن الشائع هو استعمال **سلسلة من الأرقام الثنائية** (binary numbers)
- فمثلاً إذا كانت الحلول المنتظرة لمشكلة معينة أرقاماً صحيحة و تقع بين الصفر و الخمسة عشر فيمكن ترميزها باستعمال أرقام ثنائية مثل 0000، 1010، 1110، إلى غير ذلك و تسمى هذه الأرقام **كروموسومات**.
- إذاً كل كروموسوم هو حل ممكن للمشكلة المطروحة

The fitness of a solution

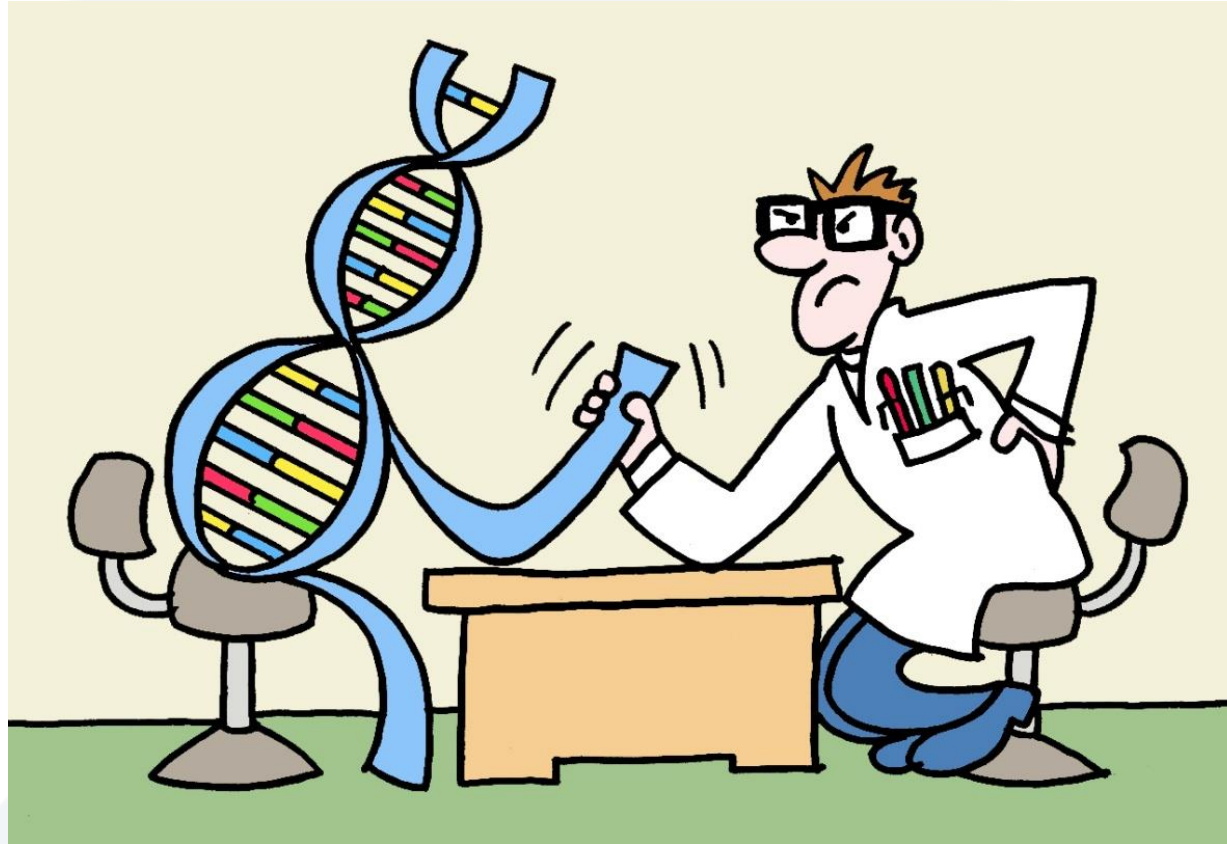
- لياقة الحل هو مقياس يمكن استخدامه لمقارنة الحلول لتحديد أيها أفضل.
- عادةً ما يسمى هذا المقياس "تابع اللياقة" (Fitness Function)
- على سبيل المثال، شركة ما تسعى لزيادة الربح. الربح نفسه يمكن أن يستخدم كمقياس اللياقة.
- يأخذ تابع اللياقة كل كروموسوم (حل) على حدة و يقيم مدى أدائه في حل المشكلة بإعطاء قيمة معينة.
- وكلما كانت هذه القيمة أكبر كلما كان الكروموسوم أكثر كفاءة.

- وبالتالي فإن الكروموسومات (الحلول) التي لها لياقة عالية تكون لها حظوظ أوفر في البقاء لأنها أكثر فائدة لحل المشكلة.
- وبتكرار هذه الخطوات **تزداد لياقة** الكروموسومات.
- بعد انتهاء عمليات الخوارزميات تصل الكروموسومات إلى أعلى مستوى من اللياقة مما يعكس حلولاً جيدة للمشكلة المراد حلها.

Basic steps of a genetic algorithm



تفاصيل الخوارزميات الوراثية



تقييم اللياقة Fitness Evaluation

- يتم تقييم اللياقة عن طريق تابع رياضي و يحتاج التقييم إلى ثلاث مراحل :
 - في **المرحلة الأولى** يتم فك ترميز الكروموسوم (decoding)
 - و في **المرحلة الثانية** يتم تحويل الأرقام الثنائية إلى أرقام عشرية بين حدين معينين.
 - أما **المرحلة الأخيرة** فمهمتها تقييم هذه الأرقام العشرية لإعطاء قيمة تعكس لياقة الكروموسوم.

• لنفترض أننا نريد البحث عن القيمة العظمى لتابع ما $f(x,y)$

على أن تكون قيمة x و y بين 0 و 15

• لنأخذ عشوائياً إثنين من الكروموسومات :

□ الكروموسوم الأول : 10110110

□ الكروموسوم الثاني : 01010000

- عندما نفك ترميز هذين الكروموسومين و نحولهما إلى أرقام عشرية سنحصل على:

- الكروموسوم الأول $x_1 = 1011 = 11$, $y_1 = 0110 = 6$

- الكروموسوم الثاني $x_2 = 0101 = 5$, $y_2 = 0000 = 0$

- لم يبقى إلا تقييم اللياقة:

الكروموسوم الأول: $f(x_1, y_1) = 3.214$

الكروموسوم الثاني: $f(x_2, y_2) = 0.146$

ومن هذه النتائج يمكننا أن نستخلص أن الكروموسوم الاول أكثر لياقة و أقرب للحل الأمثل

- تجدر الإشارة هنا إلى أن الخوارزميات الوراثة لا ترتبط بالمشكلة المراد حلها إلا عن طريق **تابع التقييم**.
- ولهذا يمكن استعمال برنامج الخوارزميات الوراثة في حل عدد كبير من المسائل دون إعادة كتابته أو تغيير أي من أجزائه باستثناء تابع التقييم (تابع اللياقة).
- كذلك نلاحظ أننا استعملنا أربعة بتات لتمثيل الأرقام لكن في حالة الأرقام الكبيرة يجب استعمال عدداً أكبر من البتات.

التجمع السكاني للكروموسومات (Population)

- نقطة البداية تكون دائماً بإعداد التجمع السكاني المبدئي و ذلك **بتوليد عدد كبير من الكروموسومات بطريقة عشوائية**.
كأن نولد مثلاً 100 كروموسوم.
- تعطى الكروموسومات التي لها لياقة أكبر فرصة للتزاوج و التوالد و البقاء و بهذا يتم الحصول على 100 كروموسوم جديد و الاستغناء عن الكروموسومات القديمة. و نكون بذلك قد كونا جيلاً جديداً (Generation) أكثر لياقةً من الجيل الذي سبقه.
- و مع مرور الأجيال تصل لياقة الكروموسومات إلى مستوى مرتفع

توالد الكروموسومات (Reproduction)

• تمر عملية توالد الكروموسومات بثلاث مراحل مهمة وهي :

- ☐ انتقاء الوالدين (Parent Selection)
- ☐ العبور الكروموسومي (Crossover)
- ☐ وأخيراً التغير المفاجئ أو الطفرة (Mutation)

قبل شرح هذه المراحل، تجدر الإشارة إلى أن الطريقة التي تتوالد بها الكروموسومات هي نقطة قوة الخوارزميات الوراثة:

- لأنها تصل بعملية الاستقصاء إلى **حلول شمولية** (global solution)
- ولا تعلق في **الحلول الموضعية** (local solutions) كما هو الشأن في معظم طرق الاستقصاء المعروفة.

انتقاء الوالدين Parents Selection

- تبدأ عملية التوالد **باختيار الوالدين** و المقياس الوحيد في هذا الاختيار هو **اللياقة**.
- ورغم أن عملية الانتقاء، كغيرها من العمليات، تتم عشوائياً إلا أن فرص انتقاء كروموسوم معين مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بلياقته.
- فأكثر الكروموسومات لياقةً مرشح للانتقاء مرات عديدة في حين أن الكروموسوم الضعيف قد لا ينتقى إطلاقاً.
- إن الهدف من عملية انتقاء الوالدين هو إعطاء **الكروموسومات الجيدة** فرصة أكبر للتوالد وبالمقابل، تقليل فرص التوالد أمام الكروموسومات ضعيفة اللياقة

• للقيام بهذه العملية توجد طرق عديدة لكن أهمها وأكثرها استخداماً هي الطريقة المسماة **بالعجلة الدوارة** (roulette wheel) وهي مفصلة كالآتي:

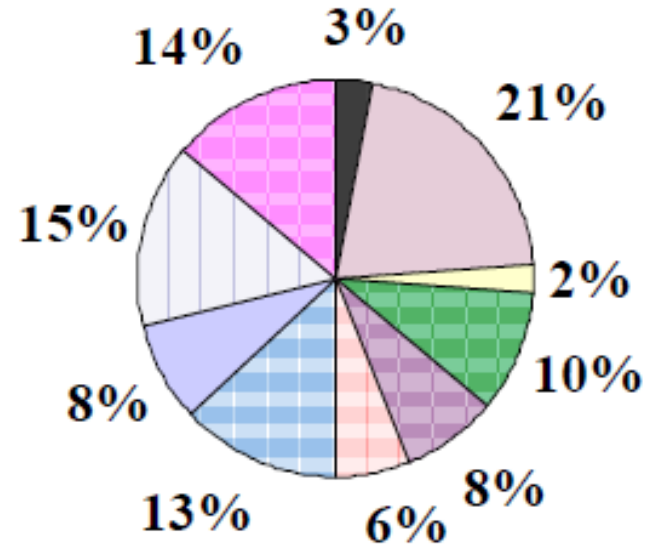
- تجمع قيم لياقة كل الكروموسومات الموجودة و نحصل على اللياقة الإجمالية
- يولد رقم عشوائي شريطة أن يقع بين الصفر و قيمة اللياقة الإجمالية
- يتم انتقاء الكروموسوم الذي إذا ما جمعت لياقته مع لياقة الكروموسومات التي تسبقه ساوت أو تعدت قيمة الرقم العشوائي المولد

- لتوضيح هذه الخطوات، نفترض أننا نود القيام بعملية الانتقال من تجمع سكاني يضم 10 كروموسومات بعد تقييم لياقتها

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	كروموسوم
6	4	9	6	11	10	2	15	1	7	اللياقة
71	65	61	52	46	35	25	23	8	7	المجموع الجاري

37	17	61	5	26	11	49	الرقم العشوائي
6	3	8	1	5	3	7	الكروموسوم المنتقى

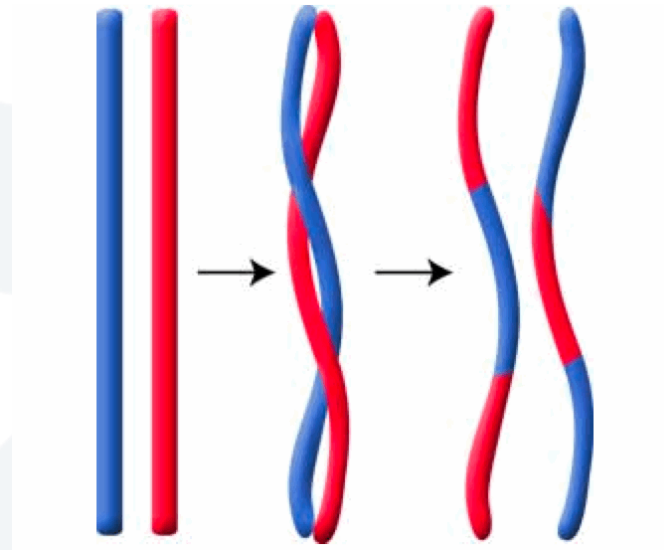
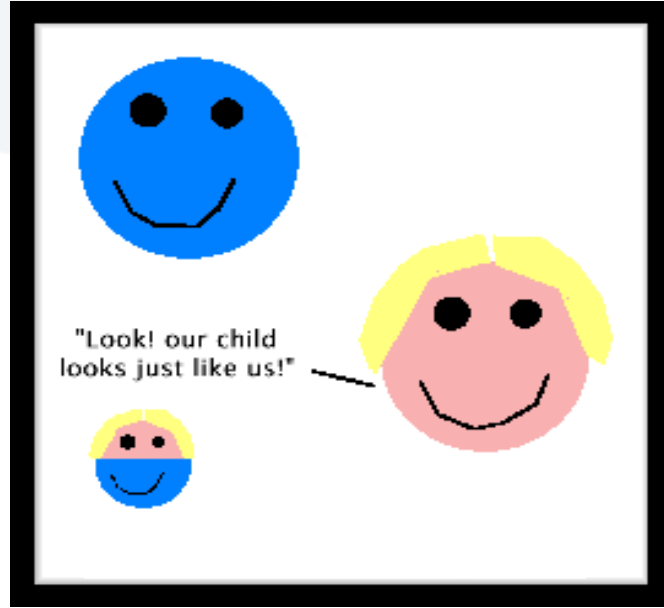
نسبة اللياقة %



- فكما هو موضح في الشكل، إذا ما أدركنا هذه المساحة على غرار عجلة الحظ فحظوظ المساحات الأكبر من الطبيعي أن تكون أوفر من غيرها

العبور الكروموسومي (Crossover)

- هي التي تجسد عملية التوالد.
- فبعد اختيار الوالدين (يمثلان **سلسلتين من الأرقام الثنائية**) يقع **تبادل** جزء من السلسلة.
- تكون نقطة التبادل عشوائية تماماً. كأن يأخذ الكروموسوم الأول آخر ثلاث بتات من الكروموسوم الثاني و يعطيه آخر ثلاث بتات من سلسلته.
- ولا تتم هذه العملية مع كل والدين، و لكنها تتم **بنسبة محددة** يختارها واضع البرنامج كأن تطبق على **50 %** من الكروموسومات و لا تطبق على البقية.

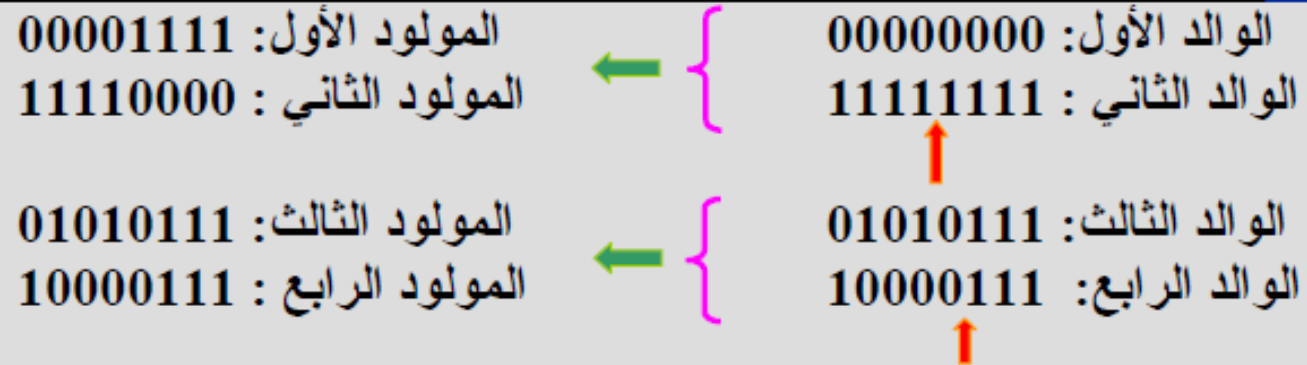


GGCTAATCTAATGCTACCGTATACAATCGAT
 TATACGACCTAGGTACTGACTACCAGGGACG

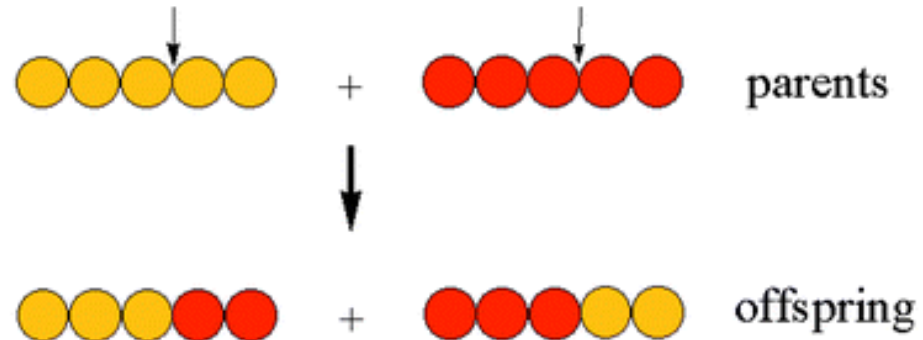


GGCTAATCTAAGGTACTGATATACAATCGAT
 TATACGACCTATGCTACCGCTACCAGGGACG

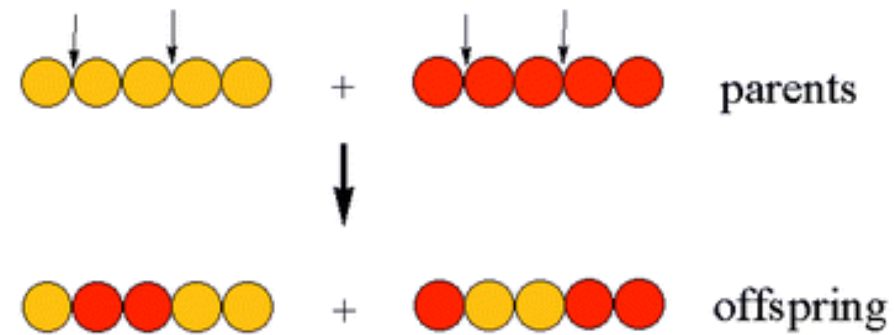
- بعد أن يتم تحديد نقطة التبادل عشوائياً يتبادل الوالدان جزءاً من سلسلة أرقامهما الثنائية الواقع بعد نقطة العبور الكروموسومي



(a)



(b)



- تأتي عملية الطفرة أو التغير المفاجئ مباشرة بعد عملية العبور الكروموسومي
- يمر الكروموسوم الجديد **بتغير مفاجئ عشوائي** فتتغير إحدى بَنَاتِه من صفر إلى واحد أو العكس
- وهذه العملية مهمة لأنها **تضيف بعض الخصائص الجديدة** التي قد لا توجد في الوالدين
- كما أنها تمنع من الوقوع في الحلول المحلية
- وبعبارة أخرى، يتم استخدام الطفرة للحفاظ على **التنوع الجيني** بين الأجيال.
- لكنها لا تحدث إلا بنسبة صغيرة جداً (من 0.5% إلى 1%) لأنه إذا زادت النسبة عن ذلك فإن الخوارزمية الجينية تصبح مجرد خوارزمية بحث عشوائي.

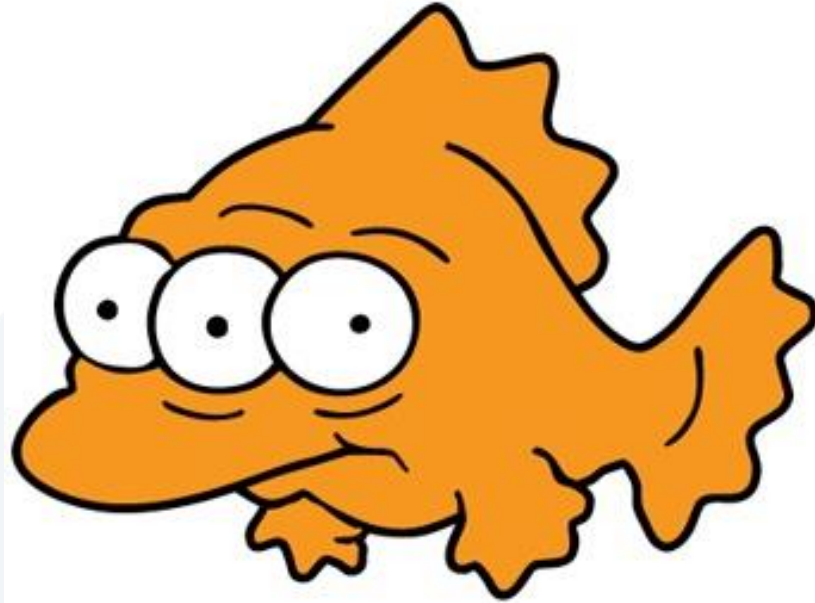
Mutation



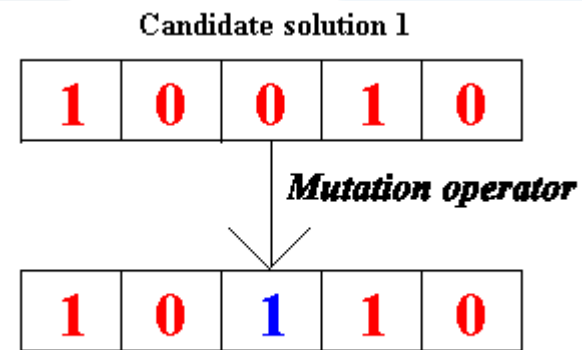
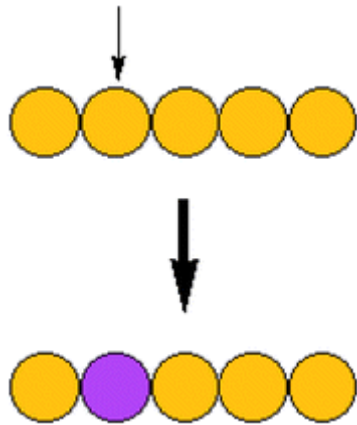
عند حدوث طفرة فإنها تتحول إلى

Mutation

هذه

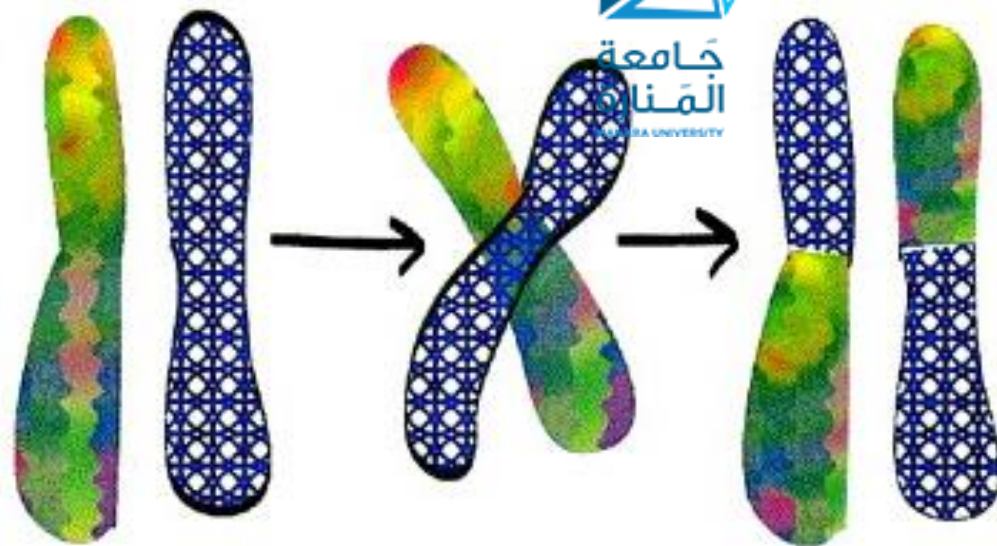


- تطبق هذه العملية على نسبة ضئيلة جداً من الكروموسومات المولدة (في حدود 1%)

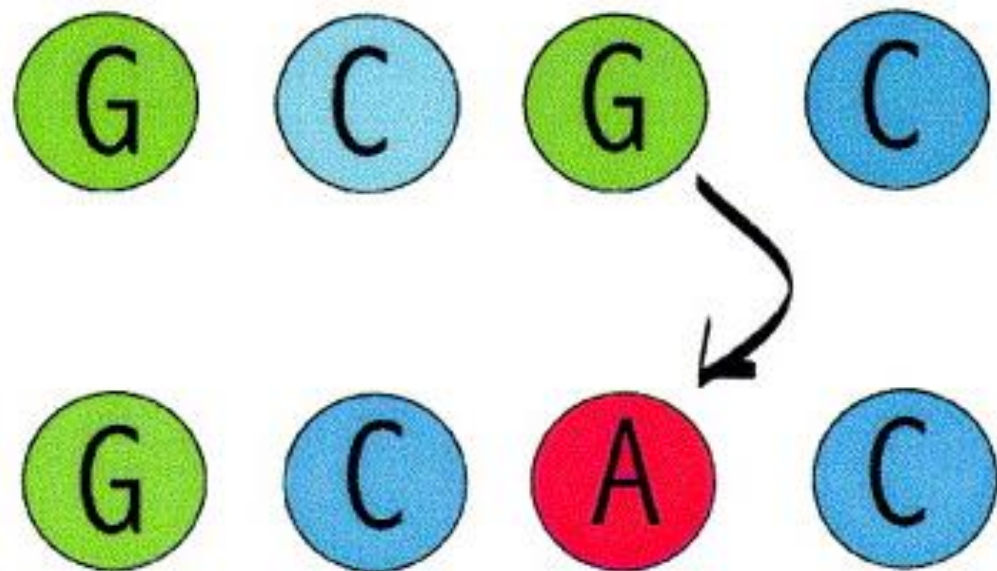




جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY



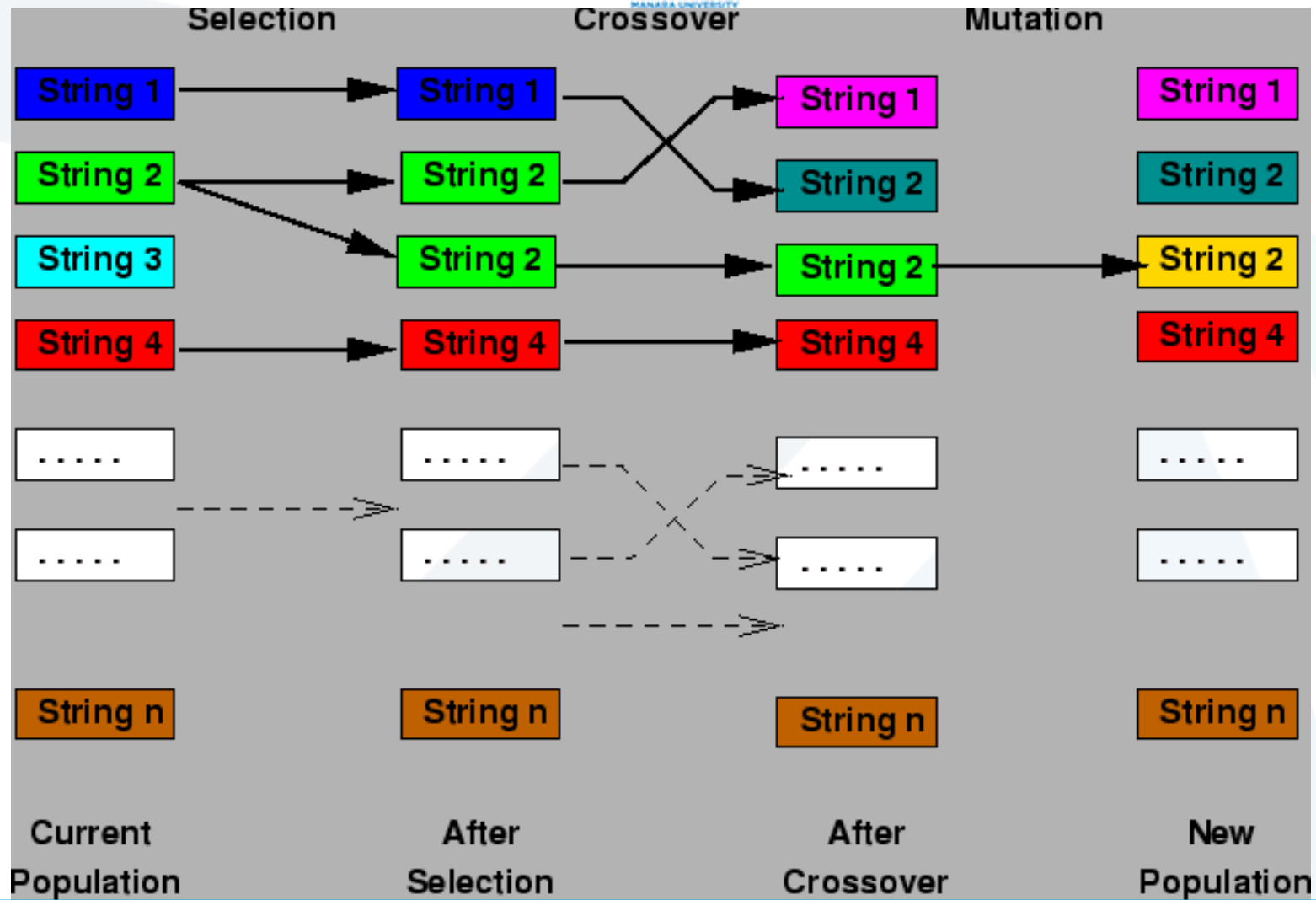
Crossover



Mutation



جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY



مثال إيضاحي للخوارزميات الجينية

- يود أحد التجار استعمال شاحنة تبلغ سعة حمولتها القصوى **11000 كغ** و ذلك لنقل عدد من :

❖ السيارات

❖ و البرادات

❖ و أحواض مطبخ

الوزن (كغ)	القيمة (يورو)	
4000	3000	السيارة
400	280	الثلاجة
100	50	حوض المطبخ

• تتمثل **المشكلة** في إيجاد **العدد** الذي يجب نقله من كل صنف حتى:

- نحصل على أكبر قيمة مالية
- دون أن يتعدى الوزن الإجمالي سعة الحمولة القصوى
- مع مراعاة أن تكون هذه الأعداد صحيحة دون كسور لأنه ليس من المعقول أن ننقل سيارتين ونصف مثلاً

• لنفترض :

❖ التعداد السكاني للكروموسومات (الحلول) = 50

❖ عدد الأجيال (مرات التكرار) = 30

❖ نسبة العبور الكروموسومي = 60%

❖ نسبة الطفرة = 5%

❖ عدد البتات لكل كروموسوم = 4

- ليس هناك قانون واضح لتحديد هذه القيم كما أنها لا تحتاج إلى دراسة عميقة لاختيارها.
- فبإمكاننا اختيار قيم أخرى حسب الخطوط العريضة و التي سبق ذكرها دون أن تؤثر كثيراً على نتائج الخوارزميات

- ما يحتاج فعلاً إلى دراسة متأنية هو **تابع التقييم** (تابع اللياقة Fitness Function)
- إن اختيار هذا التابع مرتبط ارتباطاً وثيقاً بفعالية الخوارزميات التي لا تعرف شيئاً عن طبيعة المسألة إلا عن طريق تابع التقييم
- وبالتالي يجب أن يعكس هذا التابع و بكل دقة **طبيعة المسألة** و ما تتطلبه من **ضوابط (قيود)**

- قبل عرض التابع الذي تم اختياره لنعرف بعض المتغيرات و الثوابت و هي :

$$P_r = \text{سعر الثلاجة} = 280$$

$$W_a = \text{وزن السيارة} = 4000$$

$$W_k = \text{وزن الحوض} = 100$$

$$n_a = \text{عدد السيارات}$$

$$n_k = \text{عدد الأحواض}$$

$$P_a = \text{سعر السيارة} = 3000$$

$$P_k = \text{سعر الحوض} = 50$$

$$W_r = \text{وزن الثلاجة} = 400$$

$$\max_w = \text{الحمولة} = 11000$$

$$n_r = \text{عدد الثلاجات}$$

- إن القيم الثلاثة الأخيرة هي ما نسعى لإيجاده .
- حين تتوفر هذه القيم يمكننا حساب القيمة المالية للمواد المشحونة حسب المعادلة التالية:
- كما يمكننا حساب الوزن الإجمالي حسب المعادلة التالية:

$$\text{Value} = (n_a) (P_a) + (n_r) (P_r) + (n_k) (P_k)$$

$$\text{Weight} = (n_a) (W_a) + (n_r) (W_r) + (n_k) (W_k)$$

- من هنا يصبح الهدف هو البحث عن قيم n_a, n_r, n_k التي تعطينا أكبر قيمة مالية ممكنة و التي سمينها Value
- شريطة ألا يتعدى الوزن الإجمالي (Weight) الحمولة القصوى max_w والمحددة ب 11000
- حسب هذه المعطيات هناك عدد كبير من توابع التقييم التي تفي بهذا الغرض و ربما أبسطها و ليس بالضرورة أحسنها هو التابع التالي:

$$\frac{\text{Value}}{1 + (\max_w - \text{Weight})^2} = \text{Fitness}$$

$$\frac{\text{Value}}{1 + (\max_w - \text{Weight})^2} = \text{Fitness}$$

• و بهذا تصل قيمة اللياقة (Fitness) أعلى مستوياتها عندما نحصل (كما هو المطلوب) على:

• أعلى قيمة للمتغير Value

• و أقرب وزن إجمالي Weight من الحمولة القصوى

ترميز الكروموسومات

- أولاً اخترنا أن تكون الحلول من أربعة بتات فقط بحيث يكون الحد الأقصى لعدد السيارات أو البرادات أو الأحواض هو 1111 أي 15
- باختيار 4 بتات لكل متغير يكون الكروموسوم عبارة عن ترميز للحل التالي **101100101001**

$$\mathbf{n_a} = 1011 = 11$$

$$\mathbf{n_r} = 0010 = 2$$

$$\mathbf{n_k} = 1001 = 9$$

- بتوليد تجمع سكاني يضم 50 كروموسوماً كما اخترنا لهذه المسألة:
 - نقيم لياقة كل منها
 - نقوم بعملية اختيار الوالدين
 - فعملية العبور الكروموسومي
 - ثم الطفرة
 - و تنتهي بتوليد جيل جديد
- بعد ذلك يتم تقييم اللياقة مجدداً و تتكرر هذه العمليات لمدة 30 جيلاً وهو عدد الأجيال الذي تم تحديده آنفاً
- عند انتهاء الخوارزميات الوراثة من كل هذه العمليات نحصل على لياقة كل جيل و الحل الأمثل لهذه المسألة

لياقة الأجيال

الجيل	الأول	الثاني	الثالث	من الرابع إلى الثلاثين
اللياقة	0	0.2	0.2	8060

الحل الأمثل

عدد السيارات	عدد الثلاجات	عدد الأحواض	القيمة الإجمالية	الوزن الإجمالي
2	7	2	8060	11000