

斜め遠方から読み取りやすい 錯視マーカの提案

堀江 大輔¹ 勝間 亮¹

概要：近年，利用者が能動的に AR（Augmented Reality）マーカを読み込むことで位置を確定し，ナビゲーションなどのサービスを行うことが検討されている．しかし，高精度で AR マーカを読み込ませるためには，注意深くカメラをマーカの正面に向けて撮影する必要がある，利便性の点で問題がある．そこで本研究では，ヘッドマウントカメラなどを装着して歩行しているだけで斜め遠方から容易にマーカを読み込ませることができるように，錯視を利用した AR マーカを新たに考案した．また，通常の正方形のマーカと錯視を利用したマーカを用意し，それぞれのマーカの認識可能距離および認識可能範囲の検証を行った．

Proposal of Optical Illusion Markers Easily Recognized from Diagonal Distance

DAISUKE HORIE¹ RYO KATSUMA¹

1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末の普及により，様々な IT サービスが家や職場にいるときだけでなく外出先や移動中などでも手軽に利用できるようになった．現在スマートフォンには GPS 機能が標準搭載され，SNS などの様々なアプリケーションで位置情報が利用されている．また，ユビキタス化に伴い，人や物どうしがネットワークにつながることによって，人間がコンピュータを意識することなく高い利便性を得ることができるようになることが期待されている．それに関連して CV（コンピュータビジョン）を利用したヘッドマウント型ウェアラブル端末の研究が世界中でなされている．これに伴って，ウェアラブル端末を利用した自動的な位置情報取得サービスへの需要が高まっている．しかし，屋内では GPS が使用できない問題がある．

そこで，AR（Augmented Reality）マーカとよばれる付加情報を表示するためのパターン画像を用いた位置推定手法が注目されている．この方法では，印刷されたマーカを建物内に複数設置してそれらをカメラで読み取って得られ

た情報をもとに位置推定を行う．マーカはスマートフォンなどのポータブル機器に付属している単眼カメラで 2 次元コードと同様に容易に読み取ることができる．ユーザーが端末のカメラでマーカを読み取るとマーカの情報がサーバに送られる．サーバは建物内に配置したすべてのマーカの位置情報を管理しており，ユーザーがマーカを読み取ると，端末はマーカのスナップショット画像をサーバに送信し，サーバは送られてきたマーカの情報とサーバ内のマーカのパターンファイルと照合する．一致するパターンファイルが見つかった場合，サーバはマーカの位置情報をユーザに送信する [5]．この AR マーカを用いた屋内位置推定手法は近年特に研究されており，実用化もされている [6][7][8]．AR マーカを用いた位置推定手法は，電波の干渉や減衰が位置推定精度に影響を及ぼさないため，屋内での位置推定に適している．また，カメラによりマーカを認識した瞬間に，マーカの写り方からユーザの位置を高精度で特定できるため，ヘッドマウント型ウェアラブル端末等による AR ナビゲーションシステムにおいて特に適用性の高い手法といえる．一般的に，AR 技術を用いたナビゲーションシステムは，図 1 に示すように，重要な場所をカメラ映像上に表示する．

¹ 大阪府立大学
Osaka Prefecture University

このように、AR マーカを端末のカメラで読み取ることによって位置推定やナビゲーションを行うことができる一方で、カメラの位置と角度によってはマーカの読み取りを高確率で失敗してしまう問題が存在する。通常、AR マーカは画像が格子状に配置されており、概して正方形である。カメラが斜め遠方からマーカを読み取る場合、歪んだマーカの入力画像を正方形画像に変換しなければならない。このとき、元のマーカの入力画像が極端に歪んでいると認識に失敗しやすくなる。したがって、マーカが壁や天井などに設置してある場合、歩行中などのユーザーは一度立ち止まってマーカの正面にカメラを向けなければいけないという利便性の問題がある。このとき、斜めからでもマーカを読み取ることができるように高精度な画像処理をリアルタイムに行おうとすると、瞬間ごとの画像を大量に処理しなければならない、処理系に膨大な負荷がかかる。一般に、壁に設置した 15 cm^2 程度の小さなマーカは、安価なカメラを用いて数メートルの距離から読み取れる必要がある。

そこで、低負荷でかつユーザがヘッドマウントカメラ等を装着して歩行しているときに能動的な行動をすることなく自動でマーカを読み込ませることができるように、錯視を利用した AR マーカを新たに考案した。錯視の中には、非常に大きく歪んだ図を描いておくことで、ある特定の位置から見ると違和感のない図になるようにするものがある。例えば、図 2 に示したような一般に道路上に印刷されている道路標示の「止まれ」という字は、真上から見ると非常に縦方向に延ばされているが、道路上から見ると通常のフォントに見える。この錯視の性質を利用して、走行する車がブレーキをかけ始める際に道路標示を真上からみることができない問題を解決している。この錯視の性質を利用して、図 3、4 に示すように、縦に引き伸ばしたマーカを使用することで、正方形の AR マーカを用いた場合の利便性の問題を解決することができる。この例のように、マーカを歪ませることによってカメラがマーカに対して斜め遠方から接近しても、カメラには通常のマーカを正面から撮影したようにうつる。したがってユーザは、例えばヘッドマウント型カメラなどを装着することによって、マーカの正面で立ち止まってカメラを向けるなどの能動的行動を行うことなく容易にマーカを読み取ることができる。また、この錯視を利用したマーカを読み取り可能な領域は、マーカを引きのばした方向に指向性を持つので、屋内ナビゲーションなどでのデータ通信システムにこのマーカを適用することにより、1 つのマーカのシンボルを複数の角度および距離から認識できるように再利用することも可能である。錯視を利用した AR マーカを用いたナビゲーションシステムの利点は以下のとおりである。

- AR マーカを認識するためにユーザは歩行を止めるなどの能動的な行動をとる必要がない。
- カメラ端末を用いて従来の正方形型のマーカよりも斜



図 1 AR マーカを用いたナビゲーションの例



図 2 「止まれ」の道路標示

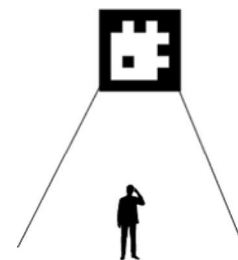


図 3 歩行者から見た場合の通常の正方形型 AR マーカ

め遠方から AR マーカを認識することが可能である。

本論文の目的は、錯視の性質を利用した AR マーカを定義し、従来の正方形型 AR マーカよりも遠くから読み取ることができることを確認することである。一般的なマーカ検出方法の詳細は第 2 章で説明する。第 3 章では、錯視を利用したマーカの形状を定義し、マーカの認識可能距離および認識可能範囲を三次元幾何学を用いて解析する。第 4 章では、実際に通常の正方形のマーカと縦方向に引き伸ばしたマーカを用意し、マーカの認識可能距離および認識可能範囲を検証した実験について述べる。その結果、錯視を利用したマーカを用いた場合、通常のマーカと比較して、斜め遠方におけるマーカの認識可能距離および認識可能範囲が大幅に増加することがわかった。

2. ARToolKit を用いた AR マーカの検出方法

カメラ映像の解析を基に情報提示を行う AR は画像認識

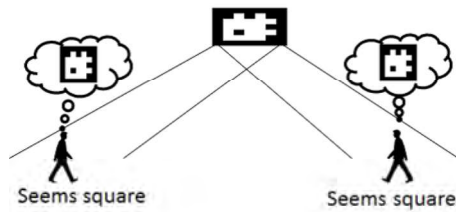


図4 歩行者から見た場合の錯視を利用した AR マーカ

型 AR と呼ばれ、リアルタイムでカメラの位置及び姿勢計算を行い映像画面に 3 次元 CG を表示する．画像認識型 AR は主に四角形のパターン画像を利用するマーカ型と現実にあるものをそのまま利用するマーカレス型に分類される．マーカレス型は景観を損なわないため商業向けイベントなどには適しているが，空間認識や特徴点抽出の計算量が大きく高度な画像処理システムが要求される，発見が困難などのデメリットがある [9]．よって位置推定の際には処理が高速でユーザーの意識が向かいやすいマーカ型の方が適しているといえる．マーカ型ビジョンベースド AR のライブラリは奈良先端科学技術大学院大学の加藤教授らの研究グループによって ARToolKit[10] が提供されている．この章では，ARToolKit などを用いられる最も一般的なマーカ検出方法の 1 つについて説明する．

図 5 は，ARToolKit のマーカ検出手順を示している．まず，入力されたカメラ映像をグレースケール化し設定された閾値をもとに 2 値化を行う．次に各白色領域の外接矩形を求める．外接矩形に対してマーカの輪郭線追跡を行い 4 本の折れ線で近似できた領域がマーカの候補と判断される．そのためマーカは一部分でも隠れていると検出できない．その後，マーカの黒枠の比率をもとに黒枠を削除し，内部の四角形のパターンマッチングを行う．この時，射影変換を用いて歪んだ四角形を正方形に直す必要がある（正規化）．検出された四角形の各頂点の座標を $(x_1, y_1)(x_2, y_2)(x_3, y_3)(x_4, y_4)$ とすると，射影後の正方形の各頂点の座標 $(X_1, Y_1)(X_2, Y_2)(X_3, Y_3)(X_4, Y_4)$ は，二次射影変換の公式によって， $X_i = \frac{a_1x_i + a_2y_i + a_3}{a_7x_i + a_8y_i + 1}$ ， $Y_i = \frac{a_4x_i + a_5y_i + a_6}{a_7x_i + a_8y_i + 1}$ と表すことができる [11]．ここで， $a_1, a_2, \dots, a_8$ は射影変換の透視変換行列の成分を表す．そして変換されたマーカ画像をカメラの画素値で符号化し，サーバ内のパターンファイルと誤差範囲内で一致する場合，マーカの識別に成功する．

以上の手順において最も重大な問題は，射影変換する際の誤差の増加にある．通常，マーカの画像は格子状に構成されているため，マーカの理想的な形状は正方形である．正面からマーカを読み取る場合においては，単純なスケールリングによって正規化が行われるため，射影変換による誤差が少なく認識に成功しやすい．しかしカメラの進行方向がマーカに対して斜めであるとカメラ画像上のマーカの歪みが大きくなり，マーカの変換誤差が増加してマーカの識

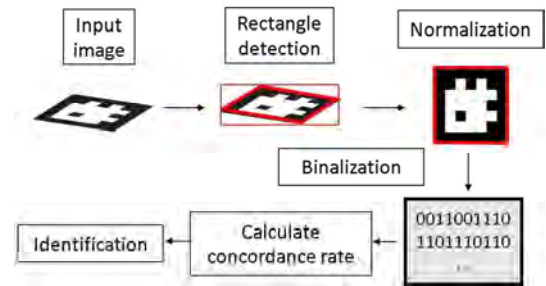


図5 ARToolKit[10] を用いた AR マーカの検出手順

別に失敗する可能性が高くなる．

この問題を解決するために錯視の性質を利用したマーカを新たに考案した．前述したように錯視マーカは縦方向に延びており，斜めの角度からマーカを見ると，マーカは正方形に近い形で見えるので，端末はより少ない誤差でマーカを読みとることができる．またいくつかのマーカ認識ソフトウェアシステムは，最小二乗法などの高度な画像処理 [12] を用いて，より正確なマーカの検出を可能とするが，そのような処理は総じて高い計算コストを必要とする．しかし，我々の方法はマーカ認識ソフトウェアを変えることなく，マーカの形状のみを変化させるので低コストという利点がある．

3. 錯視を利用した AR マーカの形状の定義およびマーカの認識可能距離，認識可能範囲の数式による評価

この章では，初めに錯視を利用した AR マーカの形状について定義し，次に錯視マーカがマーカの認識可能距離ならびに認識可能範囲に対して与える影響などを計算式を用いて評価する．

3.1 錯視を利用した AR マーカの形状

本節では，AR マーカ認識ソフトウェアとして ARToolKit に焦点を当て，錯視を利用したマーカの形状について定義する．以下は ARToolKit における AR の表示原理を説明したものである．詳しい内容は文献 [10][13] に記載されている．

サーバ内の AR はマーカ座標で登録されており，カメラ画像に対して AR を正しく配置するにはカメラに対するマーカの位置及び姿勢計算を行う必要がある．まず，AR マーカ認識ソフトウェアは，カメラの入力画像から特定したマーカの黒枠の頂点のスクリーン座標とマーカの 4 辺の座標の式を求める．次に，図 6 に示すように各辺をカメラの投影方向に引き延ばしていき，カメラの光学中心，スクリーン上のマーカの辺，対応する現実空間のマーカの辺を通る 4 つの面を作成する．このとき，スクリーン上のマーカの辺はカメラ映像上に投影される．壁に設置した AR マーカの向かい合う辺どうしが互いに平行である場合，3 次元空間

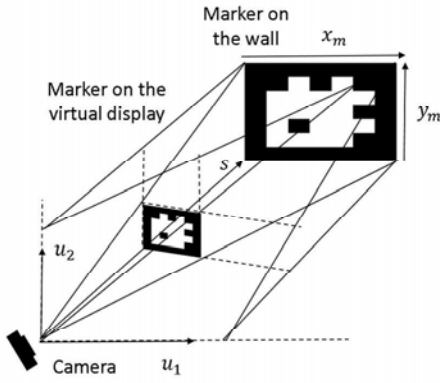


図6 s, x_m, y_m, u_1, u_2 の位置関係

のマーカの4頂点はカメラの光学中心からの位置ベクトルで $s, s + x_m, s + y_m, s + x_m + y_m$ と表せる．ここで、 s はカメラの光学中心からマーカの一つの頂点へのベクトルであり、 x_m, y_m は3次元空間のマーカの各辺のベクトルを表す．ここで、ベクトル s は $s = \alpha x_m + \beta y_m + \gamma (x_m \times y_m)$ と表すことができる． α, β, γ はマーカの各辺ベクトルの係数を表している． $p = \alpha q + \beta r + \gamma (q \times r)$ とおくと、上述した4つの面の向かい合う面の交線ベクトル u_1, u_2 は、それぞれ向かい合う面の法線ベクトルの外積によって与えられる．すると、 u_1, u_2 は式(1), (2)

$$u_1 = -\gamma |x_m \times y_m|^2 x_m \quad (1)$$

$$u_2 = -\gamma |y_m \times x_m|^2 y_m \quad (2)$$

で表すことができる．つまり、 x_m, y_m は、 u_1, u_2 の定数倍として表すことができる．これによって、それぞれの交線ベクトルを求めることでマーカの辺方向のベクトルがわかる．もしマーカの各頂点が直角であるとする、 $u_1 \perp u_2$ が成り立つ．しかし実際は、 u_1, u_2 は変換に伴う誤差によって直角にはならない．そこで図7に示すように、 u_1, u_2 を同平面上で互いに垂直なベクトル v_1, v_2 に変換することでこの誤差を補正している．このことからマーカは向かい合う辺が平行かつ各頂点が直角であればよい．従ってマーカは正方形以外に長方形でもARの表示が可能である．また、 v_1, v_2 の外積を求めることによって、マーカに垂直なベクトルが求まる．よってマーカの3次元回転成分を導出できる．これを利用して、スクリーン上のマーカの頂点座標と3次元空間でのマーカの頂点座標から残りの平行移動成分も求められる．

以上より本論文では、ARToolKitによるマーカの認識を容易にするため錯視を利用したマーカの形状を長方形と設定する．

3.2 錯視を利用したARマーカの認識可能距離

次に、長方形型のマーカを認識できる距離について評価する．第2章で述べた通り、カメラが斜め遠方から長方形型のマーカを撮影した場合、通常正方形型のマーカを正

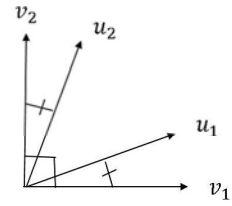


図7 方向ベクトル u_1, u_2 の変換

面から撮影した場合と同様に認識できると考えられる．つまり、マーカを認識できるときカメラとマーカとの最大距離とマーカの形状が最も正方形に近い形に見えるときのカメラとマーカとの距離の間には相関があると考えられる．よって以下では、錯視を利用したマーカの形状が最も正方形に近い形に見えるときのカメラとマーカとの距離を計算式を用いて推定する．ここでは図8に示したようにカメラが壁に設置したマーカに対して平行に移動する場合を考える．各変数はそれぞれ以下の物理量を表している．

- y_{long} はカメラスクリーン上のマーカの長辺の長さ
- y_{short} はカメラスクリーン上のマーカの短辺の長さ
- d_{long} は3次元空間上のマーカの長辺の長さ
- d_{short} は3次元空間上のマーカの短辺の長さ
- x_1 はマーカの形状が最も正方形に近い形に見えるときのカメラとマーカとの距離
- r はカメラと壁との垂直距離
- ε はカメラの焦点距離

図8より、 y_{long}, y_{short} は式(3), (4)

$$y_{long} = \frac{d_{long} r \varepsilon}{(d_{long} + x_1) x_1} \quad (3)$$

$$y_{short} = \frac{d_{short} \varepsilon}{x_1} \quad (4)$$

で表される．また、マーカが最も正方形に近い形に見えるとき、 y_{long}, y_{short} の制約条件は式(5)

$$y_{long} = y_{short} \quad (5)$$

で表される．このときマーカの認識率は最大となると考えられる．よって式(3), (4), (5) から x_1 は式(6)

$$x_1 = \frac{d_{long} r - d_{long} d_{short}}{d_{short}} \quad (6)$$

で表される．次に、正方形型マーカと長方形型マーカの認識可能距離について評価するために、図9および表1に示した正方形型マーカAと長方形型マーカB, C, Dの4種類のマーカを用意した．4つのマーカの違いは縦横の比率のみである．図10はカメラの壁からの距離を0.5m, 1.0m, 1.5mとそれぞれ変化させた場合のマーカA, B, C, Dが最も正方形に近い形に見える距離 x_1 を表したものである．長方形型マーカB, C, Dは正方形型マーカAと比べてマーカが最も正方形に近い形に見える距離 x_1 が全体的に増加していることがわかる．また、カメラと壁との距離が離れる

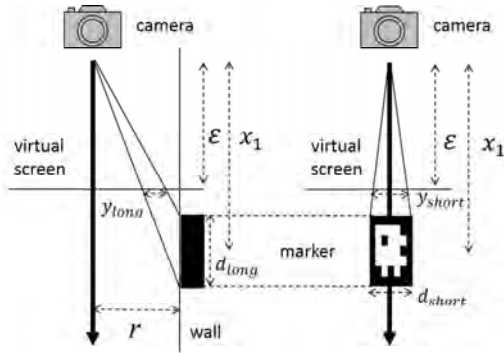


図8 マーカが最も正方形に近い形に見える距離 x_1

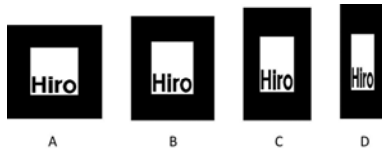


図9 マーカ A, B, C, D の図

表1 マーカ A, B, C, D の寸法

	長辺の長さ [cm]	短辺の長さ [cm]
A	9.10	9.10
B	11.35	9.05
C	13.00	7.80
D	13.00	5.15

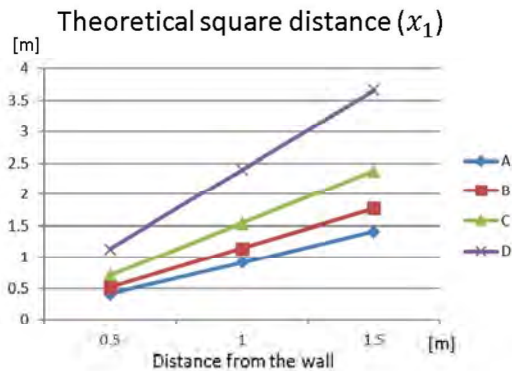


図10 マーカ A, B, C, D が最も正方形に近い形に見える距離 x_1

につれてマーカが最も正方形に近い形に見える距離 x_1 が全体的に増加していることも同様に確認できる。これは、カメラが壁から離れるにしたがって斜め遠方から見たときのマーカの歪みが小さくなるためである。

3.3 錯視を利用したマーカの認識可能範囲

次に、長方形型マーカがマーカの認識可能範囲に及ぼす変化について計算式を用いて評価する。図11に示すようなマーカを原点とした3次元極座標を考える。(r, ϕ, λ)はカメラの光学中心の座標を表している。その他の各変数は前節で説明した通りである。 y_{long}, y_{short} は式(7), (8)

$$y_{long} = \frac{\varepsilon d_{long} \sqrt{1 - \cos^2 \phi \sin^2 \lambda}}{r} \quad (7)$$

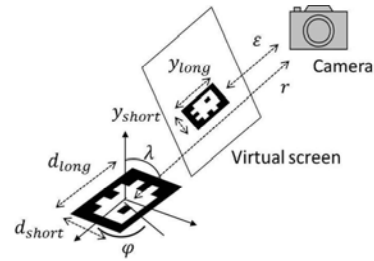


図11 3次元極座標空間におけるカメラとマーカの位置関係

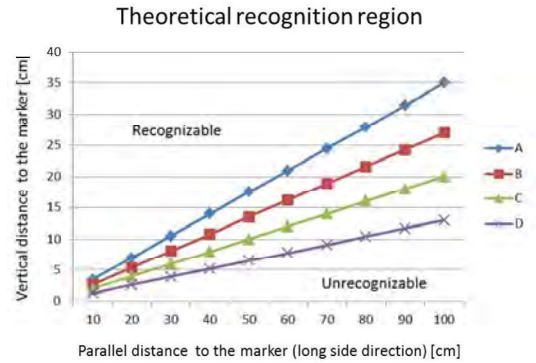


図12 推定されるマーカ A, B, C, D の認識可能範囲

$$y_{short} = \frac{\varepsilon d_{short} \sqrt{1 - \sin^2 \phi \sin^2 \lambda}}{r} \quad (8)$$

で表される。カメラ映像上のマーカが極端に歪んでいると認識に失敗するのは前述した通りである。そこでカメラスクリーン上のマーカの縦横の比率に関する制約条件を設定する。カメラスクリーン上のマーカの比率 $\frac{y_{long}}{y_{short}}$ に関する制約条件は式(9)

$$\frac{1}{\omega_{ratio}} \leq \frac{y_{long}}{y_{short}} \leq \omega_{ratio} \quad (9)$$

で表される。ここで、 ω_{ratio} はマーカ認識ソフトウェアの特性によって決定される定数であり、マーカを認識できる $\frac{y_{long}}{y_{short}}$ の許容値を表している。 ω_{ratio} の値が大きくなるとマーカの誤認識の発生確率が高くなる。図12は、 $\omega_{ratio} = 3.0$ とした時のマーカの長辺に平行な方向におけるマーカ A, B, C, D の認識可能範囲を表したものである。それぞれの直線はマーカの認識可能範囲の下限を表しており、マーカの認識可能範囲はカメラとマーカとの距離が離れるにつれて比例して増加することがわかる。また、長方形型マーカ B, C, D は正方形型マーカ A と比べてマーカの長辺に平行な方向において全体的に認識可能範囲が増加していることがわかる。これは長方形型マーカはマーカの長辺に平行な方向に指向性を持つことを意味している。

4. 検証実験

この章では実際に正方形型マーカと長方形型マーカを用意してマーカの認識可能距離と認識可能範囲の2つの測定を行った。また、それぞれの測定において第3章での計算式による評価と実験での測定結果を比較してグラフの形状

に関する考察を行った。

4.1 使用機器など

実験は実際の環境を想定して屋内で行った。本実験では一般的に使用されている安価なオートフォーカス機能付き Web カメラである Logicoool c525 を使用した。画面解像度は 1280x720 である。本実験で使用した ARToolKit[14] は図 9 のマークを認識するとマークの縁に沿って立方体を表示させる。マークの認識率が下がると立方体が点滅状態になる。本実験ではマークを 5 秒間連続で認識し続けられた場合に認識成功とみなし、5 秒間で認識できなかった瞬間が存在すれば認識失敗とみなした。

4.2 マークの認識可能距離の測定

マークの認識可能距離が、マークの形状や面積に応じてどのように変化するかを評価するため、以下の実験 1~3 を行った。各実験で用いたマーク $A_p, A_q, A_r, E, F, G, H, I, J, K$ の仕様は表 2 に示した通りである。

4.2.1 実験 1

まず、表 1 のマーク A, B, C, D を壁にカメラと同じ高さで設置した。そして、図 13 に示すようにカメラを壁と平行に移動させた。カメラの向きは進行方向に向け固定し、常に壁と平行になるようにした。また、カメラの壁からの距離を 0.5m, 1.0m, 1.5m と変化させて実験を行った。そしてそれぞれのマーク A, B, C, D においてマークを認識できるときのカメラとマークとの最大距離 x を測定した。結果を図 14 に示す。図 14 から、長方形型マーク B, C, D は正方形型マーク A と比べて認識可能距離 x が増加していることが確認できる。また、カメラと壁との距離が増加するにつれて認識可能距離 x が全体的に増加していることも同様に確認できる。

4.2.2 実験 2

また、一般的にマークの面積が小さくなるとカメラ上のマークの入力画像が不明瞭になり認識率が低下する。この性質を評価するために、マーク A を縮小した正方形型マーク A_p, A_q, A_r をそれぞれ用意して、壁からの距離を 1m に固定して同様の実験を行った。この結果、マーク A, A_p, A_q, A_r の認識可能距離 x はそれぞれ 2.6m, 2.3m, 2.1m, 1.3m となった。このことから、マークの面積が小さくなるにしたがってマークの認識可能距離は小さくなることを確認できる。そして、長方形型マーク B, C, D をそれぞれ縮小してマーク A と高さをそろえた長方形型マーク E, F, G をそれぞれ用意して、壁からの距離を 0.5m, 1.0m, 1.5m と変化させて同様の実験を行った。結果を図 15 に示す。図 14 および図 15 から、長方形型マーク E, F, G は長方形型マーク B, C, D とそれぞれ比較して認識可能距離 x が小さくなっていることが確認できる。特に長方形マーク E は正方形型マーク A と比較しても認識可能距離 x が小さく

表 2 マーク A_p, A_q, A_r, E, F, G の寸法

	長辺の長さ [cm]	短辺の長さ [cm]
A_p	7.28	7.28
A_q	5.48	5.48
A_r	3.61	3.61
E	9.10	7.28
F	9.10	5.48
G	9.10	3.61
H	17.3	17.3
I	18.9	15.2
J	21.6	13.8
K	27.2	10.8

なった。これは長方形型マーク E, F, G は長方形型マーク B, C, D と比較してそれぞれマークの面積が小さくなっているためである。また、図 14 および図 15 に示されるグラフの形状は、図 10 に示したマークの形状が最も正方形に近い形に見えるときのカメラとマークとの距離に関するグラフの形状と一致した。また、長方形マーク F, G は正方形型マーク A と比較して、マークの面積が減少しているのに対して認識可能距離 x が増加している。このことは、マークを認識できるカメラとマークとの最大距離 x がマークの形状が最も正方形に近い形に見えるときのカメラとマークとの距離 x_1 に関係して増加していることを示している。

4.2.3 実験 3

また、実際にヘッドマウントカメラを装着したユーザがマークを読み込みながら壁に沿って歩行することを想定した場合、マークを安定して認識できるかどうかが重要となる。そこで、マークの面積が等しくなるようにマーク A, B, C, D の大きさを変化させた大型の長方形型マーク H, I, J, K をそれぞれ用意して、壁からの距離を 1.0m に固定して、歩行しながらカメラを一定速度でマークとの距離が 6.0m の地点からマークの方向へ平行に動かした。この時、カメラの映像を録画することでマークを安定して認識する地点を測定した。結果を図 16 に示す。図 16 から、長方形型マーク I, J, K は正方形型マーク H と比較して、より遠くからマークを安定して認識できることが確認できる。なお、立方体が点滅状態になる（マークの認識が不安定になる）地点は、正方形型マークの方が長方形型マークよりも遠い傾向がある。これは、それぞれのマークの面積は等しく、マークの奥行き幅は長方形型マークの方が正方形型マークよりも広がっている一方、マークの上下方向の幅は正方形型マークの方が長方形型マークよりも広がっており、カメラがマークから離れるにつれそれぞれのマークの奥行き幅の差が小さくなり、上下方向の幅の差がマークのパターンの認識しやすさに現れたためであると考えられる。

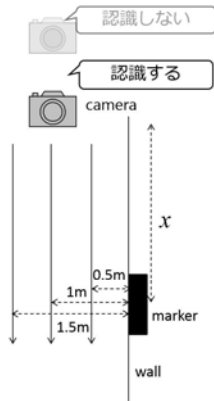


図 13 マーカの認識可能距離 x

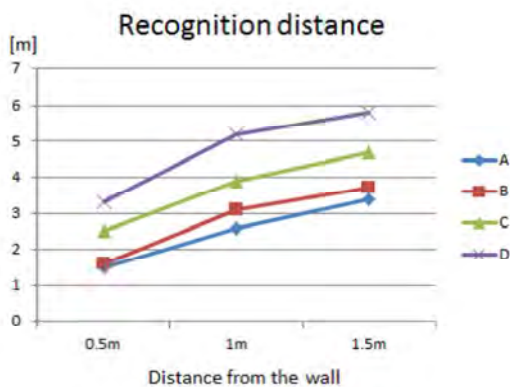


図 14 マーカ A, B, C, D の認識可能距離 (実験 1)

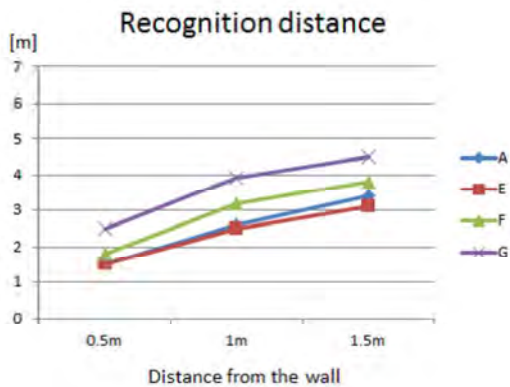


図 15 マーカ A, E, F, G の認識可能距離 (実験 2)

4.2.4 実験結果

4.3 マーカの認識可能範囲の測定

4.3.1 実験手順

まず、前節と同様にマーカ A, B, C, D をカメラと同じ高さに設置した。そして、図 17 に示すように、カメラをマーカの長辺と平行な方向にマーカから 10cm ずつ離していき、それぞれの地点でマーカを認識できる壁からの最大の距離 z を測定した。また、マーカをカメラの進行方向に対して 45° , 90° 回転させた場合についてもそれぞれ同様の実験を行った。なお、すべての画像に対して処理を行う

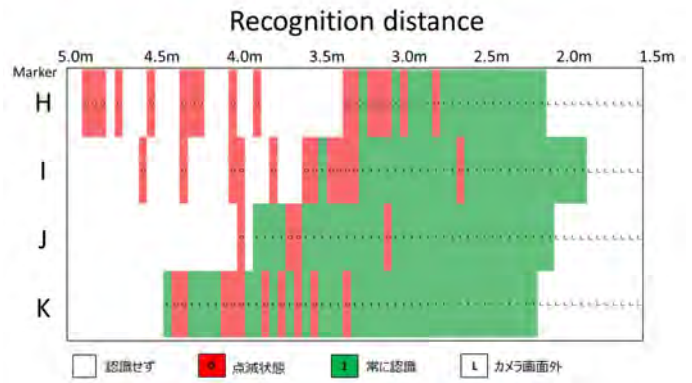


図 16 マーカ H, I, J, K の認識可能距離 (実験 3)

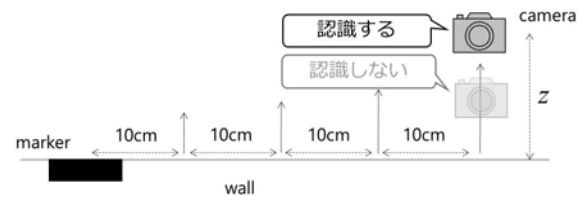


図 17 マーカの認識可能範囲の測定

のはパターン識別に失敗することがあるので、ARToolKit では一度認識したマーカの位置を記憶しておき、次画像のマーカの位置と類似している場合は同じマーカとみなす処理を行っている。従って今回測定したのは認識開始地点であり、認識履歴などを用いた補助を行わないマーカ認識ソフトでは認識可能範囲が異なる可能性がある。

4.3.2 実験結果

図 18 はマーカの長辺に平行な方向におけるマーカ A, B, C, D の認識可能範囲の測定結果を表したものである。また、長方形型マーカ B, C, D は正方形型マーカ A と比べてマーカの長辺に平行な方向において全体的に認識可能範囲が増加していることがわかる。また、図 19 および図 20 は、マーカをカメラの進行方向に対してそれぞれ 45° および 90° 回転させた場合のマーカ A, B, C, D の認識可能範囲の測定結果を表したものである。図 19 より、マーカを 45° 回転させた場合、長方形型マーカ B, C, D と正方形型マーカ A では認識可能範囲にほとんど差がないことがわかる。また、図 20 では逆に、マーカを 90° 回転させた場合、長方形型マーカ B, C, D は正方形型マーカ A と比べて全体的に認識可能範囲が減少していることがわかる。これは長方形型マーカはマーカの長辺と平行な方向に指向性を持つことを意味している。また、図 18, 図 19 および図 20 において、マーカの認識可能範囲はカメラとマーカとの距離が離れるにつれてほぼ比例して増加していることが確認できた。このことは図 12 で推定したマーカの認識可能範囲に関するグラフの形状と一致する。

5. まとめ

本研究では、まず錯視を利用したマーカで斜めからの読

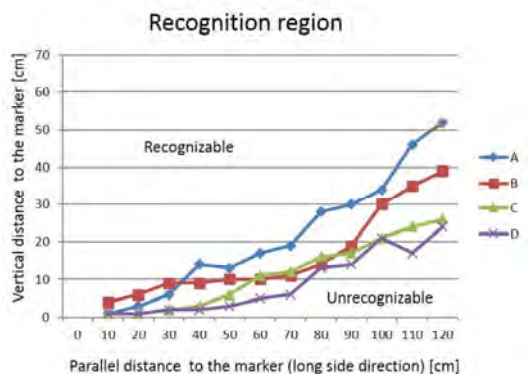


図 18 マーカを 0°回転させた場合（マーカの長辺に平行な向き）の A, B, C, D の認識可能範囲

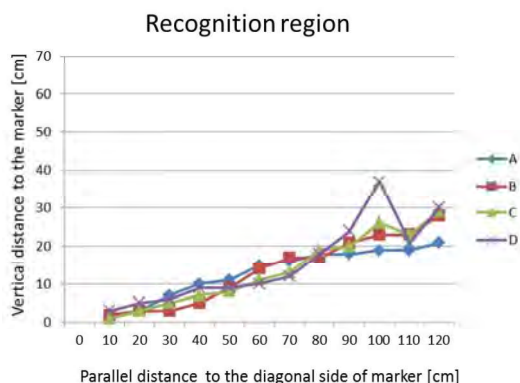


図 19 マーカを 45°回転させた場合のマーカ A, B, C, D の認識可能範囲

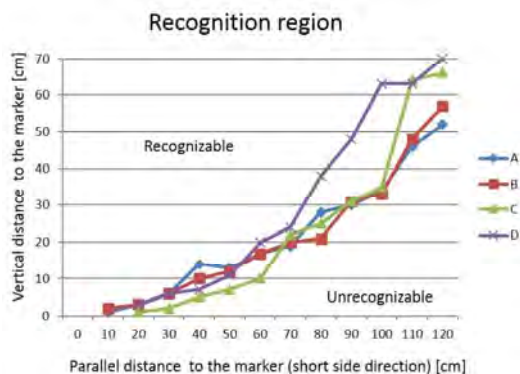


図 20 マーカを 90°回転させた場合（マーカの短辺に平行な向き）のマーカ A, B, C, D の認識可能範囲

み取りが可能になるかを調べるために、マーカの形状を定義し、マーカの認識可能距離および認識可能範囲を計算式を用いて評価した。そして、実際に正方形型マーカと長方形型マーカを用意してそれぞれのマーカの認識できる距離と範囲を測定した。その結果、錯視の性質を利用した AR マーカは従来の正方形型 AR マーカよりも遠くから読み取ることができることや長辺に平行な方向に指向性を持つことなどが確認できた。このことから、壁などに錯視 AR マーカを張り付けて歩行者に行動を促すことなくマーカを

認識させることが可能となり、ナビゲーションの質を大きく改善させることができるとわかった。

参考文献

- [1] Jeleen Chua Ching, Carolyn Domingo, Kyla Iglesia, Courtney Ngo, and Nellie Chua: "Mobile Indoor Positioning Using Wi-fi Localization and Image Processing," *Journal of Theory and Practice of Computation*, pp. 242–256, (2013).
- [2] Manikanta Kotaru, Kiran Joshi, Dinesh Bharadia, and Sachin Katti: "SpotFi: Decimeter Level Localization Using WiFi," *Proc. of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM'15)*, pp. 269–282, (2015).
- [3] Pei Jiang, Yunzhou Zhang, Wenyan Fu, Huiyu Liu, and Xiaolin Su: "Indoor Mobile Localization based on Wi-Fi Fingerprint fs Important Access Point," *Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 2015, No. 45, Article ID 429104, (2015).
- [4] Yan Luo, Orland Hoerber and Yuanzhu Chen: "Enhancing Wi-Fi fingerprinting for indoor positioning using human-centric collaborative feedback," *Human-centric Computing and Information Sciences*, 10.1186/2192-1962-3-2, (2013).
- [5] Honda, S. Takahashi, I. Yoshida, K.: "Proposal of shopping navigaiton system for low vision," *Proc. of IPSJ SIG Technical Report*, Vol. 2012-IS-119, No. 6, pp. 1–7, (2012).
- [6] Rencheng Sun, Yi Sui, Ran Li, and Fengjing Shao: "The Design of a New Marker in Augmented Reality," *Proc. of International Conference on Economics and Finance Research*, pp. 129–132, (2011).
- [7] M. Kalkusch, T. Lidy, N. Knapp, G. Reitmayr, H. Kaufmann, and D. Schmalstieg: "Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding," *Proc. of The First IEEE International Workshop on Augmented Reality Toolkit*, pp. 1–8, (2002).
- [8] Megha Shetty, Vineet Lasrado, and Riyaz Mohammed: "Marker Based Application in Augmented Reality Using Android."
- [9] 亀田能成: "マーカレス AR", 映像情報メディア学会誌 Vol. 66, No. 1, pp. 45–51(2012).
- [10] H. Kato and M. Billinghurst: "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System," *Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR '99)*, pp. 85–94, (1999). *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 3, Special Issue 7, pp. 146–151, (2015).
- [11] OpenCV: Perspective Transform <http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/opencv_ref_cxcore_algebra.html#declcv_Perspective_Transform> .
- [12] 菅谷 保之, 金谷 健一: "基礎行列と射影変換の計算精度の比較: 最小二乗法から超精度くりこみ法まで", 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-CVIM-181, No. 22, pp. 1–6, (2012).
- [13] ARToolKit: Coordinate Systems, <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/cs.htm>>
- [14] ARToolKit, <<https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>> .