

対話型進化計算に基づく 3 次元シーン生成システムとそのユーザ評価

赤瀬龍也[†] 岡田義広[‡]

九州大学大学院システム情報科学府[†]

九州大学附属図書館付設教材開発センター[‡]

1. はじめに

筆者らは、対話型進化計算(IEC)を用いて 3 次元シーンを自動生成するシステムを開発した。また、IEC の問題点であるユーザの評価疲労を軽減するために、
1) 適応度関数に対する人間工学制約の組み込み
2) エリート個体を用いた集団の補正
3) コンジョイント分析によるユーザ嗜好抽出を行った。本稿では、最初に提案システムの報告を行い、次に IEC における評価個体数、世代数とユーザ満足度の関係性について考察する。

家具配置やオフィスレイアウトの提案には 3 次元シーンがよく用いられる。しかし、3 次元シーンの生成はオブジェクトの選択や位置決め、親子関係定義、照明設定など多くの要素を調整する必要があるため、多大な労力を要する作業である。従って 3 次元シーン生成を支援し、誰もが容易に 3 次元シーンの生成や活用を行えるシステムを研究開発する必要がある。

主な屋内 3 次元シーン自動生成手法として、

- 1) 現実世界のシーンを 3 次元スキャナやカメラで取得し、シーンを再構築する手法[1,2]
- 2) 既存のシーンデータを合成し、新たなシーンを生成する手法[3]
- 3) 制約条件と確率的アルゴリズムを用いてシーンを最適化する手法[4]

が提案されている。また、IEC を用いてユーザの嗜好や感性をシーン生成に反映する研究も存在する[5]。一方で、本研究のように 3 次元形状特性とシーン全体の制約、及びユーザの嗜好を統合し、実用的な評価回数でシーンの最適化を行う研究報告は少ない。

本研究では、プラットフォームに依存しない Web ベースの 3 次元シーン生成システムを構築し、複数のユーザによるシステム評価実験を行った。この結果、本システムは 3 次元シーンを自作する場合に比べ作業量が少なく容易であるという評価結果を得た。

2. 適応度関数に対する人間工学制約の組み込み

本研究では、ユーザ評価時の疲労軽減と現実的なレイアウト生成のために以下のコスト関数で定義される 4 種類の人間工学制約(図 2)を用いた[4,6]。

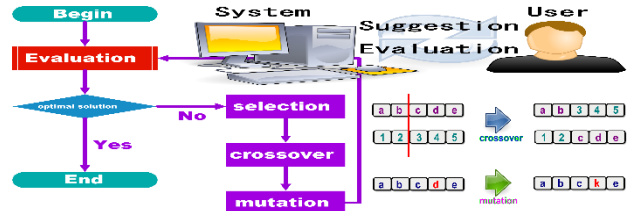


図 1: 対話型進化計算(IEC)

IEC はユーザの嗜好に基づく主観的評価によって求める解を最適化する手法である。ユーザはシステムが提案する解に対して評価を与える作業を繰り返す。本研究では IEC を実装するために、遺伝的アルゴリズム(GA)をベースとした IGA を使用した。



図 2: 人間工学制約

[左]: アクセシブルスペース制約 (家具間の距離を適切に保つ)

[中央]: ビジブルスペース制約 (テレビ画面や絵画の可視性を保つ)

[右]: ペア距離制約・角度制約 (組合せ可能な家具のペア関係を保つ)

$$C_a = \sum_i \sum_j \sum_k \max \left[0, 1 - \frac{\|M_i - A_{jk}\|}{M_{di} + A_{djk}} \right] \quad (1)$$

$$C_v = \sum_i \sum_j \sum_k \max \left[0, 1 - \frac{\|M_i - V_{jk}\|}{M_{di} + V_{djk}} \right] \quad (2)$$

$$C_{pd} = \|Pd_{ij} - \overline{Pd_{ij}}\| \quad (3)$$

$$C_{pa} = \|\theta_{ij} - \overline{\theta_{ij}}\| \quad (4)$$

ここで、 C_a はアクセシビリティコスト、 M_i は自身の中心座標、 M_{di} は自身の対角線の長さ、 A_{jk} は他の家具(椅子等) j が持つ各アクセシブルスペース k の中心座標、 A_{djk} はアクセシブルスペースの対角線の長さを表す。また同様に、 C_v はビジビリティコスト、 V_{jk} は他の家具(テレビ等) j が持つ各ビジブルスペース k の中心座標、 V_{djk} はビジブルスペースの対角線の長さを表す。これらのコストは他の家具が自身のスペース内に入るほど値が増加する。さらに、 C_{pd} 、 C_{pa} はペア距離制約コスト、角度制約コストを表す。 $\overline{Pd_{ij}}$ と $\overline{\theta_{ij}}$ はセマンティックデータベース(ペア関係の距離や角度を定義したデータ群)で保持するペア j との距離と角度を表す。ペアコストは事前定義のペア関係と現在のペア関係が異なるほど値が増加する。本研究では、これらのコスト関数を基にコスト値の最小化とユーザ評価値の最大化を最適化の方向とする適応度関数を設計した。

IEC Based 3D Scene Generation System and Its User Evaluations

[†] Ryuya Akase: Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.

[‡] Yoshihiro Okada: Innovation Center for Educational Resource, Kyushu University Library.

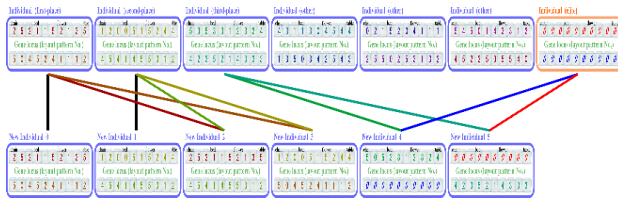


図3: エリート個体を用いた集団の補正

親集団はユーザーが評価済みの個体とコンジョイント分析によって最適と判断されたエリート個体から構成される。親集団内で適応度が高い上位2個体に対してコピーと一点交叉を適用する。また、3番目の個体とエリート個体に対して一点交叉を適用する。

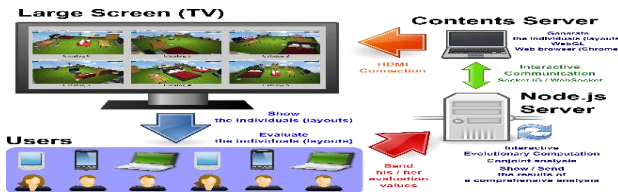


図4: Webベース3次元シーン生成システム

本システムは複数ユーザーによる同時評価を行うことができる。ユーザーは手元の端末（ブラウザ）を用いて、スクリーンに表示される個体に対して評価を与える。サーバは評価値を基に次世代を生成する。

3. Webベース3次元シーン生成システム

3.1 エリート個体を用いた集団の補正

通常の IEC (IGA) では、最適解を得るために最低でも 10~20 世代程度の進化回数が必要とされる[7]。しかしこの場合、1 世代当たりの個体数(集団)を 8 個体とすると、ユーザは 80 回以上の評価を要求される。従って、実用的なシステムにするためには進化回数を抑える必要がある。本研究では、この問題に対処するためにエリート個体を用いた集団の補正手法を導入した(図 3)。この補正により集団内の最悪個体群(4 個体)が、より適応度が高くなると予測される個体群と入れ替わる。ここで入れ替えた個体は、次世代の評価で高評価を得た場合、集団の収束に貢献する。また逆に、高評価を得られない場合は淘汰される。

3.2 コンジョイント分析によるユーザ嗜好の抽出

コンジョイント分析とは、顧客が製品選定の際にどの特性を重視するかを把握する手法である。本研究では、コンジョイント分析結果をエリート個体の選択と、制約条件の重みづけ係数に対して適用する。以下に処理手順と適応度関数を示す。

- 1) ユーザは、システムから提示される完成予想レイアウト(コンジョイントカード)に対して事前評価を与える。
- 2) システムはユーザ評価特性を分析し、最も評価値が高くなると予測されるレイアウトをエリート個体として選択する。
- 3) システムは特性の重要度を計算し、重要度を適応度関数($F | 0 \leq F \leq 1$)における制約条件(c)の重みづけ(w)として用いる。

$$F = (1 - p)(\sum_i w_i * c_i) + p * U \quad (5)$$

ここで、 p はユーザ評価に対する重みづけ係数、($U | 0 \leq U \leq 1$)は各ユーザ評価値の相加平均から標準偏差を引いた値を表す。

表1: ユーザ評価実験条件

被験者数	7名	評価得点	1点(不満) - 5点(満足)
突然変異確率	50%	個体数	6個体, 8個体, 10個体
制約条件数	4	進化回数(上限世代)	5世代
ユーザ評価重みづけ係数	0.5	ブラウザ(スクリーン側/ユーザ側)	Chrome Canary 30 / 任意

表2: ユーザ評価実験で得られたコンジョイント分析結果

この結果から、ユーザは照明特性を最も重視していたことが分かる。システムは分析結果からユーザ評価の予測モデル式を導出する。

特性	水準	効用値	重要度(%)
照明	明るい 暗い	0.77 -0.77	47.78
家具数	多い 少ない	0.05 -0.05	3.33
規則性	有り 無し	0.41 -0.41	25.56
装飾品数	多い 少ない	0.38 -0.38	23.33

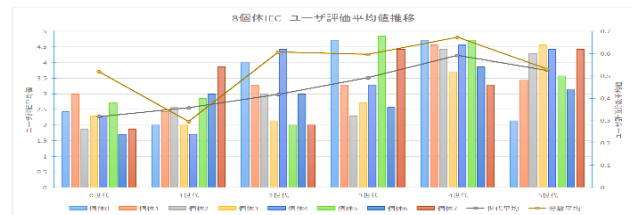


図5: 8個体 IECにおけるユーザ評価平均値と分散の推移結果

この結果から、各個体に対するユーザ評価の平均値は IEC の進行と共に上昇していることが分かる。また、5 世代目ではユーザ評価値の分散が低下し、各個体の適応値もほぼ収束している。

4. ユーザ評価実験結果及び考察

ユーザ評価実験は、上限進化回数(世代数)を 5 世代、1 世代当たりの個体数を 6 個体、8 個体、10 個体に設定し、計 3 回行った。この結果、8 個体の場合で満足度が最も高く、10 個体の場合で最も満足度が低いという評価を得た。また、上限進化回数に関しては 7 割の被験者が適切であると回答した。さらに、8 割の被験者が本システムは 3 次元シーンの生成手法として有用であると回答した。以上から、実用性を考慮すると 40 回程度の評価が妥当であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、シーン全体の制約とユーザの嗜好を統合した Web ベース 3 次元シーン自動生成システムを開発し、システムの有用性を確認した。今後は多様性の向上や、IGA 以外の IEC アルゴリズムの導入検討を行う予定である。

参考文献

- [1] Nan, L., Xie, K. and Sharf, A., "A search-classify approach for cluttered indoor scene understanding", ACM Transactions on Graphics, vol. 31, no. 6, Article 137, 2012.
- [2] Shao, T et al., "An interactive approach to semantic modeling of indoor scenes with an RGBD Camera", ACM Transactions on Graphics, vol. 31, no. 6, Article 136, 2012.
- [3] Fisher, M et al., "Example-based synthesis of 3D object arrangements", ACM Transactions on Graphics, vol. 31, no. 6, Article 135, 2012.
- [4] Yu, L et al., "Make it home: Automatic optimization of furniture arrangement", ACM Transactions on Graphics, vol. 30, no. 4, Article 86, 2011.
- [5] 是永 基樹, 萩原 将文, "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.
- [6] Akase, R. and Okada, Y., "Automatic 3D furniture layout based on interactive evolutionary computation", Proceedings - 7th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, CISIS 2013, pp. 726-731, 2013.
- [7] Takagi, H. and Pallez D., "Paired Comparison-based Interactive Differential Evolution," The Third Evolutionary Computation Symposium, pp. 245-251, 2009.