

修士論文 2020 年度（令和 2 年度）

次世代 AR ナビゲーションの研究

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

左治木 隆成

2021 年 1 月

修士論文 2020年度（令和2年度）

次世代ARナビゲーションの研究

論文要旨

WIP

キーワード

AR、ナビゲーション、NFC、Wiki、ハイパーアリンク

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

左治木 隆成

Abstract Of Master's Thesis Academic Year 2020

A L^AT_EXTemplate for Master Thesis

Summary

WIP

Keywords

AR, navigation, NFC, Wiki, Hyperlink

Graduate School of Media and Governance
Keio University

Ryusei Sajiki

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の動機	2
1.2 研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 研究背景	5
2.1 ARによるヘルプ・ナビゲーションシステムの歴史	6
2.2 ARによるヘルプ・ナビゲーションの現状	6
2.2.1 Google MapsのARナビ機能	6
2.2.2 遺跡・史跡のARナビゲーションアプリ	6
2.3 ARによるヘルプ・ナビゲーションの問題点	8
2.4 テキストや画像の進化	9
2.5 NFC技術とインタラクション	10
2.6 まとめ	10
第3章 設計	13
3.1 要件	14
3.2 HypAR Touch	14
3.2.1 基本構成	14
3.2.2 使い方	16
第4章 実装	27
4.1 アプリケーション構成	28
4.1.1 HypAR Touch アプリ	28
4.1.2 HypAR Touch サーバ	29
4.1.3 Scrapbox	30
4.1.4 Gyazo	30
4.1.5 NFCタグ	30
4.2 NFCによるキャリブレーション	31
第5章 応用例	33
5.1 駅など公共施設での案内	34
5.2 近隣施設の探索・推薦	35

5.3	学習教材としての利用	36
5.4	リンクを利用した柔軟な参照	37
5.5	まとめ	37
第6章	関連研究	39
6.1	主要な研究領域	40
6.2	AR をナビゲーションに利用する研究	40
6.2.1	A Touring Machine	40
6.2.2	KARMA	40
6.2.3	MARS	41
6.2.4	NaviCam	42
6.2.5	Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality	43
6.2.6	Wikitude	43
6.3	ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究	44
6.3.1	RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning	44
6.3.2	Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System	46
6.3.3	App Clips	47
6.4	NFC を用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究	47
6.4.1	Bridging physical and virtual worlds with electronic tags	47
6.4.2	GoldFish	48
6.4.3	Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology	48
6.5	AR・VR 情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究	48
6.5.1	VAnnotatoR	49
6.5.2	HyperReal	49
6.5.3	Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments	50
6.5.4	MagicBook	51
第7章	考察	53
7.1	評価	54
7.1.1	意見・感想	54
7.1.2	筆者の運用経験	54
7.1.3	問題点・要望	54
7.2	考察	55
7.2.1	設計の妥当性	55

7.2.2 解決すべき課題	55
7.2.3 問題点の検証	56
第8章 結論	57
8.1 研究の成果	58
8.2 総括	58
謝辞	59
参考文献	60

図 目 次

2.1 Google Maps での AR 表示	7
2.2 専用のマーカー	8
2.3 AR での案内	8
3.1 Scrapbox の画面	15
3.2 Scrapbox の関連ページリスト	15
3.3 NFC タグにタッチする様子	16
3.4 AR での表示	17
3.5 スライダーによる距離指定	17
3.6 カーソルを重ねた状態	18
3.7 選択した状態	18
3.8 関連情報の選択	19
3.9 詳細を表示するボタン	20
3.10 Scrapbox での情報表示	20
3.11 移動ボタン	21
3.12 Map での移動アニメーションの途中	21
3.13 移動先からの視点	22
3.14 進むボタンと戻るボタン	23
3.15 新しくページを作成した時	24
3.16 Scrapbox に貼り付けた画像	24
3.17 Scrapbox 上の画像と AR での表示	25
3.18 Scrapbox 上のリンクと AR での表示	25
3.19 NFC に書き込む URI データ	26
3.20 モバイルアプリでの登録	26
4.1 構成図	28
4.2 Custom URL Scheme	31
5.1 案内の様子	34
5.2 出口だけの案内	34
5.3 リンクを利用したルートの表記例	35
5.4 スキーのリンクを選択した時	36
5.5 飲食店を選択した時	36

5.6 リンクを利用したルートの表記例	37
6.1 表示されたキャンパスの情報	41
6.2 実際の装備	41
6.3 KARMA	41
6.4 AR での表示	42
6.5 経路の投影	42
6.6 屋内での利用	42
6.7 NaviCam	43
6.8 特徴量による画像認識	44
6.9 矢印による案内	45
6.10 Wikitude	45
6.11 屋内での位置測位手法の比較	46
6.12 App Clips	47
6.13 NFC Internal のイメージ	49
6.14 VAnnotatoR での AR 表示	50
6.15 HyperReal での AR 表示	51
6.16 HyperReal での VR 表示	52
6.17 MagicBook での AR (左) と VR (右)	52

表 目 次

第1章 序論

本章では本研究の動機と目的、および本論文の構成について述べる。

1.1 研究の動機

拡張現実感 (AR : Augmented Reality) によるヘルプ・ナビゲーションの歴史は長く、早いものでは 1990 年代から存在している。また AR にはヘッドマウントディスプレイを使うものと携帯端末のカメラを通した映像に情報を付加するものが存在するが、後者は近年のスマートフォンの普及と高性能化により利用環境が整って来ている。しかし既存の AR ナビゲーションシステムには以下のような問題点があるため、AR は汎用的なヘルプ・ナビゲーションシステムとしては現在活用されていない。

- 環境を問わず正確で安価に位置測位をすることが難しい
- 表示する情報の登録・編集が煩雑で参照や管理が面倒
- 案内を起動するまでの負荷が高い

一方で AR でも頻繁に扱われるテキストや写真、地図などのマルチメディア情報は計算機の進歩と web の発展とともに以下のような進化を遂げた。

- 他の文書への参照を実現するハイパーリンクと、それを内包した文書であるハイパーテキストが登場した。
- Web の普及によって様々なメディアにハイパーリンクを経由して手軽にアクセスできるようになった。
- web からアクセス可能な地理情報システムが登場し地理情報の紐付けが用意になった。
- コラボレーションツールである Wiki が複数人による共同編集を可能にし、知見の共有を実現した。

さらにモバイル端末の高性能化により多くの端末で近距離無線通信 (NFC : Near Field Communication) による非接触タグの読み書き機能が搭載されるようになっている。NFC による非接触タグには以下のようない点が存在する。

- タグ側に電力を必要とせず、小型化できるためタグを設置する場所や物を選ばない
- 個別の ID や URL 情報を記録するには十分な記憶容量を持つ
- 読み取り側で検知した時の動作をある程度規定できる

このような利点はヘルプシステムやナビゲーションシステムに利用するにあたって非常に有用なものであると考える。

本研究では NFC タグの利点を AR の正確な位置測位とコンテキスト情報の取得に活かしつつ、AR 情報の管理に Wiki の手法を取り入れたシステムを開発し、既存の AR ナビゲーションシステムが抱える問題点を解決した。

1.2 研究の目的

本研究では、第 1.1 節で述べた AR ナビゲーションシステムが持つ問題点を解決する AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の構築を目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は以下の 8 章で構成される。

第 2 章では、本研究の背景をより詳細に分析し、既存システムの問題点を整理する。

第 3 章では、本論文で提案するシステムの基本構成と使い方について述べる。

第 4 章では、本論文で提案するシステムの詳細な実装について述べる。

第 5 章では、本論文で提案するシステムの利用例を紹介する。

第 6 章では、関連する研究を紹介し、それらの特徴や本研究との関連を述べる。

第 7 章では、筆者による運用経験やユーザからのフィードバックをまとめ、本論文で提案するシステムの有効性と問題点について述べる。

最後に、第 8 章で本論文のまとめと結論を述べる。

第2章 研究背景

本章では既存の AR ナビゲーションシステムの現状と、その問題点を整理する。

2.1 ARによるヘルプ・ナビゲーションシステムの歴史

ARによる表示をヘルプやナビゲーションシステムに利用する研究は90年代はじめから存在する。初期の有名な例としてはプリンタのメンテナンス情報をARで表示するプロトタイプであるKARMA[4]や大学構内の案内をARで表示するナビゲーションシステムであるA Touring Machine[3]が挙げられる。これらはヘッドマウントディスプレイを利用したものであるが、当時のヘッドマウントディスプレイは非常に大型で性能の限界もあり実用的とは言えないものであった。

その後2000年代になりモバイル端末が普及するとGPSと方位などの情報をもとにカメラを通して周囲の情報をディスプレイに表示するアプリケーションが現れるようになった。代表的なものとしてWikitude¹が挙げられる。これらもモバイル端末の普及と合わせて話題となつたが、位置測位精度の面で課題が残るものであった。

2.2 ARによるヘルプ・ナビゲーションの現状

ARによるヘルプ・ナビゲーションとして実用化しているシステムを紹介し、その現状を解説する。

2.2.1 Google MapsのARナビ機能

Google²は2018年のGoogleI/O 2018で自社の開発する地図アプリケーションGoogle Maps³にAR機能が追加されることを発表し、翌2019年5月に「ARナビゲーション」機能としてα版をリリースした。この機能は目的地を地図で選択した上でARモードに切り替えることで起動でき、図2.1のようにARで道案内を表示するものである。このアプリケーションではGPS(Global Positioning System)による位置情報や方位センサによる方位情報に加え、カメラで取得した周囲の景色の情報を元にユーザの位置と向きを判別し比較的高精度なAR表示を提供している。一方で用途はあくまでもあくまで目的地までの経路案内に限られており、GPSの届かない場所や周囲の景色による解析が難しい屋内では利用できないと言うデメリットが存在している。

2.2.2 遺跡・史跡のARナビゲーションアプリ

日本国内の史跡ではマーカーベースのAR案内アプリケーションが複数採用されている。これらのアプリケーションの大半は史跡の各地点にマーカーを設置し、その場所に関する解説や当時の様子を再現したCGをARで表示するというものである。今回は一例として松山城址のナビゲーションアプリである「攻略 松山城」⁴を紹介する。このアプリはARでの表示を用いながら松山城の歴史や仕組みをテキストや動画で解説するアプリである。具体的には図2.2のような専用の

¹<https://www.wikitude.com/>

²<https://google.com>

³<https://www.google.com/maps>

⁴<https://www.cadcenter.co.jp/works/archives/98>



図 2.1: Google Maps での AR 表示

マーカーをアプリのカメラで読み込むことで、図 2.3 のように解説動画のリンクを適切な位置に表示する。広い史跡の中で実際の場所と見比べながら当時の様子や解説を参照できるこのようなアプリケーションはパンフレットなどと比べわかりやすく、有用であると言える。一方でこのようなアプリケーションには以下のような問題点がある

- マーカーの設置が面倒である
表示したい場所ごとに図 2.2 のような大きなマーカーを設置しなければならずコストが高いと言える。
- アプリのダウンロード案内が別途必要になる
案内専用のアプリとマーカーを利用しているためマーカーだけでなくアプリをダウンロードするための案内も必要になり、案内が冗長になってしまふ。また特定の目的ごとに専用のアプリケーションを導入させる仕組みはユーザの負担となりうる。



図 2.2: 専用のマーカー



図 2.3: AR での案内

2.3 AR によるヘルプ・ナビゲーションの問題点

前節で述べた現状を元に既存の AR によるヘルプ・ナビゲーションシステムの問題点を整理する。AR のナビゲーションシステムには以下のような問題点がある。

- 立ち上げるまでのインタラクションが面倒

前節の「遺跡・史跡の AR ナビゲーションアプリ」のようにマーカーベースの AR ナビゲーションでは(1)設置されたマーカーを元にアプリを選択、(2)アプリを起動、(3)カメラでマーカーを中心に収めるという 3 ステップが必要になる。GPS と方位情報から位置測位を行うアプリケーションの場合、このような手順は必要ないが後述するように精度が悪く用途が限られるという問題がある。

- 位置測位の方法によって精度や用途が大きく限られる

AR でのナビゲーションを行う際に多く用いられる位置測位の方法は、(1)マーカーを使うものと(2)GPS による座標検知と方位情報をあわせて利用するものの 2 通りに大別される。(1)の場合マーカーが読み込めば精度は高いが、ある程度の距離からカメラで十分認識できるサイズのマーカーを設置する必要がある。(2)の場合特別な設備は必要ないが精度面に疑問が残ることに加え、GPS 電波の届く屋外に利用が限定される。前節で挙げた GoogleMap の AR 機能では GPS や方位情報に加え Google が撮影した道路の画像を元に補正を行い、精度を上げているが周囲の景色が登録されていない屋内での利用ができないという問題点は

残る。

- 情報の登録・編集が面倒

ARで単に目的地の位置を表示したり、決め打ったデータを表示する AR ナビゲーションアプリは多いが、情報の登録や編集の簡易さに焦点を置いた物は少ない。一方で AR で表示したい情報は常に変化する可能性があり、今後も増加していくことが予想される。このような状況で一般ユーザが気軽に情報を登録編集できる環境を整えることは非常に重要である。

- 関連情報を参照・管理することができていない

ARでの表示する情報が増えるにしたがってそれらを互いに参照したり、ドメインごとに管理するニーズは高まっていく。しかしながら既存のナビゲーションアプリでは AR で表示した情報同士を互いに参照して関連情報を表示したり、特定の分野でや条件でフィルターすることが難しい。

- 汎用性のあるアプリケーションがない

上記のように「情報の登録・編集が面倒」、「関連情報を参照・管理することができていない」という問題点から特定の目的や分野に限った AR ナビゲーションアプリは存在するものの、分野や目的を横断した汎用的 AR ナビゲーションアプリは開発されていない。そのため現状では目的や施設ごとにアプリケーションをユーザ側で切り替える必要があり、AR ナビゲーションアプリが増えるほどユーザの負担は大きくなる。ユーザの目的やニーズは多岐に渡るためニーズごとにアプリケーションを分けて推薦するのではなく、様々な種類の情報を包括的に管理できるシステムが求められている。さらに目的や施設ごとにアプリケーションと情報が独立してしまうことで分野を横断したつながりを表現できないという問題点も生まれる。

2.4 テキストや画像の進化

前節で述べたとおり AR によるヘルプ・ナビゲーションには課題が多いが、ナビゲーションに利用しているテキストや画像などのメディアは計算機の進化とともに発展し、多くの問題点を克服している。

計算機上で利用されているテキストは、文字から内容を検索することが可能なため文書の参照や管理が格段に行いややすくなり、あらゆる文書が電子化されたテキストに置き換えられるようになった。また Web やハイパーリンク等の技術によってより参照しやすくなったほか、別の文書を引用する等の再利用が可能になった。さらにハイパーリンクを含んだ文書を手軽に作成・編集できる Wiki[9] が登場したことにより柔軟で活発なテキストによる知見の共有や情報の再利用が実現された。

同様に画像や地図などのメディアも電子化と web の進歩により参照や管理が格段に行いややすくなったり。SNS や画像の管理が行えるクラウドウェアの普及により誰しもが写真を撮影し容易に web 上にアップロード/公開することが可能になった。このようにして公開された画像は URL によって一意に参照することができ、画像の再利用性は大きく高まった。また Google Maps のように、地理情報システム (GIS : Geographic Information System) が誰でも検索・参照可能な形で Web

に公開されることで位置情報や地理情報を参照することが容易になった。

このような文書以外のメディアの進化に合わせ、近年の文書作成システムや Wiki システムは画像/音声/動画/地図といったマルチメディアを自在に埋め込む機能を持っている。

2.5 NFC 技術とインタラクション

AR でのナビゲーションシステムには自身の位置情報やその場のコンテキスト情報が不可欠であり、一般的にそのような情報を瞬時に取得することは難しい。一方 NFC タグには以下のような特徴があり、実世界においてその場のコンテキスト情報や設置されたものの情報を記述するのに便利である。

- 電源がいらない
- 非常に薄く、小型
- ID や URL などを記録するには十分な記憶容量を持つ
- 一枚あたり 10 円前後と安価

近年では多くのモバイル端末に NFC タグの読み取り機能が搭載されており、一般的な NFC タグであれば誰でも書き込まれた情報を瞬時に読み取ることができる。さらに書き込むデータ形式によっては、モバイル端末で NFC タグの読み取るだけで web ページを開いたり、アプリを起動することが可能である。

このような NFC タグの特徴は、現在一般的な用途である決済や在庫管理、家電操作などに加えナビゲーションシステムを補助するシステムとして有効であると考える。

一方で NFC タグは読み取る際に、読み取る機器を NFC タグにかなり近づける必要があるという制約がある。この技術的制約は一般的にデメリットとして捉えられがちであるが、NFC タグを読み取ったタイミングでのユーザの持つ端末の位置は NFC タグとほぼ接していると確定できるとも言える。つまり NFC タグに位置情報をもたせることができれば非常に少ない誤差でユーザの持つ端末をの位置を確定できることになる。この特徴は第 2.3 節で述べた問題点の 1 つである NFC の位置測位の問題を解決するものである。

2.6 まとめ

AR をナビゲーションとして利用するアイデアは以前から存在し、モバイル端末の普及と発展により実用段階に来ているプロダクトも増えている。しかしながら第 2.3 節に上げた問題点を解決できていないため、汎用的なヘルプ・ナビゲーションとして利用されるに至っていない。一方でナビゲーションに利用しているテキストや画像などのメディアは計算機上で積極的に応用されており、ハイパーリンクや Wiki 等の技術によって参照や再利用がより行いやすくなったり。また近年多くのモバイル端末に搭載されている NFC 技術には第 2.3 節であげた問題点の一部を克服する可能性がある。したがって AR の正確な位置測位とコンテキスト情報の取得に NFC の技術を利

用しつつ、AR で表示する情報の管理に Wiki の手法を取り入れることで第 2.3 節に挙げた問題を解決できると考える。次章では第 2.3 節に挙げた AR ナビゲーションシステムが持つ問題点を解決し、次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」を提案する。

第3章 設計

本章では次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の要件と設計について述べる

3.1 要件

前章で整理した AR ナビゲーションシステムの問題点を踏まえた上で HypAR Touch システムの要件を整理する。

- 手軽になインタラクションでアプリケーションの起動と位置測位ができる
- 周囲のコンテキストを簡単に指定できる
- AR での表示情報を容易に登録・編集できる
- ハイパーリンクを利用し関連情報を参照・管理することができる

これらの要件を満たす AR ナビゲーションシステムは、NFC をタッチするインタラクションとハイパーテキストの編集環境である Wiki の組み合わせによって実現できる。

3.2 HypAR Touch

本研究で提案する AR ナビゲーションシステムである HypAR Touch の基本構成と使い方を解説する。

3.2.1 基本構成

本研究で提案する AR ナビゲーションシステム HypAR Touch はモバイル端末向けアプリケーションである HypAR Touch アプリと専用の NFC タグ、Wiki である Scrapbox で構成されている。

HypAR Touch アプリ HypAR Touch アプリは AR でのナビゲーションを表示するモバイル端末向けネイティブアプリケーションである。後述する専用の NFC タグにタッチすることで AR ナビゲーションを表示することができる。NFC タグの読み取り機能を持つ Android¹端末と iOS² 端末に対応しており、現在流通する多くのモバイル端末で利用可能である。

NFC タグ 本システムではモバイル端末の位置情報測位および提示するナビゲーションの出し分けのために NFC タグを利用している。NFC タグには ISO/IEC 14443 の TypeA³規格に準拠する NFC タグを利用しておおり、NDEF⁴(NFC Data Exchange Format) 形式で情報を記録している。このタグタイプと情報形式は NFC 機能を持つほとんどのモバイル端末で読み取りがサポートされており、アプリを起動していない状態でのバックグラウンド読み取りにも対応している。さらにタグ内に記録する情報として CustomURLScheme を利用することでアプリが起動していない状態でも NFC タグにタッチすることで HypAR Touch アプリの起動を可能としている。

¹<https://www.android.com/>

²<https://www.apple.com/jp/ios>

³<https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10834.pdf>

⁴<https://nfc-forum.org/our-work/specification-releases/specifications/nfc-forum-technical-specifications/>

Scrapbox Scrapbox(図 3.1) は Gyazz[17] をベースにして開発された、Nota⁵社が運営している Wiki である。本システムではこの Scrapbox を AR で表示する情報の管理ツールとして利用している。これは Scrapbox が他のシステムには存在しない以下のような HypAR Touch に適した特徴を持つためである。

- シンプルで柔軟な記法をもつ WYSIWYG エディタ
入力/改行/段落/箇条書きといった基本的なテキスト編集を見たまま行える。
 - 場所指定に最適な Location 記法
Google Maps の URL を貼り付けるだけで地図を埋め込める Location 記法⁶と呼ばれる機能があり地理情報を記述するのに適している。本システムではこの Location 記法によって表示する情報の場所を指定している。
 - リンク記法によるシンプルなハイパーリンクと関連ページリスト
Scrapbox では単語を [] で囲うだけで同一 wiki 内ページへのリンクとすることが可能である。さらに Scrapbox ページの下部には
 - 別ページへのリンク
 - 別ページからのリンク
 - リンク先ページがリンクしているページ
- といった関連ページリスト(図 3.2)が表示され、どのような情報と関連するのかが一目瞭然に分かる。

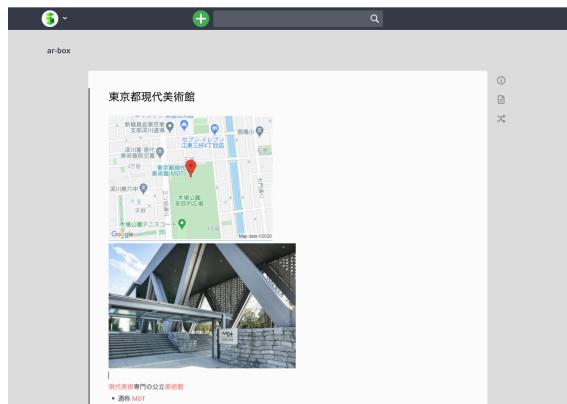


図 3.1: Scrapbox の画面

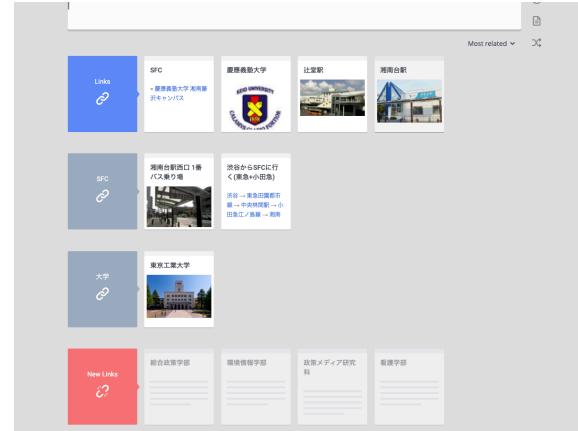


図 3.2: Scrapbox の関連ページリスト

⁵<https://www.notainc.com/ja>

⁶https://scrapbox.io/help-jp/Location_記法

3.2.2 使い方

(1) HypAR Touch アプリによるナビゲーション閲覧

NFC タグにタッチする 本アプリケーションは図 3.3 のように専用の情報が書かれた NFC タグにタッチすることで起動し、ナビゲーションを開始する。NFC にタッチすることで端末の位置と向きが認識され、図 3.4 のように登録された情報を AR で正しい位置に表示することができる。また画面下部にあるスライダー (図 3.5) を動かすことで AR で表示する情報の距離の範囲を指定することができる。



図 3.3: NFC タグにタッチする様子

表示された AR 情報の関連情報を表示・選択する 画面の中央にはオレンジ色の三角のカーソルが表示されており、これを AR で表示された情報の上に重ねると青い枠線が表示される (図 3.6)。その状態で画面下部の選択ボタンを押すと図 3.7 のように関連する情報が放射状に配置されて表示される。これらの表示された関連情報も同じようにカーソルで選択することができる (図 3.8)。このように関連情報を選択していくことによって興味のある情報を AR 上で探索することができる。

選択された AR 情報の詳細を見る 上記のようにカーソルを AR 情報にあわせた上で選択ボタンを押すと画面上部には図 3.9 のように選択された情報のタイトルの他に「see more」と書かれたボタンが出現する。これをクリックすることで AR 情報の元となった Scrapbox をみることが可能である (図 3.10)。



図 3.4: AR での表示



図 3.5: スライダーによる距離指定

選択された AR 情報の場所に視点を移動する 同じようにカーソルを AR 情報にあわせた上で選択ボタンを押し、もう一度選択した AR 情報にカーソルを重ねると画面下部中央のボタンが「移動」に変化する(図 3.11) この移動ボタンを押すと図 3.12 のような地図での移動アニメーションを経て、選択した情報のある場所からの視点(図 3.13)に切り替えることができる。

AR 情報の選択を解除する・前の状態に戻る 上記のような選択状態は画面の何も表示されていない部分をタップすることで解除できる。また選択や移動した履歴情報は常に保存されており、画面下部の「戻る」「進む」ボタン(図 3.14)で履歴を参照することができる。

(2) Scrapbox による AR 情報法の追加・編集

HypAR Touch アプリに表示される AR 情報は NFC タグで指定された Scrapbox のプロジェクトをもとに生成される。Scrapbox のプロジェクトにあるページのうち、Location 記法によって位置情報の記述のあるページがアプリ側で表示される AR 情報と対応する。



図 3.6: カーソルを重ねた状態



図 3.7: 選択した状態

AR で表示する情報を追加する AR 情報は Scrapbox のページと対応しているため、新しくページを作成し、以下の 2 点の情報を記入することで AR 情報が登録される。

- ページタイトル

図 3.15 の①部分であり、ページを作る上で必須となる項目である。このタイトルは HypAR Touch アプリ側でサムネイルとともに AR 表示される。

- Location 記法による記述

Scrapbox にはソースコード 3.1 のような Google Maps の URL をソースコード 3.2 のような Location 記法に変換し、図 3.15 の②のようにマップとして表示する機能がある。この機能を利用し、AR 情報を追加したい場所を中心とした GoogleMap の URL を Scrapbox に貼り付けることで AR 上で表示する場所を指定する。

ソースコード 3.1: googleMap の URL

```
1 https://www.google.com/maps/place/%E6%9D%B1%E4%BA%AC%E9%A7%85/@35
.681502,139.7671784,17z/data=!4m5!3m4!1s0x60188bfbd89f700b:0
x277c49ba34ed38!8m2!3d35.6812362!4d139.7671248
```



図 3.8: 関連情報の選択

ソースコード 3.2: Location 記法

1 [N35.681502,E139.7671784,Z16 東京駅]

サムネイルを追加する Scrapbox では画像の URL を [] で囲う、または画像をドラッグ・アンド・ドロップすることで図 3.16 のようにページに画像を表示させることができる。このように Scrapbox のページに画像を貼ると、ページの一番上にある画像が AR 表示でのサムネイルになる。(図 3.17)

ハイパーリンクを利用して説明を書く Scrapbox では単語を [] で囲うことにより同一 wiki 内ページへのハイパーリンクとすることが可能である。他ページへのハイパーリンクが生成されると AR 上で関連情報として表示されるようになる(図 3.18)。AR で表示したい情報の説明を書き、説明文中の単語を積極的にハイパーリンクにすることで関連する情報を提示することができる。



図 3.9: 詳細を表示するボタン

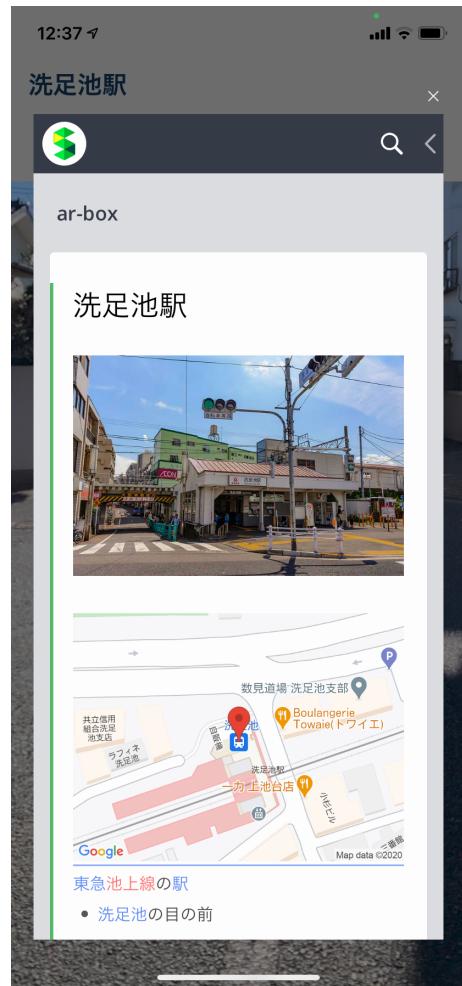


図 3.10: Scrapbox での情報表示

(3) NFC タグに対する情報の書き込み

NFC タグには ISO/IEC 14443 TypeA に準拠した NTAG を利用する。また情報を記録する際には NFC FORUM⁷によって標準化されている NDEF フォーマットで情報を書き込む。書き込む情報は図 3.19 のように CustomURLScheme に沿った URI の形式で書き込む。

その上でタグに書き込んだ ID と紐付ける形で HypAR Touch のサーバーに以下の情報を登録する。

- 緯度経度
- タグの設置される向き (0~360 度)
- 表示する AR 情報の元となる Scrapbox のプロジェクト
- タッチした時に選択されているリンク情報

これらの情報は HypAR Touch アプリ内の登録画面 (図 3.20) により登録可能である。

⁷<https://nfc-forum.org>



図 3.11: 移動ボタン



図 3.12: Map での移動アニメーションの途中



図 3.13: 移動先からの視点



図 3.14: 進むボタンと戻るボタン

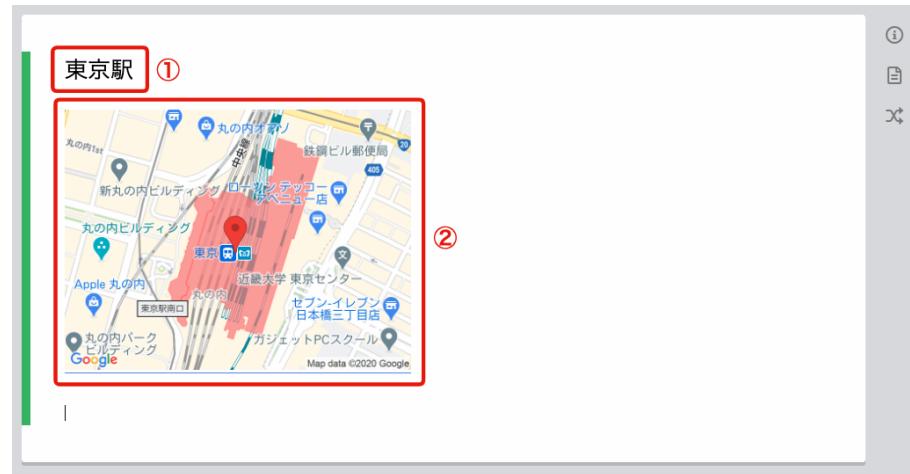


図 3.15: 新しくページを作成した時



図 3.16: Scrapbox に貼り付けた画像



図 3.17: Scrapbox 上の画像と AR での表示



図 3.18: Scrapbox 上のリンクと AR での表示

hypartouch://?id=7290032e-7e1d-4ac6-a7e0

アプリのスキーム
一意なID

図 3.19: NFC に書き込む URI データ

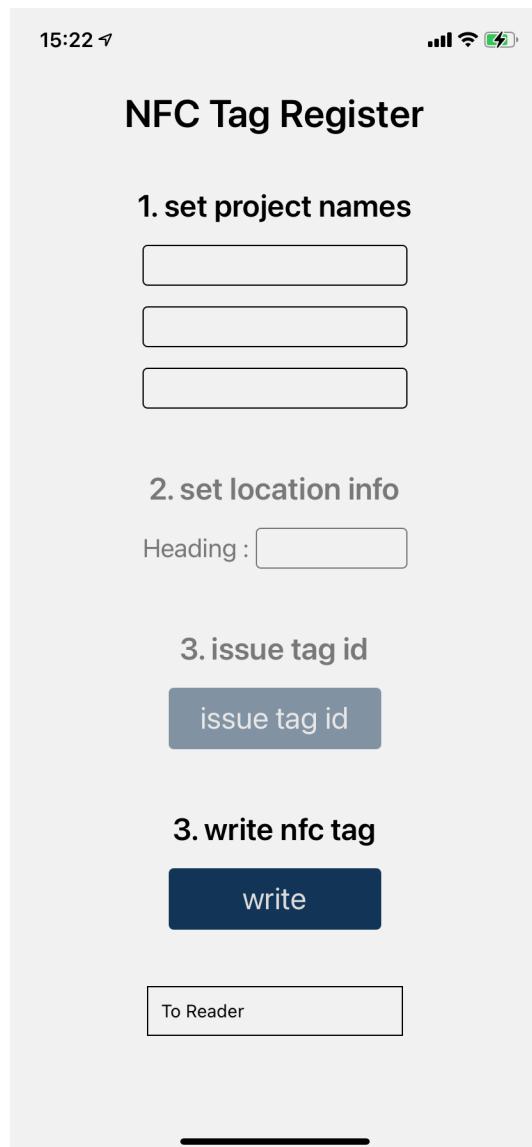


図 3.20: モバイルアプリでの登録

第4章 実装

本章では第3章で述べたシステムの設計を受け、HypAR Touch の実装について述べる。

4.1 アプリケーション構成

HypAR Touch は AR ナビゲーションを表示するモバイルアプリケーション、AR 情報や NFC 情報を永続化し API を提供するサーバー、Scrapbox、Gyazo¹,NFC タグで構成される (図 4.1)。

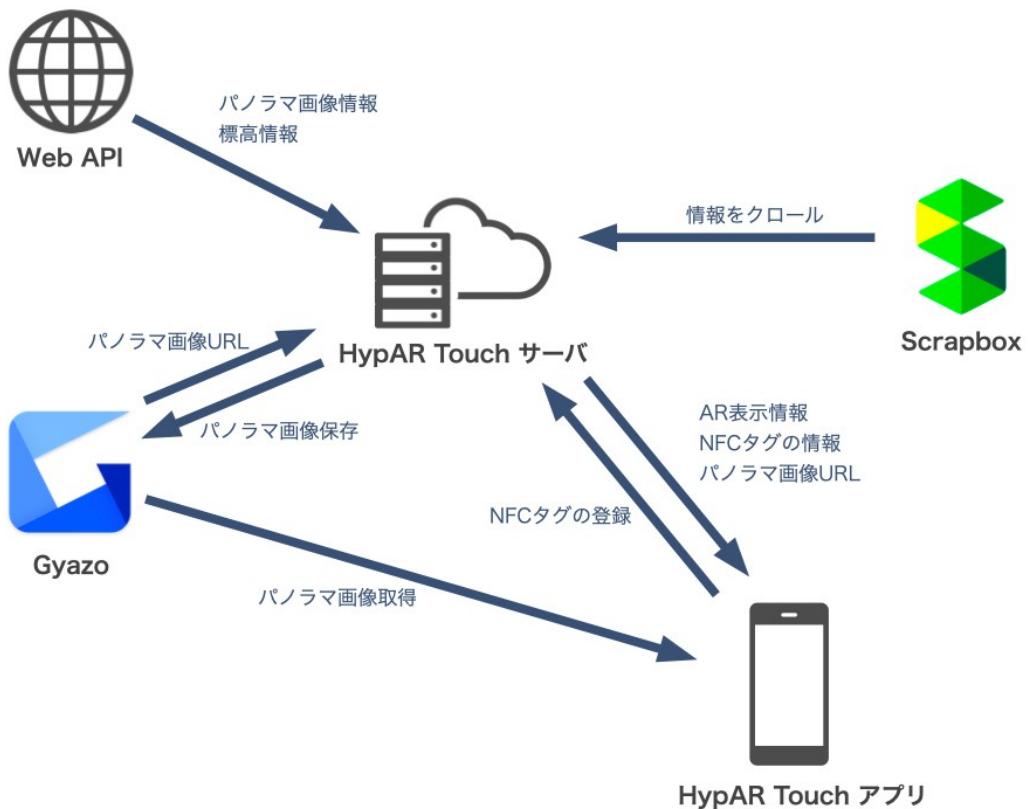


図 4.1: 構成図

4.1.1 HypAR Touch アプリ

HypAR Touch アプリは ReactNative²と呼ばれるフレームワークを利用して作成されたモバイル端末アプリケーションである。ReactNative は web 技術を利用し、マルチプラットフォームなネイティブアプリケーションを作成するためのフレームワークである。この ReactNative 利用することで HypAR Touch アプリは Android と iOS の両方に対応したアプリケーションとなって いる。

HypAr Touch アプリは NFC に記録された一意な id を取得し、その id に紐付いた以下の情報を後述する HypAr Touch サーバーから取得する。

¹<https://gyazo.com>

²<https://reactnative.dev/>

- NFC タグの緯度経度
- NFC タグの設置される向き (0~360 度)
- 表示する AR 情報の元となる Scrapbox のプロジェクト名
- タッチした時に選択されているリンク情報

さらに取得した Scrapbox のプロジェクト名をもとに HypAR Touch サーバーから AR で表示する情報を取得する。その上で取得した AR の情報と NFC タグの緯度経度、NFC タグの設置された向きをもとに、各 AR 情報の位置を相対的に算出している。また各 AR 情報には登録された位置付近で撮影されたパノラマ画像の URL が含まれている。視点移動機能ではこの URL で登録された 360 度画像から VR のビューを作成している。

4.1.2 HypAR Touch サーバ

HypAR Touch サーバは Node.js³上で動作する Web アプリケーションとして実装されている。HTTP リクエストを処理する Web アプリケーションフレームワークとして Express⁴を用い、そのホスティング環境として BaaS(Backend-as-a-Service) の 1 つである Heroku⁵を利用している。HypAR Touch サーバは HypAR Touch アプリで利用する AR 情報や NFC タグ情報を管理する役割をもっており、その機能は大きく 4 つに分けられる。

- 対象となる Scrapbox のプロジェクトをクロールし、AR 表示に必要な情報を整理した上で永続化する。

HypAR Touch サーバは指定された Scrapbox のプロジェクトを定期的にクロールし、位置情報やサムネイル画像の URL、リンク情報など、AR 表示に必要な情報をまとめてデータベースに永続化している。これによりユーザが Scrapbox に加えた変更が AR での表示に対応するようになっている。

- 登録された NFC タグに関する情報を永続化する。

NFC タグには一意な id が記録されており、それに紐づく形でタグの位置情報や向き、対象とする Scrapbox プロジェクトなどの情報がこのサーバーに記録される。

- クロールした情報を元にパノラマ画像を生成し、Gyazo に保存した上でその URL を記録する。

第 3 章で記述した視点移動機能を実装するためには AR で表示する情報に加えて、記録された位置情報に最も近いところから撮影されたパノラマ画像が必要である。そのため HypAR Touch サーバでは AR で表示する情報ごとに Google Street View の API⁶を利用してその地点からのパノラマ画像を生成している。また、画像の保存・永続化には後述する Gyazo を利用しており、最終的には Gyazo に保存されたパノラマ画像の URL を AR で表示する情報

³<https://nodejs.org/>

⁴<https://expressjs.com/>

⁵<https://www.heroku.com/>

⁶<https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/overview>

と合わせてデータベースに永続化している。

- 上記3つの情報を取得・追加・変更するAPIを提供する。

HypAR Touch サーバは上記3つの情報を生成・永続化するだけでなく、HypAR Touch アプリからのAR情報取得やNFCタグの登録を受け付ける必要がある。そのためHypAR Touch サーバはこれらの情報を取得、追加、更新するAPIを提供している。

4.1.3 Scrapbox

Scrapboxは第3章で記述したとおり、AR表示するための情報を登録・編集するためのプラットフォームとして利用している。Scrapboxはプロジェクト内のページリストと各ページの情報を取得するAPI⁷を持っており、これを利用することでHypAR Touch サーバはScrapboxをクロールしている。

4.1.4 Gyazo

Gyazoは、パソコンのデスクトップ画面の一部をキャプチャしてWebにアップロードするツールおよび画像を保存する画像/映像専用のクラウドストレージサービスである。Gyazoには十分な保存容量があり、画像のアップロード・取得等のAPIも揃っている。そのため自身のサーバよりも安全に画像を管理可能なGyazoを本システムでのパノラマ画像の保存先として利用している。

4.1.5 NFCタグ

本システムで利用するNFCタグはモバイル端末のOSに関わらず、読み込めるタグ形式とデータフォーマットでなくてはならない。そのため本システムではNFCタグとして最も普及しているISO/IEC 14443 TypeAに準拠したNFCタグを利用している。また同様にNFC FORUMが策定したデータフォーマットであるNDEFを利用することでNFC機能を持つほとんどのモバイル端末に対応している。NDEFのデータ形式には更に細かく、Text、URI、SmartPoster mの3つのタイプが存在する。このうちURIタイプで書かれたNFCタグは殆どのNFC対応スマートフォンでのバックグラウンド読み取りに対応している。またAndroidとiOSにはディープリンクと呼ばれる特殊なURIからインストールされたアプリケーションを起動する機能が存在しており、そのURIの形式をCustom URL Schemeと呼ぶ。Custom URL Schemeでは図4.2のように起動するアプリの指定だけでなく、URIパラメータを利用して追加の情報を記述しアプリケーション側にその情報を渡すことが可能である。このような特徴を踏まえ、本システムではNFCタグにCustom URL Schemeの形にしたURIをNDEFのURIタイプとして記録している。これにより、モバイル端末でNFCタグにタッチするだけでアプリの起動及びタグIDの受け渡しが可能となる。

⁷<https://scrapbox.io/help-jp/API>

hypertouch://?id=7290032e-7e1d-4ac6-a7e0

図 4.2: Custom URL Scheme

4.2 NFCによるキャリブレーション

NFC タグによって行われる位置推定の仕組みについて解説する。

第5章 應用例

本章では、HypAR Touch によって実現可能な応用例について述べる。

5.1 駅など公共施設での案内

駅や空港などの比較的大規模な公共施設内では GPS による案内が利用できない場合が多く、2次元の地図を提示するか矢印などによる案内表示を行うのが一般的である。しかしながら両者にはそれぞれ案内システムとして問題が存在する。2次元の地図は内部構造が複雑な屋内を表現することが難しく、地下鉄ホームなどの複雑な地形の案内に不向きである。また設置できる場所に限りがあり、必要な時に参照できないことがある。矢印などによる案内表示の場合、記述できる情報に限りがあり、必ずしも自分の目的地に沿う案内があるとは限らないという問題点がある。

これらの従来の案内システムと比べ、本システムでは AR で目的地を直接提示(図:5.1)するため地図の苦手な人への案内や複雑な構造の施設の案内において有用である。また NFC タグは一枚あたり十数円と安価で、サイズも小さいため設置場所やコストに困るケースは少ないといえる。さらに NFC タグに紐付いた情報により表示する AR 情報のある Scrapbox プロジェクトやハイパーリンクによるフィルターを指定できる。そのため駅の出口だけを案内したり(図:5.2)広告として特定店舗だけを案内したり(図:5.3)といった特定の用途に特化した案内をすることも可能である。



図 5.1: 案内の様子

図 5.2: 出口だけの案内

図 5.3: リンクを利用したルートの表記例

5.2 近隣施設の探索・推薦

本システムの大きな特徴として Wiki を利用することにより情報を階層化せずに関連情報を参照できる点が挙げられる。その結果以下のようない探索が AR 上で行える

- 近隣施設の情報にあるリンクから関連情報を参照する
- 関連情報から興味のあるジャンルの店舗を発見する
- 履歴機能を使いながらほかの情報を比較する

上記のような能動的探索行為は目的地への案内のみを目的としている既存のアプリケーションでは体験できないものである。

例えば神保町で本システムを利用した場合、ウィンタースポーツ用品店を選択すれば、「スノーボード」「スキー」といったいったリンクが出現する(図 5.4)。ウィンタースポーツ用品店をめぐりたい場合はこれらのリンクを選択することでウィンタースポーツに関する施設の情報を見ることができる。

またその後食事を取りたくなった場合、興味のある飲食店を選択することで「ラーメン」「カレー」等のリンクが出現し自身の食べたいものを絞り込み(図 5.5)、他の情報と比較しながら探索できる。

このように本システムは様々な施設の情報が混在していてもリンクを選択していくことで自分の求める情報を探索でき、既存の AR ナビゲーションアプリケーションにない魅了を持った非常に拡張性も高いシステムであると言える。



図 5.4: スキーのリンクを選択した時

図 5.5: 飲食店を選択した時

5.3 学習教材としての利用

wiki は wikipedia に代表されるように膨大な史実や地理情報を整理し、記録するのに適したメディアであると言える。本システムでは wiki の各ページに位置情報を記載するだけでページの情報を AR での表示できるため、地理情報を含む歴史や地理の教材として利用することが可能である。

例として京都など史跡が多い地域でのフィールドワークに利用することなどが考えられる。学習者は各地にあるタグに触れるだけで周辺にある史跡の情報見ることができるだけでなく、選択した史跡の関連情報から他の史跡の情報や位置を AR で見ることができる。これにより自身の興味や学習対象に関連する史跡を効率よく回り、自身の知らない史跡を知る事ができる。

さらに本システムでは第 3 章で述べた通り現在地からの AR 表示だけでなく選択された AR 情報の場所に視点を移動する事が可能である。この機能によって実際の場所にいなくとも関連情報を元に視点を切り替えながら史跡を見ることが可能である。

5.4 リンクを利用した柔軟な参照

本システムでは位置情報を記載した Scrapbox ページを作成することで AR 情報を登録することができるが、それに加えて登録された AR 情報のリンクを利用した新しいページを作ることも可能である。

例えば渋谷からSFCのキャンパスまでの経路を記述したい場合は図のように登録した場所のリンクを列挙すること表現することができる。Scrapbox 上では単にリンクを並べただけだが、HypAR Touch アプリ側では図(準備中)のように通るべきポイントが AR で表示される。

このような書き方はユーザによって簡単に行えるだけでなく、表記の揺れにも強いという利点を持っている。



図 5.6: リンクを利用したルートの表記例

5.5 まとめ

本章では、本システムによって実現可能な、NFC タグによるインタラクションとリンクによる関連情報の表示機能を活かした利用例について述べた。タッチというわかりやすいインタラクション、Wiki の持つ拡張性などから、本章で述べた利用例に限らず様々な応用が可能であると考えられる。

第6章 関連研究

本章では関連研究を紹介し、それらの特徴や本研究との関連性について示す。

6.1 主要な研究領域

本研究では NFC のタッチインタラクション及び wiki ベースな AR ナビゲーションが有用であることを検討した。本研究に関連する先行研究は大きく以下のように分類できる

- AR をナビゲーションに利用する研究
- ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究
- NFC を用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究
- AR 情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究

それぞれについて関連性の高いものを紹介した上で本研究との関連性を示す。

6.2 AR をナビゲーションに利用する研究

AR を地理情報のナビゲーションとして利用する代表的な研究及びシステムを紹介する。

6.2.1 A Touring Machine

Feiner らが開発した A Touring Machine[3] はヘッドマウント・ディスプレイとスタライスで操作可能な 2D ディスプレイで大学のキャンパスの情報を表示するアプリケーションであり、AR を利用した地理情報ナビゲーションの初期研究として挙げられる。このシステムでは GPS による位置情報と磁気センサによる向きの情報からユーザの位置と向きを推定し、ヘッドマウント・ディスプレイに大学の情報が表示される(図 6.1)。また手持ちのスタライスで操作可能な 2D ディスプレイが専用の HTTP サーバにつながっており、表示したい情報のリンクに触れるなどの操作をすることでヘッドマウント・ディスプレイでの表示情報が変化する。ナビゲーションでの表示やシステム構成などが現在の AR ナビゲーションアプリに通ずる一方で、GPS と磁気センサによる位置測位には精度の面で課題があった。また当時の技術ではヘッドマウント・ディスプレイとコンピュータを小型化することが難しかったため、図 6.2 のように装備が大きく、屋外で常用することは現実的でなかった。

6.2.2 KARMA

Feiner らが Knowledge-based augmented reality[4] で提案した KARMA はレーザープリンターのメンテナンスを AR で説明するプロトタイプシステムである。図 6.3 のようにヘッドマウント・ディスプレイによってレーザープリンターの内部機構に関する情報を提示し、ユーザがメンテナンスするときの理解を助けるシステムである。位置測位には超音波センサを利用しており、正確な位置測位と情報の投影が可能である。一方で高価で大型な超音波センサをすべての対象に取り付ける必要があり、現実的に利用するにはより良い測位システムを利用する必要があった。



図 6.1: 表示されたキャンパスの情報

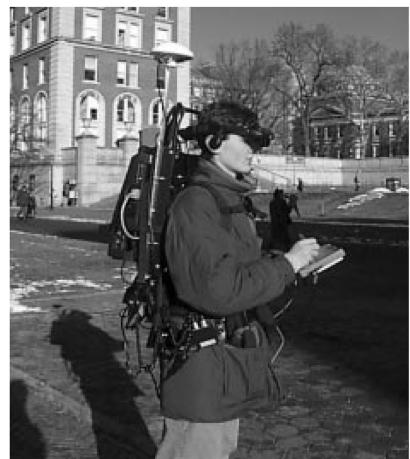


図 6.2: 実際の装備

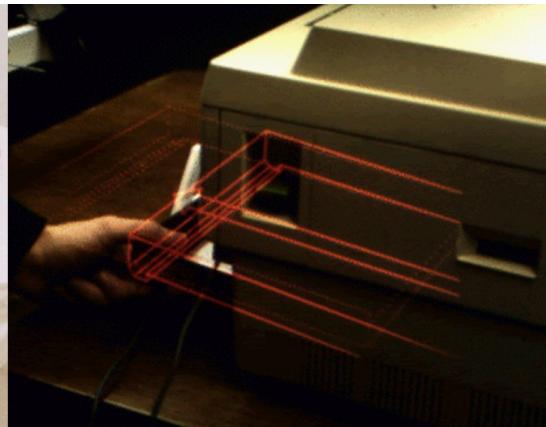


図 6.3: KARMA

6.2.3 MARS

Höllerer らによる MARS[5] は上記の「A Touring Machine」及び「KARMA」の方式を組み合わせ、屋外での AR ナビゲーションと室内での AR による地図操作を結びつけたシステムである。ユーザは屋外でこのシステムを利用することでヘッドマウントディスプレイを通して建物に重ねて表示されたナビゲーションを見ることができる(図 6.4)。また PC 上で作成された経路情報を実際の景色に投影することも可能である(図 6.5)。一方で屋内では MARS を利用することで、机の平面上に仮想の地図が投影される。この仮想地図はトラックボールや位置センサの搭載されたオブジェクトを利用して操作でき、屋外のユーザが見ている経路情報などを編集することができる(図 6.6)。このように屋外でのナビゲーションを編集する環境として屋内での AR 環境を利用し、屋内と屋外の AR ビューに相互作用をもたせる方式はユーザの AR 情報編集の体験向上に大きく寄与すると思われる。このような編集環境の状態がインタラクティブに AR での情報に作用するという点は本研究とも関連があると言える。



図 6.4: AR での表示

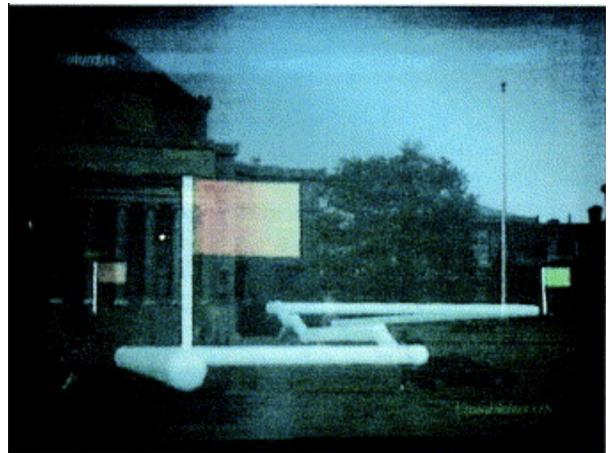


図 6.5: 経路の投影



図 6.6: 屋内での利用

6.2.4 NaviCam

暦本らによる NaviCam[13] はマーカーをカメラで認識し、マーカー応じてその場に即した説明を手持ちの 2D ディスプレイやヘッドマウントディスプレイに提示するシステムである。現在主流になっているマーカーベースの AR の初期研究であり、青と赤の線で構成されたカラーコードと呼ばれるバーコードを認識することで状況と対象物の位置を把握し、情報を提示している。カラーコードの画像認識から AR を表示するこの方式は前述のような超音波センサを利用する方式などと比べ圧倒的に低コストであり、カラーコード上で表示は正確であるため屋内での位置測位に有利であると言える。またコードのパターンによりコンテキスト情報を埋め込むことが可能である点も既存の測位システムにない特徴であった。

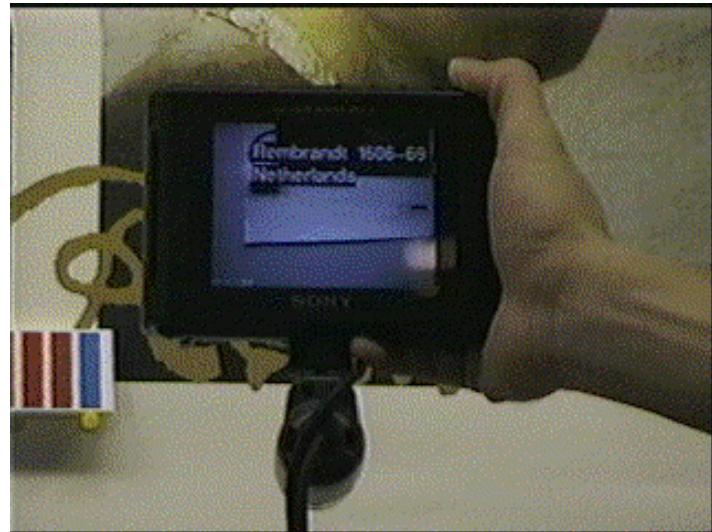


図 6.7: NaviCam

6.2.5 Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality

Kasprzak らは Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality[8] で室内での利用を想定したモバイル端末の AR ナビゲーションのプロトタイプを作成し評価している。このプロトタイプは画像として登録された特徴的なアイコンなどを元に画像認識(図 6.8)から位置情報と向きを推定し、ユーザの目的地を矢印で表示する(図 6.9)ものである。またこのプロトタイプを利用し、実際に建物内での案内に利用するテストを行っている。その結果 2D の地図と比べて目的地までの到達時間が短縮され、被験者が立ち止まったり間違えた方向に進む回数も減少したと報告している。室内での利用を視野に入れている点は GPS などを利用するシステムと違い、本研究に近いが登録した画像による位置推定には以下のような課題もある。

- 特徴的なロゴやアイコンの無いところでは登録できる画像がなく精度が保証できない
- 各場所で個別に画像の登録が必要
- 距離や明るさなどによっては認識できない可能性がある

またこのプロトタイプシステムでは事前に選択した目的地に正確に早く到着することに主眼を置いており、本システムのようにハイパーリンクによる関連情報から周辺環境を探索する用途を考えていない点も本研究との違いである。

6.2.6 Wikitude

Wikitude(図 6.10) は、Wikitude GmbH¹が開発したモバイル向け AR ソフトウェアである。モバイル端末の GPS と磁気センサ、加速度計からユーザの位置と向きを推測し周囲情報をディスプレイに表示する。コンテンツの追加には KML や ARML(Augmented Reality Markup Language)

¹TODO:todo



図 6.8: 特徴量による画像認識

と呼ばれる XML 互換のフォーマットが使われている。KML は GoogleMap などが対応した地理空間情報の情報記述を目的とした XML 互換のファイル形式であり、ARML は KML を更に拡張したファイル形式である。KML ファイルは GoogleMap での読み込みや作成が可能でありユーザは GoogleMap から AR 情報を作成できる。一方で GPS と磁気センサによる位置推定には精度の面で課題があるだけでなく、GPS の利用できない屋内などでは利用できない欠点がある。また AR での情報登録する際に GoogleMap などの地図アプリケーションから作成するか KML ファイルを自身で編集する必要があり、本システムとは以下のような点で異なっている。

- 共同編集が難しい
- 編集環境が WYSIWYG でない
- AR 情報同士のハイパーリンクを記述するのが難しい

6.3 ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究

前節でも挙げたとおり AR によるナビゲーションではユーザ位置測位やコンテキスト情報取得には様々な方式が検討されている。前節に挙げた AR ナビゲーションシステムでは検討されなかった位置測位システム及びそれらを比較する研究を紹介する。さらにこれらの測位を複合的に扱いコンテキスト把握につなげるシステムも紹介する。

6.3.1 RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning

Jianyong らによる RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning[6] では Bluetooth Low Energy²による位置測位が提案されている。複数の送信機から送られた Bluetooth の電波の RSSI

²TODO:todo



図 6.9: 矢印による案内



図 6.10: Wikitude

(Received Signal Strength Indicator:受信信号強度)を元に位置測位を行うものである。Bluetoothは現在普及しているモバイル端末のほぼ全てが対応する通信形式であり、Bluetooth Low Energyは使用電力も少なくて済むという利点がある。一方で複雑な形状の空間や遮蔽物がある場所では測位が難しいという難点があり、正確な測位のためには多くのサンプリングが必要になる。またGPSやNFCタグなどと比べると一定範囲ごとにBluetoothの送信機が必要になりコストも高いというデメリットがある。

6.3.2 Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System

Farid らによる Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System[2] では屋内でのユーザの位置測位手法の分析が行われている(図 6.11)。この研究では多くの方式について比較を行っているが、モバイル端末自体以外に特殊な装置を必要としないことを条件にすると GPS、Wifi、Bluetooth の 3 つに絞られる。それぞれに対して位置測位の面で以下のような特徴があるとしている。

- GPS

屋外では利用できるが屋内では利用できず、精度も 6~10m と良いとは言えない。また位置の取得までに多少の時間がかかるという難点があるとしている。

- Wifi

屋内屋外を問わず 1~5m の精度で測位できるが、消費電力が高く設置コストが高いという難点がある。

- Bluetooth

カバーする範囲が狭く屋内での利用に限られるが消費電力が少なく、2~5m の精度で測位ができる。一方で設備コストが高いことが難点である。

このようにモバイル端末で位置測位を行う方式は複数あるが、どれも精度やコストの面で難点がある。一方本研究で提案した NFC タグによる位置測位はユーザが NFC タグにタッチしなくてはならない点を除くと低コストで正確な位置測位が可能である。位置測位以外にも NFC タグにコンテキスト情報の結びつけが行える点やタグにタッチするだけでアプリの起動を行えることを踏まえれば十分に有用であると言える。

System	Accuracy	Principles used for localization	Coverage	Power consumption	Cost	Remarks
GPS	6 m~10 m	ToA	Good outdoor Poor indoor	Very high	High	(1) Satellite based Positioning. (2) Processing time and computation is slow.
Infrared	1 m~2 m	Proximity, ToA	Good Indoor	Low	Medium	(1) Short range detection. (2) No invasion of multipath.
WiFi	1 m~5 m	Proximity, ToA, TDoA, RSSI Fingerprinting, and RSSI theoretical propagation model	Building level (outdoor/indoor)	High	Low	(1) Infrastructure available everywhere. (2) Initial deployment is expensive. (3) Multipath susceptible slightly.
Ultrasound	3 cm~1 m	ToA, AoA	Indoor	Low	Medium	(1) Sensitive to environmental. (2) No invasion of multipath.
RFID	1~2 m	Proximity, TOA, RSSI theoretical propagation model	Indoor	Low	Low	(1) Real time location system. (2) Response time is high. (3) Manual programming.
Bluetooth	2 m~5 m	RSSI fingerprinting and RSSI theoretical propagation model	Indoor	Low	High	(1) Data transfer speed is high. (2) Limitation in mobility.
ZigBee	3 m~5 m	RSSI fingerprinting and RSSI theoretical propagation model	Indoor	Low	Low	(1) Low data transmission rate. (2) Nodes are mostly asleep.
FM	2 m~4 m	RSSI fingerprinting	Indoor	Low	Low	(1) Less susceptible to objects. (2) Signal is strong; due to this, it covers large areas.

cm: centimeters; m: meters.

図 6.11: 屋内での位置測位手法の比較

6.3.3 App Clips

App Clips³は Apple⁴が 2020 年に iOS 向けに発表した機能である。App Clips は NFC タグや QR コードの読み込みや位置情報をトリガにして決済、情報提示等を行う仕組みである。専用の NFC タグや QR コードを読み込んだり、GPS からの情報で特定の位置にいたりすると登録された小規模アプリケーションがインストールなしに利用できる(図 6.12)。これは上記のようなユーザの位置測位システムを統合しコンテキスト把握に活かしているシステムと言える。また NFC タグや QR の読み込みからアプリケーションの起動を行う点は本システムと同様である。



図 6.12: App Clips

6.4 NFC を用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究

NFC 技術を自己位置推定やコンテキスト情報取得などに利用し、ナビゲーションに役立てている研究を紹介する。

6.4.1 Bridging physical and virtual worlds with electronic tags

Want らは Bridging physical and virtual worlds with electronic tags[16] で RFID を利用し実世界とコンピュータ世界の情報を結びつけるシステムを提案している。このシステムでは実世界の

³https://developer.apple.com/documentation/app_clips

⁴TODO:todo

文書や図書、カードなどに RFID タグを設置し、これらを専用のリーダーで読み込むことで、関連した情報や URL を推薦したり他のオブジェクトとの関連を示す事ができるようになっている。

AR での表示は行っていないが、本研究同様に NFC タグをとリーダーを利用してコンテキスト情報を取得しそれに合わせた内容を推薦するシステムである。この研究からも NFC タグの利用はコンテキスト情報の埋め込みに置いて様々な利用が可能である事がわかる。

6.4.2 GoldFish

増井らによる GoldFish[10] は NFC リーダーを搭載した Android 端末で「実世界 GUI」を開発するための JavaScript フレームワークである。Android 端末に搭載された NFC リーダーと加速度センサを用いて実世界に設置された NFC タグを読み込むことで任意のプログラムを実行できるようになっている。実行するプログラムは web 上で作成しその URL を GoldFish に登録するため、ユーザは機能ごとにアプリをインストールする必要ないため汎用性が非常に高い。

GoldFish も本研究同様に NFC タグを実世界のコンテキストの取得に利用している研究である。また web 上にプログラムを配置し汎用性を高めるという手法は、本研究が AR のコンテツをすべて web 上に wiki のプロジェクトとして管理し、ナビゲーションのコンテキストをアプリ側で規定しない点と発想を同じくするものである。

6.4.3 Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology

Ozdenizci らは Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology[12] で NFC タグを利用した室内ナビゲーションのプロトタイプ「NFC Internal」を作成している。このプロトタイプは NFC タグにタッチすることでユーザの現在地や向きを把握し、その情報と事前に導入した地図情報から 2D マップでの経路を提示するシステムである。(図 6.13)

本研究同様、施設内の各所に位置情報の書かれた近距離通信の NFC タグを設置し、タグにタッチされるたびにユーザの場所と向きを更新している。また屋内での位置測位に近距離通信の NFC タグを利用するとの利点としてコストが少ない点、正確な位置と向きの情報が得られる点、通信の応答時間が短い点などを挙げており、これらは本研究が主張する NFC タグの採用理由の一部と一致する。一方でユーザへの情報提示が 2D の地図とテキストベースであることと、何度もタグにタッチすることで目的地へ最短でたどり着くことに主眼をおいている点が本研究大きく異なると言える。

6.5 AR・VR 情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究

AR や VR での情報を整理するためにハイパーリンクを利用した研究やプロジェクトを紹介する。またハイパーリンク情報によって AR と VR をシームレスに統合したシステムについても紹介する。

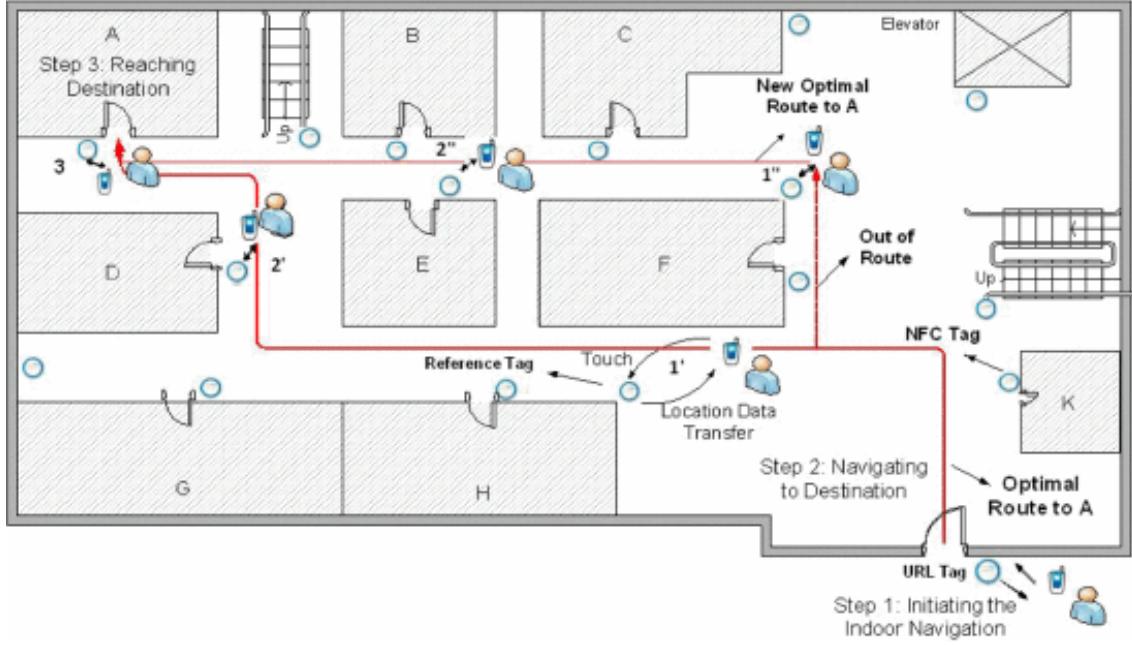


図 6.13: NFC Internal のイメージ

6.5.1 VAnnotatoR

Mehler らが提案した VAnnotatoR[11] は VR/AR でのテキストや画像などのメディアをハイパーリンクを用いて管理し可視化するフレームワークである。図 6.14 のように文書や画像の他に 3D モデルや位置情報同士を関連付け、3D でそのつながりを可視化する。さらにユーザの入力によって表示を変えたり関連付けられた場所ワープするような探索機能を備える。

VAnnotatoR はホロコーストに関する資料を整理し、可視化することで歴史を解説する Stolperwege プロジェクトが発端となっている。そのため様々な形式の資料と位置情報を互いに関連づけた上でわかりやすく可視化・ナビゲートすることに主眼をおいている。よってハイパーリンクを利用して AR で表示する情報を管理し、それらを利用して関連情報を提示するという点で本研究と設計が近いが以下の点で異なっている。

- ハイパーリンク情報の編集環境に関して wiki のような誰でも入力可能なシステムを導入していない
- AR の表示における位置推定は考慮に入れていない
- HypAR Touch では文字情報でのみハイパーリンクを形成する

6.5.2 HyperReal

Romero らによる HyperReal は [14] 仮想現実並びに複合現実におけるハイパー・メディアの設計及びその設計に基づいたプロトタイプである。単なる文字でのハイパーリンクだけでなく様々なメディアをリンクし、ユーザの遷移記録を保存し再現する機能を有するなど複雑なハイパー・メディ



図 6.14: VAnnotatoR での AR 表示

アの構築を行っている。またプロトタイプでは博物館の案内アプリケーションを作成しており、AR で大まかな情報提示(図 6.15)を行った上で詳細を仮想空間で補足する(図図 6.16)のようなインターフェースを備えている。このアイデアは本研究における AR 情報付近へのワープ機能と類似が見られる。一方で本研究のように AR で提示する情報の編集環境などには重点を置いておらず、あくまでも時間などを含めた複雑なハイパーメディアの構築に主眼をおいた研究である。

6.5.3 Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments

小林らによる Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments[7] では、Kay らが主導した仮想 OS プロジェクト Croquet[15] でを拡張したアノテーションシステムを提案している。具体的には以下のような機能をもつ注釈システムを提案している。

- 特定のシーン内に注釈をつけそれらをあらゆるシーンからシーンから参照できるようにする
- 追加された注釈をオブジェクトとして空間上に配置しまとめることができる
- 注釈をフィルタするためのシステム「Interactor」を作成
- 注釈の変化を可視化する

これらの機能のうち、追加された注釈をオブジェクトとして空間上に配置しまとめができる点は第??節の「リンクを利用した柔軟な記法」と類似が見られる。表示するもののフィルタに関しても本研究での課題と言える。一方で本研究では AR/VR で表示する情報とその他の wiki ページを等価に扱ったリンク構造を採用しており。この研究とは大きく異なると言える。

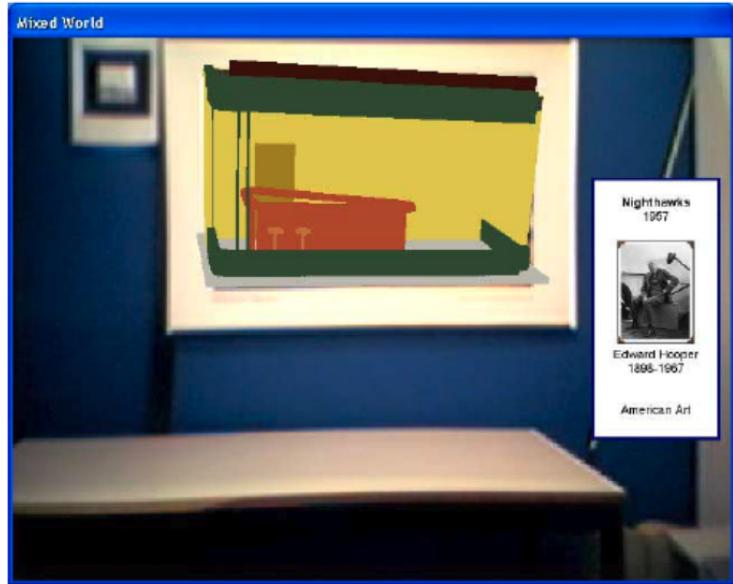


図 6.15: HyperReal での AR 表示

6.5.4 MagicBook

Billinghurst らによる MagicBook[1] は AR と VR の間のシームレスな移行を可能にするシステムのプロトタイプである。Magicbook では実際の本を利用し、本にマーカーを埋め込むことでヘッドマウントディスプレイからの自由な視点を持った AR を提供する。さらに AR で表示された状態でハンドルのスイッチを押すとシームレスに VR に移行し、自由に仮想空間状を移動することが可能になる(図 6.17)。MagicBook の AR のビューから VR へとシームレスに切り替えることでより詳細な情報を表示するという考えは本システムの移動機能に類似点が見られる。一方で、本研究での移動はあくまでも場所から場所への移動による探索を主眼としているに対し、MagicBook は 1 つの AR 情報を更に細くする形で VR を展開しているという点で用途に異なりがあるといえる。

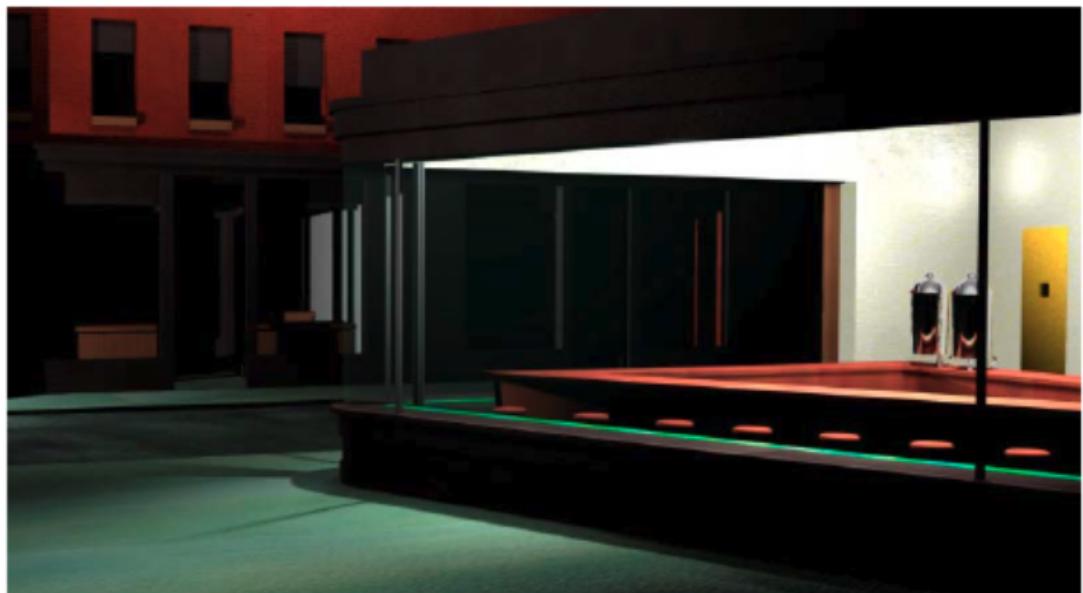


図 6.16: HyperReal での VR 表示



図 6.17: MagicBook での AR (左) と VR (右)

第7章 考察

本章では HypAR Touch の利用者の意見や自身の運用経験をまとめ、諸問題や新しい可能性について述べる。

7.1 評価

本システムのうち、NFC タグによるインタラクション部分のプロトタイプとなる「TouchAR」は 2019 年後半から後半から開発を行っており、ORF2019¹にて DrawWiki の展示発表を行った。またその後も 2020 年 11 月からの 2 ヶ月に渡り使用した様子を共有したり、実際にユーザに使ってもらうことで意見を集めた。本節ではユーザからのフィードバックおよび TouchAR の展示発表で得られた感想、筆者の運用経験をまとめる。

7.1.1 意見・感想

第 2.3 節で述べた AR によるナビゲーションの問題点や、その解決策として NFC 技術と wiki により情報を管理する本システムについて多くの同意が得られた他、以下のような感想や意見が寄せられた。

Wiki を採用したことによる編集の容易さ 既存の AR 表示システムでは情報の追加のフォーマットが決まっている事が多く、一般ユーザが自発的に情報を追加編集することが難しい。一方本システムでは Scrapbox ページを作り、googleMap の URL を貼り付けるだけで AR の情報を追加できるため、AR 情報の追加という感覚なしに気軽に情報を追加できるという意見があった。また既存の Scrapbox のプロジェクトのうち地図情報があるものがそのまま AR で表示できる拡張性も評価された。

NFC タッチによる起動 既存の AR ナビゲーションシステムとして

7.1.2 筆者の運用経験

キャンパスでの利用を想定したフィールドワークを行った。また自身の訪れたことのない場所の探索フィールドワークを複数回行った。

リンクに基づく優れた参照性 Scrapbox にはフォルダやタグ・ラベル等のメモやイラストを分類し管理するための機能は存在しない。全ての AR 情報がフラットに置かれているが、リンク情報に基づいて関連する情報が表示されるため

7.1.3 問題点・要望

以下のような問題点が明らかになった。

¹<https://orf.sfc.keio.ac.jp/2019/>

1. 二次リンクについて

一次的なリンクだけだと直接関連のあるものしか見れないので二次リンクまで見えるとよいのではないかという意見が挙げられた。Scrapbox のように二次リンクを表示することでより探索感は上がるとは考えるが、その分画面で表示する情報が急激に増えるため工夫が必要になる

2. 登録情報が増えた場合の対処

誰もが情報を追加できるという利点があるが、一方で登録された情報が増えてカオスになるというデメリットがあるという意見が挙げられた。現在は距離によってフィルターを行っており、画面下部のスライダーで調整ができるがそれでも表示する件数が多くなるとユーザが欲しい情報を見つけるための障壁になる。

7.2 考察

7.2.1 設計の妥当性

本システムは既存のものとは異なる新しい位置測位システムと情報管理を採用しているが実際に利用したりデモを体験したユーザからは概ね好意的に受け入れられ、NFC タグを利用したインタラクションと wiki を利用した情報管理を AR に組み合わせた本システムの設計指針は正しかったといえる。また本研究で述べた AR ナビゲーションに対する問題意識にも多くの共感を得られたことから、本システムをベースにして様々な改善や拡張を行うことで、より良い AR ナビゲーションアプリを生み出せると考えられる。

7.2.2 解決すべき課題

1. 一次リンクだけでは関連情報が見つけにくい

一次リンクだけを表示すると単語で直接的に関係のあるものしか見れないため二次リンクを積極的に活用していくべきであると考える。一方で単純に二次リンクをすべて表示することは画面の制約などから難しいためフィルターか、推薦機構が必要である。一例としてリンクを分析した上で接続の多いノードを大きく提示したり推薦する方法が考えられる。

2. 登録情報が増えたときに情報が見にくくなる

現在はユーザのいる場所からの距離によるフィルターを行っているが、情報量が地域によって違うことが想定されるためこの手法が最適とは限らないこの問題に対しては対しては以下ののような工夫が可能であると考える。

- 距離順や接続ノードの数などでソートし上位のみを表示する。
- タグ自体にフィルター用の変数を登録することでタッチしたときからデフォルトでフィルターがかかるようにする。
- ユーザの個人情報から関心度の高そうなものを優先的に表示する。

7.2.3 問題点の検証

本システムにおいて第 2.3 節で述べた問題点が克服されているかどうかを問題点毎に検証する。

- 立ち上げるまでのインターフェクションが面倒
NFC タグを利用することでタッチするだけでアプリを起動することができる。
- 位置測位の方法によって精度や用途が大きく限られる
屋内/室外を問わずナビゲーションに十分な精度で AR を表示できる
- 情報の登録・編集が面倒
wiki を利用し、ページと AR で表示する情報を対応させることで誰もが容易に登録・編集可能である。
- 関連情報を参照・管理することができていない
ハイパーリンクを利用することで関連情報を参照・管理できる
- 汎用性のあるアプリケーションがない
環境に左右されない位置測位とジャンルを問わずリンク参照から管理できる汎用性を持っていると言える。

以上のように、第 2.3 節で述べたすべての点に関して問題が解決していることがわかる。

第8章 結論

本章では本研究を総括する。

8.1 研究の成果

本研究では、NFC を利用したインタラクションと AR 情報を wiki で管理するシステムを組み合わせた次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Wiki」の提案を行った。

まず第 2 章において、AR によるナビゲーションの問題点を 2 次元上での既存メディアの進化と比較しながら分析した。AR でナビゲーションを行う既存システムの現状をとりあげ、AR ナビゲーションシステムの問題点が根本的に解決されていないことを示した。

第 3 章では、第 2 章で述べた AR ナビゲーションシステムの問題点に対する有効的な解決方法を提案した。また、それに基づき本研究で開発した次世代 AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の基本構成と使い方について述べた。

第 4 章では、「HypAR Touch」のアプリケーション構成と詳細な実装について述べた。

第 5 章では、「HypAR Touch」によって実現可能な応用例について述べた。

第 6 章では、本研究に関連する研究を紹介し、それぞれのアプローチの特徴と問題点を分析した。

第 7 章では、筆者による運用経験やユーザからのフィードバックをもとに本研究の有効性と問題点を分析した。

8.2 総括

本研究では NFC タグに触れるというインタラクションから AR ナビゲーションを表示でき、表示する AR 情報の管理を wiki で行える「HypAR Touch」の開発を行った。HypAR Touch は NFC タグに触れるインタラクションと Wiki 等の技術の組み合わせによって、ユーザの位置推定の問題や AR 情報の編集・参照が難しいといった問題を解決した。また有用な活用例を示し、既存のシステムより優れた点があることを示した。今後は第 7 章で述べた問題点についての改善や、システム改善を行っていく。

謝辞

慶應義塾大学環境情報学部 増井俊之教授には学部から4年半の長きに渡りご指導を賜りました。深く感謝いたします。また、本研究の副査としてご意見、ご助言を頂きました中西泰人教授、武田圭史教授に感謝いたします。また自身の研究について幅広い議論をしていただいた政策・メディア研究科博士課程の田中優氏、大和比呂志氏を初め、様々な形でアドバイスをくださった増井俊之研究会所属の学生及びOB諸氏に感謝いたします。

2021年1月 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士2年 左治木隆成

参考文献

- [1] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, and Ivan Poupyrev. Magicbook: Transitioning between reality and virtuality. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, p. 25–26, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.
- [2] Zahid Farid, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 2013, p. 185138, Sep 2013.
- [3] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, and A. Webster. A touring machine: prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, pp. 74–81, 1997.
- [4] Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Commun. ACM*, Vol. 36, No. 7, p. 53–62, July 1993.
- [5] Tobias Höllerer, Steven Feiner, Tachio Terauchi, Gus Rashid, and Drexel Hallaway. Exploring mars: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers & Graphics*, Vol. 23, No. 6, pp. 779 – 785, 1999.
- [6] Z. Jianyong, L. Haiyong, C. Zili, and L. Zhaohui. Rssi based bluetooth low energy indoor positioning. In *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 526–533, 2014.
- [7] Rieko Kadobayashi, Julian Lombardi, Mark P. McCahill, Howard Stearns, Katsumi Tanaka, and Alan Kay. Annotation authoring in collaborative 3d virtual environments. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Augmented Tele-Existence*, ICAT '05, p. 255–256, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [8] S. Kasprzak, A. Komninos, and P. Barrie. Feature-based indoor navigation using augmented reality. In *2013 9th International Conference on Intelligent Environments*, pp. 100–107, 2013.
- [9] Bo Leuf and Ward Cunningham. *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 2001.

- [10] Toshiyuki Masui and Sho Hashimoto. Goldfish: Real-world gui framework for android. In *SIGGRAPH Asia 2012 Symposium on Apps*, SA '12, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [11] Alexander Mehler, Giuseppe Abrami, Christian Spiekermann, and Matthias Jostock. Vannotator: A framework for generating multimodal hypertexts. In *Proceedings of the 29th on Hypertext and Social Media*, HT '18, p. 150–154, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [12] B. Ozdenizci, K. Ok, V. Coskun, and M. N. Aydin. Development of an indoor navigation system using nfc technology. In *2011 Fourth International Conference on Information and Computing*, pp. 11–14, 2011.
- [13] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the 8th Annual ACM Symposium on User Interface and Software Technology*, UIST '95, p. 29–36, New York, NY, USA, 1995. Association for Computing Machinery.
- [14] Luis Romero and Nuno Correia. Hyperreal: A hypermedia model for mixed reality. In *Proceedings of the Fourteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, HYPERTEXT '03, p. 2–9, New York, NY, USA, 2003. Association for Computing Machinery.
- [15] David A. Smith, Andreas Raab, David P. Reed, and Alan Kay. Croquet: A menagerie of new user interfaces. In *Proceedings of the Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, C5 '04, p. 4–11, USA, 2004. IEEE Computer Society.
- [16] Roy Want, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, and Beverly L. Harrison. Bridging physical and virtual worlds with electronic tags. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, p. 370–377, New York, NY, USA, 1999. Association for Computing Machinery.
- [17] 増井俊之. Gyazz-柔軟で強力な万人のための wiki システム. 第 52 回プログラミング・シンポジウム予稿集, 第 2011 卷, pp. 43–50, jan 2011.