الگوريتم ژنتيک

1- مقدمه

محدوده كاري الگوريتم ژنتيک بسيار وسيع مي باشد و هر روز با پيشرفت روزافزون علوم و تكنولوژي استفاده از اين روش در بهينه سازي و حل مسائل بسيار گسترش يافته است. الگوريتم ژنتيک يكي از زير مجموعه هاي محاسبات تكامل يافته مي باشد كه رابطه مستقيمي با مبحث هوش مصنوعي دارد در واقع الگوريتم ژنتيک يكي از زير مجموعه هاي هوش مصنوعي مي باشد. الگوريتم ژنتيک را مي توان يک روش جستجوي كلي ناميد كه از قوانين تكامل بيولوژيک طبيعي تقليد مي كند .الگوريتم ژنتيک برروي يكسري از جواب هاي مساله به اميد بدست آوردن جوابهاي بهتر قانون بقاي بهترين را اعمال مي كند. درهر نسل به كمک فرآيند انتخابي متناسب با ارزش جواب ها و توليد مثل جواب-هاي انتخاب شده به كمک عملگرهايي كه از ژنتيک طبيعي تقليد شده اند ,تقريب هاي بهتري از جواب نهايي بدست مي آيد. اين فرايند باعث مي شود كه نسلهاي جديد با شرايط مساله سازگارتر باشد.

2- تاريخچه

حساب تكاملي ,براي اولين بار در سال 1960 توسط آقاي ريچنبرگ ارائه شد كه تحقيق وي در مورد استراتژي تكامل بود.بعدها نظريه او توسط محققان زيادي مورد بررسي قرار گرفت تا اينكه الگوريتم ژنتيک (GA) توسط جان هولند(John Holland) و در سال 1975 در دانشگاه ميشيگان ,ارائه شد.

در سال 1992 نيز جان كوزا (John Koza) از الگوريتم ژنتيک (GA) براي حل و بهينه سازي مسائل مهندسي پيشرفته استفاده كرد و توانست براي اولين بار روند الگوريتم ژنتيک (GA) را به زبان كامپيوتر در آورد و براي آن يک زبان برنامه نويسي ابداع كندكه به اين روش برنامه نويسي ,برنامه نويسي ژنتيک (GP) گويندو نرم افزاري كه توسط وي ابداع گرديد به نرم افزار LISP مشهور است كه هم اكنون نيز اين نرم افزار كاربرد زيادي در حل و بهينه سازي مسائل مهندسي پيدا كرده است .

1-2 *تاريخچه بيولوژيكي*

بدن هر موجود زنده اي از سلول تشكيل يافته است و هر سلول هم از كروموزوم تشكيل يافته است.كروموزومها نيز از رشته هاي DNA تشكيل يافته اند.كروموزومها هم از ژن تشكيل يافته اند.و به هر بلوک DNA يک ژن مي گويند و هر ژن نيز از يک پروتئين خاص ومنحصر به فرد تشكيل يافته است.و به مجموعه از ژنها يک ژنوم (Genome) مي گويند.

3- ساختار الگوريتم‌هاي ژنتيكي

به طور كلي, الگوريتم‌هاي ژنتيكي از اجزاء زير تشكيل مي‌شوند:

1. **كروموزوم**[1]

   در الگوريتم‌هاي ژنتيكي, هر كروموزوم نشان دهنده يك نقطه در فضاي جستجو و يك راه‌حل ممكن براي مسئله مورد نظر است. خود كروموزوم‌ها (راه حل‌ها) از تعداد ثابتي ژن [2] (متغير) تشكيل مي‌شوند. براي نمايش كروموزوم‌ها, معمولاً از كدگذاري‌هاي دودويي (رشته‌هاي بيتي) استفاده مي‌شود.

2-3 جمعيت[3]

مجموعه‌اي از كروموزوم‌ها يك جمعيت را تشكيل مي‌دهند. با تاثير عملگرهاي ژنتيكي بر روي هر جمعيت, جمعيت جديدي با همان تعداد كروموزوم تشكيل مي‌شود.

3-3 تابع برازندگي[4]

---

[1] Chromosome
[2] Gene
[3] Population
[4] Fitness Function

به منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوريتم‌هاي ژنتيكي, ابتدا بايد يك تابع برازندگي براي آن مسئله ابداع شود. براي هر كروموزوم, اين تابع عددي غير منفي را برمي‌گرداند كه نشان دهنده شايستگي يا توانايي فردي آن كروموزوم است.

4-3 عملگرهاي الگوريتم ژنتيك

در الگوريتم‌هاي ژنتيكي, در طي مرحله توليد مثل [5] ازعملگرهاي ژنتيكي استفاده مي‌شود. با تاثير اين عملگرها بر روي يك جمعيت, نسل[6] بعدي آن جمعيت توليد مي‌شود. عملگرهاي انتخاب[7] , آميزش[8] و جهش[9] معمولاً بيشترين كاربرد را در الگوريتم‌هاي ژنتيكي دارند.

.1 عملگر انتخاب (Selection):

اين عملگر از بين كروموزوم‌هاي موجود در يك جمعيت, تعدادي كروموزوم را براي توليد مثل انتخاب مي‌كند. كروموزوم‌هاي برازنده‌تر شانس بيشتري دارند تا براي توليد مثل انتخاب شوند.

روش های انتخاب :

- **Elitist Selection : (انتخاب نخبگان)**
  - مناسب‌ترين عضو هر اجتماع انتخاب می‌شود. با توجه به مقدار شايستگی كه از تابع ارزياب دريافت كرده است.

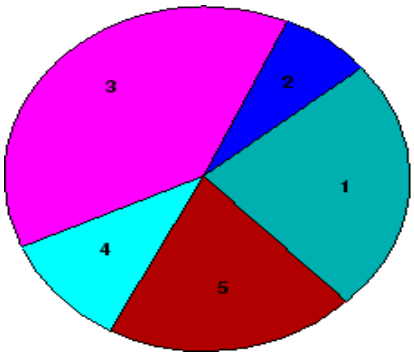
- **نمونه‌برداري به روش چرخ رولت**

در اين روش, به هر فرد قطعه‌اي از يك چرخ رولت مدور اختصاص داده مي‌شود. اندازه اين قطعه متناسب با برازندگي آن فرد است. چرخ N بار چرخانده مي‌شود كه N تعداد افراد در جمعيت است. در هر چرخش, فرد زير نشانگر چرخ انتخاب مي‌شود و در مخزن والدين نسل بعد قرار مي‌گيرد. اين روش مي‌تواند به صورت زير پياده‌سازي شود:

1. نرخ انتظار كل افراد جمعيت را جمع كنيد و حاصل آن را T بناميد.
2. مراحل زير را N بار تكرار كنيد:

يك عدد تصادفي r بين 0 و T انتخاب كنيد.

در ميان افراد جمعيت بگرديد و نرخ‌هاي انتظار(مقدار شايستگی) آنها را با هم جمع كنيد تا اين كه مجموع بزرگتر يا مساوي r شود. فردي كه نرخ انتظارش باعث بيشتر شدن جمع از اين حد مي‌شود, به عنوان فرد برگزيده انتخاب مي‌شود.



Population	Fitness
1	25.0
2	5.0
3	40.0
4	10.0
5	20.0

شكل 2 نحوه ارزيابی شايستگی در چرخ رولت

- **Tournament Selection (انتخاب تورنومنت) :**

يک زير مجموعه از صفات يک جامعه انتخاب می‌شوند و اعضای آن مجموعه با هم رقابت می‌كنند و سرانجام فقط يک صفت از هر زيرگروه برای توليد انتخاب می‌شوند.

.2 عملگر آميزش (Crossover):

---

[5] Reproduction
[6] Generation
[7] Selection
[8] Crossover
[9] Mutation

در جریان عمل تلفیق به صورت اتفاقی بخشهایی از کروموزوم ها با یکدیگر تعویض می شوند. این موضوع باعث می شود که فرزندان ترکیبی از خصوصیات والدین خود را به همراه داشته باشند و دقیقاً مشابه یکی از والدین نباشند.
هدف تولید فرزند جدید می باشد به این امید که خصوصیات خوب دو موجود در فرزندشان جمع شده و یک موجود بهتری را تولید کند.
روش کار به صورت زیر است:
بصورت تصادفی یک نقطه از کروموزوم را انتخاب می کنیم
ژن های مابعد آن نقطه از کروموزوم ها را جابجا می کنیم

- **تلفیق تک نقطه ای (Single Point Crossover)**

اگر عملیات تلفیق را در یک نقطه انجام دهیم به آن تلفیق تک نقطه ای می گویند.
تلفیق بدین صورت انجام مي گيرد كه حاصل تركيب كروموزومهاي پدر و مادر مي باشد.روش توليد مثل نيز بدين صورت است كه ابتدا بصورت تصادفي ,نقطه اي كه قرار است توليد مثل از آنجا آغاز گردد ,انتخاب مي گردد.سپس اعداد بعد از آن به ترتيب از بيت هاي كروموزومهاي پدر و مادر قرار مي گيرد كه در شكل زير نيز نشان داده شده است.

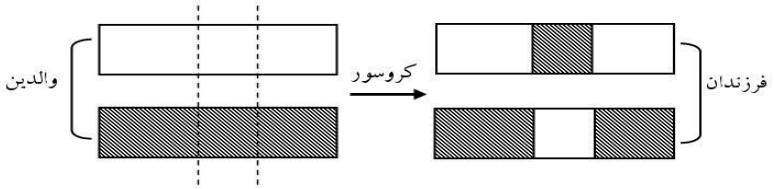
Chromosome 1	11011 | 00100110110
Chromosome 2	11011 | 11000011110
Offspring 1	11011 | 11000011110
Offspring 2	11011 | 00100110110

شکل 3 یک نمونه تلفیق (آمیزش)

در شكل بالا كروموزومهاي 1 و2 در نقش والدين هستند. و حاصل توليد مثل آنها در رشته هائي بنام Offspring ذخيره شده است.دقت شود كه علامت "|" مربوط به نقطه شروع توليد مثل مي باشد و در رشته هاي Offspring اعدادي كه بعد از نقطه شروع توليد مثل قرار مي گيرند مربوط به كروموزومهاي مربوط به خود مي باشند.بطوريكه اعدار بعد از نقطه شروع مربوط به 1Offspring مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع مربوط به كرومكوزوم 1 و اعداد بعد از نقطه شروع توليد مثل مربوط به 2Offspring مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع توليد مثل مربوط به كروموزوم 2 مي باشند

- **روش ادغام دو نقطه ای(Two-point CrossOver) :**

در این روش دو مکان را به صورت تصادفی انتخاب کرده و مقادیر بین این دو نقطه را جابجا می کنیم.

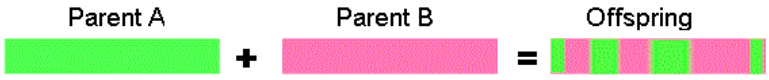


- **تلفیق نقطه ای (Multipoint Crossover) :**

می توانیم این عملیات را در چند نقطه انجام دهیم ، که به آن بازترکیبی چند نقطه ای می گویند

- **تلفیق جامع (Uniform Crossover) :.**

اگر تمام نقاط کروموزوم را بعنوان نقاط بازترکیبی انتخاب کنیم به آن بازترکیبی جامع می گوئیم. مثال)



3-4-3.عملگر جهش (Mutation):

پس از اتمام عمل آميزش, عملگر جهش بر روي كروموزوم‌ها اثر داده مي‌شود. اين عملگر يك ژن از يك كروموزوم را به طور تصادفي انتخاب نموده و سپس محتواي آن ژن را تغيير مي‌دهد. اگر ژن از جنس اعداد دودويي باشد, آن را به وارونش تبديل مي‌كند و چنانچه متعلق به يك مجموعه باشد, مقدار يا عنصر ديگري از آن مجموعه را به جاي آن ژن قرار مي‌دهد. در شكل 2 چگونگي جهش يافتن پنجمين ژن يك كروموزوم نشان داده شده است.

پس از اتمام عمل جهش, كروموزوم‌هاي توليد شده به عنوان نسل جديد شناخته شده و براي دور بعد اجراي الگوريتم ارسال مي‌شوند.

شكل 4 يك كروموزوم قبل و بعد از اعمال عملگر جهش

جهش

0 1 1 1 0 **0** 0 1 0 1

0 1 1 1 0 **1** 0 1 0 1

محل جهش

4- روند كلي الگوريتم‌هاي ژنتيكي

قبل از اين كه يك الگوريتم ژنتيكي بتواند اجرا شود, ابتدا بايد كدگذاري (يا نمايش) مناسبي براي مسئله مورد نظر پيدا شود. معمولي ترين شيوه نمايش كروموزومها در الگوريتم ژنتيک به شكل رشته هاي دودويي است. هر متغير تصميم گيري به صورت دودويي در آمده و سپس با كنار هم قرار گرفتن اين متغيرها كروموزوم ايجاد مي شود .گرچه اين روش گسترده ترين شيوه كدگذاري است اما شيوه هاي ديگري مثل نمايش با اعداد حقيقي در حال گسترش هستند.همچنين يك تابع برازندگي نيز بايد ابداع شود تا به هر راه حل كدگذاري شده ارزشي را نسبت دهد. در طي اجرا, والدين براي توليد مثل انتخاب مي‌شوند و با استفاده از عملگرهاي آميزش و جهش با هم تركيب مي‌شوند تا فرزندان جديدي توليد كنند. اين فرآيند چندين بار تكرار مي‌شود تا نسل بعدي جمعيت توليد شود. سپس اين جمعيت بررسي مي‌شود و در صورتي كه ضوابط همگرايي رآورده شوند, فرآيند فوق خاتمه مي‌يابد.

```
BEGIN
    t=0;
    Initialize P(t);                    {جمعيت اوليه ايجاد مي‌شود}
    Evaluate P(t);                      {عناصر P(0) توسط مقادير برازندگي نشاندار مي‌شوند}

    WHILE شرايط خاتمه ارضا نشده DO

      BEGIN

        t=t+1;
        Select P(t) from P(t-1);        {اجراي عملگر انتخاب و ليست والدين فراهم مي‌شود}
        Crossover P(t);                 {اجـراي عملگر كروسور و ليست فرزندان فراهم مي‌شود}
        Mutation P(t);                  {اجراي عملگر جهش و ليست جمعيت جديد حاصل مي‌شود}
        EvaluateP(t);                   {عناصر P(t) توسط مقادير برازندگي نشاندار مي‌شوند}

      END

  END.
```

جمعيت اوليه

ارزيابی جوابها

آيا جواب مورد نظر حاصل شده؟

پايان

انتخاب

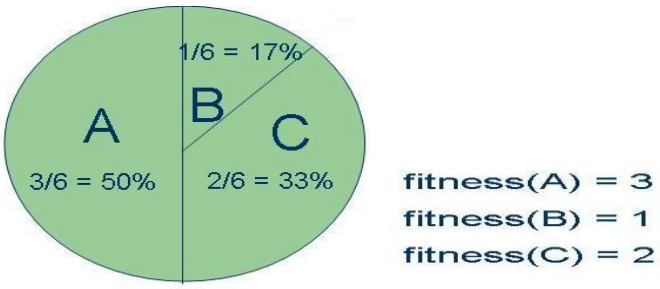
تلفيق
بله
جهش
1+T=T
0=T
خير
شروع

شكل 5 كد برنامه مجازي الگوريتم ژنتيک ساده و فلوچارت آن

5- روند كلي بهينه سازي و حل مسائل در الگوريتم ژنتيک :

1-5 شروع(Start) : توليد تصادفي يک جمعيت(Population) كه شامل تعداد زيادي كروموزم(روشهاي حل مسئله است) مي باشد.

2-5-صحت و درستي(Fitness): ارزيابي صحت براي تابع f(x) به ازائ هر كروموزوم x درجمعيت.



شكل 6 نحوه ارزيابی تابع شايستگی در چرخ رولت

3-5-ايجاد يک جمعيت جديد(New Population):توليد يک جمعيت جديد با انجام تمامي زير گروههاي زير تا آنكه يک جمعيت جديد ايجاد گردد.

1-3-5 : انتخاب(Selection):انتخاب كروموزومهاي پدر و مادر از جمعيت قبلي با توجه به صحت و درستي آن (Fitness).بطوريكه هر چه Fitnees بهتر باشد (دقت جواب در همگرائي بيشتر باشد) شانس بيشتري براي انتخاب دارد.

2-3-5 :توليد مثل(Crossover):انجام زادو ولد و ايجاد يک نسل جديد.

3-3-5 :جهش(Mutation):مشخص شدن مكان فرزند توليد شده در كروموزوم

4-3-5 :پذيرش(Accepting): جا دادن فرزند جديد در داخل جمعيت.

4-5-جايگزيني(Replace):جايگزيني جمعيت جديد به حاي جمعيت قبلي و مورد استفاده قرار دادن جمعيت جديد در مراحل بعدي الگوريتم

5-5-امتحان: (Test): اگر شرائط مطلوب در حل مسئله ارضا شد اعلام ميكنيم كه به بهترين جواب رسيده ايم و از الگوريتم خارج مي شويم در غير اين صورت به مرحله 2 يعني Fitneess ميرويم و دوباره همين روند را تكرار مي كنيم.

6- شرط پایان الگوریتم

چون که الگوریتم های ژنتیک بر پایه تولید و تست می باشند، جواب مساله مشخص نیست و نمی دانیم که کدامیک از جواب های تولید شده جواب بهینه است تا شرط خاتمه را پیدا شدن جواب در جمعیت تعریف کنیم. به همین دلیل، معیارهای دیگری را برای شرط خاتمه در نظر می گیریم:

1. تعداد مشخصی نسل: می توانیم شرط خاتمه را مثلاً 100 دور چرخش حلقه اصلی برنامه قرار دهیم.
2. عدم بهبود در بهترین شایستگی جمعیت در طی چند نسل متوالی

3. بهترین شایستگی جمعیت تا یک زمان خاصی تغییری نکند.
- شرایط دیگری نیز می توانیم تعریف کنیم و همچنین می توانیم ترکیبی از موارد فوق را به عنوان شرط خاتمه به کار ببندیم.

یک مثال ساده:

ما یک مربع 3*3 داریم که مي خواهيم اعدادي بين 1تا15 را در اين مربع قرار دهيم به طوري كه جمع اعداد در هر سطرو ستون برابر 24 شود.

24= 24= 24= N	N	N
N	N	N
N	N	N
= 24	= 24	= 24

اين مسئله تا حدودي پيچيده است.ممكن است يک انسان بتواند آن را در مدت زماني مشخص حل كند ولي هيچ گاه يک كامپيوتر نخواهد توانست آن رادر مدت زمان كوتاهي با استفاده از اعداد تصادفي حل كند. ولي الگوريتم ژنتيک مي تواند اين مشكل را حل كند.

نسل اول

اولين گام ايجاد كردن يک نسل ابتدايي براي شروع كار است كه شامل تعدادي ژنوم تصادفي است.اين ژنوم ها به صورت باينري(0و1) نشان داده مي شوند. حالا مثال مان:

اول يكسري عدد به صورت تصادفي توليد مي شوند. هر ژنوم يا كروموزوم شامل اطلاعاتي براي هر 9 جاي خالي است .چون اين اعداد مقادير بين 0تا15 دارند مي توان آنها را با 4 بيت يا ژن داده نمايش داد. پس هر ژنوم شامل 36 بيت است.

يک نمونه ژنوم مي تواند به شكل زير باشد:

Bits (Genes)	**0110**	**1100**	**1111**	**1011**	**0100**	**1010**	**0111**	**0101**	**1110**
Values(Traits)	**6**	**12**	**15**	**11**	**4**	**10**	**7**	**5**	**14**

حالابايد به هر ژنوم در مجموعه يک عدد تناسب(Fitness) بنابر تاثير آن در حل مسئله نسبت داد.فرآيند وروش محاسبه اين عدد براي هر مسئله فرق مي كند.انتخاب الگوي مناسب براي مسئله مشكلترين و حساسترين بخش در حل مسئله ژنتيک است.دراين مثال ما اعداد را در مكان هايشان جايگذاري مي كنيم و بررسي مي كنيم كه چقدر با جواب اصلي فاصله دارند.

=33 =25	12	6

=26 33= 25= 26= 15		
10	4	11
14	5	7
= 39	= 21	= 24

مقادير معادل عبارتند از 33و25و26و24و21و39.واضح است كه اين مقادير مسئله را حل نمي كنند.پس بايد مقادير تناسب را براي اين ژنوم محاسبه كرد.براي اين كار ابتدا فاصله هرمجموع را از24 محاسبه كرده،سپس معكوس مجموع تفاصل آنها را محاسبه مي كنيم .

بنابراين درجه تناسب براي اين ژنوم تقريباً برابر 0.033 است.هرچقدر كه اعداد ما به جواب نزديكتر باشند عدد تناسب بزرگتر خواهد شد.اما اگر مخرج ما برابر 0شود چه اتفاقي مي افتد؟ دراين صورت همه اعداد ما برابر 24 شده اند وما به جواب رسيده ايم.

نسل بعدي: دو ژنوم (كروموزوم) به طور تصادفي براي توليد نسل بعدي انتخاب مي شوند. اين اصلي ترين بخش الگوريتم ژنتيک است كه از 3 مرحله تشكيل شده:

1-انتخاب

دو ژنوم به طور تصادفي از نسل قبل انتخاب مي شوند.اين ژنوم ها داراي اعداد تناسب بزرگتري هستند و بعضي صفات آنها به نسل بعدي منتقل مي شوند. اين بدين معني است كه عدد تناسب در حال افزايش خواهد بود.

بهترين روش براي تابع انتخاب(Fitness) در اين مسئله روشي به نام رولت(Roulette) است.اول يک عدد تصادفي بين 0 وعدد تناسب نسل قبلي انتخاب مي شود. تابع انتخاب به صورت زير خواهد بود:

```
RouletteSelection()
{
   float ball  = rand_float_between(0.0, total_fitness);
   float slice = 0.0;

   for each genome in population
   {
    slice += genome.fitness;//مقدار شایستگی هر ژنوم( کروموزوم) با ژنوم های بعدی جمع میشود
    if slice > ball
```

```
        return genome;
    }
}
```

2- تلفيق(Crossover)

حالا دو ژنوم بخشي از ژنهايشان را براي ايجاد نسل بعدي اهدا مي كنند. اگر آنها تغيير پيدا نكنند همانطور بي تغيير به نسل بعدي منتقل خواهند شد.درجه Crossover نشان دهنده اين است كه هر چند وقت يكبار ژنوم ها تغيير پيدا خواهند كرد و اين عدد بايد در حدود 65-85% باشد.

عملگر تغيير در ژنوم هاي باينري مثال ما با انتخاب يک مكان تصادفي در ژنوم براي تغيير آغاز مي شود. بخش اول ژنهاي پدر و بخش دوم ژنهاي مادر با هم تركيب مي شوند(و بالعكس) تا2 فرزند توليد شوند. در زيريک عمل تغيير را مي بينيم.

Before Crossing

0010110110000111011010000 011110010011 **Father**

0101011111010001000010010 010100111110 **Mother**

After Crossing

Child1 011110010011 0101011111010001000010010

Child2 010100111110 0010110110000111011010000

3- جهش(Mutation)

قبل از اين كه ژنوم ها در نسل بعدي قرار بگيرند،احتمال دارد دچار جهش يا تغيير ناگهاني شوند شوند.جهش يک تغيير ناگهاني در ژن است.در ژنهاي باينري اين تغيير به معناي تغيير يک بيت از 0به 1 يا از 1 به 0 است. درجه جهش نشان دهنده احتمال بروز جهش در يک ژن است و تغريباً بين 1-5% براي ژنهاي باينري و 5-20%براي ژنهاي عددي است.

اين روند تا توليد نسل های متعددی ادامه می یابد تا در نهايت به جواب برسيم.

7- برخي از كاربرد الگوريتم‌هاي ژنتيكي

توپولوژي هاي شبكه هاي كامپيوتي توزيع شده.
بهينه سازي ساختار ملكولي شِميايي (شيمي)
مهندسي برق براي ساخت آنتنهاي Crooked-Wire Genetic Antenna
مهندسي نرم افزار
بازي هاي كامپيوتري
مهندسي مواد
مهندسي سيستم
رباتيک(Robotics)
تشخيص الگوو استخراج داده(Data mining)
حل مسئله فروشنده دوره گرد
آموزش شبكه هاي عصبي مصنوعي
ياددهي رفتار به رباتها با GA .
يادگيري قوانين فازي با استفاده از الگويتم هاي ژنتيک.

8- نتيجه گيري

الگوريتم‌هاي ژنتيك الگوريتم‌هايي هستند كه داراي قدرت بسيار زيادي در يافتن جواب مسئله هستند، اما بايد توجه داشت كه شايد بتوان كاربرد اصلي اين الگوريتم ها را در مسائلي در نظر گرفت كه داراي فضاي حالت بسيار بزرگ هستند و عملاً بررسي همه حالت‌ها براي انسان در زمان‌هاي نرمال (در حد عمر بشر) ممكن نيست. از طرفي بايد توجه داشت كه حتماً بين حالات مختلف مسئله بايد داراي پيوستگي مناسب و منطقي باشيم. در نهايت الگوريتم‌هاي ژنتيك اين امكان را به ما مي‌دهد كه داراي حركتي سريع در فضاي مسئله به سوي هدف باشيم. به گونه‌اي كه مي‌توانيم تصور كنيم كه در فضاي حالات مسئله به سوي جواب مشغول پرواز هستيم.