

アニーリングマシンを用いた空間デザイン

林田梨花 (指導教員：工藤和恵)

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症の流行に伴い、「他者との接触」に気を配った空間デザインが求められてきている。その1例として、避難所における居住区の空間デザインが挙げられる。避難所では、集団生活を送ることから、この「他者との接触」の観点が重要である。一方で、空間資源は有限であるため「出来るだけ人を収容したい」という点もある。そこで本研究では、アニーリングマシンを用いて、「他者との接触」を避けつつ、「出来るだけ人を収容する」という条件を満たす多目的最適化のアルゴリズムを構築した。また、様々な形状の空間に対して実行し、その性能を評価・考察を行った。

2 問題設定

本研究の状況設定は、以下の通りである。対象の空間に対し、1つあたり1人収容のダンボールベッドを設置する。ダンボールベッドは、2 m × 1 m で3面仕切り付きのものを想定する。また、考慮する条件は、「1. 各ダンボールベッドは2 m以上の距離がある(距離を取る)」、「2. 隣り合うベッド同士の入口部が向かい合うことはない(プライバシーを守る)」、「3. 配置個数を最大化」の3点である。

3 定式化

アニーリングマシンはQUBO形式のハミルトンを受け取り、それが最小値を取るような変数の組み合わせを返す。変数は $x_{i\mu}$ を用いる。ここで i はベッドを置く座標を示し、 μ はベッドの状態を示す。つまり、座標 i にベッドを状態 μ で置くなら $x_{i\mu} = 1$ となる。ベッドの状態は、ベッドを置く向きを示しており、「1. ベッド縦向き入口左」、「2. ベッド縦向き入口右」、「3. ベッド横向き入口上」、「4. ベッド横向き入口下」の4種ある。

ハミルトニアンは次式で表される。

$$H = \sum_{i,j} \sum_{\mu_1, \mu_2} J_{i\mu_1, j\mu_2} x_{i\mu_1} x_{j\mu_2} + \lambda_1 \sum_{i,j} \sum_{\mu_1, \mu_2} F_{i\mu_1, j\mu_2} x_{i\mu_1} x_{j\mu_2} + \lambda_2 \sum_i \left(\sum_{\mu} x_{i\mu} - 1 \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 λ_1, λ_2 は制約の強さを表す正の実数である。 $J_{i\mu_1, j\mu_2}$ は座標 i 、状態 μ_1 のベッドと座標 j 、状態 μ_2 のベッドの距離が2 m以上なら1、2 m未満なら0を持つ配列、 $F_{i\mu_1, j\mu_2}$ は座標 i 、状態 μ_1 のベッドの視野に座標 j 、状態 μ_2 のベッドの入口が入っているなら1、入っていないなら0を持つ配列である。

式(1)右辺の第1項は、条件「1. 各ダンボールベッドは2 m以上の距離がある」を満たすための項である。ベッド1(座標 i に状態 μ_1 で置かれたベッド)とベッド2(座標 j に状態 μ_2 で置かれたベッド)間の距離 d について、 $d < 2$ なら1、 $d \geq 2$ なら0を加える。第2項は、

条件「2. 隣り合うベッド同士の入口部が向かい合わない」を満たすための項である。ベッド1(同上)の視野 A (図1)、ベッド2(同上)の入口 e について、 $e \in A$ なら1、 $e \notin A$ なら0を加える。第3項は、「1座標1ベッド状態」になるようにする項である。これにより、条件「3. 配置個数を最大化」も図れる。



図1: 第2項におけるベッドの視野 A

4 結果

性能評価の指標として、「縦向き単純配置」(図2)、「横向き単純配置」(図3)、「最適化配置」の3種で、制約違反せず配置できるベッドの個数の比較を行う。「縦向き単純配置」とは、ベッドを縦向きで端から整列させた配置、「横向き単純配置」とは、ベッドを横向きで端から整列させた配置、「最適化配置」とは前述の式で最適化を行った配置とする。ソルバーは、D-Wave Hybrid Solverを使用した。

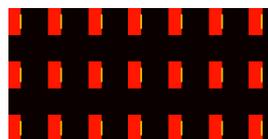


図2: 縦向き単純配置

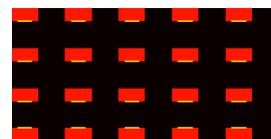


図3: 横向き単純配置

4.1 単純配置と最適化配置の比較

4.1.1 長方形空間

横20 mを固定、縦を10 m ~ 30 mまで1 m刻みで変化させ、制約違反せず配置できるベッドの数の推移を観察した。

図4に示すように、縦向き単純配置は4 m周期で配置数が増加している。これは、ベッドの長辺2 m+ベッドの間隔2 mの4 mの周期である。横向き単純配置は3 m周期で配置数が増加している。これは、ベッドの短辺1 m+ベッドの間隔2 mの3 mの周期である。縦向き単純配置と比較すると、単純配置の配置数が増加する直前の $10+(4 \text{の倍数})$ mの時に最も性能が上がる。逆に、配置数が増加した直後の $10+(4 \text{の倍数})+1$ mの時に最も性能が下がる。この時、縦向き単純配置では、最適化の方が配置数が少ないものや、配置数が変わらないものも見受けられた。横向き単純配置と比較すると、単純配置の配置数が増加する直前の $10+(3 \text{の倍数})+1$ mの時に最も性能が上がる。逆に、配置数が増加した直後の $10+(3 \text{の倍数})+2$ mの時に最も性能が下がる。

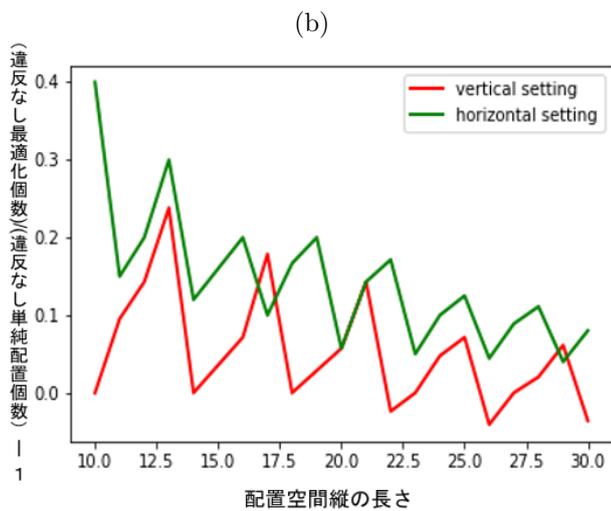
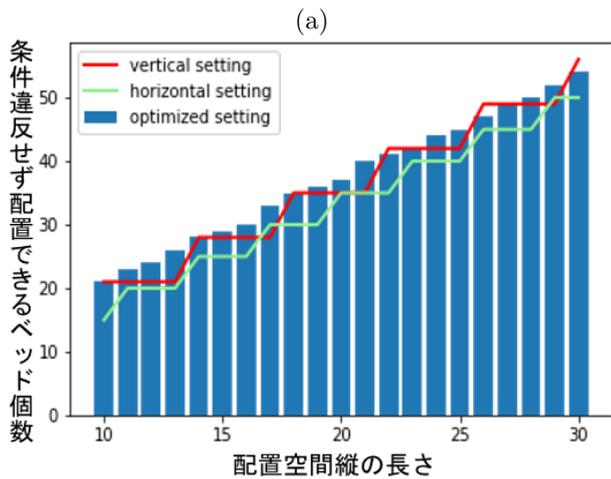


図 4: (a) 条件違反せず配置できるベッドの個数の推移。
(b) 単純配置と比較した最適化配置増加割合の推移。

4.1.2 多様な形状の空間

以下の図 5～図 7 は様々な形状の空間に配置した結果の一部を抜粋したものである。図 6, 図 7 は実在する施設の通路などを参照している [1, 2]。単純配置と比較して、4%～26%ほどの配置数の増加が見られ、長方形空間のように最適化が単純配置を下回るものや同数であるものは見られなかった。非長方形の図形は辺の長さが一定ではないため、線形的に配置数が増加し、一定の性能を出せる最適化の方が安定して配置数を伸ばすことができた。

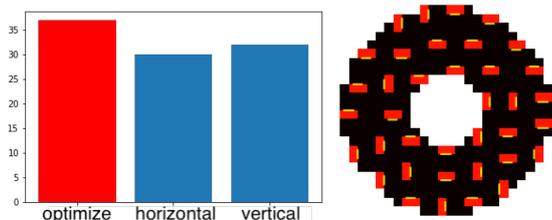


図 5: 円 2 縦配置比較: 16%増, 横配置比較: 23%増

4.2 最適化間での比較

図 8 は [空間の面積 (m²)]/[ベッドの個数] の推移を示したものである。横軸は縦の長さを増加させている。

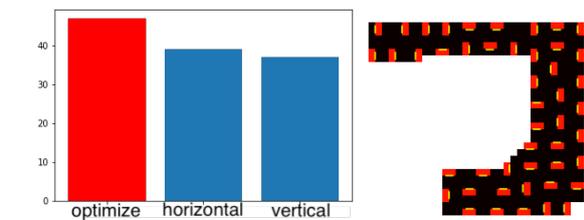


図 6: 廊下 2 縦配置比較: 24%増, 横配置比較: 18%増

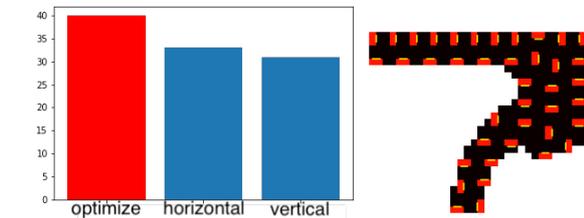


図 7: 廊下 3 縦配置比較: 26%増, 横配置比較: 18%増

図から、全体として増加傾向にあることが分かる。したがって、幅が広がるほど最適化の性能は落ちていくと言える。

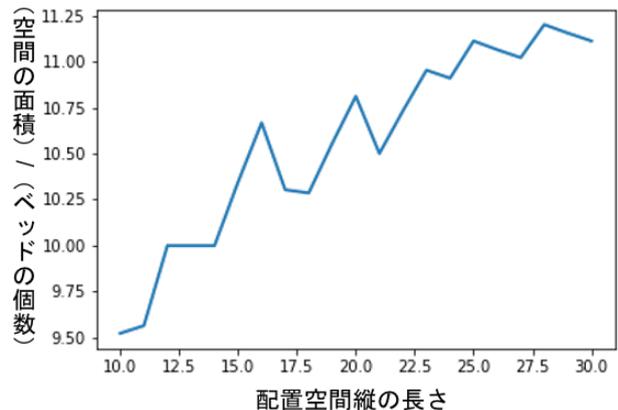


図 8: 長方形を横 20m 縦 10 m～30 m に推移させたもの

5 まとめ

長方形の空間は、ベッドも長方形であることから、単純配置との相性がよく、アニーリングマシンを用いる利益が出にくいと考えられる。非長方形の空間は単純配置との相性はよくないため、前述の通り線形的に配置数が増加し、一定の性能を出せる最適化の方が利益が出やすい。また、幅が狭い空間の方が最適化そのものの性能が上がることから、廊下 2 や廊下 3 といった、非長方形で、細い道が走っているような空間に対しては、アニーリングマシンを用いる方法が特に有用であると言える。

参考文献

- [1] 熊本市ホームページ, 別府公民館(www.city.kumagaya.lg.jp) [2020年12月11日アクセス]
- [2] 橋良町自治会, 新公民館間取り(hashiracyou.dosugoi.net) [2020年12月11日アクセス]