

混合整数二次制約問題に基づく間取りの階層的生成法の基礎的検討

杉浦 順香[†] 伊原 滉也[‡] 佐久間 拓人[‡] 加藤 昇平^{†‡§}

名古屋工業大学 創造工学教育課程 知能情報分野[†] 名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻[‡]
名古屋工業大学 情報科学フロンティア研究院[§]

1 はじめに

建築デザインの分野において AI や機械学習の応用研究は近年注目を集めている。間取り作成は家を作るときに必要不可欠な工程であり、クオリティが高い間取りを作成するには膨大な時間を要する。多くの場合、顧客はハウスメーカーや工務店、建築事務所に間取り作成を依頼する。ハウスメーカーが作成する場合、多くのテンプレートの中から顧客の希望に一番沿うものを選び、そのテンプレート通りに間取りを作成するが、顧客の希望をすべて満たすことは難しい。工務店や建築事務所が作成する場合、建築士が直接顧客とコミュニケーションを取り、顧客の希望通りにオリジナルの間取りを作成するが、作成に膨大な時間がかかる。クオリティが高く、顧客の要望に沿った間取りを作成するには建築士が間取りを作成することが望ましい。しかし、建築士が不足しているため、間取り作成の効率化により建築士の作業時間を短縮することで、建築士の負担を軽減することが期待されている。

間取り候補生成の問題としてレイアウト最適化問題がある。レイアウト最適化問題とは部屋同士が重ならないことや外枠からはみ出さないことなどの制約条件を満たすように部屋を配置する最適化問題である。Wu ら [1] は矩形のレイアウト最適化問題を混合整数二次計画問題として定式化した。部屋を長方形の集合とし、部屋ごとにラベリングすることで矩形以外に L 字型や U 字型を表現できる。部屋の余剰面積を最小化する関数を目的関数とし、制約条件により部屋間の隣接関係や位置を指定できる。また、Hu ら [2] は部屋の配置や隣接関係をグラフ構造で表現した。グラフノードの大きさと部屋の大きさを表し、エッジの長さで部屋間の距離を表す。しかし、これら研究では欧米の間取りの特徴が活かされており、日本の住宅の特徴を考慮していない。そこで本研究では、日本の住宅の間取り設計に多く用いられるゾーニング手法を階層的アプローチで実現する。本稿では研究の基礎的検討として矩形のみの間取り候補生成をする。階層的アプローチをとら

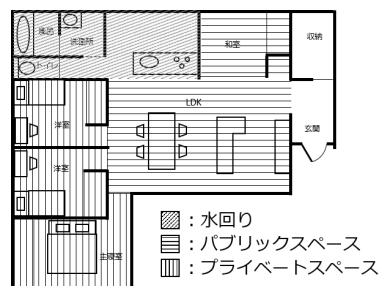


図 1: 日本住宅の間取りの例
ずに生成された間取り候補と比較し、この手法の有効性を検討する。

2 提案手法

2.1 階層的手法

日本の建築士が住宅の間取りを作成するとき、ゾーニング [3] という手法を用いることが多い。ゾーニングとは、エリア開発や敷地配置を考えるときに用いる基本になる手法の 1 つで、似た用途の部屋や施設を近くに配置できるように大まかなエリアを作る手法である。建築物の例を図 1 に示す。この図は代表的な日本の住宅の 4LDK の間取り図である。日本の住宅では似た用途の部屋が近くに配置されることが多く、例えば図 1 では、ダイニングやリビングなどの家族全員が集まるパブリックスペース、寝室や子供部屋などのプライベートスペース、キッチンや風呂などの水回りの大きく 3 つのエリアに分けることができる。ゾーニングをすることで動線がとりやすくなることや、水道の配管を短くでき、水漏れのリスクが減るなどのメリットがある。日本住宅の間取りの特徴を活かすため、ゾーニングしたエリアの配置をもとに、部屋の間取り候補の生成をする。

ゾーニングを実現するために階層的手法をとる。図 2 に示すように、1 層目ではパブリックスペース、プライベートスペース、水回りの 3 つのエリアの配置を生成し、2 層目で各エリアの中での部屋の間取りを生成する。同じゾーンの部屋同士は同じエリア内に必ず配置されるので、似た用途の部屋は近くに配置された間取り候補を生成することができる。

Layered Generation of Floor Plans Based on Mixed Integer Quadratic Constraints Problem: an initial study

Ayaka Sugiura[†], Koya Ihara[‡], Takuto Sakuma[‡], and Shohei Kato^{†‡§}

[†]Creative Engineering, Nagoya Institute of Technology, Japan

[‡]Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Japan

[§]Frontier Research Institute for Information Science, Nagoya Institute of Technology, Japan

Tel: 81-97-594-0181

Email: {sugiura, ihara, sakuma, shohey}@katolab.nitech.ac.jp

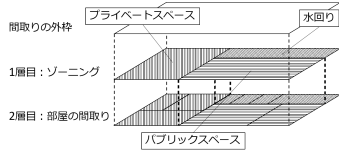


図 2: ゾーニング

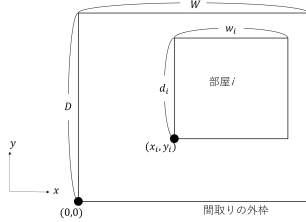


図 3: 定式化

2.2 混合整数二次制約問題 (MIQCP)

混合整数二次制約問題 (MIQCP) とは二次制約問題 (QCP) の 1 つである。QCP は目的関数、制約式ともに非線形式であり、すべての変数が連続である最適化問題である。MIQCP は変数に離散整数が混在する問題である。本研究では Wu ら [1] の研究を参考に MIQCP により、矩形レイアウト問題として定式化をする。部屋は 4 つのパラメータ (x_i, y_i, w_i, d_i) で表現される。ここで、図 3 に示すように、 (x_i, y_i) は左下の頂点の座標、 (w_i, d_i) は横辺、縦辺の長さを示す。x 軸正の方向を右、y 軸正の方向を後ろとする。

目的関数：間取りの余剰面積を最小化する関数を目的関数とする。この目的関数は二次式で定義される。

$$\min \left(W \times D - \sum_i w_i \times d_i \right), \quad i \in N \quad (1)$$

ここで、 W, D は間取りの外枠の横辺、縦辺の長さであり、定数である。

制約条件/Inside 制約：各部屋を外枠内に収まるようにする制約である。

$$\begin{cases} 0 \leq x_i \leq W \\ 0 \leq y_i \leq D \\ 0 \leq x_i + w_i \leq W \\ 0 \leq y_i + d_i \leq D \end{cases} \quad i \in N \quad (2)$$

制約条件/最小面積制約：部屋の面積が最小面積より大きくなるようにする制約である。

$$w_i \times d_i \geq s_i \quad i \in N \quad (3)$$

ここで、 s_i は部屋 i の最小面積であり、定数である。

制約条件/Non-overlap 制約：部屋同士が重ならないように配置する制約である。

$$\begin{cases} x_i - w_j \geq x_j - M(1 - \sigma_{i,j}^R) \\ x_i + w_i \leq x_j + M(1 - \sigma_{i,j}^L) \\ y_i - d_j \geq y_j - M(1 - \sigma_{i,j}^F) \\ y_i + d_i \leq y_j + M(1 - \sigma_{i,j}^B) \\ \sigma_{i,j}^R + \sigma_{i,j}^L + \sigma_{i,j}^F + \sigma_{i,j}^B \geq 1 \end{cases} \quad i \in N \quad (4)$$

ここで、 $\sigma_{i,j}^r$ は部屋 i, j の位置関係を表す二値変数であり、 $\sigma_{i,j}^r \in \{0, 1\}$, $r \in \{\text{Right, Left, Front, Back}\}$ である。 $\sigma_{i,j}^r = 1$ のとき、部屋 i, j の位置関係が r に決定される。また、 M は十分大きい数とし、 $M = W \times D$ としている。

制約条件/アスペクト比制約：部屋の横辺と縦辺の比率を指定する制約である。

$$\frac{1}{\alpha} \leq \frac{w_i}{d_i} \leq \alpha \quad i \in N \quad (5)$$

ここで、 α はアスペクト比の最大値であり、定数である。

3 実験設定

外枠の辺の長さは $W = 50$, $D = 50$, アスペクト比は $\alpha = 5$ で固定とし、部屋の数と最小面積は表 1 に示す範囲でランダムに決定する。基礎的検討として、矩形のみのレイアウトで部屋のパラメータは整数値のみを取ることにする。階層的なアプローチの有無で生成した間取り候補を比較する。それぞれの間取り候補において、部屋の中心間のユークリッド距離の平均値を比較することで、似た用途の部屋が近くに配置されていることを確認する。

表 1: 実験設定

エリア	部屋	部屋数	最小面積
パブリック	リビング	1	300–500
	ダイニング	1	300–500
プライベート	寝室	1–4	200–450
水回り	キッチン	1	300–500
	風呂	1	80–250
	洗面所	1	80–250
	トイレ	1–2	30–70

4 まとめ

本研究で間取り候補の生成手法として階層的アプローチにより、日本住宅の特徴を活かした間取り候補生成を提案した。本稿では基礎的検討として、矩形のみのレイアウトを検討した。今後の検討としては、部屋の隣接関係の指定をすること、廊下や玄関の定義、L 字型、U 字型の部屋の生成、エリアをまたいだ部屋間の位置関係を考慮した最適化手法などがあげられる。

参考文献

- [1] Wu, Wenming, et al.: MIQP-based Layout Design for Building Interiors, Computer Graphics Forum, vol.37, No.2, (2018).
- [2] Hu, Ruizhen, et al.: Graph2plan: Learning floorplan generation from layout graphs, ACM Transactions on Graphics (TOG) vol.39, No.4 (2020)
- [3] 本間至：小さな家の間取り解剖図鑑, 90–135 (2017)