

## GA を用いた高難易度迷路の自動生成システム

大谷 紀子 研究室

1672028 金澤 侑太

### 1. 背景と目的

迷路探索は災害時の要救助者探索にも応用できる重要な研究であり、機械学習に基づく手法も提案されている。機械学習には多様な教師データが大量に必要であり、山下は大量の教師データ用迷路の自動生成手法を提案している[1]。しかし、迷路の難易度を考慮していないため、完成する迷路は簡単なものも多い。より難解な迷路を解けるように学習を進めるには、より複雑な形状の迷路の自動生成が必要である。複雑な形状の迷路を生成する手法の一例として、永田らが提案した遺伝的アルゴリズム (GA) に基づく手法が挙げられる[2]。2 つの迂曲した一本道から両者の特徴を兼ねそなえた道を GA により生成することで、正解路が図柄となる絵画的迷路が作成される。本研究では、機械学習に基づく迷路探索手法の精度を向上させることを目的として、複雑な形状の迷路を自動生成するシステムを作成する。

### 2. システム概要

本システムでは平面上の縦横 10 マスと、マス間の壁で構成される迷路を生成する。複雑な形状の迷路を生成するため GA を用いる。GA とは生物が環境に適応し進化する過程を模倣した最適探索アルゴリズムであり、初期集団生成の際は全マス間に壁がある状態からスタート地点をランダムに決定し、ランダムに壁を消して通路を伸ばす。壁を消す際、通路先端の周囲に空白マスがない場合か、0 から 100 までの乱数が生成中の通路のマス数を下回った場合、該当地点を通路の終点とし、通路の途中から分岐路を伸ばすことを繰り返して通路を生成する。各通路には生成順に 1 から番号を振る。スタートとゴールを含む正解路は通路番号 1 のみで、スタートから到達不能なマスはない。本研究では染色体を  $10 \times 10 \times 2$  の 3 次元配列 *chrom* で表す。*chrom*[*i*][*j*][0]は上から *i* 番目、左から *j* 番目のマスの通路番号を表す。*chrom*[*i*][*j*][1]は上から *i* 番目、左から *j* 番目のマスの役割が 10 の位、接続方向が 1 の位で表された 2 桁の整数である。役割は、通路の始点を 1、始点かつ終点を 2、始点でも終点でもないマスを 3、始点でない終点のマスを 4 とする。接続方向とは、該当マスに侵入する方向である。通路番号 1 の始点が 0、他のマスは上から時計回りに 1 から 4 の番号を振る。本研究では永田らの研究の GA を参考に、迷路を交叉させる。親個体を 2 つ選び、各迷路で座標の近い通路同士を交叉して両方の形質を受け継いだ一本道を生成する。生成した通路の重複部分を削除しつつ重ねて 1 つの迷路とし、到達不能領域を付近の通路に繋げて子を生成する。個体評価では、生成した迷路をトレモー法により 40 回探索したときの探索コストを元に適応度を算出する。トレモー法は一種の総当たり探索だが、本研究では分岐をランダムに選択して探索し、ゴールに到達したら探索を終了する。

返して通路を生成する。各通路には生成順に 1 から番号を振る。スタートとゴールを含む正解路は通路番号 1 のみで、スタートから到達不能なマスはない。本研究では染色体を  $10 \times 10 \times 2$  の 3 次元配列 *chrom* で表す。*chrom*[*i*][*j*][0]は上から *i* 番目、左から *j* 番目のマスの通路番号を表す。*chrom*[*i*][*j*][1]は上から *i* 番目、左から *j* 番目のマスの役割が 10 の位、接続方向が 1 の位で表された 2 桁の整数である。役割は、通路の始点を 1、始点かつ終点を 2、始点でも終点でもないマスを 3、始点でない終点のマスを 4 とする。接続方向とは、該当マスに侵入する方向である。通路番号 1 の始点が 0、他のマスは上から時計回りに 1 から 4 の番号を振る。本研究では永田らの研究の GA を参考に、迷路を交叉させる。親個体を 2 つ選び、各迷路で座標の近い通路同士を交叉して両方の形質を受け継いだ一本道を生成する。生成した通路の重複部分を削除しつつ重ねて 1 つの迷路とし、到達不能領域を付近の通路に繋げて子を生成する。個体評価では、生成した迷路をトレモー法により 40 回探索したときの探索コストを元に適応度を算出する。トレモー法は一種の総当たり探索だが、本研究では分岐をランダムに選択して探索し、ゴールに到達したら探索を終了する。

### 3. 評価実験

本学の 20 代の大学生 13 名を被験者として、アンケート形式で評価実験を実施した。適応度算出法①～⑤と探索コスト算出に用いる条件値の算出法 I～VI のすべての組合せに関して、世代数を 100、個体数を 100 として 10 回ずつ迷路を生成し、適

応度が最高の迷路を被験者に解かせた。適応度算出にあたり、 $i$  回目の試行における迷路  $m$  の 4 種類の探索コスト  $t_1(m, i) \sim t_4(m, i)$  をそれぞれ式(1)～(4)により求める。ここで、 $quartile(T_j)$  は集合  $T_j$  の要素の第一四分位数を返す関数、 $A(m)$  は迷路  $m$  の通路 1 の行程数、 $B_k(m, i)$  は迷路  $m$  の通路 1 以外の  $k$  番目の探索済通路の  $i$  回目の試行における行程数、 $C(m, i)$  は  $i$  回目の試行で得られた迷路  $m$  の条件値を表す。

$$t_1(m, i) = \log A(m)(C(m, i) + \sum_k \log B_k(m, i)) \quad (1)$$

$$t_2(m, i) = 1.01^{C(m, i)}(A(m) + \sum_k 2B_k(m, i)) \quad (2)$$

$$t_3(m, i) = t_1(m, i)(A(m) + \sum_k 2B_k(m, i)) \quad (3)$$

$$t_4(m, i) = A(m)(C(m, i) + \sum_k B_k(m, i)) \quad (4)$$

適応度算出法①～⑤では、式(5)により求められる迷路  $m$  の探索コスト集合  $T_j(m)$  を用いて、迷路  $m$  の適応度をそれぞれ式(6)～(10)により算出する。

$$T_j(m) = \{t_j(m, i) | 1 \leq i \leq 40\} \quad (5)$$

$$fit(m) = quartile(T_1(m)) \quad (6)$$

$$fit(m) = (1/40)(\sum_{i=1}^{40} t_1(m, i)) \quad (7)$$

$$fit(m) = quartile(T_2(m)) \quad (8)$$

$$fit(m) = quartile(T_3(m)) \quad (9)$$

$$fit(m) = quartile(T_4(m)) \quad (10)$$

条件値  $C(m, i)$  の算出法 6 つを以下に示す。迷路探索開始時点で条件値  $C(m, i)$  は 0 とする。

- I. 条件値を 0 とする。
- II. 探索中進行方向を決めるたびに進行可能な方向数から 1 引いた数を  $C(m, i)$  に加算する。
- III. 条件 II を通路番号 1 でのみ適用する。
- IV. 条件 III で分岐を探索後、 $C(m, i)$  を 1 減らす。
- V. 探索中進行方向を決めるときに直前の移動と違う方向だったなら、 $C(m, i)$  に 1 加算する。
- VI. 条件 V を通路番号 1 でのみ適用する。

以下、適応度算出法が①で条件が I という場合を、複合条件①-I と呼称する。被験者には各迷路を難しいと思う度合を 0 から 10 の 11 段階で評価させた。評価値の平均を表 1 に、難易度が最も高いと評価された迷路を図 1 に示す。

表 1：複合条件ごとの難易度評価平均値

		条件					
		I	II	III	IV	V	VI
適 応 度 算 出 法	①	2.8	6.5	4.9	2.7	6.1	6.2
	②	3.1	5.0	4.7	4.9	4.2	4.3
	③	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	1.1
	④	2.1	4.2	3.8	3.7	5.0	3.5
	⑤	2.6	3.8	4.3	3.6	5.5	3.8

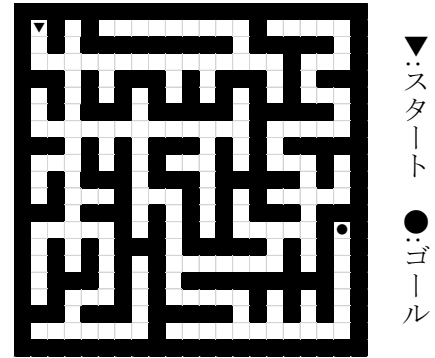


図 1：難易度が最も高いと評価された迷路

#### 4. 考察

最も難易度が高いと評価された複合条件①-II では分岐路の数に応じて適応度が増加するので、正解路に分岐路を多数接続した迷路が高適応度を得る。続いて難易度の評価値平均が大きい複合条件①-VI と複合条件①-V は方向転換するほど探索コストが増加するので、通路は方向転換数を増やし、結果として長大になる。難易度が高いと評価された 3 つの複合条件は共通して条件値が大きくなりやすい。 $B_k(m, i)$  の増大によって  $A(m)$  のもとなる正解路の長さが適応度に強く反映され、正解路が長くなるのが難易度の向上に大きく関係していると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 山下明博, “商用自動迷路生成システムの開発”, 安田女子大学紀要, Vol.46, pp.179-188, 2018.
- [2] 永田裕一, 今宮明則, 小野典彦, “絵画的迷路生成問題に対する遺伝的アルゴリズムの開発と最長経路問題への適用”, 進化計算学会第 12 回進化計算シンポジウム講演論文集, pp.340-344, 2018.