

GPS 座標付き全方位映像群からの市街地映像マップの構築と街並変化の検出

佐藤 准嗣[†] 高橋 友和[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

Construction of a Street Image Map and Change Detection in Streetscapes
from GPS Coordinated Omni-Directional Image Sequences

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

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と地図上の位置情報とを高精度に対応づけ、その結果を用いて、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良く対応づける段階と、対応づけられたデータから街並変化地点を検出する段階の二つから構成される。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。約 1 年間にわたり収集した 44 組のデータを用いた実験を行い、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

1. ま え が き

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おり、中でもナビゲーションシステムの高度化が着目されている [1], [2]。特に、ドライバに、より良い情報を提供するため、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、常に最新の状態にしておく必要がある。しかし地図製作の現場では、人手で街中をくまなく歩くことにより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、様々な時期に車載カメラから得られた実映像と位置情報とを高精度に対応づけたデータを作成し、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良く対応づける段階と、対応づけられたデータから街並変化を検出する段階の二つから構成される。従来、位置情報と映像を対応づけて収集する手法は提案されているものの [3], [4]、これらは大掛りな装置が必要であり、もし全国の市街地映像を網羅的に収集するとしたら、コストがかかりすぎるという問題点がある。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良く取得するため、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 の測位精度をもつ高精度 GPS を用いることも考えられる。しかし高価であるため、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

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科, 名古屋市
Graduate School of Information Science, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8601 Japan

型 GPS (D-GPS) を用いる。その際、普及型 GPS では測定誤差が 10 m 近くあるため、単純に同じ GPS 座標の画像を集めたとしても、それらは正しく同一地点から撮影された画像とは限らない [5]。

以上から、本手法の実現のためには、以下の三つの課題を達成しなければならない。

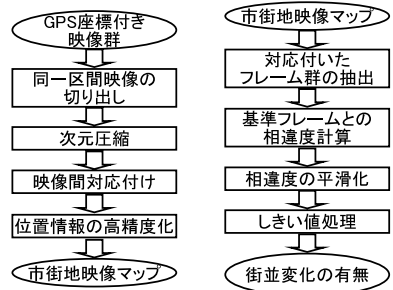
課題 1 異なる時期に自由に走行して収集した映像群の中から、同一地点から撮影されたフレーム同士の高精度な対応付け (2.3.3)

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 (2.3.4)

課題 3 異なる時期の映像間での街並変化の検出 (2.4)

本論文では、これらの問題に対処して高精度に街並変化を検出するために、市街地映像マップの構築と街並変化の検出の 2 段階からなる手法を提案する。まず第 1 段階において、最初の二つの課題を達成する。具体的には、おおむね同じ GPS 座標位置を異なる時期に走行して撮影した映像同士の照合により、同一地点から撮影されたフレーム同士を対応づける。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。これらは主に処理の高速化と、撮影時の车速の違いを吸収することを目的としており、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。そして対応づ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。このように対応づけられた映像データを市街地映像マップと呼ぶ [6]~[8]。これを用いることにより、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や運転シミュレーションシステム [9]、実世界のモデル化 [10]~[12] 等、様々な応用が考えられる。次に第 2 段階において、対応づけられた映像データを用いて、様々な時期の画像間で相違度を計算することにより街並変化のあった地点を検出する。

本論文は以下のように構成される。まず 2. で提案手法について述べる。そして 3. で市街地映像マップの構築に関する実験、4. で街並変化の検出に関する実験について述べ、提案手法の有効性について検証する。最後に 5. で結論を述べる。



(a) 市街地映像マップの構築 (b) 街並変化の検出 (事前処理)

図 1 提案手法の処理手順

Fig. 1 Flow diagram of the proposed method.

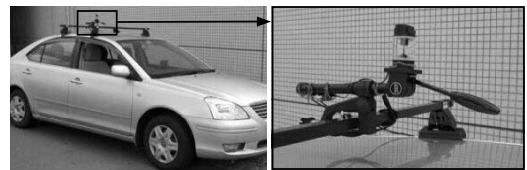


図 2 車載した全方向カメラ

Fig. 2 The car-mounted omnidirectional camera.

2. 市街地映像マップの構築と街並変化の検出

2.1 手法概要

本手法ではまず、入力となる GPS 座標付き映像群を収集する (2.2)。そして事前処理として、市街地映像マップを構築する (図 1(a), 2.3)。次に、街並変化の検出を行う (図 1(b), 2.4)。以降の節で各処理について詳しく述べる。

2.2 GPS 座標付き映像群の収集

全方向カメラと GPS を搭載した多数の車両が、撮影を意識することなく自由に走行する (図 2)。これにより、様々な時期・経路の GPS 座標付き映像を大量に収集することができる。このとき全方向カメラは、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 による測位レートよりも撮影カメラのフレームレートの方が高い。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。

2.3 市街地映像マップの構築 (事前処理)

大量の映像データから、様々な時期に同一地点から得られた画像フレームを高精度に対応づけ、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．

2.3.1 同一区間の映像の切り出し

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 座標によっておおむね同じ経路を走行している部分の映像を切り出す．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．

2.3.2 映像の特徴次元圧縮

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 [13]．これにより、計算量や使用メモリ量を削減する．また、天候の変化による照明条件の変動等、微細な変化の影響をある程度低減することも期待できる．フレームの特徴ベクトルは、図 3 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 値を要素としてもつ $N \times 3$ 次元ベクトルとし、平均 0、ノルム 1 となるように正規化する．ここで N はマスク領域の画素数である．全方位画像の周辺部や上下部分には人や他の車両が映り込む場合があり、マッチングに適さないため使用領域を限定する．次元圧縮の準備処理として、様々な経路で撮影したフレームを集めて学習サンプルとし、それ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一つ作成する．次元圧縮処理では、切り出された区間によらず、この固有空間を用いる．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、切り出された映像のフレーム数である．

2.3.3 DP マッチングによる映像間対応付け

次に、異なる時期に同じ地点から撮影されたフレーム同士を対応づけるために、次元圧縮した映像間でフレーム単位の対応付けを行いたい (課題 1)．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、映像全体でフレーム順序の整合をとるため、DP マッチングを用いる (図 4)．ここでは異なる日時 of 同一区間映像二つを対応づけるとする．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二乗距離 $d(i, j) = \|y_i - y'_j\|^2$ を用いる．そして $D(1, 1) = d(1, 1)$ とし、漸化式

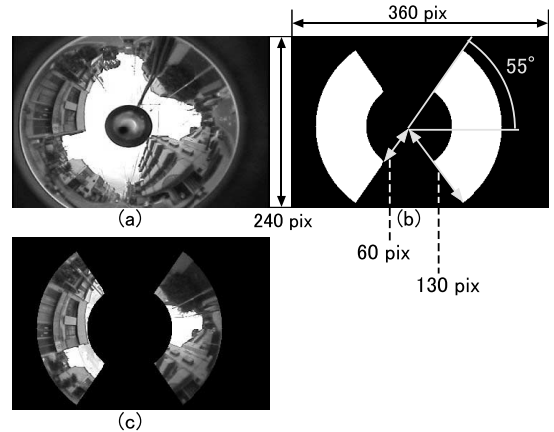


図 3 (a) 全方位画像, (b) 特徴ベクトル抽出に用いるマスク ($N = 25, 538$), (c) マスクにより切り出された画像

Fig. 3 (a) Omni-directional image, (b) Mask for feature extraction ($N = 25, 538$), (c) Masked image.

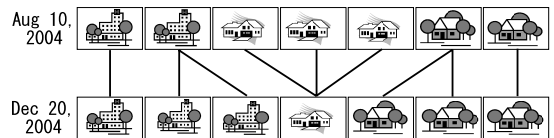


図 4 DP マッチングによる映像間対応付け

Fig. 4 Alignment of two sequences of video streams by DP matching.

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

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 マッチングで正しい対応が全くとれなかった場合、 $\hat{D}(p, q)$ は通常より外れて大きな値になると考えられる．そこでしきい値 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．

DP マッチングは 1 対 1 の対応付けである．よって

c 個の映像を使用する場合は、ある一つの映像を基準映像とし、それと残りの $c - 1$ 個の映像との間で対応付けを行う。これにより、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。二つの映像間に速度差がある場合は、一つのフレームに対して複数のフレームが対応づけられるが、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。

2.3.4 位置情報の高精度化

次に、対応づ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ねらう(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、正確な系統誤差(平均値と真の値とのずれ)を測ることはできない。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[14]、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、真値に近づくと考えられる。そこで本研究では、異なる日時に同一地点で測定された GPS 座標の平均値をその地点の高精度な座標と考える。

正しく対応づけられた c 枚のフレームに付随する c 個の座標は、同一地点で異なる日時に観測された座標であるといえる。これらの平均座標を元の c 枚のフレームに付与することで、各フレームの位置情報の高精度化をねらう。

2.4 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(課題3)。図1(b)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。

2.4.1 対応づいたフレーム群の抽出

市街地映像マップから、ある地点で対応づ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。そして以下の処理で P_0 とその他のフレームとで相違度を計算し、この相違度が高い日時を街並変化ありと判断する(図5)。

2.4.2 基準フレームとの相違度計算

データ収集の際、異なる日時で全く同一の車線を走行するわけではないので、同一の走行区間でも画像間で左右のずれがあり、図6のように、撮影車両位置の左右のずれの影響が画像に現れる。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

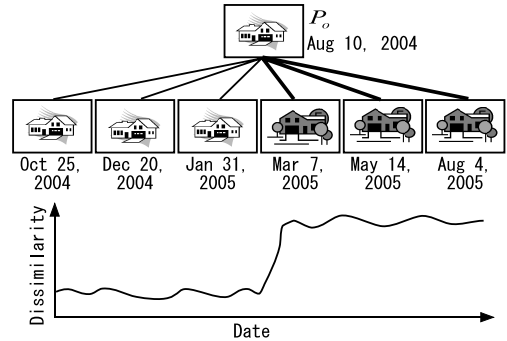


図5 対応付いたフレーム群中の相違度計算
Fig. 5 Dissimilarity calculation between the aligned frames.

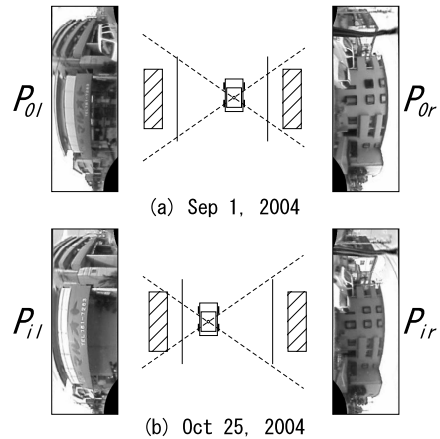


図6 対応づけられた2フレームをパノラマ展開した画像:(a)は(b)に比べて右側を走行しているため、 P_{0l} の方が P_{1l} よりも建物が小さく映っている。
Fig. 6 Panorama images of two aligned frames: The car in (a) runs on the right side while the car in (b) runs on the left side. So the building in P_{0l} seems relatively small than in P_{1l} .

位置の左右の位置合せをしながら相違度を計算する。この相違度を計算する際、そのほかに、車の振動や遠心力による車の回転移動が問題となることが考えられる。本手法ではこれらの移動に対応していないが、車速が遅ければこの影響は小さいと考える。

まず P_0, P_i をそれぞれパノラマ展開[15],[16]したものを車の右側と左側の画像に切り分け、 $P_{0l}, P_{0r}, P_{1l}, P_{1r}$ とする(図6)。パノラマ展開した理由は、このように左右に偏った場合の処理を容易にするためである。またマスク画像をパノラマ展開し、左右に分けたものを M_l, M_r とする。そして以下の手順で、位置合せをしながら2フレーム間の相違度を計算する。

(1) P_i を撮影した車両が P_0 を撮影した車両に対して左にずれている場合、ある拡大率で P_{0l} と P_{ir} を拡大し、近似的な車軸の位置合せをする。逆の場合は P_{il} と P_{or} を拡大する。実際は車両がどちらにずれているか未知であり、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 $d_i(P_0, P_i) = \|x_0 - x_i\|$ を計算する

(3) マスクの位置を実験的に定めた範囲内で動かして手順(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手順(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。

2.4.3 相違度の平滑化

以上の処理で、ある地点に対して抽出されたフレーム群中で、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。このとき、大型車両が映り込んだり、映像間対応付けが誤っていたりして、一時的に相違度が高くなってしまふことがある。そこで、時系列順に並べたフレーム間相違度に対して時系列方向に適切なサイズのメジ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。

2.4.4 しきい値処理

最後に、平滑化した相違度がしきい値 d_T を超える場合に、この地点を街並変化ありと判断する。

3. 市街地映像マップの構築実験

3.1 実験概要

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、フレーム単位でどの程度正確に対応づけられているかを確認した。実験に使用したデータを表1に示す。また2.3.1で述べたようにして切り出した区間を図8に示す。更に表2に、各区間の全長、街並変化の有無、道路形態を示す。本章の実験で用いた区間はA、Bであり、Aには建物変化が起こっている地点を含む。これは区間Aのフレーム全体の約18.2%に映り、撮影初期は更地であったが半年後には建物が完成している。次章の街並変化の検出実験では、図8、表2に示した区間A、C、D、Eを用いる。

次元圧縮処理の固有空間の作成には、表1に示した

表1 実験に用いたデータ
Table 1 Data used for the experiment.

映像撮影期間	2004年8月~2005年8月
撮影経路	図8の点線部
走行回数	44(平均約8,000フレーム)
全方位カメラ	VS-C14N(ヴイストン社製)
カメラ取り付け位置	撮影車両中央、鉛直上向き(図7)
映像のフレームレート	30 frame/sec
GPS 測位更新時間	1 sec.
撮影車両速度	40 km/h 以下
画像サイズ	360 x 240 pixel
特徴ベクトルの次元	圧縮前 64,458 次元、圧縮後 20 次元

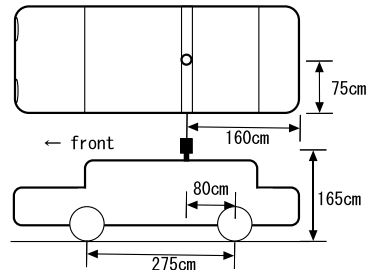


図7 実験時のカメラ取り付け位置

Fig.7 The position of the camera mounted in the experiment.

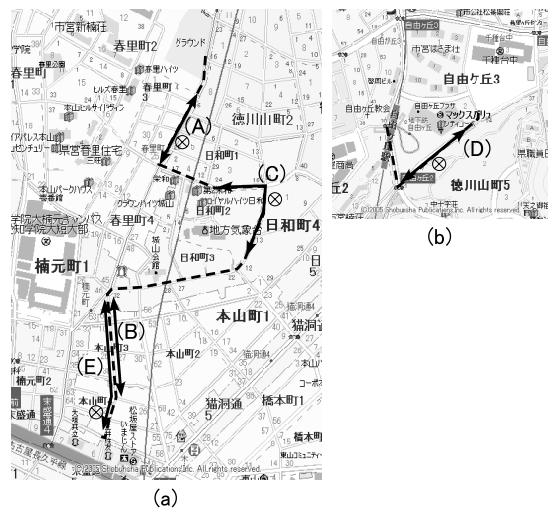


図8 撮影を行った経路[18](⊗は建物変化地点)

Fig.8 The route where the images were taken (⊗ is the location with building change).

表2 実験として用いた区間
Table 2 Segments used in the experiments.

区間	全長	街並変化	道路形態
A	約 150 m	あり	片側1車線道路
B	約 200 m	なし	1車線一方通行道路
C	約 190 m	あり	1車線道路
D	約 180 m	あり	片側1車線道路
E	約 240 m	あり	1車線一方通行道路

表 3 区間 A (建物変化あり)における 2004 年 8 月 10 日の映像との対応付け結果の一部

Table 3 A part of the matching results between images on 10 Aug, 2004 and the others along segment A (building change exists).

	映像名: 撮影日時	相違度 $\hat{D}(p, q)$	成功率 (%)
成功率上位	A ₁ : 2004/09/01	0.13	99.3
	A ₂ : 2004/09/06	0.11	99.0
	A ₃ : 2004/08/17	0.16	96.6
成功率下位	A ₃₆ : 2005/03/01	0.51	81.6
	A ₃₇ : 2005/02/07	0.49	80.8
	A ₃₈ : 2005/01/17	0.53	80.7
	平均	0.33	87.6

ものとは異なる日に図 8 の点線部を走行して撮影した映像から、無作為に 1,000 フレームを取り出し、学習サンプルとして用いた。

DP マッチングに関して、式 (1) において相違度に対する重みは $(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (2, 1, 2)$ とした。これは予備実験において最も対応付け精度が高かった値である。また $\hat{D}(p, q)$ に対するしきい値は $d_D = \mu + \sigma$ とし、これを超えたマッチング結果は破棄した。ここで μ は全データの映像間相違度の平均値、 σ は標準偏差である。

3.2 実験結果

映像間対応付けの評価には、フレーム単位で成功率を計算して用いた。成功判定は目視で行い、対応づいたフレームが最も類似したものであった場合は成功、対応づ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失敗とした。そして全対応付け中で成功した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付近のフレームは必ずしも同一地点から撮影されたものとは限らない。よって映像の両端で、一方の映像にしか含まれていない地点から撮影されたフレームは評価対象外とする。

表 3, 表 4 に、それぞれ区間 A, B での 2004 年 8 月 10 日における映像とそれ以外の映像との対応付け成功率を、上位と下位それぞれ 3 件を示す。マッチングの際に外れ値が現れたため破棄した映像数は、区間 A では 5 件、区間 B では 3 件であった。平均の相違度と成功率は、外れ値を除いた結果である。

表 3 に示した結果は映像の局所的変化(街並変化)が存在した区間のものであったが、平均 87.6%で対応付けできた。また表 4 に示した結果はそのような変化が少ない区間のものであったため、平均で 95.4%とより高精度に対応付けが行われた。一方の映像で車が停止した場面においては、移動中の映像の 1 フレームと

表 4 区間 B (建物変化なし)における 2004 年 8 月 10 日の映像との対応付け結果の一部

Table 4 A part of the matching results between images on 10 Aug, 2004 and the others along segment B (no building change exists).

	映像名: 撮影日時	相違度 $\hat{D}(p, q)$	成功率 (%)
成功率上位	B ₁ : 2004/10/11	0.21	99.3
	B ₂ : 2004/09/06	0.20	98.8
	B ₃ : 2005/06/21	0.25	98.5
成功率下位	B ₃₈ : 2005/02/07	0.47	94.3
	B ₃₉ : 2005/01/31	0.49	85.9
	B ₄₀ : 2005/01/31	0.50	84.5
	平均	0.34	95.4

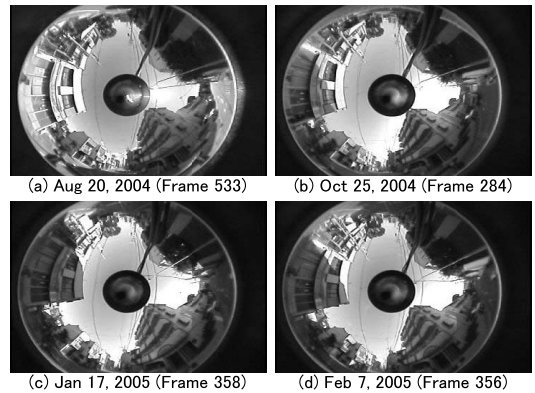


図 9 対応づけられたフレームの一部: 各フレームの下に撮影日時とフレーム番号を示す

Fig. 9 A part of the aligned frames: date and frame number are shown under each frame.

停車中の映像の複数フレームがうまく対応づいており、撮影車両の一方が停止するなどして車両間の移動速度が大きく異なる場合でも対応付けが成功していることを確認した。

図 9 に、区間 A 上のある地点に対応づいたフレームの一部を示す。撮影日時によって天候が異なっているにもかかわらず、どれも正しく対応づけられていることが分かる。またこれらの正しく対応づけられたフレームに付随する GPS 座標とその平均座標を図 10 に示す。図 10 に示された複数の座標の標準偏差は 5.88 m であった。これは 1 年間にわたり観測して得られた値なので、実験で使用した GPS の測位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結果は、区間 A で 5.65 m、区間 B で 7.95 m であった。これは使用した GPS の仕様(測位精度 10 m 以下)と一致している。

3.3 考察

同一地点から撮影された複数のフレームに付随す

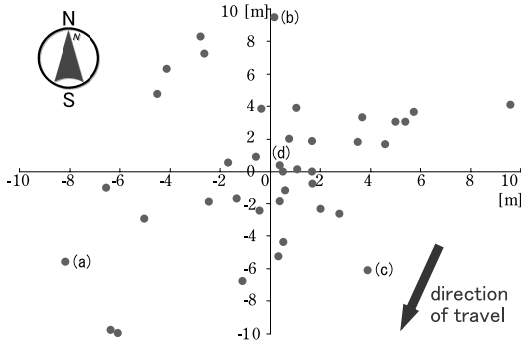


図 10 区間 A 上のある地点 (図 9) で対応づけられたフレーム群に付随する GPS 座標: 中心が平均座標, 矢印は撮影車両の進行方向. 各点の添字は図 9 に対応.

Fig. 10 GPS coordinates corresponding to the aligned frames (Fig. 9): The origin is the average, the arrow shows the direction of travel, and subscripts correspond to the frames in Fig. 9.

る GPS 座標には標準偏差で 5~8 m のばらつきがあった. 本実験で用いたデータは, 表 1 より, 車両速度 40 km/h 以下, フレームレート 30 fps であることから, 連続する二つのフレームの撮影地点間の距離は 0.4 m 以下となる. よって対応付けが正しく, それらのフレームに付随する位置情報が正確でも, 撮影車両の進行方向に対して, 0.4 m 以下のフレーム標準化による誤差が存在するといえる. つまり位置情報の平均化により, サンプル数が十分に大きくなれば, 同一地点に対応づけられたフレームに付随する位置情報を, 車両の進行方向に対してフレームの標準化誤差 (本実験で用いたデータでは 0.4 m 程度) 内に収めることができると思われる.

3.3.1 映像間対応付け誤りの要因

区間 A は経路上に建築物を建設中の地点を含んでおり, 更地にマンションが建設される変化が撮影期間中に存在したため, この地点で主に対応付け誤りが発生した. また, 車線変更などで撮影位置が左右に動いたことや大型車両が映り込んだことも対応付け誤りの要因である. 図 11 に, 区間 B のある映像で対応付け誤りのあった例を示す. 図 11 (a) と (b) が誤って対応づけられたフレームであり, 図 11 (c) が正解フレームである. 図 11 (b) の右側及び (c) の右下に映っているのは大型の駐車車両である. この車両が映ったことと, この車両を避けるために撮影車両が横に動いたことが, この地点での対応付け誤りの要因であると考えられる.

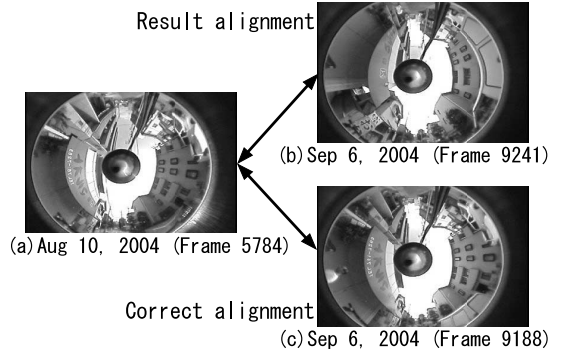


図 11 誤りのあったフレーム対の例: 実験では (a) と (b) が対応づいたが, 正解は (c) である

Fig. 11 Example of falsely aligned frames: (a) is matched with (b) in the experiment, but the correct frame is (c).

(b) と (c) は 53 フレーム離れているが, このとき撮影車両の速度が遅かったため, 実際の距離としては数 m 以内の地点から撮影されたものである. このように, DP マッチングでは全体的に整合性をとりながら対応付けしているため, 誤りがあっても数 m 以内の地点から撮影されたフレームで対応付けができ, 映像中の局所的な変化のために全体的に対応付けが破綻することはなかった. 2.4.2 で行ったような近似的な画像の位置合せを DP マッチングにも導入することで, 撮影位置の左右のずれの影響を抑制し, 精度を更に上げることができると考えられる.

本手法では, 複数の映像のうち, ある一つの映像を基準として, その他の映像との対応付けを行った. このとき基準とする映像の選び方によって, 対応付け結果が大きく異なる可能性がある. 例えば, 基準映像中に大型車両の通過等の局所的な変化が存在する場合には対応付け誤りが発生しやすいと考えられる. そこで, 局所的な変化の少ない時期の映像を基準映像として用いたり, 大量に収集した映像を組み合わせることで理想的な基準映像を生成したりする必要があると考える.

3.3.2 DP マッチングによる対応付けの評価

DP マッチングによる対応付けの有効性を調べるために, 対照実験としてすべてのフレーム中から固有空間上で最も類似するフレームを対応づける実験を行った. 区間 B の外れ値を除いた全映像を用い, 実験結果と正解フレームとのずれのヒストグラムを図 12 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づいたものは 35.4%しかなかった. これに対して DP マッチングでは 95.4%が正しく対応づけられている

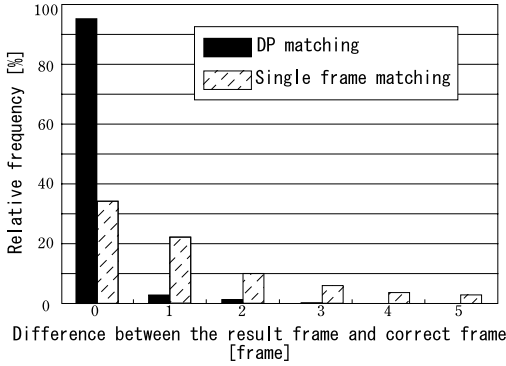


図 12 DP マッチングによる対応付けと総当りでの対応付けとの比較

Fig. 12 Comparison of DP matching with exhaustive single frame matching.

表 5 DP マッチングの重みを変えた場合の成功率
Table 5 Success rates with changing weights in DP matching.

重み	区間 A 成功率 (%) (街並変化あり)	区間 B 成功率 (%) (街並変化なし)
(2, 1, 2)	87.6	95.4
(1, $\sqrt{2}$, 1)	84.7	95.6

(表 4). DP マッチングは映像全体で整合をとりながら対応づけるため、結果として全体的により高い性能が得られたと考えられる。

3.3.3 DP マッチングの重みの検討

本実験では、式 (1) の相違度に対する重みを実験的に検討し、 $(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (2, 1, 2)$ とした。表 5 に、重み (2, 1, 2) と重み (1, $\sqrt{2}$, 1) とを比較した結果を示す。重み (2, 1, 2) では、式 (1) の漸化式における式 (1b) が優先的に選ばれることになるが、重み (1, $\sqrt{2}$, 1) では式 (1a) と (1c) が優先的に選ばれ、1 フレームが他系列の複数フレームに重複対応されやすい。街並変化のある区間 A において重み (2, 1, 2) の成功率の方が高かった理由としては、建物変化などによりある区間の画像系列が異なっている、誤った地点から撮影されたフレームに重複対応されなかったためであると考えられる。今回用いたデータではこの値が有効であったが、今後は種々の状況において検討する必要がある。

4. 街並変化の検出実験

4.1 実験概要

本章では街並変化のあった地点の検出について述べる。用いたデータは 3.1 と同一である。対応付けに用いる区間は、表 2 の区間 A, C, D, E である。各区

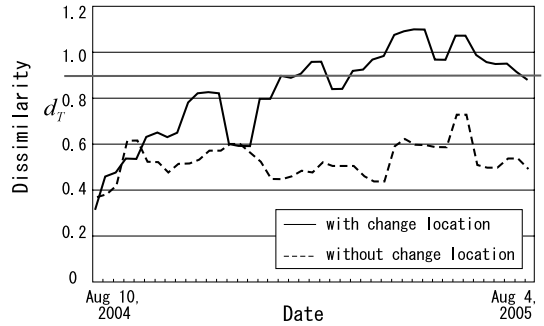


図 13 区間 A のある 2 地点の相違度の遷移

Fig. 13 Transition of dissimilarities on two locations along segment A.

間にそれぞれ 1 箇所ずつ、建築物が建設中の地点を含んでいる (図 8)。DP マッチングにおける相違度のしきい値 d_D は 3.1 と同じ値に、街並変化の検出のための相違度しきい値 d_T は実験的に設定した。2.4.3 で述べたメジアンフィルタのサイズは 3 とした。

4.2 実験結果

実験の結果、区間 A, D, E 中の街並変化を正しく検出した。区間 C 中の街並変化は検出できなかった。図 13 に、区間 A のある 2 地点に対応づいたフレーム群の相違度の時間的変化を示す。これはメジアンフィルタを適用したものである。実線はしきい値 d_T を超えたため、本手法はこの地点の周辺を街並変化として検出した。点線は街並変化のなかった地点のフレーム群の相違度変化を示す。

図 14 に、街並変化があると検出された地点を撮影した実画像を示す。実験で用いるカメラは全方位カメラであるが、見やすさのためにここでは同一日時、同一地点を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、検出された地点付近で街並が変化していることが分かる。

4.3 考察

本手法を用いることで 4 件中 3 件の街並変化を検出することができた。区間 C には建設中の住宅が存在したが、それによる街並変化を検出することができなかった。この住宅付近を撮影したフレームを目視により確認したところ、この住宅は、撮影を開始した 2004 年 8 月には既にある程度建設されており、10 月に完成してしまった後に変化がなかったため、画像的な変化が他の 3 件に比べて小さかった (図 15)。よって図 16 から分かるように、本手法でこの街並変化を検出できなかったのは、画像間の相違度が十分大きく

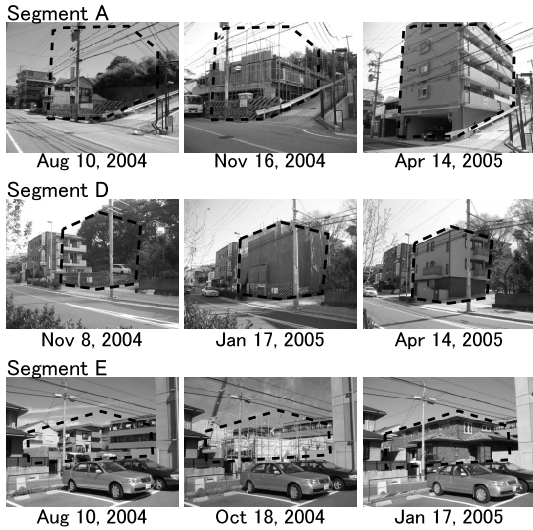


図 14 街並変化を検出した地点の実画像の一部：点線部が変化した部分
 Fig. 14 Example of images taken at locations with change: The area where the streetscape changed significantly is marked by dashed lines.

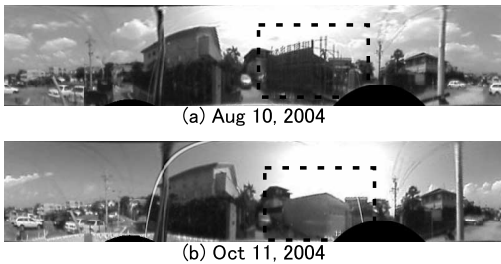


図 15 区間 C で建物変化のあった地点のパノラマ画像
 Fig. 15 Panoramic images on a location with change along segment C.

なかったためと考えられる．本実験ではしきい値は実験的に設定したが，今後はこのしきい値の決定法を検討する必要がある．

5. むすび

本論文では，異なる時期に撮影された市街地映像群から，映像と位置情報を高精度に対応づけたデータを作成し，その結果を用いて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，長期間にわたり同時に取得した車載カメラ映像と GPS 座標を多数用い，異なる時期に同一区間を走行して得た複数の映像同士を対応づけ，それらの位置情報を平均化することにより位置情報の高精度化を図った．映像間対応付けは固

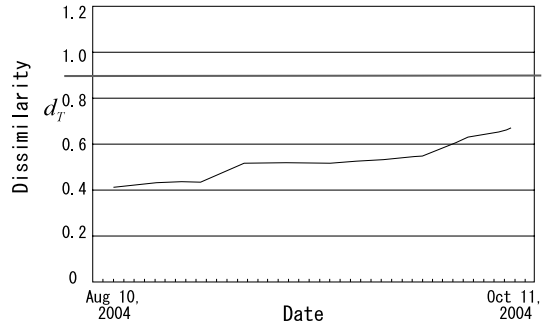


図 16 区間 C で建物変化があった地点の相違度の遷移
 Fig. 16 Transition of dissimilarities on a location with change along segment C.

有空間上で DP マッチングを行うことにより，高速で高精度な対応付けを実現した．そして第 2 段階で，対応づいた画像間の差分を計算することで街並変化を検出した．本手法により，以下の三つを達成することができた．

- 映像間対応付けに関して，街並変化のない経路では 95.4%，街並変化のある経路でも平均 87.6%の精度で，異なる時期の同一地点画像を対応づけた．
- 位置情報の高精度化に関して，同一地点から撮影されたフレームに対応する GPS 座標には 5～8 m のばらつきがあったが，これらを平均化することにより，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 0.4 m 以下に収められることを確認した．
- 街並変化の検出では，建設中の建物が存在する 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が挙げられる．またより高精度な GPS を用いて，本手法による位置情報の高精度化が正しく行われているかを評価する必要がある．また市街地映像マップをより高精度に自動構築するためには，映像群から任意の経路の映像を切り出す手法や，異なる車線の映像間対応付け，DP マッチングの重みの検討，また 3.3.1 で述べたように，収集した映像から対応付けに用いる基準映像を自動的に生成する手法等が挙げられる．またより高精度に街並変化を検出するために，検出の際のしきい値の決定法や，画像間相違度を用いたその他の判定法を検討する．

謝辞 日ごろ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

学研究費補助金及び 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 Int. Conf. on Multimedia, pp.986-995, Nov. 2005.
- [2] E. Verbree and A.V. Anrooij, "Interactive navigation through distance added valued panoramic images," Int. 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, March 2004.
- [4] 山野芳樹, "モバイ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, Sept. 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, March 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, July 2005.
- [8] J. Sato, T. Takahashi, I. Ide, and H. Murase, "Change detection in streetscapes from GPS coordinated omni-directional image sequences," Proc. 18th Int. Conf. on Pattern Recognition, vol.4, pp.935-938, Aug. 2006.
- [9] 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, June 2005.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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報, vol.45, no.SIG13(CVIM10), pp.34-53, Dec. 2004.
- [13] 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.
- [14] 坂井文泰, GPS 技術入門, 東京電機大学出版局, 2003.
- [15] 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報, vol.42, no.SIG13(CVIM3), pp.19-32, Dec. 2001.
- [16] 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報, vol.42, no.SIG13(CVIM3), pp.59-70, Dec. 2001.
- [17] 田村秀行, コンピュータ画像処理, オーム社, 2003.
- [18] 昭文社 Super Mapple Digital Ver.4 地図使用承認©昭文社第 47G042 号.
(平成 18 年 3 月 6 日受付, 9 月 22 日再受付)

佐藤 准嗣 (学生員)



平 17 名大・工・情報卒。現在, 同大学院情報科学研究科メディア科学専攻博士前期課程在学中。平 18 電気関係学会東海支部連合大会奨励賞, PRMU 研究奨励賞, ICPR2006 論文賞受賞。

高橋 友和 (正員)



平 9 茨城大・工・情報卒。平 12 同大学院理工学研究科博士前期課程了。平 15 同研究科博士後期課程了。博士(工学)。同年より 2 年間名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。平 17 より日本学術振興会特別研究員, 現在に至る。三次元画像処理並びに三次元モデリングの基礎研究に興味をもつ。画像電子学会会員。

井手 一郎 (正員)



平 6 東大・工・電子卒。平 8 同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程了。平 12 同研究科電気工学専攻博士課程了。博士(工学)。同年国立情報学研究所助手。平 16 より名古屋大学大学院情報科学研究科助教, 情報・システム研究機構国立情報学研究所客員助教授(連携)兼任。この間, 平 14~16 総合研究大学院大学数物科学研究科助手併任, 平 17, 18 フランス情報学・統計システム研究所(IRISA)招聘教授。映像メディア処理全般に興味を持っている。平 7 第 51 回情報処理学会全国大会奨励賞受賞。人工知能学会, 情報処理学会, IEEE Computer Society, ACM 各会員。



村瀬 洋 (正員)

昭 53 名大・工・電気卒．昭 55 同大学院修士課程了．同年日本電信電話公社（現 NTT）入社．平 4 から 1 年間米国コロロンビア大客員研究員．平 15 から名古屋大学大学院情報科学研究科教授．現在に至る．文字・図形認識，コンピュータビジョン，マルチメディア認識の研究に従事．工博．昭 60 本会学術奨励賞，平 6 IEEE-CVPR 最優秀論文賞，平 7 情報処理学会山下記念研究賞，平 8 IEEE-ICRA 最優秀ビデオ賞，平 13 高柳記念奨励賞，平 13 本会ソサエティ論文賞，平 14 本会業績賞，平 15 文部科学大臣賞，平 16 IEEE Trans．MM 論文賞，他受賞．情報処理学会会員，IEEE フェロー．