事例と制約に基づくインテリアデザインシステム*

泉 龍樹[†]・小野 智司[†]・中山 茂[†]

Case- and Constraint-Based Interior Design System*

Tatsuki IZUMI[†], Satoshi ONO[†] and Shigeru NAKAYAMA[†]

1. はじめに

戸建住宅やマンションなどの個人の住環境におけるインテリアデザインは、家具や内装仕上材などの構成材の選択・配置を行う問題である。ユーザ（居住者）の年代、生活スタイルや嗜好に基づいて、機能的かつ快適な空間を構築するためには、高度なセンス、知識、技術が要求され、専門家を認定する資格制度も存在する。しかし、専門家によるコンサルティングは金銭的・時間的なコストが高いため、より安価で、居住者が主体的にデザインを行えるサービスの需要が高まっている。

本研究では、インテリアデザインにおける家具の選定・配置に注目する。本速報において家具とは、テーブルや棚など、居住者が簡単に移動でき、衣食住に用いる道具を指す。家具選択・配置問題は、予算、来客頻度、居住者の嗜好などのあいまいさを含む情報（コンセプト）に基づいて適切な家具の組合せを求める悪定義¹な要素と、ユーザの部屋に応じて適切な位置に家具を配置する悪構造²な要素を含む。本問題は、遺伝的アルゴリズム [1] などの組合せ最適化法によって解を求めることができるが、ユーザのあいまいな嗜好や条件を反映させるためには、入力条件と家具との関係を、知識や評価関数として定義するか、膨大な回数のユーザへの問合せが必要になる [1]。

本速報では、事例ベース推論（Case-Based Reasoning: CBR） [2,3] と制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem: CSP） [4] の利用により、家具メーカーや販売店が提案するモデルルームをもとに、部屋のコンセプトに適合するインテリアをデザインするシステムを提案する。CSP を利用することで、汎用の解探索アルゴリズムを用いることができるものの、CSP と汎用解法のみでは、ユーザのあいまいな嗜好や条件に基づく家具選択の条件

を、膨大な数の制約として明確化する必要がある。また、CBR を利用することで、ユーザの嗜好と家具との関係を内包した知識としてモデルルームを利用することができるものの、悪構造な家具配置問題を CBR 単体で解くことは困難であり、家具配置を調整する方式を別途開発する必要がある。

提案する方式は、CBR を利用することで、ユーザの要望に最も近いモデルルームで用いられている適切な家具の組合せを得ることができ、CSP と汎用の組合せ探索アルゴリズムによって、適切な家具配置を得ることができる。また、CBR と CSP の併用により、あいまいな知識の実装および家具配置アルゴリズムの開発が不要となり、開発の省力化を図ることができる。

2. 提案するインテリアデザイン方式

2.1 概要

本方式の処理手順を Fig.1 に示す。Fig.1 の左部は CSP と汎用の解探索ソルバを用いて本問題を解く手順であり、右部は CBR を用いて解く手順である。黒い箇所が、本方式の処理手順を示す。

ユーザは、部屋のサイズ、窓、扉などの建具の位置、床や壁などの内装仕上材からなる部屋情報と、色、予算などのコンセプトを入力する（Fig.2）。本方式ではまず、ユーザの入力をもとに、CSP として問題を定式化するとともに（Fig.1①）、CBR によって最も条件に合致するモデルルームを検索する（Fig.1②）。つぎに、検索されたモデルルームの家具選択・配置情報を初期解として、反復改良を行うことによりユーザの部屋に適合した家具配置を求める（Fig.1③）。本方式において、CSP の観点では、CBR は初期解を生成する方式の一つとみなすことができ、CBR の観点では、CSP は事例を適合させる方式の一つとみなすことができる。

Fig.2 のコンセプトにおける基準座面高（Standard sitting height）とは、リビングにおいて居住者がソファやクッションに着座した際の座面の高さを表し、テレビ

* 原稿受付 2006 年 2 月 3 日

[†] 鹿児島大学 工学部 Faculty of Engineering, Kagoshima University; 1-21-40 Korimoto, Kagoshima 890-0065, JAPAN**Key Words:** interior design, case-based reasoning, constraint satisfaction problem.¹問題解決に必要な知識の明確化が困難であること。²問題解決の手順の明確化が困難であること。

Fig. 1 Process flow of the proposed method

Fig. 2 User input data

Room information		Concepts	
Room shape		Attributes	Example
Fittings	Doors	Usage	Living
	Windows	Intuitive concepts	Simple
	Lights		Urban
Materials	Ceiling	Originality	Moderate
	Wall	Colors	Cool
	Floor	Budget	380,000
		Standard sitting height	Chair(low)
		#Inhabitants	2
		Visitors	Rare
Furniture items			
Furniture type	Position	Dir.	
SofaA038	(5,400, 500, 0)	S	
SofaA037	(5,500, 2,900, 0)	N	
DiningTbl26	(2,200, 4,800, 0)	S	
CenterTblA006	(5,500, 1,700, 0)	N	
⋮			

Fig. 3 Case example

やテーブルなどの家具の高さの基準となる。

2.2 事例ベース推論に基づくモデルルーム検索

本方式における事例はモデルルームを表し、属性および家具選択・配置情報から構成される (Fig. 3)。事例の属性は、ユーザの入力項目と同様、部屋の物理的属性およびコンセプトからなる。

ユーザによる入力 I と事例 E との距離 $\Delta(I, E)$ は以下の式で算出する。距離が小さい事例ほど類似しているとみなし、最も Δ が小さい事例 E_N の家具選択・配置情報

を CBR の解とする。

$$\Delta(I, E) = \sum_a \delta(i_a, e_a)$$

i_a, e_a はそれぞれ、 I および E における属性 a の値を示す。装飾性や人工感などの直観的なコンセプトや来客頻度は 5 段階の数値属性として表現し、色や部屋の用途は記号属性として表す。数値属性では、値 v_1, v_2 の距離 $\delta(v_1, v_2)$ を以下の式で算出する。

$$\delta(v_1, v_2) = \left| \frac{v_1 - v_2}{v_{\max} - v_{\min}} \right|$$

$v_{\max}$ は属性における値の最大値、 $v_{\min}$ は最小値である。記号属性では、値が一致した場合に $\delta(v_1, v_2) = 0$ とし、そうでない場合は 1 とする。

2.3 制約充足パラダイムに基づく家具配置

家具配置問題では、家具の型番、位置、方向を変数とし、その値の組合せを探索する。本方式で利用する制約の例を Table 1 に示す。必ず満たされなければならない強制制約と、満たされることが望ましい弱制約の 2 種類の制約を用いる。

本方式で反復改善に用いる制約違反数最少化戦略に基づく山登り法 (Min-Conflicts Hill-Climbing: MCHC) に基づく探索アルゴリズムを Fig. 4 に示す。MCHC における初期解 S_i は、CBR が出力したモデルルームにおける家具の型番、位置、方向とする。まず、すべての強制制約を満たす解候補 S_f を求める。強制制約の違反を起こしている変数のなかからランダムに一つの変数を選択し、強制制約の違反数 V_S を減少させる値を貪欲法により選択する。 V_S が減少するか変化しない場合は、選択した値を割り当てる。上記の処理を、 V_S が 0 となる解 S_f を発見するまで繰り返す。つぎに、 S_f をもとに弱制約の違反数を最少化する値組を求める。 S_f を探索する場合と同様

Table 1 Examples of constraints

ID	Constraints	Type
C _{s1}	A furniture item must be in a room.	Strong
C _{s2}	At least 800mm width space must be free in front of functional faces of furniture.	Strong
C _{w1}	A chair should face a table.	Weak
C _{w2}	Two items should keep the same distance as the distance in the model room.	Weak

Fig. 4 Iteration algorithm based on MCHC

Fig. 5 Model room examples

Fig. 6 Example of furniture placement progress

に、弱制約に違反している変数のなかからランダムに一つの変数を選択し、 $V_S = 0$ で弱制約の違反数 V_W を減少させる値を貪欲法により選択する。 V_W が増加しない場合は値を割り当てる。一定ステップ T_s の間 V_W が減少しなかった時点で探索を打ちきり、最終解 S_o を出力する。

3. 実行例

試作したシステムにより、実際にリビングダイニングの家具選択・配置を決定する例を示す。市販されている家具を550個、モデルルームを37個用意した。CBRにおいて参照する属性は、Fig. 2の表におけるコンセプトの9属性とした。MCHCでは、家具の種類の変更は行わず、家具の位置および方向のみを変更するものとし、位置は30[mm]単位、方向は90度単位で調整を行った。 T_s は15とした。

家具配置の対象となる部屋 R_U およびコンセプトをFig. 2のように入力した。事例ベースを検索すると、Fig. 5に示すモデルルーム R_{M1} が最も類似した事例であり($\Delta(R_U, R_{M1}) = 0.50$)、モデルルーム R_{M2} が2番目に類似していると検索された($\Delta(R_U, R_{M2}) = 1.00$)。様々な色の家具を含むモデルルーム R_{M3} は、最も類似していない事例であった($\Delta(R_U, R_{M3}) = 2.83$)。よって、 R_{M1} がCBRの出力となり、 R_{M1} における家具を R_U に配置すると、Fig. 6(a)のように矢印で示された4個の家具が、部屋の中に正しく設置されないなどの7件の強制制約違反を起こしてしまう。 R_{M1} を初期解とし、MCHCを用いた反復改善を行うことで、Fig. 6(b)に示すように、強制制約の違反がない解を得ることができたものの、ソファの背面にテーブルが置かれてしまっている。弱制約を考慮した反復改善を行うことで、Fig. 6(c)に示すように、ユーザの部屋に適合した適切な家具配置を得ることができた。

9人の被験者が本システムを利用したところ、 $\Delta(I, E_N)$ 、家具数、 S_i における V_s 、 S_f および S_o における V_w のそれぞれの平均はTable 2のようになった。また、PC/AT

互換機(CPU: Pentium4 3.6GHz, RAM: 2GB)を利用した場合の処理時間は、CBRによるモデルルーム検索に要した時間が1秒未満、MCHCによる反復改善に要した時間の平均が約401秒であった。

Table 2 Experimental results

$\Delta(I, E_N)$	Num. of items	V_S of S_i	V_W of S_f	V_W of S_o
0.9	6.7	7.1	5.8	2.6

4. おわりに

モデルルームを知識として利用し、ユーザの嗜好に基づいて家具の選択および配置を行うインテリアデザイン方式を提案し、システムを試作した。本方式は、既存事例の知識としての利用および汎用ソルバの利用という、CSPとCBRの双方の特徴を活かし、開発労力の省力化を実現する問題解決方式である。今後、システムの実装を継続するとともに、被験者による主観評価をもとに本システムの実用性を評価する。

謝 辞

家具の形状データをご試供頂いたTIS(株)殿に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 是永, 萩原: 対話型進化計算法によるインテリアレイアウト支援システム; 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 11, pp. 3152-3160 (2000)
- [2] R. Schank, A. Kassand and C. Riesbeck: *Inside Case-Based Explanation*, Lawrence Erlbaum (1994)
- [3] B. Bartsch-Sporl and M. Lenz: Case-based reasoning: Survey and future directions; Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1570, pp. 67-89 (1999)
- [4] 西原: 制約充足問題の基礎と展望; 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 351-358 (1997)