

写真データの空間的な組織化と視覚化

藤田 秀之 有川 正俊

東京大学空間情報科学研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: {fujita, arikawa}@csis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 撮影位置, 撮影方向, 画角を空間メタデータとして持つ写真データを「空間情報付き写真」と定義し, その空間的な検索インタフェースや, 他の空間データとの重ね合わせに関する研究を行ってきた。これまでは主に首振りカメラを用いて計画的に撮影した写真データを対象としてきたが, 今後, 一般的なカメラにも GPS や電子コンパス等の空間センサが搭載されることにより, 空間情報付き写真が不特定多数のユーザによって生成され, WEB 上で流通することを想定し, このような空間情報付き写真に対する空間索引や検索アルゴリズムを検討し, 検索インタフェースを実装した。さらに, 各場所がどれだけ多くの写真に写されているのかを地図上で視覚化した。なお, 現時点では, 高精度な空間センサを搭載するカメラはまだ一般的ではないため, 空間メタデータを持たない写真を対象として, ユーザが地図上で写真上で数点をクリックすることで, 写真の撮影位置と撮影方向を算出し, 空間メタデータとして付与するキャリブレーションツールを実装した。

キーワード 情報検索, マルチメディア処理, 空間 DB, データの可視化, ユーザインタフェース

Organization and Visualization of Photographs with Spatial Metadata

Hideyuki FUJITA Masatoshi ARIKAWA

Center for Spatial Information Science, University of Tokyo 4-6-1, Komaba, Meguro-Ku, Tokyo 153-8904, Japan

E-mail: {fujita, arikawa}@csis.u-tokyo.ac.jp

Abstract Our research object is photograph data with spatial metadata such as viewpoint, view direction and view angle. We have suggested spatial retrieval interface for them, and made them cooperate with other spatial data. It is assumed that cameras with spatial sensors will be common, and there will be many photographs with spatial metadata by general users. This paper suggests spatial index and retrieval algorithm for such photograph data. With the spatial index, the density of photograph data is visualized on the map. This paper also implements a calibration tool for photograph data because cameras with high accurate spatial sensors have not been common yet. With this tool, viewpoint and view direction are calculated by clicking several points on the photograph and the map.

Keyword information retrieval, multimedia, spatial database, visualization, user interface

1. はじめに

撮影時のカメラ位置をメタデータとして持つ写真は位置情報付き写真と呼ばれることが多い。これに対し, 本研究が対象とする写真には, 空間メタデータとして位置・撮影方向・画角を付与しており, 位置情報付き写真と区別して空間情報付き写真という呼称を用いている。本研究では, こでまで, 首振りカメラを用いて計画的に撮影した空間情報付き写真を対象とし, その空間的な検索手法や, 他の空間データと重ね合わせる手法を検討してきた[1]。

一方でデジタルカメラの普及により, 写真を撮影する行為がかつてないほど一般化し, 日常化している。また, GPS やジャイロセンサ等の空間センサとの連携により, 写真を撮影しながら撮影時の位置や方向を自動的に記録することが可能になった。GPS, ジャ

イロセンサ, デジタルカメラを搭載した携帯電話も販売されている。さらに, 電子基準点リアルタイムデータ提供[2]により, 携帯電話等に搭載された GPS でも cm 精度の測位が可能になると期待されている。加えて, デジタルカメラで撮影した JPEG や TIFF といった一般的なデジタル写真ファイルのヘッダーに記録されるメタデータの標準として Exif format[3]が策定され, ほとんどのデジタルカメラメーカーに採用されており, この format に GPS 情報等が含まれることから, 写真が位置や方向等の空間メタデータとセットになって扱われる基盤ができたといえる。これらの背景から, 今後, 不特定多数のユーザによって撮影された高精度な空間情報付き写真が WEB 等で流通することが期待される。そこで本論文では, 首振りカメラにより計画的に撮影した写真群ではなく, 不特定多数のユーザによって生

成された空間情報付き写真群を対象とし、これまで提案した手法を一般化することで、その検索インタフェースを検討する。

Exif format で記録された位置情報を用いて、写真を地図上で空間的に扱うアプリケーションは複数存在する[4]。写真は点データとして地図上にマッピングされるが、点が表しているのは、写真に写された空間そのものではなく、写真を撮影した際のカメラの位置の座標である。言い換えれば、写真ではなくカメラの位置をマッピングしているにすぎない。そのため、例えば、次のような問題点が生じる

- ・ 「ここから撮影した写真」という検索のみ可能であり、「ここを見た写真」「今見ているものを横から見た写真」といった空間的な検索ができない

そこで本研究は目的を以下のように定める。

- ・ カメラの位置ではなく、写真に写された空間を実3次元空間にマッピングすることで、その空間的な検索インタフェースを実現する。

本論文の構成は次の通りである。まず、空間情報付き写真を3次元のボリュームと捉え、その形状の定義としてメタデータの定義を行う(2章)。続いて、定義したデータ構造を前提として、空間情報付き写真の空間的な検索手法を、その効率化のための空間索引を含めて提案する(3章)。ある場所から撮影した写真ではなく、ある場所を撮影した写真を検索することが特徴である。さらに、各場所がどれだけ多くの写真に写されているのかという空間的な密度を地図上で視覚化する手法を検討する(4章)。次に、現時点では、高精度な空間センサを搭載するカメラはまだ一般的ではないため、空間メタデータを持たない写真を対象として、ユーザが地図上と写真上の対応する数点をクリックすることで、写真の撮影位置と撮影方向を算出し、空間メタデータとして付与する手法を提案する(5章)。この手法は、キャリブレーションツールとして実装した。次に、本論文で提案した空間情報付き写真の検索手法や、その密度の視覚化の手法を実装したプロトタイプシステムの紹介を行う(6章)。なお、このシステムのテストデータとなる空間情報付き写真群は、GPS等を搭載していない一般的なデジタルカメラで撮影した写真に対して、実装したキャリブレーションツールを利用して空間メタデータを付与することで生成した。最後に結論と今後の課題をまとめる(7章)。

2. 地物としての空間情報付き写真

本研究では、高精度な空間情報付き写真をGIS (Geographic Information System) における地物としてとらえ、その3次元実空間上での形状や扱いを定義した。これを、空間情報付き写真に対する操作やその用

途別に表1にまとめた。それぞれの具体的な説明は以降の節にまとめる。

表1. 地物としての空間情報付き写真

操作/用途	形状	名称
空間データとして	3次元空間上のボリューム	FOV
ユーザインタフェース	3次元空間上のベクトル	撮影ベクトル
索引の作成・検索アルゴリズム	2次元の半直線	カメラベクトル

なお、撮影ベクトルは本研究で定義した概念であり、FOV(Field Of View)とカメラベクトルは、CGの分野で一般的に用いられる概念である。

2.1. 空間データとしての空間情報付き写真の空間メタデータの定義

CGにおいて、構築された3次元空間から2次元のViewを作成する際、視点を頂点とし、画角が斜面をなす四角錐であるFOVが用いられる。本研究では、写真に写された3次元構造を利用するために、写真撮影時に3次元実空間からカメラが切り取ったFOVをもって写真と実空間とを対応付ける(図1)。

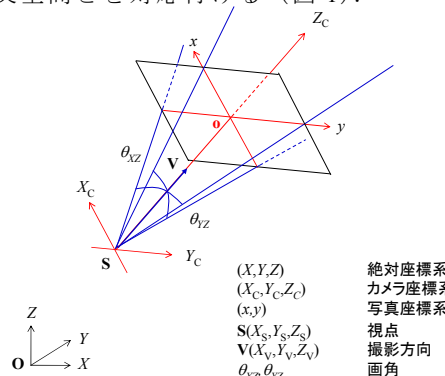


図1. 写真を3次元実空間と対応付けるFOV

FOVを決定するパラメータは表2に示す通りであり、これらのパラメータを1枚の写真データに付与する空間メタデータと定義した。空間データをその幾何形状を考慮し地物として扱うGISの観点では、地物としての空間情報付き写真を、点ではなく3次元のボリュームとしてデータベース化することになる。なお、空間メタデータを取得するセンサとして、視点はGPS等、撮影方向はジャイロセンサ等があげられる。画角はカメラの内部パラメータとして取得可能である。

表2. 地物としての空間情報付き写真

視点	S (X, Y, Z)
撮影方向	V (X _v , Y _v , Z _v)
画角	θ _{xz} , θ _{yz}

2.2. 空間情報付き写真に対するユーザインタフェースとしての撮影ベクトル

ここで写真に対するユーザインタフェースというとき、以下の過程で利用されることを想定している。

- (a) 写真に対するユーザの問い合わせの記述
- (b) 検索された写真の地図上へのマッピング

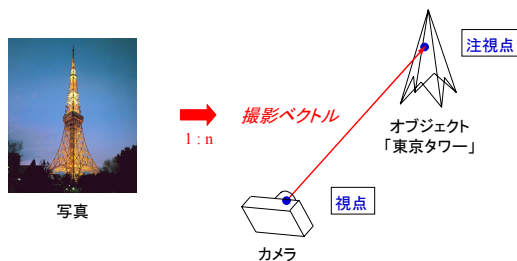


図 2. 撮影ベクトル



図 3. 空間情報付き写真の地図上へのマッピング

ユーザにとって写真と実世界との関連付けは、「あるオブジェクトを見た写真」「ある位置からあるオブジェクトを見た写真」「ある位置からある方向を見た写真」「ある位置から見た写真」というような形態で行われることが自然であり、例えば写真に対する問い合わせを行う際に、ユーザが直接 FOV を記述するというのは不自然である。そこで本研究では、写真に対するインタフェースとして撮影ベクトル（図 2）を前年度より用いてきた。撮影ベクトルは視点（カメラの位置）

と注視点（対象の位置）からなる 3 次元の線分である。

(b) に関して、1 枚の写真データを、複数の手法で地図上にマッピングした例が図 3 である。視点によるマッピングが、現状のアプリケーションで多く用いられている手法であるが、ユーザにとって写真の撮影対象と地図とを結びつけることは困難である。本研究で用いる撮影ベクトルは、その写真がどこからどこを撮影したものなのかを直感的に示している。

3. 空間的な検索手法

空間情報付き写真に対して、撮影ベクトルとしてなされるユーザからの写真の問い合わせとして、以下を想定した。

- (1) ユーザが視点を指定する検索（その点から見た写真）
- (2) ユーザが注視点を指定する検索（その点を見る写真）

このうち、(1) の視点を指定する検索に関しては、写真のメタデータである視点に関する検索であり、点データに対する点での問い合わせとしてとらえることができるため、検索の高速化のための空間索引を含めて、その手法は確立されている[5]。本研究が取り組んだのは (2) のユーザが注視点を指定する検索である。「この点を見る写真」という問い合わせであり、写真に対するユーザの問い合わせとして自然な形態である[1]。ここで問題となるのは、

- ・ 注視点は写真のメタデータに含まれないという点である。点データに対する点での問い合わせととらえることはできず、従来手法を利用することができない。そこで、新たな検索手法を検討した。詳細は次節以降に述べるが、
- ・ 半直線に対する点での問い合わせという問題としてとらえた。なお、注視点を写真の空間データとして付与しない理由として次の点が挙げられる

- (a) 注視点の位置を正確に取得するセンサが一般的なカメラに搭載されるということは想定し難い。
 - (b) 1 枚の写真の注視点は 1 点に決定付けられない。
- (a) に関して、カメラの内部パラメータであるフォーカスの値は、ピントが合っている点までの距離を表すが、精度が低いため、注視点を算出するために用いることは非現実的である。(b) に関して、例えば図 4 に示すとおり、視点と方向が同じで注視点までの「奥行き」が異なる撮影ベクトルとしてなされる、異なる問い合わせに対して、同一の写真が検索結果となることは自然であり、1 枚の写真に一意に注視点を決定しておくことに利点はないといえる。

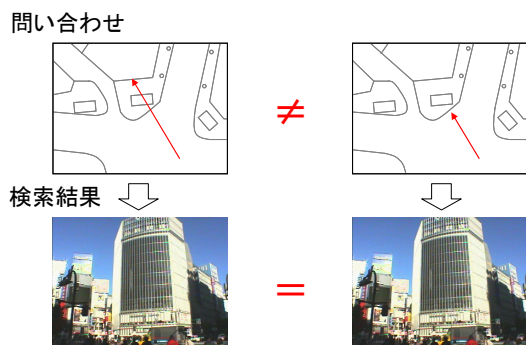


図 4. 異なる撮影ベクトルに対応する同一の写真

ここで、検索課題をまとめると次のようになる。

- ・ 2次元の地図上でユーザが指定した点の近傍（指定した半径内）を注視点とする写真群を検索する。本章では、まずカメラベクトルに関して説明し（3.1節）、空間索引の作成方法（3.2節）と、これを用いた検索手順（3.3節）をまとめる。

3.1. カメラベクトル

空間情報付き写真は、（視点、撮影方向、画角）からなる3次元のFOVとして扱われるが、ユーザが指定した点が中心に写った写真の検索を行う際に画角は利用しない。そこで、検索手順中では、空間情報付き写真を（視点、撮影方向）からなるカメラベクトルとして扱う。すなわち、

視点 $viewpoint = (x, y, z)$
 撮影方向 $viewdirection = (x, y, z)$
 画角 $viewangle = (\theta_x, \theta_y)$

とするとき、

FOV $fov = (viewpoint, viewdirection, viewangle)$

カメラベクトル $cameravector = (viewpoint, viewdirection)$

カメラベクトルとは、視点から撮影方向（視線方向）への3次元の半直線であり、視線ベクトルとも呼ばれ、CGの分野で一般的な概念である。さらに、今回の検索課題では、2次元の地図上で問い合わせが行われるため、検索手順中では、空間情報付き写真を、各要素の高さ情報を省いた2次元のカメラベクトルとして扱う。

3.2. 空間索引の作成

以降、任意の二つの幾何オブジェクトが交わるとき $true$ を返す関数 $Intersection$ を用いる。つまり、任意の幾何オブジェクト a, b が交わるとき、 $Intersection(a, b) = true$ となる。図5に示すとおり、地図平面上に正方形のセル $cell$ の集合としてメッシュ $Mesh$ を定義した。1点（視点 $viewpoint$ ）と方向（撮影方向 $viewdirection$ ）として表された各半直線がカメラベクトル $cameravector$ である。各セルにはそのセルと交わるカメラベクトルを関連付けた。すなわち、全ての $cell \in Mesh$ に対して式(1)が成立する。

$$cell.CameraVector = \{cameravector \mid Intersection(cell, cameravector) = true\} \quad (1)$$

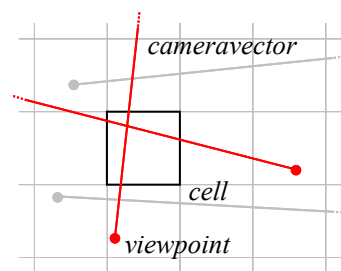


図 5. セルへの登録

3.3. 検索手順

図6(1)において、中心点 P_{query} と半径 R_{query} からなる

円 Q_{query} はユーザの問い合わせである。 Q_{query} 内に注視点

を持つ写真を検索することが目的となる。検索対象の全カメラベクトルの集合を $CameraVector_{all}$ とするとき、検索結果集合 $CameraVector_{answer}$ は、 $CameraVector_{all}$ の要素である各カメラベクトル $cameravector$ のうち、円 Q_{query} と交差するものの集合であり、式(2)で与えられる。

$$CameraVector_{answer} = \left\{ cameravector \mid \begin{array}{l} cameravector \in CameraVector_{all}, \\ Intersection(cameravector, Q_{query}) = true \end{array} \right\} \quad (2)$$

しかし、全てのカメラベクトルに対して円 Q_{query} との交差判定を行うことは非効率的である。そこで、3.2節で定義した空間索引を用い、以下の検索手続きを実行する。

（手続き1）円 Q_{query} と交差するセルの集合 $Cell_{intersection}$ を生成する。

$$Cell_{intersection} = \{cell \mid cell \in Mesh, Intersection(cell, Q_{query}) = true\} \quad (3)$$

（手続き2） $Cell_{intersection}$ に含まれる全てのセルに関連付けられたカメラベクトルの集合 $CameraVector_{intersection}$ を生成する。

$$CameraVector_{intersection} = \left\{ cameravector \mid \begin{array}{l} cameravector \in cell.CameraVector, \\ cell \in Cell_{intersection} \end{array} \right\} \quad (4)$$

（手続き3） $CameraVector_{intersection}$ の要素である各カメラベクトルのうち、円 Q_{query} と交差するカメラベクトル

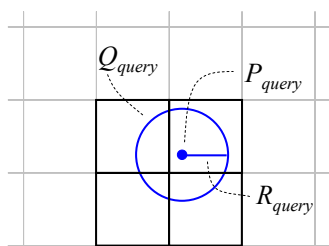
ルの集合 $CameraVector_{answer}$ を生成し、検索結果とする。

$$CameraVector_{answer} = \left\{ cameravector \mid \begin{array}{l} cameravector \in CameraVector_{intersection}, \\ Intersection(cameravector, Q_{query}) = true \end{array} \right\} \quad (5)$$

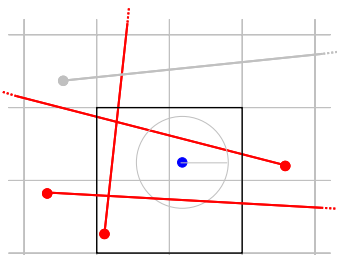
(手続き 4) カメラベクトル上で、問い合わせ点 P_{query} と

の距離が最短となる点をそのカメラベクトルが代表する写真の注視点とし、検索結果を（視点 $viewpoint$ ，注視点 $observingpoint$ ）からなる撮影ベクトル $photovector$ として地図上にマッピングする。

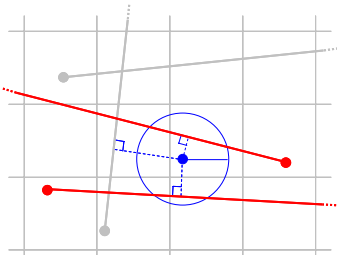
$$photovector = (viewpoint, observingpoint) \quad (6)$$



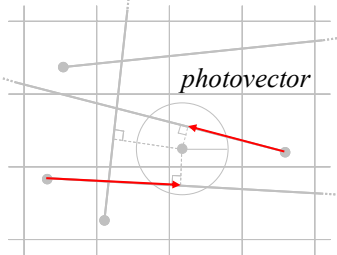
(1) 問い合わせ円と交差するセル集合



(2) セル集合に含まれるカメラベクトル集合



(3) 問い合わせ円と交差するカメラベクトル集合



(4) 撮影ベクトル集合

図 6. カメラベクトルの検索

4. 空間情報付き写真の空間的な密度の視覚化

写真を撮影する行為はその場所に対する関心の現れと捉えられる場合が多く、各場所がどれほど多くの写真に写されているのかを視覚化することは、その空間に対する関心を分析する際に有意義である。そこで本章では、不特定多数のユーザにより生成された空間情報付き写真群に関して、その空間的な密度を地図上で視覚化する。どこから撮影した写真が多いのかということではなく、どこを撮影した写真が多いのかということを視覚化することが本手法の特徴である。

4.1. メッシュを利用した視覚化

3章で定義した空間索引を構成する各セルを横切るカメラベクトルの集合 $cell.CameraVector$ の要素数を n とすると、 n はそのセル内の空間が中心付近に写る写真の枚数に対応している。そこで、空間情報付き写真のデータベースに関して、3章で定義した空間索引を生成し、 $n=0$ のセルを白色とし、 n が最大のセルを最も濃い赤色として、 n の値に応じて各セルの色を段階的に変化させることで、セルの色の濃淡として各セル内を写した写真の密度が地図上に視覚化できる。渋谷駅ハチ公口付近でテストデータとして取得した 300 枚の写真に対して本手法を適用した結果が図 8 である。

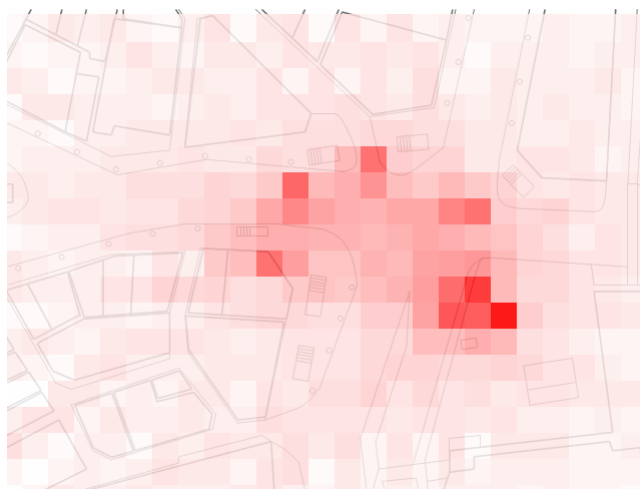


図 8. 写真の密度の視覚化

5. 空間メタデータ補正ツール

現時点では、カメラ付き携帯電話やデジタルカメラに搭載されている GPS の精度は低いため、不特定多数のユーザが撮影した空間情報付き写真を扱う際に、位置や方向等といったメタデータの精度が低いことが問題となる。そこで、これらの値の補正する手法を検討する。カメラの運動のキャリブレーションに関しては、Computer Vision の分野で研究されてきた。最も一般的である、多視点画像を用いる手法は、次の手順で行われる。

- (1) 多視点画像間の対応点の取得
 - (2) 対応点情報を利用したカメラの運動の計算
- うち(2)はほぼ確立されているが、(1)の多視点画像間の対応点の取得を自動化することは、実験室的環境でない限り困難である[6].そこで本章では、ユーザが地図上と写真上で対応する数点を入力するという簡単な操作で、視点と撮影方向を算出する手法を提案する.この手法により、GPS等の空間センサを搭載していないデジタルカメラで撮影した写真に対して空間メタデータを付与することができる.本研究では、この手法をキャリブレーションのツールとして実装し、実際に空間情報付き写真の生成に利用している.

5.1. ユーザの入力を利用した視点と撮影方向の算出

図9に示すとおり、撮影位置と撮影方向の算出のために、ユーザは基準点として、地図上の3点と、それらに対応する写真上の3方向を指定する.つまり、地図上で3ヶ所、写真上で3ヶ所それぞれクリックする.これを用いてその写真の視点と撮影方向が算出される.なお、基準点としては、例えばビルの角や信号機など、地図上で点として指定できるものが適している.

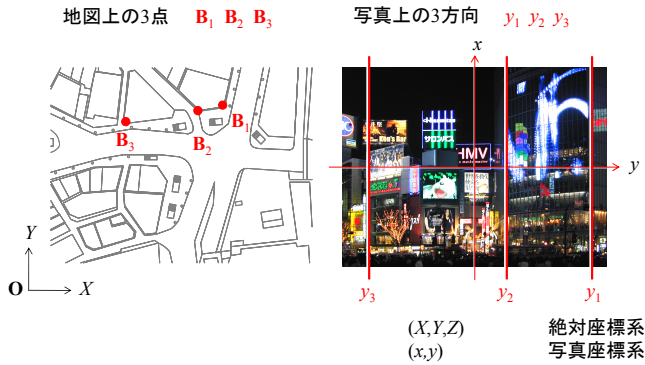


図9. 補正のためのユーザの入力

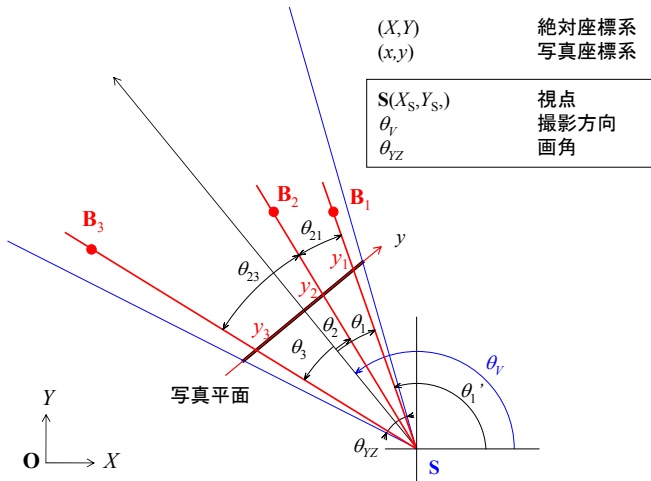


図10. 基準点と視点, 撮影方向の関係

以降に図10を用いて具体的な手順を説明する.本図は図1で定義した絶対座標系 XY 平面上の図であり、図上の写真平面は、写真座標系 y 軸の XY 平面上への射影である. 目的は以下の値の算出である.

視点 $S(X_s, Y_s)$

撮影方向 θ_v

以下の値は既知とする.

写真座標系上での画像サイズ w

画角 θ_{vz}

さらに、ユーザの入力により以下の値も既知となる.

任意の基準点3点の絶対座標

$$\mathbf{B}_1(X_1, Y_1), \mathbf{B}_2(X_2, Y_2), \mathbf{B}_3(X_3, Y_3)$$

基準点の写真座標上の y 座標 y_1, y_2, y_3

まず視線方向から基準点 $\mathbf{B}_i(i=1,2,3)$ への角度 θ_i は、次式から y_i を用いて表現できる.

$$\frac{\frac{w}{2}}{\tan \frac{\theta_{vz}}{2}} = \frac{y_i}{\tan \theta_i} \quad (i=1,2,3) \quad (7)$$

視点から見た基準点 $\mathbf{B}_1\mathbf{B}_2$ 間の角度 θ_{21} と $\mathbf{B}_2\mathbf{B}_3$ 間の角度 θ_{32} は θ_i を用いて、次のように表される.

$$\theta_{21} = \theta_1 - \theta_2 \quad (8)$$

$$\theta_{32} = \theta_2 - \theta_3 \quad (9)$$

次に、三角形 $\mathbf{SB}_1\mathbf{B}_2$ と $\mathbf{SB}_2\mathbf{B}_3$ に着目すると次式が成立し、これらの式から $S(X, Y)$ が定まる.

$$\mathbf{SB}_1 \cdot \mathbf{SB}_2 = |\mathbf{SB}_1| |\mathbf{SB}_2| \cos \theta_{21} \quad (10)$$

$$\mathbf{SB}_2 \cdot \mathbf{SB}_3 = |\mathbf{SB}_2| |\mathbf{SB}_3| \cos \theta_{32} \quad (11)$$

次に、 \mathbf{SB}_1 が絶対座標系 X 軸方向となす角を θ_1' として、撮影方向 θ_v は次のように求まる.

$$\theta_1' = \arctan\left(\frac{Y_1 - Y_s}{X_1 - X_s}\right) \quad (10)$$

$$\theta_v = \theta_1' + \theta_1 \quad (11)$$

6. プロトタイプシステム

本論文で提案した手法の有効性を検討するため、プロトタイプシステム(図11)を実装した.空間センサを搭載していない一般的なデジタルカメラを用いて、渋谷駅ハチ公口交差点付近で実際に300枚の写真を撮影し、5章で提案したキャリブレーションツールを用いて空間メタデータを付与することで空間情報付き写真のデータベースを生成し、これをテストデータとして用いた.本システムは、まず指定された空間情報付き写真群に対する空間索引ファイルを生成し、これを利用する.システムの動作は次の通りである.ユーザが地図上をクリックすると、その点付近を中心に写した写真群が全て検索される.検索結果として、サムネ

イルの一覧が表示され、地図上には対応する撮影ベクトル群が表示される。この時点でサムネイルか撮影ベクトルにオンマウスして選択することで特定の写真が選択される。ここで、クリックした点からどの程度の範囲を中心に見る写真を検索結果とするのかは、マウスカーソルを中心とした円として表される。この円の内部を中心に見る写真が検索されるが、円の半径を変更することで、検索範囲の広さを操作できる。加えて、空間索引を利用した写真の密度の視覚化も可能である。

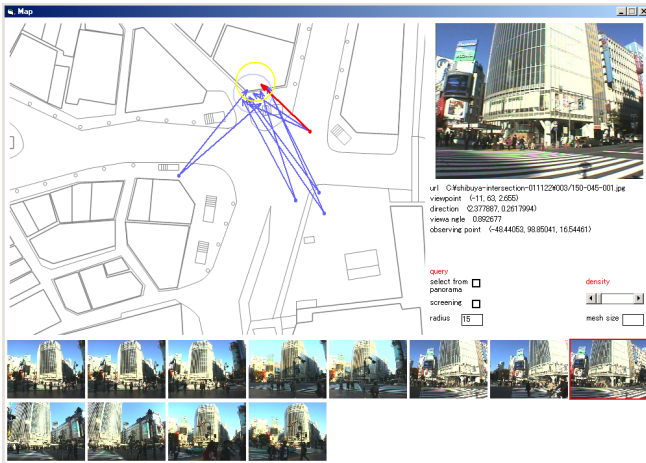


図 11. プロトタイプシステム

7. 結論と今後の課題

本論文では、視点、撮影方向、画角を空間メタデータとして持つ空間情報付き写真が、不特定多数のユーザによって生成され、流通するようになることを前提として、その空間的な検索インタフェースを検討し、プロトタイプシステムを実装した。さらに、空間情報付き写真群の空間的な密度を地図上で視覚化することを試みた。また、空間センサを搭載していないカメラで撮影した空間メタデータを持たない写真に関して、ユーザの簡単な入力により視点、撮影方向を算出する手法を提案し、キャリブレーションのツールとして実装した。以降に今後の課題をまとめる。

(1) 写真の空間的な検索の高速化に関して

現時点では、単純なメッシュを索引として用いて検索を実現しているが、少なくとも、セルのサイズの最適化を行う必要がある。また、カメラベクトル検索の問題は、半直線の検索という問題に一般化されるが、これに対する最適な空間木の研究も必要である。

(2) 地図の縮尺と連携した写真の検索に関して

ある場所から撮影した写真ではなく、ある場所を撮影した写真を検索することが本研究の特徴であるが、どのようなスケールで撮影した写真を検索結果とするのかという問題がある。例えば、ユーザが地図上で富

士山付近を指定し、その写真を要求したとき、提案手法では、富士山の登山道に生える高山植物を写した写真と、富士山全景を写した写真とが等価に検索される。例えば、ここでユーザがどちらかの写真を選択し、その写真付近で他にもっと写真がないか検索する際、高山植物と富士山全景では、その写真「付近」に対応する空間的な範囲が全く異なるという問題が生じる。そこで、検索のユーザインタフェースとして用いている地図のスケールを、ユーザが要求している写真のスケールと捉え、対応する写真を検索結果とする手法を検討中である。

(3) キャリブレーションの誤差に関して

写真は周辺部ほどレンズの曲面による歪みが強くなるため、ユーザが写真上で基準点の方向を指定する提案手法では、写真周辺部に基準点があるときに、実際の方向とのずれが大きくなる。これを改善するために次のいくつかの方法が考えられる。

- (a) 写真の撮影時に、キャリブレーション用に同じ位置から撮影方向のみ変えて写真を3枚（3点の基準点に対応）撮影する。その際、キャリブレーション用の写真に関しては、基準点となるようなオブジェクトをできるだけ画面の中央に撮影する。
- (b) 写真の撮影時に、キャリブレーション用に同じ位置からパノラマ写真を同時に撮影する。

本論文のテストデータ作成時は、(a)を用いたが、今後は、(b)に対応できるカメラを用いて、この手法に関してさらに検討を加える予定である。また、そもそもキャリブレーションの対象がパノラマ写真であれば上記のような問題も生じないため、提案ツールをパノラマ写真のキャリブレーションツールとして特化することも行う。

文 献

- [1] 藤田秀之, 有川正俊, 岡村耕二, “高精度な空間情報付き写真の3次元実空間マッピング,”電子情報通信学会論文誌(和文論文誌 A), 2004(掲載予定).
- [2] 国土交通省国土地理院 測地観測センター, “電子基準点リアルタイムデータ提供,”“Press Release,” <<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2002/0319-2.htm>>.
- [3] Digital Still Camera Image File Format Standard (Exchangeable image file format for Digital Still Cameras: Exif), JEIDA(Japan Electronic Industry Development Association), 1988.
- [4] 杉本智彦, “カシミール 3D,” <<http://www.kashmir3d.com/>>.
- [5] 伊理正夫, 腰塚武志, “計算幾何学と地理情報処理,”共立出版, 1986.
- [6] 徐剛, “写真から作る 3 次元 CG,”近代科学社, 2001.