

ジオタグ付き写真を用いたランドマークの多視点再現システム

白井 元浩[†] 廣田 雅春^{††} 横山 昌平^{†††} 福田 直樹^{†††} 石川 博^{†††}

[†] 静岡大学情報学部情報科学科 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北3-5-1

^{††} 静岡大学創造科学技術大学院 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北3-5-1

^{†††} 静岡大学情報学部情報科学科 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北3-5-1

E-mail: [†]cs08044@s.inf.shizuoka.ac.jp, ^{††}dgs11538@s.inf.shizuoka.ac.jp ,

^{†††}{yokoyama,fukuta,ishikawa}@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし 近年, Google Street View のように位置情報を付随した写真と地図を組み合わせることで街並みの様子を閲覧可能なシステムが普及している. 本研究では, ソーシャルメディアサイトに含まれる多様な場所・時間に撮影されたジオタグ付き写真を用いてランドマークを再現する技術を提案する. ランドマークの再現には写真の撮影位置や撮影方向が必要となるが, GPS によって引き起こされるこれらの値の誤差は正確なランドマーク再現の障害となる. また, ランドマークそのものが写っていない写真の排除も必要となる. 本研究では, ランドマークの再現に適切な写真を選出し, それらを三次元空間上に写真を配置することにより, ランドマークを多視点から閲覧可能となるように再現することを目指す. 適切な写真を選出するために, 写真の撮影位置と撮影方向からランドマークの位置と地図上の範囲を推定する.

キーワード ジオタグ付き写真, 位置情報

A System for Reproducing Multi-viewpoint Landmarks using Geo-tagged Photos

Motohiro SHIRAI[†], Masaharu HIROTA^{††}, Shohei YOKOYAMA^{†††}, Naoki FUKUTA^{†††}, and

Hiroshi ISHIKAWA^{†††}

[†] Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011 Japan

^{††} Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011 Japan

^{†††} Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011 Japan

E-mail: [†]cs08044@s.inf.shizuoka.ac.jp, ^{††}dgs11538@s.inf.shizuoka.ac.jp ,

^{†††}{yokoyama,fukuta,ishikawa}@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a system to reproduce multi-viewpoint landmarks using photos that are taken at various location and time in social media sites. It is difficult to reproduce landmarks using those photos' metadata, since GPS measurement error influences on photo location and orientation. Additionally, we need to obtain landmarks photos, to exist irrelevant photos to reproduce landmarks. Therefore, to reproduce multi-viewpoint landmarks, we choose relevant photo and assign the landmarks photos to 3D spaces based on those metadata. In order to choose relevant photo, we estimate the location and range of the landmark from photo location and orientation.

Key words photograph with geo-tag, location information

1. はじめに

Google Street View [1] や Streetside [2] のように位置情報を

付随した写真と地図を組み合わせることで街並みの様子を閲覧可能なシステムが普及している. これらのシステムでは, 地図の閲覧に加えて街並みの詳細な様子を知らることができる [3]. しかし,

これらのシステムは GPS ユニットと全方向撮影用のカメラを搭載した車両を用いて写真を撮影しているため、車が侵入できない地域など、写真の入手が困難な地域が存在する。また、時間の変化に伴う街並みの変化の様子を閲覧することは困難である。ある建物について、あるシステムでその建物を閲覧しようとした場合、そのシステムの写真では建物が写っているが、実際にはその建物が取り壊されている場合がある。このような場合、その建物が写っていない写真が表示されるべきである。一方、過去の街並みを閲覧したい場合、取り壊された建物が写っている写真が表示されるべきである。本研究では、これらの課題に対して Web 上に存在する写真を用いる。Web 上の写真は多様な時間に撮影された写真が存在するため、それらの写真を用いる事で、様々な時間に撮影された写真を 3D 空間に配置することで、街並みを再現する。

Flickr [4] などのソーシャルメディアサイトには多様な状況で撮影された写真が存在する。これらの写真は撮影時刻や撮影地点なども非常に多様であり、それらの情報がメタデータとして写真に付与されている。これらの写真の多くには、GPS などによる緯度経度情報がジオタグとして写真に付与されている。付与されたメタデータにより、写真の詳細な撮影状況を理解することが可能である。本研究では、これらの写真をメタデータに基づいて、3D 空間上に配置することで、街並みを再現することを目指す。

本研究では、Web 上に存在する多地点から撮影されたジオタグ付き写真を 3D 空間上に配置することで、多視点からランドマークを閲覧可能になるように再現するシステムの構築を目指す。3D 空間上に写真を配置するために、写真に付与されているメタデータの中から撮影位置と撮影方向を利用する。しかし、GPS による緯度経度の値には誤差が含まれており、正確にランドマークを再現するように写真を配置する際にこれらの誤差の影響を受ける可能性がある。また、写真に付与されている撮影位置が正確な場合でも、再現したいランドマークに向かって撮影していない写真も含まれている。そのため、再現したいランドマークと撮影地点を比較した際に、撮影方向が大きくずれているような写真を前もって取り除く必要がある。

また、写真の中にはランドマークそのものが撮影されていないものも存在する。「東京タワー」というクエリで検索し、取得した写真には東京タワーそのものを撮影した写真以外にも「東京タワーの内部から外の景色を撮影した写真」や「東京タワーの近くにある建物を撮影した写真」などが含まれている。これらの写真はランドマークの再現に不適切な写真であり、あらかじめ排除する必要がある。

本論文では、写真の撮影位置と撮影方向に基づいてランドマークの再現に適切な写真を選出し、それらの情報に基づいて三次元空間上に写真を配置することにより、ランドマークを多視点から閲覧可能とするようなシステムの構築を目指す。

2. 関連研究

Web 上の画像とストリートビューの画像を組み合わせた研究として、Kroepfl らの研究 [5] がある。Kroepfl らは Streetside

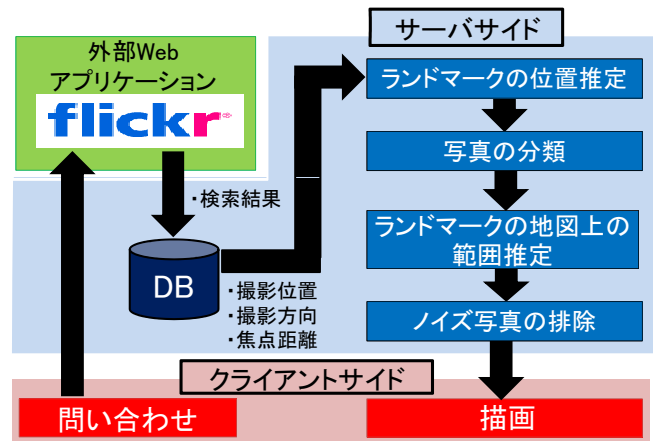


図1 システム構成図

のパノラマ画像と Flickr 上の同じ地点を撮影した画像を合成するシステムを提案した。このシステムでは、画像の撮影位置を用いてパノラマ画像と合成する候補となる画像を選別し、Streetside のパノラマ画像と Flickr の画像の画像特徴量を算出し、それらを合成する。このシステムでは、ある地点における時間経過に伴う風景の変化が閲覧可能となる。また、青木ら [6] は Google street view のパノラマ画像と twitvideo [7] 上の同じ地点で撮影された動画を組み合わせるシステムを提案した。しかし、どちらのシステムも Google street view などの従来のシステムに含まれているパノラマ画像を利用しているため、従来システムと同様に写真の入手が困難な地域に対処することが困難である。本研究では、Web 上の写真のみを用いてランドマークを閲覧可能にすることを目指す。また、候補となる画像の選別だけでなく、多視点のランドマークを再現するために、画像の配置などにおいても位置情報を用いる。

Web 上の画像から 3D 空間を構築する技術として、Agarwal らの研究 [8] がある。Agarwal らは、Flickr の写真から、ローマの街並みを 3D 空間に復元するシステムを提案した。このシステムでは、SIFT [9] の類似度に基づいてそれぞれの画像を分類する。Structure from motion を使って、分類された画像から 3 次元形状を復元する。本研究とは、写真に基づいて建物の詳細な形状を 3D 空間に復元するのではなく、複数の写真そのものを地図上に配置することでランドマークを再現するため、このような画像特徴量の抽出を必要としない点で異なる。

3. 提案システム

本研究では、ジオタグ付き写真を用いて、ランドマークの再現を試みる。ジオタグ情報のうち、写真の緯度経度情報 (GPS-LatitudeRef, GPSPLatitude, GPSPLongitudeRef, GPSPLongitude), 撮影方向情報 (GPSPImageDirectionRef, GPSPImageDirection) を使用する。撮影方向の基準とは、方向の数値を算出する際の基準であり、真北と磁北が存在する。磁北と真北はほとんどの地域でずれており、このずれを磁気偏角と呼ぶ。日本中心部では真北に対して磁北が約 7 度西側にずれている。真北と磁北の差を解消するため、あらかじめ撮影方向の基準を真北に

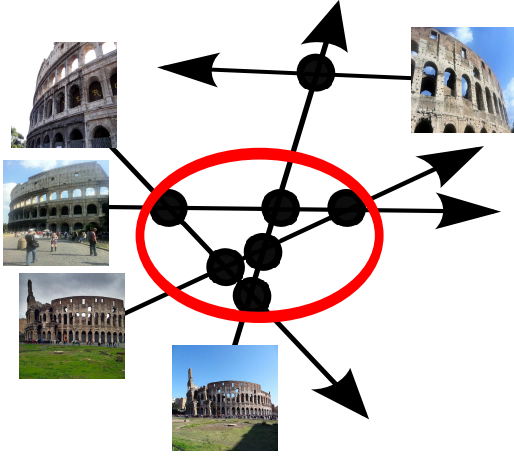


図2 ランドマークの写真とその法線ベクトルの例

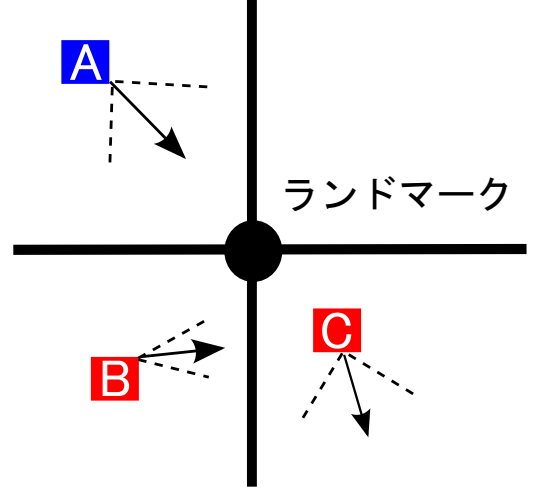


図3 写真の画角を用いた内向き写真と外向き写真の判定

統一する。

現在、検討しているシステムを図1に示す。本システムはサーバサイドとクライアントサーバで構成されている。

3.1 サーバサイド

サーバサイドでは、写真のジオタグ情報の管理とランドマーク再現に不適切な写真の除去を行う。不適切な写真の除去のために、ランドマークの位置推定と撮影方向に基づいた写真の分類、ランドマークの範囲推定を行う。

3.1.1 ジオタグ情報の管理

ランドマークの再現に用いる写真とそのメタデータを保存するデータベースを作成する。Flickr API を用いて特定のランドマークに関する写真と付与されたメタデータを Flickr から取得する。Flickr から取得された写真と必要なメタデータ (GPSLatitudeRef, GPSLatitude, GPSLongitudeRef, GPSLongitude, GPSImgDirectionRef, GPSImgDirection) をデータベースに格納する。このとき、撮影方向の基準が磁北の写真が含まれていれば、その写真の撮影方向の値に磁気偏角の値を加えてデータベースに格納する。各地域の磁気偏角の値は NOAA の National Geophysical Data Center [10] のデータを用いる。

3.1.2 ランドマークの位置推定

ジオタグ情報取得後、写真の撮影位置と撮影方向から、再現したいランドマークの位置を推定する。まず、写真に対する法線ベクトルを求める。撮影位置を法線ベクトルが通過する点、撮影方向を法線ベクトルの傾きとして求める。写真の法線ベクトルを求めた後、すべての法線ベクトルの交点を求める。このとき、ある範囲において交点の密度が最も高い地域の付近にランドマークが存在すると考えられる (図2)。密度が高い地域を抽出するために、DBSCAN [11] を用いる。DBSCAN とは対象の密度と接続関係に基づいたクラスタリング手法である。DBSCAN を用いることで密集地帯に存在する交点をクラスタとして抽出できる。また、交点が密集している地域を決定すると、それ以外の地域はランドマークの位置推定に必要なノイズとして扱うことができる。クラスタの半径 Eps とクラスタに属するデータの最小個数 $MinP$ が与えられたとき、点 p, q

間で以下の接続関係を定義する。

$$q \in N_{Eps}(p) \quad (1)$$

$$|N_{Eps}(p)| \geq MinP \quad (2)$$

ただし、 $N_{Eps}(p) = \{q \in V | D(p, q) \leq Eps\}$ である。この関係で到達できる対象の集合で極大のものをクラスタとして抽出する。2点間の距離 $D(p, q)$ は測地線長計算公式で求める。これは、地球のような回転楕円体上の2地点間の最短距離 (測地線長) を計算する公式であり、 p 点 (p_x, p_y) と q 点 (q_x, q_y) の測地緯度・経度から測地線長 ρ を求める。はじめに、 p 点の測地緯度と地球赤道半径 ER 、地球極半径 PR から p 点の化成緯度 ϕ_p を求める。

$$\phi_p = \tan^{-1}\left(\frac{ER}{PR} \times \tan x_p\right) \quad (3)$$

同様に q 点の化成緯度 ϕ_q を求める。次に、求めた化成緯度から球面上の距離 X を求める。

$$X = \cos^{-1}[\sin\phi_A \sin\phi_B + \cos\phi_A \cos\phi_B \cos(ER - PR)] \quad (4)$$

(4) で求めた X には誤差が存在する。そのため、Lambert-Andoyer Correction ($\Delta\rho$) により、 X の誤差を求める。

$$\Delta\rho = F \div 8 \left(\frac{(\sin X - X) \times (\sin\phi_A + \sin\phi_B)^2}{\cos^2(\frac{X}{2})} - \frac{(\sin X + X) \times (\sin\phi_A - \sin\phi_B)^2}{\sin^2(\frac{X}{2})} \right) \quad (5)$$

ただし、 $F = (ER - PR) \div ER$ である。最後に測地線長 ρ を求める。

$$\rho = ER \times (X + \Delta\rho) \quad (6)$$

抽出したクラスタのうち、最も点の数が多いクラスタが最も密度が高い地域と推定される。 Eps は実験により適切な値を設定する。

最大のクラスタの各交点の個数を n 、最大のクラスタに含まれる各交点の緯度・経度を (x, y) としてランドマークの位置 (ave_x, ave_y) を求める。

$$(ave_x, ave_y) = \left(\frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=0}^n y_i}{n} \right) \quad (7)$$

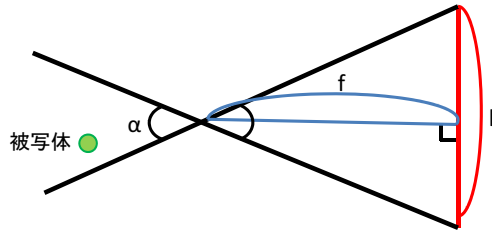


図 4 画角の算出方法

3.1.3 画角の算出

推定されたランドマークの位置と写真の撮影位置と撮影方向から、再現したいランドマークに向かって撮影されている写真とそうでない写真と区別する。

写真がランドマークの方向に撮影されているかを推定するために、写真の画角を求める必要がある。画角とは、カメラで撮影された写真に写される光景の範囲を角度で表したものである。ある写真の画角の範囲内にランドマークが存在すれば、ランドマークの方向に向かって撮影されている可能性が高いと考えられる。図 3 の A のように画角の範囲内にランドマークが存在する写真をランドマークの方向に向かって撮影されている内向き写真とし、B や C のように画角の範囲外にランドマークが存在する写真をランドマークとは別の方向に向かって撮影されている外向き写真とする。画角は写真の焦点距離から求めることができる。焦点距離は、写真に付与されている Exif の Focal length を用いる。図 4 に写真の焦点距離の算出方法を示す。図 4 において、写真の焦点距離を f 、撮像素子のサイズを l とし、画角 α を求める。

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{l}{2f} \right) \quad (8)$$

画角 α と撮影方向 β より、写真の撮影範囲 θ を求める。

$$\beta - \frac{\alpha}{2} < \theta < \beta + \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

また、推定されたランドマークの座標を $(0, 0)$ 、写真の撮影位置を (x, y) としたときの写真とランドマークを結ぶ直線の角度 γ を求める。

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{x}{y} \quad (10)$$

γ が式 (10) の θ の条件を満たせば、写真の撮影範囲内にランドマークが存在し、ランドマークの方向に向かって撮影されていると推定されるので、内向き写真とする。条件を満たさなかった写真は外向き写真とする。

3.1.4 ランドマークの地図上の範囲推定

ランドマークの中には、コロッセオのようにランドマークが大きく、地図上の範囲が大きいランドマークも存在する。これらの範囲が大きいランドマークの中には、ランドマークの内側から、ランドマークの建物の中を撮影する写真も存在する。このようなランドマークの範囲を内向き写真と外向き写真の割合を用いて推定する。

図 5 に、コロッセオを内側から撮影した写真の撮影方向と、

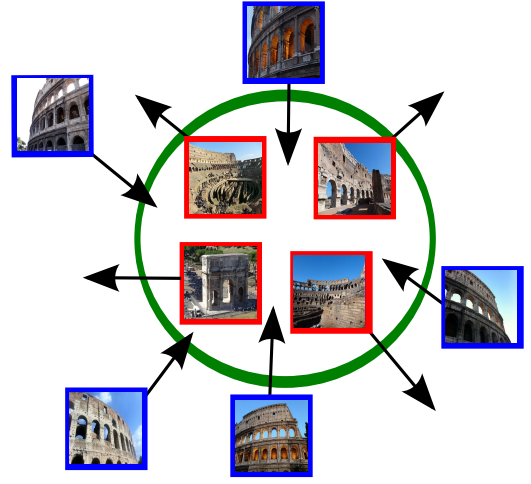


図 5 ランドマークの地図上の範囲推定

外側から撮影した写真の撮影方向の例を示す。緑色の円はランドマークの境界を指しており、円の内側をランドマークの内側、円の外側をランドマークの外側とする。ランドマークの内側から撮影された写真 (赤枠の写真) とランドマークの外側から撮影された写真 (青枠の写真) では撮影方向の特徴が異なる。ランドマークの内側から撮影された写真は、外側に向けて撮影されるため、ランドマークの中心から様々な方向に撮影された写真が存在する。そのため、外向き写真の割合が高くなると考えられる。一方、ランドマークの外側から撮影された写真は、ランドマークに向かって撮影されている。そのため、内向き写真の割合が高くなると考えられる。以上より、中心に近い範囲では外向き写真の割合が高く、ある一定の範囲を超えると内向き写真の割合が高くなると考えられる。外向き写真と内向き写真の比率が逆転する境界をランドマークの境界とし、境界より内側をランドマークの内側、外側をランドマークの外側と判定する。

はじめに、写真の撮影位置と推定したランドマークの位置の距離を求める。次に、推定したランドマークの位置からある一定の距離に存在する内向き写真と外向き写真の枚数をそれぞれ数える。このとき、内向き写真の枚数が外向き写真の枚数以上になる範囲を求める。求めた範囲がランドマークの境界であり、境界よりランドマークの内側で撮影された写真がランドマークの内側で撮影された写真、境界より外で撮影された写真がランドマークの外側で撮影された写真と推定される。

3.1.5 ノイズ写真の除去

求めたランドマークの範囲と撮影方向による内向き写真・外向き写真の判定から、ランドマーク再現に不適切なノイズ写真の除去を行う。

ランドマークの内側で撮影された写真は、撮影方向に関わらず、ランドマークの内側が撮影されていると考えられる。一方、ランドマークの外側で撮影された写真は、ランドマークの方向に向かって撮影された写真のみランドマークの外側が撮影されていると考えられる。よって、ランドマークの内側で撮影されたすべての写真とランドマークの外側で撮影された内向き写真をランドマーク再現にふさわしい写真とし、ランドマークの外側で撮影された外向き写真をノイズ写真として除去する。

表 1 各クエリにおけるジオタグ付き写真の割合

クエリ	総数	ジオタグ付き	撮影方向付き
Colosseum	185940	37568	166
Tokyo tower	139844	24124	68
Statue of Liberty	220234	40142	156

ランドマーク再現にふさわしいと判断した写真の撮影位置情報と撮影方向情報をクライアントサイドに送信する。

3.2 クライアントサイド

クライアントサイドでは、受信データに基づいて写真を 3D 空間に配置する。加えて、ユーザが視点を自由に動かすことができる機能を実装する。はじめに、再現の対象となるランドマークとユーザが閲覧したい位置を表す 2 つの座標をあらかじめ入力しておく。次に、2 座標間の直線上に写真を描画する。このとき、撮影された場所がランドマークに近い順に写真を配置し、写真の撮影方向に基づいた角度をつけて 3D 空間上に描画する。視点が動いた場合は、視点の位置を考慮して写真を再描画する。

視点の動かし方として、キーボードにより 3D 空間を移動可能にするほか、距離を入力するボックスを用意し、距離を指定して移動可能にする。加えて、ランドマークの方向に向きながら外周を自動で一周する機能を搭載する。

4. 実 験

4.1 目的および条件

Flickr から取得した写真に含まれる撮影位置と撮影方向付きの写真を用いて、ランドマークの位置推定と範囲推定を行い、それらの誤差を調査する。加えて、写真の分類結果についても調査する。また、提案システムでの写真の配置を示す。

本実験では、Flickr から検索クエリ "Colosseum" で取得した撮影位置・撮影方向付きの写真 166 枚と "Tokyo tower" で取得した写真 68 枚、"Statue of Liberty" で取得した写真 156 枚を用いた。画角を求める際、撮像素子のサイズはカメラによって差異がある。今回は付与されているメタデータのうち、Exif に含まれるデータの中から FocalLengthIn35mmFilm を優先的に用いる。また、FocalLength のみ付与されている写真は、その写真を撮影したカメラの撮像素子を 35mm フィルムと仮定する。

4.2 撮影方向付き写真の割合

取得された写真のうち、ジオタグ付き写真の割合と撮影方向付きの写真の割合を調べる。結果を表 1 に示す。表 1 から、特に撮影方向付きの写真の割合が少ないことが分かる。これは、スマートフォン等の撮影方向付きの写真が撮影可能な機器の普及により、今後その枚数は増加していくと考えられる。

4.3 ランドマークの座標推定

検索クエリ "Colosseum", "Tokyo tower", "Statue of Liberty" で取得した撮影位置・撮影方向付きの写真を用いて推定したランドマークの座標と正解の座標との差を調べる。加えて、DBSCAN における地図上で半径 Eps の値を 0.1m, 0.5m, 1m, 5m, 10m となるように変化させ、それぞれの場合における誤差

表 2 "Colosseum" の座標の推定結果 (正解座標:41.89027, 12.49222)

半径	推定座標	正解座標と推定座標の誤差
0.1m	(41.890305,12.492302)	7.29m
0.5m	(41.890304,12.492302)	7.29m
1m	(41.890303,12.492303)	7.32m
5m	(41.890394,12.491860)	32.89m
10m	(41.88999, 12.49223)	25.83m

表 3 "Tokyo tower" の座標の推定結果

(正解座標:35.658611, 139.745556)

半径	推定座標	正解座標と推定座標の誤差
0.1m	(35.658638,139.74538)	6.86m
0.5m	(35.658638,139.745380)	6.86m
1m	(35.658638,139.745380)	6.86m
5m	(35.658660,139.745408)	6.69m
10m	(35.658681,139.745480)	8.61m

表 4 "Statue of Liberty" の座標の推定結果

(正解座標:40.689167, -74.044444)

半径	推定座標	正解座標と推定座標の誤差
0.1m	(0,-73.989309)	4515208.50m
0.5m	(0,-73.989309)	4515208.50m
1m	(0,-73.989309)	4515208.50m
5m	(40.687033,-74.042648)	281.64m
10m	(40.72077,-74.03288)	3648.54m

の値を調べ、適切な Eps の値を決定する。ランドマークの位置は Wikipedia で緯度経度の値を取得した。また、実験により手動で DBSCAN におけるクラスタの最小数 $MinP = 20$ と設定した。検索クエリ "Colosseum" でのランドマークの座標の推定結果を表 2, "Tokyo tower" での推定結果を表 3, "Statue of Liberty" での推定結果を表 4 に示す。表 2, および表 3 から、コロッセオと東京タワーでの誤差は $Eps=0.1m$ のとき 7m 程度であり、ランドマークの座標は十分な精度で推定できていると考えられる。一方、表 4 から、自由の女神での誤差は $Eps=5m$ のとき 280m 程度であり、推定精度が低いことが分かる。この原因として、GPS の誤差により、撮影方向の値が大きすぎた写真が多数存在したためであると考えられる。また、自由の女神は、周りの海を航行する観光船や対岸から撮影された写真が多数存在する。そのため、撮影位置に偏りが生じ、誤差が大きくなったと考えられる。そのほか、自由の女神以外のものが撮影された写真も多数存在することも推定精度が低い原因として挙げられる。推定精度が低い場合、現段階では、自由の女神の再現は困難である。

また、表 2 からコロッセオは $Eps=0.1m$, および $Eps=0.5m$ のとき、東京タワーは表 3 から $Eps=5m$ のときが最も誤差が小さい。コロッセオは $Eps=5m$ のとき 32.89m の誤差があるが、東京タワーは $Eps=0.1m$ のとき 6.86m の誤差がある。よって、 $Eps=0.1m$ のとき、どちらのクエリでも誤差が小さいので、DBSCAN のパラメータとして設定する。

4.4 ランドマークの範囲推定

ランドマークの座標の推定ができた検索クエリ "Colosseum"

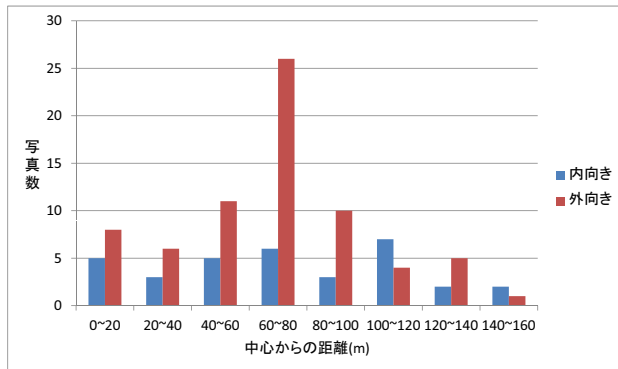


図 6 各範囲における”Colosseum”の内向き/外向き写真の枚数

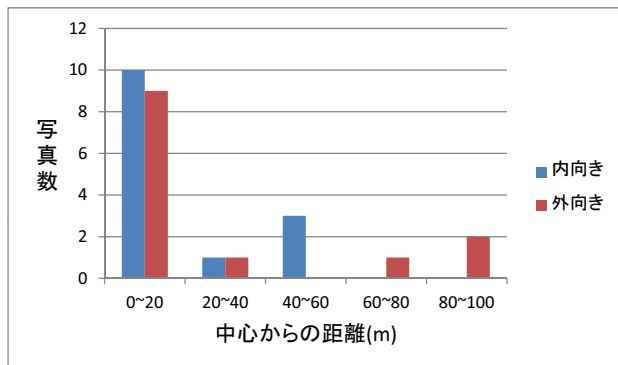


図 7 各範囲における”Tokyo tower”の内向き/外向き写真の枚数

と”Tokyo tower”の写真に対して、それぞれの推定された座標から一定の半径の範囲で内向き・外向き写真を判定し、それらの割合から、ランドマークの範囲を推定する。どちらのクエリも半径 20m ずつ範囲を広げて調べる。”Colosseum”に関する結果を図 6, ”Tokyo tower”に関する結果を図 7 に示す。図 6 から、コロッセオは 0m~100m の範囲では内向き写真より外向き写真の枚数が多い。この範囲において、様々な方向に向かって撮影された写真が多数存在するため、0~100m の範囲はコロッセオの内側であることが推定される。一方、100m~120m の範囲では外向き写真より内向き写真の枚数が多い。この範囲において、ランドマークに向かって撮影された写真が多数存在するため、100m 以降はコロッセオの外側であることが推定される。よって、コロッセオの範囲は半径 100m(直径 200m)であることが推定される。実際のコロッセオは長径 188m, 短径 156m であり、およそそのコロッセオの範囲の推定は可能だと考えられる。また、120m~140m の範囲で外向き写真が内向き写真の枚数を上回っているが、これは、GPS の誤差のほか、コロッセオの近くにあるコンスタンティヌスの凱旋門を撮影した写真に”Colosseum”といったタグが付けられていたため、取得されたと考えられる。このように、近距離にランドマークとなりうる場所が複数存在した場合の対処が必要であると考えられる。

図 7 において、東京タワーに関する写真は 0m~20m の範囲で内向き写真が外向き写真の枚数を上回っている。東京タワーの範囲はほぼ 0m とされ、東京タワーは面積の狭い建物であるといえる。実際の東京タワーもコロッセオとは異なり面積が狭



(a) ランドマークの範囲内



(b) ランドマークの範囲外

図 8 内向き・外向き写真の判定例

い建物であるので、範囲の推定は可能だと考えられる。また、他の範囲と比較して、0m~20m の範囲での内向き写真・外向き写真の枚数が多い。外向き写真が多い理由として、東京タワーの展望台から周りの風景を撮影した写真が多いことが挙げられる。一方、内向き写真が多い理由として、東京タワーはコロッセオのように面積の広いランドマークではない点が挙げられる。面積が小さいため、東京タワーの近くから多くの写真が撮影されている。そのため、内向き写真の枚数が多くなったと考えられる。

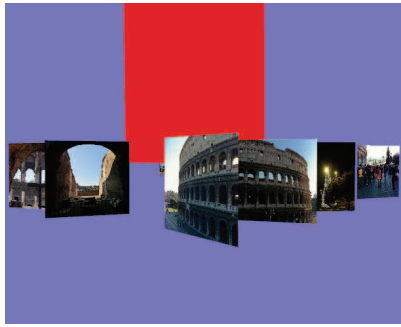
4.5 内向き写真・外向き写真と判定された写真の例

クエリ”Colosseum”に関して、内向き・外向きと判定されたそれぞれの写真の例を図 8 に示す。図 8 から、内向き写真・外向き写真ともにランドマークそのものが撮影された写真が含まれていることが分かる。特に、ランドマークの外側(図 8(b))において、ノイズと判定される外向き写真の中にもランドマークの外観が撮影されている写真が存在する。このような写真はランドマーク再現に適切な写真であるが、GPS の位置情報の誤差が大きいため、外向き写真と判定されたと考えられる。また、その他のノイズ写真と判断されない場合においても、ランドマーク再現に不適切な写真が含まれている。これらの写真は、撮影位置や撮影方向以外の情報を用いなければ排除が困難であると考えられる。

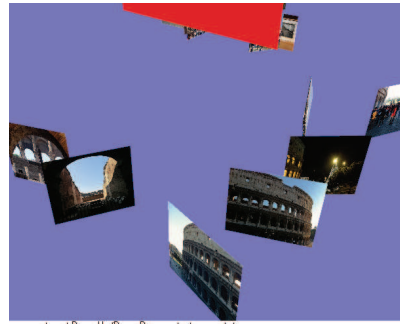
5. 本システムの実行例

本システムでコロッセオの写真を配置した結果を図 9 に示す。図 9 の各写真に映る赤色の四角形は推定されたコロッセオの範囲を表している。

図 9(a), および図 9(b) から撮影位置と撮影方向に基づいて写真を配置することにより、写真がコロッセオの方向に向かって配置されていることが分かる。また、様々な距離・角度から撮影された写真が配置されており、多視点からの閲覧が可能である。そのほか、図 9(c) のように、視点移動により各写真に近



(a) 地上からの様子



(b) 上空からの様子



(c) 写真に接近した様子

図9 システム実行例

づいて閲覧することも可能であり、写真一枚一枚の詳細な様子も閲覧可能である。

以上より、本システムにより様々な地点からランドマークが閲覧可能であることが分かる。

6. おわりに

本研究では、Web上のジオタグ付き写真からランドマークを多視点から閲覧可能となるように再現するため、写真の撮影位置と撮影方向情報に基づいたシステムの提案とそのシステムの実装を試みた。また、撮影位置と撮影方向を用いてランドマークの座標を推定し、撮影方向と焦点距離を用いて写真の画角を求めることにより、ランドマークの方向に向かって撮影されている写真とそうでない写真を分類した。また、写真の分類結果からランドマークの範囲を推定し、ランドマークが撮影されている写真を抽出した。そして、実験により各ランドマークの位置と範囲の推定精度と写真の分類結果、提案システムにおける写真の配置の様子を示した。

今後の課題として、ランドマーク再現に適した写真の撮影位置や撮影方向の誤差の修正が挙げられる。今回は撮影方向の値が大きすぎた写真の除去を行ったが、より詳細なランドマーク再現のためには、各写真の誤差の修正が必要となる。加えて、ランドマーク再現に適した写真と判断された写真の中にも、ランドマークが写っていない不適切な写真が存在する。これらの写真を排除するために、ジオタグ情報のみでなく、画像特徴量などを考慮してランドマークが撮影されている写真のみを取得する必要がある。また、ランドマークの再現するための写真を増やすため、撮影方向が付与されていない写真の利用が挙げられる。写真に付与されているジオタグには、撮影位置と撮影方向の両方が付与されている写真も存在すれば、撮影位置のみ付与されている写真も存在する。これらの写真にもランドマーク再現に適した写真が存在すると思われる。撮影位置のみ付与された写真を本システムで利用するためには、撮影方向の推定が必要である。また、コロッセオとコンスタンティヌスの凱旋門のような近距離に複数のランドマークが存在する場合がある。このような場合、ある写真がどのランドマークを撮影したか区別することは困難である。そのため、近距離に未知の数のランドマークが存在する際に、それぞれのランドマークの位置と範囲を推定し、写真を分類する必要がある。そのほか、より詳細

なランドマーク再現のため、写真の焦点距離や上下方向の向きを考慮した写真の配置も課題である。

文 献

- [1] Google Street View, <http://maps.google.com/intl/en/help/maps/streetview/>
- [2] streetside, <http://www.microsoft.com/maps/streetside.aspx>
- [3] Luc Vincent, "Taking online maps down to street level", Computer Vol. 40, No. 12, pp. 118-120, 2007
- [4] Flickr, <http://www.flickr.com/>
- [5] Michael Kroepfl, Yonatan Wexler, and Eyal Ofek "Efficiently Locating Photographs in Many Panoramas", ACMGIS, 2010
- [6] 青木 稔, 桜木康充, 河野昭也, 清水友晶, 中田卓司, 渡部大輔, 嶋田 茂, "ユーザ参加型都市ビデオアーカイブの臨場感高揚方式による新たなコンテキストサービス" 信学技報, vol. 111, no. 173, pp. 61-66, 2011
- [7] twitvideo, <http://twitvideo.jp/>
- [8] Sameer Agarwal, Noah Snavely, Ian Simon, Steven M. Seitz, and Richard Szeliski "Building Rome in a Day", ICCV, 2009
- [9] David G. Lowe "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", IJCV, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, 2004
- [10] NOAA's National Geophysical Data Center, <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>
- [11] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jorg Sander, Xiaowei Xu, "A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise", in Proc. of The 2nd Int'l Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 226-231, 1996