定性的制約を導入したフロアプランニングシステムの設計*

2N－3

市原尚久　大和田勇人　溝口文雄†

東京理科大学　理工学部‡

1　はじめに

フロアプランニング問題は，要求される制約条件を満たすような住宅間取りをどのように設計するかという問題であるが，これは特定のアルゴリズムを持たず，非常に複雑な問題として知られている．我々はすでに制約指向フロアプランニングシステムや，間取りの現実性の為に知識ベースの導入などを提案してきたが，この問題の持つ莫大な計算量から，有効な時間での解決が困難であった．[1] [2].

本論文では，従来の定量的な制約に加えて定性的な制約を利用することにより，高速な間取り設計を可能にしたフロアプランニングシステムを提案する．

2　制約指向フロアプランニング

制約指向フロアプランニングシステムは，制約論理プログラミングにより開発されている．各々の部屋は，位置座標（定量的変数）で表現され，それに様々な制約（制約条件）が与えられ，それらを満たすような部屋の位置座標を解（間取り案）として出力するシステムである．

north,esat...etc 南，東向き等の方位を与える制約

adjacent 部屋と部屋を隣接させる制約

non-overlap 各部屋どうしは重ならないという制約

haswall 通常の部屋は必ず家の壁に接するという制約

部屋 i の位置座標は以下のように表現される．

$$ROOM_i = [X1_i, X2_i, Y1_i, Y2_i]$$

ここで，$X1, X2, Y1, Y2$ はそれぞれ $Width \times Height$ の大きさを持つ部屋の4辺を表わす変数であり以下の制約が与えられる．

$$X1 + Width < X2, Y1 + Height < Y2$$

又，部屋 i,j の隣接制約 adjacent は以下の4つの Or で表現でき，

$$(Y1_i \geq Y2_j, Y1_j \geq Y2_i, X1_i = X2_j) \vee$$

$$(Y1_i \geq Y2_j, Y1_j \geq Y2_i, X2_i = X1_j) \vee$$

$$(X1_i \geq X2_j, X1_j \geq X2_i, Y1_i = Y2_j) \vee$$

$$(X1_i \geq X2_j, X1_j \geq X2_i, Y2_i = Y1_j)$$

制約 non_overlap は以下の4つの Or で表現出来る．

$$X2_j \leq X1_i \vee X2_i \leq X1_j \vee Y2_j \leq X1_i \vee Y2_i \leq Y1_j$$

3　理論的計算量と問題の複雑さ

本節ではフロアプランニング問題における理論的計算量を示す．今，部屋の数が n，制約条件は何も与えられていないと仮定する．この場合，プランニングには n 個の haswall と C_2^n 個の non-overlap が必要になる．各制約は共に4つ（haswall は4以上）の Or で記述されているので，この場合の理論的計算量は以下のようになる．

$$O(4^{n+C_2^N}) = O(4^{\frac{2}{1}(n^2+n)})$$

通常の間取りでは n（部屋の数）は7から12程度であるから，実際の計算量は天文学的な数になることがわかる．

又，仮に制約条件の中に north 等の方位制約が与えられると，haswall の数が減るので計算量は減少するが，隣接制約 adjacent が与えられると，上の計算量にさらに指数オーダーが加わることになり，計算量は増大する．

このように，フロアプランニング問題は非常に複雑であり，その原因は，制約 non_overlap にあると言える．

---

*Incorporating Qualitative Constraints into a Floorplanning System

†Naohisa Ichihara, Hayato Ohwada, Fumio Mizoguchi

‡Faculty of Sci. and Tech., Science Univ. of Tokyo

4　定性的制約の導入

従来のフロアプランニングは定量的な位置座標のみを扱っていたが，本システムではこれに，さらに定性的な情報を扱う方法を取り入れた．

今,n 個の部屋と m 個の外壁 (家の壁) があるとする．各部屋に ID 番号 (1 から n), 各外壁に ID 番号 (1 から m) をつけ，それぞれに定性的情報を意味する定性変数集合を与える．そして，各部屋 i は次のような定性変数集合を持つ．

ここで，各変数はそれぞれ部屋 i の西，東，北，南の壁には何があるかを意味するものであり，$V_$の持つ各数値は 0 は家の壁,1 以上は部屋の ID 番号を意味し，$W_$の持つ各数値は 0 は他の部屋,1 以上は外壁の ID 番号を意味する．つまり，以下のような関係を持っている．

$$V_G = 0 \rightleftharpoons W_G \geq 1$$

$$W_G = 0 \rightleftharpoons R_G \geq 1$$

但し, $G \in \{w, e, n, s\}$.

又，通常の部屋は必ず東西南北の何れかの壁が，家の壁 (0) に接する (制約 haswall) ので，以下のような制約が与えられる．

$$V_w + V_e + V_n + V_s \geq 1$$

$$W_w + W_e + W_n + W_s \geq 1$$

さらに，各制約に，定性的制約を追加する．例えば，定性制約 adjacent の定義は以下のようになる．

$$(V_w^i = j, V_e^j = i, V_n^i, V_s^i \neq j, V_n^j, V_s^j \neq i) \vee$$

$$(V_e^i = j, V_w^j = i, V_n^i, V_s^i \neq j, V_n^j, V_s^j \neq i) \vee$$

$$(V_n^i = j, V_s^j = i, V_w^i, V_e^i \neq j, V_w^j, V_e^j \neq i) \vee$$

$$(V_n^i = j, V_s^j = i, V_e^i, V_w^i \neq j, V_w^j, V_e^j \neq i)$$

又，定性制約 south の定義は以下のようになる．

$$V_s^i = 0, V_n^i \neq 0, W_s = s_i$$

但し，s_iは外壁の ID 番号である．

このような全ての定性変数を具体化することにより，間取りの定性的な状態がおおまかに表現できることになる．

この時，同じ外壁に接した 2 つの部屋と部屋は重なることはほとんど無いので，そのような関係の部屋には制約 non_overlap が必要なくなるのである．

他にも，対面関係などの部屋どうしも多くの場合で必要なくなるので，チェック型 non_overlap (明らかに重ならないと自明な場合は制約をかけない) を用いている．このようにして，定量的制約 non_overlap は「角の部屋をはさんだ 2 部屋」の場合のみ必要になり，全体で数回から数十回程度の non_overlap で十分になるのである．

5　インプリメンテーション

本システムは制約論理型言語 CHIP によりインプリメントされており,CHIP はドメイン変数と呼ばれる変数に離散的な領域を宣言し，制約を与えることの出来る言語である．例えば，定性制約変数 V,W や制約 south は以下のように記述される．

```
qval([Vw,Ve,Vn,Vs],[Ww,We,Wn,Ws],N,M):-
    [Vw,Ve,Vn,Vs]::0..N,[Ww,We,Wn,Ws]::0..M,
    Vw+Ve+Vn+Vs #>= 1,Ww+We+Wn+Ws #>= 1.

south([_,_,Vn,Vs],[_,_,_,Ws],S):-
    Vs #= 0,Vn ## 0,Ws #= S.
```

6　システム評価

本システムは，従来のシステムで 24.617 秒で解決した例題を 0.533 秒で解決した．10 程度の複数の間取り案でも，数秒から 10 数秒で出力される．尚，計算機環境は SPARK10 である．

7　おわりに

本論文では定性的制約を導入したフロアプランニングシステムを提案した．定性的な状態を表現する定性変数と定性的制約を導入することにより，組み合わせ爆発の原因であった制約 non_overlap がほとんど必要なくなり，探索空間を大幅に削減することができ，高速なフロアプランニングシステムが実現された．

参考文献

[1] 大和田，本多，溝口．制約指向フロアプランニングシステムの設計，情報処理学会第 45 回全国大会

[2] 市原，本多，大和田，溝口．知識ベースを取り入れた制約指向フロアプランニングの設計，情報処理学会第 46 回全国大会