

AR を用いた街角ブラウジングシステムの開発

下岸 祐太^{1,a)} 山本 邦雄^{1,b)} 乃万 司^{1,c)}

概要: 近年, 周辺施設を容易に把握する手段として, 拡張現実 (AR) が注目されている. これは, 携帯端末のカメラを周囲に向けると, その方向にある施設の情報が画面に重ねて表示され, ユーザはその場いながら周辺施設を把握できる. しかし街中では, 施設がある方向に情報が表示されても, その方向に道がなければ向かうことができない. そこで, 本研究では, 道のある方向に情報を表示することで, 周辺施設に辿り着けるシステムを開発し, その動作実験を行った.

Street Browsing System Using Augmented Reality

YUTA SHIMOGISHI^{1,a)} KUNIO YAMAMOTO^{1,b)} TSUKASA NOMA^{1,c)}

Abstract: Recently, they have focused on applying Augmented Reality systems to many fields. One of the fields is the systems for grasping a map of the surrounding area. These systems enable users to view the information of facilities through camera image of a mobile device. However, the users can not find the way to a facility, because there are often buildings or houses prevent the users from viewing and going toward the facility. Accordingly, we propose a system for displaying the information of facilities on the road for finding the way to the facilities.

1. はじめに

外出先で目的地を決める場合や目的地に向かう場合, 周辺施設を把握することが重要である. 周辺施設を把握する方法の一つとして実際に足を使って歩き回り, 周辺施設を見て回る方法がある. 例えば観光や出張で, 未知の土地を訪れた際, 一般には周囲を散策し, 何処にどのような施設があるかを見て回りながら, 目的を決定する場合が多い. また, もう一つの方法として Google Maps などの地図検索サービスを使うことで, 周囲の施設を把握してから移動する方法がある. 例えば, 様々なお店をそぞろ歩きながら, ウィンドウショッピングを楽しむ際にも, あらかじめ, 何処にどのようなお店があるのか把握しておくことで, 効率的にお店を回り, より買い物を楽しむことができる.

前者は, 人がものを探索する上でごく自然な行為である

が, 実際に歩き回りながら周辺施設を把握するためには, 身体的な負担や, 物理的な探索時間を要する. そのため, 一度に多くの周辺施設を把握することができず, 機会損失が大きい. 後者は, ある目的に沿って目的地を検索し, そこへ向かう場合には有用であるが, 「この近くでお昼ごはんが食べたい」といった目的が漠然とした状態で周囲の情報を抽出したい場合には適さない. また, 地図を読むことが苦手な人は数多く存在し [1], そのような人々は地図検索サービスを利用できない. 加えて, 地図から周囲の情報を読み取るためには, 脳内で, あるいは実際に地図を回転させるなどして, 地図と実世界を照らし合わせる必要があり, これは人にとって大きな負担である.

近年, これらの問題を解決する手段の一つとして, 位置情報をベースとした拡張現実感 (Augmented Reality: 以下, AR) が注目されている. 位置情報型 AR を利用した AR サービスには, セカイカメラや Layar といったサービスがある [2]. これらは, 携帯端末をかざした方向にある施設の情報を, カメラ映像に重ねて表示することで, ユーザはその場いながら, どの方向にどのような施設があるか

¹ 九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

a) y_shimogishi@pluto.ai.kyutech.ac.jp

b) kunio@ai.kyutech.ac.jp

c) noma@ai.kyutech.ac.jp



図 1 看板画像
Fig. 1 Signboards



図 3 看板画像の表示例
Fig. 3 Image of displaying Signboards



図 2 ユーザと施設の位置関係
Fig. 2 Sample map image

を容易に把握することができる。しかし、普段我々が暮らしている街中では、情報が表示された方向に施設がある場合でも、その方向に道がなければそこに向かうことができない。

そこで、本研究では、施設が存在する方向に情報を表示するのではなく、施設に向かうための、道の方向に情報を表示する新たな AR システムを開発する。これにより、ユーザが周辺施設を容易に把握できるだけでなく、把握した周辺施設に向かう支援を目的とする。

2. 提案システムの概要

本提案システムは、ユーザが向いている道沿いに存在する施設の情報を、図 1 のような看板画像として、携帯端末のカメラ映像上の道の方向に重ねて表示する。例えば、ユーザが図 2 のように左下の位置から矢印の道の方向にカメラをかざすと、システムは図 3 のように看板画像を表示する。本提案システムの処理はまず、GPS センサや磁気センサなどにより、ユーザの現在地と向きを推定する。次に地理情報が格納されたデータベースから、現在地から一定範囲内の経路情報および、施設情報を取得する。そして、取得した経路情報と施設情報を基に、その場に適した看板画像を表示する。

3. 地理情報データベース

本提案システムでは、独自に地理情報データベース(以下、GDB)を設けている。GDBは、ユーザの現在地、向いている道の方向に合わせて適切な看板画像を取得、表示するために使用する。GDBには、大別して、経路情報、施設情報を格納する。また、経路情報を基に、あらかじめ道の長さを計算する。

3.1 経路情報

経路情報の例を表 1 に、その一部を地図としたイメージ図を図 4 示す。経路情報には分岐点情報と道情報があり、分岐点情報には道と道が交わる地点(以下、分岐点)名 $V_i (i = 0, 1, 2, \dots)$ とその分岐点の緯度経度 $V_i(x_i, y_i)$ 、各分岐点同士の隣接関係といった情報が格納されている。道情報には分岐点 V_j と分岐点 V_k (V_j と V_k は隣接関係)の間の領域(以下、道)名 $e_i(V_j, V_k) (i = 0, 1, 2, \dots)$ と、その道を構成する制御点情報が格納されている。制御点情報とは、道の端点を含め、道を等間隔の領域に分割する地点の集合であり、湾曲した道を表現する際に利用する。

3.2 施設情報

施設情報の例を表 2 に示す。施設情報には、施設の名前、緯度経度、施設がどの道に属しているか(隣接しているか)、そしてあらかじめ用意した看板画像(図 1)といった情報が格納されている。

3.3 道の長さの計算

本システムでは、あらかじめ道の長さを計算し、GDBに格納しておく。道を構成する制御点が端点のみの場合、その道の長さを求めるには、端点である制御点同士の緯度経度を利用する。道の端点の緯度、経度それぞれの差分を d_y, d_x 、二地点の緯度の平均を μ_y 、子午線曲率半径を M 、卯酉線曲率半径を N とすると、道の長さ d は(式 1)

表 1 経路情報の例

Table 1 Example of the routing information

分岐点情報例			
分岐点名 V_i	緯度 (y_i)	経度 (x_i)	隣接する分岐点
A	33.6518	130.6721	[B, C]
B	33.6527	130.6720	[C, A, M]
C	33.6518	130.6733	[B, A, K]
D	33.6527	130.6728	[E, F, B]
E	33.6532	130.6728	[F, D, I]
F	33.6533	130.6734	[G, D, E]
...

道情報の例	
道名 e_i	制御点 (v_j)
AB	$[v_0(33.6518, 130.6721), v_1(33.6527, 130.6720)]$
AC	$[v_0(33.6518, 130.6721), v_1(33.6518, 130.6733)]$
BC	$[v_0(33.6527, 130.6720), \dots, v_3(33.6518, 130.6733)]$
BI	$[v_0(33.6527, 130.6720), v_1(33.6534, 130.6719)]$
BM	$[v_0(33.6527, 130.6720), v_1(33.6527, 130.6710)]$
DE	$[v_0(33.6527, 130.6728), v_1(33.6532, 130.6728)]$
DF	$[v_0(33.6527, 130.6728), \dots, v_4(33.6533, 130.6734)]$
...	[.....]

表 2 施設情報の例

Table 2 Example of the facilities information

施設名 F_i	緯度 (y_i)	経度 (x_i)	属する道	画像ファイル
Seven	33.6536	130.6734	[FE]	seven.png
Park	33.6526	130.6716	[BM]	park1.png
Mac	33.6546	130.6705	[OZ]	mac.jpg
BusStop	33.6538	130.6731	[FG, EF]	eon.jpg
Dam	33.6526	130.6706	[MN]	dam.png
...

$$d = \sqrt{(d_y M)^2 + (d_x N \cos \mu_y)^2} \quad (1)$$

で求めることができる [8]. また、湾曲した道のように、その道を構成する制御点が端点以外に 1 つ以上存在する場合、道の長さは、連続する制御点間の長さの和を求める。

4. 位置情報の推定

適切な看板画像を表示するためには、まず、ユーザがどの地点にいるかを推定する必要がある。本研究では、GPS センサで携帯端末の緯度経度を取得する。そして、その情報を基にユーザが「どの分岐点にいるのか」、あるいは「どの道にいるのか」という二つの状態に分類する。

4.1 分岐点領域の内外判定

ユーザの現在地がどの分岐点、あるいはどの道に属するのかを調べるために、まず、任意の分岐点の一定円領域以内にユーザの現在地が含まれるかどうかを判定する。ユーザの現在地を $U(x_u, y_u)$ 、GDB 内の任意の分岐点 $V_k(x_k, y_k)$ を中心とした半径を R とすると、式 (2) が成り立つ時にユーザの現在地は分岐点 V_k に属する。

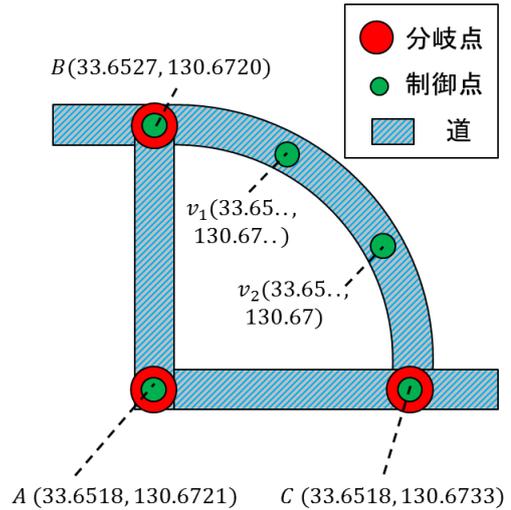


図 4 分岐点, 制御点, 道の定義

Fig. 4 Definition of Bunkiten, Seigyoten, Michi.

$$(x_u - x_k)^2 + (y_u - y_k)^2 < R^2 \quad (2)$$

4.2 道領域の内外判定

4.1 節でユーザの現在地が、GDB 内のどの分岐点にも属さない場合、図 5 のような、制御点 $v_s(x_s, y_s)$ 、 $v_t(x_t, y_t)$ を端点とする道 $a(v_s, v_t)$ の矩形領域以内にユーザの現在地 $U(x_u, y_u)$ が含まれるかを判定する。道を構成する制御点が端点のみの場合、まず、 U から道 $v_s v_t$ までの距離 d_u が、道幅 D より小さいかを調べる (図 6)。道 $v_s v_t$ を直線公式を

$$ax + by + c = 0 \quad (3)$$

とすると、 U から $v_s v_t$ に下ろした垂線の足 $p(x_p, y_p)$ は、式 (4) で表すことができる。

$$p(x_p, y_p) = (x_u, y_u) - \frac{ax_u + by_u + c}{a^2 + b^2}(a, b) \quad (4)$$

したがって距離 d は

$$d = \sqrt{(x_u - x_p)^2 + (y_u - y_p)^2} \quad (5)$$

である。 d がしきい値 D より小さい場合は、さらに点 p が線分 $v_s v_t$ 上にあるかを調べる。 x_s と x_t を比較して、大きい方を x_{max} 、小さい方を x_{min} とし、同様に y_s と y_t を比較して、大きい方を y_{max} 、小さい方を y_{min} とすると、

$$\begin{cases} x_{max} \geq x_p \geq x_{min} \\ y_{max} \geq y_p \geq y_{min} \end{cases} \quad (6)$$

が成り立つ時、 U は幅 $2D$ の道領域の内側にいると判定できる。

また湾曲している道のように、制御点が道の端点以外にも 1 つ以上存在する場合、連続する制御点同士から成る矩形領域にユーザが存在するかどうかをそれぞれ調べ、ユーザが存在する領域があれば、その領域を含む道にユーザは存在すると判定する。

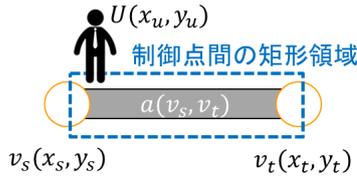


図 5 制御点間の矩形領域

Fig. 5 Rectangle domain of the Seigyoten.

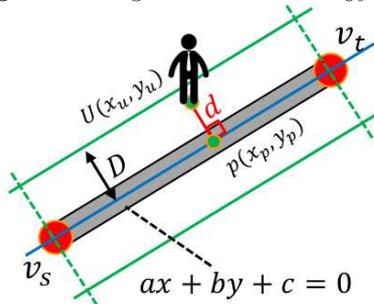


図 6 矩形領域の計算

Fig. 6 Calculation a area of Michi.

5. カメラの向きに対する道方向の推定

本研究では、道の方向に看板画像を表示するため、携帯端末のカメラを向けた方向が、道のどの方向かを判定する必要がある。そこで、磁気センサで取得した方角が、ユーザの現在地から隣接する制御点へ向かう方角に近似するかを判定する。

5.1 ユーザが分岐点にいる場合

ユーザの属する分岐点を $V_p(x_p, y_p)$ 、分岐点 V_p と隣接関係にある制御点 (分岐点を含む) を $v_i(x_i, y_i) (i = 0, 1, 2, \dots)$ とすると、 V_p から各制御点への方位 $\theta_i [\text{rad}]$ は、

$$\theta_i = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{y_i - y_p}{x_i - x_p} & (x_i < x_p) \\ \frac{3\pi}{2} - \arctan \frac{y_i - y_p}{x_i - x_p} & (x_i > x_p) \end{cases} \quad (7)$$

と表すことができる。 V_p に隣接する各制御点への方位 θ_i と磁気センサで取得した方角 ϕ を比較し、もっとも近い道の方向を向いていると判断する。例えば、図 7 において、ユーザが分岐点 V_0 に属し、 V_0 と隣接関係にある制御点 v_1 の方向に携帯端末をかざした場合、 θ と ϕ が近似している v_1 の道の方向を向いていると判断できる。

5.2 ユーザが道にいる場合

ユーザが道にいる場合、ユーザの現在地を挟む二つの制御点のいずれかの方向を向いているか計算する。まず、5.1 節と同様にユーザの現在地を挟む制御点の $\theta_j (j = 0, 1)$ をそれぞれ求める。そして、磁気センサで取得した方角 ϕ が、 θ_i のいずれかに近似するかを判定し、近似した制御点の方向の看板画像を表示する。

また、湾曲した道では、図 8 のようにユーザがどの位置

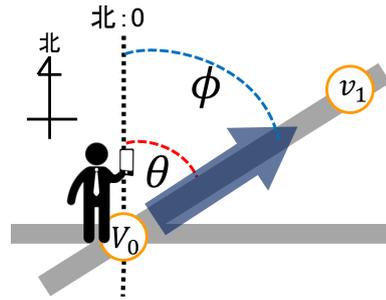


図 7 道の存在判定

Fig. 7 Road judgement.

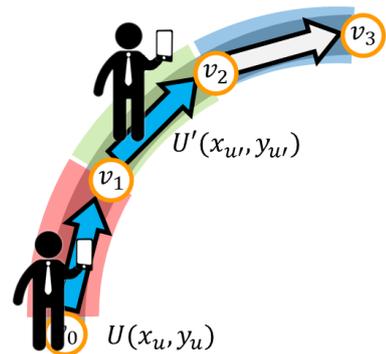


図 8 湾曲した道における表示方向の計算

Fig. 8 Calculation for displaying signboards.

に存在する場合でも、制御点で方向を判断することで道に沿った方向に看板画像を表示することができる。

6. 看板画像の取得

システムは、推定したユーザの位置情報から一定半径以内に存在する経路情報、施設情報を GDB から取得する。そして、これらの情報を基に、ユーザの向いている方向から一定の範囲で辿ることのできる施設の看板画像を取得する。

6.1 看板画像取得のタイミング

本研究では、「ユーザが分岐点にいる状態 (4.1 節)」と「ユーザが道にいる状態 (4.2 節)」の状態が切り替わる場合のみ、必要な施設情報および経路情報を取得する。このようにすることで、リアルタイムに情報を取得し続ける場合に比べ、システムの負荷や、携帯端末のバッテリーの消耗を大幅に軽減できる。つまりユーザの状態が変化しない間は、取得した看板情報や経路情報を繰り返し利用し、ユーザの状態が変化した時のみに、必要な情報を再取得する。

6.2 最短経路の導出

ユーザの現在地からある施設への到達経路は一般に複数存在するため、効率的にその施設へ向かうためには、最短経路の方向にのみ、その施設の看板画像を表示する必要がある。本システムでは、重み付きダイクストラ法 [3] を利

用し、ユーザの現在地から、看板画像が示す各施設への最短経路を求める。尚、ダイクストラ法に用いる各道の重みは、3.3節の式(1)で求めた二点間の長さを用いる。

6.3 フィルタリング

施設の密集する場所では、遠方の情報まで情報を取得しても、かえって情報が見つらなくなる。逆に、施設の少ない場所では、付近のみでなく、遠方の施設情報を知りたい場合もある。そこで、本システムでは、その場の環境に合わせてどの範囲まで、看板情報を取得するかをユーザが選択できる。

7. 看板画像の表示

看板画像は、図3のように、道に向かって左側の施設を示すものと、右側の施設を示すものを、二列に並べて表示する。また看板画像は、看板が示す施設がユーザの現在地に近い順に表示する。尚、ユーザにもっとも近い施設の看板画像には、その施設までの距離をテキスト形式で重ねて表示する。また、道の先が分岐する際には、図3のように分岐する道それぞれの方向に沿うように、その道沿いの看板画像を表示する。

7.1 道と道の成す角

ユーザの現在地から向いている方向に対してどの方向に向かって伸びているかを求める。図9のように、分岐点 a, b, c , b から a に向かうベクトル $\vec{ab}(a_1, a_2)$ と b から c に向かうベクトル $\vec{bc}(c_1, c_2)$ とすると、なす角 $\theta_i[\text{rad}](i = 0, 1, 2, \dots)$ は、

$$\theta_i = \arccos \frac{a_1 c_1 + a_2 c_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2} \sqrt{c_1^2 + c_2^2}} \quad (8)$$

である。しかし、このままでは、基準の道に対し、接続する道が左右どちらの方向に傾いているのか判断できないので、外積を利用してこれを求める。

(9) これを

$$V_a \vec{V}_b \times V_a \vec{V}_c = |V_a V_b| |V_a V_c| \sin \theta < 0$$

を利用し、左右どちらの方向に何度傾いているかを計算する。ユーザの現在地と向きから次の分岐点の道について計算すると図10のようになる。

7.2 看板画像の描画

ARで看板画像を配置するため、3次元の仮想空間内における看板画像の位置座標を求める。7.1節で求めた結果、道の繋がりが図10のような位置関係になるとする。看板画像の表示にはまず、ユーザの正面にある道(A)に属している看板画像を、視点を原点とした座標系からz軸正方向に向かって描画する。描画後、次に看板を描画する開始点を、この道の長さ分だけ移動する。さらに、接続している

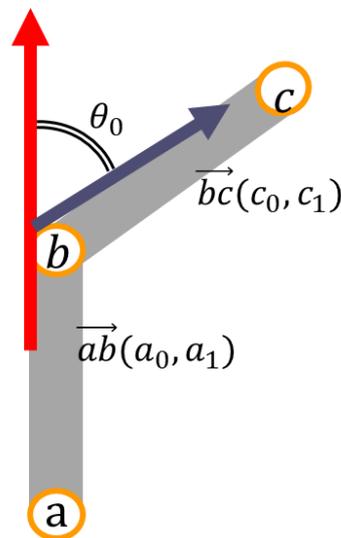


図9 内積の計算

Fig. 9 Calculation of an angle.

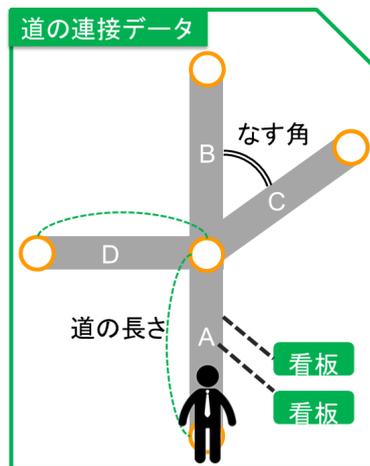


図10 接続データのイメージ

Fig. 10 Image of relation data.

道がなす角の回転を行い、その道に紐付けられている看板画像を同様に描画する。これを、接続する道がなくなるか、あるいは、ユーザが指定したしきい値の範囲まで繰り返し処理する。

8. ユーザインタフェース

ユーザは図11のように、表示された看板画像を指でスワイプ操作することで、順にめくることができる。これにより、ユーザは、先にある施設の情報まで閲覧できる。また、ユーザの正面にある道に紐づいた看板の列を最後尾までめくると、図12のような分岐点オブジェクトが表示される。

分岐点オブジェクトは、ユーザが向いている道の方向に存在する看板画像を、視点を変えて閲覧できる手段の一つである。ユーザは分岐点オブジェクトの任意の矢印を指で



図 11 スワイプ操作のイメージ
Fig. 11 Swiping.



図 12 分岐点オブジェクト
Fig. 12 Bunkiten object.

タッチすることで、今見ている道の一つ先の分岐点に立った視点から、タッチした矢印の方向を向いて、仮想的にその道の先にある看板画像を閲覧することができる。道の先の視点に立って施設のある方向を確認することは経路探索をする上で重要である。例えば、地図を読むことができない人でも、通りすがりの人に道を聞くことで、目的地に辿り着くことができる。この時、多くの人は「突き当たりを右に曲がり、次の交差点を左に進み…」などのように、道の先の分岐点と、そこからどちらの方向へ行くかという情報を繋げて目的地への経路を説明し、聞き手はこれを容易に理解することができる。同様に、仮想的に道の先に立って看板画像を閲覧することができれば、目的地までの経路をよりイメージしやすくなる。

9. システムの動作検証

9.1 動作環境

本システムの動作環境を表 3 に示す。また、動作検証を実施した場所に、分岐点、分岐点同士の繋がり、および看板画像を付加したものを図 13 に示す。円の中にアルファベットが記述されているものが分岐点であり、道を白い線

表 3 動作環境

機種	GALAXY S II SC-02C
OS	android 4.0.3
API	OpenGL ES 1.0
開発言語	Java
場所	九州工業大学 飯塚キャンパス (図 13)
表示範囲	現在地から辿って 3 つ先の道沿いの看板画像

で表している。また、矩形の中に模様が描かれているものが看板画像であり、看板画像の表示位置はその施設(公共物)の緯度経度を表す。

9.2 検証内容

本動作検証では、図 13 の任意の地点 F , E , B において、その場に適した看板画像が表示されるか動作検証した。また、その時の使用感を検証した。

9.3 結果

図 13 の地点 F , E , B において、それぞれ①, ②, ③の方向に携帯端末のカメラをかざした時の表示結果を図 14, 図 15, 図 16 に示す。図 14, 図 15, 図 16 ともに向いた方向から迎える三つ先の道沿いの看板画像まで、道の分岐を考慮して表示されている。図 15 においては、湾曲した道 EC の道に沿う方向に看板画像が表示されている。したがって、その場に合った適切な看板画像を表示できた。しかし、看板画像の位置関係が分かりづらい場合があった。例えば、図 13 の経路 E, C, B, A に沿って看板画像が表示されているが、図 15 を見るだけでは、地点 E または C で出口方向に道が分岐しているとも取れる。使用感については、道の先の看板画像の詳細を閲覧するためには、分岐点ごとに分岐点オブジェクト選択していかなければならず、情報の閲覧にストレスを感じた。また、道の存在判定には、5 章で示したように、分岐点と分岐点の位置関係を利用しているが、カメラの向きが、少しでも先の分岐点がある方向からそれると、看板画像が見えなくなり、表示された情報をじっくり閲覧することが困難であった。

10. 考察

任意の地点における看板画像表示の考察を述べる。本研究では、看板画像をより現実に近い配置で表示することで、直観的に施設同士の位置関係が把握できると考え、道の先が分岐した場合、分岐したそれぞれの道に沿って看板画像を表示する手法を考案した。動作検証の結果、図 ?? や図 16 のように、ユーザ正面の道方向にある施設の看板画像だけでなく、分岐しかし、動作検証の結果、看板画像を現実に沿って配置することで、かえって看板情報の閲覧や、施設の位置関係を把握することが困難になる場面があった。またその場で分岐した先にある施設の看板画像を閲覧するために分岐点オブジェクトを設けたが、道の先にある分岐

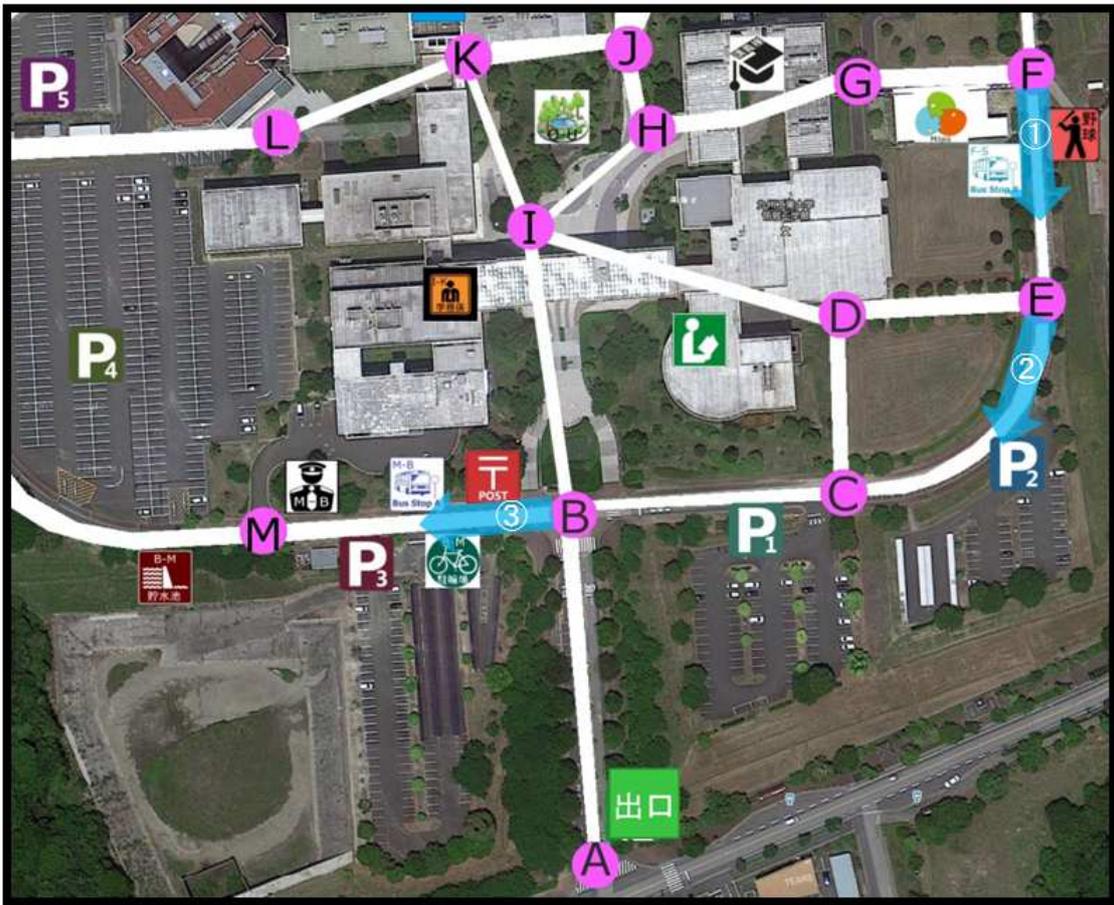


図 13 九州工業大学飯塚キャンパス (Google Map:航空写真 [6])

Fig. 13 Kyusyu Institute of Technology Iizuka campus(Google Map:aerial photograph).



図 14 地点 F で①を向いた表示結果
Fig. 14 Result at Bunkiten F.



図 15 地点 E で②の方向を向いた表示結果
Fig. 15 Result at Bunkiten E.

点の数だけ、分岐点オブジェクトを選択していかなければならず、施設情報の閲覧に手間がかかる結果となった。このことから、本システムでは、その場で得られる看板情報

を詳細かつ正確にユーザに提示するよりも、看板画像の閲覧のしやすさに重点を置いた表示方法が適していると考えられる。



図 16 地点 B で③の方向を向いた表示結果
Fig. 16 Result at Bunkiten B.

11. まとめと今後の方針

本研究では、道のある方向に看板画像を並べて表示することで、その道の方向にある周辺施設をその場にいながら把握できるシステムを開発し、その動作検証を行った。動作検証の結果、任意の場所で携帯端末をかざすことで、かざした道の方向にある施設の看板画像が正しく表示されることを確認できた。また、現在の、道の分岐に合わせた表示方法では、施設を把握する上での情報は多くなったが、情報量を増やしたため、あるいは適切な表示が行われていないため、かえって施設の位置関係が把握しづらいという結果が得られた。

今後は観光マップのような地域案内システムへの応用を想定し、そのために本システムに必要な要件や、表示方法を模索する。例えば、フローチャートに沿って、システムの案内に従ってお店の場所や分岐点の情報を選択していくだけで、容易に GDB を作成できるシステムの実装を検討している。また、本システムは、目的の施設の看板画像が表示される道の方向に歩いていくだけで目的地に辿り着くことができるが、目的地に到達したことに気づかず、通り過ぎてしまう場合がある。そこで、ユーザが看板画像の中から目的地を選択すると、ユーザがその目的地に近づいた時にアラート音を鳴らす、いわゆる「お知らせ機能」を実装する。また、看板画像の表示に関しては、単純に看板画像を道に沿って並べる方法では位置関係が把握しづらく、分岐点オブジェクトなどの存在から、操作が複雑になったという今回の結果を基に、施設の位置関係を容易に把握でき、スムーズに情報が閲覧できる新たな表示方法を模索する。

更に、本システムの評価として、街中での模擬オリエンテーリングを検討している。具体的には、被験者に、本システムと、従来の AR システムを使いながら、いくつかの指定した施設を探してもらう。そしてその時の使いやすさや快適感、魅力といった定性的観点と、施設を探すのに費やした時間や距離といった定量的な観点から総合的に評価する。

参考文献

- [1] Allan Pease, Barbara Pease, Why men don't listen & women can't read maps, Great Britain, Orion-PTI, 1999.
- [2] 小林啓倫, AR-拡張現実, 毎日コミュニケーションズ, 2010.
- [3] George T. Heineman, Gary Pollice, Stanley Selkow, 黒川利明, アルゴリズムクイックリファレンス, オライリー・ジャパン.
- [4] 田原淳一郎, Processing でかんたん Android プログラミング, シナノ書籍印刷.
- [5] 山下武志, 初めての OpenGL ES, オライリー・ジャパン.
- [6] Google Map, <https://www.google.co.jp/maps/>, Google.
- [7] 国土地理院 測地部, <http://www.gsi.go.jp/index.html>, 国土交通省 国土地理院.
- [8] カシミール 3D マニュアルページヒュベニの距離計算式, http://www.kashmir3d.com/kash/manual/std_siki.htm