

Human MAPF — difficulty とレーティングの仕組み

2026-09-04 版 · hirokinagai-39.github.io/human-mapf

0. スコアと記号

各ステージ s (マップ × エージェント数 N) について、解のスコアは makespan (全員到着時刻) と total distance (移動歩数の総和。待機は数えない) の 2 つ。プレイヤー i のステージ s での自己ベストを、両者の積で評価する:

$$\text{prod}_{i,s} = \text{makespan} \times \text{distance} \quad (\text{自己ベスト} = \text{prod が最小の投稿})$$

基準値 par は、埋め込みの参考解と人間の最良記録の小さい方:

$$\text{par}(s) = \min(\text{prod}_{\text{参考解}}, \min_i \text{prod}_{i,s})$$

達成度 r とその正規化 y (par 到達で 1、積が 2.25 倍 = 両指標 150% 相当で 0) :

$$r_{i,s} = \frac{\text{prod}_{i,s}}{\text{par}(s)} \geq 1, \quad y_{i,s} = \text{clip}_{[0,1]} \left(1 - \frac{\ln r_{i,s}}{\ln 2.25} \right)$$

1. difficulty (事前値 D_0)

difficulty はプレイヤーの成績に依存しない事前値 D_0 から始まる。 D_0 はソルバー (LaCAM3 / LNS2) の計測だけから決まり、一度公開したら再計測しない。色は 400 刻み (0-399 灰、400-茶、800-緑、1200-水、1600-青、2000-黄、2400-橙、2800-赤)。

1.1 計測する 5 成分

- G (下界比 gap) : LaCAM3 (単スレッド、60 秒、seed 3 本の中央値) の解と、各エージェントの最短距離から得る下界 LB との比。

$$G = \max \left(0, \ln \sqrt{\frac{\text{makespan}}{\text{LB}_{\text{mk}}} \cdot \frac{\text{sum of loss}}{\text{LB}_{\text{soc}}}} \right)$$

- E (anytime 改善) : 60 秒間の解の改善率 + 収束までの秒数/60。 $E = \text{improve} + \text{convSec}/60$
- T (初期解の出にくさ) : LNS2 (8 seed) が初めて衝突 0 に到達するまでの時間 t_k [ms、失敗は 60000] の対数平均。

$$T = \frac{1}{8} \sum_k \log_{10}(1 + t_k)$$

- C (すれ違い不能) : 幅 1 の通路を逆向きに通る正面衝突するエージェント対の数 / N 。
- labor (作業量) : $N \times$ 参考解の makespan。

同じマップでは台数が多いほど必ず難しくなるよう、 G, E, T, C はマップごとに台数の昇順で単調回帰 (PAVA) してから使う。

1.2 合成式

$$H = h_G \ln(1 + G/q_g) + h_E E, \quad S = s_W \max(0, \text{labor} - 14), \quad F = f_T T, \quad X = c_W C^4$$

$$D_0 = \left\lceil \sqrt{H^2 + S^2 + F^2 + X^2} \right\rceil$$

h_G	h_E	s_W	f_T	c_W	q_g
530.260	722.895	0.08774	269.701	11.4904	0.01

重みは基準ステージ（例: Warehouse-hard 50 台 $\approx$ 3000、Bremen 300 台 $\approx$ 赤、各マップ 50 台の色帯）にフィットさせた固定値。

運営による初期値の修正 — 上式は「ソルバーにとっての難しさ」の推定なので、較正範囲を外れるマップ（幅 1 通路が支配的で C^4 が発散する、ソルバーが解を出せず計測不能、状態空間が小さく人間には試行錯誤で解ける等）では、明らかに不適切な D_0 になることがある。その場合は**運営の所感で控えめな初期値に修正**する（計測値は記録として保持）。修正後も §3 のフィードバックで実態に追随する。

2. レーティング

2.1 ステージごとの performance

ステージ s （フィードバック後の難易度 D_s ）に対する絶対評価。 $y' = \text{clip}_{[0.03, 0.97]}(y)$ として

$$P_{i,s}^{\text{abs}} = D_s + 300 + 200 \log_6 \frac{y'}{1 - y'}$$

相対評価はステージ内の順位から。**prod** 昇順の順位（同点は順位の平均。例: 2 位タイ 3 人は全員 $(2+4)/2 = 3$ 位）を ρ_i 、他プレイヤーのレート R_j として、期待順位の式を逆に解く：

$$\frac{1}{2} + \sum_{j \neq i} \frac{1}{1 + 6^{(P_{i,s}^{\text{rel}} - R_j)/400}} = \rho_i$$

P^{rel} は $P^{\text{abs}} \pm 500$ に制限し、参加人数 n で相対評価の重みを減衰させて合成する：

$$P_{i,s} = P_{i,s}^{\text{abs}} + \lambda (P_{i,s}^{\text{rel}} - P_{i,s}^{\text{abs}}), \quad \lambda = \frac{n - 1}{n + 9}$$

2.2 performance の集約

プレイヤーの performance 列 $\{P_1, P_2, \dots\}$ から、各 P_i と $j = 1, \dots, 100$ について

$$Q = \{P_i - S \ln j \mid i, j = 1..100\}, \quad S = 724.4744301$$

を作り、 Q を降順に並べた $q_1 \geq q_2 \geq \dots$ に減衰重みを掛けて足す（ $R = 0.8271973364$ ）：

$$\text{rating} = \sum_{k \geq 1} q_k (R^{k-1} - R^k)$$

400 未満は $\text{rating} \mapsto 400/e^{(400-\text{rating})/400}$ で折り返す。解くほど（良い performance を積むほど）単調に上がり、上限は performance の質で決まる。

3. difficulty のフィードバック

公開後は「レート R の人が成績 y で解いた」という観測で D_s を更新する。ここでは par 到達判定用に $\tilde{y} = \text{clip}_{[0,1]}(1 - \ln r / \ln 2)$ 、実力は rating の集約式でなく減衰付き加重平均（降順の P に重み 0.9^k ）で推定した ability_i を使う。期待達成度を

$$E(R, D) = \frac{1}{1 + 6^{(D-R)/400}}$$

とし、事前値 D_0 を中心にした事後最大化で D_s を求める（ $\tau = 300$ 、 $w_i = n_i / (n_i + 3)$ 、 n_i はその人が解いたステージ数）：

$$D_s = \arg \max_D \sum_i w_i \left[\tilde{y}_i \ln E(\text{ability}_i, D) + (1 - \tilde{y}_i) \ln(1 - E(\text{ability}_i, D)) \right] - \frac{(D - D_0)^2}{2\tau^2}$$

更新は $D \leftarrow \frac{1}{2}D + \frac{1}{2}D^*$ の平滑化つきで、レーティングと難易度は相互依存なので全体を反復して収束させる。 D_s は $D_0 \pm 1200$ の範囲に制限する。

writer 採用ステージの扱い — 作者（writer）自身の記録はステージの順位表と par には残るが、作者本人のレーティング・他プレイヤーの相対評価・上記フィードバックの観測からは除外する。