

隣接制約を用いた混合整数二次制約問題による廊下を考慮した間取り生成 Generating Floor Plan Considering Corridor based-on MIQCP with Adjacency Constraint

杉浦 順香¹⁾ 佐久間 拓人²⁾ 加藤 昇平²⁾
Ayaka Sugiura Takuto Sakuma Shohei Kato

1 はじめに

近年、建築デザインの分野で AI や機械学習の応用研究が注目を集めている。間取り作成は家を建てる時に必要不可欠な工程であり、住み心地の良い住宅にするには間取りは重要なファクターである [1] が、そのような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沿う間取りを選び、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、建築士が顧客と直接コミュニケーションをとり、顧客の希望通りにオリジナルの間取りを 1 から作成するが、作成に膨大な時間を必要とする。顧客の満足度が高い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が、建築士は不足している。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る。

間取り候補生成の問題として、数理最適化によるレイアウト最適化がある。この問題は部屋同士が重ならないことや間取りの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 [2] 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 [3] 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で部屋の大きさを表現し、エッジの長さで部屋間の距離を表す。そのグラフをもとに部屋を配置し、重なった部屋の上下関係による複雑な部屋の形を表現でき、上下関係の違いで同じグラフでも複数の間取りを生成できる。しかし、これらの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。従来の手法では廊下を考慮した間取りを生成できなかったが、本稿では隣接関係を表現する制約条件を用いることで複数の部屋と隣接する廊下を考慮した間取り候補生成の手法を提案する。

2 提案手法

- 1) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 創造工学プログラム, Creative Engineering Program, Dept. of Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology
- 2) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻, Dept. of Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

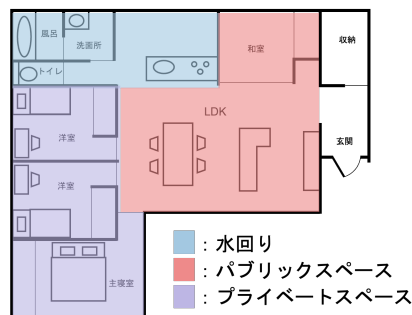


図 1: 日本住宅の間取りの例

2.1 ゾーニング

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 [4] 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の手法の 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 [5] は代表的な日本の住宅の平屋の 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、部屋の間取り候補を生成する。

2.2 廊下

戸建住宅において廊下は動線の中心となる場所であり、廊下の配置を工夫することで部屋間の距離を短くすることができるなど、住み心地の良さに影響する [6]。本研究の手法では部屋間の隣接を指定することにより、廊下の配置を考慮した間取り候補を生成する。同じエリア内の部屋同士を隣接させる場合、隣接関係の指定により、部屋の隣接を実現する。異なるエリアの部屋同士を隣接させる場合、それらのエリア同士の隣接を指定し、部屋をエリア内の端に配置するようにすることで実現する。また、それらのエリアを廊下と隣接し、部屋をエリア内の端に配置することで部屋同士を直接隣接させるのではなく、廊下を挟んだ隣接を考慮した。廊下を介した隣接を考慮することでより廊下を効果的に活用できると考えた。本稿では廊下を 1 つに限定する。

2.3 階層的手法

ゾーニングを実現するための手法として、階層的手法を提案する。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 つのエリアと廊下の配置を生成し、2 層目でそれぞれのエリアの中での部屋の間取りを生成する。同じエリアの部屋同

下に示す.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_i + w_i = X_I + W_I \\
 x_j = X_J \\
 Y_J \leq y_i \leq Y_J + D_J \\
 Y_J \leq y_i + d_i \leq Y_J + D_J \\
 Y_I \leq y_j \leq Y_I + D_I \\
 Y_I \leq y_j + d_j \leq Y_I + D_I \\
 x_i = X_I \\
 x_j + w_j = X_J + W_J \\
 Y_J \leq y_i \leq Y_J + D_J \\
 Y_J \leq y_i + d_i \leq Y_J + D_J \\
 Y_I \leq y_j \leq Y_I + D_I \\
 Y_I \leq y_j + d_j \leq Y_I + D_I \\
 y_i + d_i = Y_I + D_I \\
 y_j = Y_J \\
 X_J \leq x_i \leq X_J + W_J \\
 X_J \leq x_i + w_i \leq X_J + W_J \\
 X_I \leq x_j \leq X_I + W_I \\
 X_I \leq x_j + w_j \leq X_I + W_I \\
 y_i = Y_I \\
 y_j + d_j = Y_J + D_J \\
 X_J \leq x_i \leq X_J + W_J \\
 X_J \leq x_i + w_i \leq X_J + W_J \\
 X_I \leq x_j \leq X_I + W_I \\
 X_I \leq x_j + w_j \leq X_I + W_I,
 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l}
 (\text{when } \delta_{I,J}^R = 1) \\
 (\text{when } \delta_{I,J}^L = 1) \\
 (\text{when } \delta_{I,J}^F = 1) \\
 (\text{when } \delta_{I,J}^B = 1)
 \end{array} \quad (7)$$

廊下を介して隣接させるときの制約を以下に示す.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_i + w_i = X_I + W_I \quad (\text{when } \epsilon_I^R = 1) \\
 x_i = X_I \quad (\text{when } \epsilon_I^L = 1) \\
 y_i + d_i = Y_I + D_I \quad (\text{when } \epsilon_I^F = 1) \\
 y_i = Y_I, \quad (\text{when } \epsilon_I^B = 1)
 \end{array} \right. \quad (8)$$

ここで, (x, y, w, d) は部屋のパラメータ, (X, Y, W, D) はエリアまたは廊下のパラメータとし, 部屋 i はエリア I に属し, 部屋 j はエリア J に属している. $\delta_{I,J}^r$ はエリア I, J の隣接関係, ϵ_I^r はエリア I と廊下の隣接関係を示す二値変数であり, $\delta_{I,J}^r \in \{0, 1\}$, $\epsilon_I^r \in \{0, 1\}$, $r \in \{\text{Right, Left, Front, Back}\}$ である. $\delta_{I,J}^r = 1$ のとき, エリア I, J の隣接の位置関係は r である. $\epsilon_I^r = 1$ のとき, エリア I と廊下の隣接の位置関係は r である.

4 実験

4.1 実験環境

実験は python(3.8) を使用する. 混合整数二次制約問題を解くことができるソルバーとして, gurobi optimization(9.5.0) [7] を使用する. gurobi optimization は世界中の企業や研究機関で採用されている最適化ソルバーであり, 線形問題や混合整数線形問題など様々な問題に対応しており, 変数, 目的関数, 制約条件の式を設定するのみで最適化が可能である. また, CPU は Intel(R) Core(TM) i9-11900T @ 1.50GHz を用いて実験する.

4.2 実験設定

実験条件として 3LDK (9 部屋) の一般的な日本の住宅の間取りと 6LDK (18 部屋) の大規模の間取りを設定した.

表 1: 実験設定/3LDK

エリア	部屋名	最小面積	隣接させる部屋
パブリックスペース	リビング	100	-
	ダイニング	80	個室 1* キッチン*
プライベートスペース	個室 1	70	ダイニング*
	個室 2	70	-
	個室 3	70	-
水回り	キッチン	80	ダイニング*
	トイレ	5	-
	風呂	30	脱衣所
	脱衣所	30	風呂

表 2: 実験設定/大規模の間取り

エリア	部屋名	最小面積	隣接させる部屋
パブリックスペース	リビング	650	-
	ダイニング	600	キッチン* 個室 6*
プライベートスペース 1	個室 1	400	クローゼット 1
	クローゼット 1	100	個室 1
	個室 2	350	クローゼット 2
	クローゼット 2	50	個室 2
	個室 3	300	-
プライベートスペース 2	個室 4	300	-
	クローゼット 4	50	-
	個室 5	300	クローゼット 5
	クローゼット 5	70	個室 5
	個室 6	250	ダイニング*
	キッチン	500	ダイニング*
水回り 1	トイレ 1	50	-
	風呂	200	脱衣所 1
	洗面所 1	200	風呂 1
水回り 2	トイレ 2	50	-
	洗面所 2	200	-

3LDK: 枠の大きさは $W = 40, D = 30$, アスペクト比の最大値を $\alpha = 3$ とした. 部屋の種類, 隣接させる部屋, 部屋の最小面積は表 1 に示す値を設定した.

これらの部屋の面積は一般的な戸建住宅の部屋の相対的な大きさを参考にした. 表 1 中の*は隣接させる部屋が違うエリアに属していることを示す.

大規模: 枠の大きさは $W = 100, D = 80$, アスペクト比の最大値を $\alpha = 3$ とした. 部屋の種類, 隣接させる部屋, 部屋の最小面積は表 2 に示す値を設定した. 表 2 中の*は隣接させる部屋が違うエリアに属していることを示す.

4.3 実験結果

それぞれの実験設定で生成された結果の一例を示す.

3LDK: 異なるエリアに属する部屋同士の隣接制約に式 (7) を用いた間取り候補を図 4, 式 (8) を用いた間取り候補を図 5 に示す.

大規模: 表 2 に示す実験設定の実験結果を示す. 図 6 に式 (7) の隣接制約を用いた間取り候補, 図 7 に式 (8) の隣接制約を用いた間取り候補を示す.

それぞれ 2 層目では隣接させる部屋を同じ色で示した.

4.4 考察

生成された間取り候補を隣接制約の種類によって比較し, 考察する. 図 4 と図 5, 図 6 と図 7 を比較する. 廊下を考慮した図 5, 図 7 の方がより廊下を効果的に活用した間取り候補を作成できたことがわかる. また, 廊下

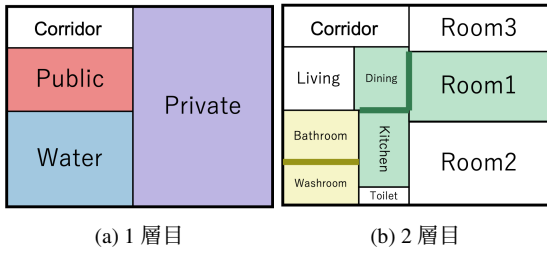


図 4: 3LDK/式 (7) の隣接制約

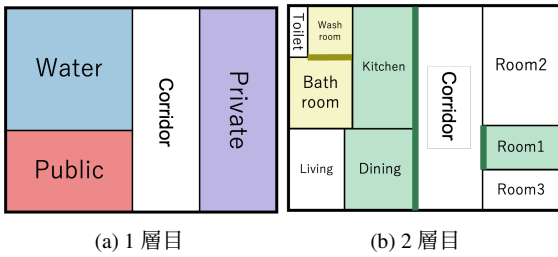


図 5: 3LDK/式 (8) の隣接制約

を介した異なるエリアに属する部屋同士の隣接を用いるとき、1つの部屋と隣接できる部屋数が増えることがわかった。

5 まとめ

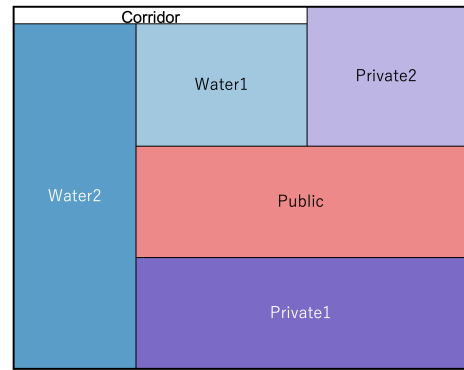
建築設計作業を支援する情報システム開発のため、隣接関係を表現する制約条件を用いることで複数の部屋と隣接する廊下を考慮した間取り候補生成の手法を提案した。廊下の隣接条件を考慮することで、廊下を効果的に活用できる間取り候補生成が可能になった。今後、隣接条件の不完全さを解消することや、柔軟に間取り候補を生成するため、矩形以外のL字型、U字型を考慮すること、複数階の間取り候補の生成、顧客個人の要望を活かした間取り候補生成のために対話型進化計算を活用することなどがあげられる。

謝辞

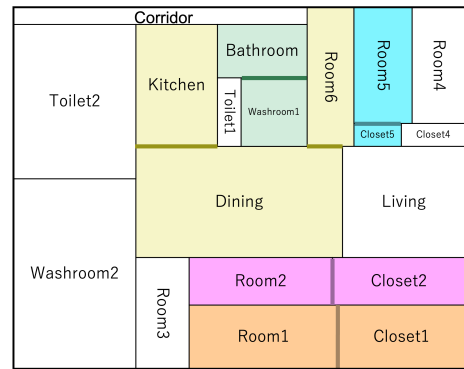
本研究は、一部、文科省科研費 (JP19H01137, JP19H04025, および、JP20H04018) の助成により行われた。

参考文献

- [1] 岸本達也. "集合住宅の住戸の間取りと居住者の生活評価の関連性." 日本建築学会計画系論文集 vol.84, No.755, pp.65-73, (2019)
- [2] Wu, Wenming, et al.: MIQP-based Layout Design for Building Interiors, Computer Graphics Forum, vol.37, No.2, pp.1-11, (2018).
- [3] Hu, Ruizhen, et al.: Graph2plan: Learning floorplan generation from layout graphs, ACM Transactions on Graphics (TOG) vol.39, No.4, pp.1-14, (2020)
- [4] 本間至: 小さな家の間取り解剖図鑑, 株式会社エクスナレッジ, 90-135 (2017)
- [5] 澤井聖一: 間取りのお手本, 株式会社エクスナレッジ 20-21 (2020)
- [6] 石川徹: "情報としての間取り図 間取り図の読解に関する心理学的分析." 都市住宅学, No.66, pp.14-17, (2009)
- [7] Gurobi Optimization, <https://www.gurobi.com/>, (参照日: 2022/6/13)

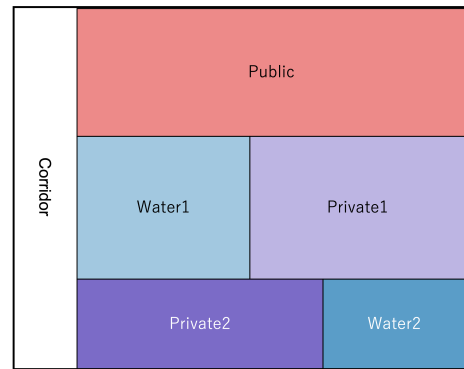


(a) 1 層目

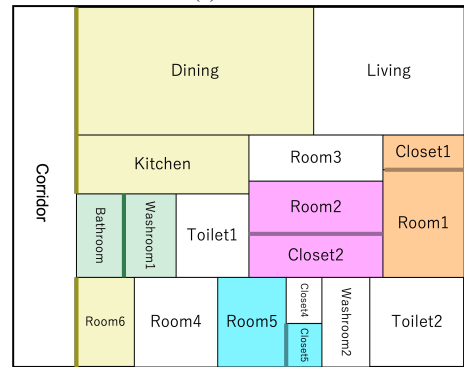


(b) 2 層目

図 6: 大規模/式 (7) の隣接制約



(a) 1 層目



(b) 2 層目

図 7: 大規模/式 (8) の隣接制約