交差点マーク付き地図と交差点データベースを用いた地理データマッチングに基づく GIS データの AR 提示システム

AR Geovisualization Framework Based on On-line Geographic Data Matching between a Map with Intersections and its Intersection Database on GIS

内山 英昭[†], 正会員 斎藤 英雄[†],

セルヴィエル ミリアム^{††},

モロ ギヨム^{††}

Hideaki Uchiyama[†], Hideo Saito[†], Myriam Servières^{††} and Guillaume Moreau^{††}

Abstract We propose a novel geovisualization framework based on geographic data matching between maps with intersections and their corresponding intersection database on GIS. First, users select several regions to view. The GIS generates maps with intersections and registers these intersections and their contents in our system. The users then view the map content in augmented reality (AR). To identify several dozens of area maps, we propose using LLAH (Locally Likely Arrangement Hashing), a point retrieval method using local geometry of neighbor points, when retrieving the intersections. We have improved LLAH to the point where it can now retrieve intersections with a free-moving camera. Experimental results indicate that intersection retrieval-based map retrieval is possible within several dozens of maps. Additional evaluations demonstrate the robustness of our improved LLAH from several different views.

キーワード：拡張現実, 地理情報システム, Geovisualization, LLAH

1. ま え が き

地理情報システム (GIS) とは、地図のデータを階層的に保持したデータベースとその操作を提供するシステムのことである。データベースに含まれるデータは、建物や道路といった空間的データに加え、建て直しや追加などによる更新を表す時系列的データが含まれている。これらを用いることで、都市計画などのシミュレーションを行うことや、時系列データの提示など、従来の紙地図では実現できなかった利用方法が可能となっている。

GIS に関する研究分野では、データベースの構築や設計とともに、空間的かつ時間的なデータの可視化や提示を対象とした Geovisualization が挙げられる^{1)~4)}。Geovisualization では、GIS のインタフェースのデザイン¹⁾やウェブを使った GIS²⁾、地理情報の視覚的な分析のためのツールキットの開発³⁾の提案がなされていた。さらに、建物の 3

次元モデルや階層的に保持したデータを 3 次元的に提示する方法として、拡張現実による提示が提案され、有効性が示されてきた。Hedley らは、ARToolkit⁵⁾を利用して、ヘッドマウントディスプレイを装着したユーザが ARToolkit 上に地図を見ることのできるシステムを提案した⁴⁾。しかしながら、このシステムでは、GIS と関連のないマークを用いていることから、GIS データのための提示という観点での議論がなされていなかった。

本論文では、GIS データを提示するための拡張現実 (AR) を用いた新たなフレームワークとして、交差点マーク付き地図と交差点データベースを用いた、実時間地理データマッチングに基づく GIS データの AR 提示システムを提案する。本システムでは、初めに図 1 のような交差点に赤色のマークが付いた地図を GIS から作成し、交差点データベースと表示するコンテンツを本システムに登録する。次に、ユーザがこの地図をカメラで撮影すると、地図上に重畳表示された建物などのコンテンツを見ることができる。

本システムにおいて、一つの都市を構成する数十枚の地図を一度に登録して利用することを可能にするために、交差点の幾何学的位置関係を用いた交差点識別に基づく地図の識別手法を提案する。交差点の幾何学的位置関係を表す特徴量として、3 にて後述する LLAH⁶⁾を利用する。また、上部視点に近い範囲でのみ有効な LLAH について、カメラ

2009 年 9 月 1 日受付, 2010 年 1 月 13 日再受付, 2010 年 2 月 5 日採録

[†] 慶應義塾大学 大学院理工学研究科

(〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1, TEL 045-563-1141)

^{††} エコールセントラルナント

(1, rue de la Noe, 44321 NANTES Cedex 3, France)

[†] Keio University

(3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan)

^{††} Ecole Centrale de Nantes

(1, rue de la Noe, 44321 NANTES Cedex 3, France)

図 1 交差点付き地図 (円形の点が交差点)
Map with intersections (circular dot are intersections).

の移動に応じて LLAH の特徴量を更新することで、自由に動かしたカメラに対して、交差点識別に基づく地図の識別とコンテンツの AR 提示を実現する。

実験では、交差点識別に基づく地図の識別が可能であることを示す。また、視点変化に応じた LLAH の特徴量の更新によって、フリーハンドの撮影による AR 提示を可能にすることを示す。

2. 関 連 研 究

画像中に含まれる物体の検索を行う際、特徴量の抽出とデータベース中に含まれる特徴量とのマッチングが行われる。地図の識別において、地図をテキストチャとして扱う場合、局所特徴量のマッチングに基づく識別が行えると考えられる。近年、高次元ベクトルの局所特徴量として SIFT⁷⁾、SURF⁸⁾ や携帯電話のような限られた環境でも動作する手法も提案されてきた⁹⁾。特徴量のマッチングでは、kd 木を用いた ANN¹⁰⁾ やハッシュを用いた LSH¹¹⁾ などの検索手法が用いられてきた。これらの特徴量は照明の変化、回転、並進において不変量である一方、射影変換のように対象に対して斜めから撮影した場合にはマッチングが失敗する。そこで、大きな視点変化に対応するために前処理として数万視点の画像を生成し、各視点における特徴量を登録する手法も提案された¹²⁾。これらの手法は、対象物体が増えるにつれて登録する特徴量の数も増大するため、数個の対象物体に対してのみ実時間での識別と AR のための位置合わせは実現されている。そこで、より多くの対象物体の識別と位置合わせを実現するために、地図にはテキストチャだけではなく、交差点などのベクトルデータが含まれていることに注目し、ベクトルデータを利用した検索が可能かどうかを検討する。

点や線などの幾何学的位置関係を利用した 3 次元形状の検索手法として、GH(Geometric Hashing)¹³⁾ が挙げられる。GH では、多数の特徴空間を生成するため、その計算

コストが非常に大きいことから、高速な処理が必要な AR システムに用いることは難しい。

また、特徴点の 2 次元的な分布を対象とした点検索手法として LLAH(Locally Likely Arrangement Hashing)⁶⁾ が挙げられる。LLAH では、特徴量として、近傍の特徴点の位置関係の組合せを利用している。検索の際にハッシュを用いているため、データベースの数に依存しない検索を行うことができ、1 万ページに対しての文書画像検索が実時間で実現されている。

そこで我々は、地図において特徴点の 2 次元的な分布として交差点を利用し、LLAH を適用することで地図の識別を行う。また、LLAH は上部視点に近い範囲から撮影した場合にのみ有効であるため、視点に応じて変化する LLAH の特徴量をオンライン学習することにより、斜めから撮影した場合にも適用可能にする。3 にて、LLAH の詳細について述べる。

なお、交差点の検出について、地図から自動的に検出する手法としてテンプレートマッチングに基づく手法が提案されている¹⁴⁾。しかしながら、1 枚の画像から検出する処理時間が十数秒かかることや斜めから撮影した場合には検出が困難なため、カメラを自由に動かす AR システムに用いることは難しい。そこで、GIS の道路ネットワークのレイヤーから交差点を検出できることに注目し、交差点を印刷した地図を利用することで AR システムを実現する。

3. LLAH⁶⁾

3.1 文書画像検索

文書画像検索とは、大量の文書をデータベースに登録し、手元にある文書をカメラで撮影した場合に、撮影した画像からその文書がデータベース中のどの文書に相当するか検索することである。提案手法は、LLAH を拡張利用したものであるため、ここでは LLAH の概要を説明する。

事前処理の登録では、データベースに登録する各文書について、初めに特徴点として、単語の重心を検出する。各特徴点に対し、登録された順の文書番号と各文書中において一意に振られた特徴点番号を含む特徴点 ID を振る。これにより、各文書毎に含まれる特徴点数分の (特徴点 ID, xy 座標) を特徴点データベースを作成する。この特徴点 ID は、すべての特徴点に対して一意に振られる。また、各特徴点に対し、3.2 にて述べる特徴量 (インデックス) の算出を行う。全文書中の特徴点について、(インデックス, 特徴点 ID) をセットにして、一つのインデックスデータベースを作成する。インデックスデータベースは、各インデックスが一つの要素のみを保持するテーブルとなる。

次に、カメラで撮影した文書画像から検索では、データベース登録時と同様に、撮影された画像から特徴点の抽出とそのインデックスの算出を行う。各特徴点に対し、算出したインデックスを用いて、インデックスデータベースから特徴点 ID を取得し、特徴点 ID を対応付ける (特徴点

図 2 特徴量の算出
Descriptor.

マッチング)。最後に、特徴点 ID に含まれる文書番号のうち、最も多かった番号から撮影した文書を特定する。この際、対応付けされた点の xy 座標を特徴点データベースから取得し、平面性などの幾何学的制約を用いることで、誤対応した点を削除する。

3.2 特徴量とインデックス化

図 2 において、 x に関する特徴量を算出するとする。初めに、 $abcdef$ のように n 個の近傍の点をあらかじめ設定した基準位置から反時計回りに選択する。次に、 a から e のように、 n 個から m 個の点を選択する。各組合せが一つの特徴量を構成するため、一つの点について nC_m 個の特徴量を算出する。

一つの特徴量を算出するために、この m 個の点から 4 個の点を選択し、二つの三角形の面積比を算出する。すべての組合せについて三角形の面積比を算出することで、特徴量は mC_4 次元の三角形の面積比の並びとなる。

最後に、検索の高速化を行うため、特徴量のインデックス化を行う。つまり、特徴量は mC_4 次元から 1 次元に変換される。あらかじめ算出した量子化間隔を用いて量子化した mC_4 個の三角形の面積比を $r_{(i)} (i = 0, 1, \dots, mC_4 - 1)$ とすると、インデックス $Index$ は量子化レベル k とハッシュサイズ H_{size} を用いて次式のように表される。

$$Index = \left(\sum_{i=0}^{mC_4-1} r_{(i)} k^i \right) \bmod H_{size} \quad (1)$$

登録時には、一つの特徴点 ID が複数のインデックスに登録される。登録の場合には、異なる特徴点 ID が同一のインデックスに登録される衝突が発生することがあるが、そのインデックスは識別性が低いため、登録を取り消す。検索時には、一つの特徴点に対し、複数のインデックスから特徴点 ID を取得する。同一の特徴点 ID の数をカウントし、最も多くのカウント数となった特徴点 ID を対応付ける。例えば、 $(n, m) = (6, 5)$ の場合、インデックス数が $6C_5 = 6$ となるため、登録では、6 箇所のインデックスに特徴点 ID を登録する。検索時には、6 箇所のインデックスから特徴点 ID を取得し、最も多く取得した特徴点 ID を算出する。

4. 概要

4.1 システムの概要

初めに、GIS から対象となる地図に含まれる道路ネットワークから交差点データベースを抽出し、AR 提示するた

めの GIS データを本システムに登録する。交差点の座標は、世界測地系から xy 座標に変換したものを本システムに登録する。同時に、AR 提示するための GIS データは VRML 形式にて GIS から出力し、本システムに登録する。なお、地図の縮尺について、縮尺が変わると交差点群の分布も変わるため、用いる縮尺ごとに交差点群の登録を行う。本システムには、複数枚の地図について一度に登録することができる。

AR 提示を行う際に、ユーザはヘッドマウントディスプレイやカメラ付き携帯電話などのカメラ付きディスプレイを使用する。初めに、ユーザは交差点群と地図を合わせて印刷をする。次に印刷した地図をカメラで撮影すると、建物の 3 次元モデルやその他の GIS データが地図に位置合わせされて AR 表示される。地図は任意の方向から撮影することができ、地図を切り替えるとそれに応じて、提示される GIS データも自動的に切り替わって表示される。

4.2 手法の概要

提案手法は、中居らの文書画像検索⁶⁾に由来する。提案手法では、3.1 における特徴点を交差点とし、地図を撮影した画像に対し、データベース中に登録された地図の中から対応する地図を検索する。

初めに、ユーザが GIS から抽出した地図とそれに含まれる交差点をデータベースに登録する。データベースの構造は中居らと同じである⁶⁾。各交差点に対し、ユーザが登録した順番の地図番号と各地図中で一意に振られた交差点番号からなる交差点 ID を作成する。提案手法では、16 ビットを地図番号に、16 ビットを交差点番号に割り当てることで、交差点 ID を 32 ビットとして表している。これは、3.1 の特徴点 ID に相当する。各地図の特徴点データベースとすべての地図から作成されるインデックスデータベースは、3.1 と同様に行う。

次に、図 3 の AR 提示では、初めに地図を撮影した画像から交差点を検出する。検出した交差点に対し、3.1 と同様にインデックスを算出することで、データベース中の交差点 ID との対応付けを行う。対応付けされた交差点 ID から地図番号を取得し、画像中に最も多く含まれた地図番号を算出することで、データベース中のどの地図に相当するかを決定する。また、対応付けされた交差点を用いてカメラの位置姿勢推定を行うことで、データベースにユーザが登録したその地図のコンテンツの AR 表示を行う。最後に、LLAH の特徴量の更新として、各交差点において、算出したインデックスに対して、交差点 ID を更新する。

5. 提案手法

5.1 交差点検出

本システムで用いる地図は、交差点が赤色でプロットされているため、色の識別によって、交差点を検出する。各画素の各色を (R, G, B) とすると、

図 3 AR 提示の流れ
Algorithm for AR.

$$G/R < TH \text{ かつ } B/R < TH \quad (2)$$

を満たす場合に赤色とした。閾値 TH を実験を通して 0.6 に設定することで 2 値化し、交差点領域を検出する。領域毎に重心位置を交差点の位置とした。

5.2 交差点の対応付けとカメラの位置姿勢推定

検出された交差点に対し、3 と同様に LLAH を用いた対応付けを行うと、図 4 のように入力画像とデータベース中の地図の交差点の対応付けを行うことができる。図 4 の中の二つの拡大した図は、交差点の対応付けが正しく行われた交差点について、入力画像とデータベース中に登録されている地図の対応した領域を拡大したものである。また、図の中央部で楕円で囲まれている太線は、誤対応の一例を示している。カメラの位置姿勢推定の際に算出するホモグラフィの算出過程において、RANSAC¹⁵⁾ を導入することで、誤対応を除去する。

地図上の交差点は平面上に分布している。このため、対応付けされた交差点が平面上に存在するかを評価するために、2 次元の平面における幾何学的変換を表すホモグラフィを利用する。処理の流れは次のようになる。

- (1) 対応点をランダムに 5 点選択し、ホモグラフィを算出
 - (2) すべての対応点に対し、ホモグラフィを用いて対応付けされた交差点が正しいかどうかを評価
 - (3) 上の二つの処理を 100 回繰り返し、最も多くの交差点が正しく対応付けされたホモグラフィを算出
- これは、同一平面上に存在すると判定された場合に、正しく対応付けされた交差点と判断していることに等しい。この結果、図 4 の図の中央部で楕円で囲まれている太線が同一平面に存在しえない対応点と判断され、誤対応として検出される。

正しく対応付けられた交差点 ID から地図番号を取得し、画像中に最も多く含まれた地図番号を算出することで、データベースから対応する地図の識別を行う。地図に対するカメラの位置姿勢は、算出したホモグラフィからカメラの回転行列と並進ベクトルに分解することによって算出することができる¹⁶⁾。

図 4 交差点の対応付け (太線: 誤対応)
Intersection Retrieval.

5.3 データベースの更新

GIS から抽出した交差点群に対して算出した LLAH の特徴量は、地図を上部から平行に撮影した場合の特徴量と等しい。このため、図 4 のように少し傾斜して撮影した場合には、対応付けに失敗する交差点が存在する。これは視点変化によって生じる以下の二つの点が理由として挙げられる。

- 近傍の点群は、データベース作成時と同じものが選択されたが、三角形の面積比群がデータベース作成時に算出したものと異なる
 - 近傍の点群自体がデータベース作成時と異なる
- そこで、視点変化に応じた LLAH の特徴量の更新を導入することで、これら二つの問題を解決し、自由にカメラを動かした場合にも交差点の対応付けを行えるようにする。

そこで、対応付けに失敗した点の LLAH の特徴量を更新する処理は次のようになる。

- (1) 5.2 にて、データベースから検索された地図に含まれる交差点を、ホモグラフィを用いて画像に投影
- (2) 画像中の特徴点と投影された点の距離を算出し、2 ピクセル以下の場合に交差点 ID を付加
- (3) 交差点 ID を付加された特徴点の特徴量 (インデックス) に、対応付けられた交差点 ID をインデックスデータベースに登録

例えば $(n, m) = (6, 5)$ の場合、画像中の特徴点 A に対して、LLAH を用いて対応付けを行うときに、6 個のインデックスが算出される。この特徴点 A がデータベースからの投影によって交差点 ID を取得した場合、6 個のインデックスにこの交差点 ID を登録する。その結果、次フレーム以降で、LLAH を用いて対応付けできなかった交差点が、新たに登録されたインデックスからを用いることで LLAH によって対応付けが可能となる。この処理をカメラの移動毎に生じる対応付けに失敗した交差点に対して行うことで、広域のカメラ移動が可能となる。

この処理は、5.2 において、対応付けが行えなかった点だけではなく、対応付けが行えた点についても同様に行う。LLAH の検索の特徴として、データベース作成時と検索時

で近傍の点が $n - m - 1$ 点異なって選択された場合でも検索が行うことができる場合があることが挙げられる。これは、 m 個以上の近傍の点が一致していれば、登録されたインデックスが一つ以上算出されるからである。この場合、データベースに登録されたインデックスだけではなく、データベース作成時と検索時で近傍の点が異なることによって、新たなインデックスが算出されている。そこで、新たに算出されたインデックスに交差点 ID を登録する。これにより、次フレーム以降で登録されたインデックスからも交差点 ID を取得することが可能になり、LLAH を用いた交差点 ID の検索が可能となる。

このようにカメラの視点変化に応じて、LLAH の特徴量データベースの更新をオンラインで行うことで、斜めから撮影した場合にも LLAH を用いた交差点の対応付けを行い、コンテンツの AR 提示を行うことができる。

6. 実験

6.1 概要

本システムは、フランスのナント市における GIS を利用する¹⁷⁾。道路ネットワークから交差点を抽出した結果、ナント市には 3760 点の交差点が含まれていた。

本システムを用いるにあたり、初めに LLAH のパラメータを設定する必要がある。3.2 で述べた、近傍の点 n 、特徴量計算に用いる点 m 、量子化レベル k 、ハッシュサイズ H_{size} について、中居ら⁶⁾と同様に実験的に求め、 $n = 7$ 、 $m = 5$ 、 $k = 32$ 、 $H_{size} = 2^{20} - 1$ とした。

カメラ付きディスプレイとして、解像度が 640×480 の oint Grey Flea2 と Lenovo 社のノートパソコン X61(Intel Core 2 Duo 2.2GHz, 3GB RAM) を使用した。開発環境は、Microsoft 社の Visual Studio2005 を用いて VC++ で開発し、画像処理ライブラリとして Intel 社の OpenCV を使用した。

6.2 LLAH を用いた交差点の識別に基づく地図の識別

初めに、LLAH を用いた交差点の識別によって、地図の識別が行えるかどうかについて検討する。

ユーザが用いる地図として、抽出した交差点の縮尺に対して軸を等分割することで、48 枚の A4 サイズの地図を作成した。表 1 には、それぞれの交差点数を含む地図の数を示している。作成された地図に含まれる交差点数は地図によって異なり、最小で 20 点の地図から最大で 215 点であった。各地図について、上部視点から撮影を行った 1 枚の画像に対して、GIS から抽出した交差点の LLAH の特徴量データベースを用いて交差点の識別を行い、交差点数と識別の成功数の関係を検討した。

表 1 に示したように、48 枚中 44 枚の地図について、交差点の対応付けに基づく地図の識別が成功した。これは、一つの都市の中では、局所的な交差点の位置関係が異なることにより、LLAH が有効に働いていることを示している。検索の失敗する交差点や誤対応が 40% から 50% 存在した

表 1 交差点の数と地図の識別の成功数
Relationship between number of intersections and number of successful map retrieval.

交差点数	地図の数	成功数	平均誤対応数
21-30	8	5	11
31-40	3	2	18
41-50	2	2	21
51-60	9	9	23
61-70	3	3	29
71-80	6	6	31
81-90	3	3	31
91-100	3	3	34
101-	11	11	55
Sum	48	44	

が、5.2 で述べた RANSAC を用いたホモグラフィの算出によって誤対応を除去し、地図の識別を正しく行うことができた。交差点数が少ない地図では、検索の失敗する交差点や誤対応が多く発生した場合、RANSAC を用いて誤対応を除去できない場合もあった。この実験から一つの都市を構成する数十枚の地図に対し、LLAH を用いた交差点の識別に基づく地図の識別が可能であることが示された。

6.3 データベースの更新によるカメラの可動範囲

5.3 で述べた特徴量データベースの更新の有効性について検証する。提案手法と中居らの手法⁶⁾の違いは、データベースの更新である。そこで、データベースの更新を行わない場合を従来の中居らの手法とし、データベースの更新を行った場合と識別できた交差点数の違いについて検討を行う。識別できた交差点とは、5.2 の誤対応を除去した後の点とする。

128 点の交差点が含まれている図 1 の地図に対し、カメラを上部から地図と平行になるまで移動させたときに、識別できた交差点数を算出する。カメラの初期位置として、地図全体が撮影できるようにカメラを上部に設置し、そこから地図全体を撮影しながらカメラを傾けた。図 5 に結果を示す。データベースの更新を行わない場合、カメラと地図の成す角度が 50 度のあたりで交差点の対応付けが行えなくなった。これは、特徴量として上部視点から見た三角形の面積比のみを保持しているからである。一方、提案手法では、カメラの移動に応じて変化する特徴量の更新を行うため、角度が 20 度の場合にも 30 点の交差点の対応付けが行うことができた。これは、中居らの手法が 50 度までのみ AR 提示できるのに対し、提案手法では 20 度までカメラを傾けた場合にも AR 提示が可能であることを示している。

また、データベースを更新することによって図 6(a) や (b) のようにカメラが地図に近づいた場合にも交差点の識別が可能である。カメラの位置姿勢推定を行うことができた結果として、GIS に含まれる建物の輪郭を投影して表示している。図 6(a) の場合、画像中に写っている交差点の数は 15 点ほどである。このように、撮影される交差点数が少なくなった場合においても、交差点の識別が可能である。これは、5.3 で述べたように、検索できた点についても、新た

図 5 視点変化に応じて対応付けに成功した交差点数
Number of retrieved intersections.

な近傍が加わるごとに特徴量を更新するため、データベース登録時と全く異なる近傍群となった場合にも、交差点の識別が可能である。この結果から、中居らの結果⁶⁾と比較し、データベースの更新によってカメラの動きに自由度を与えることが示された。

なお、一度データベースを更新した場合には、次回以降そのデータベースを用いることができるため、初めにカメラを上部から撮影する必要はなくなる。そのため、カメラを図 6(a) のように接写させた状態を初期フレームとしても、その交差点の認識が行えるため、そこから直ちに AR 提示を開始することができる。これは、中居らの手法にはなかった特徴の一つである。

6.4 処理時間

図 1 の地図を用いて処理速度の計測を行った。この地図には、128 点の交差点が含まれていた。カメラを動かしながらこの地図を撮影して、100 フレームに対して処理速度を計測し、その平均を表 2 に示した。1 フレームあたりの処理時間は 40msec となった。

中居らの手法⁶⁾と異なる項目はデータベースの更新である。データベースの更新にかかる時間は平均 10msec となった。この処理時間は、画像中から検出された特徴点数 N に対して $O(N)$ の計算量となるが、215 点の交差点が含まれる地図に対しても 15msec 以内に更新を行うことが可能であった。提案手法は 25fps を達成しており、一般的なビデオフレームレートを実現していることから AR システムに適用可能であるとともに、中居らの手法と 10msec の処理速度の違いの中で、カメラの可動範囲を広げることができた。

6.5 アプリケーションの例

本システムを用いたアプリケーションの例を紹介する。本

表 2 処理時間
Computational costs.

処理の内容	msec
交差点の検出 (5.1)	9
交差点の識別とカメラの位置姿勢推定 (5.2)	21
データベースの更新 (5.3)	10

(a) 接写した場合
Closeup

(b) 傾いて接写した場合
Strong tilt

図 6 データベース更新による有効性
Effectiveness of database update.

システムでは、GIS から抽出したデータを AR 表示できるとともに、その他の地理データにリンクしているものも表示することができる。これらのコンテンツは、ユーザが本システムに地図と一緒に登録する。表示されるコンテンツは、ユーザがあらかじめ地図上のどこに表示するかを指定しておく。

図 7(a) では、GIS から抽出した建物の 3 次元壁モデルを重畳表示している。Hedley らのシステム⁴⁾とは異なり、ユーザが用いている地図と表示されている 3 次元モデルがリンクしているため、ユーザが所持する地図とその街並を同時に見ることができる。また、図 7(b) では、ユーザが指定した撮影箇所、撮影した画像を浮かび上がらせて表示している。今日では、多くのデータが地図情報にタグ付けされているため、本システムを用いて GIS に含まれる 3 次元的なデータや地図と関連付けされているデータを地図上に AR 提示できる。

7. む す び

本論文では、GIS データを提示する新たなフレームワークとして、交差点マーク付き地図と交差点データベースを

(a) 3次元モデルの提示
3D models

(b) タグ付けされた写真の表示
Tagged pictures

図7 アプリケーションの例
Examples of applications.

用いた地理データマッチングに基づく GIS データの AR 提示システムを提案した。本システムでは、GIS から作成した交差点マーク付き地図を撮影すると、その地図に関する GIS データをディスプレイを通して AR 提示する。ユーザは、複数の地図を作成し、自由にカメラを動かしながらコンテンツを見ることができる。地図の識別のための特徴量として交差点の幾何学的位置関係を提案し、LLAH を用いた交差点の識別を行うことで地図の識別が可能であることを示した。また、上部視点の範囲でのみ有効な LLAH の特徴量をカメラの動きに応じて更新することで、自由なカメラの動きに応じた AR 提示が可能であることを示した。提案手法では、画像全体に対して特徴点マッチングを行っているため、地図上に部分的なオクルージョンが発生した場合にも AR 提示が可能である。

最後に、本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「アクセス空間支援基盤技術の高度国際連携」及び日本学術振興会特別研究員奨励費の支援を受けた。

〔文 献〕

- 1) Chan, E.P.F. and Wong, J.M.T.: Querying and visualization of geometric data, Proc. ACM GIS, pp.129-138 (1996)
- 2) Takatsuka, M. and Gahegan, M.: Exploratory geospatial analy-

sis using Geo VISTA Studio: From a desktop to the web, Proc. WISE, pp.92-101 (2001)

- 3) Jern, M. and Franzen, J.: Integrating InfoVis and GeoVis components, Proc. ICIV, pp.511-520 (2007)
- 4) Hedley, N., Billinghamurst, M., Postner, L., May, R. and Kato, H.: Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization, Teleoperators and Virtual Environments, MIT Press, vol.11, pp.119-133 (2002)
- 5) Kato, H. and Billinghamurst, M.: Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system, Proc. IWAR (1999)
- 6) 中居友弘, 黄瀬浩一, 岩村雅一: 処理速度とメモリ効率の改善された LLAH によるカメラベース文書画像検索, 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.1252-1259 (2008)
- 7) Lowe, D.G.: Distinctive image features from scale-invariant keypoints, IJCV, vol.60, pp.91-110 (2004)
- 8) Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Gool, L.V.: SURF: Speeded Up Robust Features, CVIU, vol.110, pp.346-359 (2008)
- 9) Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T. and Schmalstieg, D.: Pose tracking from natural features on mobile phones Proc. ISMAR, pp.125-134 (2008)
- 10) Arya, S., Mount, D.M. Netanyahu, N.S., Silverman, R. and Wu, A.: An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching fixed dimensions, J. of the ACM, vol.45, pp.891-923 (1998)
- 11) Datar, M., Indyk, P., Immorlica, N. and Mirrokni V.S.: Locality-sensitive hashing scheme based on p-stable distributions, Proc. SCG, pp.253-262 (2004)
- 12) Taylor, S., Rosten, E. and Drummond, T.: Robust feature matching in 2.3μs Proc. CVPR Workshop (2009)
- 13) Lamdan, Y. and Wolfson, H.J.: Geometric Hashing: A general and efficient model-based recognition scheme, Proc. ICCV, pp.238-249 (1988)
- 14) Chiang, Y.Y. and Knoblock, C.A.: Automatic extraction of road intersection position, connectivity, and orientations from raster maps, Proc. ACM GIS (2008)
- 15) Fischler, M.A. and Bolles, R.C.: Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, vol.24, pp.381-395 (1981)
- 16) Uematsu, Y. and Saito, H.: Vision Based Registration for Augmented Reality Using Multi-Planes in Arbitrary Position and Pose by Moving Uncalibrated Camera, Proc. MIRAGE, pp.99-107 (2005)
- 17) OrbisGIS: <http://www.orbisgis.org>

うちやま ひであき
内山 英昭 1983 年生。2008 年 3 月 慶應義塾大学理工学部卒業。現在、慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程在学中。主としてコンピュータビジョンに関する研究に従事。

さいとう ひでお
斎藤 英雄 1965 年生。1992 年 3 月 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程電気工学専攻修了。1992 年同大学助手。1995 年同講師。2001 年同助教授。2006 年同教授。1997 年から 1999 年カーネギーメロン大学ロボティクス研究所訪問研究員。博士 (工学)。主としてコンピュータビジョンに関する研究に従事。

セルヴィエル ミリアム 1978 年生。2005 年 Nantes 大学大学院博士課程修了。Ph.D(Computer Science). 2006 年 Ecole Centrale de Nantes 助教。主に、GIS、コンピュータビジョンに関する研究に従事。

モロ ギヨム 1973 年生。1995 年 Rennes 1 大学大学院博士課程修了。Ph.D(Computer Science). 2002 年 Ecole Centrale de Nantes 准教授。2009 年 Habilitation 取得。主に、GIS、ヴァーチャルリアリティに関する研究に従事。