

GPS データと経時的全方位映像群からの街並変化の検出

佐藤准嗣[†] 高橋友和[†] 井手一郎[†] 村瀬洋[†]

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: †{jsato,ttakahashi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし ITS 技術の一環として、迅速な地図の更新に役立てるために、車載カメラから得られる実映像を用いて自動的に市街地の街並変化を検出する手法を提案する。提案手法は、様々な時期の市街地映像と地図を効率よく対応付ける段階と、対応付けられたデータから街並変化地点を検出する段階の 2 つから構成される。データの収集の際は、低コストなビデオカメラと普及型 GPS を搭載した多数の一般車両が撮影を意識することなく自由に走行し、あらゆる時期、経路の映像を得ることを想定する。そしてまず第 1 段階で、次元圧縮と DP マッチングを組み合わせた手法によって、高速な同一地点フレームの対応付けと、各フレームに付随する位置情報の高精度化を行う。そして第 2 段階において、異なる時期の映像から街並変化地点を検出する。実験では約 1 年間に渡り収集した 44 組のデータを用い、本手法の有効性を示した。

キーワード 全方位画像, 固有空間法, DP マッチング

Change detection in streetscapes from GPS data and chronological omni-directional image sequences

Junji SATO[†], Tomokazu TAKAHASHI[†], Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8603 Japan

E-mail: †{jsato,ttakahashi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract As part of ITS technology, to achieve quick map updates, we propose a method for automatically detecting changes in streetscapes from images captured by car-mounted omni-directional cameras. It comprises two stages; accurate alignment of a map and street images taken at various times, and detection of changes in streetscapes from the aligned data. The system will collect data via many free-running cars fitted with low-cost equipment to obtain images at various times and along routes. In the first stage, we process the alignment of the image frames taken at same locations and determine the accurate position information of each frame by a method composed of dimension reduction and DP matching. Then in the second stage, we detect changes in streetscapes from images taken at various times. Experiments with 44 data items which were collected over about a year, demonstrate the effectiveness of our method.

Key words Omni-directional image, Eigenspace method, DP matching

1. はじめに

近年 ITS (高度道路交通システム) の技術開発が盛んに進められている。この中でナビゲーションシステムの高度化は、ドライバにより良い情報を提供するという観点でとても重要である [1], [2]。そのため、ナビゲーションシステムで利用する地図を頻繁に更新し、常に最新の状態しておく必要がある。しかし現在の地図製作の現場では、人手で街中をくまなく歩くことで地図更新のための情報収集を行っているため、コストが大変

かかり、街並の変化に迅速に対応することは難しいのが現状である。

そこで我々は、迅速な地図の更新に役立てるために、車載カメラから得られる実映像を用いて自動的に市街地の街並変化を検出する手法を提案する。ここで街並変化とは、建物が新しく建築されることや改装されることなどを示す。提案手法は、様々な時期の市街地映像と地図上の位置情報とを効率よく対応付ける段階と、対応付けられたデータから街並変化を検出する段階の 2 つから構成される。既に、位置情報と映像を対応付け

て収集する手法が提案されているが [3], [4], これらは大掛かりな装置が必要であり, 全国の市街地映像を網羅的に収集するにはコストがかかりすぎると考えられる. 本手法では, 市街地映像データを収集する際, ビデオカメラと普及型 GPS という低コストなシステムを搭載した多数の一般車両が自由に走行することで, 撮影を意識することなく日常走行の中で, あらゆる時期, 経路の映像を得ることを想定する. 映像の取得には, 撮影地点から任意の方向を向いたときの画像を効率よく取得するため, 全方位カメラを用いる. 位置情報の取得には, キネマティック GPS 等, 数 mm ~ 数 cm の測位精度を持つ高精度 GPS を用いることも考えられる. しかし大変高価であるため, 現時点では多数の一般車両に搭載することは現実的ではない. そこで本研究では, 一般のカーナビゲーションシステムに搭載される程度の普及型 GPS または D-GPS を想定する. その際, 普及型 GPS では測定誤差が 10m 近くあるため, 単純に同じ GPS 座標の画像を集めても正しく同一地点の画像は集められない [5].

以上から, 本手法の実現のためには, 以下の 3 つの課題を達成しなければならない.

- 課題 1 異なる時期に自由に走行して収集した映像群から, 同一地点を映すフレームどうしの高精度な対応付け
- 課題 2 映像中の各フレームに付随する位置情報の高精度化
- 課題 3 異なる時期の映像間での街並み変化の検出

本報告では, これらの問題に対処して高精度に街並み変化を検出するために, 映像間対応付けと対応付け後のフレーム間差分の 2 段階からなる新たな手法を提案する. まず第 1 段階において, 最初の 2 つの課題を達成する. 具体的には, 概ね同じ GPS 座標位置を異なる時期に走行して撮影した映像系列の照合により, 同一地点を映すフレームどうしを対応付ける. 映像の照合には主成分分析による次元圧縮と DP マッチングを組み合わせる. つまり, 撮影時の車速の違いを吸収するため, 固有空間上においてフレーム単位で DP マッチングすることで対応付けをする. そして対応付けられたフレームに付随する位置情報を平均化し, 各フレームの位置情報の高精度化をねらう. このように対応付けられた映像データを市街地映像マップと呼ぶことにする [6], [7]. これは街並み変化の検出だけでなく, 実映像を用いたナビゲーションシステムや運転シミュレーションシステム [8], 実世界のモデル化 [9] ~ [11] 等, 様々な応用が考えられる. 次に第 2 段階で, 対応付けられたフレームを用いて, 様々な時期の映像間で相違度を計算することにより街並み変化のあった地点を検出する.

2. 街並み変化の検出

図 1 (b) の手順に従い, 大量の GPS 座標付き映像を収集して市街地映像マップを構築した後に, 街並み変化を検出する.

2.1 GPS 座標付き映像データの収集

複数の車両が全方位カメラと GPS を搭載して自由に走行する (図 2, 3). このとき全方位カメラは, 撮影車両の周囲 360 度を撮影できるように, 車両の上部に鉛直上向きに取り付ける. また映像と同期させて GPS からの位置情報を取得する. 一般に GPS による測位更新時間と撮影カメラのフレームレートと

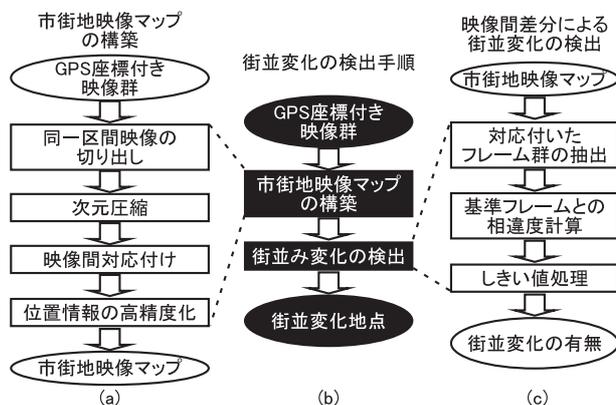


図 1 街並み変化の検出手順.

Fig. 1 Detection of changes in streetscapes.

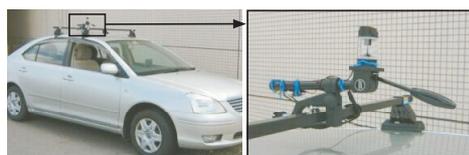


図 2 車載した全方位カメラ.

Fig. 2 A car-mounted omni-directional camera.

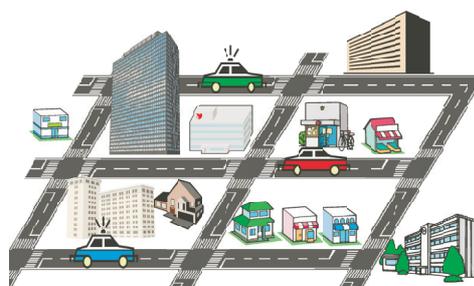


図 3 多数の車両が自由に走行してデータ収集する.

Fig. 3 Many cars run freely to collect data.

は同期していない. そこで, GPS 座標が付与されていないフレームに対しても線形補間によって仮想的に座標を付与する.

2.2 第 1 段階: 市街地映像マップの構築

大量の映像データから様々な時期の同一地点の画像フレームを高精度に対応付け, これを市街地映像マップと呼ぶこととする. 図 1 (a) に処理手順を示す.

2.2.1 映像間対応付け

まず, 収集したデータは多数の車両が自由に走行して得たものであるため, 同一区間を走行して撮影した複数の映像を切り出してくる必要がある. GPS の誤差は 10m 程度であり, 走行地点の同定は困難であるが, 走行区間の判別は十分可能である. そこで, GPS 座標によって概ね同じ経路を走行している部分の映像の切り出しを行う. これにより異なる時期に同一の区間で撮影した映像を複数取得することができる.

次に主成分分析を用い, 映像の各フレームの特徴ベクトルを次元圧縮する [12]. これは計算量や使用メモリ量を削減し, 天候の変化による照明条件の変動等の微細な変化の影響も一定程度低減する. フレームの特徴ベクトルは, 図 4 に示すマスクによって限定された領域の各画素の R 値, G 値, B 値を要素とし

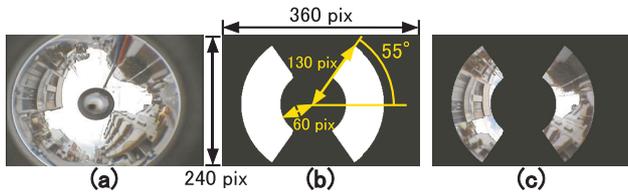


図 4 (a) 全方位画像 (b) 特徴ベクトル抽出に用いるマスク ($N = 25, 538$) (c) マスク後の画像 .

Fig. 4 (a) Omnidirectional image, (b) Mask to extract feature vectors ($N = 25, 538$), (c) Masked image.

て持つ $N \times 3$ 次元ベクトルとし、値の正規化を行う。ここで N はマスク領域の画素数である。使用領域を限定するのは、全方位画像の周辺部や上下部分に人や他の車両が映るためにマッチングに適さないためである。次元圧縮の準備処理として、様々な経路で撮影した映像に対して主成分分析を行い、特徴空間より次元の低い固有空間を作成する。そして映像の各フレームの特徴ベクトルをこの固有空間に投影し、固有空間上の座標系列 $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ を得る。ここで p は、ある日時の映像から切り出したフレーム数である。

次に次元圧縮した映像間でフレーム単位の対応付けを行う。この処理によって、異なる時期に同じ地点を映しているフレームどうしを対応付けることができる。これが本手法の 1 つ目のポイントであり、1. で述べた課題 1 に対応する。撮影時の車両速度の違いによる映像の時間的な伸縮を吸収し、映像全体で整合をとるため、DP マッチングを用いる (図 5)。ここでは異なる日時の同一区間映像 2 つを対応付けるとする。つまり 2 映像の固有空間上の座標系列 $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ と $\{y'_1, y'_2, \dots, y'_q\}$ を用いる。相違度の尺度として、固有空間上のユークリッド距離 $d(i, j) = \|y_i - y'_j\|^2$ を用いる。そして $D(1, 1) = d(1, 1)$ とし、漸化式

$$D(i, j) = \min \begin{cases} D(i-1, j) + \omega_1 \cdot d(i, j) \\ D(i-1, j-1) + \omega_2 \cdot d(i, j) \\ D(i, j-1) + \omega_3 \cdot d(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

を再帰的に計算する。ここで $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ は相違度に対する重みであり、実験により決定する。このとき $D(p, q)$ を計算するまでに選んだフレーム番号対 (i, j) の系列が、2 映像のフレーム間の対応を表し、 $D(p, q)$ が映像間の相違度を表す。しかし $D(p, q)$ は映像のフレーム数に依存するため、正規化された相違度 $\hat{D}(p, q) = D(p, q)/n$ とする。ここで n は、DP マッチングで選んだノード数である。もしも DP マッチング結果が破綻してしまい全く正しいマッチングが得られなかった場合、 $\hat{D}(p, q)$ は大きな値になると考えられる。そこで、2.2.2 において大きく誤ったフレームが対応付けられたために位置情報の平均化で精度を低下させることを防ぐために、しきい値 d_D を設け、 $\hat{D}(p, q)$ がこれを上回る結果を外れ値として破棄する。

2.2.2 位置情報の高精度化

本手法の 2 つ目のポイントは、対応付けられたフレームに付随する GPS 座標を平均化し、位置情報の精度向上を狙うこと

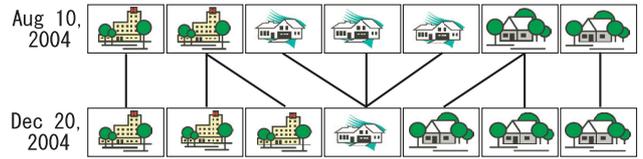


図 5 DP マッチングによる 2 つの映像間対応付け .

Fig. 5 Alignment of two sequences of video streams by DP matching.

である (課題 2)。GPS による測定値の精度は、ばらつきの尺度である標準偏差により表されるのが一般的である。標準偏差は平均値からのばらつきの大きさであるため、系統誤差 (平均値と真の値とのずれ) を含めることはできない。しかし、長時間の観測を行えば系統誤差は小さく抑えられるため、長期間にわたって同一地点で測位された測定値の平均は、真値に近づくことされる [13]。そこで本研究では、標準偏差により GPS 座標の精度を評価し、同一地点の各日時における GPS 座標の平均値をその地点の高精度な座標とする。

DP マッチングは 1 対 1 の対応付けであるため、2.2.1 の映像間対応付けで c 個の映像を使用するとき、ある 1 つの映像と残りの $c-1$ 個の映像との対応付けを行う。これによって、映像中の任意地点に対して、相互に類似した c 枚のフレームとそれに付随する GPS 座標を c 個得ることができる。1 つのフレームに対して複数フレームが対応付けられる場合もあるが、この場合は中央のフレームを対応するフレームとして抽出する。

このようにして得た c 枚のフレームの組は同一地点を映していると考えられるため、 c 個の座標は同一地点で長期間観測された座標であるといえる。この c 個の座標の平均座標を元の c 枚のフレームに付与することで、映像の各フレームの位置情報を高精度化することができると考えられる。また c が十分に大きい場合は、 c 個の座標の標準偏差が、測位された座標の誤差の大きさを表す。

2.3 第 2 段階：街並変化の検出

第 1 段階で得たデータを用いて街並変化を検出することが、本手法の 3 つ目のポイントである (課題 3)。図 1 (c) に手順を示す。ここではある地点に注目して、その地点の街並変化の有無を検出することとする。

まず市街地映像マップから、ある地点で対応付いた複数の画像フレームを時系列順に抽出し、最も古いフレームから P_0, P_1, P_2, \dots とする。そして P_0 とその他のフレームとで相違度を計算し、これがしきい値を越えた地点を街並変化ありとして検出する。このとき異なる日時に全く同一の車線を走行するわけではないので、画像間で左右のずれがある。つまり図 6 を見るとわかるように、撮影車両が左右一方に寄っていることの影響が画像に現れている。例えば車両が右に寄ると、車の右側の建物は相対的に大きく、左側の建物は小さく映る。そこで、以下の手順で近似的に車軸位置の左右の位置合わせをしながら相違度を計算する。まず P_0, P_i をそれぞれパノラマ展開 [14], [15] したものを車の右側と左側の画像に切り分け、 $P_{0l}, P_{0r}, P_{il}, P_{ir}$ とする。マスク画像をパノラマ展開し、左右に分けたもの

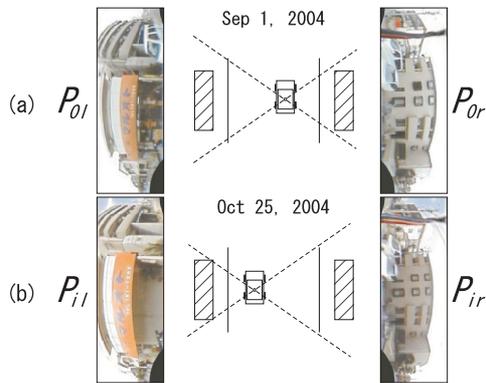


図 6 対応付けられた 2 フレームをパノラマ展開した画像 : (a) は (b) に比べて右側を走行しているため、 P_{0l} のほうが P_{0r} よりも建物が小さく映っている。

Fig. 6 Panorama images of two aligned frames : The car in (a) runs right side while the car in (b) runs left side. So the building in P_{0l} looks smaller than in P_{0r} .

を M_l, M_r とする。撮影車両の左右のずれの影響を抑制するため、以下の手順で近似的に位置合わせを行い、2 フレーム間の相違度を計算する。

(1) P_i を映した車両が P_0 を映した車両に対して左にずれている場合 (図 6), ある拡大率で P_{0l} と P_{0r} を拡大し、画像的に位置合わせをする。逆の場合は P_{il} と P_{0r} を拡大する。実際は車両がどちらにずれているかは未知なので、繰り返し処理内でこの両方を行う。

(2) 画素数をそろえるため、 P_{0l}, P_{il} に対して M_l を、 P_{0r}, P_{ir} に対して M_r を動かす。マスク領域の R 値、 G 値、 B 値を並べたベクトル x_0, x_i を抽出・正規化し、相違度 $d_i(P_0, P_i) = \|x_0 - x_i\|$ を計算

(3) マスクを画像の 20% の範囲内で動かして (2) を複数回計算し、最も相違度の小さな値 $d_k(P_0, P_i)$ を求める

(4) 拡大率を実験的に定めた範囲で変化させて (1) ~ (3) を複数回計算し、相違度 $d_k(P_0, P_i)$ の最も小さな値 $d_{min}(P_0, P_i)$ をフレーム間の相違度とする

以上の処理で、ある地点に対して抽出されたフレーム群内で、基準フレーム P_0 とその他のフレームとの相違度を計算した。これがしきい値 d_T を超える場合に街並変化と判断するが、大型車両が映り込んだり、映像間対応付けが誤ってしまったりして、一時的に相違度が高くなってしまうことがある。そこで、フレーム間相違度に対して時系列方向にメディアンフィルタをかけて平滑化することにより、一時的な相違度の変化を抑制する。

3. 市街地映像マップの構築実験

3.1 実験条件

本手法を用いて、まず映像間の対応付けによる市街地映像マップの構築実験を行い、映像間対応付けの精度を評価した。実験には、約 1 年間にわたりある経路 (図 7 の白丸、約 1.2km) を走行して収集した 44 組のデータを使用した。このとき最も古い映像とその他の映像との対応付けを行った。本実験のため

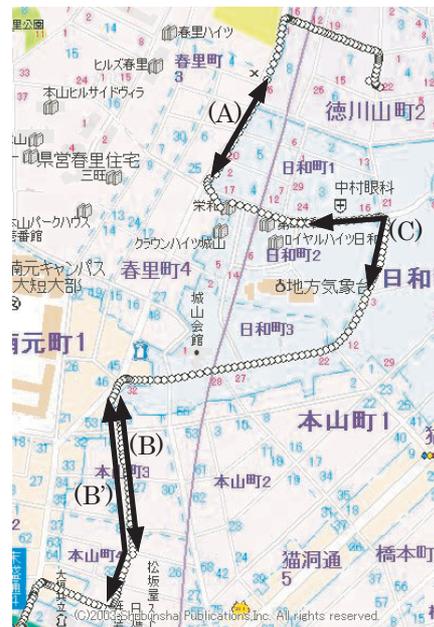


図 7 データ収集を行った経路 [16] .

Fig. 7 Route taken for data collection.

に切り出した区間は、図 7 の区間 A (約 147m) と区間 B (約 170m) である。区間 A には建物の変化があり、区間 B にはそのような街並変化は存在しない。特徴ベクトルは、64,458 次元を次元圧縮によって 20 次元にした。DP マッチングに関して、式 (1) における重みを予備実験の結果から $(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (2, 1, 2)$ とした。また、DP マッチング結果の映像間相違度 $\hat{D}(p, q)$ に対するしきい値 d_D は、 $d_D = \mu + \sigma$ とした。ここで μ は用いた全データの映像間相違度の平均値で、 σ は標準偏差である。

3.2 実験結果

対応付けの正解判定は目視で行い、対応付いたフレームが最も類似したものと対応付いていた場合は正解、対応付いたフレームより類似するものが前後に存在していた場合は不正解とした。そして全フレーム中の正解フレームの割合を成功率とした。GPS には 10m 程度の誤差があるため、切り出した区間の両端は必ずしも同一地点とは限らない。よって映像の両端で、一方の映像にしか映っていない地点のフレームは評価対象外とする。実験結果の対応付け成功率を表 1 に示す。区間 A には街並変化があるため、成功率が低くなっていることがわかる。図 8 に、区間 A 上のある地点に対処付いたフレームの一部を示す。また図 8 で示した地点に対して、対応付けが成功したそれぞれのフレームに付随する GPS 座標とその平均座標を図 9 に示す。ここに示された複数の座標の標準偏差は 5.88m であった。これが、この地点で長期間観測して得られた GPS 座標の精度であると考えられる。このような標準偏差を全フレームで平均したものを、表 1 に示す。

3.3 考察

本実験で用いたデータは、車両速度 40km/h 以下でフレームレート 30fps である。このとき連続する 2 つのフレームの撮影地点間の距離は 0.4m 以下となる。よって対応付けが正しく、位置情報が正確でも、平均座標は撮影車両の進行方向に対して

表 1 映像間対応付け結果 .

Table 1 Result of alignment.

	区間 A	区間 B
平均対応付け成功率 (%)	87.6	94.1
用いた映像数	39	41
d_D による映像の破棄数	5	3
GPS 座標の標準偏差 (m)	5.65	7.95

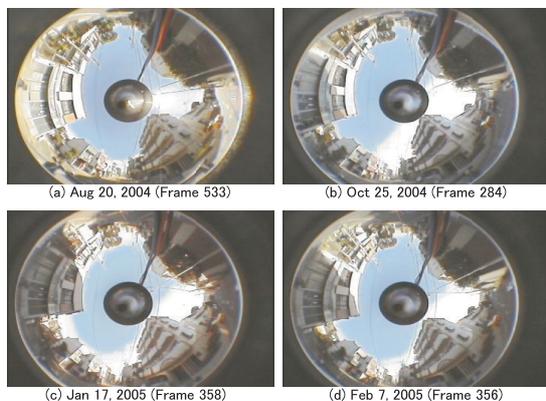


図 8 対応付けられたフレームの例：各フレームの下に撮影日時とフレーム番号を示す .

Fig. 8 Example of aligned frames : The date and frame number are indicated below each frame.

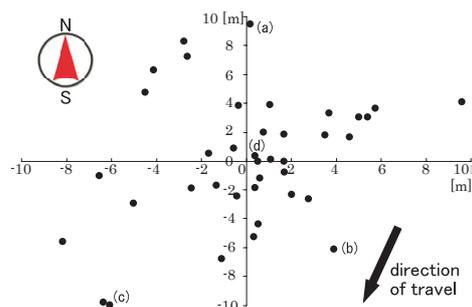


図 9 対応付けられた区間 A 上のある地点 (図 8) のフレーム群に付随する GPS 座標 : 中心が平均座標 . 矢印は撮影車両の進行方向 . 各点の添え字は図 8 に対応 .

Fig. 9 GPS coordinates attached to the aligned frames (Fig. 8) : The origin is the average. The arrow shows the direction of travel.

0.4m 以下の誤差を含んでいるといえる . このことから , 位置情報の平均化により , サンプル数が増えれば , 位置情報の誤差を進行方向に対して 0.4m 程度に収束させることができると考えられる .

DP マッチングによる対応付けの有効性を調べるために , 対照実験として全てのフレーム中から固有空間上最も類似するフレームを対応付ける実験を行った . 区間 B の破棄されなかった全映像を用い , 実験結果と正解フレームとのずれのヒストグラムを図 10 に示す . 総当たりでの照合では , 正解フレームと正しく対応付いたものは 35.4% しかなかった . これに対して DP マッチングでは 95.4% が正しく対応付けられている (表 1) . また対応付け結果を目視で確認すると , 固有空間上最も類似するものは , 必ずしも目視による正解と一致しなかった . 例えばあるフ

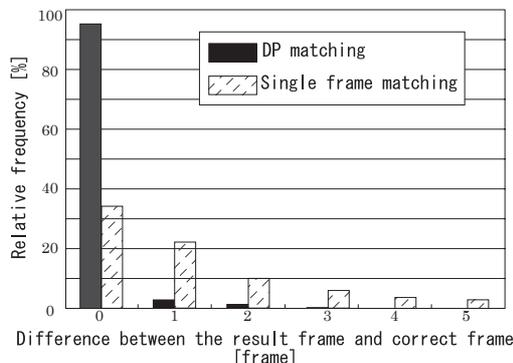


図 10 DP マッチングによる対応付けと総当たりでの対応付けとの比較 .
Fig. 10 Comparison of DP matching with full-search frame matching.

レームに複数のフレームが対応したり , 対応するフレームが前後していたりすることがあった . これは , 車載カメラからの映像は前後のフレームが類似しており , 次元圧縮の際に細かな情報が失われたためと考えられる . 以上から , 固有空間上の類似度が必ずしも高くなくても , 映像全体で DP マッチングによって整合性のとれた対応付けを行っているため , 結果として全体的に高い対応付け性能が得られたと考えられる .

4. 街並変化の検出実験

4.1 実験条件

本節では , 3. と同一のデータを用いて映像間対応付けを行い , 街並変化のあった地点の検出について述べる . 対応付けに用いる区間は , 図 7 の区間 A , B' , C , D である (区間 D は図中にはない) . 各区間にそれぞれ 1ヶ所ずつ , 建築物が新しく建設された地点を含んでいる . 映像間対応付けにおける対応付け結果破棄のしきい値 d_D は 3. と同様の値に , 街並変化の検出における相違度しきい値 d_T は実験的に設定した .

4.2 実験結果

実験の結果 , 区間 A , B' , D 中の 3ヶ所の街並変化を正しく検出した . 区間 C 中の 1ヶ所は検出できなかった . 図 11 に , 区間 A のある 2 地点に対応付いたフレーム群の相違度の時間的変化を示す . これはフレーム間相違度にサイズ 3 のメディアンフィルタを適用したものである . 実線の地点はしきい値 d_T を超えており , 本手法ではこの地点の周辺を街並変化として検出した . 点線の地点は街並変化のなかったフレーム群の相違度変化を示す .

図 12 に , 街並変化があると検出された地点の実画像を示す . 実験で用いる映像は全方位画像であるが , 見易さのためにここでは同一日時 , 同一地点でデジタルカメラで撮影した画像を掲載する . これを見ると , 検出された地点で街並が変化していることがわかる .

4.3 考察

本手法を用いることで 4 件の街並変化中 3 件を検出することができた . 区間 C には新たに住宅が建てられた地点が存在するが , 街並変化を検出することができなかった . この地点を画像上で確認すると , 変化が大変小さいため , 画像間の差分では相

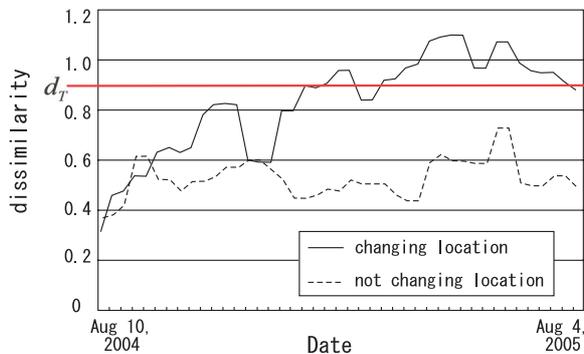


図 11 区間 A のある 2 地点の相違度の遷移。

Fig. 11 Transition of discrepancies on two locations along route A.

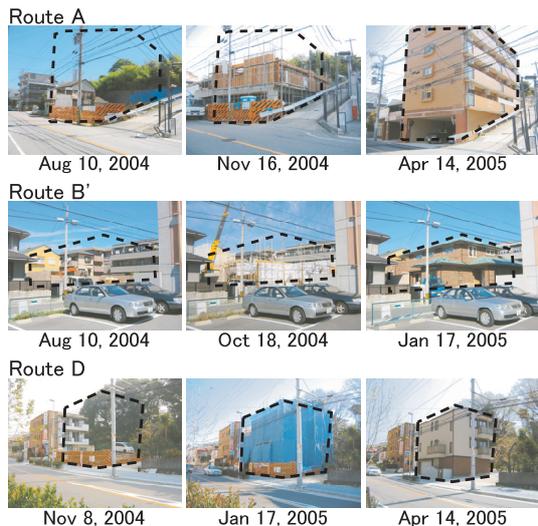


図 12 街並変化を検出した地点の実画像の一部：点線部が変化した部分。

Fig. 12 Example of images at change-detected locations: The area where the streetscape changed significantly is marked by dashed lines.

違度が十分大きくならなかったためと考えられる。

5. むすび

本稿では、異なる時期の市街地映像群から街並の変化を検出する手法を提案した。手法の第 1 段階では、長期間にわたって車載映像と GPS 座標を同時に取得したデータを用い、同一区間を走行して得た複数の映像どうしを対応付けることで、異なる時期の同一地点の画像を対応付け、それらの位置情報を平均化した。映像間の対応付けは固有空間上で DP マッチングすることで行った。そして第 2 段階で、画像間の差分により街並変化を検出した。本手法により、以下の 3 つを達成することができた。

- 映像間対応付けは、街並変化のない映像では 95.4% と高い精度で行うことができ、異なる時期の同一地点の画像を対応付けることが可能となった。また街並変化のある経路でも、平均 87.6% と高い精度で対応付けを行うことができた。
- 位置情報の高精度化に関して、対応付けで同一地点と認

識されたフレームに対応する GPS 座標には 5 ~ 8m の誤差があったが、対応付けが精度良く行われ、データ数が増えれば、これを車両進行方向に対して 0.4m 以下に収められることを確認した。

- 街並変化の検出では、建物の変化があった 4 件の実データに適用したところ、3 件の変化を検出することができた。
- 今後の課題として、より大量のデータに対する適用等が挙げられる。また提案手法の第 1 段階で構築した市街地映像マップを、街並変化の検出だけでなく、実映像を用いたナビゲーションシステム等に適用していくことを考える。

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金および 21 世紀 COE プログラム補助金による。

文 献

- [1] J. Y. Zheng and X. Wang: "Pervasive Views: Area exploration and guidance using extended image media", Proc. 13th ACM Intl. Conf. on Multimedia, pp.986-995, Nov. 2005
- [2] E. Verbree and A. V. Anrooij: "Interactive navigation through distance added valued panoramic images", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Panoramic Photogrammetry Workshop, Feb. 2004
- [3] 神田準史郎, 脇本浩司, 田中聡: "街並み映像を利用した携帯電話向け道案内システム", 2004 信学総大, A-17-21, Mar. 2004
- [4] 山野芳樹: "モービルマッピングシステムによる道路空間データ収集手法の開発", APA, no.77-1, (財)日本測量調査技術協会, Nov. 2000
- [5] 石川尊之, 山崎俊彦, 相澤清晴: "前方/側方カメラを用いた車載映像の取得とその処理", 第 4 回情報科学技術フォーラム (FIT2005), I-056, Sep. 2005
- [6] 佐藤准嗣, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋: "車載全方位カメラと GPS を用いた市街地映像マップの構築", 2005 信学総大, D-12-43, Mar. 2005
- [7] 佐藤准嗣, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋: "市街地映像マップの構築のための車載カメラ映像間対応付け", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演論文集, pp.596-603, Jul. 2005
- [8] S. Ono, K. Ogawara, M. Kagesawa, H. Kawasaki, M. Onuki, J. Abeki, T. Yano, M. Nerio, K. Honda and K. Ikeuchi: "A photo-realistic driving simulation system for mixed-reality traffic experiment space", Proc. 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.747-752, Jun. 2005
- [9] 川崎洋, 谷田部智之, 池内克史, 坂内正夫: "実世界映像の自動構造化によるインタラクティブ利用", 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.10, pp.1561-1571, Oct. 1999
- [10] 上原将文, 全炳東: "数値地図を利用した広域都市 3 次元モデル構築", 信学論 (D-II), vol.J84-D-II, no.8, pp.1921-1924, Aug. 2001
- [11] 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", 情処学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), Dec. 2004
- [12] H. Murase and S. Nayar: "Visual learning and recognition of 3-D object from appearance", Int. J. Comput. Vision, vol.14, pp.5-24, Jan. 1995
- [13] 坂井丈泰: "GPS 技術入門", 東京電機大学出版局, 2003
- [14] 八木康文, 谷内田正彦: "実時間全方位視覚センサ", 情処学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.42, no.SIG13(CVIM3), Dec. 2001
- [15] 横矢直和, 山澤一誠, 竹村治雄: "全方位ビデオカメラを用いた視覚情報メディア", 情処学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.42, no.SIG13(CVIM3), Dec. 2001
- [16] 昭文社 Super Mapple Digital Ver.4 地図使用承認 ©昭文社第 47G009 号