

オープンコンテンツ方式にもとづく大規模仮想都市の構築

Construction of a large-scale virtual city based on an open content method

玉田 大輔
Daisuke Tamada

中西 英之
Hideyuki Nakanishi

大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻
Department of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University

We propose a kind of 'open content method' as the most promising way to construct a large-scale virtual city. This method supposes that a large number of people voluntarily take pictures of urban areas by their cellular phones equipped with GPS. We developed a server-side system that collects those pictures, adjust the position and the orientation of the pictures, and finally synthesize them to generate a virtual city. This paper discusses the pros and cons of our method by comparison with other methods, and also describes the results of the initial test to use our implemented prototype.

1. はじめに

近年、衛生写真、航空写真など、上方向視点からの都市画像の一般利用が拡大したことより、様々な地図サービスが提案されている。これに対して、横方向視点からの都市画像で構成される仮想都市には①建造物の種類や外観からその地域の特徴、地域色が分かり易い②小規模施設の探索が可能となる③歩行者の視点に近いこと、直観的歩行者ナビゲーションが可能になるといった優位性がある。しかし、既存の仮想都市構築システムはコスト面の問題から、広範囲を覆う大規模仮想都市は未だ実現していない。

これを解決する手法として、GPS・カメラ付き携帯電話が普及しつつある現状を背景に、多数のGPS・カメラ付き携帯電話ユーザが携帯電話で撮影した写真を、その位置情報を用いて方向を自動算出し、地図上に配置するシステムを提案する。すでに存在する同様のシステム[上松 2004]はどれも、地図から写真にリンクを張ったり地図上に写真を重ねて表示したりするだけであり、写真同士の位置関係が分かりにくく仮想都市と呼ぶにはほど遠い。

本稿で提案するシステムによって、多数のユーザの協働によるオープンコンテンツ方式の仮想都市構築が可能になる。仮想都市のニーズが非常に高い大都市中心部では専門業者による構築が実施されるであろうし、人口密度の低い地域ではニーズも低いであろう。本システムはその中間、すなわち郊外地域や中規模都市の仮想都市構築を可能にする。

以下、2 節では大規模仮想都市構築にオープンコンテンツ形式が必要であることについて述べ、3 節では本システムの構成について述べる。4 節では本システムの運用実験とその結果について考察し、5 節でまとめる。

2. 関連研究と本研究について

ここでは既存の仮想都市構築方法についての特徴や問題点について述べると共に、本研究の特徴との比較を行なう。

2.1 既存構築方法

まず、一般的な仮想都市構築方法として、3D 地図データか

ら建物の3Dモデルを自動生成し、その壁面に都市画像をテクスチャとして貼り付ける方法が挙げられる[カイル 2004]。この方法では都市画像を収集するのに相当なコストがかかるため、大規模な仮想都市を構築できない。

次に、全方位カメラ等での撮影画像をIBR技術[Shenchang 1995]によってつなぎ合わせ、仮想都市を構築する技術が挙げられる[Koizumi 2003]。この技術は、複数の撮影箇所の中点を合成することによって、非撮影箇所から見える風景画像を作成、閲覧することができる。また同様の手法として、全方位カメラ搭載車両を街中で走行させて動画を撮影し、撮影経路上で自由な方向を眺められるようにする技術も挙げられる[宮川 2004]。これらの技術によって、広範囲の都市空間を閲覧可能にすることはできるが、撮影画像を収集するには相当なコストがかかるという問題点は解決できていない。

以上より、仮想都市構築には大量の都市撮影画像が必要とされるのだが、既存構築方法では撮影画像収集に相当なコストがかかるという問題点が存在する。これを解決している代表的な構築方法として、写真共有サイト上にアップされているデジタルカメラの画像を、同じ対象を撮影した画像の重複領域にもとづいて各画像の位置関係と方向を算出し、仮想空間上にそれらの写真を配置して仮想都市を構築する方法「Photo tourism」[Snively 2006]が挙げられる。この方法では、開発側に都市画像収集のコストがかからないが、観光名所など限定された地域でしか重複領域が十分な都市画像は収集されず、広域な仮想都市を生成することができない。しかし、この技術によって都市画像の収集は開発側が行なう方法よりも、ユーザの助けを借りて収集する方法が有効だということ、仮想都市を構築する際には、都市画像を3Dモデル上に貼り付ける必要はなく、適切な位置、方向に配置するだけで都市の特徴を表現できるということがわかる。

この広範囲かつ大量の都市画像を収集する技術のうち、代表的なものとして「場 log」[上松 2004]が挙げられる。これはGPS・カメラ付き携帯電話で位置情報付きの写真を収集し、地図からその写真へのリンクを貼る、もしくは地図上に貼り付ける技術である。だが、この技術では写真同士の位置関係が分かりにくく仮想都市と呼べるものではない。

このように、大規模な仮想都市を構築するためには「広範囲かつ大量の都市撮影画像を、コストをかけずに収集する手段」が必要とされていることがわかる。

連絡先: 中西 英之, 大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻, 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel 06-6879-4182, Fax 06-6879-4180, nakanishi@ams.eng.osaka-u.ac.jp

2.2 オープンコンテンツ型仮想都市構築方式の提案

まず、広範囲かつ大量の都市撮影画像を、コストをかけずに収集する手段として、GPS・カメラ付き携帯電話が普及しつつある現状を利用し、多数のユーザに位置情報付きの都市撮影画像を収集させる方法を採用する。この方法で仮想都市を構築する場合、撮影画像に正確な位置情報と方向情報を加え、地図上の適切な位置、方向に撮影画像を貼り付け、仮想都市を自動生成する必要がある。この場合、現状のGPS・カメラ付き携帯電話でも、GPSによる位置情報の取得、電子コンパスによる方向情報の取得は出来るが、電子コンパスは搭載されていない機種もあり、なおかつ位置、方向のどちらも仮想都市を自動生成できるほどの精度はまだ実現していない。

この問題点を解決するため、すぐに考えられるのはユーザによる「位置情報」と「方角情報」の修正である。位置座標と方向をユーザの主観による修正で、両情報の誤差精度を上げれば、その両情報を用いて地図上に配置すればよい。だが、「位置情報」と「方角情報」の両方の修正となるとユーザの負担が大きく、ユーザの負担が大きければ広範囲かつ大量の都市画像を収集することは非常に困難である。

そこで、本研究では、電子地図の情報とユーザに補正させた高精度の位置座標を用いつつ、ユーザに対して以下の図に示すような撮影方法を規定することによって方向情報を自動算出する方法を提案する。

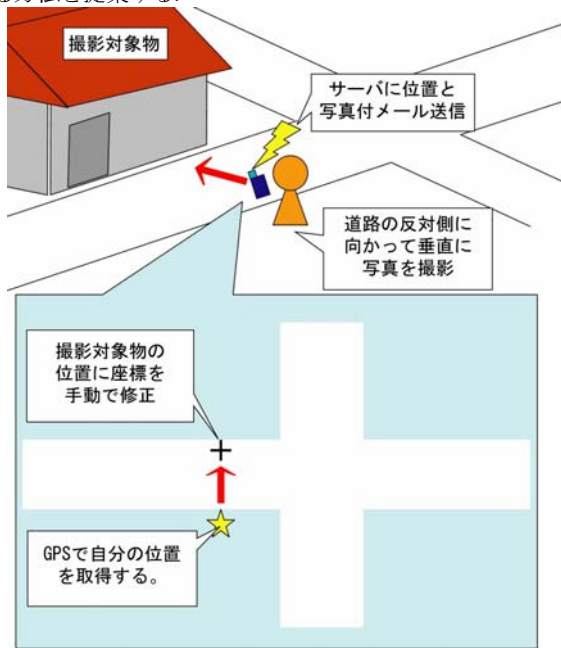


図1 都市画像撮影方法

ユーザは、図1のように現在位置からみて道路を挟んだ反対側の道路沿いの風景を、道路の進行方向に対して垂直に撮影する。さらにユーザはGPSで取得した大まかな自分の位置から、反対側の撮影した対象が属する道路の境界線上の位置に位置座標を変更する。こうして多数のユーザから正確な撮影対象の位置情報付きの都市撮影画像を集め、後はベクトル地図と位置情報からそれらの画像が向く方角情報を算出することが出来る。ここで、「撮影位置」への修正でなく、「撮影対象位置」への修正をさせたのは、どちらもユーザにとっては同程度の負担の処理であるが、自動計算による方角の算出をする上では、撮影位置よりも撮影対象位置になっている方が処理工程を削減できるとともに、都市画像貼り付け位置の精度が向上するためである。こ

の「ユーザによる位置の補正」と「ベクトル地図データにもとづく方角情報の自動付与」によって、写真同士の位置関係がわかりやすい仮想都市構築が可能となる。

2.3 関連研究との比較

この節では、第1節で述べた関連技術と第2節で提案した本研究内容の比較を行なう。

まず、3Dモデルを生成してテクスチャを貼り付ける仮想都市構築技術との違いは、3Dモデルを生成しないこと、撮影画像を開発側で収集しなくて良いことの二点である。このうち、「Photo tourism」が3Dモデルでなくても都市の特徴が表現できていること、広範囲かつ大量の都市画像の収集にコストをかけない方法を取ることを考慮すると、大規模な仮想都市を作る上で本システムはこれらの技術より優れているといえる。

またIBR技術を用いた仮想都市構築技術との違いは、特殊な機材、撮影方法を必要としないこと、撮影画像を開発側で収集しなくて良いことの二点である。ある地点から撮影された都市画像を360度パノラマ化し、その場にいるような雰囲気を感じたい場合にはIBR技術の方が適しているが、大規模な仮想都市を生成する際には、広範囲かつ大量の都市画像を収集するために多くのユーザに普及している機材を用いることが必要とされ、本研究はその点でこれらの研究より優れているといえる。

「Photo tourism」はユーザによる大量の都市撮影画像を3Dモデリング化することなしに都市の特徴を再現できているという意味で本研究と非常に近い位置にあり、共通点も多い。この技術と本研究との違いは、広範囲な仮想都市を構築できること、ユーザから送られる位置情報によって都市画像同士に重複部分がなくても仮想都市を生成できることの二点である。観光名所などの限定された場所においては、こちらの技術の方が優れている点が多いが、大規模な仮想都市を生成する際は、撮影画像同士の重複領域がない画像が多くなり、撮影画像から位置を推定することが難しくなるため、その点で本研究はこの技術より優れているといえる。

「場 log」は仮想都市を作る技術ではないが、ユーザに位置情報付き写真をGPS・カメラ付き携帯電話で収集させるという点では、本研究と近い位置にあるといえる。しかし、仮想都市ではないため、都市画像から都市の特徴を理解しにくい。

以下に各関連技術と本研究との比較を示す。

表1 関連技術との比較

項目	*1	*2	*3	*4	*5
仮想都市生成にコストがかからない			✓		✓
大量の都市映像を収集できる			✓	✓	✓
広域の都市映像を収集できる				✓	✓
都市の特徴がわかりやすい	✓	✓	✓		✓

- *1 3Dモデル仮想都市 [カイリル 2004]
- *2 QuickTimeVR [Shenchang 1995]
Town Digitizing [Koizumi 2003]
- *3 Photo tourism [Snively 2006]
- *4 場 log [上松 2004]
- *5 本研究

3. 仮想都市構築システムの構成

3.1 GPS・カメラ付携帯電話と位置座標変更インタフェース

本研究のプロトタイプはEZナビウォークに対応している。EZナビウォークでは、GPS情報を取得して、(最善で50m以内の

誤差精度の)現在の位置座標を地図アプリケーション上で確認でき、その地図上の位置を手動修正し、メールの本文に記入して送信することができる。また、この位置座標情報付メールには写真データを添付することができる。

3.2 ベクトル地図データ

本研究のプロトタイプは、ベクトル地図データとして国土地理院の数値地図 2500 に対応している。数値地図 2500 はベクトルデータ地図であり、地図を描画する場合、それぞれの座標値を線で結んで描画する。本研究ではユーザからの位置情報とこの数値地図により撮影画像の方向を自動算出する。

3.3 仮想都市の構築

本研究によって構築される仮想都市は、下図のように地図上の道路境界線上に写真が配置されているものである。



図 2 システムによる仮想都市

ユーザはまず、GPS・カメラ付携帯電話を使って(最善で 50m 以内の)誤差を含む現在位置を取得する。次に、写真を撮りたい対象の位置に手動で(誤差が 1m 以内になるよう)位置座標を修正する。修正された位置座標はメールで仮想都市サーバに送信できるのだが、送信する前に道路の反対側を向いて垂直に写真を撮影し、撮った写真をメールに添付する。

ここで、写真を1枚送るごとに位置座標を修正しても良いのだが、複数枚の写真をサーバに送るときには上記の方法だけだと非効率的である。そこで、複数枚の写真を送信するときには以下の図に示す方法によってもサーバに送信することができる。

ユーザはまず撮影開始地点の位置座標を修正し、その座標とともに撮影対象の写真をサーバに送信する。それからユーザは道路に沿って等間隔に移動しつつ撮影対象の写真を撮る。写真は随時送っても良いし、最後に送っても良い。撮影が終了したらユーザは撮影終了座標の位置を修正し、その座標を最後にサーバに送ればよい。サーバは撮影開始地点、撮影終了地点と撮影した枚数がわかっているの、撮影位置を算出して地図上に貼り付けることができる。

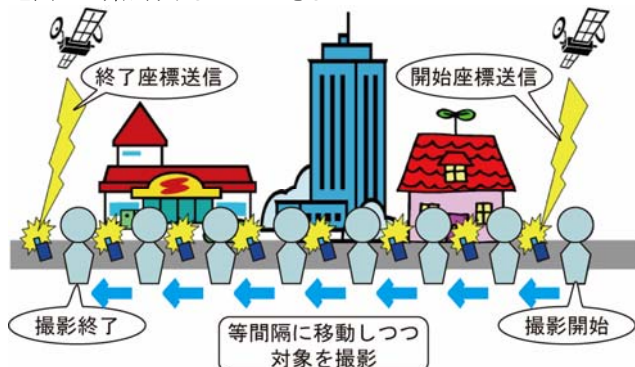


図 3 撮影時間短縮方法

上記の2種類の方法のどちらで撮影されたとしても、位置座標の情報と写真が添付されたメールを受け取った仮想都市サーバは、位置座標の情報とベクトルデータ地図の情報を使って、

写真が貼り付けられるべき道路の境界線上に位置座標を修正する。(道路の境界線の情報がなければ道路の中央線上に位置座標を修正する)さらに写真が向くべき方向も計算し、それぞれの値をデータベースに保存する。あとは、その画像データ、貼り付けられるべき位置座標、画像の向く方向を使って地図上に写真を貼り付け、画像データとしてデータベースに保存する。ユーザがブラウザから仮想都市を閲覧する場合、WEB サーバはリクエストがあったエリアの地図画像情報をユーザに受け渡す。

4. 構築実験と考察

4.1 仮想都市構築実験

本研究システムの構築実験を 2 つの条件で行なった。以下に実験条件と結果を記す。

(1) 撮影エリアを指定した実験

まず、都市画像 1 枚 1 枚に位置情報を追加して撮影する方法(以下個別撮影と略す)と撮影開始点と終了点の間を等間隔に撮影してゆく方法(以下連続撮影と略す)の比較検証として、大阪府箕面市小野原町周辺で都市画像収集をさせた。被験者は本学学生 3 名で、実験条件として、①指定したエリアを連続撮影で取ること②連続写真を取ったエリアで、更に好きな場所を 1 箇所撮影すること③どこでも好きな箇所を最低 5 箇所撮影してこること、の3つを指定した。また、連続撮影の場合は撮影開始位置から終了位置までの撮影にかかった合計時間を、個別撮影では 1 箇所を撮影するのににかかった時間を計測した。また、実験後にそれぞれインタビューを行なった。

(2) 撮影エリアを指定しなかった実験

次に、GPS 携帯電話ユーザが実際に使用したことを想定した例として、撮影エリアを指定せず、なおかつ撮影方法も指定せずに、都市画像収集をさせた。被験者は本学学生 2 名で、実験条件としては、撮影画像のうち何枚かに携帯電話の写真編集アプリケーションを使用させ、都市画像にスタンプやコメントを加えさせた。また、実験後にそれぞれインタビューを行なった。

(3) 撮影エリアを指定した実験の結果

今回の実験では、図 4 のように画像を回転させ、道路側面の全方向の都市画像を閲覧できるように表示させた。

また、表 2 に実験 1 で比較検証した項目とその数値を記す。

表 2 個別撮影と連続撮影の比較

項目名	個別撮影	連続撮影
合計撮影枚数	29 枚	428 枚
合計時間	50 分 16 秒	5 時間 31 分 55 秒
平均撮影時間 (一枚あたり)	1 分 44 秒	46.5 秒
合計撮影距離		4261m

この結果より、連続撮影 1 枚あたりにかかる平均時間は、個別撮影の平均時間の 44.7% であり、連続撮影により撮影時間が短縮されていることがわかる。



図 4 仮想都市構築結果

4.2 考察

(1) 撮影エリアを指定した実験

まず、撮影しやすかったもの、撮影しにくかったものはそれぞれ何かという質問に対して、目立つものや店舗、マンションは撮影しやすく、個人の住宅や幼稚園、小学校などは撮影しにくかったという意見を得た。これは、「個人の家や幼稚園を撮影すると不審者に思われるのではないか」という社会的道徳によるものだと考えられる。この意識によってプライバシーの観点から仮想都市上に載せてよいもの、悪いものをユーザが判断するというフィルターの効果期待できる。また、連続写真でちょうど 1 枚の写真に入らなかった建物は、後で 1 枚だけ撮り直したくなったという意見があった。これは、自分が作り上げる仮想都市の完成度を高めたい、仮想都市という「作品」を作りたいという意識であり、仮想都市を作る動機の一つに成り得ると考えられる。

どこでも好きな場所を撮影してきてよいという条件に対して、どんな場所を撮影してきたかという質問に対しては、薬屋やスーパーなどの商店、自分の家、桜などを撮影したという意見を得た。これらの都市画像は、撮影者にとってのその地域の目印や象徴になるような建造物、風景であり、都市の特徴を知りたくて仮想都市を閲覧する人が必要とする情報であると考えられる。

(2) 撮影エリアを指定しなかった実験

両方の被験者から、自分で取った都市画像を仮想都市にできることは、白地図を埋めていく感覚で面白いという感想を得た。さらに、図 6 に示す写真編集アプリケーションで写真にコメントやスタンプを加える方法はどうだったかという質問をしたところ、思わず意見を述べたくなるような、周囲とは異なった特徴があるような場合や、自分の知っている情報を加えたいと思う場合に当てはまる建物、都市風景を撮影する場合によく使ったという意見を得た。これは、図 6 のように、インターネットでは得ることが困難な情報も仮想都市の都市画像に付け加えることができると共に、コメントなどの独自性を持たせることによって自分が撮影した都市画像をみんなに知らせたい、見てもらいたいという感情がはたらくからだと思われる。



図 5 スタンプ、コメントがされた都市画像の例

一方で、今回は自由な場所を好きな方法で撮ってよいという条件であったが、被験者は1度も連続して都市画像を撮影し、仮想都市を作ろうとしなかった。これは現在の設計では連続撮影をする気になるモチベーションが得難いためであり、投稿枚数が多いと仮想都市の管理権が手に入るなどのインセンティブ機構をより充実させる必要があることが分かった。

5. おわりに

本稿では大規模仮想都市を構築するために、現在普及が進んでいる GPS・カメラ付き携帯電話を利用したオープンコンテンツ方式の構築システムを提案し、その有用性について比較検討した。また、被験者による構築実験を行ない、提案システムと撮影方法について検証した。

今後は対象エリアの拡大、時系列による表示の変更などのコンテンツの充実、WEB 公開に向けてのビューアとインセンティブ機構の設計と実装を目標として開発を進めたい。

参考文献

- [上松 2004] 上松 大輝, 沼 晃介, 徳永 徹郎, 大向 一輝, 武田 英明: 場 log:Weblog 環境における位置情報利用の提案, 人工知能学会研究会資料, SIG-SWO-A401-07, 2004.
- [カイルル 2004] カイルル アズミ, 小野 晋太郎, 影沢 政隆, 池内克史: 広域仮想都市構築のための航空写真影解析による 3 次元情報復元, 第 3 回 ITS シンポジウム 2004.
- [Shenchan 1995] ShenchangEricChen: QuickTime・VR-AnImage-BasedApproachtoVirtual Environment Navigation, Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 29 - 38,1995.
- [Koizumi 2003] Satoshi Koizumi, Hiroshi Ishiguro: Town Digitizing: Omni directional Image-Based Virtual Space, International Workshop on Digital Cities, Part 1, pp.19-30, 2003.
- [宮川 2004] 宮川 勲, 石川 裕治, 若林 佳織, 荒川 賢一: 車両運動投影モデルに基づく全方位画像系列からの市街地空間の 3 次元構造復元, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会論文誌, vol.45, no.SIG13(CVIM10), 2004.
- [Snavelly 2006] N Snavelly, SM Seitz, R Szeliski: Photo tourism: exploring photo collections in 3D, ACM Transactions on Graphics, pp. 835 - 846, 2006.