

# 深層学習による1階建て住居間取り図の3D化に基づく対話型家具配置体験VRシステム A VR-based Interactive Furniture Arrangement Experience System based on Automatic 3D Modeling of Rooms of Single-story House and Apartment from Floor Plan Images by Deep Learning

情報工学専攻 傅 豪

Information and System Engineering, Hao FU

## 1 序論

新型コロナウイルス感染症は2019年12月に発生が確認されて以降、賃貸不動産マーケットに影響を及ぼし続けている。MMD研究所が2021年6月に実施した調査[1]により、コロナ禍の影響に伴う賃貸物件探しでの利用方法について、非接触式の「物件情報サイト」の利用率は対面式の「不動産会社に直接相談」の44.8%を上回る76.5%と報告されている。また、全宅連と全宅保証協会が2021年1月に発表した調査結果[2]では、部屋探しをする調査対象者が不動産会社に期待するサービスでは、「VRによるオンライン内見」が第3位の29.0%と報告されている。したがって、不動産情報サイトの利用者は、従来のオンライン内見機能より臨場感の強い内見体験への利用意欲が高まっていると考えられる。

また、オンライン内見システムではなく、3次元モデルを用いた家具配置シミュレーション用アプリケーションの利用が考える。この場合、対象の部屋データが用意されていないので、家具配置作業前に利用者自身が部屋の3Dモデリングする必要がある。不動産業者から提供される間取り図をもとに利用者が3Dモデルを作成するので、利用者の知識・経験が部屋の面積や構造部の正確性に影響する。また、家具配置作業の実施では、仮想家具の衝突判定をせずに、仮想家具同士のインタラクティブな操作ができないことが不足点である。これらの問題を解決するためには、間取り情報に基づいて仮想部屋を容易かつ高速に構築した上、実世界の家具配置作業に近い仮想体験をユーザにさせるシステムが必要である。

以上の背景から、本研究は、賃貸新居への入居前の家具サイズの検討と家具搬入作業の効率化を促すシステムの構築を目的とし、深層学習による1階建て住居間取り図の3D化に基づく対話型家具配置体験VRシステムを構築する。目標の達成度を評価するためにユーザ実験を行い、ユーザの部屋の大きさや家具サイズの適合性への理解度向上に関するアンケート調査を実施する。調

査結果で提案システムの使用により肯定的な回答を得られた場合、目標達成とする。

## 2 提案システム

### 2.1 提案システムの概要

提案システムは、仮想部屋構築モジュールと家具配置VR体験モジュールとの2つの仕組みで構成される。仮想部屋構築モジュールでは、深層学習モデルにより取得した間取り図の各部屋要素の2次元領域情報をもとに、VRでの仮想部屋を構築する。家具配置VR体験モジュールでは、HTC VIVE Pro 2とコントローラで構成され、対話性の高い家具配置試行作業の実施を図る。

### 2.2 仮想部屋構築モジュールの詳細

仮想部屋を構築するために、以下の3種別で合計11個の部屋要素は間取り図から認識すべきである。

- **主要構造部**： 壁, 窓, ドア
- **備え付けの家具**： キッチン調理台, 便器, 洗面台, 浴槽, 洗濯機
- **ルームエリア**： バルコニー, トイレ・浴室, ランドリールーム

上記の部屋要素を画像認識するために、本研究では、U<sup>2</sup>-Net[3]を使用する。U<sup>2</sup>-Netは、高い認識性能を持つことに加え、通常版モデルと小規模版モデルの組み合わせ使用により、部屋要素ごとに適切なモデルを適用し、システムの最適化に有用である。この特性を踏まえ、主要構造部は通常版モデルが適用され、備え付けの家具かつルームエリアは小規模版モデルが適用される。

深層学習モデルを学習するために、国立情報学研究所が提供した「LIFULL HOME'S データセット」[4]からの350枚の間取り図をもとに、300枚の訓練データと50枚のテストデータを作成した。学習過程において、NVIDIA RTX 2070(8GBメモリ)のGPUを使用し、最適化アルゴリズムがAdam、学習率が1e-3、バッチサイズが5とした設定で、合計55時間がかかった7

万回程度の学習が行われた。認識結果は、出力テンソルにしきい値処理を行った二値画像として出力する。

そこで、仮想部屋の床面積を実部屋と一致させるために、提案システムでは以下の公式 1 に基づいて、スケール係数を計算する。

$$\alpha = 100 \times \sqrt{\frac{Real\_area}{Inner\_pixel \times 1.05}} \quad (1)$$

上記の公式では、*Real\_area* は不動産情報サイトに記載される実部屋の面積である。*Inner\_pixel* は、間取り図の解像度に応じた主要構造部（ドアを除く）の内側で囲まれた領域内のピクセル数である。

窓の高さの推定について、提案システムでは窓のタイプのみを判定し、通常の腰高窓、バルコニーに隣接する掃き出し窓、トイレ・浴室の窓、ランドリールームの窓、との 4 種類の窓が定義されている。各窓のタイプを正しく判定するためには、各窓の輪郭を直径とする円がいずれかのルームエリアと重なるかにより判断する。

また、備え付けの家具の生成について、家具の位置、サイズ、及び、向きの情報が必要である。位置とサイズは、家具のスケール完了の 2 次元領域の回転を考慮した外接矩形をもとに得られる。向きは、その家具と周囲の障害物との位置関係により判断する。

最後に、壁、窓、及び、ドアの 2 次元領域データから、それぞれの 3 次元メッシュデータに変換し、VR での仮想部屋を構築する。

### 2.3 家具配置 VR 体験モジュールの詳細

家具配置 VR 体験モジュールでは、HTC VIVE Pro 2 と VIVE コントローラを用いた対話的な VR 環境を構築し、家具選択シーンと家具配置シーンで構成される。ユーザは、両シーンの中に家具単品の選択と配置を繰り返す操作で家具配置試行を行う。

「家具選択シーン」では、ユーザは提案システムが提供している 9 種類の合計 69 点の家具から配置希望の家具を選択する。各家具の選択可能なサイズは、日本家具市場におけるその家具の提供サイズにより与えられる。また、配置希望の家具が見つけれない場合、全サイズ（幅/奥行:10cm から 300cm、高さ:10cm から 240cm）のあるキューブは代替品として利用できる。

「家具配置シーン」では、ユーザは仮想部屋中を自由

に動き回りながら、選択した家具の配置を決める。システムは、操作中の家具が他の物体とのオーバーラップ状態により、リアルタイムで家具のテクスチャを切り替え、家具の配置可否を提示する。家具の位置を決める操作方式として、コントローラトラッキングと重力演算方式が利用できる。また、コンバックスツールの使用により、仮想部屋内の任意の 2 点間の距離を測定できる。

そこで、提案システムは歩行可能なシステムであり、VR 酔いに適当な防止対策が必要である。そのため、提案システムでは、ユーザの視野を移動速度の速いほど狭くさせる方法を VR 酔い防止対策とする。

## 3 システム実装

仮想部屋の構築を行うために、ユーザは構築したい部屋の間取り図と床面積情報を入力する必要がある。現段階では、構築完了の平均所要時間は 15.3 秒である。システムの実行様子と使用風景を以下に示す。



図 1 仮想部屋の様子

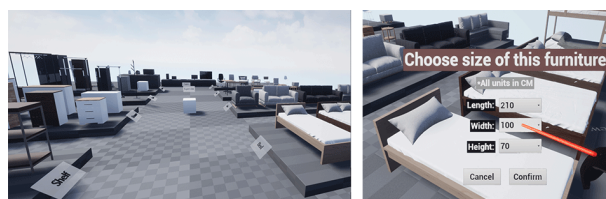


図 2 家具選択シーン



図 3 家具配置シーン



図 4 コンバックスツール



図 5 使用風景

## 4 ユーザ実験と考察

目標の達成度を評価するため、ユーザ実験とアンケート調査を実施した。被験者は理工系大学生及び大学院生7名である。そのうち、過去に家具配置試行アプリの使用経験があるのは1名である。

### 4.1 アンケート結果

まず、VR体験の満足度に関する調査結果を表1に示す。評価は数値が高いほど感覚が強い。

表1 VR体験の満足度に関する調査

質問	1	2	3	4	5
1.1. VR酔いを感じたか	5	1	1	0	
1.2. 目の疲れを感じたか	5	1	1	0	

次に、仮想部屋構築と家具配置試行作業に関する調査結果を表2から表4に示す。評価は数値が高いほど肯定的な評価である。

表2 仮想部屋の構築に関する調査

質問	1	2	3	4	5
2.1. 構築速度は速いと思うか	0	0	3	3	1
2.2. 構築方式の利便性は高いと思うか	0	0	0	5	2
2.3. 仮想部屋のリアルさは高いと思うか	0	0	1	3	3
2.4. 間取りの再現精度は高いと思うか	0	0	0	3	4
2.5. 仮想部屋の再現精度は家具配置作業にとって十分だと思うか	0	0	1	1	5

表3 家具選択シーンに関する調査

質問	1	2	3	4	5
3.1. 選択可能な家具は十分だと思うか	0	0	0	5	2
3.2. 家具のサイズは十分だと思うか	0	0	1	1	5
3.3. 家具のリアルさは高いと思うか	0	0	0	2	5
3.4. 家具サイズの選択方式は便利だと思うか	0	0	0	4	3
3.5. メニューから家具を選択する方式の方が便利だと思うか	0	1	5	0	1

表4 家具配置シーンに関する調査

質問	1	2	3	4	5
4.1. 希望の配置位置に家具を誤差なく配置できたか	0	0	2	3	2
4.2. キャラクターの移動方式は操作しやすいと思うか	0	1	4	2	0
4.3. VR酔い防止対策では、キャラクターの向きを判断しやすいと思うか	0	3	3	1	0
4.4. 仮想部屋内の所在場所を認識しやすいと思うか	0	1	1	4	1
4.5. 家具配置可否の提示方法は直感的だと思うか	0	0	2	0	5

次に、従来システムとの比較による提案システムの使用後の理解度向上と使用意欲に関する調査結果を表5

に示す。評価は数値が高いほど肯定的な評価である。

表5 使用後の理解度と使用意欲に関する調査

質問	1	2	3	4	5
5.1. 仮想部屋構築の利便性向上ができたと思うか	0	0	1	3	3
5.2. 仮想部屋構築の効率向上ができたと思うか	0	0	1	3	3
5.3. 家具配置作業の効率向上ができたと思うか	0	0	0	4	3
5.4. 部屋現地に訪問内見せずに、提案システムの使用のみで家具のサイズと配置を確定できると思うか	0	0	1	4	2
5.5. 今後の引越し時の本システムの使用する意欲はどれくらいか	0	0	0	3	4

### 4.2 評価・考察

#### 4.2.1 VR体験満足度について

表1の項目1.1において、VR酔いを感じた回答が少なく、提案システムで用いたVR酔い防止対策が有効であると考えられる。しかし、項目4.3で比較的に多くの低評価が得られたことで、移動中の視野縮小に伴う向き判断の困難さが高まることが分かった。このため、視野縮小時の最適半径を見つけて、今後の課題である。また、実験を実施した際に、多くの被験者から「配置確認ボタンを押す時の手の震えで、希望の配置位置から少しずれた」という問題点が反映された。表4の項目4.1において、希望の配置位置に家具を配置できなかったという評価が得られたため、提案システムのVRでの操作性をさらに高める必要があると考えられる。

#### 4.2.2 VR環境の構築について

表2の項目2.1と2.2において、ほとんどの被験者から肯定的な回答が得られ、仮想部屋構築の高速化と利便化を促すことができたと言える。また、項目2.4と2.5により、現段階の仮想部屋の構築精度では、信頼性の高い家具配置試行が可能となったと言える。

#### 4.2.3 家具選択シーンについて

表3の項目3.1と3.2において、現段階の選択可能な家具とサイズでは、任意の家具配置を試行できると言える。また、項目3.3において、非常に高評価を得られたことで、提案システムは実世界に近い家具配置体験を与えられると言える。さらに、項目3.5において、被験者から曖昧な回答が得られたため、被験者は家具表示の直感性或いは家具選択の効率性への重視度が異なると見られ

る。したがって、家具表示の直感性が落ちずに、家具選択の効率を向上させる方式の検討が必要である。

#### 4.2.4 家具配置シーンについて

家具配置シーンでのユーザ実験では、家具の上に別の家具を置くような家具同士のインタラクティブな配置を実験した。表4の項目4.1において、ほとんどの被験者が希望の位置に家具を配置できたことから、コントローラトラッキング方式と重力演算方式を組み合わせた利用は有効であると考えられる。したがって、提案システムは従来システムより多様な家具配置操作ができたと言える。しかし、実験実施中の被験者からのフィードバックにより、重力演算方式はVR環境での操作が容易でないことが挙げられた。そのため、壁に家具の自動吸着機能の実装は1つの改善手法として考えられる。一方、項目4.2では1つの否定的な回答が得られたことで、現在のキャラクターの操作方式では、操作の容易さの低下が不足点として挙げられた。そこで、視点移動のために頭を頻繁に回転させることが、低評価が得られた主な要因であると考えられる。このため、ユーザの頭の動きを最小限に抑える工夫は必要である。さらに、項目4.4で1つの否定的な回答が得られたため、ユーザが仮想屋内の所在場所を認識しにくい問題点が挙げられた。最後に、項目4.5において、ほとんどの被験者から肯定的な回答が得られたが、被験者からのフィードバックにより、VIVEコントローラの振動機能を用いてユーザの手に触感的な震えを与えることは、操作性向上の可能な手法であると考えられる。

#### 4.2.5 使用後の理解度について

表5ではほぼ全員の被験者から肯定的な回答を得られたことで、VRの高い臨場感とコンベックスツールの使用により、仮想物体の大きさを明確に把握するには有効である。したがって、本研究の目的である「新居への入居前の家具サイズの検討の効率向上」を達成したと言える。また、項目5.1から項目5.3の質問ではほとんどの被験者から高評価を得られた。このため、提案システムは従来システムより高い利便性と効率を有することが分かる。さらに、項目5.4において、多くの被験者から肯定的な回答が得られたため、提案システムの目標である「住居現地に行かずに遠隔での家具配置試行できるこ

と」を達成したと言える。しかし、被験者からのフィードバックにより、間取りデータのない部屋の再現ができないことは、現段階の提案システムの不足点として指摘された。最後に、項目5.5における被験者の使用意欲の調査結果について、全員の被験者から肯定的な回答が得られたことで、提案システムは新居への入居前の家具搬入作業の効率化に有用であると言える。

以上により、提案システムは本研究の目標を達成したと言える。

## 5 結論

本研究では、間取り図と面積情報に基づく仮想部屋を高精度かつ効率的に構築し、新居への入居前の家具搬入作業の効率化向上を促すVRシステムを提案した。

ユーザ実験の結果から、VRの使用によりユーザに与える負荷は少なく、かつ、ユーザは仮想物体の大きさを直感的に理解できた。また、従来システムとの比較により、家具配置試行の利便性と効率性を向上させた。以上により、本研究の目的を達成したと言える。

## 謝辞

本研究を通じ、懇切丁寧な御指導、御鞭撻、及び多くの御支援を賜りました、中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻牧野光則教授に深く感謝致します。また、よき同僚として御協力いただいた同輩諸氏に御礼申し上げます。最後に、本研究にご支援いただいた国立情報学研究所に感謝致します。

## 参考文献

- [1] MMD 研究所, "コロナ禍での物件・部屋探しに関する調査", [https://mmdlabo.jp/investigation/detail\\_1973.html](https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1973.html) (最終アクセス 2022年2月13日)
- [2] 全国宅地建物取引業協会連合会, 公益社団法人全国宅地建物取引業保証協会, "住居の居住志向及び購買等に関する意識調査", <https://www.zentaku.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/02/2020-fudousan-anke-to.pdf> (最終アクセス 2022年2月13日)
- [3] X. Qin, Z. Zhang, C. Huang, M. Dehghan, O. R. Zaiane, M. Jagersand, "U<sup>2</sup>-Net: Going Deeper with Nested U-Structure for Salient Object Detection", <https://arxiv.org/pdf/2005.09007.pdf> (最終アクセス 2022年2月13日)
- [4] 国立情報学研究所, "LIFULL HOME'S データセット", <https://www.nii.ac.jp/dsc/idr/lifull/> (最終アクセス 2022年2月13日)