



الخوارزميات الوراثية

GENETIC ALGORITHMS

د. عادل عبدالنور
قسم الهندسة الكهربائية
جامعة الملك سعود

مقدمة

■ تنحصر تطبيقات هذا الفرع في مشكلات الاستقصاء (search) وتوحي الأمثلية (optimization).

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

■ وهذه إشكالية كلاسيكية تعرف باسم "مشكلة البائع المتجول". لكن حل هذه المشكلة ومشكلات أخرى مماثلة أو حتى أكثر تعقيداً يكون سهلاً باستعمال الخوارزميات الوراثة.



- تعتمد فلسفة الخوارزميات الوراثة على توليد عدد كبير من الحلول الممكنة لمشكلة معينة.

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

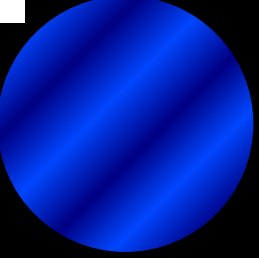
- وبتكرار هذه العملية تتطور نوعية الحلول المطروحة وتصل أو تقترب من الحل الأمثل.

- فالخوارزميات الوراثة، إذا ما طبقت بالشكل الصحيح، تكون فعالة جداً في حل مشكلات معقدة غالباً ما تعجز الطرق الأخرى عن حلها.

نظرة عامة

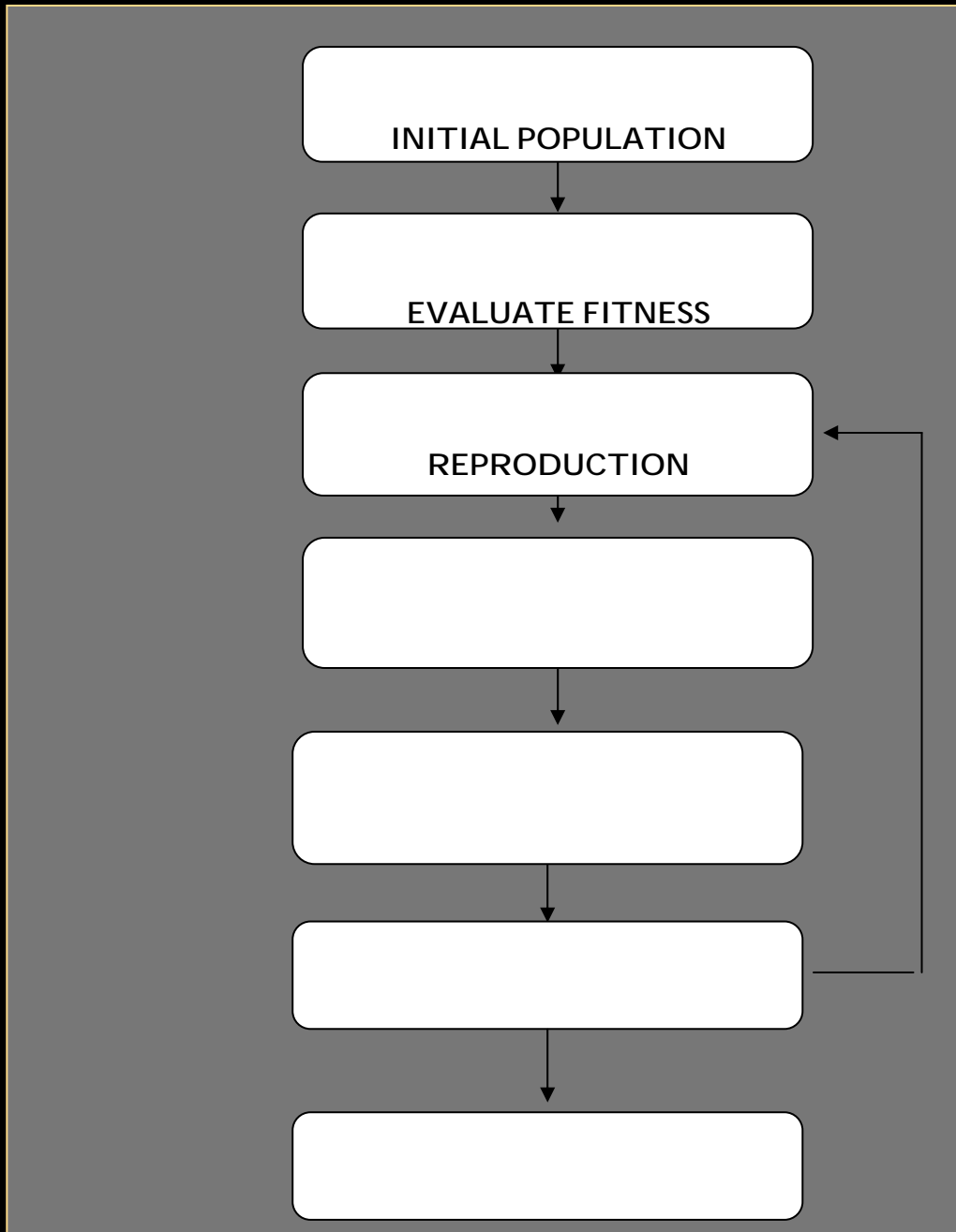
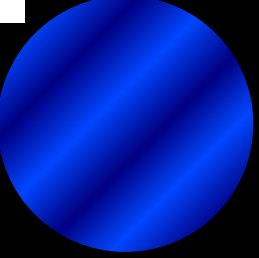
- من الممكن محاكاة نظرية التطور بطرق عديدة. ولكن هنا سنتطرق للطريقة التي وضعها هولاند والتي أصبحت متداولة منذ السبعينات إلى يومنا هذا
- أهم ما في هذه الطريقة هو الربط بين المشكلة المراد حلها والخوارزميات الوراثة. ويتم هذا الربط عن طريق عنصرين أساسيين وهما:
 - ◆ الترميز (encoding)
 - ◆ دالة التقييم (evaluation function)

- قد يختلف الترميز من مشكلة إلى أخرى ولكن الشائع هو استعمال سلسلة من الأرقام الثنائية (binary numbers).
- فمثلاً إذا كانت الحلول المنتظرة لمشكلة معينة أرقاماً صحيحة وتقع بين الصفر والخمسة عشر فيمكن ترميزها باستعمال أرقام ثنائية مثل 0000، 1010، 1110، إلى غير ذلك.
- بنفس الطريقة يمكن ترميز أرقاماً غير صحيحة موجبة أو سالبة. وتسمى هذه الأرقام **جينات** أو **كروموسومات**.



- أما دالة التقييم فهي مهمة جداً وهي الرابط الأساسي بين المشكلة والخوارزميات.
- فتأخذ هذه الدالة كل كروموسوم على حده وتقيّم مدى أدائه في حل المشكلة بإعطاء قيمة معينة.
- وكلما كانت هذه القيمة أكبر كلما كان الكروموسوم أكثر كفاءة.
- عادة ما تسمى هذه الدالة "دالة اللياقة" (fitness function).

- وبالتالي فإن الكروموسومات 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 حلاً جيداً للمشكلة المراد حلها.



الخطوات العامة
للخوارزميات
الوراثية

تقييم اللياقة (Fitness Evaluation)

- يتم تقييم اللياقة عن طريق دالة رياضية (function) ويحتاج التقييم إلى ثلاثة مراحل.
- في المرحلة الأولى يتم فك ترميز الكروموسوم (decoding).
- وفي المرحلة الثانية يقع 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 القصوى للدالة البسيطة:

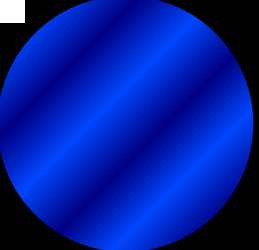
$$f(x,y) = \frac{1+x^2}{1+y^2}$$

على أن تكون قيمة الـ x والـ y ما بين 5 و-5.

■ لنأخذ ، عشوائياً، اثنين من الكروموسومات ونستعرض المراحل الأساسية للتقييم

★ الكروموسوم الأول: 10110110

★ الكروموسوم الثاني: 01010000



■ عندما ن فك ترميز هذين الكروموسومين ونحولهما إلى أرقام عشرية سنحصل على:

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

■ الكروموسوم الثاني: $x_2 = 0101 = 5, y_2 = 0000 = 0$

■ بما أن أكبر رقم في هذا الترميز هو $1111 = 15$ وأصغر رقم هو $0=0000$ وبما أننا (وحسب المسألة المطروحة) نحتاج إلى أرقام تقع بين $+5$ و -5 فعلىنا استعمال التحويل التالي:

■ $g(z) = (10z/15) - 5$

- هذا التحويل يجعل كل الأرقام الواقعة بين صفر و15 تقع بين +5 و -5 وهو ما نحتاجه.
- بهذا تصبح الكروموسومات كالآتي:

$$x_1 = 10 \times \frac{11}{15} - 5 = 2.33 \quad \text{الكروموسوم الأول:}$$

$$y_1 = 10 \times \frac{6}{15} - 5 = -1.0$$

$$x_2 = 10 \times \frac{5}{15} - 5 = -1.67 \quad \text{الكروموسوم الثاني:}$$

$$y_2 = 10 \times \frac{0}{15} - 5 = -5$$

■ بعد هذا التحويل لم يبق إلا تقييم اللياقة

$$f(x_1, y_1) = \frac{1 + x_1^2}{1 + y_1^2} = \frac{1 + (2.33)^2}{1 + (-1.00)^2} \quad :$$
$$= 3.214$$

$$f(x_2, y_2) = \frac{1 + x_2^2}{1 + y_2^2} = \frac{1 + (-1.67)^2}{1 + (-5)^2} \quad :$$
$$= 0.146$$

■ ومن هذه النتائج يمكننا أن نستخلص أن الكروموسوم الأول أكثر لياقة وأقرب للحل الأمثل.

■ تجدر الإشارة هنا إلى أن الخوارزميات الوراثة لا ترتبط
بالمشكلة المراد حلها إلا عن طريق دالة التقييم.

■ ولهذا يمكن استعمال برنامج الخوارزميات الوراثة في حل
عدد كبير من المسائل دون إعادة كتابته أو تغيير أي من
أجزائه باستثناء دالة التقييم.

■ كذلك، نلاحظ هنا أننا استعملنا أربعة بتات لتمثيل الأرقام لكن
في حالة الأرقام الكبيرة يجب استعمال عدداً أكبر من البتات.

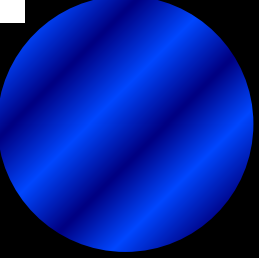
التجمع السكاني للكروموسومات (Population)

- نقطة البداية تكون دائماً بإعداد التجمع السكاني المبدئي وذلك بتوليد عدد كبير من الكروموسومات بطريقة عشوائية. كأن نوّلد مثلاً 100 كروموسوم.
- تُعطى الكروموسومات التي لها لياقة أكبر فرصة للتزاوج والتوالد والبقاء وبهذا يتم الحصول على 100 كروموسوم جديد والاستغناء عن الكروموسومات القديمة. ونكون بذلك قد كوناً جيلاً جديداً (Generation) أكثر لياقة من الجيل الذي سبقه.
- ومع مرور الأجيال تصل لياقة الكروموسومات إلى مستوى مرتفع

توالد الكروموسومات (Reproduction)

■ تمرّ عملية توالد الكروموسومات بثلاث مراحل مهمة وهي:

- ★ انتقاء الوالدين (Parent Selection)،
- ★ العبور الكروموسومي أو الانتقال (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 solutions)

- ولا تعلق في الحلول الموضعية (local solutions) كما هو الشأن في معظم طرق الاستقصاء المعروفة.



- تبدأ عملية التوالد باختيار الوالدين والمقياس 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 لياقة مرشح للانتقاء مرات عديدة في حين أن الكروموسوم الضعيف قد لا يُنتقى إطلاقاً.

العملية الثانية: العبور الكروموسومي

- هي التي تجسم 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 ويعطيه آخر ثلاث بتات من سلسلته.
- ولا تتم هذه العملية مع كل والدين، ولكنها تتم بنسبة محددة يختارها واضع البرنامج كأن تطبق على 50% من الحالات ولا تطبق على البقية.

العملية الثالثة: الطفرة

- يمرّ الكروموسوم الجديد بتغير مفاجئ عشوائي فتتغير إحدى بِنَاتِهِ من صفر إلى واحد أو العكس
- وهذه العملية مهمة لأنها تضيف بعض الخصائص الجديدة التي قد لا توجد في الوالدين
- لكنها لا تحدث إلا بنسبة صغيرة جداً (مثلاً 1%)

تفاصيل الخوارزميات الوراثة



انتقاء الوالدين (Parents Selection)

- 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 استعمالاً هي الطريقة المسماة بالعجلة الدُّرجية (roulette wheel) وهي مفصلة كالآتي:

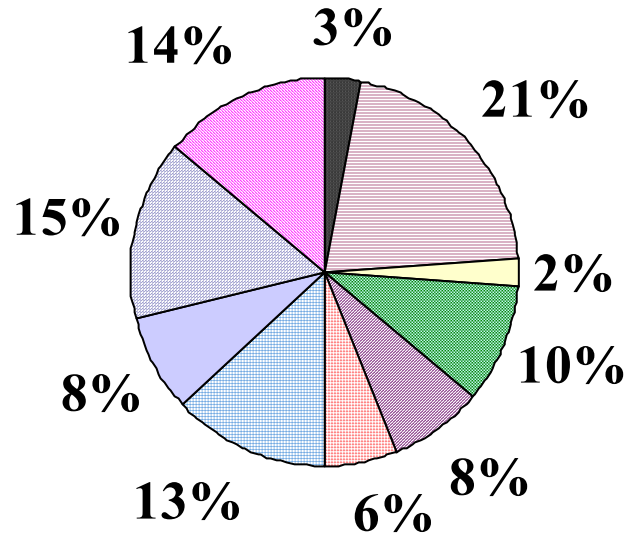
- تُجمع قيم لياقة كل الكروموسومات الموجودة ونحصل على اللياقة الإجمالية
- يُؤد رقم عشوائي شريطة أن يقع بين الصفر وقيمة اللياقة الإجمالية
- يتم انتقاء الكروموسوم الذي إذا ما جُمعت لياقته مع لياقة الكروموسومات التي تسبقه ساوت أو تعدت قيمة الرقم العشوائي المؤد

لتوضيح هذه الخطوات، نفترض أننا نود القيام بعملية
الانتقاء من تجمع سكاني يضم 10 كروموسومات بعد تقييم
ليافتها.

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

37	17	61	5	26	11	49	
6	3	8	1	5	3	7	

نسبة اللياقة %



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

العبور الكروموسومي (Crossover)

تتم هذه العملية على نسبة معينة من الكروموسومات
(مثل 50 أو 60 %)

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

المولود الأول: 00001111
المولود الثاني: 11110000



المولود الثالث: 01010111
المولود الرابع: 10000111



الوالد الأول: 00000000
الوالد الثاني: 11111111



الوالد الثالث: 01010111
الوالد الرابع: 10000111



الطفرة (Mutation)

تأتي عملية الطفرة أو التغير المفاجئ مباشرة بعد عملية العبور الكروموسومي

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

الكروموسوم القديم	الأرقام العشوائية	الكروموسوم الجديد
0110	0.321 0.800 0.320 0.003	0111
1110	0.990 0.120 0.001 0.600	1100
1111	0.888 0.921 0.333 0.412	1111

مثال إيضاحي للخوارزميات الوراثية

■ يودّ أحد التجار استعمال شاحنة تبلغ سعة حمولتها القصوى 11000 كغ وذلك لنقل عددٍ من:

★ السيارات

★ والثلاجات

★ وأحواض 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 سيارتان ونصف مثلاً.

■ لنفترض:

★ التعداد السكاني للكروموسومات = 50

★ عدد الأجيال (عدد 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 والتي سبق ذكرها دون أن تؤثر كثيراً على نتائج الخوارزميات



- ما يحتاج فعلاً إلى دراسة متأنية هي دالة التقييم (Fitness Function)

- إن اختيار هذه الدالة مرتبط ارتباطاً وثيقاً جداً بفعالية الخوارزميات التي لا تعرف شيئاً عن طبيعة المسألة إلا عن طريق دالة التقييم

- وبالتالي، يجب أن تعكس هذه الدالة وبكل دقة طبيعة المسألة وما تتطلبه من ضوابط

■ قبل عرض الدالة التي تم اختيارها لنعرّف بعض المتغيرات والثوابت وهي:

$$P_a = \text{سعر السيارة} = 3000 \quad P_r = \text{سعر الثلاجة} = 280$$

$$W_a = \text{وزن السيارة} = 4000 \quad P_k = \text{سعر الحوض} = 50$$

$$W_k = \text{وزن الحوض} = 100 \quad W_r = \text{وزن الثلاجة} = 400$$

$$\max_w = \text{الحمولة} = 11000 \quad n_a = \text{عدد السيارات}$$

$$n_r = \text{عدد الثلاجات} \quad n_k = \text{عدد الأحواض}$$

- إن القيم الثلاثة الأخيرة (n_a, n_r, n_k) هي ما نسعى لإيجاده
- حينما توفرت هذه القيم يمكننا حساب القيمة المالية للمواد المشحونة حسب المعادلة التالية:

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

- كما يمكننا حساب الوزن الإجمالي حسب المعادلة التالية:

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

- من هنا، يصبح الهدف هو البحث عن قيم الـ n_a, n_r, n_k التي تعطينا أكبر قيمة مالية ممكنة والتي سميناها Value
- شريطة ألا يتعدى الوزن الإجمالي (Weight) الحمولة القصوى \max_w والمحددة بـ 11000
- حسب هذه المعطيات، هناك عدد كبير من دالات التقييم التي تفي بهذا الغرض وربما أبسطها وليس بالضرورة أحسنها هي الدالة التالية:


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

■ وبهذا، تصل قيمة اللياقة (Fitness) أعلى مستوياتها عندما نحصل (كما هو المطلوب) على:

- ◆ أعلى قيمة للمتغير (Value)
- ◆ وأقرب وزن إجمالي (Weight) من الحمولة القصوى

ترميز الكروموسومات

■ أولاً، اخترنا أن تتكون الحلول من أربعة بتات فقط بحيث يكون الحدّ الأقصى لعدد السيارات أو الثلاجات أو الأحواض هو 1111 أي 15

■ باختيار 4 بتات لكل متغير، يكون الكروموسوم عبارة عن ترميز للحل التالي: **101100101001**

$$n_a = 1011 = 11 \blacklozenge$$

$$n_r = 0010 = 2 \blacklozenge$$

$$n_k = 1001 = 9 \blacklozenge$$

■ بتوليد تجمع سكاني يضم 50 كورموسوما كما اخترنا لهذه
المسألة:

★ نقيّم لياقة كل منها ثم

★ نقوم بعملية اختيار الوالدين

★ فعملية العبور الكروموسومي

★ ثم الطفرة

★ وننتهي بتوليد جيل جديد

■ بعد ذلك يتم تقييم اللياقة مجدداً وتتكرر هذه العمليات لمدة
30 جيلاً وهو عدد الأجيال التي تم تحديده آنفاً

■ عند انتهاء الخوارزميات الوراثة من كل هذه العمليات
نحصل على لياقة كل جيل والحل الأمثل لهذه المسألة

لياقة الأجيال

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

الحل الامثل

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

- الجدير بالذكر هنا، أنه كلما ازدادت المسألة صعوبة وتعقيداً كلما زاد الإحساس بأهمية وفعالية الخوارزميات الوراثة.
- إضافة إلى ذلك نشير إلى أن البرنامج الذي كُتب لحل هذه المسألة يمكن استعماله لحل أي مشكلة أخرى فقط بتغيير دالة التقييم وربما عدد البتات (إذا كانت هناك حاجة) شريطة أن يكون عدد المتغيرات ثلاثة.
- أما في حالة اختلاف عدد المتغيرات فيجب القيام ببعض التغييرات الطفيفة لضمان تشغيل البرنامج بشكل صحيح.

تحسينات إضافية على الخوارزميات الوراثة



معايرة دالة التقييم

- تعتبر دالة التقييم، وكما أكدنا سابقاً، من أهم عمليات الخوارزميات الوراثة. وسوء اختيار هذه الدالة يؤثر سلباً على أداء عملية الاستقصاء
- إن لياقة الكروموسوم مقارنة بالمعدل العام للياقة الجيل هي التي تحدد فرصة الانتقاء
- وبالتالي إذا كانت لياقة كروموسوم ما ثلاثة أضعاف معدل اللياقة فإن هذا الكروموسوم قد يفرز ثلاثة نسخ في الجيل التالي

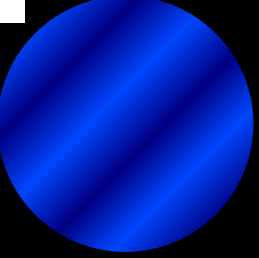
■ أما إذا كانت جميع اللياقات متقاربة (نتيجة سوء اختيار دالة التقييم) فستصبح عملية الانتقاء بدون فعالية

■ كمثال على ذلك، يحتوي الجدول على قيم لياقة خمسة كروموسومات كلها قريبة جداً من معدل اللياقة وبالتالي كلها متقاربة مما يحد من فعالية الانتقاء

5	4	3	2	1	
100.075	100.215	100.991	100.007	100.320	

■ لحل هذه المشكلة، يمكن الالتجاء إلى معايرة دالة التقييم
(Normalization)

■ فلو خصمنا 100 من قيمة اللياقة المدرجة في الجدول السابق
نلاحظ أن عملية الانتقاء تتم في ظروف أفضل بكثير وتعكس
لياقة الكروموسومات بشكل أصح



	5	4	3	2	1	
100.3216	100.075	100.215	100.991	100.007	100.320	
0.3216	0.075	0.215	0.991	0.007	0.320	100
1.0	0.9975	0.9989	1.0067	0.9969	0.9999	
1.0	0.2332	0.6685	3.0815	0.0218	0.9950	

■ عوضاً عن خصم 100 من قيمة اللياقة في المثال السابق كان من الممكن ترتيب الكروموسومات من الأحسن إلى الأسوأ ثم إعطاءها لياقة جديدة كأن نعطي 10 لأحسنها ثم 8 للثاني و6 للثالث و4 للرابع وأخيراً 2 لأسوئها. أو أي طريقة تعبير أخرى نراها مناسبة

■ المهم في كل هذا هو أن نراعي عاملين أساسيين:

★ الأول هو أن لا تكون كل اللياقات متقاربة من المعدل العام

★ والثاني هو أن لا يطغى كروموسوم وحيد على كل الكروموسومات الأخرى ويحرمها تماماً من الاستمرار

النخبوية (Elitism)

- عند تطبيق الخوارزميات الوراثة بشكلها الكلاسيكي قد يكون من الوارد أن تعجز بعض الكروموسومات الجيدة عن الاستمرار نظراً لعشوائية الكثير من العمليات
- رغم ندرة هذه الحالة، بإمكاننا ضمان استمرارية الكروموسومات الجيدة باستعمال طريقة النخبوية

- في هذه الطريقة ، يتم نقل الكروموسومات الجيدة مباشرة إلى الجيل التالي دون أن نطبق عليها أي من عمليات الخوارزميات الوراثة في حين تمرّ الكروموسومات الأخرى بكل العمليات
- من إيجابيات هذه الطريقة هي الزيادة في فعالية وسرعة الخوارزميات، لكنها بالمقابل تزيد من إمكانية طغيان كروموسوم واحد على بقية الكروموسومات

التوالد دون نسخ متطابقة

- عند المرور من جيل لآخر، تتوالد الكروموسومات وتفرز نسخاً متطابقة (Duplicates) خصوصاً في الأجيال المتأخرة ويقلل هذا من بروز كروموسومات جديدة قد تكون ذات فائدة
- للتخلص من هذه الظاهرة، يمكن أن نتخلص من تكرار الكروموسومات ونتأكد من وجود نسخة واحدة فقط من كل كروموسوم
- ورغم ما تضيفه هذه العملية من جهد في برمجة الخوارزميات الوراثة إلا أن فائدتها تستحق هذا المجهود الزائد خصوصاً في مشكلات الاستقصاء الهامة



The End

