

光ID技術を活用した屋内ARナビゲーションシステム

Indoor AR Navigation System Based on Light ID Technology

堆 朱 健 太
Kenta Tsuishu

三 好 健 吾
Kengo Miyoshi

中 西 幸 司
Koji Nakanishi

要 旨

本稿では、GNSS (Global Navigation Satellite System) が不安定な屋内や地下空間におけるAR (Augmented Reality) ナビゲーションシステムを提案する。光ID信号を送信する光源をARナビゲーションのタッチポイントとして用いることで、起点の位置情報を正確に取得することが可能となった。さらには、現実世界でのタッチポイントの方位とAR空間でのタッチポイントとユーザーの位置関係から、現実世界におけるユーザーの方位を求めることで、ARナビゲーションにおいて課題であった初期進行方向を算出した。筆者らは、これらの技術を利用して、スマートフォン向けのアプリケーションとサーバからなるARナビゲーションシステム「LinkRayARナビゲーション」を開発した。

Abstract

This paper presents an Augmented Reality (AR) -based indoor navigation system without Global Navigation Satellite System (GNSS) support. A Light ID touch point enables accurate position estimation. We also derived the initial direction of travel in navigation by calculating the user orientation in the real world from the orientation of the touch point in the real world and the position relationship between the touch point and the user in the AR space. We implemented the AR navigation system 'LinkRay AR Navigation' consisting of a smartphone application and a server side using these technologies.

1. はじめに

近年、拡張現実 (Augmented Reality : AR) を使ったスマートフォン向けのアプリケーションが普及しつつある。その理由として、スマートフォン向けARプラットフォームであるApple Inc.のARKit^(注1)やGoogle LLCのARCore^(注2)がリリースされ、ARを手軽に体験できる基盤が整ったことがあげられる。

最近のAR活用事例として特に注目されているのが、Googleマップ^(注2)のARナビゲーション機能である。これは、GNSS (Global Navigation Satellite System) で現在地のおおまかな情報を取得した後、端末のカメラで撮影した映像を介して自分の周囲の建物や目印などの風景を認識することで、現在地や目的地の場所を特定している。現在地と目的地の情報をもとに、画面上には目的地の方向が表示され、曲がり角ではARで表示された矢印がユーザーを誘導する。

一方で、NAVIMICHAEL^(注3) [1] のようにGNSS不要のARを用いたナビゲーションも存在する。NAVIMICHAELでは、事前に作成したルートデータをカメラ映像にリアルタイムで合成して表示する。ユーザーは画面上に表示

されたルートに従って歩くだけで目的地に到着することができる。これは、カメラでとらえた現実空間と座標空間を一致させた仮想空間 (以下、AR空間と呼ぶ) における自己位置を推定し続けることで実現している。NAVIMICHAELのようなAR空間での測距を用いたナビゲーション (以下、ARナビゲーションと呼ぶ) では、屋内や地下空間などGNSSが不安定な環境下でも利用できるという利点があるが、ナビゲーションの起点 (タッチポイント、開始地点) の位置情報を正確に取得することができないという課題があった。さらに、ユーザーの向いている方向がわからないため、ナビゲーション開始時におけるユーザーの進行方向 (以下、初期進行方向と呼ぶ) を求めることが困難であった。

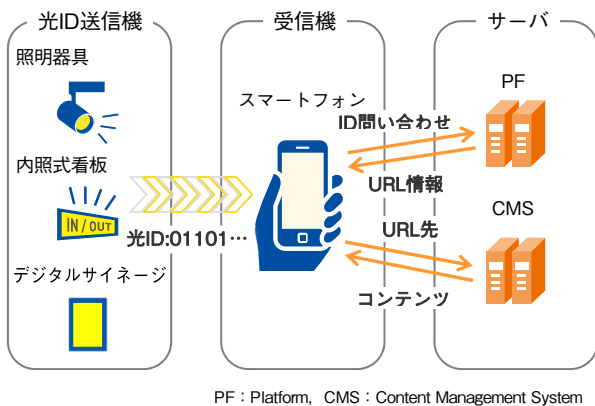
そこで、筆者らは、ARナビゲーションのタッチポイントとして、光ID^(注4)送信機[2]を活用した。光ID技術とは、光源を高速に変調させることで、送信機が固有のID情報 (光ID) を送信し、それをスマートフォンのカメラで受信することができる技術である (第1図)。光ID技術を活用することで、ナビゲーションに必要な起点の位置情報を正確にかつ複数人同時に取得することが可能となった。さらに、現実世界に設置されたタッチポイントの方位が既知であることに着目し、AR空間内でのタッチポイントとユーザーの位置関係から、ユーザーの方位を計算する手法を提案する。また、ナビゲーションが開始される前にユーザーの向きが変わってしまうことを考慮し、端末

(注1) Apple Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標。

(注2) Google LLCの米国およびその他の国における登録商標または商標。

(注3) (株) SCREENホールディングスの日本国内における登録商標または商標。

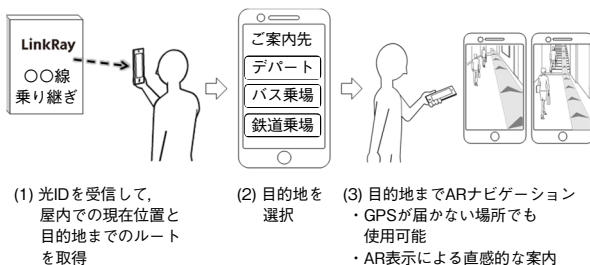
(注4) 当社の日本国内における登録商標。



第1図 光ID技術
Fig. 1 Light ID Technology

に搭載されているジャイロセンサを使って端末姿勢の変化量を計算することで、ユーザーの方位を補正する手法も提案する。

これらを組み合わせることで、ナビゲーション開始時にGNSSによる位置情報を使うことなく、ナビゲーションを正確に開始することが可能となった。そして、筆者らは、光ID送信機としてLinkRay^(注5)を用いて、スマートフォン向けのアプリケーションとサーバからなるARナビゲーションシステム「LinkRayARナビゲーション」を開発した(第2図)。



第2図 LinkRay ARナビゲーション
Fig. 2 LinkRay AR navigation

本稿では、既存のARナビゲーションの仕組みと課題、光ID送信機のタッチポイント活用、タッチポイント検出によるユーザー方位計算、応用例として屋内ARナビゲーションシステムであるLinkRayARナビゲーションを説明し、最後に、今後の展望について述べる。

2. ARナビゲーションの仕組みと課題

既存技術のARナビゲーションでは、起点と目的地を決め、事前に目的地までのルートを作成しておく必要があ

(注5) 当社の日本およびその他の国における登録商標または商標。

る。ARナビゲーションが開始されると、カメラで現実世界をとらえることでAR空間での自己位置を推定する。画面上にはルートがAR表示されるため、ユーザーは直観的に表示されたルートに従って歩くだけで目的地までたどり着くことが可能である。ナビゲーション中は常に自己位置を推定することで、歩いた距離や方向を計算しており、最後まで誤差なくナビゲーションを行うためには、初期進行方向のずれを極力抑えてナビゲーションを開始することが重要である。既存のARナビゲーションを屋内や地下空間で利用した場合、ナビゲーション開始時の課題は大きく2つに分類される。

(1) 起点の位置情報を取得できない

ARナビゲーションを開始するには、どのルートで案内するかを決定するために、起点情報、目的地情報、ルート情報の3つの情報が必要である。ただし、屋内や地下空間ではGNSSによる位置情報は正確でないため、それ以外の方法で起点の位置情報を正確に取得する必要がある。

(2) 初期進行方向がわからない

事前に作成したルートにより、起点から目的地までの道順は明確である。しかし、ナビゲーション開始時にユーザーがどの方向を向いているかがわからず、初期進行方向を決定することができない。一般的に、屋内や地下空間では電子コンパスや地磁気センサの精度に課題があるため、それ以外の方法で初期進行方向を求める必要がある。

上記課題を解決するための手法を第3章、第4章に示す。

3. 光ID送信機のタッチポイント活用

3.1 光ID送信機

光ID送信機の光源をAR空間での測距を用いたナビゲーションのタッチポイントとして用いることで、光源にスマートフォンをかざすだけで所望の情報を取得することが可能になる。さらに、光ID技術の特性から、光ID受信時にはその場所にいることが保証されるため、屋内や地下空間であっても正確な位置情報を取得することが可能である。

3.2 タッチポイントで取得する情報

光ID送信機的光源をタッチポイントとしたときに取得することができる情報は以下のとおりである。

- (1) 起点情報
- (2) 目的地情報
- (3) ルート情報
- (4) 法線方向
- (5) 付加情報

AR空間での測距を用いたナビゲーションを行ううえで欠かせない(1), (2), (3), (4)の情報に加えて, (5)の付加情報を取得することも可能である。付加情報とその活用例として, ユーザー属性に応じた店舗情報やクーポン情報を取得し, その情報をナビゲーション中に表示させるような使い方も考えられる。(4)の法線方角については, 初期進行方向を算出するために用いる。詳しくは次章で述べる。

4. タッチポイント検出によるユーザー方位計算

3章までで起点の位置情報を取得することができたので, 本章では, 初期進行方向を評価する手法を提案する。

4.1 初期進行方向の精度目標

はじめに, 本章で算出する初期進行方向の精度目標を示す。ARナビゲーションにおける目的地の定義は, 「目標地点を視認可能なエリア」であり, 目的地への到着判定は「目的地まで10m以内に近づいたとき」とここでは考える。上記に加えて, ARナビゲーション自体の蓄積誤差によるずれはないものとし, ルートはタッチポイントから目的地までまっすぐ進むと仮定する。この条件下において, 初期進行方向のずれが $X[^\circ]$ のときに, $Y[m]$ のルートを進むと, 最終的な目的地でのずれは $Z[m]$ になるとしたとき, 以下の2つの考え方に従い, 初期進行方向の精度目標を設定する。

(1) 目的地の半径10 m以内の領域に入れば目的地到達
ルートの距離 $Y[m]$ を50 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1000 mと伸ばしていったときに, 最終的な目的地でのずれ Z が10 m以内に収まるような初期進行方向のずれ X は, 以下のとおりである。

$$\text{距離}50 \text{ m} : \text{atan}(10/50) = 11.30993^\circ$$

$$\text{距離}100 \text{ m} : \text{atan}(10/100) = 5.71059^\circ$$

$$\text{距離}250 \text{ m} : \text{atan}(10/250) = 2.29061^\circ$$

$$\text{距離}500 \text{ m} : \text{atan}(10/500) = 1.14576^\circ$$

$$\text{距離}1000 \text{ m} : \text{atan}(10/1000) = 0.57294^\circ$$

(2) 到着判定時にスマートフォンの画角内に目的地が映り込むかどうか

一般的なスマホの画角を 70° と仮定すると, ルートの距離 $Y[m]$ を50 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1000 mと伸ばしていったときに, 到着判定時である残り10 mの地点でスマートフォンの画角内, 正面から左右 35° 以内に目的地が写り込むような初期進行方向のずれ X は, 以下のとおりである。

$$\text{距離}50 \text{ m} : 7.0^\circ$$

$$\text{距離}100 \text{ m} : 3.5^\circ$$

$$\text{距離}200 \text{ m} : 1.75^\circ$$

$$\text{距離}500 \text{ m} : 0.7^\circ$$

$$\text{距離}1000 \text{ m} : 0.35^\circ$$

2つの考え方のうち, まずは[1]の考え方を基準に距離100 mのナビゲーションの実現を目指す。したがって, 初期進行方向の精度が $\pm 5.7^\circ$ 以内となることを目標とする。

4.2 タッチポイント検出手法

初期進行方向を算出するために, まずはAR空間上でタッチポイントを検出する。タッチポイントである光ID送信機の光源として, 照明看板やデジタルサイネージを利用することができるが, それらの機器の形状や見た目に注目して, 以下の2つのいずれかの方法でタッチポイントの検出が可能である。

(1) 垂直平面検出

ARKitとARCoreの平面検出機能を利用してタッチポイントの垂直面を検出する。ARKitであればバージョン1.5以降, ARCoreであればバージョン1.2以降で, 垂直平面 (vertical plane) 検出が可能となった。垂直平面検出の場合, 表面上の見た目が変更されても, タッチポイントを検出することが可能なので, タッチポイントとして利用する広告看板やサイネージに掲載する内容を時間帯で変更することも可能である。

(2) マーカ検出

同様にARKitとARCoreの画像認識機能を使ってタッチポイントに掲載されたポスターや広告などの画像(以下, マーカ画像と呼ぶ)を検出する。マーカ検出の場合, タッチポイントのマーカ画像が変更されるたびに, マーカ画像をARマーカとして登録しなければならないが, ユーザーが間違った垂直平面をタッチポイントとして検出することがなくなる。これは, 特定の動作をユーザーへ強制することを減らし, ユーザー体験の向上につながることを考えている。

4.3 ユーザー方位計算

AR空間上でタッチポイントを検出した後は, タッチポイントの法線の向き(c)とカメラの向き(b)から現実世界におけるタッチポイントとユーザーの方位角の差分(d)を求める。そして, 3章で取得したタッチポイントの法線方角(a)の情報と合わせることで, 最終的なユーザー方位(e)を計算する。これらの(a)~(e)の関係を第3図に示す。

AR空間におけるタッチポイントの法線の向きとカメラの向きから現実世界におけるタッチポイントとユーザーの方位角の差分を求める式を (1) 式, (2) 式に, ユーザー方位を求める式を (3) 式に示す。また, 第3図における(a)~(e)との対応関係も示す。

$$\cos \theta = (v_p \cdot v_c) / (|v_p| |v_c|) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{angle} = \text{acos}(\cos \theta) \dots\dots\dots (2)$$

θ : vector angle

v_p : normal vector of detected vertical plane ... (c)

v_c : camera direction of the transformed Y axis ... (b)

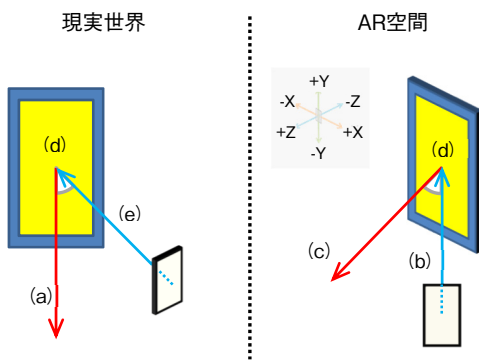
angle : angle difference (radian) ... (d)

$$O_u = O_t + 180 + d \dots\dots\dots (3)$$

O_u : user orientation in real world ... (e)

O_t : touch point orientation in real world ... (a)

d : angle difference (degree) ... (d)



第3図 AR空間におけるユーザー方位計算
Fig. 3 User orientation calculation in AR space

タッチポイント検出には垂直平面検出を用いて、タッチポイントに対してユーザーが0°, -30°, +30°の位置にいたときのユーザー方位の計算結果を第1表、第2表に示す。各項目の上段が、それぞれ5回計測したときのユーザー方位の平均値で、下段が分散である。タッチポイントの法線方向を0°に設定しているため、それぞれの期待値は180°, 150°, 210°となる。結果として、iPhone8 (注6) の-30°のケース (目標値 : 5.71059 < 誤差 : 150-144.25382 = 5.74618) を除き、iOS (注7) 端末、Android (注8) 端末ともに誤差±5.7°以内という精度で、ARナビゲーションにおける初期進行方向を算出することができた。ただし、ナビゲーション可能なエリアを拡大していくためにも、今後も継続してタッチポイント検出の精度を追求していく必要があると考えている。具体的には、距離1 kmまで正確に案内できるように、4.1節の(1)と(2)の考え方から、初期進行方向のずれを±0.35°以内に抑えたい。

(注6) iPhoneはApple Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標。
(注7) Apple Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標。
(注8) Google LLCの米国およびその他の国における登録商標または商標。

第1表 垂直平面検出によるユーザー方位 (iOS)

Table 1 User orientation by vertical plane detection (iOS)

	0° 期待値 180.0	-30° 150.0	+30° 210.0
iPhoneSE (注6)	181.32881 11.47197	146.90433 10.35711	209.15394 3.03513
iPhone8	180.97066 7.39442	144.25382 4.70120	207.47616 0.73750
iPhoneXSMax (注6)	181.06240 9.83379	144.79371 1.84902	207.61419 3.75875

第2表 垂直平面検出によるユーザー方位 (Android)

Table 2 User orientation by vertical plane detection (Android)

	0° 期待値 180.0	-30° 150.0	+30° 210.0
Nexus 5X (注9)	180.36069 3.55350	152.23029 3.24590	212.14243 3.20547
Moto X4 (注10)	179.62957 6.69591	150.81174 1.54030	211.37575 3.95909
Xperia XZ3 (注11)	182.26902 3.88883	148.79771 2.05571	210.14413 1.02900

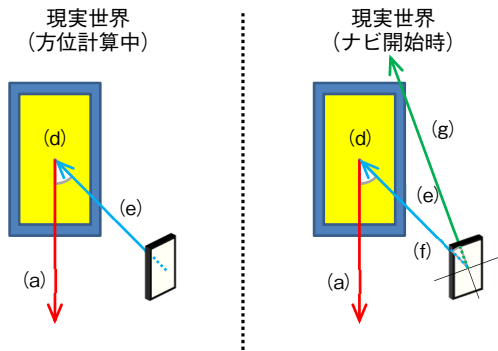
4.4 ジャイロセンサによる端末姿勢補正

ARKitやARCoreの特性上、ナビゲーションを開始するには、AR空間の初期化が必要である。それには、数秒の時間を要し、その時間で端末を動かしてしまうと、これまでに算出したユーザー方位が実際のユーザー方位とずれてしまうことがわかった。初期進行方向を正確に知るためには、AR空間が初期化される直前でのユーザー方位を知る必要があった。

そこで、スマートフォンに搭載されているジャイロセンサを利用して、端末姿勢を補正した。ユーザー方位計算終了直後の端末姿勢とナビゲーション開始直前の端末姿勢から、ナビゲーションを開始するまでに動いた方位角の変化量(f)を求めることで、最終的なユーザー方位(g)を計算する。これら(f)~(g)の関係を第4図に示す。

ジャイロセンサによる補正値を計測した結果を第3表、第4表に示す。これはタッチポイントの正面から、ナビゲーション開始までに0°, +90°, -90°動いたときの、方位角の変化量である。補正値として、動いた分を元に戻す効果を期待しているため、期待値はそれぞれ0°, -90°, +90°である。各項目の上段が、それぞれ5回計測したときの平均値で、下段が分散である。結果として、iOS端末、Android端末ともに誤差±5.7°以内という精度で、方位角の変化

(注9) Google LLCの米国およびその他の国における登録商標または商標。
(注10) Motorola Trademark Holdings, LLCの商標または登録商標。
(注11) ソニーモバイルコミュニケーションズ(株)の商標または登録商標。



第4図 ジャイロセンサによる端末姿勢補正
Fig. 4 Terminal attitude correction by gyro sensor

第3表 ジャイロセンサによる補正值 (iOS)
Table 3 Correction value by gyro sensor (iOS)

期待値	0° 0.0	+90° -90.0	-90° 90.0
iPhoneSE	-0.45375 1.29763	-93.71859 1.12160	89.57393 0.45181
iPhone8	0.17852 3.65276	-91.56805 1.78960	88.73723 2.25125
iPhoneXSMax	-2.21999 8.2230	-91.57851 5.57175	91.78925 10.67393

第4表 ジャイロセンサによる補正值 (Android)
Table 4 Correction value by gyro sensor (Android)

期待値	0° 0.0	+90° -90.0	-90° 90.0
Nexus 5X	1.41173 0.72145	-87.53228 1.37242	92.30374 7.25042
Moto X4	1.43293 0.33614	-88.97779 6.64727	91.71693 2.99473
Xperia XZ3	0.66465 2.00116	-92.62816 7.23737	92.97194 7.12946

量を求めることができた。これにより、ナビゲーションの開始前にユーザーが動いたとしても、初期進行方向を算出することが可能である。

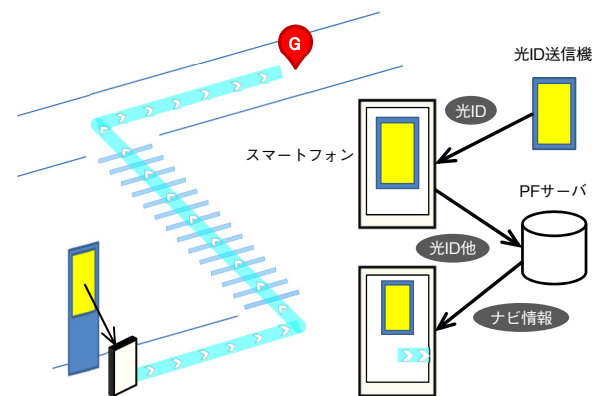
5. 屋内ARナビゲーションシステム

光ID技術を活用した屋内ARナビゲーションシステムの概要図を第5図に示す。

筆者らは、ロケーションオーナーなどのサービス提供者がARナビゲーションを導入するのを容易にするために、スマートフォン向けのARナビゲーションSDK (Software Development Kit) とPF (Platform) サーバで構成されるLinkRayARナビゲーションを開発した。LinkRay

ARナビゲーションを導入することにより、駅や商業施設での道案内対応の負担軽減が期待できる。

サービス提供者は、ARナビゲーションSDKをアプリへと組み込み、施設内にLinkRayのタッチポイントを設置するだけで屋内ARナビゲーションを実現できる。PFサーバでは、通常のLinkRayの機能としてARナビゲーションに必要な情報を管理するだけでなく、ARナビゲーションのログを収集することも考えており、エリア内の動線分析や店舗配置の最適化など、さまざまなマーケティングへの活用も考えられる。



第5図 屋内ARナビゲーションシステム
Fig. 5 Indoor AR navigation system

6. 今後の展望

LinkRayARナビゲーションでは、床面の状態や使用する場所の混雑具合によっては、カメラ画像から特徴点を検出することが難しく、自己位置の推定結果に誤差が蓄積してしまう。その結果として、長距離のナビゲーションが困難であるという課題が存在する。しかし、この課題は、例えば、ナビゲーションの途中で現実世界に設置されたタッチポイントから光IDを受信することで、ユーザーの現在位置を補正することができれば解決できる。また、画像認識を活用し、ナビゲーションの途中で特定の風景を検出することでも、同様の効果が期待できる。さらには、歩行者自律航法と組み合わせることで、位置推定結果を補完しあえる可能性もある。これに加えて、ナビゲーションの途中で、その場所に応じた情報をリアルタイムでユーザーに提示することができるようになれば、現在の地図アプリの枠組みを超えた新たなサービスになることが期待できる。

7. まとめ

ARナビゲーションにおいて、タッチポイントとして光ID送信機の光源を活用することで、ナビゲーションの起点の位置情報を正確に取得したうえで、初期進行方向を算出することができ、GNSSが不安定な屋内や地下空間でもARナビゲーションを開始することが可能となった。これにより、訪日外国人に対しては直感的でかつ多言語対応されたナビゲーションを提供することができる。

今後、光ID送信機を光源とするタッチポイントは、ARナビゲーションだけでなく、5Gでの映像配信サービスや各種決済サービスなど、開始時に位置情報や端末情報のやりとりが必要となるサービスへの展開が期待される。

参考文献

- [1] "NAVIMICHAEL (ナビマイケル)," (株) 写真化学, <http://www.geoscience.jp/product/navimichael.html>, 参照 Oct. 24, 2019.
- [2] 大嶋光昭 他, "イメージセンサ受信型可視光通信技術の開発," パナソニック技報, vol. 61, no. 2, 2015.

執筆者紹介



堆朱 健太 Kenta Tsuishu
コネクテッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



三好 健吾 Kengo Miyoshi
コネクテッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



中西 幸司 Koji Nakanishi
コネクテッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company