



修士論文

積層化による AR 空間の情報整理
及びインタラクション手法の提案

早稲田大学大学院基幹理工学研究科
情報理工・情報通信専攻

鶴川純一

学籍番号

5115F045-9

提出年月日

2017年1月30日

指導教授

中島達夫

Information Pigeonhole by Layered AR and Methods for Its Interaction

Junichi TSURUKAWA

Thesis submitted in partial fulfillment of
the requirements for the degree of
Master in Computer Science

Student ID 5115F045-9

Submission Date Jan 30. 2017

Supervisor Prof. Tatsuo NAKAJIMA

Department of Computer Science School of
Science and Engineering WASEDA University



概要

情報は整理された状態で認知されるべきである。増え続けていく情報を整理し、ユーザのコンテキストに合わせて提供することが重要である。この点について考える際に、拡張現実環境を用いた情報提示は一つの手法として挙げられる。しかしながら、現状の拡張現実分野では重畳できる情報量に上限があるという問題が挙げられる。表示するインターフェース、つまり画面の表示領域にボトルネックがあるため、画面領域に対して重畳したい情報量が多数ある場合、情報が重なる状態が発生するといった問題や、画面領域に対して重畳情報が占める密度が過剰となる問題が発生する。

本研究では、拡張現実システムにおける情報の整理という観点から見たより良い情報提示の手法として、多層化した拡張現実環境による解決手法を提示した。またレイヤに対するインタラクションについても、シンボルのサイズをベースにして、デバイスとの距離によって決定するという手法を提案した。プロトタイプシステムを用いた評価ではシステム評価およびユーザ評価共に、情報整理や情報への意識・認知と言った点で有効な結果を見出すことができた。拡張現実環境として情報を提示する構造が従来の環境と大きく異なることから、本研究で提示するマルチレイヤ型拡張現実環境に適するケースや適さないケースなどのトレードオフはあるものの、情報整理という点で従来の環境から大きく改善した環境を構築することができた。

目次

図目次.....	3
表目次.....	4
1. 背景	5
1.1 生活を取り巻く情報量の増加	5
1.2 拡張現実(AR)/HMD という選択肢.....	5
1.3 既存の AR/MR/HMD が持つ課題	6
1.4 研究目的	7
1.5 本論文の構成.....	7
2. アプローチ	8
2.1 仮想空間上における情報提示の現状	8
2.2 重畳情報の多層化	9
2.3 レイヤードな情報に対するインタラクション	9
3. 実装	11
3.1 設計方針と目的	11
3.2 シンボルについて	11
3.3 レイヤ化の実現について	12
3.4 プロトタイプアプリケーションについて.....	13
3.4.1 QR 取得ロジック	13
3.4.2 レイヤ情報の実装.....	14
4. 評価	17
4.1 「情報が整理された状態」の定義.....	17
4.2 システム評価.....	17
4.2.1 評価項目 A: 情報量の変化 (過剰な情報のフィルタリング)	17
4.2.2 評価項目 B: 情報のオーバーラップ.....	18
4.3 ユーザ評価	19
4.3.1 ユーザビリティ評価	19
4.3.2 アクセシビリティ評価	20
4.4 評価手順	20
4.4.1 システム評価(項目 A・項目 B)における評価手順	20
4.4.2 ユーザ評価における評価手順	25
4.5 評価環境	29
4.5.1 デバイス	29
4.5.2 アプリケーション開発環境.....	29
5. 結果と考察	30

5.1 評価結果	30
5.1.1 システム評価 - 最大画面占有率(MSOR)について	30
5.1.2 システム評価 - 情報オーバーラップ率(IOR)について	32
5.1.3 ユーザ評価について	33
5.2 考察	40
5.2.1 従来の AR システムとのトレードオフについて	40
5.2.2 情報量のスケールアップとレイヤの深さについて	41
5.2.3 拡張現実の新たな適用フィールドについて	41
6. 今後の課題	43
6.1 マーカレス AR の実現	43
6.2 レイヤへのアクセシビリティの向上	43
6.3 HMD への適用.....	43
7. 結論	44
参考文献.....	45
謝辞	47

図目次

図 1.3.1 AR における情報の過密化 (HERE City Lens).....	6
図 2.1.1 AR アプリケーションでの情報表示例	8
図 2.1.2 一枚板の拡張現実空間モデル.....	8
図 2.2.1 Z 軸が加わった拡張現実空間モデル.....	9
図 2.2.2 スケールの観測による相対的な距離の検知	10
図 3.2.1 QR マーカの一例	11
図 3.2.2 マーカレス AR の例	12
図 3.3.1 初期状態の情報提示例	12
図 3.4.1 アプリケーションイメージ図	13
図 3.4.2.1 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer A).....	14
図 3.4.2.2 重畳され表示されるビュー例 (Layer A)	14
図 3.4.2.3 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer B).....	14
図 3.4.2.4 重畳され表示されるビュー例 (Layer B)	15
図 3.4.2.5 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer C)	15
図 3.4.2.6 重畳され表示されるビュー例 (Layer C)	15
図 3.4.3.1 表示するレイヤを決定するロジック	16
図 4.4.1.1 各シンボル数に対応した簡略配置図.....	20
図 4.4.1.2 重畳領域のイメージ 1 (青矩形内は MSOR)	21
図 4.4.1.3 重畳領域のイメージ 2 (赤矩形内は IOR).....	21
図 4.4.1.4 システム評価のフローチャート	22
図 4.4.1.5 重畳させる情報例 (シングルレイヤ)	22
図 4.4.1.6 Layer A に配置された情報例.....	23
図 4.4.1.7 Layer B に配置された情報例.....	24
図 4.4.1.8 Layer C に配置された情報例.....	24
図 4.4.2.1 プロトタイプアプリケーションに用いる間取り図	25
図 4.4.2.2 ユーザ評価の手順.....	26
図 5.1.1.1 MSOR の推移とシングルレイヤ/マルチレイヤとの比較	31
図 5.1.2.1 IOR の推移とシングルレイヤ/マルチレイヤとの比較	32
図 5.1.3.1 A-1 の結果比較.....	35
図 5.1.3.2 A-2 の結果比較.....	35
図 5.1.3.3 A-3 の結果比較.....	35
図 5.1.3.4 A-4 の結果比較.....	36
図 5.1.3.5 A-5 の結果比較.....	36
図 5.1.3.6 A-6 の結果比較.....	37
図 5.1.3.7 A-7 の結果比較.....	37
図 5.1.3.8 A-8 の結果比較.....	38
図 5.1.3.9 アクセシビリティ評価結果	40
図 5.2.2.1 本ユーザ評価で設定したレイヤ毎のパラメータと基準サイズ.....	41
図 5.2.3.1 不特定多数のユーザに対して情報の選択性を実現できる	42

表目次

表 4.4.2.1 Layer A に関する重畳情報.....	14
表 3.2.2.2 Layer B に関する重畳情報.....	14
表 3.2.2.3 Layer C に関する重畳情報.....	15
表 4.3.1.1 ユーザビリティ評価で検証を行う観点.....	19
表 4.4.1.1 各環境における重畳領域のピクセルサイズ.....	25
表 4.4.2.2 ユーザビリティ評価での質問 (シングルレイヤ).....	26
表 4.4.2.3 ユーザビリティ評価での質問 (マルチレイヤ).....	27
表 4.4.2.4 インタラクティビティ評価での質問.....	28
表 5.1.1.1 シングルレイヤにおける MSOR の推移を示した結果.....	30
表 5.1.1.2 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer A).....	30
表 5.1.1.3 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer B).....	30
表 5.1.1.4 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer C).....	30
表 5.1.2.1 シングルレイヤにおける IOR の推移を示した結果.....	32
表 5.1.2.2 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer A).....	32
表 5.1.2.3 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer B).....	32
表 5.1.2.4 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer C).....	32
表 5.1.3.1 ユーザ評価結果 (ユーザビリティ評価).....	33
表 5.1.3.2 ユーザビリティ評価における被験者からのコメント (原文ママ).....	38
表 5.1.3.3 アクセシビリティ評価の結果.....	39

1. 背景

1.1 生活を取り巻く情報量の増加

情報化社会と呼ばれる現代において、我々の生活にあらゆる種類の情報があふれるようになった。特にここ 10 年によるストレージやコンピューティングリソースの指数的な増加も相まって、情報が常に存在した世の中へと変貌してきていることは間違いないと言えるだろう。情報化社会によって、我々は自らの五感を使った意思決定に加えて、より多くの情報を意思決定の手段として使うようになった。

その一方で、(MIT Media Lab, 2011)によれば、過度な情報量は個人や組織での認知可能な限界を超えてしまうと主張されている[2]。特に昨今の現実社会を見ると、自分の意思決定に必要な情報だけがある世界ではなく、広告や関連のない情報など、あらゆる種類の情報が混在した社会となっていることが分かる。コンテキストに沿わない情報が過度にあることによって人々は没入や意識の分散という問題を抱えるようになり、個人のタスクや行動に負の影響が出て来るといった可能性も否定できない。

情報は整理された状態で認知されるべきである。増え続けていく情報を整理し、ユーザのコンテキストに合わせて提供することによって、没入や記憶において有意なものにすることができるだろう。これを実現する手法の一つとして、(Tsurukawa, 2015)や(Simon, 2002)で議論されているような、不要な情報を認知できないようにフィルタするという方法[1] [15] が挙げられる。(Tsurukawa, 2015)では、ユーザが任意に選択した視界領域を **Region of Significance(RoS)** / **Region of Insignificance(RoI)** という 2 種類に区別し、RoI の画面領域を画像処理によってぼかすことで、RoS への選択的認知を誘発し、任意の領域への認知を支援するシステムである。ここでは、視線移動が、低解像度から高解像度方向へと起こる傾向があるとされる (Grindley, 1968) の研究結果を応用したものである[3]。本システムは視線移動を支援しユーザ評価では有意な結果が見られたものの、やはり視野を部分的に低解像度にするのは慣れるまでのコストが高いという課題も併せていた。情報を整理するという目的を達成しながら、ユーザに対するコストを最小限に抑えられるようなシステムが求められるため、フィルタを行わない別の方法を考える必要があるといえる。

1.2 拡張現実(AR)/HMD という選択肢

増え続けていく情報を整理するという面で有効な手法が拡張現実(AR, Augmented Reality)による情報空間の領域拡大である。AR そのものは現実世界のオブジェクトに対して情報を重畳することで付加的な情報を提供する。

情報を付加するという点で見た時に、AR の持つ性質として特徴的なものとして「視線を維持したまま情報を得られる」という事が挙げられる。従来のように、オブジェクトに対する情報がオブジェクトと離れた場所に存在していると、情報を認知するために視線を移動し再びオブジェクトに視線を戻すといった視覚負荷が掛かる。そのため、意識の分散や没入の低下といった弊害を起しやすいため、それに対して、AR ないしは MR¹のような、物理オブジェクトに対して同じ位置あるいは十分に近い場所に情報を付加することで、上記の問題を解決しユーザのコンテンツに対する没入を高めることに成功している。

AR の応用範囲は多岐にわたり、スマートフォンプラットフォームでの利用にとどまらず、HMD(Head-Mounted Display)への適用により没入感を維持した空間上に、より多くの情報をユーザに提供することが可能となっている。また適用可能な分野に関しても明るく、医療からゲーム、軍事といった広い分野で活用されている技術であるといえる。

情報整理という面での AR では、過去に議論が行われてきている。(Azuma, 2003), (Sato, 2014)らは、AR における View Management として、2D ないしは 3D での AR 空間におけるラベル重畳の最適化について議論して

¹ MR: Mixed Reality (複合現実)の意。AR と VR の両方の特徴を併せ持つ概念。

いる[4] [5] . ここでの最適化としては、重畳する情報がオーバーラップせず、複数の View が存在していたとしてもその情報を完全に表示できている状態を差している。同様に、HMD を使用した付加情報の重畳というコンテキストにおいても、View のレイアウトマネジメントが(Tanaka, 2008)によって議論されている[6] .

1.3 既存の AR/MR/HMD が持つ課題

先述したように、仮想空間上においた情報を AR/MR といったような形で現実世界に重畳させる手法は、情報整理の手法のひとつとして有効であるといえる。しかしながら、これらの技術によって提案されるものには、いまだ課題が存在しているといえることができる。

その一つとして、重畳できる情報量に上限があるということが挙げられる。

現状の拡張現実技術において重畳できる情報量は、表示するインターフェース、つまり画面の表示領域にボトルネックがある。つまり、画面領域に対して重畳したい情報量が多数ある場合、情報が重なる状態が発生するといった問題が存在しているということである。重畳する情報が互いに重なっているという事は、片方の情報がユーザに提示されず欠損している状態である。また、画面領域に対して重畳情報が占める密度が過剰となり、拡張する元の情報そのものが認識しにくい状態となる事も問題としてあげられる。



図 1.3.1 AR における情報の過密化 (HERE City Lens)²

前者の問題に対しては過去の研究[4] [5] [6] で示されているように、重畳するポジションの最適化を行うことによって改善が見込まれる。しかしながら、画面領域がボトルネックとなっている点については解決ができず、情報を整理するという観点では本質的な問題の解決には至っていないといえる。重畳する位置を最適化できたとしても、十分な画面領域がない場合、必然的に密度が高まり情報の重複・欠損が発生する問題は潜在したままとなっている。

拡張現実のユースケースは様々であり、視野そのものを重畳領域にできる Microsoft HoloLens³などを代表する MR デバイスだけでなく、スマートフォンやタブレットといった画面領域が満足でないデバイスでも AR アプリケーションとして広く普及している。こうした状況や情報の溢れる現代において、より情報が整理されるような手法が求められるだろう。

² HERE City Lens <https://www.microsoft.com/ja-jp/store/p/here-city-lens/9wzdncrfhw6f#>

³ Microsoft HoloLens | Official Site <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>

1.4 研究目的

本研究におけるモチベーションは、「提供する情報をより整理された状態にする」ということにある。特に本研究においては、拡張現実(AR: Augmented Reality)における情報整理を扱い、既存の AR における情報密度の問題を解決できるようなプロトタイプシステムを開発する。

情報がより整理された空間を実現するプロトタイプシステムと、それに対するインタラクションを開発する。既存の拡張現実システムと比較し、本システムがもたらす効果や課題を議論し、情報整理を実現するための知見を考察することが本研究の目的である。

1.5 本論文の構成

上記を踏まえた上で、本論文では次の構成に沿って議論を進めていく。まず 2 章では、一般的な拡張現実環境の特性について議論した上で、本研究で構成する拡張現実空間のモデルについて述べていく。また 3 章では実際にプロトタイプシステムを構築する上での実装手法等について述べていく。4 章及び 5 章では、構築した拡張現実構造が有効性を持つかという点について、評価基準を定義し、評価の手法や結果、及びそこから得られる知見や考察について議論を行っている。次の 6 章では、本論文でのプロトタイプシステムの持つ課題を明らかにし、今後改善を図る上での具体的手法などについて述べる。これらの議論から結論付けられる本研究の有効性を 7 章にまとめている。

2. アプローチ

本章では、仮想空間上での重畳情報をより整理された状態にするための手法について議論していく。

2.1 仮想空間上における情報提示の現状

まず、今日の拡張現実における情報提示の手法と、情報整理における問題との関連性について考える。既存の拡張現実システムではマーカレス型・マーカ認識型問わず、カメラの映像中に認識されたパターンをすべて重畳するようなシステムであることが大半である。これらの情報は、コンテキストや自身との関連度、オブジェクトとの距離等に依存せず、常に情報としてユーザに提供されるものである。つまり、既存の拡張現実システムは、以下のように一枚板の平面空間上で重畳されているともいうことができる。



図 2.1.1 AR アプリケーションでの情報表示例⁴

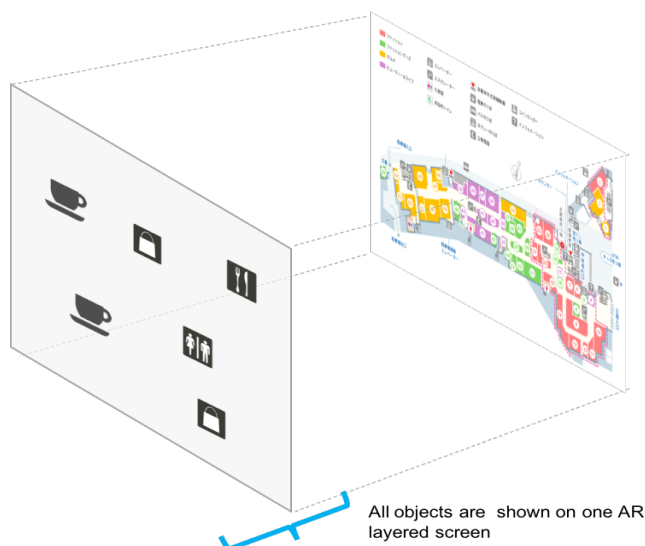


図 2.1.2 一枚板の拡張現実空間モデル

⁴ 出典: IEEE-SA Augmented Reality <http://standards.ieee.org/innovate/ar/>

画面や視野といった領域に対して、同じ面積を持つ単一の重畳レイヤが存在し、認識されたオブジェクトに対応される情報がその単一レイヤに重畳される。領域は 2 次元的であり視野領域以上の重畳領域は獲得できず、また情報はすべて重畳される対象となるので、一定数以上のオブジェクトが存在する場合には情報が反乱する可能性が考えられる。また、コンテキストに合わせた情報をユーザに提供することが考慮されていないケースも発生するため、情報に対して意識の分散等の負の影響が発生しやすくなる可能性もあるだろう。

2.2 重畳情報の多層化

限られた画面領域に対して、情報提示をより整理された状態で行うためには、従来の一枚板の情報提示領域とは異なった手法を模索する必要がある。例えば、X 軸 Y 軸で構成される 2 次元的な空間から、Z 軸の加わった 3 次元的領域へと次元を高めていくことで絶対的空間量を同化させることは可能だろう。Z 軸が加わったことによって、情報を Z 軸の複数の座標上に表示することが可能となる。任意の座標に対する情報のみを提供することで、情報をレイヤのように扱うことが可能となる。

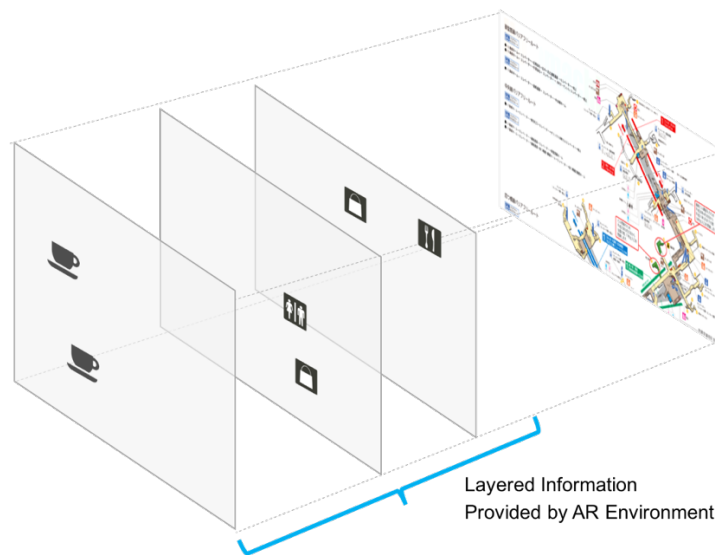


図 2.2.1 Z 軸が加わった拡張現実空間モデル

このような情報のレイヤ化によって、従来の拡張現実空間に比べて情報の整理が可能になり、コンテンツの選択性や情報のノイズの低減による没入感の向上などの効果が期待できる。

2.3 レイヤー状の情報に対するインタラクション

Z 軸を取り入れた 3 次元的な情報重畳空間を採用することに対して考慮すべき問題として、レイヤに対してどのようなインタラクションによってユーザが情報にアクセスできるようにするのか、という点があげられる。一般に、平面空間に比べて Z 軸が加わった 3 次元的な空間に対するアクセスは特別なデバイスを用いたインタラクションが用いられる。3 次元空間に対するインタラクションを実現するデバイスとして有名なものの一つに、Geomagic 社の Phantom⁵ に代表されるようなペン型 3 次元触覚デバイスがある。また(Lee, 2010)のようなスクリーンに対する 3 次元的インタラクションを実現した研究なども存在する[7]。さらにこの研究の発展系として(Follmer, 2013)による、スクリーン自体がダイナミックに変化し、3 次元情報を提供する inFORM といった機構も存在している[8]。

⁵ Geomagic Touch Overview <http://www.geomagic.com/en/products/phantom-omni/overview>

これらのデバイス・機構に共通して言えることは、メカニカルな機構によってインタラクションが実現されているということである。これは、モビリティが求められる拡張現実、特にモバイルデバイスや HMD を扱うような場合では適用することが難しいということも同時に意味している。本研究で 3 次元空間に対するインタラクティブ性を実現するには、このようなアプローチは適当ではないと考えられる。そのため、モビリティを確保しつつもシンプルなインタラクションで実現可能な他の方法を考慮する必要がある。

一方で AR システムにおいては、しばしばジェスチャ認識によるインタラクションを用いたシステムが多く研究されている。特にモバイルデバイスにおいては、(Hürst, 2013)や(Bai, 2013)などを始めとする、指先の動きを検出して特定の動作によって拡張現実空間とコミュニケーションを行う手法などが挙げられる[19] [20] [21]。これらの手法は、より複雑な操作が要求されるシステムには有効なものであるといえる。しかし、本システムのようなレイヤへのアクセスという問題を考えた際にはこのようなインタラクションは有効ではないと考えられる。これは、指先を使ったインタラクションによって、常に片手が使えない状態となるためモビリティの面で問題が生じる可能性があるためである。また、指先が常にカメラに映り込むことによってシンボルを覆い隠してしまい、シンボルの正常な認識を妨げてしまう恐れも考えられるだろう。よって、シンボルの認識を阻害しないような別の手法を提案する必要がある。

この問題に対する本研究のアプローチとしては、「オブジェクトとの距離をベースにしてアクセスするレイヤを決定する」という手法を採用することとした。一般的に拡張現実においては、デバイスのカメラから取得した映像に対して、QR やマーカと言ったようなトリガーとなるイメージパターンを検出して重畳する位置やコンテンツを決定するものである。カメラの映像に対するパターンのスケールを算出し、ある時点を基準としてスケールの変化を観測することによって、オブジェクトとの相対的な距離を測定することが可能となる。これによって、いままでの 2 次元上ともいえる重畳領域に奥行き概念を取り入れることを可能にする。このように 3 次元空間として情報の重畳位置を定義できることによって、情報の多層化が実現可能となる。



図 2.2.2 スケールの観測による相対的な距離の検知

またこの手法では、先述したような Z 軸に対するインタラクションに対して特殊なデバイスを用意する必要がなくなるため、モビリティの課題を解決することができ、より幅広いプラットフォームに本研究の知見を取り入れることができるかと期待できる。

視界そのものを置換するような HMD による情報提示ではなく、特にモバイルデバイスなど重畳する画面が手元の画面によって実現される状況においては、このような距離ベースでの AR レイヤへのアクセス手法は、いわゆる虫眼鏡を扱う際のそれに起因するインタラクションに近い。そのためユーザに要求される学習コストを低く抑えることができると考えられるため、本アプローチのユーザビリティに対しても好意的な結果が得られると期待できる。

3. 実装

この章では、本研究の有効性を示すためのアプリケーション開発における設計方針や実装について述べていく。

3.1 設計方針と目的

本研究では、限られた画面領域に対する情報整理を重畳領域の多層化によって実現する事を主たる目的としている。そのため本研究における評価及びプロトタイプアプリケーションにおいては、HMDのような視野全体に拡張現実空間を適用できるようなプラットフォームではなく、モバイルデバイスのように表示領域に制約のあるプラットフォームでの実装を行うこととした。画面領域が限られたこのようなデバイスにおいて有効な傾向を見出すことが出来れば、より制約の少ない他のプラットフォームでも有効性を保つことができるだろう。

このプロトタイプアプリケーションでは、多層化されていないARシステムと、多層化されたARシステムを実装している。ここでは、間取り図のような概略図上に、詳細情報や写真といった付加的な情報を重畳するような情報提示システムを開発し、重畳情報の多層化によってどのような影響があるのか新たな知見を議論していく。なお、本アプリケーションはiOSデバイスを対象として開発及び実装を行っている。

3.2 シンボルについて

本システムでは軽量の拡張現実システムを独自に実装している。これは、多層化を実現するための実装を既存のAR SDKに組み込むことが技術的に難しいことに起因している。そのため本アプリケーションでは、シンボルとしてQRマーカをトリガーとする軽量のARシステムを取り入れている。

QR(Quick Response)マーカは、2次元バーコードとも称される以下のようなモザイク状のパターンによる情報埋め込み技術である。1次元バーコードと称される縦縞のものに比べて情報のペイロードを上げることができたり、文字や数字以外の多言語に渡る情報を格納可能な点、高速に読み取ることが可能な点といった多くの利点によって、世界中で広く普及している。モバイルデバイスにおいても、各プラットフォームでQRコードに対応したAPIを提供しているため利用コストが低いことも特徴である。



図 3.2.1 QR マーカの一例

一方で、ARにおけるシンボルマーカとして有効な技術としては、ARToolKit⁶や(Ababsa, 2004)によるマーカトラッキングシステム[18]や、(Rekimoto, 2000)によるCyberCode[17]、一般的なオブジェクトや画像をシンボルとして利用するマーカレスタイプなどがある。特に図 3.2.2 のようなマーカレスタイプの拡張現実システムに関しては、ベースとなるオブジェクトに対して一見するとARマーカとは思えないような、アンビエントなシンボルとして存在す

⁶ AR 事例 | ARToolKit ライブラリ <http://www.mssoft.co.jp/ar/>

ることを可能にしている。また、マーカレス AR はパターン化されたシンボルではないため、部屋の光量や認識する際の角度といった点に対して十分な精度を満たすように考慮する必要がある[14]。



図 3.2.2 マーカレス AR の例⁷

本研究ではこの QR コードをベースとしたマーカ認識型の拡張現実システムを用いてプロトタイプシステムを構築した。また QR コードはシンボル自体に直接情報を埋め込むことができるため、システム自体の変更を加えることなく重畳する情報を操作できるという扱いやすさがあることも、本アプリケーションで採用した理由の一つである。

3.3 レイヤ化の実現について

本システムにおける重要な実装は、情報提示をレイヤ化する点にある。ここではレイヤ化のための手法と、提示するレイヤを決定するロジックについて説明する。

レイヤ化においては、認識した QR コードのピクセルサイズを元にして、その変化によってユーザに対して表示するレイヤを決定している。ベースとなる QR コードのピクセルサイズはその QR コードを初めて認識した際のそれである。初めて認識された状態では、ユーザには一番浅いレイヤの情報が提供される。このレイヤでは、例えばシンボルに対して概要を示すような大枠的な情報を表示する場合に適したレイヤであると考えられる。これは、ユーザはこのレイヤを見て情報の取捨選択をし、興味を持った際により深いレイヤへと進んでいくというケースを想定しているためである。なお関連研究として、(Tateno, 2006)による QR コードのネスト化に関する研究が挙げられる。これは QR コード自体に別の QR コードを内包することで、QR コードに接近した場合や離れた場合に別のシンボルとして認識させるシステムである[16]。しかしながら、この研究は QR コードの認識精度を向上させることにスコープが置かれているため本研究とは異なるものである。

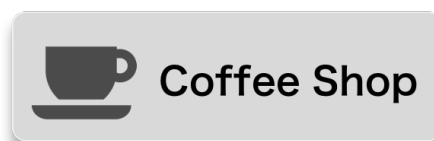


図 3.3.1 初期状態の情報提示例

⁷ 出典: Image Targets | Vuforia Library <https://library.vuforia.com/articles/Training/Image-Target-Guide>

レイヤの移動は、デバイスとオブジェクトとの距離の変化に起因する QR コードのピクセルサイズの変化により決定される。最初に認識した際のオブジェクトとの距離が起点となり、それと比較して距離が近くなるに連れて、より深いレイヤがユーザに提供される。これによって、ユーザは任意のレイヤに対して非常にシンプルなインタラクションによってアクセスすることが可能となる。

また各 QR コードには、オブジェクトとデバイス間の一定範囲でどのレイヤを表示させるのかを決定するためのパラメータを設けている。これは、最初に認識された QR サイズをベースにして、ベースに対するピクセルサイズの変化からゾーンを算出して、どのレイヤの View を表示するか決定している。実装によっては、ベースに対する変化率を増減させることによって、レイヤをより多層にすることも可能となる。

3.4 プロトタイプアプリケーションについて

本研究では、プロトタイプアプリケーションとして上記で述べた手法を取り入れた AR アプリケーションを作成した。このアプリケーションでは、次のような間取り図上に配置されたマーカを iOS デバイスで読み取ることによって、読み取ったマーカに対応する部屋の概要や画像といった情報を取得できるものである。



図 3.4.1 アプリケーションイメージ図

3.4.1 QR 取得ロジック

本アプリケーションにおける QR シンボルの認識・読み取りは iOS 向けに提供されているフレームワークである AV Foundation⁸を利用している。Apple 社によって標準でサポートされているフレームワークを利用することで、リソースが限定されている iOS デバイスに最適なパフォーマンスを持たせながら高速な処理が行えるという利点を備えているためである。

⁸ AV Foundation for iOS and macOS - Apple Developer <https://developer.apple.com/av-foundation/>

3.4.2 レイヤ情報の実装

レイヤとして提供する情報は、**UIView** のサブクラスとして独自のものを実装している。本プロトタイプアプリケーションでは、予め各レイヤに重畳する情報を以下のような3種別(Layer A・Layer B・Layer C)に分けてユーザに提供している。本プロトタイプでは重畳する情報の内容はすべてアプリケーション内に埋め込んでいるが、API の追加実装などを行うことで表示するコンテンツを動的に扱うことが可能となるだろう。これは、QR コードにユニークな ID を割り当てることによって実現可能である。



図 3.4.2.1 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer A)

表 4.4.2.1 Layer A に関する重畳情報

Category	Display Type	Implemented by
Icon	Image	UIImageView
Title	String	UILabel



図 3.4.2.2 重畳され表示されるビュー例 (Layer A)

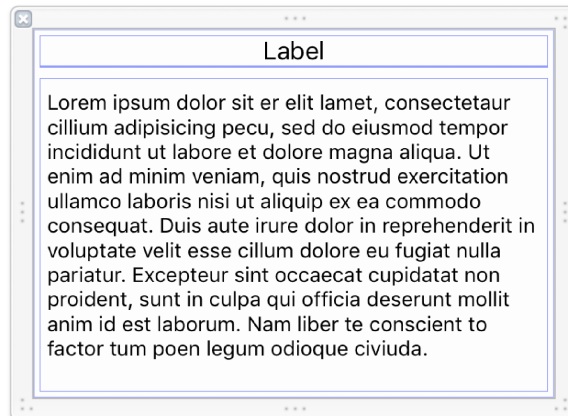


図 3.4.2.3 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer B)

表 3.2.2.2 Layer B に関する重畳情報

Category	Display Type	Implemented by
Title	String	UILabel
Description	String (Multi Line Text)	UITextField

概要

- ・床面積： 4.1畳
- ・カウンター幅2,700mm
- ・3口コンログリル付キッチン
- ・収納キャビネットたっぷり

図 3.4.2.4 重畳され表示されるビュー例 (Layer B)

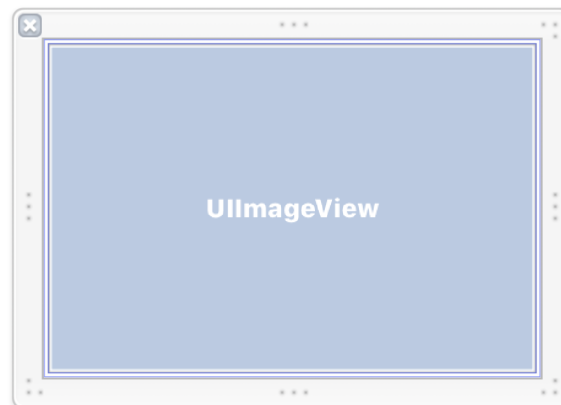


図 3.4.2.5 Interface Builder によるビューレイアウト (Layer C)

表 3.2.2.3 Layer C に関する重畳情報

Category	Display Type	Imblemented by
Detail Photo	Image	UIImageView



図 3.4.2.6 重畳され表示されるビュー例 (Layer C)

3.4.3 レイヤ間の移動と表示

レイヤ間の移動は、デバイスとシンボルの相対的位置関係によって行われる。本プロトタイプでは、カメラによって認識・検出された QR はコードのピクセルサイズを元にして重畳する View を決定している。ユーザに提供され

る/されない View はこれをトリガーとして View の Alpha 値を制御(UITableView::hidden)することで表示・非表示を変化させている. なおこの一連のロジックは以下のフローチャートによって示すことができる.

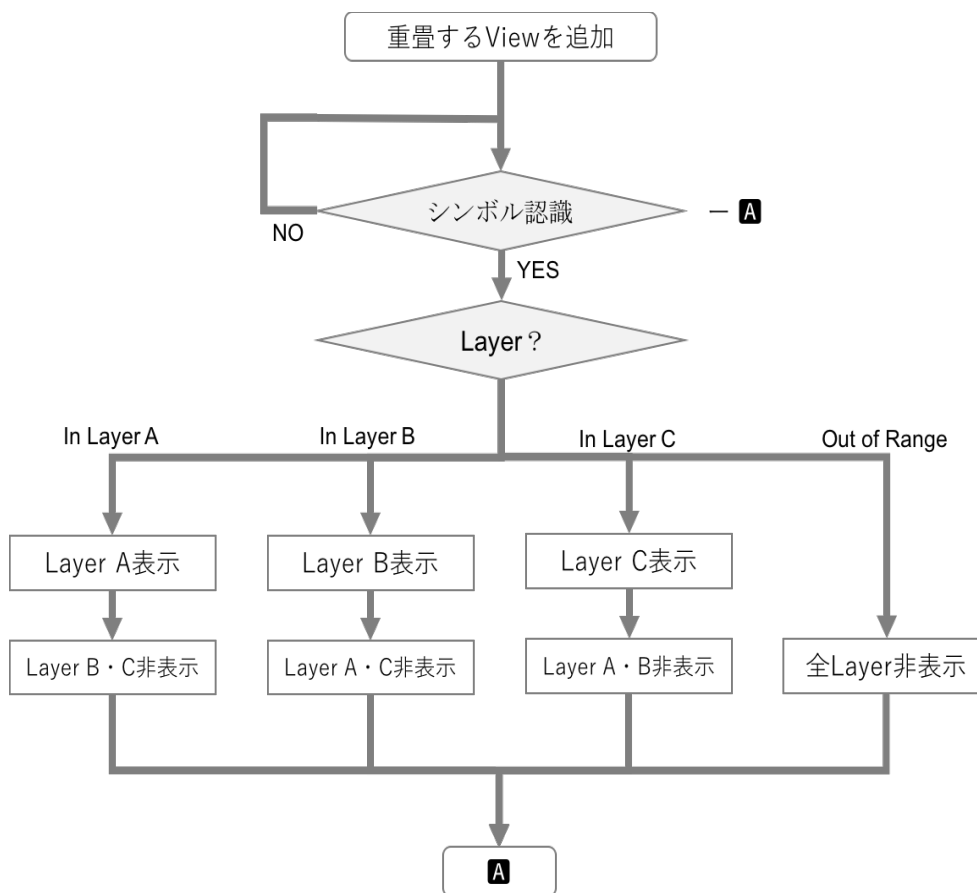


図 3.4.3.1 表示するレイヤを決定するロジック

4. 評価

この章では、本研究の有効性について検証する。本研究の目的は「仮想空間上での情報提示をより整理された状態にする」ことであり、本章ではこれに沿った評価軸で議論を進めていく。

4.1 「情報が整理された状態」の定義

本研究の目的である、「仮想空間上での情報提示をより整理された状態にする」という点については、どのような状態を持って「情報が整理されているのか」を明確にする必要がある。本研究では、レイヤ化することでこれらの問題に対するより良い手段を提案しているが、拡張現実空間そのものの構造、およびユーザが行うインタラクションが変化する。そのため、この点に対するユーザ評価を行い、レイヤードな拡張現実空間に対するインタラクティブ性の妥当性に対しても議論を行う必要がある。

特に「情報が整理されているのか」という点に関して、本研究においては以下の2点をもって定義した。

1. 重畳情報が氾濫していないこと
2. 情報が遮られることなくユーザに提供されていること

1.に関してはカメラを通じた現実の情報に対して、拡張現実空間上の情報が過剰に存在することなく表示されているか、という点に着目するものである。特に画面が限られている状況に対して認識可能なシンボルが複数存在している場合は、重畳される情報によって現実の情報を遮ってしまい、拡張現実としての空間を破綻させてしまう可能性が考えられる。この点については、後述の4.2.1で評価指標を決定し、従来の拡張現実システムと本システムによる差異を見出していく。

2.に関しては、重畳する情報量が増加した場合に、それらの情報が他の情報によって遮られることなく重畳され、ユーザに提供されているかについて着目する。限られた画面領域上で表示される拡張現実システムにおいて、一定数以上のシンボルを認識した状態でそれらが重畳され、かつそれぞれのシンボルの距離が十分に離れていない場合、1.で指摘している画面占有率の状態に加えて各情報のオーバーラップが発生するという問題が生じる。この点については、後述の4.2.2において評価指標を定義し、従来の拡張現実システムと本研究で実装したシステムとを比較し、有意な結果を示しているのかを検証し、その妥当性について議論する。

また、これらの状態がユーザに対して負荷の少ないインタラクションを通じて実現されていることをもって、本研究・アプリケーションでの有効性と捉えることとした。これは先述の通り、レイヤードな拡張現実システムの構築によって、従来のシングルレイヤの空間と根源的に構造が異なったことによるものである。構造の変化から、従来とは異なるインタラクションの必要性が生まれたことにより、本システムではシンボルとデバイスの相対的な距離を元にしたレイヤの決定方法を採用している。後述の4.3ではこのインタラクティブ性の妥当性を、被験者を用いたユーザ評価によって検証及び議論していく。

4.2 システム評価

この章では、情報整理及びインタラクションの妥当性において、5.1で議論した点にそって評価を進めていく。

4.2.1 評価項目 A: 情報量の変化 (過剰な情報のフィルタリング)

本節では、4.1で定義した情報整理の妥当性を検証する指標の一つである「重畳情報が氾濫していないこと」についての検証手法について議論する。

ここでは、限られた画面領域に対する情報量の変化について、「最大画面占有率」といった指標によって本システムの妥当性を検証する。最大画面占有率(MSOR: Maximum Screen Occupation Ratio)は以下によって定義される。

$$MSOR(n) = \left\{ \sum \text{Superimposed Area for QR}(n) - [\text{Overlapping Area}] \right\} / [\text{Screen Size}]$$

つまりデバイス中に表示されている重畳情報が、画面上にどれだけ存在しているかを評価するものである。この指標では、画面上に存在し認識されるシンボルの数が増加した際に、情報整理の観点から対象の拡張現実システムがいかにスケールするのかを観察する。本評価ではシングルレイヤ及びマルチレイヤ双方について、シンボル数 n を 1 から 5 まで増加させた際の MSOR の変化を観測する。ここでの両システムの値の違いから、本研究で提案するマルチレイヤ式拡張現実の有効性を見出していく。

有効性の判断としては、MSOR で示される指標がシングルレイヤでの拡張現実空間における結果に比べてマルチレイヤによるものの方が低い値を示すことを、有効性の基準とした。

単一レイヤの場合では、MSOR の値は QR コードによるシンボル数が増加するに連れて線形的な上昇率を示す傾向が想定される。マルチレイヤにおける結果についても同様の傾向が観測できると考えられる。しかし、レイヤードな情報提示によってユーザに提供される情報量は相対的にはシングルレイヤのそれに比べて大きく抑えられることは明らかであるために、レイヤ毎にみた上昇率については低い値を示すことが期待できる。

4.2.2 評価項目 B: 情報のオーバーラップ

本節では、4.1 で定義した情報整理の妥当性を検証する指標の一つである「情報が遮られることなくユーザに提供されていること」についての検証手法について議論する。

情報が遮られた状態とは、「何かしらの原因によって本来完全な状態でユーザに提供されるべき拡張現実情報が提供されず情報が欠落している状態」であることを意味している。この原因としてあげられるのが QR の認識不良や重畳時におけるプレースメントの問題などである。

しかし本研究における評価を議論する際には、前者のようなデバイスに依存される要因や、後者のような重畳する情報位置の最適化といった問題は評価のスコップからは除外している。本研究では、限られた画面領域での拡張現実空間を考えた際の情報整理をスコップとしていることから、「画面内での重畳情報のオーバーラップ率」を本節での指標と考える事とした。

ここでは「情報オーバーラップ率」といった指標によって、限られた画面領域に対する重畳情報のオーバーラップ率の変化について、本システムの妥当性を検証する。情報オーバーラップ率(IOR: Information Overwrapped Ratio)は以下によって定義される。

$$IOR(n) = \sum \text{Superimposed Area for QR}(n) / MSOR(n)$$

この指標では、認識されたシンボルに対応する重畳表示されている時に、それらが互いに重なっているのかを重畳情報領域に対する割合として算出したものになる。本評価ではシングルレイヤ及びマルチレイヤ双方について、シンボル数 n を 1 から 5 まで増加させた際の MSOR の変化を観測する。両システムの値の違いから、本研究で提案するマルチレイヤ式拡張現実の有効性を見出していく。

有効性の判断としては、MSOR の指標と同様にマルチレイヤにおける評価結果がシングルレイヤのそれに比べて低い値を示していることを、本研究の有効性の傾向と定める。レイヤードに情報を提示することによって、レイヤごとの重畳領域は縮小されるため、各 QR コードが一定数離れているようなケースでは情報オーバーラップは起きにくくなることが想定される。これは各レイヤに対して同様の傾向が示されると考えられる。シンボル数を増加させ

た場合ではシングルレイヤでの IOR は大きく線形増加することが予想されるが、マルチレイヤの場合はそのような傾向を抑制する傾向が期待できる。

4.3 ユーザ評価

ここでは、ユーザ評価を行うにあたっての評価指標について議論していく。

本研究では、拡張現実空間における重畳情報の整理という観点から、重畳空間をレイヤードな環境に置き換えることを提案した。今までの一枚板な空間から、3 次元的な情報空間へと構造自体が大きく変化したことによって、情報に対してどのような形で取得するのかという、アクセス方法に関するインタラクティビティを新たに考慮する必要がある。

本研究で開発したプロトタイプシステムでは、拡張現実空間上に重畳する情報を提示するトリガーとなるシンボルを QR コードとした。その上ではじめに認識した QR コードのピクセルサイズを基点として、クライアントとなる手元のスマートフォンデバイスを QR コードに近づける又は遠ざけるといったインタラクションによってレイヤを移動できるようにしている。これは、基点の QR コードのピクセルサイズと比較して、デバイスを近づけたり遠ざけたりすることによるピクセルサイズの相対的な変化を検出することによって実現されている。

ここでのユーザ評価では、上記のインタラクションによるレイヤへのアクセスが、多層化した拡張現実空間に対して妥当なユーザビリティを備えているのかについて検証していくことを目的とする。また、レイヤードな拡張現実空間に対するユーザの学習コストや親和性についても明らかにしていく。これらの評価を元にして、システム評価による情報整理の有効性の定量的検証に加えて、本システムの導入によるユーザへの影響についての議論や適用可能性について考えていく。

なお、このユーザ評価についてはアンケートという形で実施していく。従来の拡張現実空間であるシングルレイヤシステムと、本研究で提案するマルチレイヤシステムを実装したプロトタイプアプリケーションを被験者に体験してもらい、それぞれの使用後にアンケートに回答してもらう。この評価では、次の 2 項目についての有効性について検証を行っていく。なお、それぞれの評価手順及びアンケートの具体的な内容については後述の 5.5.2 で示す。

4.3.1 ユーザビリティ評価

本研究の有効性評価の一つとして実施するものが、このユーザビリティ評価である。ここでは、従来の拡張現実空間と本研究で提案するシステムの使用を通じてユーザに与える使用感を以下の観点に基づいて比較し、有効性を検証していくものである。

表 4.3.1.1 ユーザビリティ評価で検証を行う観点

検証を行う観点	目的
視認性	<ul style="list-style-type: none">● 重畳されている情報が正しく表示され、現実世界の映像を拡張するという目的を果たしているか
意識	<ul style="list-style-type: none">● 意識を向けたい情報に十分な意識が向けられるか● 不要な情報がノイズとして存在することがないか

4.3.2 アクセシビリティ評価

アクセシビリティ評価では、レイヤという概念を導入した本システムが採用した各レイヤへのアクセス手法が妥当なものであったかを検証する。この評価では、レイヤへのアクセス手法や学習コスト、レイヤ構造自体に関する印象を聞き、レイヤードな拡張現実空間に負の影響があるのかを議論していく。

4.4 評価手順

4.4.1 システム評価(項目 A・項目 B)における評価手順

4.4.1.1 概要

システム評価の手法としては、各シンボル数に応じて図 4.4.1.1 のように配置し、すべてのシンボルが認識されている状態での画面占有率を計測する。

本研究は拡張現実空間における情報整理について、新たな拡張現実環境を提案するものである。従来の拡張現実空間では正しく提示することのできなかつたような環境においても、本研究でのシステムが適切な情報提示を実現する事でシステムの有効性を示すことが出来ると考える。その前提の元で本評価では各シンボルがある程度密集し重畳される情報密度が高くなりやすいように、各シンボルを 10cm 間隔で配置する状態としている。この状態を通して占有率が最大となった値を最大画面占有率(MSOR)として記録する。また、その際の情報オーバーラップ率(IOR)についても計測を行う。

これらのステップをシンボル数 1 から 5 まで実施し、各 MSOR 及び IOR を測定・記録しシングルレイヤ及びマルチレイヤの両ケースの傾向をグラフによる視覚化で観測する。(図 4.4.1.4 フローチャート参照)

なお使用したデバイスやアプリケーションのバージョンは後述の 4.5 に示すとおりである。

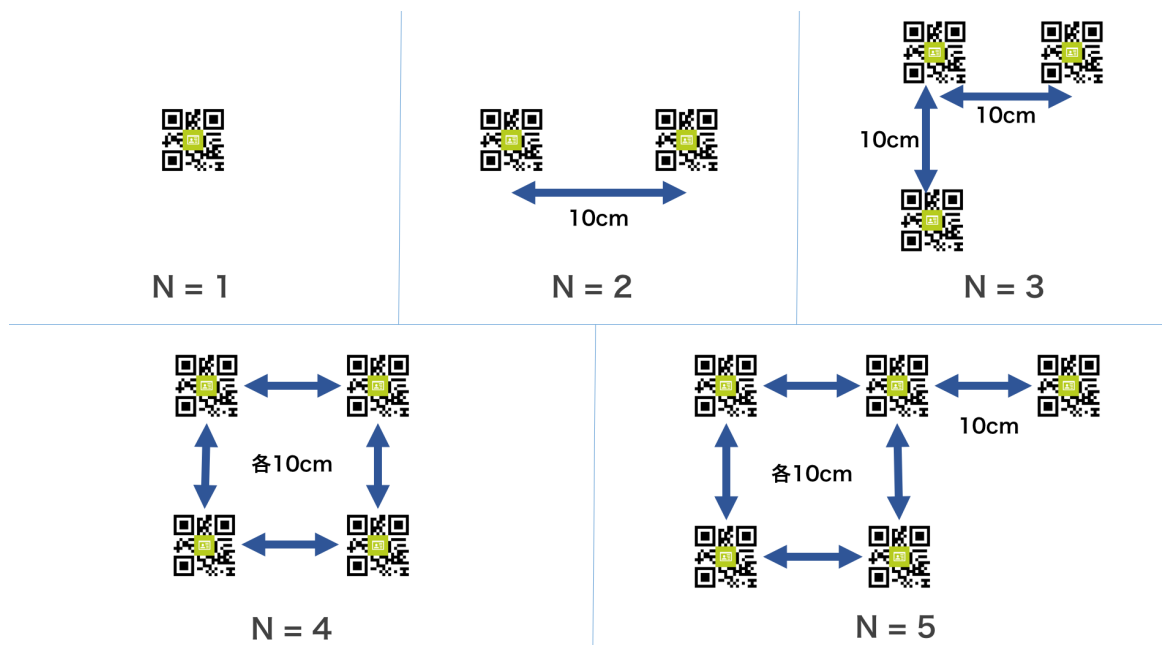


図 4.4.1.1 各シンボル数に対応した簡略配置図

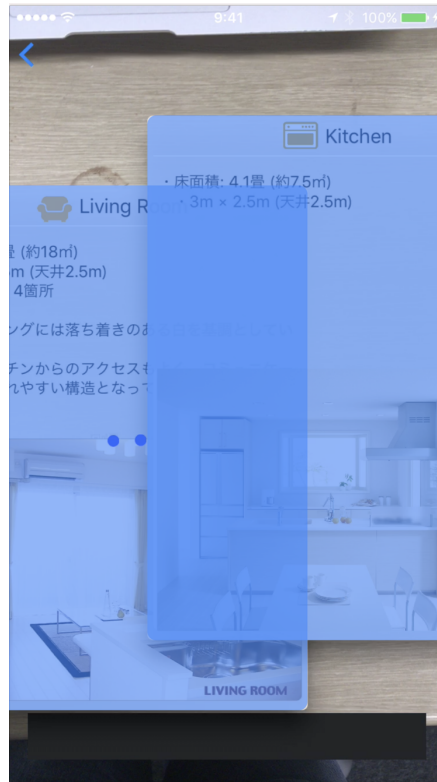


図 4.4.1.2 重畳領域のイメージ 1 (青矩形内は MSOR)



図 4.4.1.3 重畳領域のイメージ 2 (赤矩形内は IOR)

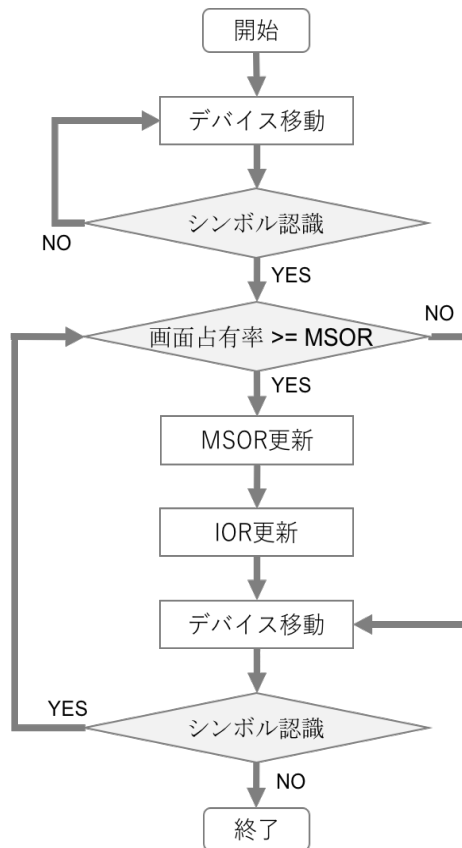


図 4.4.1.4 システム評価のフローチャート

*デバイス移動では XYZ 各軸方向にスマートフォンを移動させて、重量される情報の場所を変化させている

4.4.1.2 重畳する情報

本評価においては重畳する情報に以下の図 4.4.1.5 のようなものを採用している. これは、後述するユーザ評価で行う被験者へのハンズオンで使用する部屋の間取り情報を、この定量評価でも採用したものである.



図 4.4.1.5 重畳させる情報例 (シングルレイヤ)

上記の重畳情報はシングルレイヤの拡張現実環境にて提供されるものであり, この **View** でシンボルに対して提供するすべての情報を載せている. 一方で, マルチレイヤにおける拡張現実環境に関しては, 上記の重畳情報は以下の 3 つの情報として **Layer A**・**Layer B**・**Layer C** にそれぞれ配置される. これらは情報の粒度によってレイヤの深さが決定されており, 名称概要・詳細説明・画像情報の順にレイヤに置かれている. なお, 同一のシンボルに対する情報に関しては, マルチレイヤ環境での各レイヤを合わせた情報は, シングルレイヤ環境での情報と等価なものである.

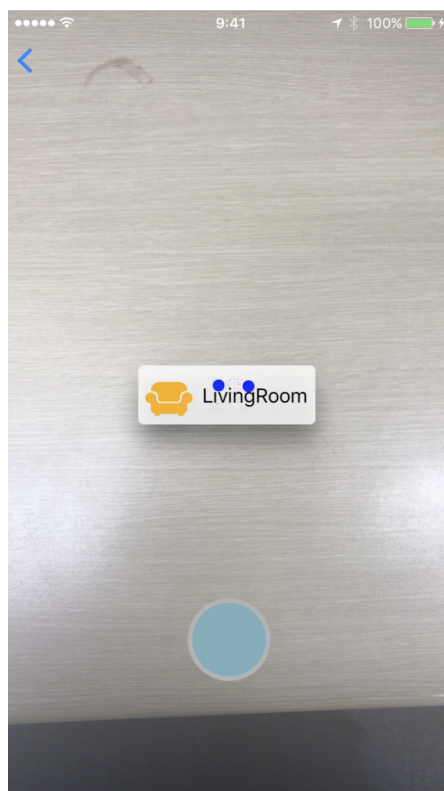


図 4.4.1.6 Layer A に配置された情報例

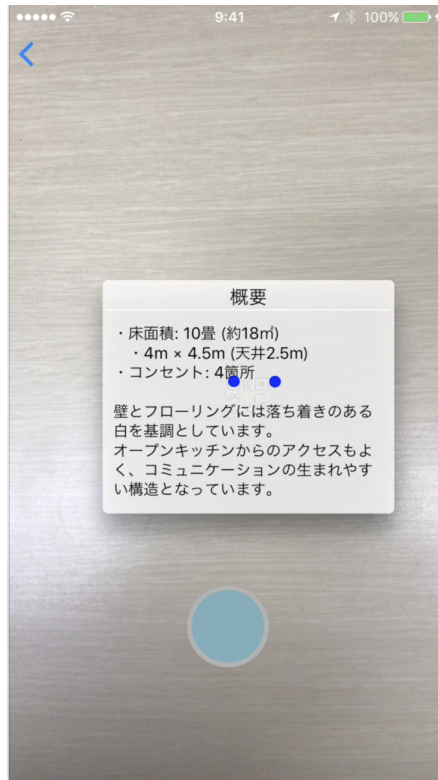


図 4.4.1.7 Layer B に配置された情報例

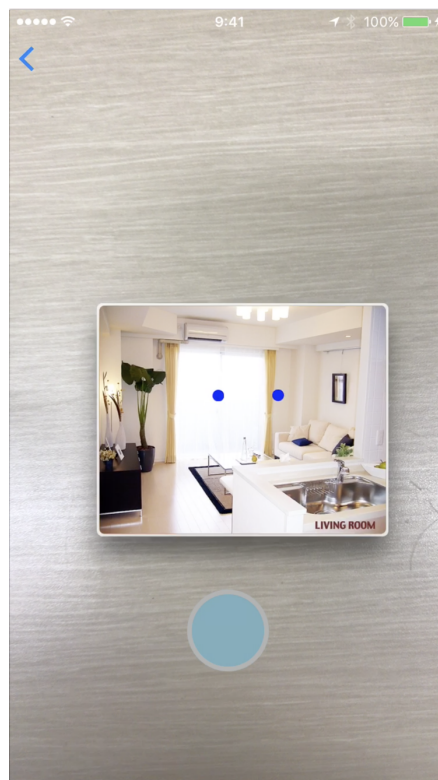


図 4.4.1.8 Layer C に配置された情報例

なお、重畳される情報のピクセルサイズは以下の通りとなっている。これはデバイスにおける標準的なフォントサイズをベースとして、不用意に過度な領域とならない程度に設定されたものである。なおこのサイズに関しては、ど

のシンボルに対しても同様の領域を適用させているため、若干の情報量の違いに対して領域が変化すると行った状況は発生しない。

表 4.4.1.1 各環境における重畳領域のピクセルサイズ

View		ピクセルサイズ
シングルレイヤ		350 * 450 px
マルチレイヤ	Layer A	150 * 50 px
	Layer B	250 * 200 px
	Layer C	250 * 200 px

4.4.2 ユーザ評価における評価手順

ここでは、ユーザ評価としてユーザビリティやインタラクションについての有効性についてプロトタイプアプリケーションを用いたケーススタディを実施した。

4.4.2.1 ケーススタディ

ここでは、間取り図のような概略図上に、詳細情報や写真といった付加的な情報を重畳するような情報提示システムを用いたケーススタディを実施し、4.4.1.1 で先述した点について検証をおこなっていく。このケーススタディでは、間取り図に対する付加的な情報を拡張現実空間で閲覧できるアプリケーションを用いて検証を行っていく。

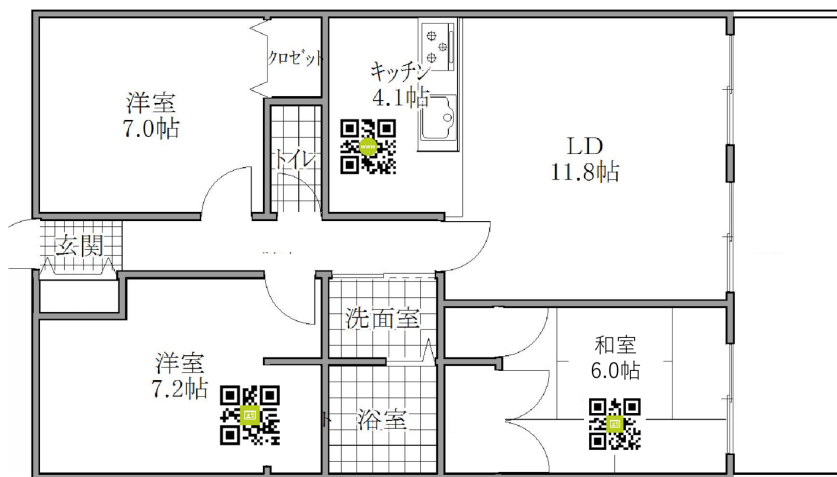


図 4.4.2.1 プロトタイプアプリケーションに用いる間取り図

4.4.2.2 検証ステップ

ユーザ評価は実験の説明とハンズオンによる2パートによって実施される。前半では研究の概要や目的を伝え、レイヤードな拡張現実空間に対するアクセス方法などを、デモを通じて簡単に説明する。その後のパートで、従来のシングルレイヤARと本研究で提案したマルチレイヤARシステムの両方に触れてもらい、それぞれのハンズオンの後アンケートをおこない使用した印象や両者の違いに関する質問に回答してもらう。また、マルチレイヤARシステムのハンズオン後には、レイヤ構造に対するインタラクションそのものに関する妥当性の評価アンケート

ートを行う。ここでは、本システムで採用したアクセス手法である、「シンボル(QRコード)とクライアント(スマートフォンデバイス)の距離をベースに表示するレイヤを決定する手法」に関するユーザへの親和性を検証し、有効性について明らかにするものである。

これら一連の実験の流れは、以下の図 4.4.2.2 に示すとおりとなる。

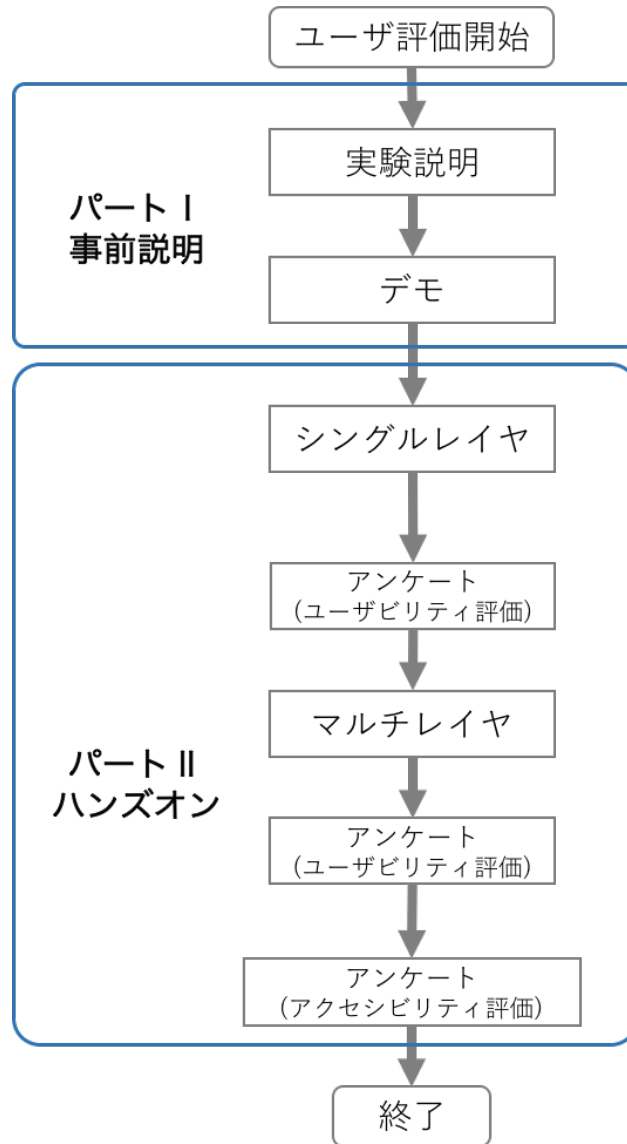


図 4.4.2.2 ユーザ評価の手順

4.4.2.3 アンケート項目

ここでは、本研究において用いたアンケート項目を列举する。アンケートは、従来の拡張現実環境を用いた実験、及び本研究で提案するマルチレイヤ拡張現実環境を用いた実験に対しておこなったユーザビリティ評価アンケートに加えて、マルチレイヤ拡張現実環境に対するインタラクティブティに関するアンケートから構成される。また、ユーザビリティ評価は先述の 4.4.1 にあるような「視認性」と「意識」に対する観点から内容が決定された。プロトタイプシステムを用いた本ユーザ評価では、これらのアンケートは次の質問によって構成される。

表 4.4.2.2 ユーザビリティ評価での質問 (シングルレイヤ)

#	質問	回答選択肢
1	画面に表示されていた情報は、以下の画像のどちらに近かったですか	A: それぞれ離れて表示されている B: それぞれが一部重なって表示されている
2	表示のされ方は見やすかったですか？	1. とても見やすかった 2. 少し見やすかった 3. 少し見にくかった 4. とても見にくかった
3	カメラの映像はどれだけ認識できましたか？	1. 十分認識できた 2. 少し認識できた 3. あまり認識できなかった 4. ほとんど認識できなかった
4	画面に表示されていた情報によって、本来見たいものに対する意識が妨げられてしまうことがありましたか？	1. 何度かあった 2. 少しあった 3. 殆どなかった
5	見たい情報に意識を十分に向けることはできましたか？	1. できた 2. 少しできた 3. あまりできなかった 4. ほとんどできなかった
6	見たい情報の一部が別の情報とかぶってしまい、見えなくなった事がありましたか？	1. 何度かあった 2. 少しあった 3. 殆どなかった
7	自分の欲しい情報以外にも、画面上に情報が過度に存在しているように感じましたか？	1. そう思う 2. 少しそう思う 3. あまりそう思わない 4. そう思わない
8	画面全体の情報が多いように感じましたか？	1. 感じた 2. 少し感じた 3. あまり感じなかった 4. 感じなかった
9	その他何か気づいたことがあれば教えてください	<自由回答形式>

表 4.4.2.3 ユーザビリティ評価での質問 (マルチレイヤ)

#	質問	回答選択肢
1	画面に表示されていた情報は、以下の画像のどちらに近かったですか	A: それぞれ離れて表示されている B: それぞれが一部重なって表示されている
2	表示のされ方は見やすかったですか？	1. とても見やすかった 2. 少し見やすかった 3. 少し見にくかった 4. とても見にくかった
3	カメラの映像はどれだけ認識できましたか？	1. 十分認識できた 2. 少し認識できた 3. あまり認識できなかった 4. ほとんど認識できなかった
4	画面に表示されていた情報によって、本来見たいものに対する意識が妨げられてしまうことがありましたか？	1. 何度かあった 2. 少しあった 3. 殆どなかった
5	見たい情報に意識を十分に向けることはできましたか？	1. できた 2. 少しできた 3. あまりできなかった 4. ほとんどできなかった
6	見たい情報の一部が別の情報とかぶってしまい、見えなくなった事がありましたか？	1. 何度かあった 2. 少しあった 3. 殆どなかった
7	自分の欲しい情報以外にも、画面上に情報が過度に存在しているように感じましたか？	1. そう思う 2. 少しそう思う 3. あまりそう思わない 4. そう思わない
8	画面全体の情報が多いように感じましたか？	1. 感じた 2. 少し感じた 3. あまり感じなかった 4. 感じなかった
9	先ほどの AR システムに比べて、情報が整理されているように感じましたか？	1. 感じた 2. 少し感じた 3. あまり感じなかった 4. ほとんど感じなかった
10	その他何か気づいたことがあれば教えてください	<自由回答形式>

表 4.4.2.4 インタラクティブティ評価での質問

#	質問	回答選択肢
1	違うレイヤへのアクセスはスムーズに感じましたか？	1. はい 2. いいえ
2	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>
3	レイヤへのアクセスは自然な方法だと感じましたか？	1. はい 2. いいえ
4	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>
5	すぐに慣れることができましたか？	1. はい 2. いいえ
6	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>
7	情報をレイヤに切り分けることで不自由を感じましたか？	1. 感じなかった 2. 感じた
8	「2. 感じた」の場合は、その理由を教えてください 回答を入力	<自由回答形式>
9	その他何か感じたことがあれば記入をお願いします	<自由回答形式>

4.5 評価環境

ここでは、評価に使用したデバイスやアプリケーション開発環境の仕様について記述する。

4.5.1 デバイス⁹

デバイス: iPhone 7 (NNCL2J/A)

バージョン: iOS 10.2 (14C92)

画面サイズ: Retina HD ディ스플레이 4.7 インチ(対角) ワイドスクリーン

画面解像度: 1,334 x 750 pixels (326ppi)

カメラ解像度: 12 MegaPixels (デバイスビルトイン)

4.5.2 アプリケーション開発環境

開発環境: OSX El Capitan 10.11.6

IDE: Xcode 8.0 (8A218a)

開発言語: Swift 3

⁹ 出典: iPhone 7 - 仕様 – Apple <http://www.apple.com/jp/iphone-7/specs/>

5. 結果と考察

この章では、先述の評価を実施した結果を示すし、これらの結果から言える知見などについて議論をおこなっていく。

5.1 評価結果

5.1.1 システム評価 - 最大画面占有率(MSOR)について

ここでは、情報が整理されている状態を示す手法として 4.3.1 で言及した最大画面占有率(MSOR)について、本研究にて実装したマルチレイヤードな拡張現実システムと従来のシングルレイヤードな拡張現実空間での傾向及び値の推移・比較をおこなった結果を示す。

表 5.1.1.1 シングルレイヤにおける MSOR の推移を示した結果

Single Layer MSOR					
# of symbols	1	2	3	4	5
MSOR	63.0%	67.4%	88.4%	94.4%	98.9%

表 5.1.1.2 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer A)

Multi Layer MSOR for Layer-A					
# of symbols	1	2	3	4	5
MSOR	3.1%	6.2%	9.3%	11.9%	12.7%

表 5.1.1.3 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer B)

Multi Layer MSOR for Layer-B					
# of symbols	1	2	3	4	5
MSOR	20.2%	29.9%	40.4%	40.1%	48.7%

表 5.1.1.4 マルチレイヤにおける MSOR の推移を示した結果 (Layer C)

Multi Layer MSOR for Layer-C					
# of symbols	1	2	3	4	5
MSOR	20.1%	20.2%	39.3%	40.2%	34.5%

MSORの推移とシングルレイヤ/マルチレイヤとの比較

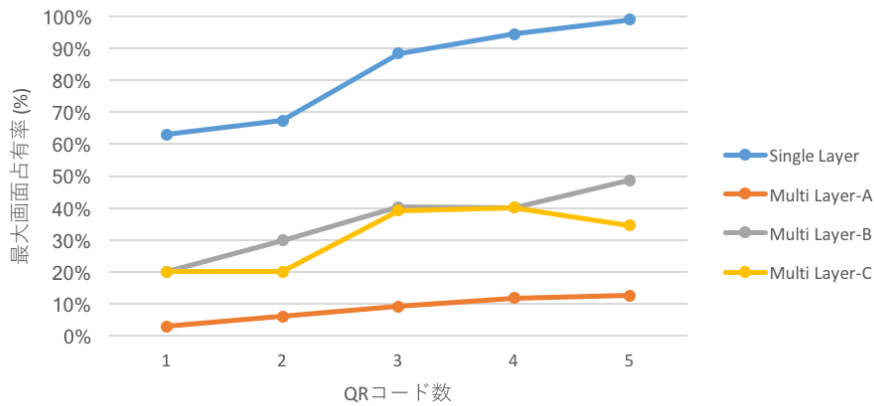


図 5.1.1.1 MSOR の推移とシングルレイヤ/マルチレイヤとの比較

上記の表および図から、シングルレイヤにおいては画面領域中のシンボル数が増加するに連れて MSOR の値も増加していることが観測できる。また、増加率については、概ね線形的な上昇を示す結果となった。

シングルレイヤの MSOR では、すべてのシンボル数で画面比 50% を超える高い数値を示している。この点に関しては重畳する情報量や View に大きく依存するため一概にこの値のみでシングルレイヤの優劣を議論することはできない。シングルレイヤのこれらの値や傾向は、本研究において提案するマルチレイヤ拡張現実システムの有用性に対するひとつの基準になるものである。なお変化率がシンボル数 1 の場合の定数倍として推移していない点については、後述する情報オーバーラップによる重畳の不完全性に寄るもの大きいと言える。

次に、本研究において提案・実装したマルチレイヤ拡張現実システムを用いた環境における各 Layer における結果について見ていく。

まず、一番浅いレイヤである Layer A については非常に低い MSOR の値で推移していることが観測できる。増加率についてもほぼ線形的な変化で推移していることから、認識されたシンボルに対して安定して拡張現実上に重畳されていると言える。

Layer B についても、Layer A と同様にほぼ線形的な変化を示す傾向を観測することができた。増加率についても概ね線形的な変化が認められる。

最後に、一番深いレイヤである Layer C についての傾向であるが、これに関しては多少の値のブレが認められる結果となった。しかしながら、シンボル数の変化を通じて大きな値の上昇などは認められない。

上記の MSOR の結果について特筆すべき点としてあげられるのは、Layer B 及び Layer C におけるシンボル数の増加に伴う上昇率の推移である。上図および表 5.1.1.2 によると、Layer A に関してはシンボル数の変化に伴い、シンボル数が 1 のときの MSOR のほぼ定数倍で推移している事が見て取れる。対して Layer B・Layer C においてはおおむね一定の変化率で推移しているものの、シンボル数 1 の定数倍の変化とはなっていない。またマルチレイヤの実現には、シンボルとデバイスの距離に基づいたデバイスが認識する QR コードのピクセルサイズをトリガーとしているため、深いレイヤに映るためには必然的にデバイスをシンボルに近づける動作が求められる。そのため、レイヤが深くなるに連れてデバイス-シンボル間の距離が縮まってくるため、初期状態と比較してすべてのシンボルを認識するといった状態とならず、ある特定のシンボルに対してスコープを絞ることとなる。レイヤが深い Layer B・Layer C では変化率が横ばいで推移している傾向が散見される点は、このような性質を示したものと見える。このような性質についての議論や応用性については後述の 5.2 で議論する。

これらの結果より、マルチレイヤの拡張現実空間を用いることで同様の情報量を提示する際に、画面占有率を大きく低下することが認められ、またレイヤ構造とそれに対するインタラクションによって、より深いレイヤにアクセスするに連れて特定の情報にスコープが絞られ、情報に選択性が生まれることがこの検証によって明らかになった。

5.1.2 システム評価 - 情報オーバラップ率(IOR)について

この評価では、先述した MSOR について、情報が整理されている状態を示す指標として定義した情報オーバラップ率(IOR)について、本研究にて実装したマルチレイヤードな拡張現実システムと従来のシングルレイヤードな拡張現実空間での傾向及び値の推移・比較をおこなった結果を示す。

表 5.1.2.1 シングルレイヤにおける IOR の推移を示した結果

Single Layer					
# of symbols	1	2	3	4	5
IOR	0.0%	35.9%	51.2%	54.4%	73.5%

表 5.1.2.2 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer A)

Multi Layer-A					
# of symbols	1	2	3	4	5
IOR	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%

表 5.1.2.3 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer B)

Multi Layer-B					
# of symbols	1	2	3	4	5
IOR	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.1%

表 5.1.2.4 マルチレイヤにおける IOR の推移を示した結果 (Layer C)

Multi Layer-C					
# of symbols	1	2	3	4	5
IOR	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

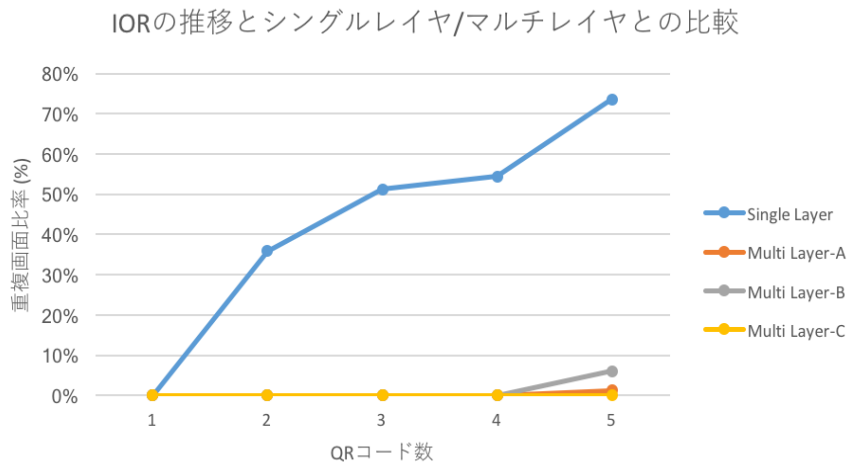


図 5.1.2.1 IOR の推移とシングルレイヤ/マルチレイヤとの比較

上記の表及び図から、シングルレイヤにおける IOR については、シンボル数が増加するに連れて IOR の値が増加していることが認められる。増加率については、情報オーバラップが発生するシンボル数 2 から 5 の範囲において、概ね線形的な上昇率を示していることが観察できる。その一方で、情報オーバラップが発生し始めるシン

ボル数 1 とシンボル数 0 を比較すると、増加率がおよそ 36%とこの時点で重畳されている情報の 1/3 以上が正しい形で表示されていないことも見て取れる。しかしこの値については、今回の評価で用いた View の情報量およびサイズに大きく依存するものであり、この値そのものがシングルレイヤの優劣を示すものではないことを予め述べておく。ここでの値及び傾向については、同じ情報量をもった後述のマルチレイヤシステムの効果を議論するための基準としている。

次に、本研究において提案・実装を行ったマルチレイヤ拡張現実空間を用いた場合での IOR の結果について、Layer A・Layer B・Layer C の各レイヤについての値の推移と傾向について見ていく。

一番浅いレイヤである Layer A については、IOR はほぼ横ばいの傾向を示し、最大値 1.2%と非常に低い値を示していることが見て取れる。この傾向については Layer C についても同様である。また Layer B についてもほぼ同様の状態を見て取れる。これはマルチレイヤシステム全体を通して、情報オーバーラップが起きないことを示しており、またシンボル数を増加させても値の変化が少ないことからシンボルが多数ある環境においてもスケールしやすい特性を持っていると言えるだろう。5.1.1 で先述したように、マルチレイヤ環境においては、レイヤが深くなるに連れて視点のスコープが狭くなるために、シンボル及びリンクする重畳情報に選択性が発生する。この性質によって、今回の実験環境ではレイヤが深くなることによって認識されるシンボルが絞られることから、Layer A と比較し View のサイズが大きく、情報オーバーラップが発生しやすい Layer B 及び Layer C についても低い値で推移したといえるだろう。

これらの結果より、マルチレイヤシステムを実装した拡張現実空間を用いることで、同様の情報量を提示する際に、情報オーバーラップを大きく低下することが認められた。またレイヤ構造とそれに対するインタラクションによって、より深いレイヤにアクセスするに連れて特定の情報にスコープが絞られ、情報に選択性が生まれることによって、どのレイヤにいても情報オーバーラップは発生しにくい傾向を観察することができた。

5.1.3 ユーザ評価について

ここでは、プロトタイプアプリケーションを用いたユーザ評価から、レイヤードな拡張現実環境のユーザ評価結果についてユーザビリティ評価とアクセシビリティ評価の結果を記述する。

ユーザ評価ではアンケートを通じたユーザビリティ評価及びアクセシビリティ評価を実施し、20 代の男女 9 人の被験者から得た回答を元に評価結果を見出した。以下に示す表 5.1.3.1 及び対応する図はユーザビリティ評価について、従来のシングルレイヤ拡張現実環境と、本研究で提案したマルチレイヤ拡張現実について比較したものである。この表では、各設問に対してユーザがどのように感じたのかについて、提示される選択肢から適切なものを選択してもらった結果を、シングルレイヤとマルチレイヤで比較したものである。

表 5.1.3.1 ユーザ評価結果 (ユーザビリティ評価)

#	質問	回答選択肢	回答数	
			Single-Layer	Multi-Layer
1	画面に表示されていた情報は、以下の画像のどちらに近かったですか	A: それぞれ離れて表示されている	0	9
		B: それぞれ一部重なって表示されている	9	0
2	表示のされ方は見やすかったですか？	1. とても見やすかった	0	6
		2. 少し見やすかった	2	3
		3. 少し見にくかった	6	0
		4. とても見にくかった	1	0

3	カメラの映像はどれだけ認識できましたか？	1. 十分認識できた	2	6
		2. 少し認識できた	2	3
		3. あまり認識できなかった	4	0
		4. ほとんど認識できなかった	1	0
4	画面に表示されていた情報によって、本来見たいものに対する意識が妨げられてしまうことがありましたか？	1. 何度かあった	5	0
		2. 少しあった	4	2
		3. 殆どなかった	0	7
5	見たい情報に意識を十分に向けることはできましたか？	1. できた	2	5
		2. 少しできた	6	4
		3. あまりできなかった	1	0
		4. ほとんどできなかった	0	0
6	見たい情報の一部が別の情報とかぶってしまい、見えなくなった事がありましたか？	1. 何度かあった	9	0
		2. 少しあった	0	1
		3. 殆どなかった	0	8
7	自分の欲しい情報以外にも、画面上に情報が過度に存在しているように感じましたか？	1. そう思う	3	0
		2. 少しそう思う	5	0
		3. あまりそう思わない	1	8
		4. そう思わない	0	1
8	画面全体の情報が多いように感じましたか？	1. 感じた	5	0
		2. 少し感じた	3	0
		3. あまり感じなかった	1	6
		4. ほとんど感じなかった	0	3
9	先ほどのARシステムに比べて、情報が整理されているように感じましたか？	1. 感じた	-	9
		2. 少し感じた	-	0
		3. あまり感じなかった	-	0
		4. ほとんど感じなかった	-	0

上記の表結果を視覚化したものは、以下の図に示すとおりである。

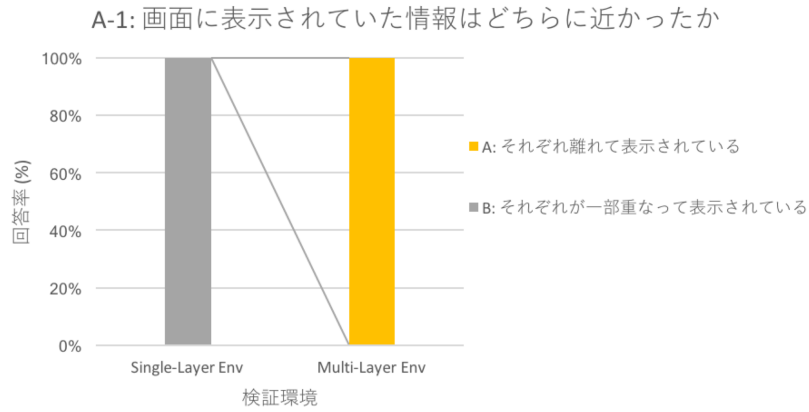


図 5.1.3.1 A-1 の結果比較

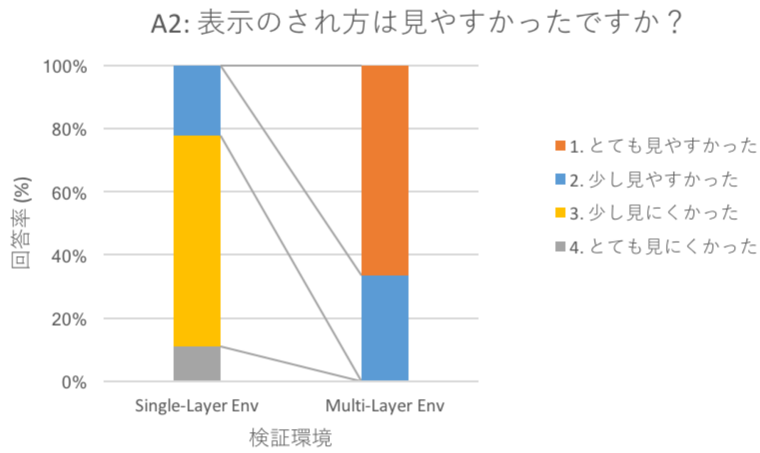


図 5.1.3.2 A-2 の結果比較

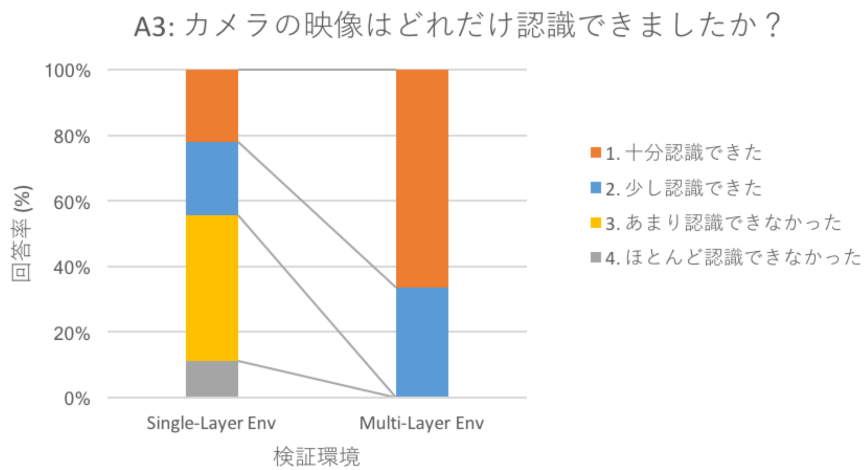


図 5.1.3.3 A-3 の結果比較

A4: 画面に表示されていた情報によって、本来見たいものに対する意識が妨げられてしまうことありましたか？

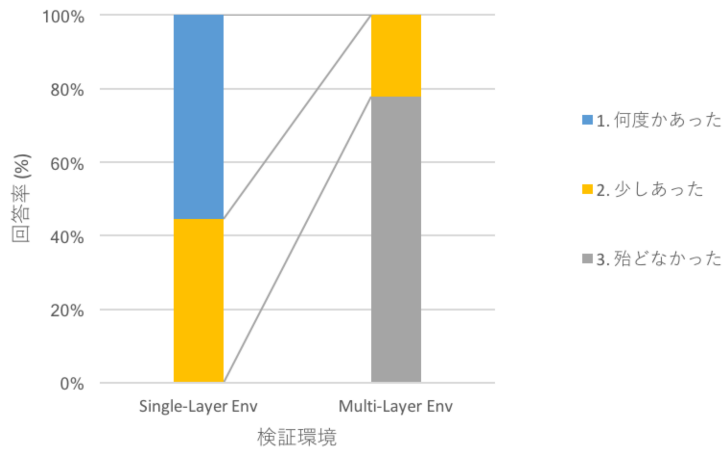


図 5.1.3.4 A-4 の結果比較

A5: 見たい情報に意識を十分に向けることはできましたか？

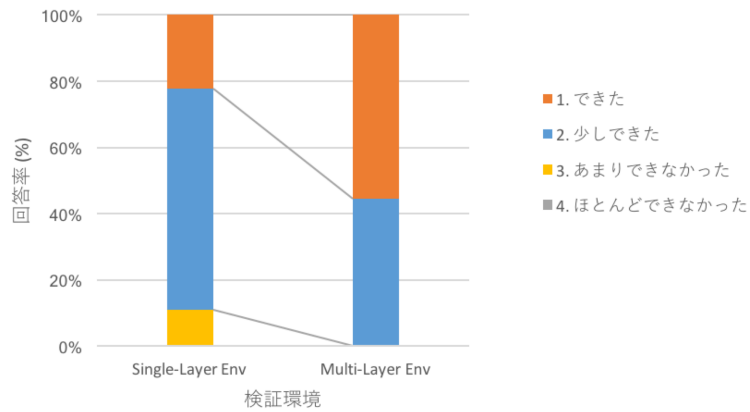


図 5.1.3.5 A-5 の結果比較

A6: 見たい情報の一部が別の情報とかぶってしまい、見えなくなった事がありましたか？

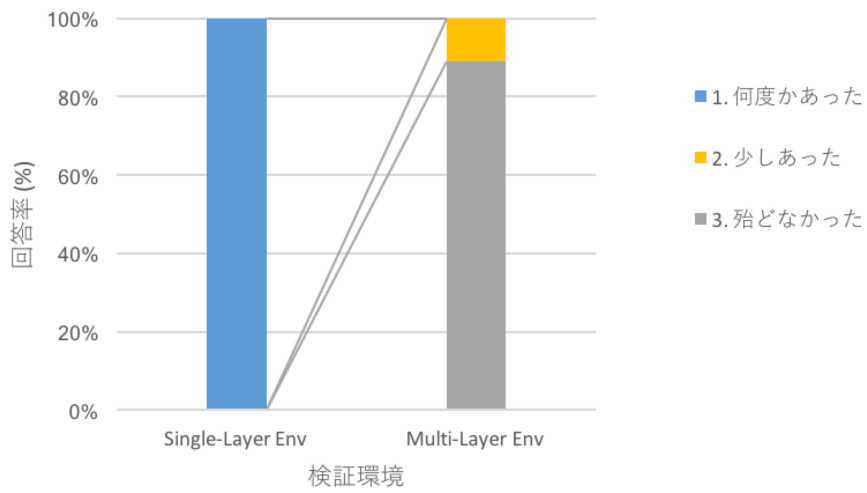


図 5.1.3.6 A-6 の結果比較

A7: 自分の欲しい情報以外にも、画面上に情報が過度に存在しているように感じましたか？

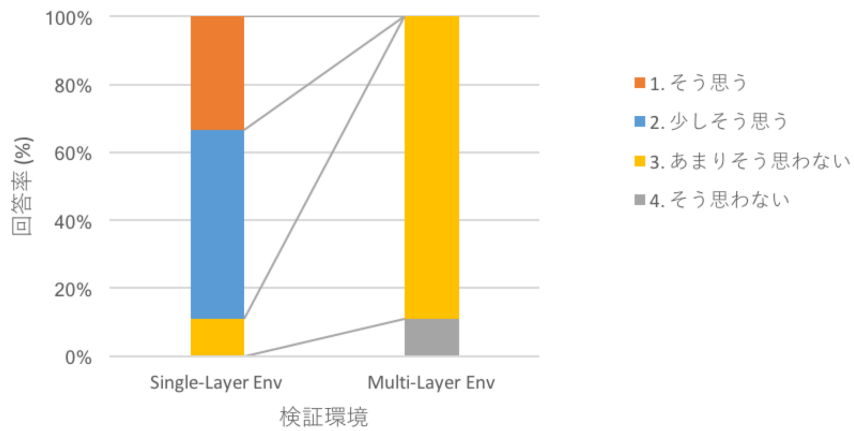


図 5.1.3.7 A-7 の結果比較

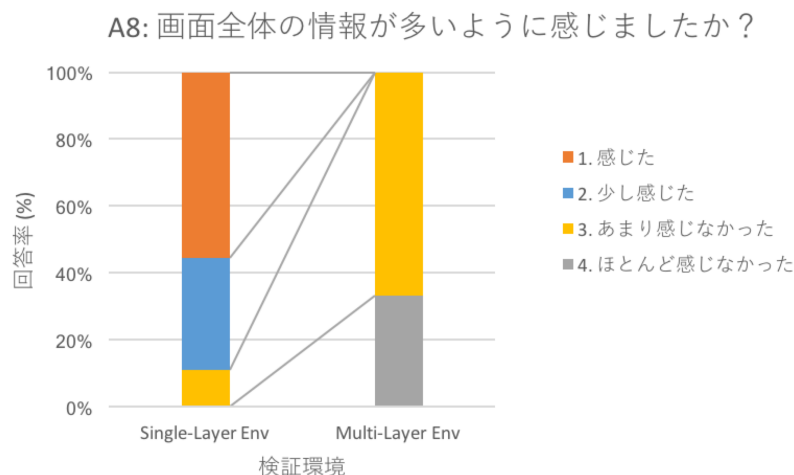


図 5.1.3.8 A-8 の結果比較

また、本ユーザビリティ検証において気になった点についてユーザが回答したコメントについては以下の表 5.1.3.2 に示すとおりとなっている。

表 5.1.3.2 ユーザビリティ評価における被験者からのコメント (原文ママ)

検証環境	回答
Single Layer	被って邪魔な部分を消せるようにしてほしい
	画面いっぱい画像が表示されてしまうと間取りに関して何も見ることができなくて不便に感じた
	アニメーションがかっこいいです
	ウェアラブル端末で表示されたら便利だと思いました。あと、表示するときとしないときの切り替えができると便利だと思いました。
Multi Layer	写真の不透明度が最大なのかその位置に別レイヤの文字が入ると見えなくなりました
	情報の切り替わりの時にそのまま固定する機能がほしかったです
	距離感が難しい...
	見ようと思った情報が透明になってしまうことがあってそこが少し見づらかったです
	突然表示が認識されなくなるところが気になった。

ユーザビリティ評価に関しては、全体を通してマルチレイヤ拡張現実環境の方が各アンケート項目に対して良好な結果を示していることが見て取れる。

情報の表示に関する項目を見ると、シンボルが複数個画面上に存在する場合においても重畳される情報同士が被ってしまう問題や、重畳される情報で画面が専有されてしまうという問題が解消される傾向であることが見て取れる。これは先述のシステム評価で検証した最大画面占有率(MSOR)及び情報オーバーラップ率(IOR)の改善がユーザ評価からも認められる結果となったことを示している。

意識分散に関する結果に関しても全体の傾向としてマルチレイヤ環境を使用した場合のほうがコンテンツに対する意識をより向けることができている事が見て取れる。これは、ユーザが自らの意志によってレイヤを選択することで不要な情報をフィルタするという副次的な効果を併せ持っていることも意味していると言えるだろう。

次に被験者が回答したコメントを見ていく。シングルレイヤ時では、今回の検証に用いたデバイス上での複数シンボルの重畳に対する視認性の低さについての意見が散見される。この点については、先述のシステム評価にあるように、一定数のシンボルが重畳されている状態では情報量自体の増加に合わせて情報同士のオーバーラップ

が発生することに起因している。一方で、マルチレイヤにおいてはこのような指摘は認められず、またアンケート項目による回答を併せると改善された環境となっていることが言える。

しかしその一方で、レイヤの距離感や固定機能の要望についての言及がいくつか見当たる結果となった。特にレイヤが表示されなくなるといった問題については、QRコードとデバイスの距離に起因する原因と、QRコードの認識能力に関わる原因に切り分けることができるだろう。前者については、レイヤに対するアクセシビリティ向上を検討する必要があると考える。また、後者についてはデバイスに依存した認識能力の限界も考えられるため、本システムの持つ要因として直接的に関連するものとは言いにくいだろう。

アクセシビリティ評価の結果については、以下のような結果となった。また、これらの結果推移図は図 5.1.3.9 に示すとおりである。

表 5.1.3.3 アクセシビリティ評価の結果

#	質問	回答選択肢	回答
1	違うレイヤへのアクセスはスムーズに感じましたか？	1. はい	8
		2. いいえ	1
2	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>	<ul style="list-style-type: none"> • どの距離で変わるのかが難しかった
3	レイヤへのアクセスは自然な方法だと感じましたか？	1. はい	9
		2. いいえ	0
4	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>	-
5	すぐに慣れることができましたか？	1. はい	8
		2. いいえ	1
6	いいえの場合はその理由を教えてください	<自由回答形式>	<ul style="list-style-type: none"> • どのくらい近づければよいのか慣れるまでに時間がかかった
7	情報をレイヤに切り分けることで不自由を感じましたか？	1. 感じなかった	8
		2. 感じた	1
8	「2. 感じた」の場合は、その理由を教えてください 回答を入力	<自由回答形式>	<ul style="list-style-type: none"> • 必要な情報が何番目のレイヤにあるのかが分からなくなるケースがあったため
9	その他気になった点	<自由回答形式>	<ul style="list-style-type: none"> • なぜ画像が透けたのか説明されるまでわからなかった。 • レイヤ間の表示の切り替えは2つの画像を並べて遠ざかるほうがすけていく感じのほうが分かりやすいと思った

アクセシビリティ評価結果

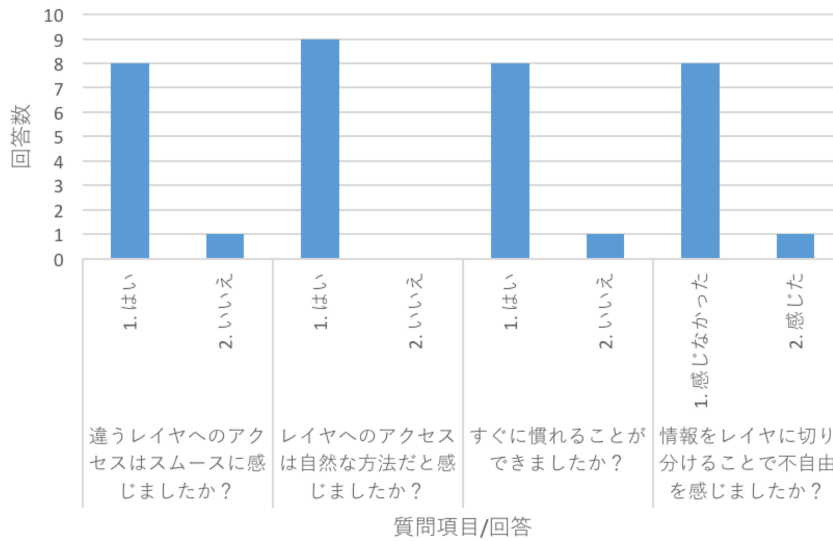


図 5.1.3.9 アクセシビリティ評価結果

アクセシビリティ評価では、主にレイヤへのアクセス手法や学習コストについて、被験者がアプリケーションを体験した後に取ったアンケートから、本システムにおけるインタラクションの妥当性について判断するものである。上記の表及び図による結果から、全体を通じて良好な傾向を認めることができる。

しかしながら一部の被験者からは、レイヤ間での情報表示についての使用感についてコメントを貰っている。本システムでは、デバイスの位置がレイヤとレイヤの間に位置している場合、その時点で表示されているレイヤを半透明にすることでレイヤの境界を示唆するような表現を採っている。しかしながら、一部の被験者からはこの表現の意図が伝わりにくいというアンケート回答を受け取る形となった。

5.2 考察

本章では、先述した評価結果から導き出されるシステムの特長やトレードオフ、マルチレイヤシステムを適用するユースケースなどについての議論を述べていく。

5.2.1 従来の AR システムとのトレードオフについて

本研究におけるマルチレイヤ拡張現実環境では、情報のある程度の粒度でレイヤに切り分けることで情報整理を実現している。この手法によって意識の分散や情報のオーバーラップなどの改善が可能なのが評価を通じて見出すことができた。しかしその一方で、情報のレイヤ化によって発生する影響についても検討する必要がある。

5.1.3 にあるように、先述のユーザ評価では「レイヤの境界の閾値がわかりにくい」といったコメントや、「見たいレイヤがどこに位置しているのか把握しにくい」といった印象を持った被験者が数人いた。重畳される環境が大きく異なることから、学習コストについては幾分考慮する必要があるものの、これらのコメントはレイヤ化構造の持つトレードオフを簡潔に示しているといえる。

従来の拡張現実システムでは、情報は一枚板の空間として重畳されるため、画面に対する情報密度は増加するものの、情報にアクセスするための更なるインタラクションは不要である。情報量による意識分散や情報のオーバーラップといった問題があるが、ユーザが情報を俯瞰できているために全体の情報量を把握するには比較的容易な環境ではある。一方で、本研究におけるレイヤ構造の拡張現実環境では、ユーザは拡張現実空間中の総情報量を把握することが従来に比べて難しい。そのため、現時点のプロトタイプアプリケーションではどの情報がどこに位

置しているのかを瞬時に判断することが難しいと言った問題が挙げられる。この点については後述の章にて議論するが、レイヤへのアクセシビリティを高めるインターフェースを適用することによって改善することが見込まれるだろう。

またマルチレイヤ構造を構築する場合には、どのようにレイヤを分割していくかを十分に考慮する必要がある。本システムでは、情報の整理を実現し特定のコンテンツへのユーザの意識を高めることができる一方で、異なる情報にアクセスする際にレイヤにアクセスするためのインタラクションの必要性が発生する。過度なレイヤ化や、同じコンテキストの情報を別のレイヤに置くといった構造にすると、レイヤ移動が頻発する可能性がある。これによって、レイヤ移動が情報を認識する際のオーバーヘッドになってしまうおそれがあり、かえってコンテンツに対する意識・没入の低下といった問題が発生するだろう。

5.2.2 情報量のスケールアップとレイヤの深さについて

今回実施したユーザ評価では、レイヤ数を3段階に設定しそれぞれのレイヤに情報を割り当てた。レイヤ数を増加させることで、シンボルに対して重畳できる情報量の総量が増加できることは明白であるが、過度なレイヤ化によってユーザビリティを低下させてしまう点に注意が必要である。

ここでのプロトタイプアプリケーションでは、はじめに認識したシンボルのピクセルサイズを基準にして、下図に示すようなレイヤ毎に固定のパラメータを与えて閾値を決定している。

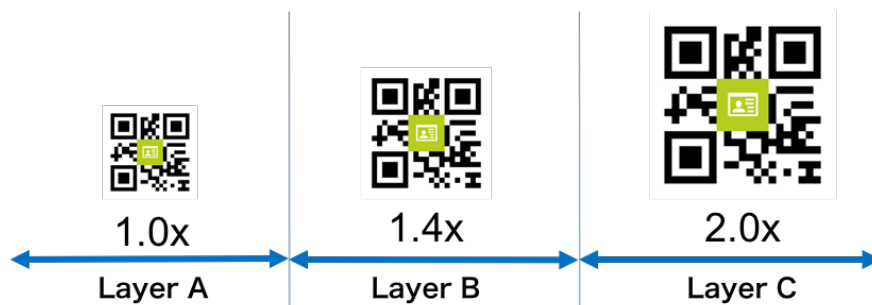


図 5.2.2.1 本ユーザ評価で設定したレイヤ毎のパラメータと基準サイズ

本システムでは、重畳されるレイヤはシンボルとデバイス間の距離によって決定される構造となっている。一定の距離でレイヤを多く重ねる場合には、1つのレイヤあたりの表示閾値は短くなるという問題が発生する。これは、わずかなデバイスの移動でレイヤが変化してしまうためユーザの意図しないレイヤ移動が発生する可能性があり、ユーザビリティを損ねる可能性があるという問題を意味している。

そのため、設定するレイヤ数を増加させる場合は、シンボルとデバイスに十分な距離を確保した状態で行うことがユーザビリティを維持した情報量のスケールアップを実現する際に考慮すべき点となるだろう。

パンフレットなどのように、シンボルとユーザ数が1:1であるような状況では、シンボルとデバイスの距離は比較的短距離であることが想定されるため、構成するレイヤ数は過剰に設定しないことが求められるだろう。逆にパブリックディスプレイなど、シンボルとユーザ間にある程度の距離を確保できるような状態であれば、レイヤ数をスケールアップすることも可能になるだろう。

5.2.3 拡張現実の新たな適用フィールドについて

本研究で提案するシステムは、従来の拡張現実システムとは構造が異なるため、今までにない拡張現実のユースケースが考えられる。

本研究でのマルチレイヤ型拡張現実システムは、情報を幾つかの仮想的なレイヤにアサインすることで情報の整理を実現し、またユーザのコンテンツに対する没入を高める特性を併せ持っていることが、評価結果より見て取れた。なお本論文におけるプロトタイプシステムでは、近距離のオブジェクトに対して1人のユーザが拡張現実空間にアクセスするというシナリオを想定し、先述の評価を行っている。

しかし本システムはこのような1:1のインタラクションに限らず、1つのオブジェクトに対して不特定多数のユーザによるインタラクションにおいても従来の拡張現実システムにはない特性を持った新たな応用性を兼ね備えているといえるだろう。

本システムでは情報はレイヤによって整理されているが、レイヤに対しては不特定多数のユーザが同時に異なるレイヤにアクセスすることが可能である。これは、表示するレイヤを決定するロジックが、マーカとなるシンボルと表示させるデバイスとの相対的距離で決定されるためである。従来のARシステムでは、拡張現実空間は全てのユーザが同一のものであったため、ユーザごとにノイズになってしまう情報のフィルタリングは実現できなかった。つまり、レイヤードなARシステムでは、すべてのユーザがシンボルとレイヤに対して情報の選択性を有している事を意味している。

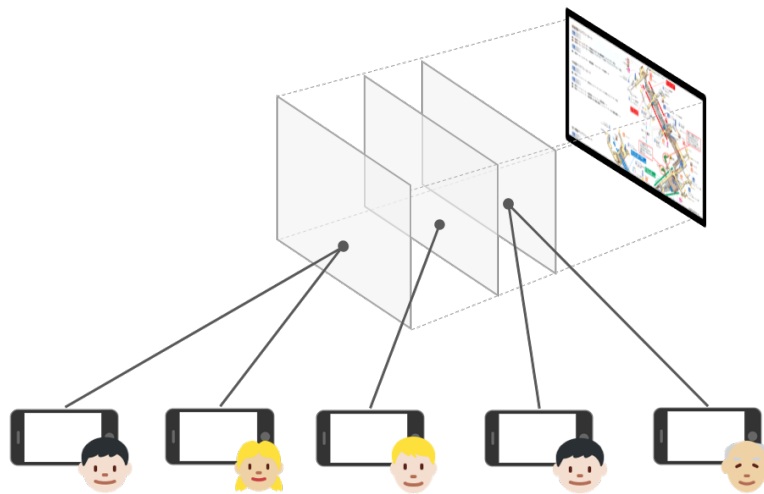


図 5.2.3.1 不特定多数のユーザに対して情報の選択性を実現できる

このような特性は、パブリックディスプレイのように不特定多数が同時に情報にアクセスする可能性があり、かつ情報表示領域が限られているような場合に適応できる可能性があるだろう。

パブリックディスプレイにおけるインタラクションの研究は数々行われてきている。(Morrison, 2008)によるCityWallのように、近年一般的なパブリックディスプレイないしはデジタルサイネージの形式においては、ユーザが画面にタッチしたりするなど直接的なインタラクションを行うことで目的の情報を得ている[9]。しかしながら、このようなインタラクションではユーザ毎に異なる情報を提示することが難しく、またプライバシー等の問題も存在しており、不特定多数のユーザが同時に操作するといったケースではスケールしにくいことが(Peltonen, 2008)(Vogel, 2004)などによって議論されている[10][11]。このような背景を踏まえて(Kaviani, 2009)では、モバイルデバイスを用いたインタラクションを提案している[12]。また、似たケースとしては(Ballagas, 2005)にあるようなデバイス上のカメラを利用してパブリックディスプレイ上のコードを認識し、対象の情報を操作するといったアプリケーションがあげられる[13]。

本研究も上記の関連研究と同様に自身のデバイス上でのインタラクションによって情報を取得・操作するものであるため親和性の高いものとなっている。情報に選択性をもたせるという点で本研究がこれらのパブリックディスプレイにおける研究に適用できる余地は十分にあるだろう。

6. 今後の課題

本章では、現時点でのマルチレイヤ型拡張現実システムの持つ課題とそれに対する現時点での適用可能な解決手法について検討し議論をしていく。

6.1 マーカレス AR の実現

本論文において実装を行ったプロトタイプシステムでは、拡張現実空間上に重畳するトリガーとして QR コードを用いたシンボルを用いている。QR コードは高速で精度の高い認識を実現する手法として有効な技術である一方で、QR コード自体がノイズにもなり得てしまうという副作用が存在する。これは、QR コードがドットパターンによる機械的な表現を用いているため計算機に対しては非常に強力なものであるが、一方でユーザに対して可読性を持ち合わせていないためそれ自体がユーザに対して情報を与えるものではない事を意味している。QR コードを用いておこなったユーザ評価では有効な結果を示したものの、情報整理という観点から考えた際にさらなる有効性の向上を測るためには、QR コードではないシンボルを用いることが必要となってくるだろう。

適用可能な手法としては有機的なシンボルを用いたマーカレス AR システムを適用することが考えられる。マーカレス AR では、一般的なオブジェクトや、有機的なアイコンをシンボルとして使用することができる。例えば看板や案内表を AR のシンボルとして認識させることができるため、ノイズのより少ない環境を構築することができると考えられる。しかしながら、重畳させる情報に対してシンボルはユニークである必要があるため、競合しやすい汎用性のあるものは使用することができない点には留意する必要がある。

6.2 レイヤへのアクセシビリティの向上

本論文においておこなったユーザビリティ評価では全体を通じて有効性が認められるような結果を得ることができた一方で、一部の被験者からはレイヤへのアクセシビリティに対する要望などのコメントを得る結果となった。特に、情報のレイヤ化に伴って 1 シンボルに対する重畳情報の全体像を掴むことが難しくなった点については現時点の実装においては事実である。どのような情報が含まれているのかを適切な形でユーザに提示することで、混乱が少なく、選択性のより高いシステムとして改善を行うことができるだろう。

6.3 HMD への適用

本研究は、限られた画面領域に対するより効果的な情報提示の手法として、情報の多層化による情報整理という解決手法を提案した。またスマートフォンデバイスを用いた検証では、有効性を見出すことができた。今後は、本システムがこのような狭い画面領域だけでなく、HMD をはじめとする視野全体に適用可能な重畳領域を持つ環境に対しても本システムを適用できるか模索していきたい。

本論文では、レイヤへのアクセス手法を手元のスマートフォンデバイスを用いることで実現した。HMD のように頭部に固定するようなデバイスであれば手元にデバイスを持つ必要性が無くなるため、別の手法によるレイヤへのインタラクションを考えていく必要がある。この問題に対するひとつの手法としては、ジェスチャ認識を用いたレイヤアクセスなどがあげられるだろう。

7. 結論

本研究では、拡張現実システムにおける情報の整理という観点から見たより良い情報提示の手法として、多層化した拡張現実環境による解決手法を提示した。またレイヤに対するインタラクションについても、シンボルのサイズをベースにして、デバイスとの距離によって決定するという手法を提案した。プロトタイプシステムを用いた評価ではシステム評価およびユーザ評価共に、情報整理や情報への意識・認知と言った点で有効な結果を見出すことができた。拡張現実環境として情報を提示する構造が従来の環境と大きく異なることから、本研究で提示するマルチレイヤ型拡張現実環境に適するケースや適さないケースなどのトレードオフはあるものの、情報整理という点で従来の環境から大きく改善した環境を構築することができたと結論付けることができるだろう。

参考文献

- [1] Tsurukawa, Junichi, Mohammed Al-Sada, and Tatsuo Nakajima. "Filtering visual information for reducing visual cognitive load." Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, 2015.
- [2] The Cognitive Limit of Organizations, MIT Media Lab, October 7, 2011
<http://blog.media.mit.edu/2011/10/cognitive-limit-of-organizations.html>
- [3] Grindley, G. C., and Valerie Townsend. "Voluntary attention in peripheral vision and its effects on acuity and differential thresholds." *The Quarterly journal of experimental psychology* 20.1 (1968): 11-19.
- [4] Azuma, Ronald, and Chris Furmanski. "Evaluating label placement for augmented reality view management." Proceedings of the 2nd IEEE/ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2003.
- [5] Sato, Makoto, and Kaori Fujinami. "Nonoverlapped view management for augmented reality by tabletop projection." *Journal of Visual Languages & Computing* 25.6 (2014): 891-902.
- [6] Tanaka, Kohei, et al. "An information layout method for an optical see-through head mounted display focusing on the viewability." Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2008.
- [7] Lee, Jinha, and Hiroshi Ishii. "Beyond: collapsible tools and gestures for computational design." CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2010.
- [8] Follmer, Sean, et al. "inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation." *Uist*. Vol. 13. 2013.
- [9] Morrison, Ann, Giulio Jacucci, and Peter Peltonen. "CityWall:: Limitations of a Multi-Touch Environment." (2008).
- [10] Peltonen, Peter, et al. "It's Mine, Don't Touch!: interactions at a large multi-touch display in a city centre." Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. ACM, 2008.
- [11] Vogel, Daniel, and Ravin Balakrishnan. "Interactive public ambient displays: transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users." Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, 2004.
- [12] Kaviani, Nima, et al. "What goes where?: designing interactive large public display applications for mobile device interaction." Proceedings of the First international Conference on internet Multimedia Computing and Service. ACM, 2009.
- [13] Ballagas, Rafael, Michael Rohs, and Jennifer G. Sheridan. "Sweep and point and shoot: phonecam-based interactions for large public displays." CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems. ACM, 2005.

- [14] Herling, Jan, and Wolfgang Broll. "Markerless tracking for augmented reality." Handbook of Augmented Reality. Springer New York, 2011. 255-272.
- [15] Julier, Simon, et al. "Information filtering for mobile augmented reality." Augmented Reality, 2000.(ISAR 2000). Proceedings. IEEE and ACM International Symposium on. IEEE, 2000.
- [16] Tateno, Keisuke, Itaru Kitahara, and Yuichi Ohta. "A nested marker for augmented reality." Virtual Reality Conference, 2007. VR'07. IEEE. IEEE, 2007.
- [17] Rekimoto, Jun, and Yuji Ayatsuka. "CyberCode: designing augmented reality environments with visual tags." Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments. ACM, 2000.
- [18] Ababsa, Fakhr-eddine, and Malik Mallem. "Robust camera pose estimation using 2d fiducials tracking for real-time augmented reality systems." Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry. ACM, 2004.
- [19] Hürst, Wolfgang, and Casper Van Wezel. "Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality." Multimedia Tools and Applications 62.1 (2013): 233-258.
- [20] Bai, Huidong, et al. "Markerless 3d gesture-based interaction for handheld augmented reality interfaces." Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2013 IEEE International Symposium on. IEEE, 2013.
- [21] Hürst, Wolfgang, and Kevin Vriens. "Mobile augmented reality interaction via finger tracking in a board game setting." Workshop Paper. 2013.

謝辞

本研究を行うにあたってこのような機会を設けていただきご指導を賜りました中島 達夫教授に心より感謝いたします。また、本研究の評価実験に参加していただいた皆さまを始め、アドバイスや相談に乗っていただいた研究室の同輩達に感謝いたします。

