جامعة الموصل

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

قسم بحوث العمليات والتقنيات الذكائية

التقنيات الذكائية (2)

ملزمة الكورس الثاني كاملة للمرحلة الثالـثة

إعداد الدكتورة: نِعم عبدالمنعم عبدالمجيد

جميع المصطلحات الموجودة باللغة الإنكليزية مطلوبة

ويجب على الطالـــــب حفظها

بسم الله الرحمن الرحيم

الخوارزمية الجينية (الوراثية) GA ($Genetic\ Algorithm$)

علم الوراثة: هو ذلك الفرع من علوم الحياة الذي يهتم بدراسة كل من التشابه و التغاير بالنسبة للأجيال المتعاقبة من الأحياء أي أنه يعني دراسة التشابه والاختلاف بين الأبناء من جهة والآباء من جهة اخرى.

ماهي الخوارزمية الجينية

هي أساسها العمليات الوراثية للكائنات الحية. اذاً هي خوارزمية بحث أساسها علم الآلة الذي صُممَ للاختيار أو الانتضاب الطبيعي. وهي **خوارزمية** لها ميل للابتكار البشري. بصورة عامة هي **استغلال** ذكاء الآلة للبحث العشوائي.

أو هي بتعريف أصح: هي فئة معينة من الخوارزميات التطورية التي تستخدم تقنيات مستوحاة من علم الاحياء التطوري (الوراثة , التقاطع , الاختيار , الطفرة) وهي تقنية بحث مستخدمة لإيجاد الحل الصحيح أو التقريبي لمسألة البحث والامثلية (تستخدم لحل المسألة التي لاتُحل بالطرق الرياضية ويتم تصنيف هذه الخوارزمية على انها استدلالات بحث عالمية وهي من خوارزميات البحث الموجه بناءاً على اليات تطور بيلوجية التي طورها (جون هولاند) لفهم العمليات التكيفية للأنظمة الطبيعية لتصميم برامج وأنظمة اصطناعية التي تحافظ على متانة الأنظمة الطبيعية.

مدخل الى الخوارزمية الجينية

منذ الستينات ازدادت الحاجة الى تطوير خوارزميات ضخمة وقوية لحل مسائل الأمثلية المعقدة والصعبة. أصبح شائع الآن تقنيات تطورية نشوئية ومنها الخوارزمية الجينية.

تُعد الخوارزمية الجينية أحد أساليب الذكاء الاصطناعي وهي من الأساليب الحديثة اذ برزت أهمية استخدام هذا الأسلوب في مجال حل المسائل المعقدة (**كبيرة الحجم**) التي تمتلك كماً هائلاً من الحلول البديلة خلال زمن مناسب والحل الناتج من الخوارزمية الجينية يكون حلاً مثالياً أو قريب من الحل المثالي.

طورت (قُدمت) فكرة الخوارزمية الجينية على يد العالم جون هولاند (***john Holand***) في عام (1975) في جامعة ميشيغان الأميركية **لفهم العملات التكيفيةللانظمة** والتي تعتمد على المفهوم الطبيعي للتطور وتقترح ان التنوع يساعد في بقاء السكان أحياء على الرغم من تغيير الظروف. إذ نشر العالِم جون بحوث عديدة الهدف منها تحسين و تطوير الخوارزميات والبرمجيات التي تتبع (تُحاكي) علم الوراثة حيث قام بتطبيقها على مسائل الامثلية المركبة.

وفي عام (1992) استخدم العالم ($john\ kozak$) الخوارزمية الجينية في تطوير البرامج لحل بعض المسائل المعقدة والتي سُميت بالبرمجة الجينية (($\boldsymbol{GP}$) ($Genetic\ Programming$)).

فكرة الخوارزمية الجينية (مهمة جداً)

تعتمد فكرة هذه الخوارزمية بشكل دقيق على أفكار الهندسة الوراثية والتي تتميز بالإنتاج المقصود للمجموعات المورثة بهدف تكوين افراد ذات صفات جيدة. تكمن فكرة الخوارزمية الجينية في توليد بعض الحلول للمشكلة عشوائياً. ثم يتم فحص هذه الحلول ومقارنتها لـبعض المعايير التي يصممها مبرمج الخوارزمية (مُصمم الخوارزمية) وأفضل الحلول هي التي تبقى أما الحلول الأقل كفاءة فيتم إهمالها عملاً بالقاعدة البيولوجية (**البقاء للأصلح**) والخطوة اللاحقة هي مزاوجة الحلول المتبقية (**الحلول الأكثر كفاءة**) لإنتاج حلول جديدة على غرار ما يحصل في الكائنات الحية وذلك لمزج مورثاتها (جيناتها) إذا أن الكائن الجديد الناتج ستكون صفاته عبارة عن مزيج من صفات والديه وهذه الحلول الناتجة من التزاوج تدخل الفحص والتفتيح لمعرفة مدى كفاءتها واقترابها من الحل الأمثل وهكذا تتم عملية التزاوج بين والانتقاء حتى تصل العملية أما لعدد معين من التكرارات (يُقدره المُصمم) أو تصل الحلول الناتجة أو احداها الى نسبة كفاءة عالية (كبيرة).

إذاً صفة هذه الخوارزمية تعتمد على مبدأ الاختيار الطبيعي حيث يبدأ الحل لـمجتمع ذو قيمة عشوائية تمثل مجموعة الحلول وكل حل له دالة لياقة ($fitness\ function$) ترتبط مباشرًة بدالة الهدف للمسألة المعينة وبعد ذلك يتم التعديل لهذا المجتمع وتوليد جيل آخر جديد من خلال تطبيق مجموعة من العمليات (الانتقاء , التعابر , الطفرة , مقياس التوقف).

مجالات (تطبيقات) استخدام الخوارزمية الجينية

1) مجال التحليل العددي والامثلية ($Optimization\ and\ Numerical\ Analysis$).
2) معالجة الصور ($Image\ Processing$).
3) تعلم الماكنة ($Learn\ Machine$).
4) التشفير ($Encoding\ or\ Coding$).
5) مجال الاقتصاد ($Economice$).
6) الشبكات العصبية ($Neural\ Networks$).

الفروقات بين الخوارزمية الجينية و الخوارزميات التقليدية

(اختلاف الخوارزمية الجينية عن الخوارزميات التقليدية)

	الخوارزمية الجينية (GA)	الخوارزميات التقليدية $traditional\ algorithms$ (من طرف التحليل العددي)
1	يتم تشفير الحلول الحقيقية (متغيرات) واستخدامها وتحويلها الى بيانات مشفرة فقط في GA	يتم اخذ البيانات (القيم) الحقيقية مباشرًة (**أي استخدام المتغيرات الحقيقية دون تشفير**)
2	يتم استخدام دالة اللياقة (**درجة اللياقة**) بدلاً من دالة الهدف. أي التي تحتوي في تركيبها على دالة الهدف	يتم استخدام (أخذ) دالة الهدف مباشرة $objective\ function$
3	يتم الحصول على عدد كبير من الحلول المثلى وهناك اكثر من حل مثالي للمسألة (**عدد هائل من الحلول**)	لها حل وحيد أمثل
4	تستخدم القوانين الاحتمالية بدلاً من تطبيق القوانين الاصلية مباشرًة	تستخدم القوانين الأساسية (الأصلية) مباشرًة

المصطلحات الأساسية في الخوارزمية الجينية (المصطلحات البيولوجية)

1) المورثة (الجين) Gene:

تمثل الوحدة الأساسية في هيكلة الخوارزمية الجينية والتي تكون بشكل إما قيمة عددية , قيمة حرفية , منطقية , ثنائية وتدعى بالقيمة ($Value$).

($ACGGTAA$) هذا مقطع جيني مسؤول عن مرض السكري , البيان مسؤول عن الطول و الوزن.

---

2) الكروموسوم ($Chromosome$) أو الفرد ($Individual$) أو المقطع الجملة ($String$):

هو مجموعة من القيم أو الجينات (**مورثات**) تمثل الحلول الأساسية للمسألة ويكون بالشكل الآتي:

$Chromosomes\ Or\ String$	$Gene\ 1$	$Gene\ 2$	$Gene\ 3$	……	$Gene\ n$

كروموسوم يحتوي على (n) من الجينات.

اذ أن (n) تمثل طول الكروموسوم (يمثل الفرد الكروموسوم).

طول الكروموسوم: هو عدد الجينات في الكروموسوم.

---

3) المجتمع ($Population$):

هو مجموعة من الافراد او مجموعة من الكروموسومات أي عدد الكروموسومات (عدد الافراد) أو المقاطع في الجيل الواحد.

- مجموع كل الكروموسومات تمثل المجتمع.

C_1	2	3	5	4	6	0
C_2	3	2	1	4	6	7

هذه تسمى $Coding$

الذي تبدأ به هو المجتمع الابتدائي , ومجموعهم المجتمع ($initial\ population$).

---

4) الجيل ($Generation$):

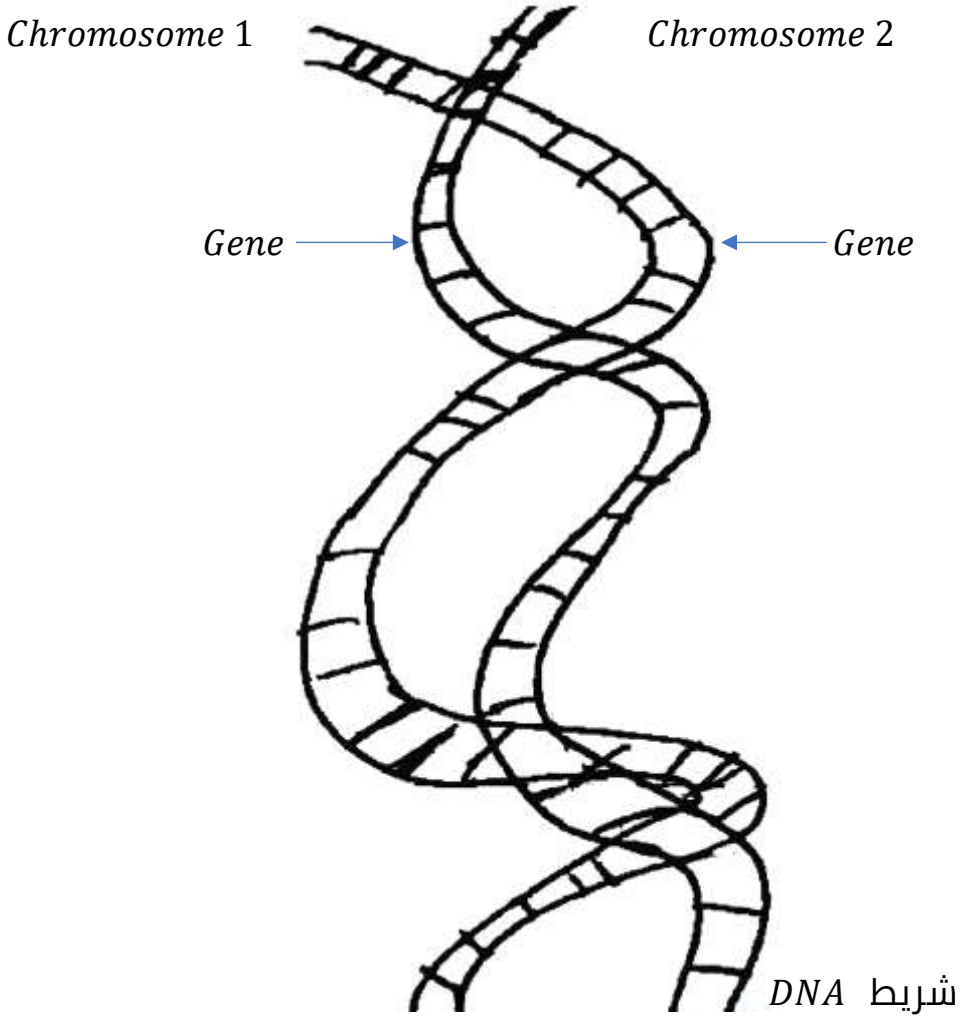
عبارة عن مجموعة من الافراد أو الكروموسومات المتكونة في وقت معين أو في زمن معين.

5) التعبير (***Phenotype***) (نوع الجين أو النمط الجيني):

وهو مجموع الكروموسومات الموجودة بالجيل الواحد وهو الذي يمثل نوعية أو شكل الكروموسوم ويكون إما مفرد أو يحتوي على قيم متعددة.

6) التحليل (***Genotype***):

يمثل نوعية الحل الذي يتكون منه الكروموسوم وتشفيره إما (ثنائي أو حقيقي أو صحيح أو عددي أو حرفي أو رموز) أي بمعنى التشفير.



شريط DNA

الخطوات الأساسية في الخوارزمية الجينية

1	$Coding\ (Encoding)$	التشفير
2	$Selection$	انتقاء
3	$Crossover$	التزاوج
4	$Mutation$	الطفرة
5	$Stopping\ Or\ Test$	مقياس التوقف أو الاختبار

يجب أن تكون بالتسلسل

1) **البداية**: تمثل البداية إنشاء مجتمع عشوائي من الكروموسومات أي بمعنى إيجاد حلول مناسبة للمسألة.

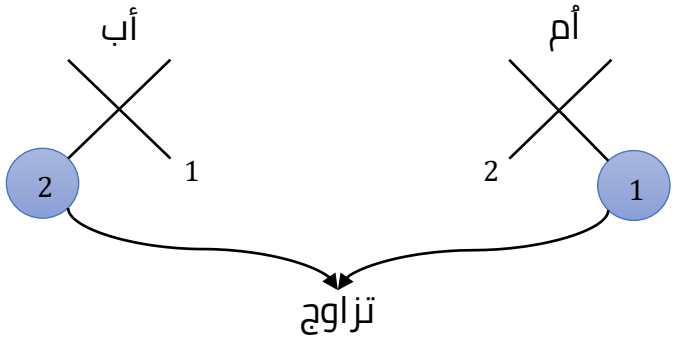
2) **إيجاد دالة اللياقة** $(\boldsymbol{fitness\ function})$: وهو تحويل دالة الهدف للمسألة الى دالة مناسبة للحل (في الحل) ضمن الخوارزمية الجينية. (**يختبرون لياقة الكروموسوم ضمن علاقة رياضية**).

3) **إنشاء المجتمع الجديد**: نُكون المجتمع الجديد وذلك بواسطة تكرار الخطوات الآتية حتى يكمل ذلك المجتمع:

أ) **الانتقاء (الاختيار)** $(\boldsymbol{Selection})$:

وفيه يتم اختيار مقطعين أبوين يتم دخولهم الى عملية التعابر $(\boldsymbol{Crossover})$ استناداً الى دالة اللياقة.

نختار كروموسومين لـوالدين من المجتمع الابتدائي استناداً الى دالة اللياقة. وظيفة الانتقاء $(\boldsymbol{Selection})$ هو اختيار احد الكروموسومات حسب آلية يتم اختيار أفضل كروموسوم و ذو أفضل لياقة من بين الكروموسومين للأب والأم:



ب) التعابر (التداخل الإبدالي , التقاطع , التزاوج) ($Crossover$):

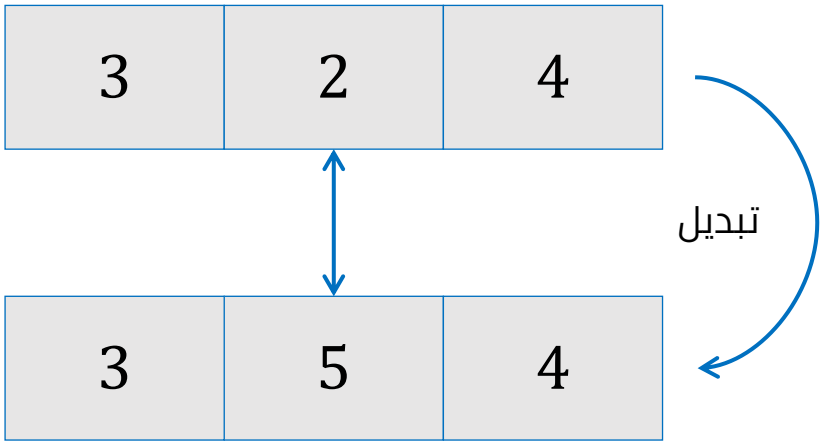
يتم اجراء احدى عمليات التعابر (التزاوج بين الكروموسومات) على الأبوين لإنتاج (الحصول على) ذرية جديدة ($Offspring$) ويكون بين كروموسومين فقط (تكون الذرية عبارة عن كروموسومين فقط. أي عملية تقاطع الكروموسومات لإنتاج فرد جديد.

ج) الطفرة ($Mutation$):

تجري احدى العمليات على جينات الكروموسوم الواحد (أي العمليات التي تجري بين الجينات في الكروموسوم الواحد).

أي عملية تغيير مفاجئ في الأبناء ناتجة عن التهجين مثلاً الطفرة الوراثية التي تتحول احد صيغة شرط الكروموسوم من (A) الى (B) مثلاً مرض السكري أو أي شيء أخر .

بالطفرة الوراثية يتم تبديل موقع رقم بـــــــرقم أخر كالآتي:



4) الاستبدال($Replacement$): يتم استبدال المجتمع الجديد بمعنى حلول الأبناء محل الآباء لإنتاج ذرية جديدة (أي استبدال الأبناء في المجتمع الجديد ليصبح آباء في المجتمع اللاحق).

5) مقياس التوقف ($Stopping\ criterion, Stop$) أو الاختبار ($Test$): يستمر تكوين الأجيال المتعاقبة بهدف تحسيـــن الحل يجعله اكثر اقتراباً من الحل الأمثل الى ان يتحقق شرط التوقف الذي يعتمد على مقياس الخوارزمية الجينية ويختلف هذا المقياس باختلاف المسألة وهناك نوعان من مقياس التوقف:

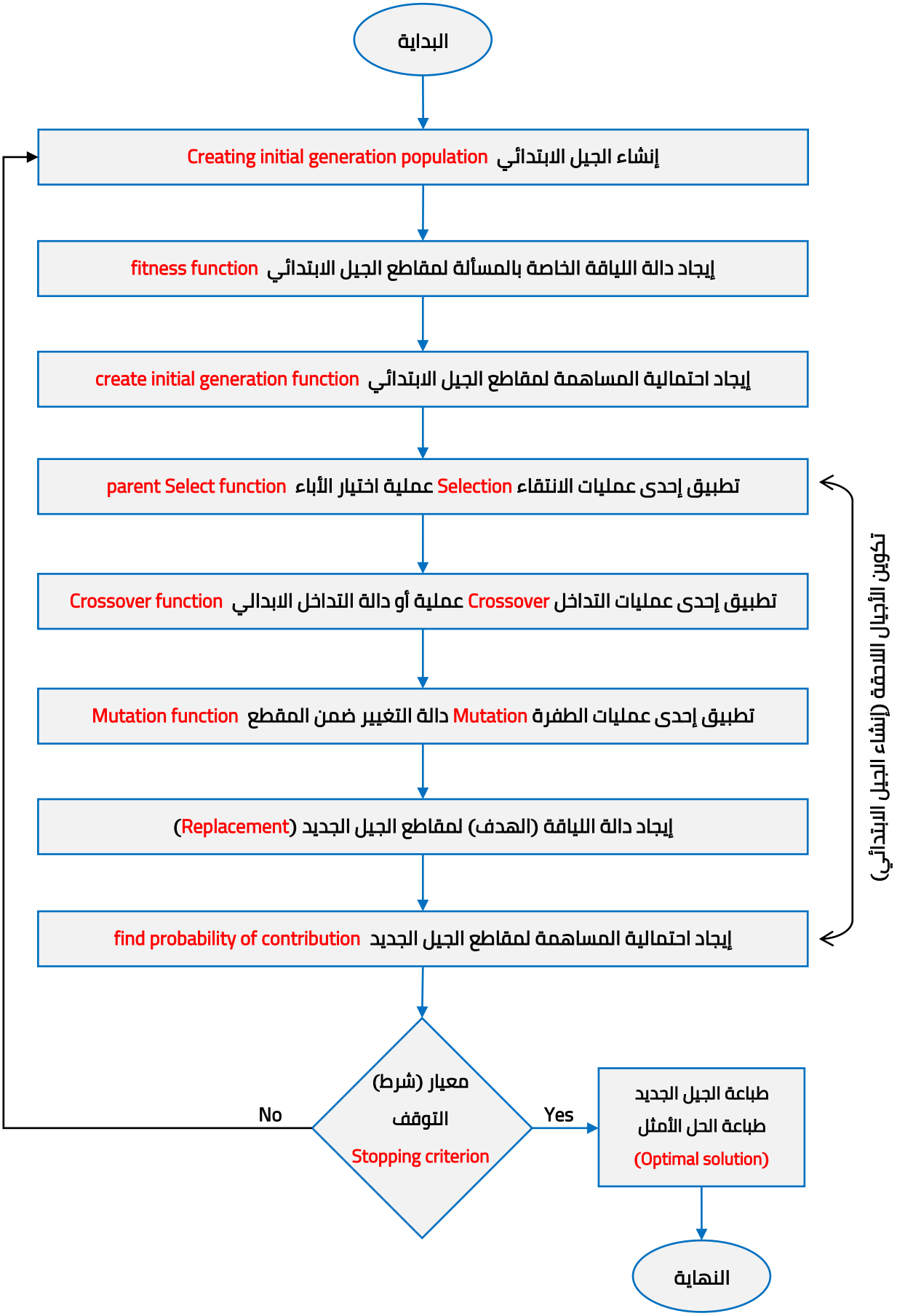
- مقاييس كلاسيكية (***Classic Measures***).
- مقاييس إحصائية (***statistical Measures***).

في حالة تحقيق شرط التوقف يجب إيقاف الخوارزمية الجينية واعتبار الحل الوحيد هو الحل الأمثل اما اذا لم يتحقق الشرط تدور العملية في حلقة (***Loop***) الى ان نصل الى شرط التوقف.

Nature vs Computer mapping

Computer	***Nature***
حلول من مجموعة	المجتمع *population*
حل مشكلة (حل مسألة)	الفرد *Individual*
نوعية الحل	اللياقة *fitness*
ترميز (تشفير) الحل	كروموسوم
البارت (جزء من ترميز الحل)	الجين *(Gene)*
التقاطع أو التزاوج	إعادة انتاج *Reproduction*

المخطط الانسيابي للخوارزمية الجينية *flowchart of Genetic algorithm*



أنــواع الخوارزمية الجينية

1) الخوارزمية الجينية البسيطة (*Simple GA*):

وهي الصيغة الأساسية التي اقترحها العالم جون هولاند عام (1975) وفي هذه الخوارزمية يتم تشكيل المجتمع لكل جيل ومن دون الاعتماد على الجيل السابق (مجتمعات منفصلة غير متداخلة) حيث أنه في كل جيل يتم إحلال المجتمع الجديد بدل المجتمع القديم.

2) الخوارزمية الجينية المستقرة (*Steady state GA*):

في هذه الخوارزمية يتم تغيير المجتمع تدريجياً حيث استبدال عدد قليل من الافراد في كل جيل (**مجتمعات متداخلة**) وتتم في هذه الخوارزمية اختيار فرعين من الجيل السابق ليكوناً أباءاً تجري عليهم عملية التعابر (**التداخل الابدالي**) لتكوين المجتمع الجديد.

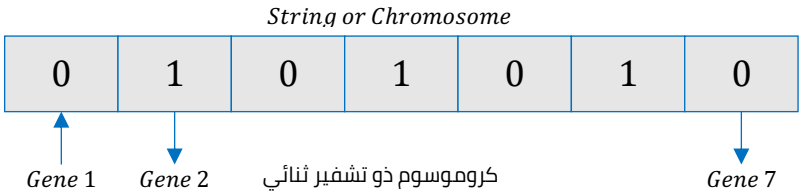
عناصر الخوارزمية الجينية

1) التشفير (*Encoding or Coding*):

يُقصد بالتشفير عملية إيجاد تمثيل مناسب للحل , إذ يُعد التشفير عاملاً اساسياً لنجاح الخوارزمية الجينية وفيه يتم انشاء الجيل الابتدائي. حيث تعطي رموز جديدة بدل الأسماء والقيم الحقيقة **ويقسم التشفير الى عدة اقسام**: يجب أن تكون بالتسلسل.

أ- التشفير الثنائي (*Binary coding*):

هذا النوع من التشفير هو الاكثر استعمالاً أو شيوعاً إذ يمتلك كل جين موقعاً مساوياً الى احد العددين أما (**0**) أو (**1**) كما في المثال الآتي:



ب- التشفير الحقيقي (*Real coding*):

وفيه يتم إعطاء قيم حقيقية للجينات (**بدلاً من الحلول الأصلية**) في الكروموسوم الواحد كما في المثال الآتي:

1.5	9.3	−5.1	3.7	4.5

ج- التشفير الصحيح (*Integer coding*):

وفيه يتم إعطاء قيم (**اعداد**) صحيحة لكل جين في الكروموسوم الواحد كما في المثال الآتي:

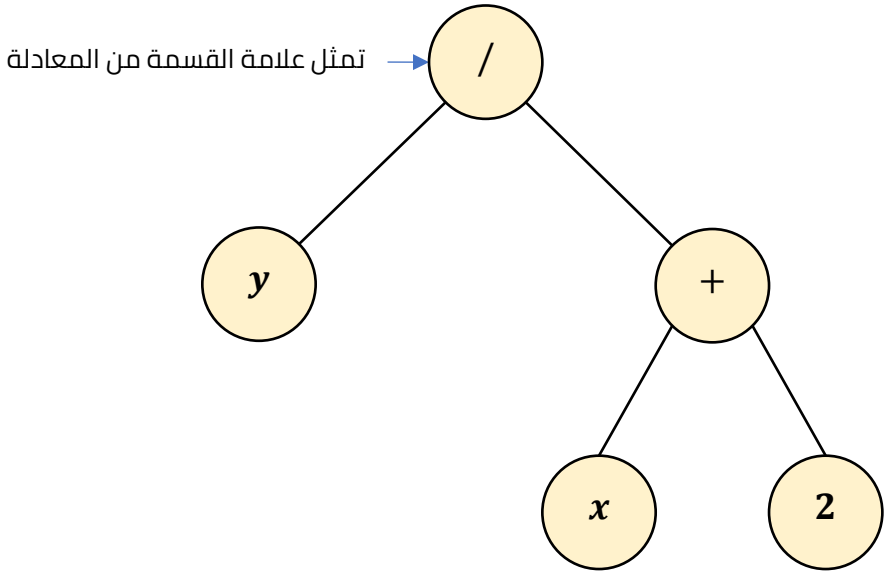
3	−1	5	−9	100

د- التشفير الشجري (*Tree coding*):

وفيه يمثل الكروموسوم بشكل شجرة مكونة من عدد من العقد والحافات وكل عقدة تمثل عملية رياضية أو متغير أو قيمة ثابتة, كما في الأمثلة الآتية:

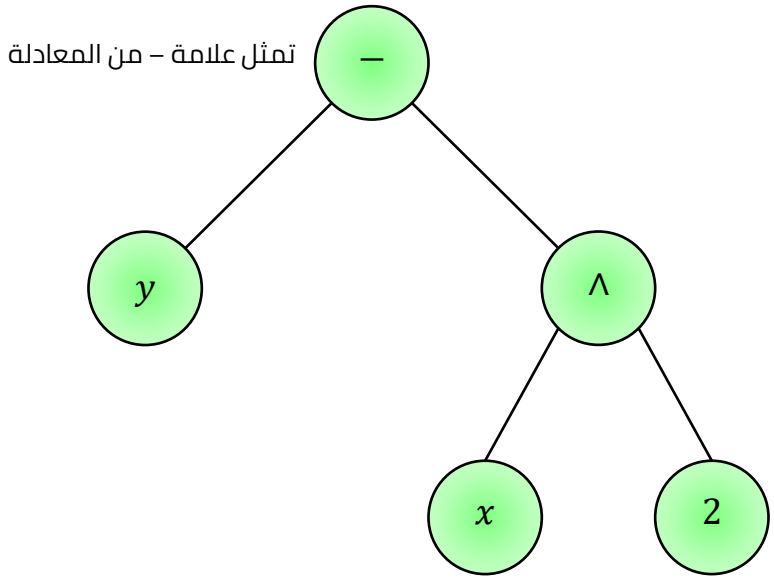
مثال (1): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$y/(x+2)$



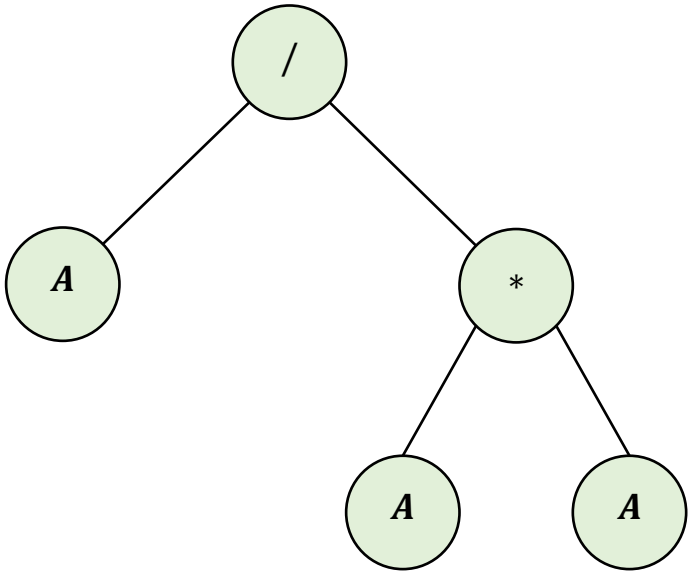
مثال (2): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$y - x^2$



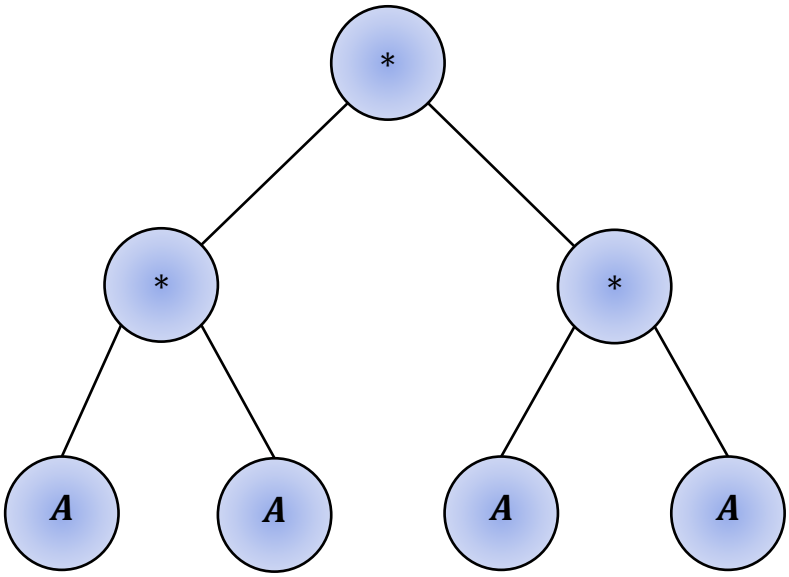
مثال (3): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$$A/[A * A]$$



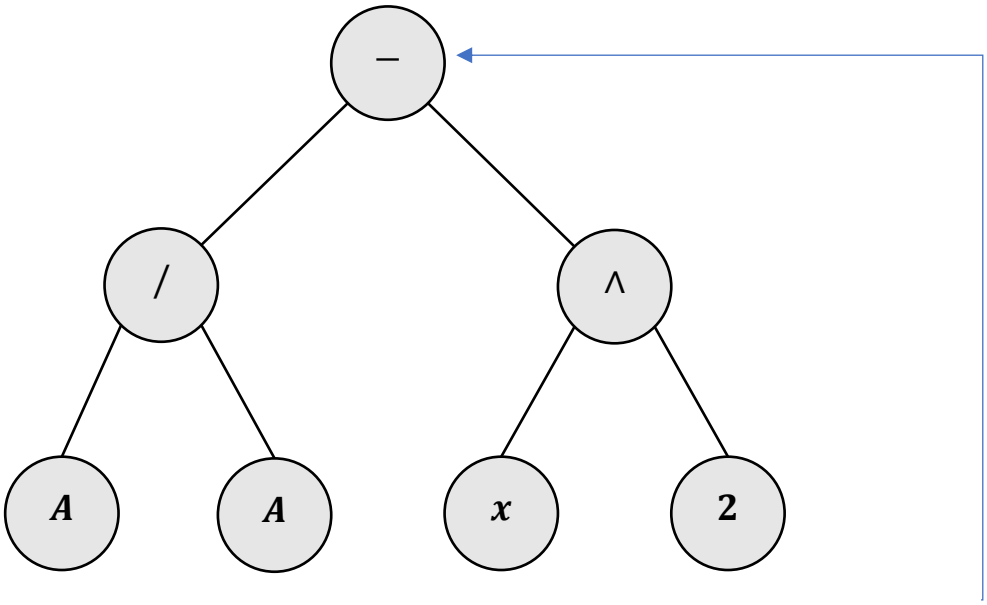
مثال (4): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$$[A * A] * [A * A]$$



مثال (5): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

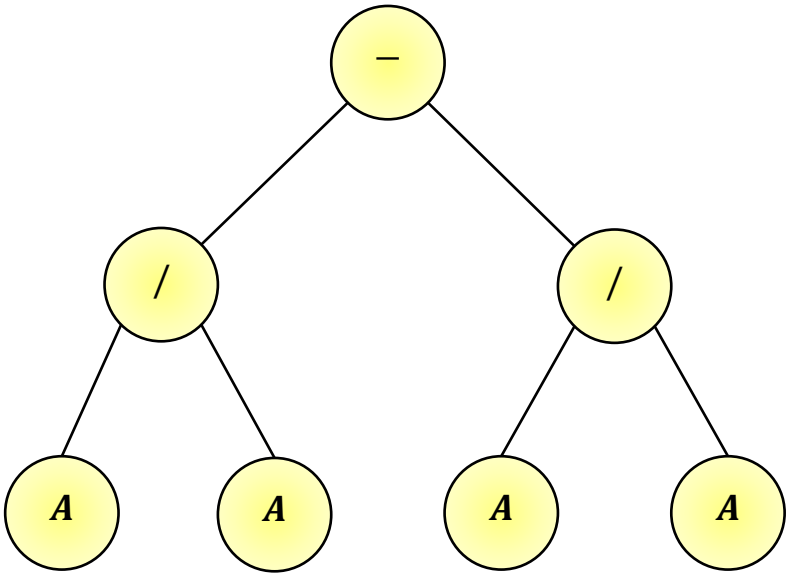
$$[A/A]_[x^2]$$



ملاحظة: دائما نضع العملية الوسيلة في حالة ارتباط عمليتين.

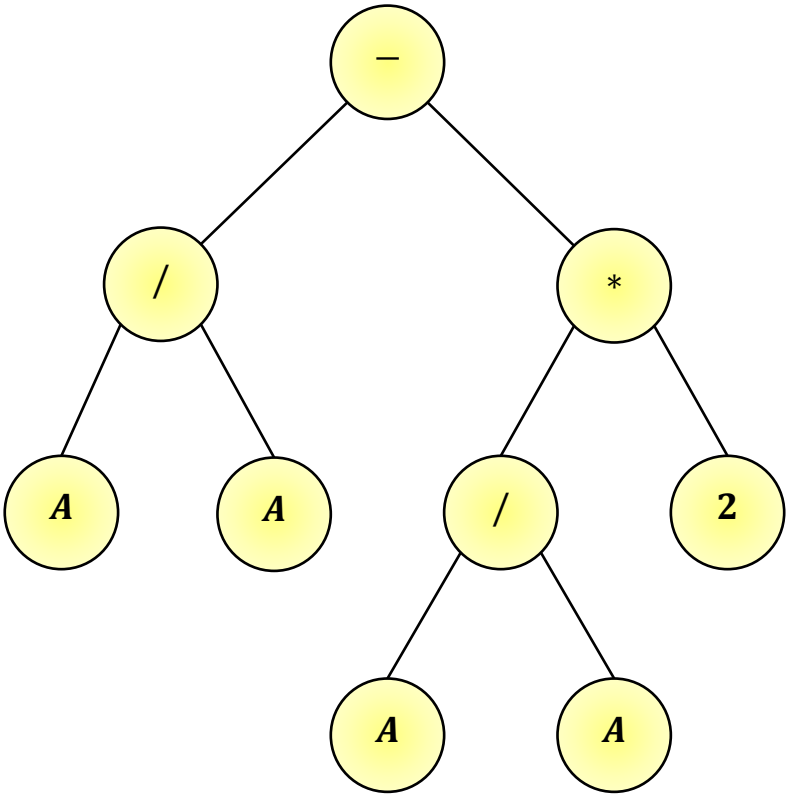
مثال (6): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$[A/A]_[A/A]$

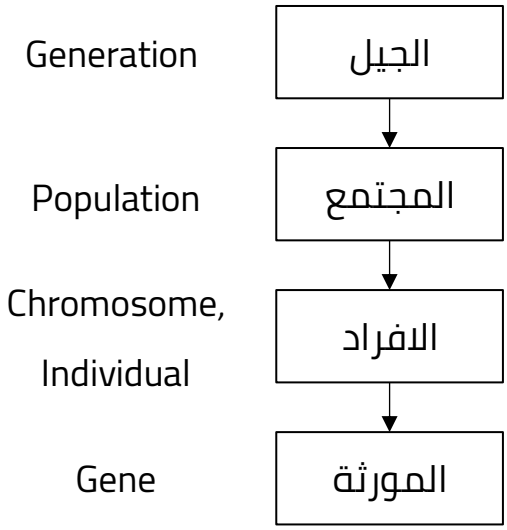


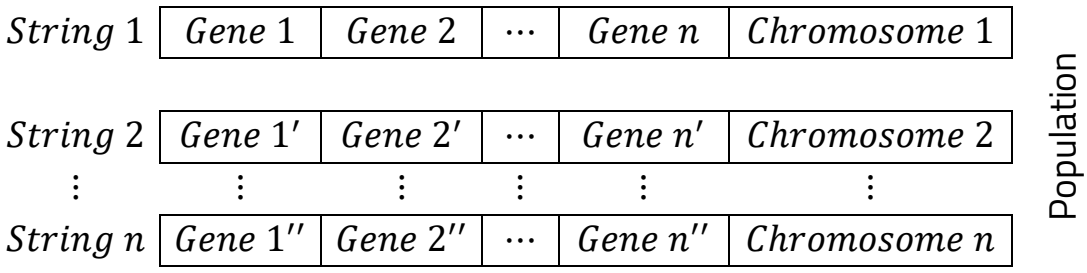
مثال (7): مثل الكروموسوم الآتي بشكل تشفير شجري:

$[A/A]_[A/A] * 2$



2) المجتمع (*population*):





كيفية تحويل التشفير الثنائي الى قيم عشرية لكي يتم تعويضها في دالة الهدف

حول الكروموسومات في الأمثلة الآتية المعروفة بشكل ثنائي الى قيم عشرية وبين فيما إذا كان التشفير حقيقي أم صحيح؟

ملاحظة مهمة جداً (**دائماً نبدأ من جهة اليمين في الحل**)

مثال:1

3	2	1	0	
1	0	1	1	*Chromosome*

$$\mathbf{2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1 = (1011)_2}$$

تشفير صحيح $integer$ $\mathbf{(11)_{10} = 8 + 0 + 2 + 1 =}$

عشري

مثال:2

4	3	2	1	0	
0	0	1	0	1	*Chromosome*

$$\mathbf{2^4 * 0 + 2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 1 = (00101)_2}$$

تشفير صحيح $integer$ $\mathbf{(5)_{10} = 0 + 0 + 4 + 0 + 1 =}$

عشري

مثال:3

3	2	1	0	
0	1	0	1	*Chromosome*

$$\mathbf{2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 1 = (0101)_2}$$

تشفير صحيح $integer$ $\mathbf{(5)_{10} = 0 + 4 + 0 + 1 =}$

عشري

مثال:4

3	2	1	0	
1	1	0	0	*Chromosome*

$$\mathbf{2^3 * 1 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0 = (1100)_2}$$

تشفير صحيح $integer$ $\mathbf{(12)_{10} = 8 + 4 + 0 + 0 =}$

عشري

مثال:5

4	3	2	1	0	
1	1	1	1	1	*Chromosome*

$$\mathbf{2^4 * 1 + 2^3 * 1 + 2^2 * 1 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1 = (11111)_2}$$

$(31)_{10} = 16 + 8 + 4 + 2 + 1 =$ تشفير صحيح $integer$

عشري

مثال:6

$$(10101)_2 = 1 * 2^0 + 0 * 2^1 + 1 * 2^2 + 0 * 2^3 + 1 * 2^4$$

كيفية تحويل النظام العشري الى التشفير الثنائي

- $(101)_2 = (5)_{10}$

2	5	
2	2	1
2	1	0
	0	1

- $(1100)_2 = (12)_{10}$

2	12	
2	6	0
2	3	0
2	1	1
	0	1

- $(11000)_2 = (24)_{10}$

2	24	
2	12	0
2	6	0
2	3	0
2	1	1
	0	1

3) دالة اللياقة $(\boldsymbol{fitness\ function})$:

تحسب دالة الهدف (اللياقة) الخاصة بالمسألة لكل مقطع أو كروموسوم من مقاطع الجيل إذا أن دالة الهدف وحسب المسألة المراد تطبيقها هي إما دالة تكبير (تعظيم) $Maximum$ أو دالة تصغير $Minimum$ كما في الأمثلة الآتية:

أمثلة على دوال الهدف

1) $Min\ \boldsymbol{f(x) = x^3 + 4x^2}$

2) $Max\ \boldsymbol{f(x) = \frac{1}{x}}$

3) $Min\ \boldsymbol{f(x) = sin\ x^2}$

4) $Max\ \boldsymbol{f(x) = \sqrt{x^2 + 2x}}$

5) $Max\ \boldsymbol{f(x) = x^2 + 2x + 1}$

6) $Min\ \boldsymbol{f(x) = -x^3}$

كيفية تطبيق الكروموسوم على دالة الهدف

مثال: طبق الكروموسومين الآتيين على دالة الهدف المُعطاة:

	4	3	2	1	0	
$Ch1$	1	1	0	1	1	$String\ (1)$
$Ch2$	0	1	0	1	0	$String\ (2)$

دالة الهدف: $\boldsymbol{Min\ f(x) = 2x^2 + 4x + 1}$

بالنسبة للكروموسوم الأول: $(11011)_2$

نحوله الى عشري $= 2^4 * 1 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1$

$= (27)_{10}$

بالنسبة للكروموسوم الثاني: $(01010)_2$

نحوله الى عشري $= 2^4 * 0 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 0$

$= (10)_{10}$

نعوض قيمة الكروموسوم الأول بدالة الهدف الآتية:

$\boldsymbol{Min\ f(x) = 2x^2 + 4x + 1}$

$\boldsymbol{f(x)} = f(String\ 1) = f(27)$

$= 2(27)^2 + 4(27) + 1 = \mathbf{1567}$

نعوض قيمة الكروموسوم الثاني بدالة الهدف الآتية:

$$\boldsymbol{Min}\ \boldsymbol{f(x) = 2x^2 + 4x + 1}$$

$$\boldsymbol{f(x)} = f(String\ 2) = f(10)$$
$$= 2(10)^2 + 4(10) + 1 = \boldsymbol{241}$$

بما أن الدلة $\boldsymbol{Min}$ إذن يتم اختيار الكروموسوم الثاني الذي يحقق أصغر قيمة لدالة الهدف.

مثال آخر: إذا كانت لدينا دالة الهدف الآتيـــــة:

$$\boldsymbol{Max\ f(x) = Sin\ x + 2}$$

طبق كل من الكروموسومات الآتية على دالة الهدف:

	5	4	3	2	1	0
$Ch\ (1)\ (String\ 1)$:	1	0	1	1	0	1
$Ch\ (2)\ (String\ 2)$:	0	1	0	1	0	0
$Ch\ (3)\ (String\ 3)$:	0	0	0	1	1	1

نحول الكروموسومات الى النظام العشري:

$$2^5 * 1 + 2^4 * 0 + 2^3 * 1 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 1 = \boldsymbol{(101101)_2}$$
$$\boldsymbol{(45)_{10}} = 32 + 8 + 4 + 1 =$$

$$2^5 * 0 + 2^4 * 1 + 2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0 = \boldsymbol{(010100)_2}$$
$$\boldsymbol{(20)_{10}} =$$

$$2^5 * 0 + 2^4 * 0 + 2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1 = \boldsymbol{(000111)_2}$$
$$\boldsymbol{(7)_{10}} =$$

$$f(x) = \boldsymbol{f(Ch1)} = f(String\ 1) = f(45)$$
$$= Sin\ (45) + 2 \Longrightarrow 0.707 + 2 = \boldsymbol{2.707}$$

$$f(x) = \boldsymbol{f(Ch2)} = f(String\ 2) = f(20)$$
$$= Sin\ (20) + 2 \Longrightarrow 0.342 + 2 = \boldsymbol{2.342}$$

$$f(x) = \boldsymbol{f(Ch3)} = f(String\ 3) = f(7)$$
$$= Sin\ (7) + 2 \Longrightarrow 0.122 + 2 = \boldsymbol{2.122}$$

بما أن الدلة $\boldsymbol{Max}$ إذن يتم اختيار الكروموسوم الأول لأنه يحقق أعلى قيمة لدالة الهدف.

ملاحظة: في بعض الأحيان دالة الهدف تعتبر هي نفسها دالة اللياقة أو (**دالة الصلاحية**) $(fitness\ function)$ (قيمة الجدودة $(fitness\ value)$) أو تتكون فيها دالة اللياقة أي يمكن أن تؤخذ قيمة الجودة لدالة الهدف كالآتي:

تعتمد على القانون:

$$fitness\ function = \frac{1}{f(x)-1} \quad , \quad fitness\ function = sin\, f(x)$$

$$fitness\ function = f(x) \quad , \quad fitness\ \boldsymbol{f_n} = tan\, f(x)$$

$$fitness\ function = sin\, f(x) + \big(f(x)\big)^2$$

$$fitness\ function = \frac{f(x)+1}{f(x)^2} \quad , \quad fitness\ f_n = Af(x)$$

ملاحظة مهمة جداً: يجب أن يكون من ضمن تركيب دالة اللياقة **دالة الهدف** المُعطاة في المسألة ويمكن أن تكون **تساويها**.

إذا كانت دالة الهدف تقليل فان قيمة دالة الجودة تُحسب كالآتي:

$$\boldsymbol{Fitness\ function = objective\ function * (-1)}$$

وإذا كانت دالة الهدف تعظيم فان قيمة دالة الجودة تُحسب كالآتي:

$$\boldsymbol{Fitness\ function = objective\ function\ (string\ i)}$$

احتمالية المساهمة $(Probability)$

بعد حساب قيم الجودة أو قيمة الجودة (دالة اللياقة) نجمع مقاطع الجيل (كروموسومات الجيل) , نجد احتمالية مساهمة كل مقطع أو كروموسوم في تكوين الجيل اللاحق والتي يحسب بـ**قسمة** قيم الجودة لكل مقطع على مجموع قيم الجودة:

احتمالية المساهمة لكل مقطع أو كروموسوم $(Probability)$:

$$= \frac{\text{قيمة الجودة } (\boldsymbol{fitness}) \text{ لكل كروموسوم أو مقطع } (\text{فرد})}{\text{مجموع قيم الجودة لجميع الكروموسومات } (\text{الجيل})}$$

$$= \frac{\boldsymbol{E_i} \text{ دالة اللياقة للمقطع } \boldsymbol{i} \ (\text{لكل مقطع})}{\sum \boldsymbol{E_i} \text{ مجموع دوال اللياقة لجميع المقاطع}}$$

إذ أن قيمة الاحتمالية: $\mathbf{0 < P < 1}$

مثال: جد احتمالية مساهمة كل كروموسوم للمقاطع الآتية حسب دالة اللياقة الآتية:

$$\boldsymbol{Min\ f(x) = 2x^2 + 4x + 1}$$

$Ch1: (11010)$

$Ch2: (01010)$

الحل:

$$(11010)_2 = 2^4 * 1 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 0$$
$$= (26)_{10}$$

$$(01010)_2 = 2^4 * 0 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 0$$
$$= (10)_{10}$$

وقيم الجودة (اللياقة) $fitness$

$$f(Ch1) = f(26) = 2(26)^2 + 4(26) + 1 = 1457$$
$$f(Ch2) = f(10) = 2(10)^2 + 4(10) + 1 = 241$$

إذاً مجموع قيم اللياقة $= \sum E_i$

$$\sum_{i=1}^{2} 1457 + 241 = \mathbf{1698}$$

احتمالية مساهمة المقطع (الكروموسوم) الأول:

$$\boldsymbol{P(Ch1) = P_1 = P(26) = \frac{1495}{1698} = 0.85}$$

احتمالية مساهمة المقطع (الكروموسوم) الثاني:

$$\boldsymbol{P(Ch2) = P_2 = P(10) = \frac{241}{1698} = 0.14}$$

أي أن احتمالية مساهمة المقطع الأول (الكروموسوم الأول) في تكوين الجيل اللاحق أكبر من احتمالية مساهمة المقطع الثاني أو الكروموسوم الثاني (احتمالية دخول الكروموسوم الأول الى الجيل الجديد كبيرة).

بسم الله الرحمن الرحيم

4) **الانتقاء أو الاختيار** $(selection)$: مهم

هي عملية اختيار كروموسومات من المجتمع الابتدائي (اختيار أفضل الآباء في المجتمع لأجل التزاوج) ليكونا والدين لعملية التداخل الابدالي ($crossover$) ثم انتاج جيل جديد وتؤدي هذه العملية دوراً مهماً في تطوير الخوارزمية الجينية وذلك من خلال اختيار افضل افراد المجتمع , وسوف سيتم توضيح كيفية اختيار هذا الكروموسوم استناداً الى نظرية دارون للتطور التي فيها الفرد الأفضل هو الذي يكون ذرية جديدة ($offspring$) وعليه يحصل الافراد الذين يمتلكون دالة اللياقة فرصة عالية أكبر لإنتاج افردا جدد.

إن عملية الانتقاء تتمثل باختيار أفضل الوالدين لتجري بينهما عملية التعابر (التزاوج) لإنتاج أبناء جدد جيدين. **وهناك عدة أنواع (طُرق) لعملية الانتقاء**:

أ) اختيار (انتقاء) عجلة الروليت $(Roulette\ Wheel\ Selection)$:

تعتمد هذه الطريقة على اختيار افضل مافي المجتمع من أفراد , وذلك بعد حساب نسبة جودة كل فرد الى المجموع الكلي , وتستخدم القيم الناتجة كاحتمالية لاختيار الافراد في الأجيال اللاحقة. في **هذه الطريقة** يتم انتقاء الآباء استناداً الى قيمة دالة اللياقة لكل فرد ثم يوضع جميع أفراد المجتمع على **العجلة** وتكون مساحة كل فرد على العجلة متناسبة مع دالة اللياقة فاذا كانت قيمة دالة اللياقة كبيرة كانت المساحة على العجلة كبيرة.

خطوات طريقة عجلة الروليت

1- يتم تحويل الكروموسومات الثنائية الى عشرية (أي تحويل تشفير الكروموسومات من التشفير الثنائي الى التشفير العشري).
2- إيجاد قيم دالة اللياقة لكل كروموسوم.
3- إيجاد مجموع دوال اللياقة لكل كروموسوم $(\sum E_i)$ (لجميع أفراد المجتمع).
4- إيجاد احتمالية المساهمة لكل فرد من أفراد المجتمع:

$$P_i = \frac{E_i}{\sum E_i}$$

E_i دالة اللياقة (الجودة) لكل مقطع (فرد).

5- إذا كانت قيمة احتمالية المساهمة (P) كبيرة (Max) سوف تأخذ مساحة كبيرة على عجلة الروليت وتكون نسبة اختيارها أكبر للدخول الى المجتمع , أما إذا كانت قيمة احتمالية المساهمة صغيرة أو قليلة (Min) فإنها سوف تأخذ مساحة قليلة على عجلة الروليت وتكون نسبة اختيارها قليلة (احتمال اختيارها ضعيف) للدخول الى الجيل وتكوين أبناء جدد أي تكون فرصة انتقاء الفرد قليلة.

هدفها الحصول على أكبر مساحة Max .

مثال: استخدم انتقاء عجلة الروليت لإيجاد الكروموسومات الجديدة (الابوين) (اختيار أفضل الآباء لتكوين الجيل اللاحق) إذا علمت أن دالة اللياقة:

$$Max\ f(x) = x^2$$

والكروموسومات المعطاة كانت كالآتي:

$$(01101) \quad , \quad (11000) \quad , \quad (01000) \quad , \quad (10011)$$

الحل أولاً: نحول الكروموسومات من النظام الثنائي الى النظام العشري:

$$(01101)_2 = 2^4 * 0 + 2^3 * 1 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 1$$
$$= 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = (13)_{10}$$

$$(11000)_2 = 2^4 * 1 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0$$
$$= 16 + 8 + 0 + 0 + 0 = (24)_{10}$$

$$(01000)_2 = 2^4 * 0 + 2^3 * 1 + 2^2 * 0 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0$$
$$= 0 + 8 + 0 + 0 + 0 = (8)_{10}$$

$$(10011)_2 = 2^4 * 1 + 2^3 * 0 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1$$
$$= 16 + 0 + 0 + 2 + 1 = (19)_{10}$$

ثانياً: نجد دوال اللياقة لكل كروموسوم:

$$f(x) = f(13) = (13)^2 = 169$$
$$f(x) = f(24) = (24)^2 = 576$$
$$f(x) = f(8) = (8)^2 = 64$$
$$f(x) = f(19) = (19)^2 = 361$$

ثالثاً: نجد مجموع دوال اللياقة:

$$\sum E_i = 169 + 576 + 64 + 361 = 1170$$

رابعاً: نحسب احتمالية مساهمة كل فرد (كروموسوم) من الافراد:

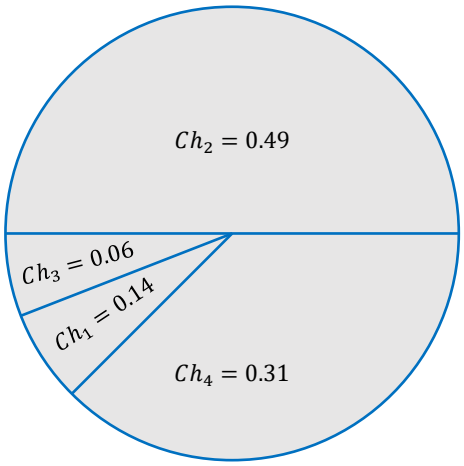
$$P_i = \frac{E_i}{\sum E_i}$$

$$\boldsymbol{P_1(13)} = \frac{169}{1170} = \boldsymbol{0.14} \quad , \quad \boldsymbol{P_2(24)} = \frac{576}{1170} = \boldsymbol{0.49}$$

$$\boldsymbol{P_3(8)} = \frac{64}{1170} = \boldsymbol{0.06} \quad , \quad \boldsymbol{P_4(19)} = \frac{361}{1170} = \boldsymbol{0.31}$$

والجدول الآتي يوضح نتائج الحل:

تسلسل الكروموسوم	الكروموسومات (المجتمع الابتدائي)	$Value\ of\ x$ بالعشري	دالة اللياقة $fitness\ f(x)$	احتمالية المساهمة P_i
1	01101	13	169	0.14
2	11000	24	576	0.49
3	01000	8	64	0.06
4	10011	19	361	0.31
			1170	



عدد الدورات تكون (4) بقدر عدد الكروموسومات أي (0.49) يأخذ مرة توليد العجلة و (0.31) مرة و (0.14) مرة و.....

نلاحظ أن احتمالية اختيار الكروموسوم الثاني $\boldsymbol{P_2 = (24)}$ هي أكبر من بقية الكروموسومات. و بما أن الدالة $\boldsymbol{f(x)}$ هي دالة تعظيم فإن الكروموسومين الثاني والرابع لها أعلى قيم لياقة وستكون فرصتها أكبر للمشاركة في تكوين الجيل اللاحق.

مساوئ طريقة عجلة الروليت

من مساوئ هذه الطريقة انه في حالة وجود فرد له قيمة احتمالية عالية (احتمالية مساهمة عالية) سوف يؤدي هذا الى أن يسود ذلك الفرد على جميع أفراد المجتمع الأخرى.

لأن له احتمالية اختيار كبيرة جداً مقارنة ببقية أفراد المجتمع وهذا احتمال بوجود أفراد لهم قيمة احتمالية اختيار متقاربة مما يجعل عملية التمييز بين الجودة لإختيار الأفضل عملية صعبة جداً.

إذا كانت دالة اللياقة دالة تصغير ($Minimum$) عندئذ يكون الفرد الذي له احتمالية مساهمة كبيرة سيئ للدخول الى دالة الهدف (اللياقة).

بسم الله الرحمن الرحيم

ب) انتقاء النخبة (الاستنساخ) (*Elitism Selection*):

وتسمى أيضاً **بالاستنساخ الفرد الأفضل**. يتم في هذه الطريقة انتقاء الأفراد استناداً إلى دالة اللياقة. فإذا كانت دالة اللياقة (Max) عندئذ نختار الأفراد الذين لهم اعلى (أكبر) قيمتي صلاحية. اما إذا كانت دالة اللياقة (Min) عندئذ يتم اختيار الأفراد الذين لديهم أدنى (أقل) قيمتي صلاحية.

عندما نُكون مجتمع جديد بواسطة التداخل الابدالي ($Crossover$) أو الطفرة ($Mutation$) فإننا سوف نخسر الفرد أو الكروموسوم الأفضل.

في هذه الطريقة (النخبة) يتم نسخ الفرد أو عدد قليل من الافراد الجيدين لوضعهم في المجتمع الجديد والبقية يتم اختيارهم حسب الطُرق الاخرى.

ملاحظة: إن هذه الطريقة تزيد من كفاءة الخوارزمية الجينية لأنها تمنع خسارة الحل الجيد (الافراد الجيدين أو الكروموسوم الجيد).

مثال: استخدام طريقة انتقاء النخبة لإيجاد أبوين بين (3) كروموسومات اذا كانت دالة اللياقة ($Max\ f(x) = x^2 + 2$) والكروموسومات الثلاثة: ($12, 10, 7$)؟

الكروموسومات بعد التحويل:

$$String\ (1) = 12 \quad , \quad String\ (2) = 10 \quad , \quad String\ (3) = 7$$

$f(12) = (12)^2 + 2 = 146 \leftarrow Parent(1)$
$f(10) = (10)^2 + 2 = 102 \leftarrow Parent(2)$
$f(7) = (7)^2 + 2 = 51 \times\times\times$

لأن الدالة Max

بما أن الدالة (Max) إذاً يتم اختيار الكروموسومين الأول والثاني بالاستنساخ.

ج) انتقاء كولدبرج (*Goldberg Selection*):

استخدمَ العالِم كولدبرج ($Goldberg$) هذه الطريقة للانتقاء عام (1991) وهي إحدى طُرق انتقاء المجموعات الثنائية التي تتميز بسرعتها وسهولتها وتكون حسابياً أكفأ من الطُرق السابقة **لأنها تعتمد على الرتبة في حل المجتمع**.

ويمكن تلخيص هذه الطريقة كالآتي:

يتم في هذه الطريقة انتقاء فردان عشوائياً من المجتمع وتوليد رقم عشوائي (r) من توزيع $U(0,1)$ المنتظم القياسي , حيث أن (r) تتراوح قيمتها بين $(0,1)$ ثم نُقارن هذا الرقم المُولد عشوائياً (r) مع قيمة تُسمى (k) يحددها مصمم الخوارزمية , فإذا كانت قيمة (r) اقل من قيمة (k) عندئذ يتم اختيار الفرد ذي الجودة العالية الذي له دالة لياقة كبيرة , أما إذا كانت قيمة (r) اكبر من (k) عندئذ يتم اختيار الفرد الذي له قيمة لياقة واطئة حيث أن قيمة (k) بين $(0,1)$ أيضاً.

د) انتقاء الرتب $(Rank\ Selection)$:

في هذه الطريقة يتم ترتيب الكروموسومات حسب قيمة الجودة (دالة اللياقة) لكل كروموسوم ترتيب إما تصاعدي أو تنازلي. فإذا كان الترتيب تنازلي حسب قيمة اللياقة من الاعلئ الى الأدنى نضع لكل فرد رتبة تسمى $(Rank(x))$ ونقصد بها الموقع للفرد بعد الترتيب اي بمعنى يُعطى الفرد الذي يمتلك دالة لياقة عالية الرتبة رقم **واحد** ثم يليه الفرد الذي تكون فيه دالة اللياقة أقل ويأخذ الرتبة (2) وهكذا الى الأخير ثم بعد ذلك نحسب نسبة الاختيار لكل فرد (كروموسوم) (نسبة اختيار الكروموسومات) حسب طريقة الرتبة الخطية حسب القانون الآتي:

$$T = Max - \frac{(Max - Min) * (Rank(x) - 1)}{(N - 1)}$$

حيث أن:

$(Rank(x))$: تمثل الفرد (الكروموسوم) بعد الترتيب.

(Max): اعلى قيمة في دالة اللياقة.

(Min): أقل قيمة في دالة اللياقة

(N): تمثل عدد الكروموسومات.

أما إذا كان الترتيب تصاعدي من الأدنى الى الأعلى فيكون الكروموسوم الذي له دالة لياقة أقل يمتلك رتبة (1) ثم يليه الكروموسوم (الفرد) الذي له دالة لياقة أكبر وتحسب النسبة حسب القانون الآتي:

$$T = Min + \frac{(Max - Min) * (Rank(x) - 1)}{(N - 1)}$$

مثال: استخدام طريقة انتقاء الرتبة في اختيار كروموسومين من الكروموسومات الثلاثة الجيدة الآتية إذا علمتَ أن دالة اللياقة هي ($Max\ f(x) = x^2 + 2$) والكروموسومات الثلاثة: (7 , 10 , 12)؟

أو أوجد نسبة اختيار كل كروموسوم من الكروموسومات لتوليد الجيل اللاحق باستخدام انتقاء الرتب؟

الحل:

الكروموسومات بعد التحويل : $Ch_1: 12$, $Ch_2: 10$, $Ch_3: 7$

دالة لياقة لكل كروموسوم : $f(Ch_1) = 146$, $f(Ch_2) = 102$, $f(Ch_3) = 51$

يتم ترتيب قيم دالة الجودة (دالة اللياقة) ترتيب تنازلي:

$$\begin{matrix} f(Ch_1) = 146 \\ f(Ch_2) = 102 \\ f(Ch_3) = 51 \end{matrix} \quad \Big\downarrow \quad \Longrightarrow \quad \begin{matrix} Rank\ (1) & 12 \\ Rank\ (2) & 10 \\ Rank\ (3) & 7 \end{matrix}$$

$$T = Max - \frac{(Max - Min) * (Rank(x) - 1)}{(N - 1)}$$

$$T_1 = 146 - \frac{(146 - 51) * (1 - 1)}{(3 - 1)} = 146 \Longrightarrow Parent\ 1$$

$$T_2 = 146 - \frac{(146 - 51)(2 - 1)}{(3 - 1)} = 98.5 \Longrightarrow Parent\ 2$$

$$T_3 = 146 - \frac{(146 - 51)(3 - 1)}{(3 - 1)} = 51$$

بما أن دالة اللياقة هي (Max) إذاً نختار اعلى قيمتين.

يتم اختيار الكروموسوم الأول لأنه اعلى نسبة اختيار ثم يليه الكروموسوم الثاني ليمثلا الأبوين اللذان سيولدان الجيل اللاحق.

نرتب قيم دالة اللياقة تصاعدياً:

$$\begin{matrix} f(Ch_3) = 51 \\ f(Ch_2) = 102 \\ f(Ch_1) = 146 \end{matrix} \quad \Big\uparrow \quad \Longrightarrow \quad \begin{matrix} Rank\ (1) & 7 \\ Rank\ (2) & 10 \\ Rank\ (3) & 12 \end{matrix}$$

نحسب نسب الاختيار لكل كروموسوم:

$$T = Min + \frac{(Max - Min) * (Rank(x) - 1)}{(N - 1)}$$

$$T_1 = 51 + \frac{(146 - 51)(1 - 1)}{(3 - 1)} = \mathbf{51}$$

$$T_2 = 51 + \frac{(146 - 51)(2 - 1)}{(3 - 1)} = \mathbf{98.5} \Longrightarrow Parent\ 2$$

$$T_3 = 51 + \frac{(146 - 51) * (3 - 1)}{(3 - 1)} = \mathbf{146} \Longrightarrow Parent\ 1$$

بما أن دالة اللياقة هي ($\boldsymbol{Max}$) فيتم اختيار اعلى قيمتين.

يتم اختيار الكروموسوم الثالث لأن له اعلى نسبة اختبار ثم يليه الكروموسوم الثاني ليمثلا الأبوين الذين سيولدان الجيل اللاحق.

واجب: نحسب المثال اعتبر دالة اللياقة $[\boldsymbol{Max\ f(x) = x + 1}]$

---

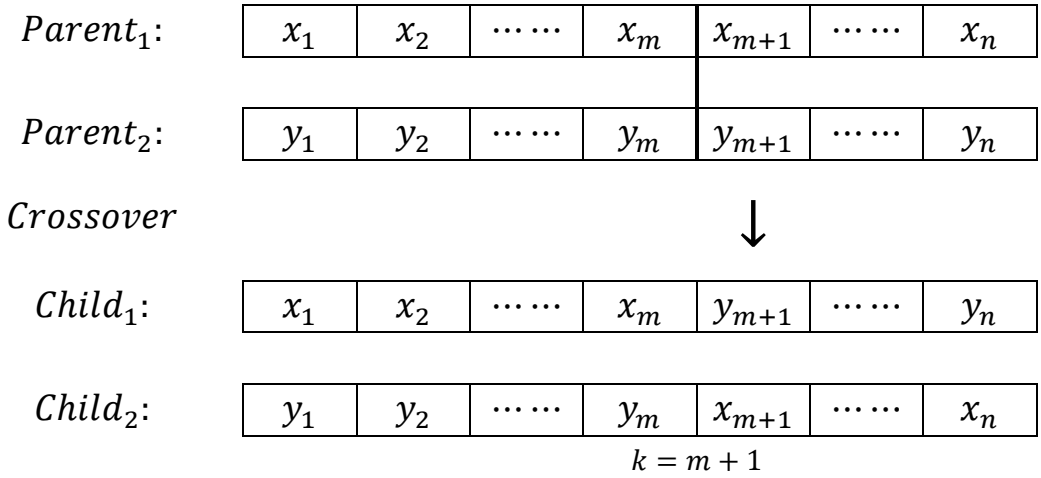
5) التزاوج أو التداخل الابدالي ($\boldsymbol{Crossover}$) أو التبادل (التعابر):

هي دمج كروموسومين (والدين) لتكوين كروموسومين جديدين (ذرية جديدة أو أبناء جدد) أي عملية تبديل الجينات بين الكروموسومات , الهدف من هذه العملية هو أن الكروموسوم الناتج يكون أفضل من الأبوين , تجري هذه العملية بإجراء تبديل بين قيم متقابلة من مقطعي الأبوين المنتجين اللذين تم اختيارهما حسب طُرق الانتقاء وحسب طبيعية المسألة المراد حلها لغرض تكوين المقطع الجديد (الكروموسوم الجديد) وتحدد مواقع التبادل بين المقطعين إما بصورة عشوائية أو اعتماداً على طريقة تتناسب مع صيغة تمثيل المقطع وعلى خصوصية المسألة المراد تطبيقها ومن المحتمل أن يعطي المقطع الجديد (**الكروموسوم الجديد**) حلاً أفضل من حلول المقاطع (الكروموسومات) التي تتكون منها.

أنواع التعابر $(Crossover)$ أو التبادل أو التداخل الابدالي

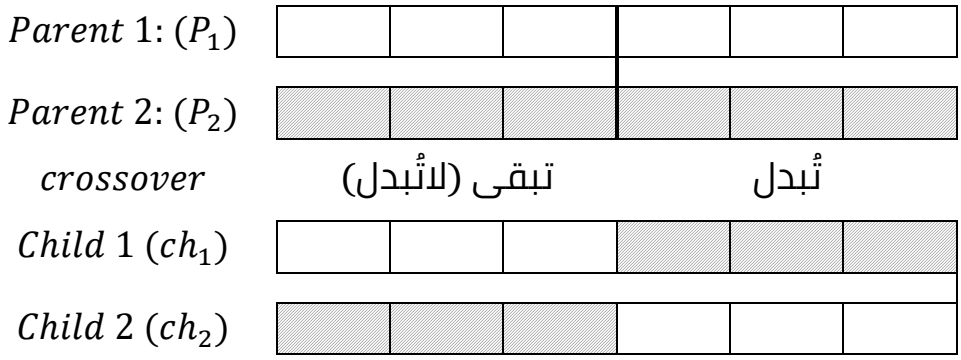
أ) التعابر أو التبادل ذو نقطة القطع الواحد $(Singal - Point\ Crossover)$:

في هذا النوع يتم إدخال نقطة تقاطع عشوائية واحدة فقط الى تكون ضمن حدود طول الكروموسوم ثم يتم تبديل الجينات بعد نقطة التقاطع بين الأبوين لإنتاج الأبناء الجدد وكما هو موضح في الشكل الآتي:

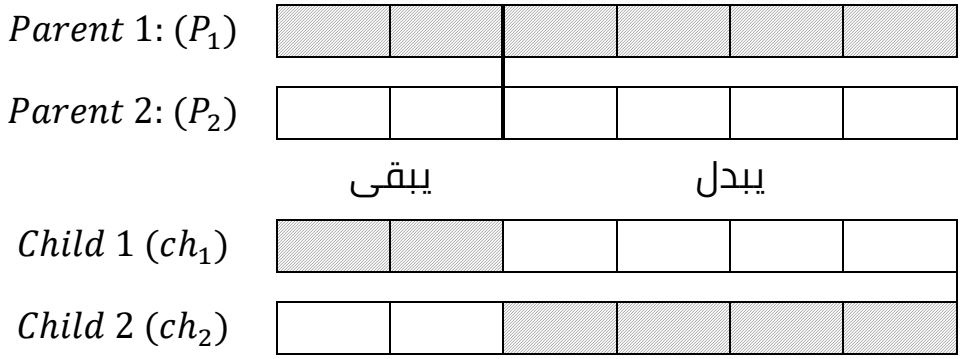


إذ أن $(k = m + 1)$ تمثل نقطة القطع (أي معناها قطع واحد وهو قطع واستبدال) ويفضل استخدامه مع التشفير الثنائي.

التداخل الابدالي ذو نقطة القطع الواحدة على الكروموسومات عند $(k = 3)$.



أفرض أن $(k = 2)$:



مثال استخدم التعابر أو التداخل الابدالي ذو نقطة القطع الواحدة لإنتاج الأبناء الجدد من الأبوين الآتيين (كروموسومات الآباء) إذ علمتَ ان $(k = 2)$؟

P_1:	1	0	1	1	0	0
P_2:	0	1	0	1	0	1

الحل: بما أن نقطة القطع $(k = 2)$ فإن:

P_1:	1	0 |	1	1	0	0
P_2:	0	1 |	0	1	0	1

بعد إجراء عملية التداخل الابدالي ذو نقطة القطع الواحدة تكون كروموسومات الأبناء كالآتي:

Ch_1:	1	0	0	1	0	1
Ch_2:	0	1	1	1	0	0

إذا علمت أن $(k = 4)$ فإن:

P_1:	1	0	1	1 |	0	0
P_2:	0	1	0	1 |	0	1

كروموسومات الأبناء كالآتي:

Ch_1:	1	0	1	1	0	1
Ch_2:	0	1	0	1	0	0

مثال استخدم التعابر أو التداخل الابدالي ذو نقطة القطع الواحدة $(Single - point\ crossover)$ لإيجاد أو ل إنتاج الأبناء الجدد من كروموسومات الآباء الآتية إذا علمت أن $(k = 3)$؟

P_1:	1	1	1	0	0	0
P_2:	0	0	0	1	1	1

الحل:

P_1:	1	1	1 |	0	0	0
P_2:	0	0	0 |	1	1	1
Ch_1:	1	1	1	1	1	1
Ch_2:	0	0	0	0	0	0

مثال: (في حالة إذا كان لدينا تشفير حقيقي) استخدم التداخل الابدالي ذو نقطة القطع الواحدة لإنتاج أبناء جدد من كروموسومات الآباء الآتية علماً أن $(k = 3)$؟

P_1:	5	2	3	4
P_2:	1	1	2	3

الحل: بما أن $(k = 3)$:

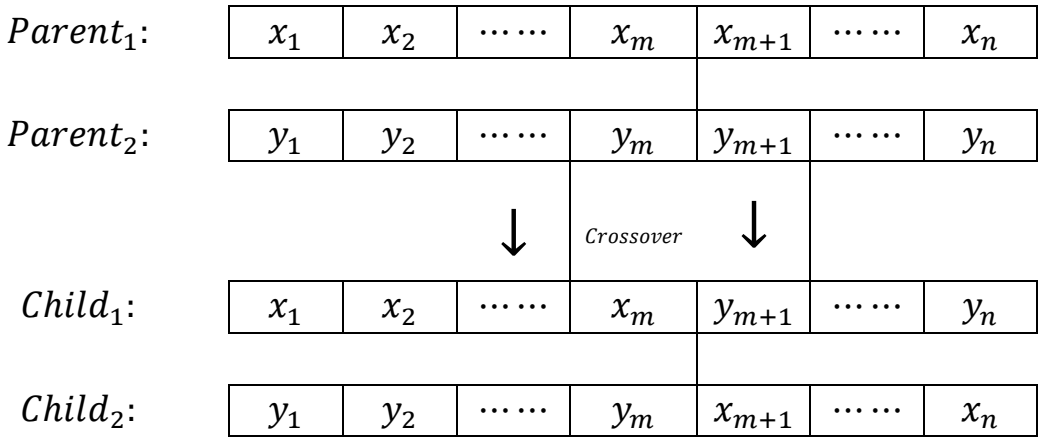
P_1:	5	2	3	4
P_2:	1	1	2	3

كروموسومات الأبناء:

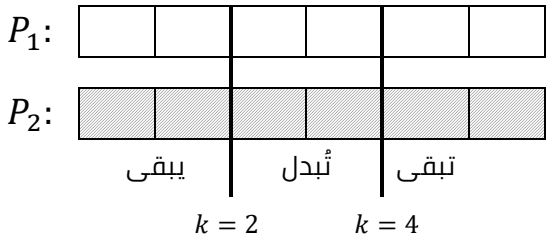
Ch_1:	5	2	3	3
Ch_2:	1	1	2	4

ب) التعابر أو التبادل ذو نقطتي القطع $(Tow - Point\ Crossover)$:

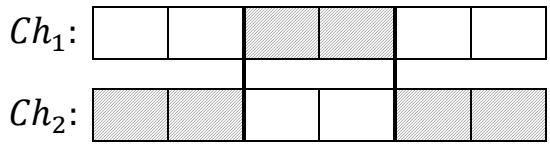
يتم في هذه الطريقة اختيار نقطتي تقاطع عشوائية ضمن حدود الفرد أو طول الكروموسوم ثم يتم تبديل جينات الأبوين بين هاتين النقطتين لإنتاج الأبناء الجدد (تكوين كروموسومات الأبناء) وكما موضح بالشكل الآتي:



التداخل الابدالي ذو نقطتي القطع على الكروموسومات عندما $(k = 4)$ و $(k = 2)$:



(أي القطع بعد الجيل الثاني وقبل الجيلين الخامس والسادس)



مثال: استخدام التعابر أو التداخل الابدالي (التقاطع) ذو نقطتي القطع لإنتاج الأبناء الجدد للكروموسومين الآتيين: عندما ($k = 5$) و ($k = 3$)؟

P_1:	1	0	1	1	0	0
P_2:	0	1	0	0	1	1

الحل:

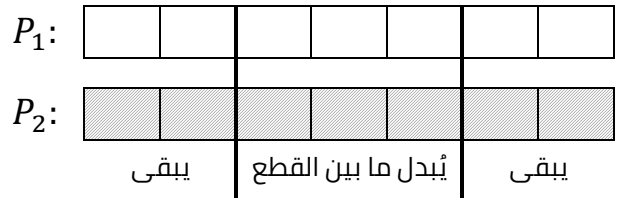
P_1:	1	0	1	1	0	0
P_2:	0	1	0	0	1	1
		يبقى		يُبدل		يبقى

$k = 3$ $k = 5$

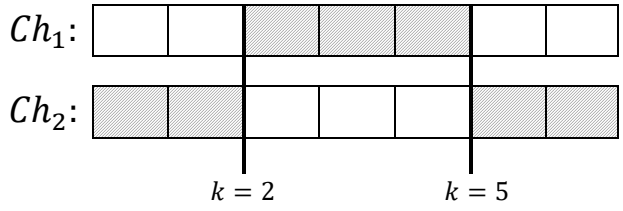
بعد إجراء عملية التداخل (التبادل) تكون كروموسومات الأبناء كالآتي:

Ch_1:	1	0	1	0	1	0
Ch_2:	0	1	0	1	0	1

التداخل الابدالي ذو نقطتي القطع على الكروموسومات عندما ($k = 5$) و ($k = 2$):



كروموسومات الأبناء:



مثال: استخدم التعابر الابدالي او التداخل الابدالي ذو نقطتي القطع لإنتاج أو إيجاد الأبناء الجدد للكروموسومين الآتيين عندما ($k = 5$) و ($k = 3$)؟

P_1: 1 1 0 1 1 0

P_2: 1 1 0 0 0 0

الحل:

P_1: 1 1 0 | 1 1 | 0

P_2: 1 1 0 | 0 0 | 0

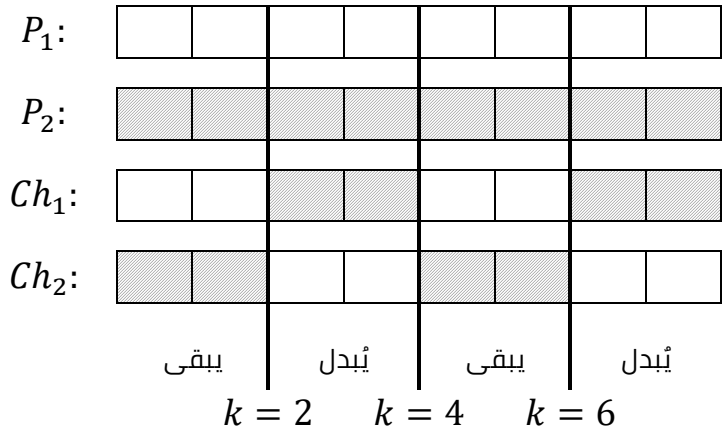
$k = 3$ $k = 5$

كروموسومات الأبناء:

Ch_1: 1 1 0 0 1 0

Ch_2: 1 1 0 1 1 0

ج) التعابر أو التبادل لأكثر من نقطتي القطع $(Multi - Point\ Crossover)$:



(التقاطع ذو ثلاث نقاط)

بسم الله الرحمن الرحيم

د) التعابر أو التقاطع أو التداخل الحسابي (*Arithmetic Crossover*):

(يخص التشفير الحقيقي والصحيح والعددي ولايجوز استخدام هذا التعابر مع التشفير الثنائي).

يتم في هذا النوع ربط الكروموسومات خطياً لانتاج نوع جديد من الأبناء (ربط اثنين من الكروموسومات خطياً لإنتاج نوعين جديدين من الأبناء) وحسب المعادلتين الآتيتين:

$$\boldsymbol{Child_1 = a * Parent_1 + (1 - a) * Parent_2}$$

$$\boldsymbol{Child_2 = (1 - a) * Parnet_1 + a * Parent_2}$$

$\boldsymbol{a}$: عدد عشوائي قيمته محصورة بين $[0, 1]$ أي أن $\boldsymbol{0 \le a \le 1}$.

مثال: استخدم طريقة التداخل الحسابي لإنتاج أبناء جدد للكروموسومين الآتيين إذا علمتَ أن $(a = 0.3)$:

P_1:	2	1	3	4	2
P_2:	1	3	1	2	5

الحل:

$$\boldsymbol{Ch_1 = a * P_1 + (1 - a) * P_2}$$

$$Ch_1 = (0.3) * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 2 & 1 & 3 & 4 & 2 \\ \hline \end{array} + (1 - 0.3) * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1 & 3 & 1 & 2 & 5 \\ \hline \end{array}$$

$$Ch_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 0.6 & 0.3 & 0.9 & 1.2 & 0.6 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 0.7 & 2.1 & 0.7 & 1.4 & 3.5 \\ \hline \end{array}$$

$$Ch_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1.3 & 2.4 & 1.6 & 2.6 & 4.1 \\ \hline \end{array}$$

$$\boldsymbol{Child_2 = (1 - a) * Parnet_1 + a * Parent_2}$$

$$Ch_2 = (1 - 0.3) * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 2 & 1 & 3 & 4 & 2 \\ \hline \end{array} + (0.3) * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1 & 3 & 1 & 2 & 5 \\ \hline \end{array}$$

$$Ch_2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1.4 & 0.7 & 2.1 & 2.8 & 1.4 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 0.3 & 0.9 & 0.3 & 0.6 & 1.5 \\ \hline \end{array}$$

$$Ch_2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1.7 & 1.6 & 2.4 & 3.4 & 2.9 \\ \hline \end{array}$$

مثال: استخدم طريقة التداخل الحسابي لإنتاج الأبناء الجدد للكروموسومين الآتيين علماً أن $(a = 0.5)$:

P_1:	2	1	3	4	2
P_2:	1	3	1	2	5

الحل:

$$\boldsymbol{Ch_1 = a * P_1 + (1 - a) * P_2}$$

$$a * P_1 = 0.5 * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 2 & 1 & 3 & 4 & 2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1 & 0.5 & 1.5 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$(1 - a) * P_2 = 0.5 * \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1 & 3 & 1 & 2 & 5 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 0.5 & 1.5 & 0.5 & 1 & 2.5 \\ \hline \end{array}$$

$$\therefore Ch_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|}\hline 1.5 & 2 & 2 & 3 & 3.5 \\ \hline \end{array} = \boldsymbol{Ch_2}$$

لأن $(a = 0.5)$

فقط في حالة أن $(\boldsymbol{a = 0.5})$ فإن $(\boldsymbol{Ch_1 = Ch_2})$.

ه) **التعابر أو التقاطع أو التداخل الحدسي $(\boldsymbol{Heuristic\ Crossover})$:** (بالإعتماد على الحدس)

يتم في هذا النوع استخدام دالة اللياقة أو ما يُسمى بقيمة الجودة $(Fitness)$ لأثنين من كروموسومات الآباء لغرض الحصول على (توليد) الأبناء الجدد (كروموسومات الأبناء) وفق المعادلتين الآتيتين:

$$\boldsymbol{Ch_1 = Best\ Parent + R * (Best\ Parent - Worst\ Parent)}$$
$$\boldsymbol{Ch_2 = Best\ Parent}$$

$\boldsymbol{(R)}$: عدد حقيقي موجب (غير كفوءة لوجود قيم $\boldsymbol{(R)}$ المقيدة)

مثال: باستخدام طريقة التداخل الحدسي جد الأبناء الجدد للكروموسومين الآتيين إذا علمت أن $\boldsymbol{(R = 1)}$ وان دالة اللياقة $\boldsymbol{Max\ f(x) = x^2}$

$Parent_1$: 0 1 0 0

$Parent_2$: 0 0 1 1

الحل: بعد التحويل الى النظام العشري:

$$(0100)_2 = 2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0$$
$$= \boldsymbol{(4)_{10}}$$

$$(0011)_2 = 2^3 * 0 + 2^2 * 0 + 2^1 * 1 + 2^0 * 1$$
$$= \boldsymbol{(3)_{10}}$$

نعوض القيم في دالة اللياقة (الجودة):

$$f(4) = (4)^2 = 16 = f(Ch_1) \Longrightarrow Best$$
$$f(3) = (3)^2 = 9 = f(Ch_2) \Longrightarrow Worst$$

بما أن الدالة (Max) فإن:

$\therefore$ الكروموسوم الأول يمثل $Best\ Parent = P_1$

الكروموسوم الثاني يمثل $Worst\ Parent = P_2$

عندما تكون الدالة (Max) نختار أكبر قيمة على أنها $(Best)$ واقل قيمة هي على أنها $(Worst)$ اي الأفضل هو صاحب أكبر قيمة دالة لياقة والأسوأ صاحب أقل قيمة دالة لياقة.

$$\boldsymbol{Ch_1 = Best\ Parent + R(Best\ Parent - Worst\ Parent)}$$

$$\boldsymbol{Ch_2 = Best\ Parent}$$

$$Ch_1 = 4 + 1 * (4 - 3) = 4 + 1 = 5 \Longrightarrow (0100)$$

$$Ch_2 = 4 \Longrightarrow (0011)$$

∴ الأبن الأول أفضل من الثاني لأن الدالة (Max).

$Child_1$

2	5	1
2	2	0
2	1	0
	0	1

$Ch_1(0101)$

$Child_2$

2	4	
2	2	0
2	1	0
2	0	1
	0	0

$Ch_1(0100)$

مثال: لنفس المثال السابق إذا علمتَ أن $\boldsymbol{Max\ f(x) = 2x^2}$

$$P_1 = (0100)_2 = (4)_{10}$$
$$P_2 = (0011)_2 = (3)_{10}$$

$$f(Ch_1) = 2(4)^2 = 32 \Longrightarrow Best\ (Parent)$$
$$f(Ch_2) = 2(3)^2 = 18 \Longrightarrow Worst\ (Parent)$$

$$Ch_1 = 4 + 1 * (4 - 1) = 5 \Longrightarrow Ch_1$$
$$Ch_2 = 4$$

ملاحظة إن لقيمة $(\boldsymbol{R})$ تأثيراً كبيراً على الحل فإذا تم اختيار قيمة $(\boldsymbol{R})$ بحيث أن واحد أو أكثر من الجينات (الكروموسومات) يكون خارج المدى المسموح به فسوف يكون الابن الأول غير معقول او غير مناسب للحل ولذلك يعتمد هذا النوع من التقاطع على اختيار أو تحديد متغير آخر يسمى $(\boldsymbol{n})$ والذي يمثل عدد المحاولات لإنتاج كروموسوم معقول أو مناسب وإذا لم يتم اختيار الكروموسوم المعقول بعد $(\boldsymbol{n})$ من المرات فإن الناتج لهذه العملية سيكون أسوء أب.

و) التعابر أو التقاطع أو التداخل الشجري ($Tree\ Crossover$):

حيث يتم اختيار نقطة تبادل واحدة لكلا الأبوين ويتم التقسيم (او يتم تقسيمها) أو القطع أو التعابر عند تلك النقطة أو تبادل الأجزاء التي تقع تحت نقاط القطع أو نقطة القطع لإنتاج الأبناء الجدد.

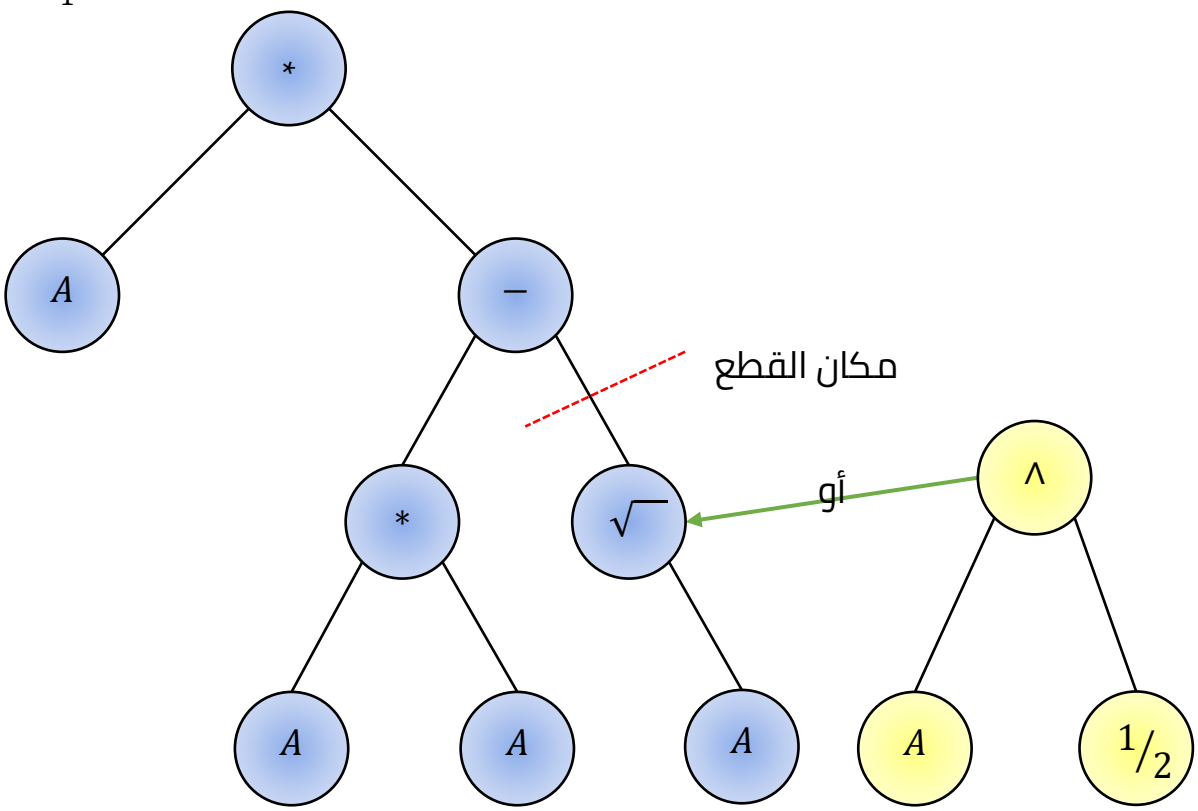
مثال: استخدم التعابر الشجري لإنتاج الأبناء الجدد أو باستخدام التعابر الشجري جد الأبناء الجدد؟

$Parent_1: A * [(A * A) - \sqrt{A}\ ]$

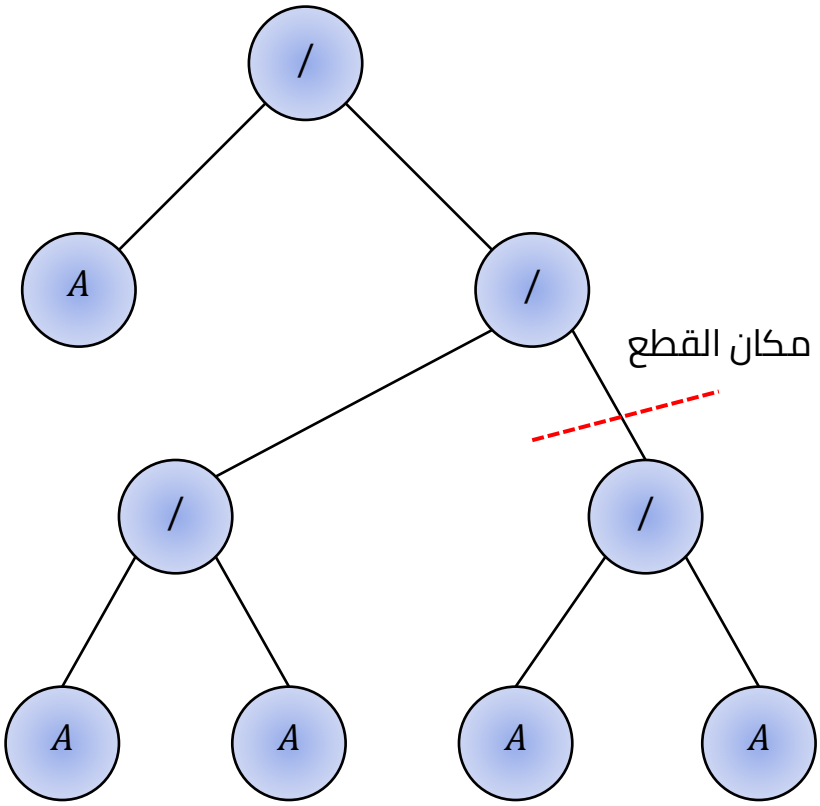
$Parent_2: A/[(A/A)/(A/A)]$

الحل:

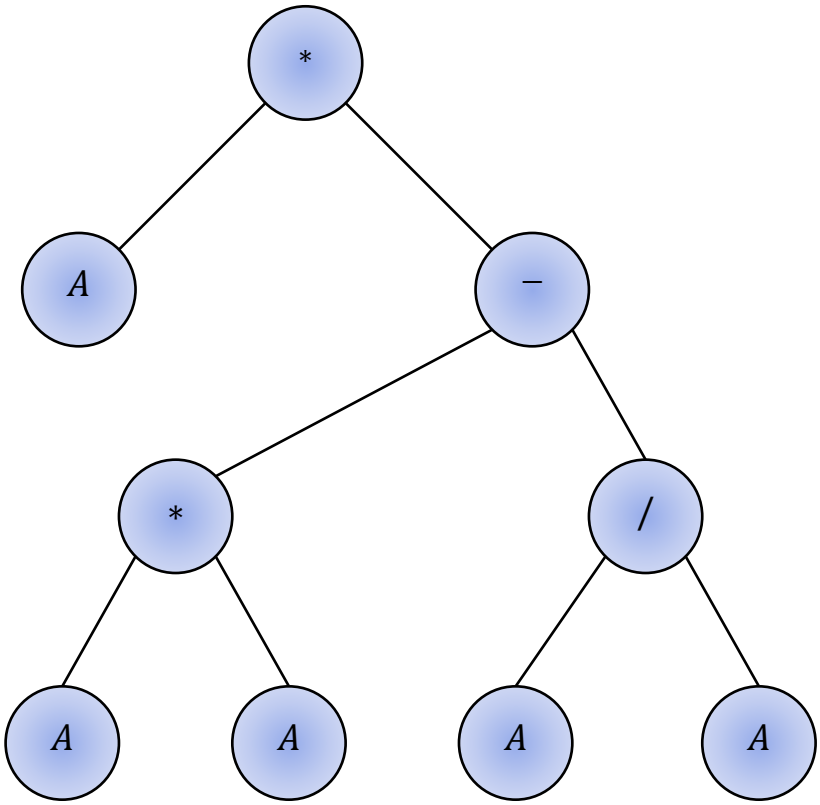
$Parent_1$:



$Parent_2$:



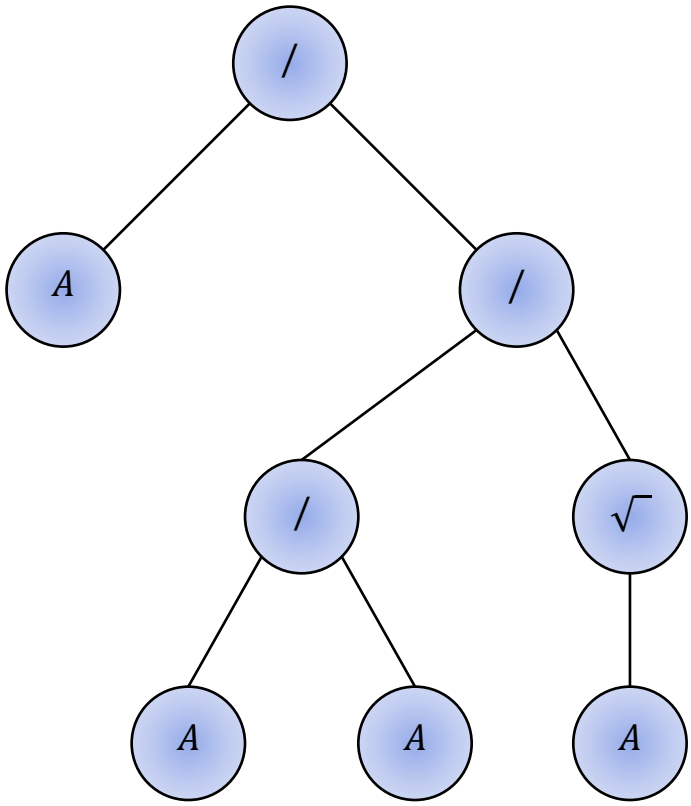
$Child_1$:



شكل الدالة هو:

$Child_1: A * [(A * A) - (A/A)]$

$Child_2$:

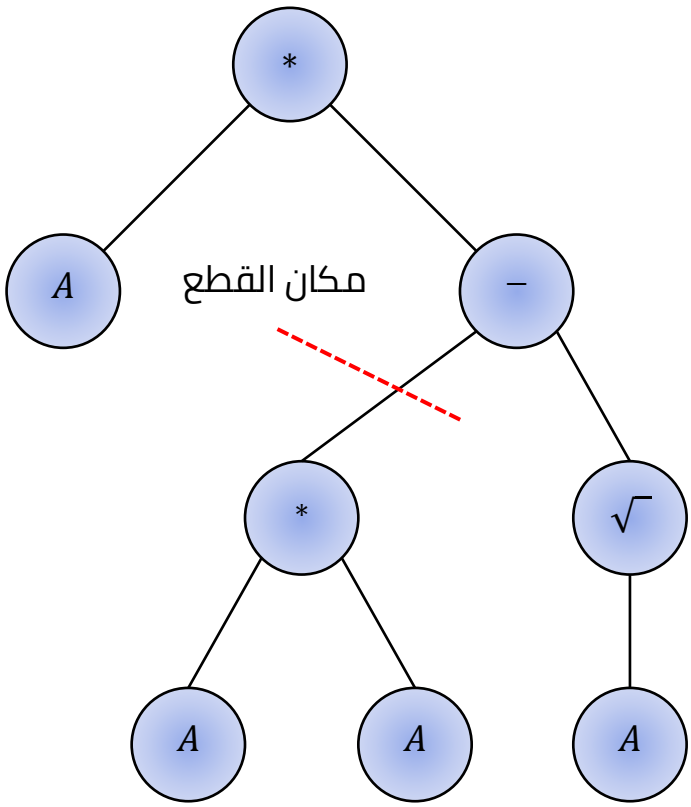


شكل الدالة هو:

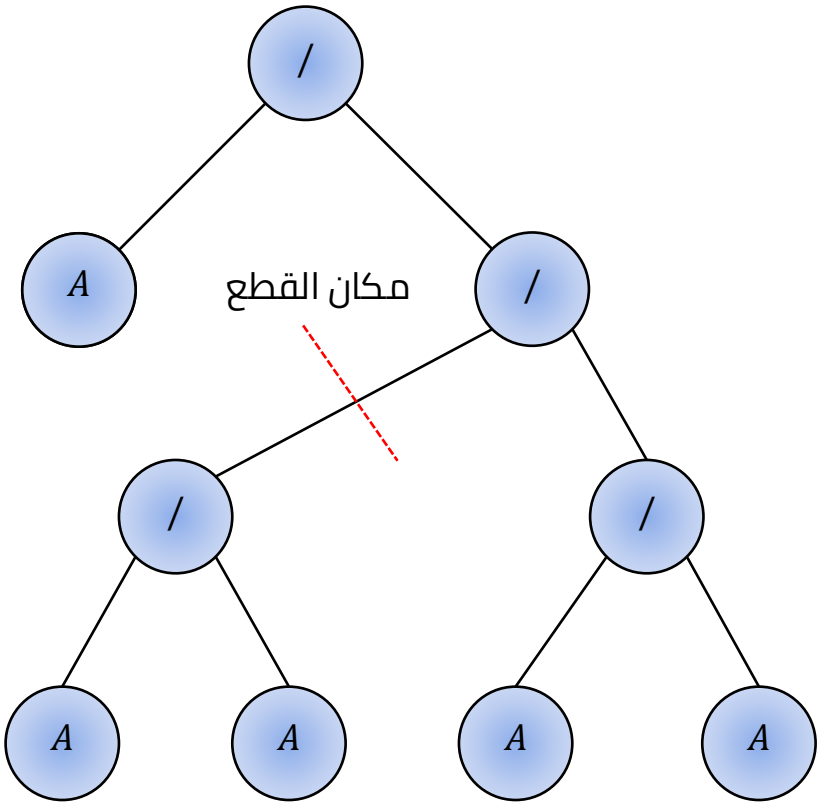
$Child_2: A/[(A/A)/\sqrt{A}\,]$

طريقة أخرى للحل:

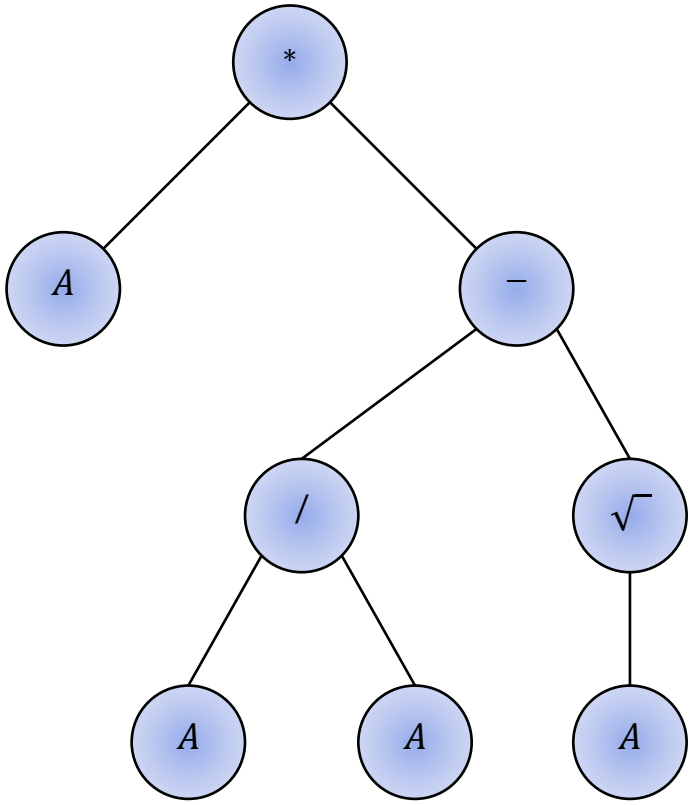
$Parent_1$:



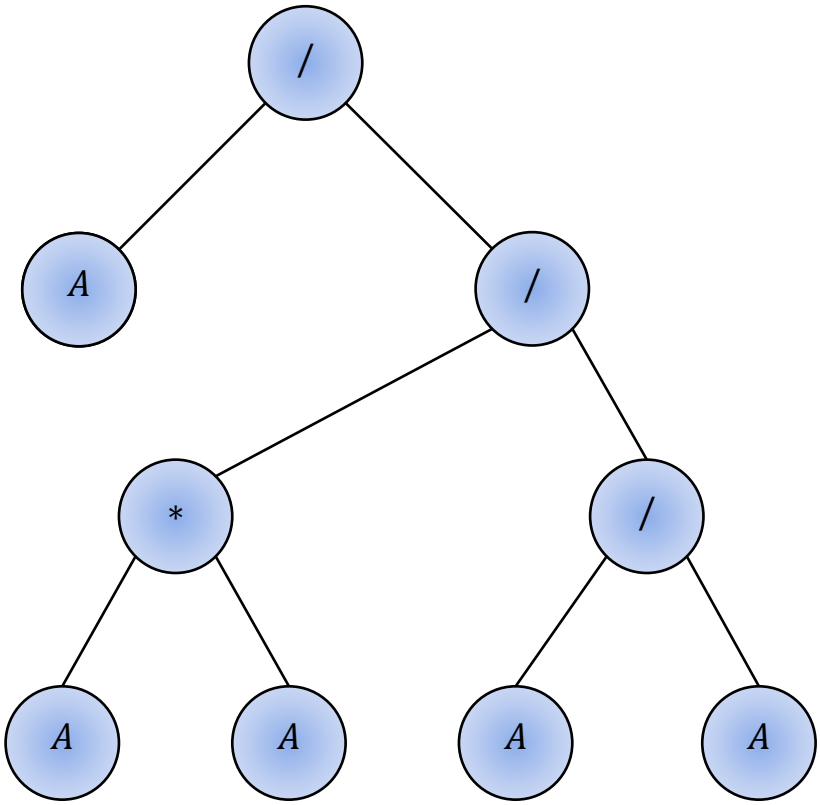
$Parent_2$:



$Child_1 = A * [(A/A) - \sqrt{A}\,]$



$Child_2 = A * [(A * A)/(A/A)]$



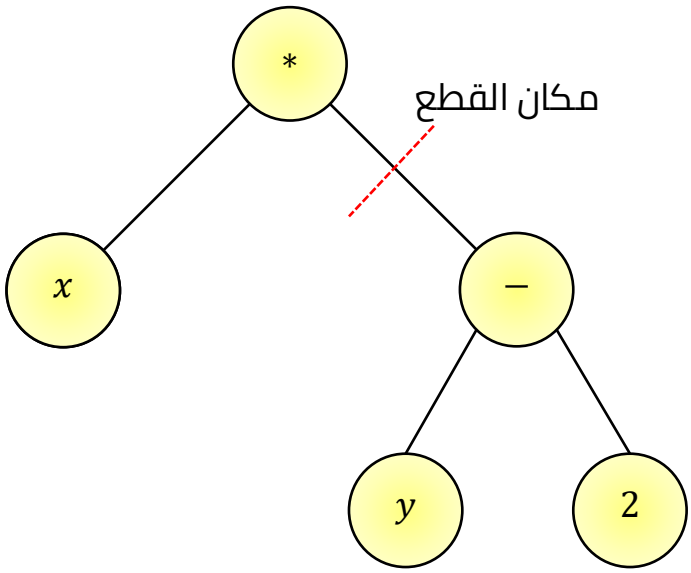
مثال: استخدم التعابر الشجري لإنتاج الأبناء الجدد؟

$Parent_1: x * (y - 2)$

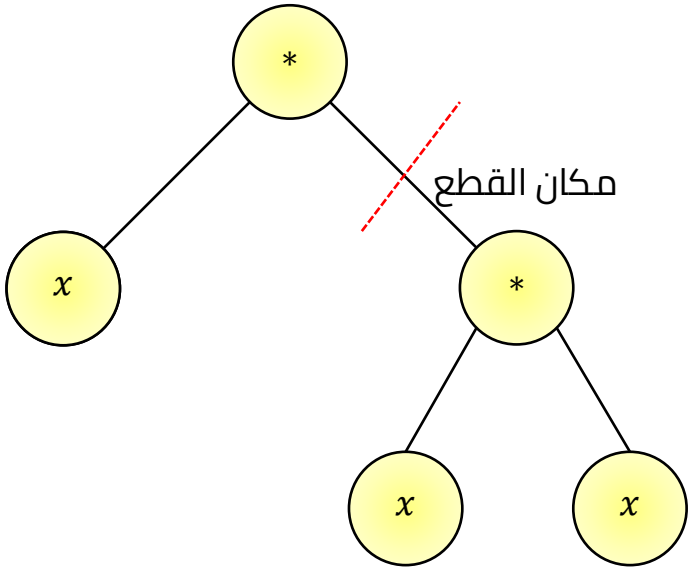
$Parent_2: x/[(x * x)]$

الحل:

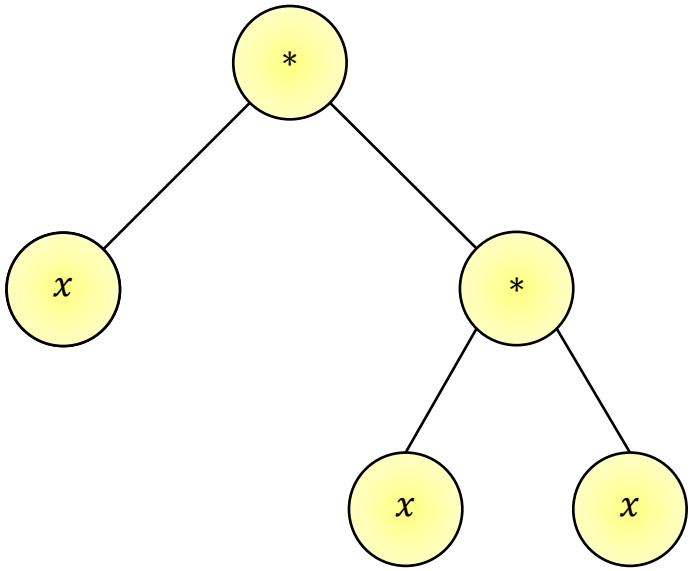
$Parent_1$:



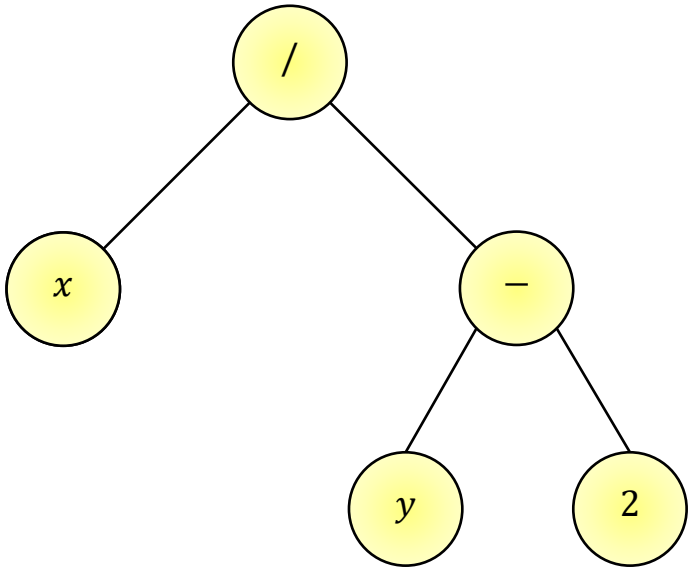
$Parent_2$:



$Child_1 = x * [(x * x)]$



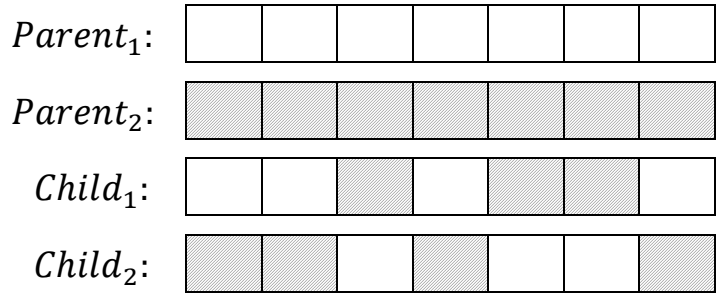
$Child_2 = x/(y - 2)$



j) التعابر أو التقاطع أو التداخل المنتظم ($Uniform\ Crossover$):

في هذه الطريقة يكون التعامل على مستوى الجينة الواحدة إذ يتم المرور على جينات الأبوين واحتمالية معينة يتم توريث جينة الأب الأول الى أحد الأبناء وجينة الأب الثاني الى الأبن الآخر.

يتم في هذا النوع تبادل الجينات بين كروموسومين لأبوين أي يتم اختيار احتمالية نقل من الأبوين الى الأبناء كما في الشكل الآتي:



(Ch_1) لديه (7) جينات من الأب الأول $(\frac{4}{7})$ ومن الأب الثاني $(\frac{3}{7})$.

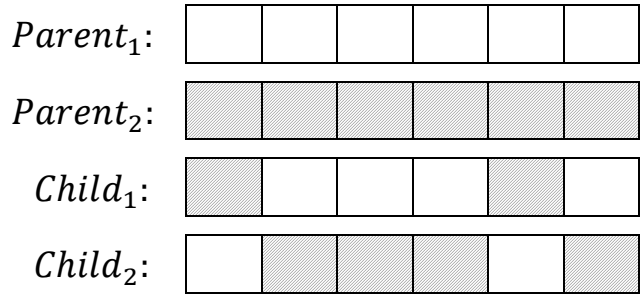
$$Child_1 = \frac{3}{7}\ Parent_2\ (of\ P_2)\ , \frac{4}{7}\ Parent_1\ (of\ P_1)$$

الأبن الأول أخذ صفات من الأب الأول.

(Ch_2) لديه (7) جينات من الأب الأول $(\frac{3}{7})$ ومن الأب الثاني $(\frac{4}{7})$.

$$Child_2 = \frac{4}{7}\ Parent_2\ (of\ P_2)\ , \frac{3}{7}\ Parent_1\ (of\ P_1)$$

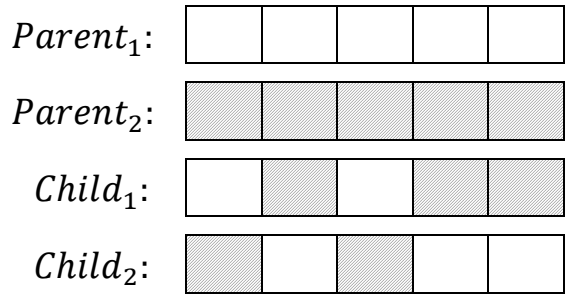
مثال آخر:



$$Child_1 = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}\ of\ P_2(Parent_2)\ , \quad \left(\frac{4}{6}\right) = \frac{2}{3}\ of\ P_1$$

$$Child_2 = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}\ of\ P_2(Parent_2)\ , \quad \left(\frac{2}{6}\right) = \frac{1}{3}\ of\ P_1$$

مثال آخر:



$$Child_1 = \frac{2}{5}\ of\ P_2(Parent_2)\ , \qquad \frac{3}{5}\ of\ P_2$$

$$Child_2 = \frac{3}{5}\ of\ P_1(Parent_2)\ , \qquad \frac{2}{5}\ of\ P_2$$

مثال:

$Parent_1$:	2	4	6	8	10
$Parent_2$:	1	3	5	7	9
$Child_1$:	1	3	6	8	10
$Child_2$:	2	4	5	7	9

(Ch_1) لديه (5) جينات من الأب الأول ($\frac{3}{5}$) ومن الأب الثاني ($\frac{2}{5}$).

(Ch_2) لديه (5) جينات من الأب الأول ($\frac{2}{5}$) ومن الأب الثاني ($\frac{3}{5}$).

بسم الله الرحمن الرحيم

6) الطفرة ($Mutation$):

في هذه العملية يجري تغيير أو تبديل بين جينات محددة ضمن الكروموسوم الواحد لتكوين كروموسومات جديدة تُعطي حلولاً الى الجيل اللاحق والتي لم يسبق تكوينها في الأجيال السابقة وذلك بهدف توسيع أفضل الحلول الممكنة والمتمثل بتكوين أكبر عدد من الكروموسومات المختلفة ضمن الجيل بالاعتماد على نسبة الطفرة والتي تكون قيمتها العددية صغيرة جداً (0.001) أو أقل. إن هذا التكون يؤدي الى الحصول على حل أكثر اقتراباً من أو الى الحل الأمثل (الطفرة تجري داخل الكروموسوم الواحد سواء للإضافة أو التبديل).

أنـــــــواع الطفـــــرات (مهمة جداً)

أ- طفرة تغيير الرتب ($Changing\ of\ order\ mutation$):

عملية ابدال موقع العنصر. وفيها يتم اختيار موقعين داخل أو ضمن الكروموسوم الواحد (المقطع) وتبديل المواقع (مبادلة المواقع) بينهما تطبيق على $real$, $integer$, $binary$.

مثال: 1 باستخدام طفرة تغيير الترتب احصل على الأبن الجديد من الآبن الآتي:

$Child_1$:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Rightarrow New\ Child$
		↑						↑		
	1	**8**	3	4	5	6	7	**2**	9	

مثال: 2 تبديل 4 $\longleftrightarrow$ 2

$Child_1$:	1.5	2.1	10	-2.5	3	$\Rightarrow New\ Child$
		↑		↑		
	1.5	$\mathbf{-2.5}$	10	**2.1**	3	

مثال: 3 تبديل 4 $\longleftrightarrow$ 2

$Old\ chromosome$:	4	3	5	1	2	$\Rightarrow New\ chromosome$:
		↑		↑		
	4	**1**	5	**3**	2	

∴ **عملية الطفرة**: هي عملية التغيير في قيم الجيل ضمن الكروموسوم الناتج من عملية القطع ($Crossover$) وهذا التغيير يتم بالاعتماد على نسبة الطفرة.

مثال: 4 استخدم طفرة تغير الرتب للحصول على آبن جديد من الآبن الآتي:

$Child$:	2	4	6	8	10	$\Rightarrow New\ child$:
	↑			↑		
	8	4	6	**2**	10	

ملاحظة (مهمة): الطفرة تكون على كروموسوم واحد فقط.

مثال: 5

$Old\ child$:	1.5	2.1	-1.4	1.3	5.5	$\Rightarrow New\ child$:	1.5	**1.3**	-1.4	**2.1**	5.5

مثال: 6

$Old\ child$:	1	100	5	30	$\Rightarrow New\ child$:	**30**	100	5	**1**

مثال: 7

C_1:	0	1	1	0	⟶	**1**	1	**0**	0
C_2:	1	0	1	1		**1**	**0**	1	0

ب- طفرة الإضافة والطرح (*Addition and subtraction mutation*):

في هذا النوع يتم اختيار موقعين **عشوائياً** داخل الكروموسوم الواحد (المقطع) ونقوم بإضافة قيمة الى الموقع الأول وطرح قيمته من الموقع الثاني. (الاختيار بشكل عشوائـي).

مثال: 1 استخدم طفرة الإضافة والطرح للحصول على الآبن الجديد؟

$Old\ child$:	1.29	5.68	2.86	4.11	5.55
			↑ k_3	↑ k_4	
			موقع (3)	موقع (4)	
			طرح (0.13)	إضافة (0.11)	

مع شرط التسلسل

$\therefore \Rightarrow New\ child$:	1.29	5.68	**2.73**	**4.22**	5.55

مثال: 2 استخدم طفرة الإضافة والطرح للحصـــول على الآبن الجديد؟

$Old\ child$:	1.5	2.3	7.4	1.9	3.2
		↑ k_2		↑ k_4	
		إضافة (0.5)		طرح (0.4)	

$\therefore \Rightarrow New\ child$:	1.5	**2.8**	7.4	**1.5**	3.2

أي نختار موقعين عشوائياً ثم نضيف قيمة الى احد المواقع (الموقع الأول ونطرح قيمة من الموقع الآخر (الثاني). هذه الطفرة تصلح **للتشفير الثنائي فقط**.

- طفرة الإضافة والطرح للقيم (الجـينات المتعاكـسة): يجب أن يكون الكروموسوم عدد زوجي.

مثال: 3

Old child:	2.1	4.5	5.1	3.3	1.9	7.4

الحل: نقوم بعمل مصفوفة نضع فيها الجينات ونحذف احدها ونعمل على الباقين:

2.1	4.5
5.1	3.3
1.9	7.4

إضافة قيمة (0.2) للطرف الأيـمن **(الجهة اليمنى)** وطرح (0.1) من الطرف الأيســر **(الجهة اليسرى)**. أي إضافة وطرح للقيم المتعاكسة في الجيل الجديد:

2.1	4.5
$5.1 - 0.1$	$3.3 + 0.2$
$1.9 + 0.2$	$7.4 - 0.1$

$\Longrightarrow$

2.1	4.5
5	**3.5**
2.1	**7.3**

$\therefore \Rightarrow$ *New child*:

2.1	4.5	**5**	**3.5**	**2.1**	**7.3**

مثال: 4 إضافة (**0.2**) للطرف الأيمن وطرح (**0.2**) من الطرف الأيســر

Old child:	1.5	2.3	11.4	9.1	7.8	1.9

1.5	2.3
11.4	9.1
7.8	1.9

$\Longrightarrow$

1.5	2.3
$11.4 - 0.2$	$9.1 + 0.2$
$7.8 + 0.2$	$1.9 - 0.2$

1.5	2.3
11.2	9.3
8	1.7

New Child $\Longrightarrow$

1.5	2.3	**11.2**	**9.3**	**8**	**1.7**

ج- طفرة الإزاحة (***Replacement mutation***):

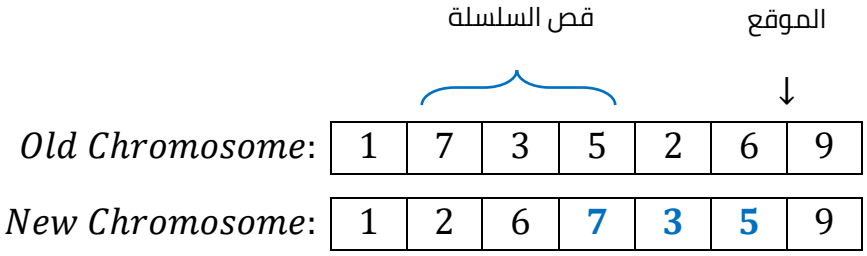
قدم العالِم ميشال وتس (*Michale wiez*) عام (1992) طفرة الإزاحة والتي تتم بـ اختيار سلسلة فرعية عند موقع عشوائي من الكروموسوم (المقطع) ثم تُحشر في موقع عشوائي آخــر من الكروموسوم كما في المثال الآتـــي:

مثال: 1 استخدم طفرة الإزاحة للحصول على الآبن الجديد للكروموسوم الآتي:

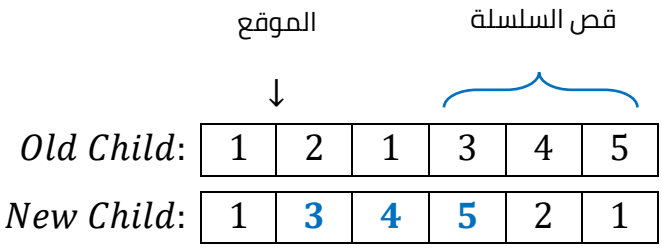
قص السلسلة — الموقع ↓

Old Chromosome:	1	5	2	7	6	8
New Chromosome:	1	6	**5**	**2**	**7**	8

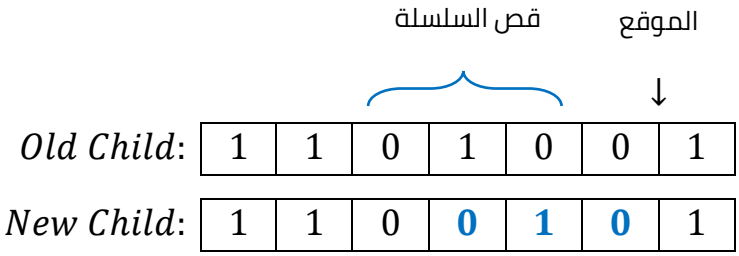
مثال: 2 استخدم طفرة الإزاحة للحصول على الآبن الجديد للكروموسوم الآتي:



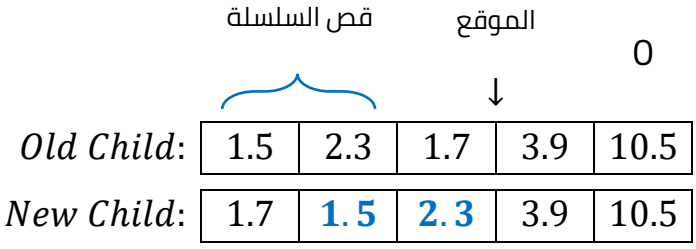
مثال: 3



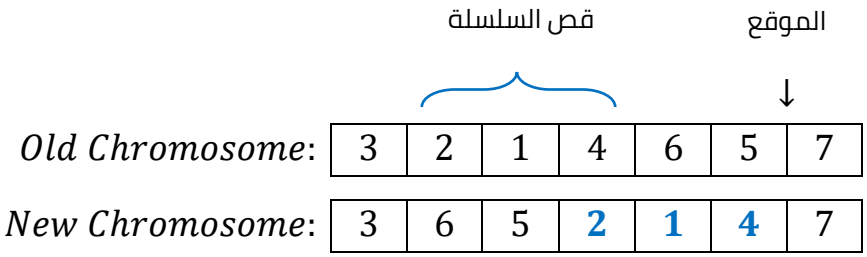
مثال: 4 استخدم طفرة الإزاحة للحصول على الآبن الجديد للكروموسوم الآتي:



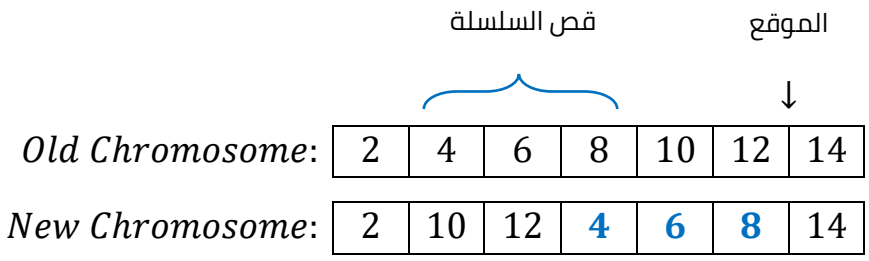
مثال: 5



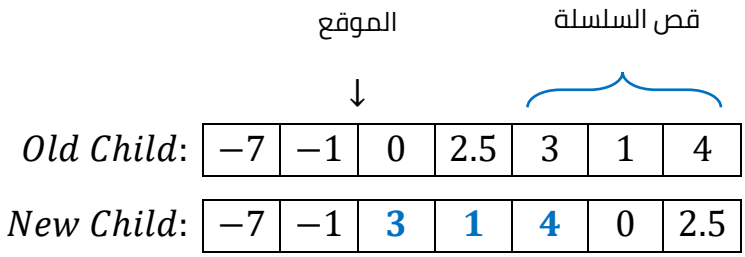
مثال: 6



مثال: 7



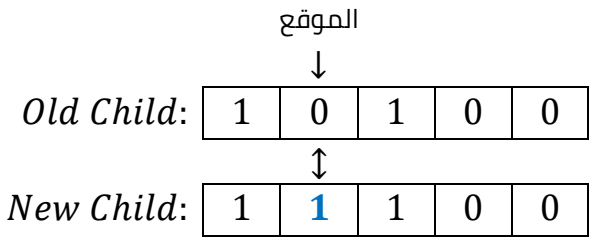
مثال: 8



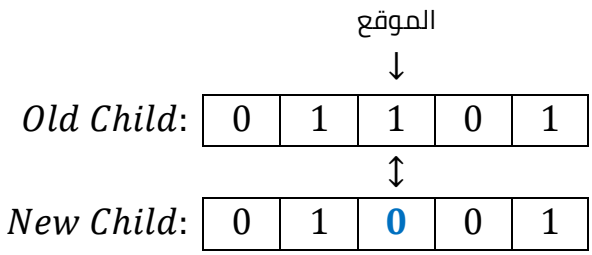
د- طفرة عكس قيمة الجين (***Bit inversion mutation***):

تستخدم هذه الطريقة في حالة التشفير الثنائي فقط (***Binary***) للكروموسوم إذ يتم اختيار موقع معين في الكروموسوم وعكس قيمته فإذا كان **صفر** سوف نضع (يصبح) **واحد** **وبالعكس** أي إذا كان **واحد** يتم ابداله **بالصفر** كما في المثال الآتـــي:

مثال: 1 استخدم طفرة عكس قيمة الجين للحصول على الآبـــن الجديد؟



مثال: 2



- ويجوز أكثر من موقع.

مثال: 3

				الموقع ↓			
Old Child:	1	0	1	1	0	0	1
				↕			
New Child:	1	0	1	1	**1**	0	1

ه- قلب الطفرة (عكس الطفرة) (***Inversion mutation***):

عملية قلب الطفرة مماثلة لعملية الإزاحة للطفرة إذ يتم اختيار سلسلة فرعية عند موقع عشوائي من الكروموسوم (المقطع) وتحشر في موقع عشوائي آخر ولكن برتبة معكوسة أو ترتيب معكوس كما في المثال الآتي.

مثال: 1 استخدم عكس الطفرة للحصول على الأبن الجديد؟

	معكـوس		الموقع ↓			
Old Child:	7	2	1	5	3	9
New Child:	5	**1**	**2**	**7**	3	9

مثال: 2

	معكـوس			الموقع ↓		
Old Child:	2	3	4	5	6	7	8
New Child:	2	6	7	**5**	**4**	**3**	8

مثال: 3

	معكـوس			الموقع ↓		
Old Child:	2	4	6	8	10	12
New Child:	2	10	**8**	**6**	**4**	12

مثال: 4

الموقع

↓

Old Child:	1.5	2.3	1.7	5.1	3.9	11.4
New Child:	1.5	2.3	**3.9**	**5.1**	**1.7**	11.4

مثال: 5

معكـوس الموقع

↓

Old Child:	2	7	5	3	−1	0	100
New Child:	−1	0	**3**	**5**	**7**	**2**	100

مثال: 6

معكـوس الموقع

↓

Old Child:	7	3	2	9	8	11
New Child:	7	8	**9**	**2**	**3**	11

مثال: 7

معكـوس الموقع

↓

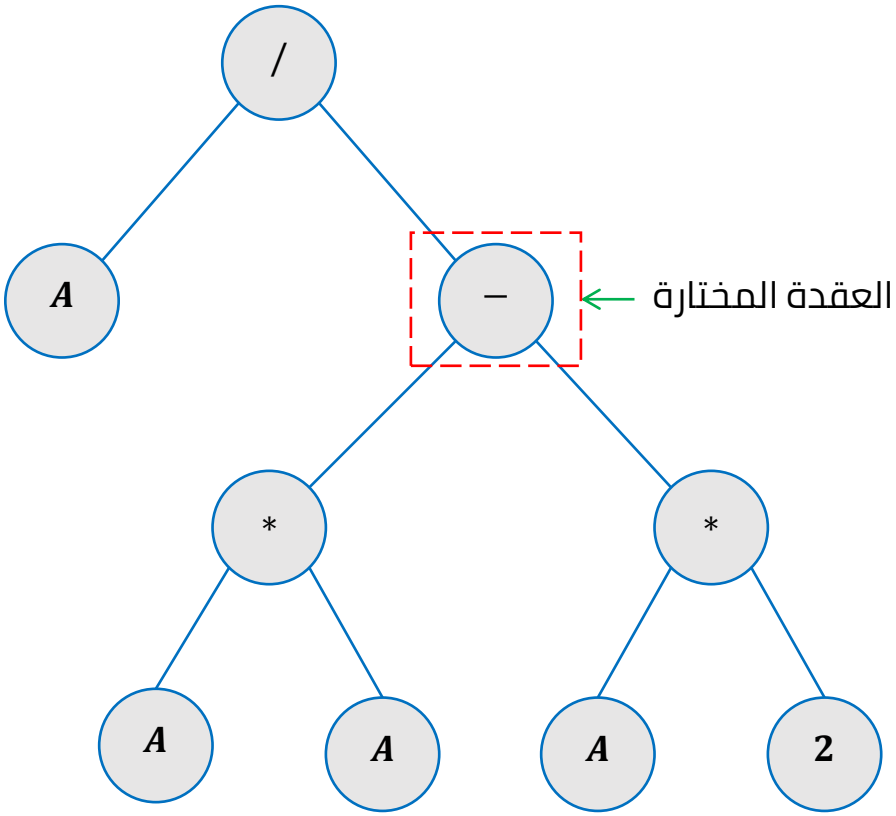
Old Child:	12.3	10.7	1.3	9.8	21.8
New Child:	12.3	9.8	**1.3**	**10.7**	21.8

ز- **الطفرة العقدية** ***(Node mutation)***: أو التي تخص التشفير الشجري

يتم في هذه الطريقة اختيار عقدة في الكروموسوم ثم يتم تشفيرها أو تغييرها لعقدة اخرى. ويكون التغيير إما رقماً (رقمياً) أو إشارة (علامة , تغيير عملية أو متغير أو ثابت) كما في الأمثلة الآتية:

مثال: 1 استخدم طفرة العقدة للحصول على الأبن الجديد؟

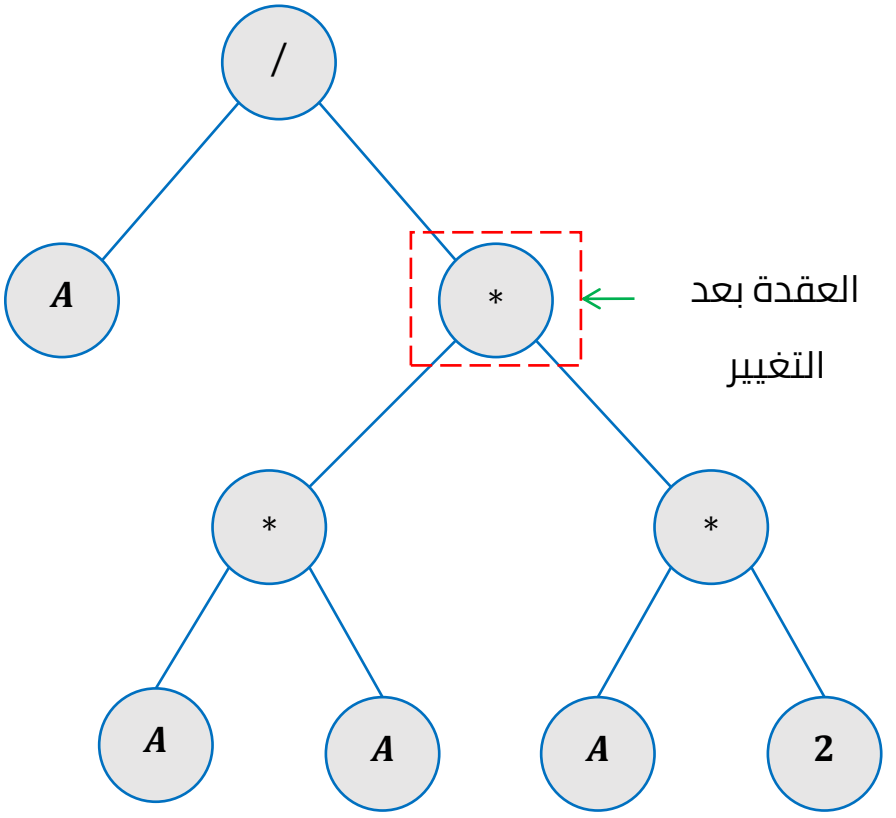
$Child: \boldsymbol{A/[(A*A)-(A*2)]}$



الحل:

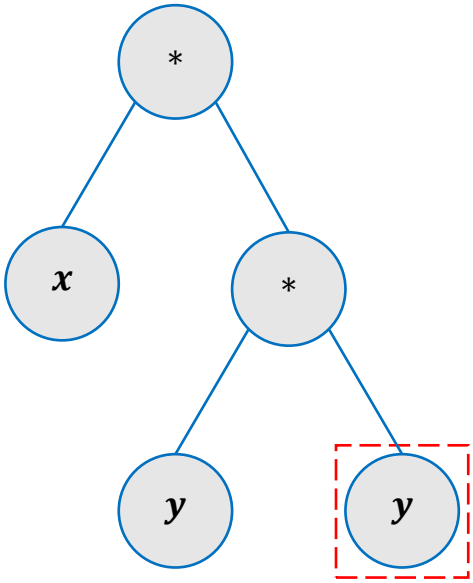
تبديل عملية $(-)$ الى $(*)$ في العقدة $\ominus$

شكل الكروموسوم الجديد أو الآبــن الجديد هو: $New\ Child:\ \boldsymbol{A/[(A*A)*(A*2)]}$

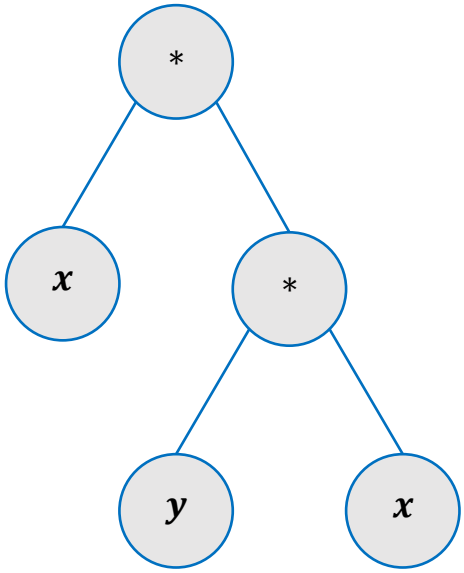


مثال: 2 استخدم طفرة العقدة للحصول على الأبن الجديد؟

$Child: x * (y * y)$

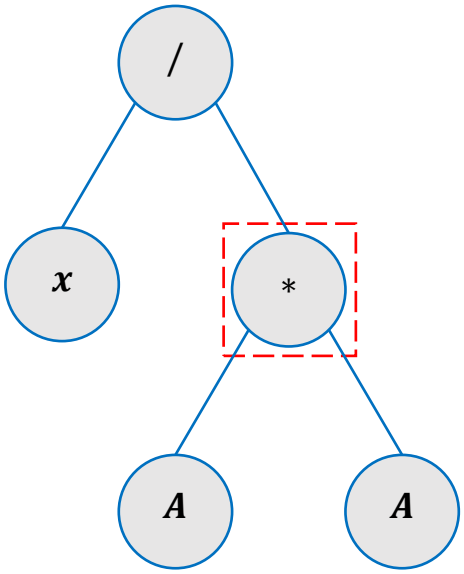


$New\ Child: x * (y * x)$

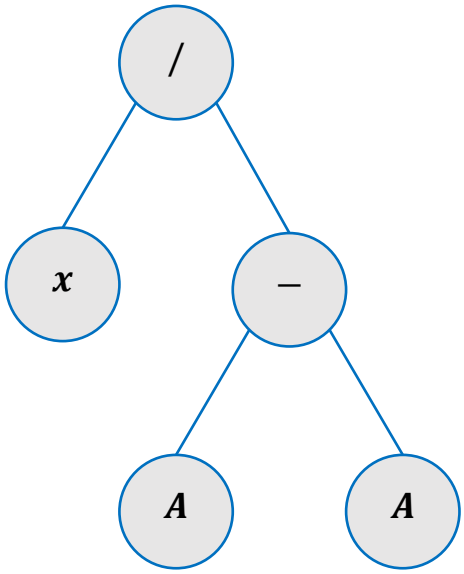


مثال: 3

$Child: x/[A * A]$

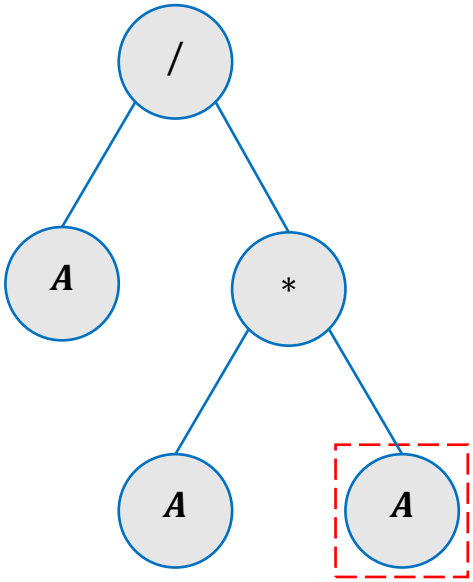


$New\ Child: x/[A - A]$

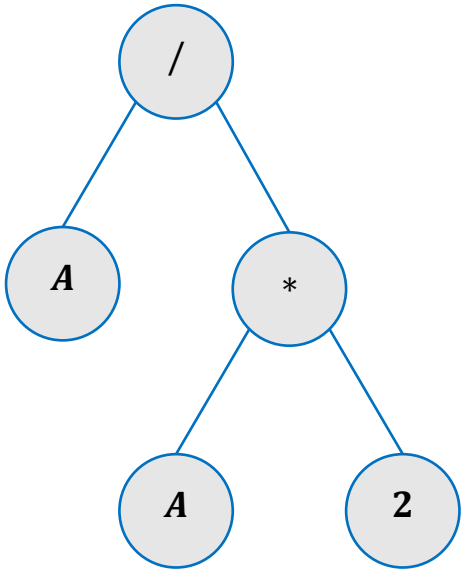


مثال: 4

$Child: A/[A * A]$

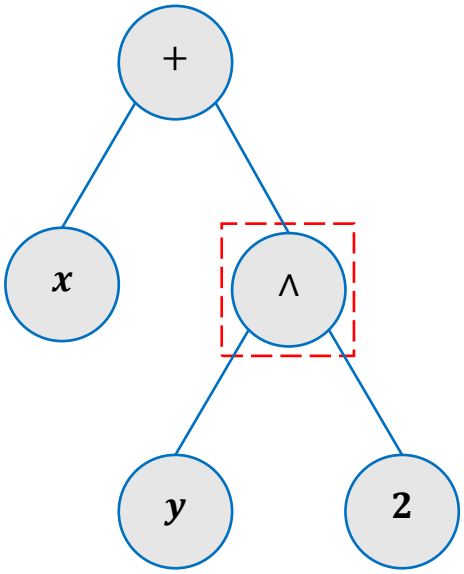


$New\ Child: A/[A * 2]$

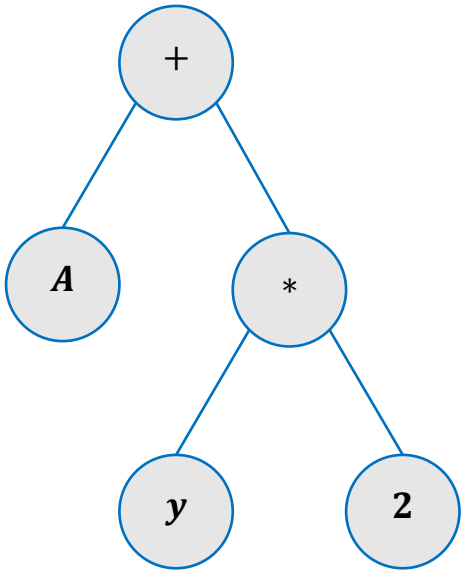


مثال: 5

$Child: x + (y\hat{}2)$



$New\ Child: x + (y * 2)$



j- طفرة گاوس (الطفرة الطبيعية) (***Gaussian mutation***):

تعمل هذه الطفرة على إضافة عدد عشوائي لكل جينات الكروموسوم , هذا العدد العشوائي يؤخذ من توزيع گاوسن (التوزيع الطبيعي) وذلك بمعدل صفر وتباين يتم حسابه بالاعتماد على المعاملات الآتية:

- القياس $(Scale)$
- الانكماش $(Shrink)$

القياس $(Scale)$ يمثل التباين عند أول جيـــــل. أما الانكماش $(Shrink)$ فيمثل التباين للأجيال اللاحقة , ويتم حسابه حسب المعادلة الآتية:

القانون للأجيال اللاحقة: ↙

$$Var_k^{New} = Var_{k-1}^{Old}\left(1 - Shrink * \frac{k}{Generation}\right)$$

القانون للجيـل الأول: ↙

$$Var_1 = Var_0\left(1 - Scale * \frac{k}{Generation}\right)$$

k: عدد الكروموسومات (أفراد المجتمع) في الجيل.

$Generation$: أرقام الجيل الذي نحن فيه.

---

7) مقاييس التوقـــف $(Stopping\ criteria)$:

يستمر تكوين الأجيال المتعاقبة بهدف تحسين الحل (بجعله أكثر اقتراباً من الحل الأمثل الى أن يتحقق شرط التوقف الذي يعتمد على مقاييس الخوارزمية الجينية).

أنواع مقاييس التوقف

- **المقاييس التقليدية أو الكلاسيكية** $(Classical\ criteria\ or\ measure)$.
- **المقاييس الإحصائية** $(Statistical\ criteria)$.

المقاييس التقليدية أو الكلاسيكية

أ) التحديد المسبق لعدد الأجيال المتكونة إذا يجري الفحص لبيان مدى التقارب من الحل الأمثل بعد تكوين هذا العدد المحدد من الأجيال.

ب) التحديد المسبق لعدد الأجيال التي لم يحدث تكوينها أي تحسين في الحل. حيث تتوقف الخوارزمية الجينية إذ لم يتم إجراء أو حصول أي تحسين للحل (الجيل الحالي) بعد هذا العدد المحدد من الأجيال.

ج) قد تحدد نسبة معينة تمثل عدد المقاطع أو الكروموسومات المتشابهة قياساً الى العدد الكُلي لمقاطع الجيل إذ يتم فحص هذه النسبة بعد تكوين كل جيل فإذا بلغت نسبة المقاطع المتشابهة القيمة المحددة مسبقاً تتوقف الخوارزمية الجينية

$$\text{النسبة المحددة} = \frac{\text{عدد المقاطع (الكروموسومات) المتشابهة}}{\text{العدد الكُلي للكروموسومات}}$$ مثلا 0.5 قيمة معطاة أو يتم تحديدها

المقاييس الإحصائية

وتقسم الى نوعين:

أ) **الإنجازية المتصلة** $(On - Line\ Performance)$: تستخدم لقياس متوسط أو معدل جودة الخوارزمية الجينية بـ الاعتماد على قيد دالة وفق المعادلات الآتية:

$$On - Line(T) = \frac{1}{T} * \sum_{t=1}^{T} f(t)$$

حيث أن:

$f(t)$: تمثل دالة (دوال) اللياقة

T: تمثل عدد الدورات (عدد الأجيال) أو العدد الكلي للدورات الجينية الحالية.

ب) **الانجازية المنفصلة** $(Off - Line\ Performance)$:

$$Off - Line(T) = \frac{1}{T} * \sum_{t=1}^{T} f_{max}(t)$$

حيث أن f_{max} تمثل:

$$f_{max} = best\{f(1), f(2), f(3), \cdots, f(t)\}$$

إن دالة f_{max} تقوم بحساب أفضل قيمة للجودة السابقة وكذلك يمكن الاعتماد عليها في معرفة مدى تقارن الخوارزمية الجينية من خلال بقاء قيمتها ثابتة نسبياً لعدد محدد من الأجيال أو عدد محدود من الدورات الجينية.

أما بالنسبة **للإنجازية المتصلة** فتصل قيم متوسط الصلاحية خلال عدد من الدورات الى قيم متقاربة نسبية وهذا يعني أن المجتمع قد تقارب.

ملاحظة مهمة جداً: تجري خطوات الخوارزمية الجينية **بالتسلسل** ولايجوز مطلقاً تقديم خطوة على خطوة أخرى نهائياً.

أمثلة على تطبيق الخوارزمية الجينية

مثال: استخدم الخوارزمية الجينية للحصول على الهدف اذا علمتَ أن الحالة الابتدائية لـمسألة الـ $(\boldsymbol{8-Puzzle})$ كانت كالآتي:

7	4	3
2		1
5	6	8

Initial state

7	4	3
2	1	8
	5	6

Goal state

الحل:

أولاً: نحول المسألة الى كروموسومات كالآتي:

Ch_1	7	4	3

Ch_2	2		1

Ch_3	5	6	8

التشفير هو التشفير الصحيح.

ثانياً: الاختيار أو الانتقاء *Selection*

الكروموسوم الأول يبقى لأنه موجود في دالة الهدف. نعمل على الكروموسومين الثاني والثالـــث:

Ch_2	2		1

Selection

Ch_3	5	6	8

ثالثا: التعابر أو التزاوج أو التداخل *Crossover*

تبديل مواقع من خلال كروموسومين نجري عملية التعابر ذو نقطة القطع الواحدة:

Ch_2	2		1
Ch_3	5	6	8

$k = 2$

∴

Ch_2	2		8
Ch_3	5	6	1

رابعاً: الطفرة $mutilation$: ختار مواقع أرقام ونبدل في الكروموسوم الواحـد ونستخدم طفرة تغيير الرتـــب:

Ch_2	2		8	⇒	Ch_2	2		8
Ch_3	5	6	1	⇒	Ch_3	5	1	6

مقياس التوقف: لا نتوقف لأننا لم نصـــل الى الهـــدف.

خامساً: نجري عملية التعابر باستخدام القطع ذو نقطتين.

Ch_2	2	1	8
Ch_3	5		6

سادساً: الطفرة باستخدام طفرة تغيير الرتـــب:

Ch_2	2	1	8
Ch_3		5	6

لقد وصلنا الى الحل الأمثـــل وهو:

7	4	3
2	1	8
	5	6

$Goal\ state$

ملاحظة: لايجوز في الخطوة الواحدة عمل انتقاء مرتين (تعابرين أو طفرتين)

في بعض الأحيان لانحتاج الى التعابر أو الطفرة لأن ذلـــك سوف يُبعدنا عن الهدف عندئذٍ نذكر فقط أن التعابر يتم اجراءه مع الكروموسوم نفسه.

الملاحظات:

بسم الله الرحمن الرحيم

استخدام الخوارزمية الجينية في جل مسائل النقل

مثال: في مسألة النقل الآتـية أوجد جد أقل كلفة باستخدام الخوارزمية الجينية الآتـــية:

مراكز الطلب / مصادر التجهيز	1	2	العرض
1	4	2	**60**
2	7	5	**40**
3	3	10	**70**
الطلب	**105**	**65**	$\sum a_i = \sum b_j = \mathbf{170}$

1) إنشـــاء الجيل الابتدائي (*initial generation*):

مراكز الطلب / مصادر التجهيز	1	2	3	العرض
1	4	2	0	**60**
2	7	5	0	**40**
3	3	10	0	**70**
الطلب	**105**	**65**	0	$\sum a_i = \sum b_j = \mathbf{170}$

نُكون أكثر من كروموسومين أو يكون حجم الجيل ثلاث مقاطع (كروموسومات) كل مقطع يحتوي على كروموسومات وكل كروموسومات تحتوي على جينات تكون على عدد الكلفة وإن هذا الكروموسومات أو المقاطع تكون مولدة عشوائياً والترميز أو التشفير يجب أن يكون صحيح وأن:

عدد الجينات في الكروموسوم الواحد = عدد الكلفة

- نضيف أو نكون كروموسوم بـ عدد الكلفة الموجودة ويجب أن يكون مجموعهم يساوي **(170)** ويكون توليدهم عشـــــوائي:

Ch_1	60	0	40	0	5	65	$= 170$
Ch_2	0	60	35	5	70	0	$= 170$
Ch_3	35	25	0	40	70	0	$= 170$

- قيم الجودة (دالة اللياقة):

$$Min\ f = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\, X_{ij}$$

2) نحسب قيمة الجودة (f_i) (دالة اللياقة):

يتم حساب قيم الجودة لكل مقطع من المقاطع أي كل كروموسوم من الكروموسومات وذلك بـ (ضرب كل كُلفة في متغيرها) حسب كلفة النقل للوحدة الواحدة لكل مركز نقل ويتم ذلك حسـب ما يأتـي:

$$f(Ch_1) = (4*60) + (2*0) + (7*40) + (5*0) + (3*5) + (10*70) = \mathbf{1185}$$
$$f(Ch_2) = (4*0) + (2*60) + (7*35) + (5*5) + (13*70) + (10*0) = \mathbf{600}$$
$$f(Ch_3) = (4*35) + (2*35) + (7*0) + (5*90) + (3*70) + (10*0) = \mathbf{600}$$

3) إنشاء الاجيال اللاحقة: نختار أي كروموسومين من كروموسومات الآباء لتكوين كروموسومات الجيـل الجديد. وبما أن الكروموسومين الثاني والثالث متساوية Min نختار واحد فقط مع الكروموسوم الأول.

- يتم إنتقاء الكروموسومات باستخدام انتقاء النخبـة (الاستنساخ)

المقطع الثاني:

Ch_2	0	60	35	5	70	0	$= 170$

المقطع الأول:

Ch_1	60	0	40	0	5	65	$= 170$

4) اجراء عملية التعابر الابدالي: نجري عملية التعابر الابدالي من نوع الحسابي للمقطعين الأول والثاني.

$$Off\ spring_1 = a * Parent_1 + (1-a)\ Parent_2$$
$$Off\ spring_2 = (1-a)\ Parent_1 + a * Parent_2$$
$$a = 0.3$$

$Child_1\ Off\ (sp_1)$	18	42	36.5	3.5	50.5	18.5
$Child_2\ Off\ (sp_2)$	42	18	38.5	1.5	24.5	45.5

5) **الطفرة** $(mutation)$: نقوم بـ طرح و إضافة كمية قليلة جداً الى الكلُف متقابلة الزوايا في جدول التوزيع ويشترط أن تكون الكمية المطروحة منها **صفر** أو **قريبة من الصفر**.

نعيد الآن كتابة المقطع الثاني بشكل جدول:

Ch_2	42	18	38.5	1.5	24.5	45.5

$q = 1.5$

نقوم بإجراء عملية الطفرة على (Ch_2):

42	18
38.5	1.5
24.2	45.5

$Ch_2 \longrightarrow$

42	18
37	3
26	44

نقوم بـ إعادة صياغة الجدول بشكل مقطع او كروموسوم مرة ثانيه فـ يكون بالشكل الآتي:

42	18	37	3	26	44

6) نجد دالة اللياقة للمقطع الجديد:

$$(10 * 44) + (4 * 42) + (2 * 18) + (7 * 37) + (5 * 3) + (3 * 26) = \mathbf{996}$$

18	42
36.5	3.5
50.5	9.5

$\longrightarrow$

18	42	35	5	52	18

نجد دالة الهدف للمقطع الثاني (الجيل الجديد):

$$(10 * 18) + (4 * 18) + (2 * 42) + (7 * 35) + (5 * 5) + (3 * 52) = \mathbf{762}$$

وهكذا نستمر في تكوين عدد محدد من الأجيال وأن **الهدف** هو تحسين الحل للمسألة أو للحصول على حل أمثل عن طريق تغيير قيمة (a) وتغيير الكمية المُضافة أو المطروحة (q) و تغيير عدد الأجيـال أو نجري التداخل الابدالي مرة أخرى الى أن يتم الوصول الى حل مناســـــب للمسألة.

نهاية الكورس الثانـي

تم بفضل الله