

AR (Augmented Reality) のその先

— Noise Canceling Head Mounted Display の実現を目指して —

酒田 信親

Nobuchika SAKATA

先端理工学部電子情報通信課程 准教授

Associate Professor, Electronics, Information and Communication Engineering Course



1. はじめに

現在までの AR (Augmented Reality) システムは基本的には実世界と同じ、または実世界以上の表現力をもった視界の提供を目指していた。これら既存の AR システムが提供する情報支援では、HMD (Head Mounted Display) と頭部装着型カメラ (Head Mounted Camera) を組み合わせたヘッドセットシステムを装着すると「見えなかったものが見えるようになる」といったユーザ視界を強化する手法が一般的であった。これは現在のメガネでいえば近視用にあたるものであると考えられる。一方で、一般的には様々な用途のメガネがある。例えば、サングラスでは「眩しくないように」「角膜を紫外線で傷つけないように」といった使用法である。そこで本研究では、このサングラスのコンセプトを AR ヘッドセットシステムに適用することを考えている。このコンセプトの適用により、「過度の視覚情報で気が疲れないように」「現実の視覚情報で心が乱されないように」「余計な視覚情報を抑えてある対象に集中するように」といった HMD のあたらしい応用が実現できると考えている。

通常の AR 型 HMD と Reduced Reality を導入した NCHMD (図 1) の関係は、近視向けメガネと眩

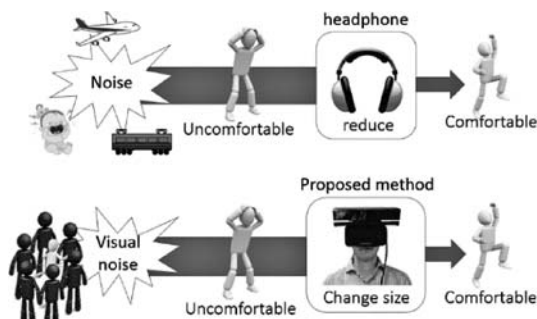


図 1 Noise Canceling Head Mounted Display のコンセプト

しさを減衰するサングラスの関係と似ている。本稿では、ユーザにとって重要性が低い視野領域を減衰するという新しいコンセプトである Reduced Reality を解説する。また、Reduced Reality の概念に基づいて自分の視野をコントロールする研究の一例として、没入型ビデオシースルー HMD システムを開発した (図 3)。このシステムでは、HMD の視野内の人のサイズを仮想的に調整し、不適切な対人距離に起因する違和感を軽減できる。3 章以降で、このシステムに関して詳説する。

ビデオシースルー HMD：通常は HMD を被ると装着者は外の視界を得られないが、自身の目の代わりに小型カメラを HMD の前面に取り付ける。そして、取り付けたカメラからの外の映像と CG 物体

を重畳して HMD 内に提示することで AR を実現する。

2. Reduced Reality

現在、隠消現実感技術 (Diminished Reality, 以下 DR) の発達^{[9][14]}によって、映像中のある対象物がある程度違和感なく消去可能になってきている。しかし、この DR によって単純に視界中の人やモノを消去すると、人やモノとの衝突の危険性が高まると想定される。さらに、例えば「道路標識や看板などの注意書き」「車や自転車などの移動物体」「話かけてきた人」等を消去してしまうと視界から得られる情報が減り、社会生活に支障を来すとも想定される。そこで、視界中の人やモノを単純に消去するのではなく、見え方や存在感を減衰する手法の適用を考えた。

具体的な減衰の実現方法に関しては、初期段階は図 2 右のようなボケ、モザイク、モノクロ処理、縮小表示、半透明の処理を考えている。次段階として、人間の注視の引きつけやすさを表す視覚的顕著性に基づいた減衰処理を実装し、適切な視線誘導が可能な減衰映像を生成する。特に他者から自分に向けられる視線に注目し、それをコントロールすることで自分の視界を意図的に他者からの監視環境下へと設定したり、また、だれも自分に注目していないといった空間に設定したりもする。Reduced Reality のコンセプトに基づき、視覚的ノイズの消去ではなく減衰という手法で、日常生活での衝突などの危険な状況の発生や誘発をさせない。また、図 2 右の様

に減衰しても「情報をなんとなく推測可能」となり周囲の状況変化に気付けることも目指している。

スマートフォンのホーム画面のアイコンの並びやアプリケーション等の設定が個人によって大きく異なるのと同様に、スマートフォンに比べてもよりパーソナルなメディアである HMD は、より個人の嗜好に基づいた情報を表示する事を求められると筆者は予測している。つまり HMD より提供される一人称映像はパーソナルなものなので、将来的に人々は自分の視界、つまり HMD に表示される日常生活の風景を自分でコントロールしたくなるのではないかと考えている。

これまで、このような実世界の視界のカスタマイズは、人が必要とする情報を視界中に重畳するという AR の基本的な概念に沿っており、既存研究では視覚情報を強化・付加するものが多かった。しかし、その個人にとって重要性が低い視界中の領域を視覚的ノイズとし、それらを Reduced Reality のコンセプトに基づいて視覚上で存在感を減衰することは、視覚的なマイナスの情報フィルタリングと捉えられる。現存する例で言えば、電子メールでのスパムフィルタが有用であるのと同様に、Reduced Reality は有用であると考えている。

前述のように従来の AR 型 HMD と Reduced Reality の機能を持つ HMD の関係は、近視向けメガネと眩しさを減衰するサングラスの関係と似ている。このように、AR の研究領域に重要性が低い視覚領域を減衰するという新しいコンセプトを提示可能と考えている。

3. 仮想身体サイズによる対人距離のコントロール

パーソナルスペース (personal space) は、社会生活を円滑に営む上で重要な要素の 1 つである。Robert Sommer は、パーソナルスペースを侵入者が入れないように、その人の身体を取り囲む、見えない境界を持った領域と説明した^[1]。また、その領域は様々な状況に応じて広がったり縮んだりすると



図 2 Reduced Reality の実装方法

述べている。すなわち、自分を取り巻く環境や人が変われば、それにに応じてパーソナルスペースの大きさも変化する^{[2][3]}。また、同じ環境にいる場合でも人によって適切であると感じる距離は異なっている。そのため、常に快適なパーソナルスペースを確保しておくことは困難である。また、エレベータや満員電車などの狭い空間に知らない人と共に入の場合も、自ら動いて対人距離を調節できないため、十分な対人距離が確保できずに不快感を覚えることが予想される。本稿では、このように十分な対人距離を確保できない状況を解決する手段として、拡張現実感の技術を利用する。実世界に対してCGを重畳するARの典型的な特徴を生かした手法は2つ考えられる。1つ目は、ユーザが不快だと感じる距離に存在している全ての人間をユーザの視界内から消してしまう手法である。この手法を用いれば対人距離による不快感は完全に解決できるが、ユーザは視界から消えた人物がどこにいるのかを知ることができない。そのためユーザが他人と衝突する危険があり、日常生活においてこの手法を用いるのは困難であると言える。2つ目の手法は、ユーザ周辺の人物を、ユーザが対人距離による不快感を覚えない人物と視覚的に入れ替えてしまう方法である。この手法を用いた場合、ユーザは周囲にいる人物が本当は誰なのかを判別できないため、適切な対人距離が取れなかったり、不適切な会話によって、適切な社会関係を維持できなくなったりする可能性がある。よってこれらのARを用いた手法による解決では、ユーザが社会生活を円滑に営むことが困難になる可能性がある。本研究では、できるだけこれらの社会関係に影響を与えず、かつ現実感を維持し、そして対人距離から発生する不快感を取り除く手法を目指す。

ユーザの円滑な社会生活を保証したまま対人距離の問題を解決するため、本研究ではヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display：HMD）の視界内で人物サイズを変更することで対人距離を調節する手法を提案する（図3）。

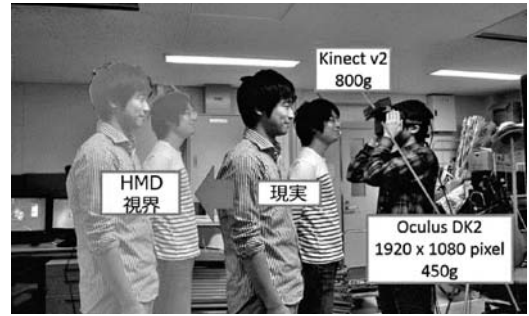


図3 提案システムイメージ図

この手法が有用であるか検証するため、本研究ではHMD（Oculus Rift DK2^[4]Oculus VR社、解像度：1920 x 1080, 450 g）、深度センサとRGBカメラ（Kinect for Windows v2, Microsoft社、深度解像度：512 x 424, RGB解像度：1920 x 1080, 600 g）で構成されたビデオシースルー没入型ヘッドセットシステムを用いる（本稿ではこれを提案システムと呼称する）。

本稿では、提案した手法が有効であるかを検証するため評価実験を行った。ここからは提案システムを用いた実験について説明し、その後実験結果と考察について述べ、最後にこのコンセプトの応用方法の提案を行う。

3.1 関連研究

Bailensonらは、バーチャルリアリティ（Virtual Reality：VR）の環境においても、パーソナルスペースは存在することを確認した^[5]。このことは、本研究で扱おうとしているAR環境においてもパーソナルスペースの概念を持ち込める可能性や、その重要性を示している。

また、鳴海らはクッキーなど食べ物の見た目サイズを変更することで、人の満腹感の調節に成功した^[6]。鳴海らは他にも、中重量物体の明度変更による持ち上げ作業の疲労度軽減^[7]や、クッキーの見た目変更と匂い提示による味覚操作^[8]を実現させている。これらの研究はARを用いて人間の認知操作を行っており、本研究のコンセプトである視覚情報

の改変による距離感の操作の可能性と有効性を示している。

続いて現実世界の物体を隠蔽・除去する隠消現実感 (Diminished Reality: DR) に関する研究を挙げる。ビデオスルー環境における隠消現実感の実現には、消したい物体に重畳表示するための隠背景の観測とモデル化が必要である^[9]。隠背景の取得方法には様々な手法が存在し、隠背景を観測するためのカメラを用意する手法^[10]や、事前に隠背景を取得しておく手法^[11]などがある。清水らは、複数のカメラとデプスカメラを併用することで、遮蔽物体を除去したりリアルタイム合成映像を生成した^[12]。また、本田らはカラー画像と距離画像を組み合わせることで、背景が3次元形状を持つときのスマートフォン上での物体除去を実現した^[13]。森らはビデオ映像内で事前に取得しておいた画像を重畳表示することで平面上の物体を除去している。その際、光学的な整合性に不具合が生じた場合、周囲の色情報を用いることで不具合を解決できるようにした^[14]。限定された状況であれば隠背景を取得せずに周囲から推定することで隠背景画像を作成することも可能であり、単純なテクスチャ上の物体を除去する研究^[15]などが存在している。

これらの映像内の遮蔽物体除去に関する研究は、後述の画像修復において今後一部利用する可能性が高い。DR 研究の遮蔽物体を画像から除去する技術は、本研究の映像内の人物除去に有用である。ただし、上述の研究のような背景モデルの事前取得や複数カメラの事前配置、使用用途の限定は、様々な場所での利用を考慮した場合は困難であると予想されるので、ユーザが装着したデバイスのみでどこでも使えるよう工夫する必要がある。

3.2 提案システム

提案システムは HMD、深度センサ、RGB カメラで構成されたウェアラブルシステムであり (図 4)、単純な画像処理技術を用いて HMD の視界内で人物サイズを変更する。

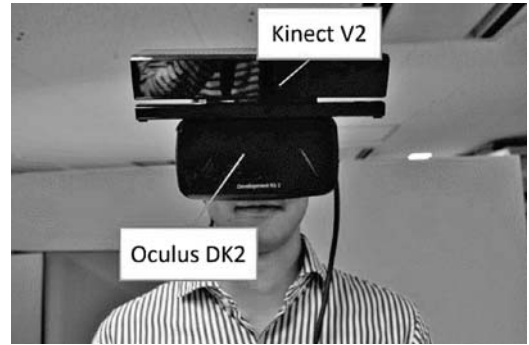


図 4 提案システム装着図

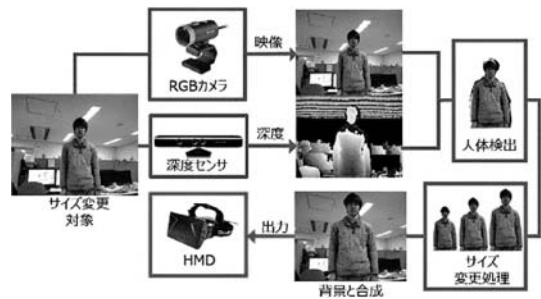


図 5 システム全体の流れ

人物サイズの変更は以下のような手順で実行される。提案システムは、まず Kinect に内蔵された RGB カメラから画像を取得する。次に Kinect で得た深度情報から、Kinect for Windows SDK の人体検出機能によって画像内の人物領域を認識し抽出する。次に人物領域のみに拡大縮小処理を施し、処理後の画像を HMD で出力する。この手順を行うことで、HMD 装着者の視界内で人物の見た目サイズのみが変更される。図 5 に全体の流れを示す。

画像処理にはすべて OpenCV の機能を使用する。単純にサイズを変えたい人物を内包する矩形領域を拡大すると、矩形領域と背景の間で不整合な部分が生じてしまう。そこで、不整合が生じている背景部分に元サイズの背景を再描画することで整合な背景画像を作成した (図 6)。縮小も同様に人物領域を内包する矩形領域を縮小し、非人物領域に縮小前の背景を再描画している (図 7)。しかし、人物サイズを変更すると図 8 左のように、元は人物領域だった部分を背景として再描画しなければならない状況



図 6 拡大時



図 7 縮小時



図 8 人物サイズが変更されると、元の人物画像に隠れていた部分の背景が得られない(左図)。これを解決するため、提案システムでは元の人物画像領域に画像修復を行い補間している(右図の赤線内部)

が発生する。この領域の画素は背景としては何も情報を持たず、このままにすると適切な背景を描画できない。そこで元の人物領域に Navier-Stokes 法ベースで画像修復を行い、周囲の背景画素から画素値を予測して補間している(図 8 右)。補間後の画像は不整合感を緩和した背景画像となっているので、提案システムではこれを提示画像の背景として用いている。

HMD 視界内で人物サイズのみが変更されれば、

サイズに応じてユーザの距離感も変化すると考えられる。これを用いれば対人距離が適切になるよう調節できるため、提案システムは不適切な対人距離から発生する不快感を軽減できると考えられる。

4. 実験

本研究は、ユーザの距離感は HMD 視界内の人物サイズに応じて変化し、対人距離による不快感もそれに伴い変化するという前提に基づいている。静止画においては人物サイズの変化によって印象が変化することが知られている^[16]が、HMD を装着したユーザはディスプレイを通して相手を見るため、印象変化の傾向が異なっている可能性がある。よって、ユーザが HMD に視界映像を提示された時、現実感のある程度維持したまま不快感が人物サイズによって変化するかを検証する必要がある。そこで、提案システムの人物サイズ変更により不快感を軽減可能なことを確認する実験を行う。

4.1 予備実験

初めに、提案システムによりユーザの距離感を調整できるかを確認するための予備実験を行った。予備実験で被験者は 1 人の人物と向かい合い、その人物のサイズを提案システムで変更し、その印象をアンケートで評価した。予備実験の結果から、提案システムが人物サイズを大きくしていくほどユーザはその人物を近く感じ、人物サイズを小さくしていくほど遠く感じる事が分かった。また、5 倍や 0.2 倍など、あまりに極端なサイズを提示した場合は映像に現実感を覚えなくなるという結果も得られた。この予備実験で得られた結果は、提案システムで適切なサイズ変更を行えば、現実感を維持しつつ見た目の対人距離が変更可能であり、不適切な対人距離から発生する不快感を軽減できる可能性を示唆している。

4.2 本実験手順

予備実験により提案システムは距離感を調整でき

るという結果が得られたため、次に不適切な対人距離から発生した不快感が提案システムにより軽減できるかを検証する本実験を行った。また、不適切な対人距離が多発する状況は、混雑した場所など多数の人間が存在している場合が多いと想定されるため、提案システムは複数人に対しても効果を発揮できなければならない。そのため、本実験では同時に2人のサイズを変更した。本実験は以下の手順で行った。なお、実験を通して被験者は提案システムを装着している。

図9に実験風景、図10に実験の流れを示す。

- 1) 被験者はサイズ変更の対象となる人物（以下対象人物）2人と、十分な距離を置いて向かい合う（図9、図10の1コマ目）。
- 2) 被験者が不快だと感じる距離になるまで対象人物が接近する（図10、2コマ目）
- 3) 提案システムを用い被験者の視界内で対象人物のサイズを4段階で変更（図10、3コマ目）、各サイズで手順4）を実行する。
- 4) 被験者は対象人物の印象についてのアンケートに回答する（図10、4コマ目）。

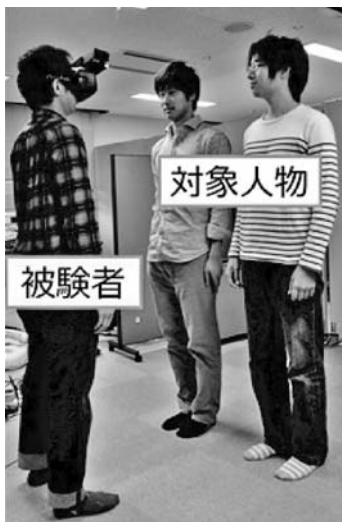


図9 実験風景

- 5) 1)~4) の行程終了後、事後アンケートを行う。

4.3 実験条件

対象人物2人は風貌や身長、威圧感などの不快感を覚える要素を一定にするため、実験を通して同じ人物に固定している。被験者は22~25歳の男性14名、女性1名の計15名である。提案システムによる提示サイズは1.0倍、0.9倍、0.8倍、0.7倍である。これらの倍率は予備実験で被験者が、提示される画像によって現実感を失わないと感じた倍率から決定している。順序効果を考慮し、倍率を提示する順番は被験者ごとに変更した。また、被験者がサイズ変更後の視界に戸惑って評価値に揺らぎが発生す

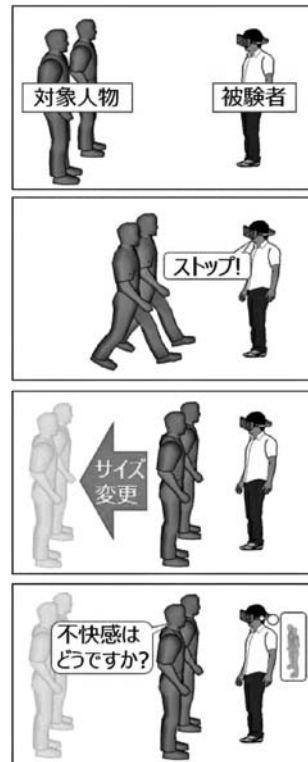


図10 始めに、被験者と対象人物は十分な距離を置いて向かい合う。その後、対象人物は被験者が不快だと感じる距離まで接近する。被験者は提案システムでサイズを変更し、各サイズについて印象に関するアンケートに答える。

るのを防ぐため、被験者にはあらかじめ全てのサイズを一度見せておき、サイズ変更には慣れた状態から実験を行った。印象に関するアンケートでの質問項目は以下のように定めた。

- 不快—不快ではない
- 近い—近くない
- 圧迫感のある—圧迫感のない
- 気まずい—気まずくない
- 邪魔—邪魔ではない
- 現実感のない—現実感のある
- 違和感のある—違和感のない

項目ごとに左を1、右を7として7段階の絶対評価を行う。不快感、近さ、圧迫感、気まずさ、邪魔についての項目は、提案システムの不快感軽減効果を確認するために設定した。現実感と違和感の項目は、サイズを変更していった場合に視界の自然さほどの程度保たれるかを確認するために設定した。

4.4 実験結果

本実験によって得られた評価値をプロットすると、「不快—不快ではない」、「近い—近くない」、「圧迫感のある—圧迫感のない」、「気まずい—気まずくない」、「邪魔—邪魔ではない」の5項目については類似したグラフが得られた。

これらのグラフを図11に示す。なお、横軸は評価値、角括弧は有意差 ($p < 0.05$) を表している。また検定手法にはウィルコクソンの符号順位検定を用いた。各サイズでの評価値を見ると、1.0倍が最も低く、そこからサイズが小さくなるにつれて評価値が上昇していき、0.7倍で最高値を出すという結果が、前述した5項目全てのグラフに認められた。また、事後アンケートで最も快適であった倍率を尋ねたところ、15人中14人の被験者が変更後の倍率である0.9倍、0.8倍、0.7倍を選択した。その内訳は、0.9倍が4人、0.8倍が8人、0.7倍が2人である。なお、変更後の倍率を選択しなかった唯一人の

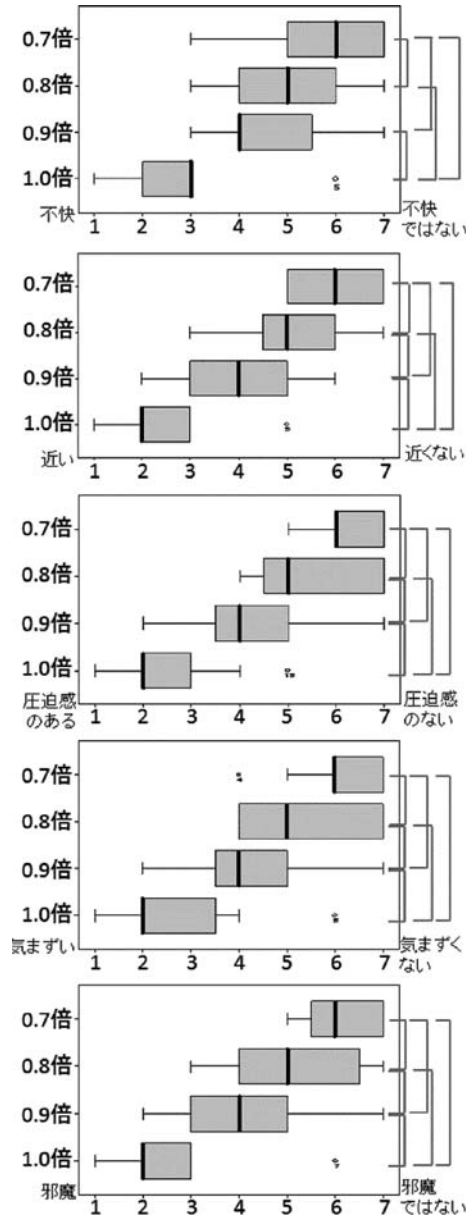


図11 システムの効果に関する項目 (1.0倍時もデバイスを着用)

被験者にインタビューを行ったところ、「どれも変わらない」という回答を得た。また、「システムによって不快感が軽減したか」という質問では14人が「はい」を選択した。

「現実感のない—現実感のある」「違和感のある—違和感のない」の評価値には、前述した5項目とは

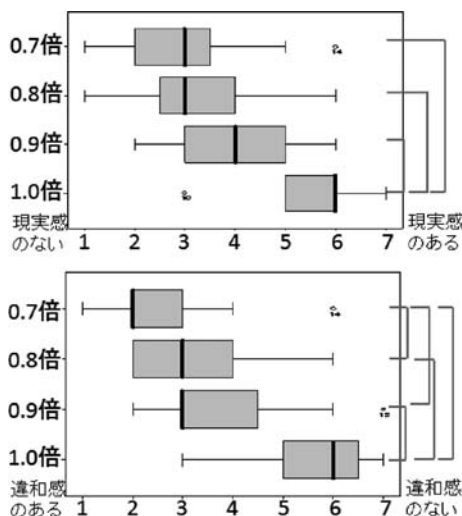


図 12 視界の自然さに関する項目

異なる形で共通の傾向が見られた。図 12 にこれらのグラフを示す。これらの 2 項目については、0.7 倍での評価が最も低く、サイズが大きくなるにつれて上昇していき、1.0 倍で最高の評価値を示すという共通点があった。

5. 考察

提案システムの不適切な対人距離から発生する不快感を軽減する効果を確認するために設定した 5 項目は全て同様の傾向を示し、サイズが小さくなっていくほど評価値が上昇した。この結果から、提案システムは不適切な対人距離により発生した不快感を軽減できると言える。また、対象が複数人であってもその効果は発揮されることが分かった。事後アンケートで、ほとんどの被験者が最も快適な倍率として 1.0 倍以外を選択したことも提案システムにより状況が改善されたことを示している。

提案システムは、現状では非常に簡単な画像処理しか用いていない。それでも不快感を削減できたことに大きな意味があると我々は考えている。今後は、関連研究で挙げた隠消現実感など、高度な技術と組み合わせることができればさらに大きな効果が期待できると思われる。

ただし現在のシステムでは、対象人物が視界から

外れるほど大きく動いたり、システムに正対しない姿勢で写ったりすると人体のトラッキングが外れる場合がある。また、対象人物がユーザから見てほとんど重なった状態で 2 人いる場合もトラッキングが成功しないことがある。システムの効果を向上させるためには人体検出の精度向上が本研究では重要であり、DR 分野等の更なる研究が必要とされる。また、今回使用したビデオスルータイプのヘッドセットシステムは 1 kg ほどの重量があり、これらのハードウェアに関しても未だ実用には技術的課題が多数存在している。本研究の貢献は、人の見た目サイズを変更することで距離感を調節し、現実感をできるだけ維持したまま不適切な対人距離による不快感を軽減するというコンセプトの提示にある。

現実感と違和感の 2 項目では、他の項目と全く逆の現象が見られた。1.0 倍での評価が最も高く、サイズを小さくするほど評価値が下がっていった。先行研究^[17]では現実感の項目にこれほど大きな差は見られず、どのサイズでも似た評価値となっていた。この違いの原因として考えられるのは、使用したデバイスの違いである。本研究で用いたデバイスは、先行研究と比べて解像度とユーザの視野角が向上しており、より現実の視野に近い状態となっている。その結果、絶対評価をしているものの、被験者は 1.0 倍での現実感を基準に他サイズを比較してしまい、相対的に評価値が下がってしまった可能性がある。また、現在のシステムは単眼システムとなっており、両眼視差による立体視を提供していない。今後デバイスの改良を進めて立体視を実現すれば、1.0 倍での現実感さらには向上すると考えられ、他サイズでの現実感も相対的にますます下がっていくと考えられる。そのため、縮小時の現実感を向上させることが今後の課題である。

また、事後アンケートの自由記述の項目で、0.7 倍まで小さくすると距離が遠くなったのではなく、目の前に小さな人がいる感覚になると回答している被験者がいた。ユーザが社会生活を円滑に営むためには、ある程度の現実感が必要であると考えられる

ので、不快感軽減と現実感損失のバランスが取れる倍率を探っていくことも本研究では重要であると考えている。

6. NCHMD の提案

提案コンセプトは、はじめに述べた AR の典型手法とは異なり、ユーザ周囲の情報を大きく損なうことなく対人距離による不快感を軽減できる。そのためユーザの社会生活を阻害する可能性は低く、ユーザが動けない状況だけではなく、歩いている場合への応用にも期待できる。

前章の実験後、被験者にサイズ変更対象に衝突する可能性はあるか尋ねたところ、「その可能性は低い」という感想が複数人の被験者から得られた。衝突の可能性が低いことが今後実証でき、デバイス面での問題が解消すれば、提案コンセプトはユーザが動いている状態でも有効になると我々は期待している。

現状の簡易なシステムでも、複数人を対象に不適切な対人距離を調節する効果が認められたことから、我々は本研究で検証したコンセプトのアプリケーションとして「ノイズキャンセリング HMD」を提案する。近年、ノイズキャンセリングヘッドフォンが実用化され、飛行機の機内や雑踏の中でのストレスを軽減させ、人々の生活を快適にしている。ノイズキャンセリングヘッドフォンは、ユーザが周囲の雑音によって不快感を覚えたときに装着され、雑音を削減することで環境をユーザにとって快適な状態にする。我々は提案したコンセプトを応用することで、それと似た支援が可能になると考えている。ユーザが不快に感じる距離に他人がいる場合、ユーザはデバイスを着用し不快感を軽減し、環境をユーザにとってより快適な状態にできる。これは言わば視覚的なノイズキャンセリングであり、実環境での使用に耐えうるデバイスができれば、「ノイズキャンセリング HMD」として期待できる (図 1)。

7. おわりに

本稿で紹介した Reduced Reality のコンセプトを基に開発された仮想身体サイズによる対人距離のコントロールが可能な NCHMD は、視野中のすべての人を消したりする DR の手法や、他の人に置き換えたりするような典型的な AR の手法とは異なり、視覚情報を大きく変化させることなく、不適切な対人距離による不快感の軽減ができた。

今回の実装では 2015-2016 年当時の技術を使い、深度カメラからの距離情報に基づいて人物領域を切り抜いていた。2022 年現在では、ディープラーニング技術の発展により、学習済みネットワークを使えば、人物領域の切り出しだけでなく、セグメンテーションやラベリングも実時間で行えるため、より高度な NCHMD を実現できると考えている。また今後は、デバイスの大きさや重さの問題が解決できれば、電車や小さなエレベータなどの人混みの中でも使えると期待している。

参考文献

- [1] Robert Sommer: "Studies in Personal Space", *Sociometry*, Vol.22, No.3, pp.247-260, 1959.
- [2] 渋谷昌三: パーソナル・スペースの形態に関する一考察, *山梨医大紀要* Vol.2, pp.41-49, 1985
- [3] 鈴木晶夫: パーソナル・スペースの基礎的研究 (1), *早稲田大学人間科学研究* Vol. 1, No.1, 1988
- [4] Oculus DK2 <https://www.oculus.com/dk2/>
- [5] Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., and Loomis, J. M.: "Interpersonal distance in immersive virtual environments.", *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol.29, No.7, pp.819-833, 2003.
- [6] 鳴海拓志, 伴祐樹, 梶波崇, 谷川智洋, & 廣瀬通孝. (2012). 拡張満腹感: 拡張現実感を利用した食品の見た目の操作による満腹感のコントロール. *Interaction*, 2012
- [7] 鳴海拓志, 伴祐樹, 藤井達也, 櫻井翔, 井村純, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 拡張持久力: 拡張現実感を利用した重量知覚操作による力作業支援, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.17 No.4, pp.333-342, 2012 年 12 月.
- [8] Narumi, T., Kajinami, T., Tanikawa, T., and Hirose, M.

- “Meta cookie.” ACM SIGGRAPH 2010 Posters, 2010, ACM.
- [9] 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題: 現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について (〈特集〉複合現実感5). 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.239-250, 2011
- [10] Zokai, S., Esteve, J., Genc, Y., and Navab, N.: “Multiview paraperspective projection model for diminished reality.”, *Mixed and Augmented Reality*, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium, pp.217-226, 2003
- [11] Cosco, F., Garre, C., Bruno, F., Muzzupappa, M., and Otaduy, M.: “Augmented touch without visual obstruction.”, *Mixed and Augmented Reality*, 2009. ISMAR 2009. 8th IEEE International Symposium, pp.99-102, 2009
- [12] 清水直樹, 橋本昂宗, 植松裕子, 斎藤英雄: デブスカメラを用いたリアルタイム領域抽出による隠消現実感映像生成, 映像情報メディア学会誌 Vol.66, No.12, pp.J 549~J 552, 2012
- [13] 本田俊博, 斎藤英雄: RGB-D カメラによる環境の3次元計測に基づく実時間隠消現実感, 映像情報メディア学会誌 Vol.19, No.2, pp.105-116
- [14] Shohei Mori, Akifumi Komukai, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura: “Effective Use of Planar Structure of Hidden Area and Surrounding Region of Interest in Diminished Reality”, *The Virtual Reality Society of Japan*, Vol 19, No.2, pp.131-140, 2014
- [15] Herling, Jan, and Wolfgang Broll. “Advanced self-contained object removal for realizing real-time diminished reality in unconstrained environments.” *Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2010. 9th IEEE International Symposium on. IEEE, 2010
- [16] 山本真理子: 身長のステレオタイプは存在するか: 身長が対人印象に与える影響について, 筑波大学心理学研究 Vol 17, pp.123-134, 1995
- [17] Maeda Masaki, and Nobuchika Sakata: “Maintaining appropriate interpersonal distance using virtual body size”, In proc of ISMAR 2015, pp 186-187, Fukuoka in Japan, October 2015.