

車載カメラ画像からの高品質な道路画像の自動構築

野田 雅文[†] 高橋 友和^{†,††} 出口 大輔[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]
小島 祥子^{†,†††} 内藤 貴志^{†††}

[†] 名古屋大学 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 岐阜聖徳学園大学 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

^{†††} (株)豊田中央研究所 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1

E-mail: [†]mnoda@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,

^{†††}{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, ^{††††}{yoshiko-k,naito}@mosk.tytlabs.co.jp

あらまし 近年、自動車に搭載された車載カメラ画像と地図を対応付けることにより、高精度に自車の位置を知ることによってドライバアシストを行うカーナビゲーションシステムが注目されている。車載カメラ画像と対応付ける地図として道路面のみからなる道路画像が用いられる。このような用途において、道路画像は高解像度かつ道路面上に遮蔽が存在しない高品質なものである必要がある。本稿では、空撮画像と車載カメラ画像から高品質な道路画像を構築する手法を提案する。実際に撮影した空撮画像、車載カメラ画像を用いて実験を行った結果、提案手法によって高品質な道路画像を構築することができることが分かった。提案手法は、空撮画像を位置合わせの基準とし、車載カメラ画像をモザイクキングすることによって道路画像を構築するものである。

キーワード 道路画像構築, 空撮画像, 車載カメラ画像, 道路面, モザイクキング

1. はじめに

1.1 背景と目的

近年、自動車に搭載された車載カメラを用いたカーナビゲーションシステムが注目されている。車載カメラから撮影された画像とカーナビゲーションシステムが持つ地図を対応付けることにより、普及型 GPS と比べて高精度に自車の位置を知ることが可能となる。これによって、レーンアシストや交差点における停止運転行動支援などの高度なドライバアシストが実現できると考えられる。

先行研究 [1] [2] では、車載カメラ画像と対応付ける地図として空撮画像 (図 1) から切り出した道路画像 (図 2) が用いられている。道路画像と車載カメラ画像には共通する道路面が存在するため、各画像中の道路面を対応付けることにより自車位置を推定できる。しかしながら、実際の空撮画像は低解像度である場合 (図 3(a)) や、道路面に車両などの遮蔽が存在する場合 (図 3(b)) があるため、必ずしも空撮画像から自車位置推定に適した道路画像が得られるとは限らない。そこで、本研究では自車位置推定に適した高品質な道路画像を構築することを目的とする。このような道路画像を構築することによって、高精度な自車位置推定以外にも測量や道路状態の調査などに利用できると考えられる。

自車位置推定に適した高品質な道路画像とは、図 2 に示すような高画質かつ道路面に車両などの遮蔽が存在しないものを指す。また、自車位置推定に用いるために、各画素には高精度な位置情報が付随している。さらに、道路面の状態は時間の経過に伴い変化するため、道路画

像を定期的に更新する必要がある。このため、広範囲の道路画像を低コストに構築する技術が望まれる。

空撮画像は高精度な位置計測システムを搭載した航空機から撮影されるため、高精度な位置情報が付随した広範囲の道路画像を得ることができる。しかしながら、空撮画像には前述した低解像度や遮蔽の存在、高い撮影コストにより更新頻度が低くなる問題がある。一方で、車載カメラ画像中の道路面をモザイクキングすることによって、道路画像を構築する方法も考えられる。一般に、車載カメラ画像中の道路面は高解像度かつ自車前方の領域には遮蔽が少ないため、構築した道路画像は高品質なものとなる。また、車載カメラを搭載した多数の一般車両を用いることによって、低コストかつ高頻度に道路画像を更新できる。しかしながら、道路画像に対して高精度な位置を付随するためには、撮影された車載カメラ画像の位置を正確に推定する必要がある。これは、人手や高精度な計測装置を搭載した専用車両を用いることで達成できるが、そのコストは非常に高い。

そこで、本研究では空撮画像と車載カメラ画像を併用することで、これらを単一で用いる場合の問題を解決し、高品質な道路画像を低コストで構築する手法を提案する。

1.2 関連研究

車載カメラのような移動するカメラから撮影した画像のモザイクキング手法は、多数提案されている [3] [4]。これらの手法では、連続する画像間の対応からカメラの移動パラメータを推定し、時系列に画像をモザイクキングする位置を求めている。本研究と特に関連するものとして、



図 1: 空撮画像



図 2: 道路画像



(a) 低解像度



(b) 車両による道路面の遮蔽

図 3: 空撮画像から切り出した道路画像

Geiger らは前述の方法を用いて車両の動きを推定することにより、車載カメラ画像中の道路面をモザイクする手法を提案している [5]。しかしながら、車両の動き推定には累積誤差が伴うため、広範囲の道路画像を高精度に構築することは困難である。このような累積誤差の問題は、車載カメラ画像をモザイクする際に大域的な位置情報を持つ他の画像を位置合わせ基準として用いることによって、解決できる。

そこで、本研究では図 4 に示すように空撮画像を基準として、車載カメラ画像をモザイクすることで、道路画像を構築する。先行研究 [1] [2] においても、自車位置を推定するために空撮画像と車載カメラ画像中の道路面の対応付けを行っていたが、これらの研究で対象とする道路画像は高解像度かつ遮蔽のない空撮画像から切り

Aerial image

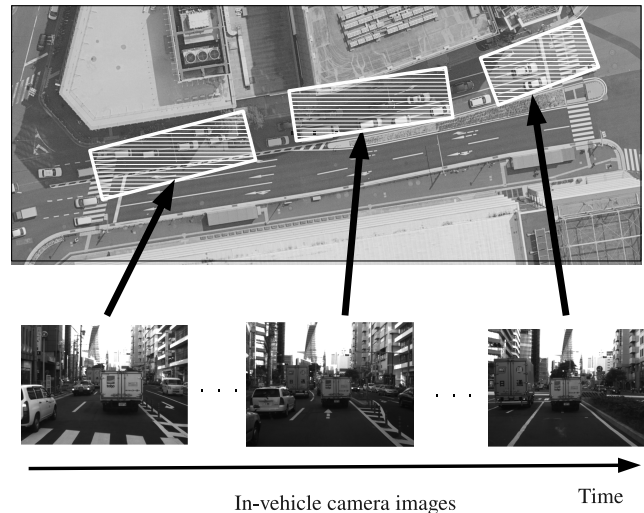


図 4: 車載カメラ画像のモザイクによる道路画像の構築

出したものである。このため、道路画像が低解像度である場合や、道路面に遮蔽が存在する場合、対応付けが困難となる問題がある。また、同様の考えに基づいた研究として、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) から撮影された空撮画像を用いた研究が行われている [6] ~ [9]。これらの研究では、極めて広範囲を撮影した衛星画像を基準とすることによって、キロメートル単位という空撮画像のモザイクを広範囲で行っている。空撮画像と衛星画像は撮影条件が近く、各画像には市街地全体や森といった対応付けに有効なテクスチャが豊富な領域が含まれるため、これらの対応付けは比較的容易である。これに対して、本研究で対象とする空撮画像と車載カメラ画像は撮影条件が大きく異なり、また道路面はテクスチャが乏しいため、対応付けることが難しい。提案手法ではこのような条件の違いに頑健な対応付けを行うことによって、高品質な道路画像を構築する。

以降、2 節では提案する空撮画像を基準とした車載カメラ画像のモザイクによる高品質な道路画像の構築手法について述べる。3 節では、実際に提案手法により道路画像を構築した実験結果を示し、考察を加える。最後に 4 節にて本稿をまとめる。

2. 提案手法

本研究では、空撮画像が低解像度である場合や、道路面上に車両などによる遮蔽が存在する場合を想定する。提案手法は、このような空撮画像中の低品質な道路画像を位置合わせの基準とし、各時刻の車載カメラ画像を対応付け、モザイクすることにより高品質な道路画像を構築する。はじめに、高品質な道路画像を構築する際の問題点とそれを解決する提案手法の工夫点を以下に述べる。

(1) 路面標示に着目した車載カメラ画像と空撮画像の対応付け：提案手法では、空撮画像と車載カメラ画像



(a) 対応付けが容易な例 (b) 対応付けが困難な例

図 5: 空撮画像との対応付けに用いる車載カメラ画像

間の対応付けに画像レジストレーション [10] を行う。この際、対応付けに用いる特徴はほとんどが道路面であり、撮影条件が大きく異なることや、道路面のテクスチャが乏しいことが問題となる。この問題に対して提案手法では、道路面の対応付けに有効であると考えられる路面標示に着目する。具体的には路面標示領域に対して重み付けしたレジストレーションの評価関数を導入することで、高精度な道路面の対応付けを行う。

(2) 対応付けに用いるキーフレームの選択：提案手法では、路面標示に着目して道路面を対応付けるが、時系列の車載カメラフレーム中には、対応付けに有効な路面標示が含まれないフレームが存在する。たとえば、図 5(a) のようにフレーム中に路面標示が多く含まれる場合は空撮画像との対応付けは容易であると考えられる。一方、図 5(b) のようにフレーム中に路面標示が含まれない場合は、空撮画像との対応付けが困難となる。そのため、提案手法では空撮画像と対応付けやすい車載カメラフレームのみをキーフレームとして選択して用いる。そして、キーフレーム間で対応付け結果を補間することによって道路画像を構築する。

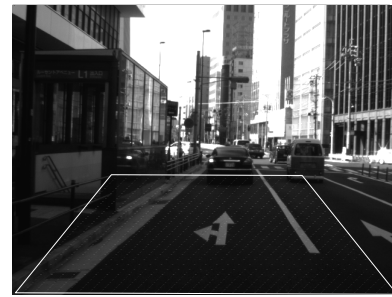
2.1 手法の流れ

入力として、道路領域を含む空撮画像 J と、対応する道路面上を走行した際に撮影した T フレームからなる車載カメラ画像系列 I_t ($t = 1, \dots, T$) を用いる。時刻 t における車載カメラ画像を I_t と表す。

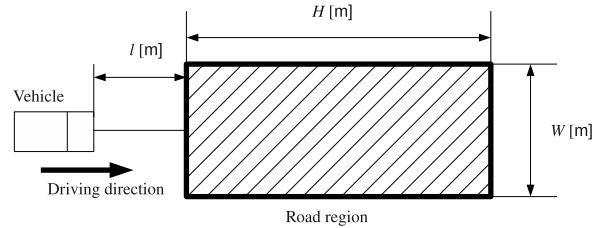
はじめに、車載カメラ画像系列の中から空撮画像と対応付けやすいフレームをキーフレームとして選択する。次にキーフレームとして選択した車載カメラ画像をレジストレーションにより空撮画像に対応付け、その車載カメラ画像が空撮画像のどの箇所に対応するかを求める。このとき、レジストレーションの初期パラメータは、連続する時刻の車載カメラ画像間の対応付けにより決定する。最後に、対応付け結果を用いて、系列全体の車載カメラ画像のモザイクングを行い、道路画像を構築する。

2.2 道路領域

本研究では、対応付けに用いる車載カメラ画像 I_t 中の道路領域 $\mathcal{R}(I_t)$ を図 6(a) に示すように定義する。図 6(a) に示す道路領域は、図 6(b) に示す車両の前方 l m の $W \times H$ m² の領域である。このとき、道路面を平面と仮



Road region $\mathcal{R}(I_t)$
(a) 車載カメラ画像中の道路領域



(b) 仮想的な車両と道路面のモデル

図 6: 対応付けに用いる道路領域

定し、カメラは道路面ならびに進行方向に対して平行に設置されているものとし、道路面からの高さを h m、画角 a° とする。以上のパラメータを用いて、図 6(b) の 3 次元空間中の道路領域を図 6(a) に示す車載カメラ画像中の道路領域 $\mathcal{R}(I_t)$ に変換する射影変換行列を求める。

以降の処理では、 $\mathcal{R}(I_t)$ に含まれる画素のみを処理の対象とする。

2.3 キーフレーム選択

車載カメラ画像系列を N 等分割し、分割した各区間からキーフレームを選択する。各区間から選択したキーフレームの時刻を t'_n ($n = 1, \dots, N$) と表す。各区間において車載カメラ画像中の道路面に含まれる路面標示領域の面積が最大となるフレームをキーフレームとする。これは、単純に路面標示が多く存在するほど、空撮画像と対応付けやすいという仮定による。本稿では、輝度に対するしきい値 ρ 以上の値を持つ画素を路面標示とする。

2.4 車載カメラ画像と空撮画像の対応付け

車載カメラ画像 I_t と空撮画像 J は、平面射影変換行列 \mathbf{H}_t により対応付けられるものとする。キーフレームとして選択された車載カメラ画像に対してこの対応付けを行う。キーフレームの時刻 t'_n における $\mathbf{H}_{t'_n}$ を求めるため、画像間のレジストレーション [10] を行う。具体的には、初期パラメータ $\mathbf{H}_{t'_n}^{(0)}$ を与え、最適化手法により $\mathbf{H}_{t'_n}$ を求める。このとき、 $\mathbf{H}_{t'_n}^{(0)}$ の設定が悪いと良好な $\mathbf{H}_{t'_n}$ が求まらない。そのため、提案手法では \mathbf{H}_t が時間に対して連続的に変化することを利用し、連続するフ

フレーム間を対応付けることで尤もらしい初期パラメータ $\mathbf{H}_{t'_n}^{(0)}$ を求める。

2.4.1 初期パラメータの推定

初期パラメータ $\mathbf{H}_{t'_n}^{(0)}$ を連続するフレーム間の対応付けによって求める。連続する時刻 $t-1$ と t における車載カメラ画像間の対応を平面射影変換 \mathbf{M}_t で表す。このとき、隣り合うキーフレーム間の関係を次式に示す。

$$\mathbf{H}_{t'_n}^{(0)} = \mathbf{M}_{t'_n-1} \mathbf{M}_{t'_n-2} \cdots \mathbf{H}_{t'_n-1} \quad (1)$$

連続するフレームは、撮影条件がほぼ等しいと仮定し、任意の画像間対応付け手法を用いて、 \mathbf{M}_t を求める。本稿では、次節で述べる車載カメラ画像と空撮画像の対応付け手法と同じものを用いる。

2.4.2 レジストレーションによる画像間の対応付け

車載カメラ画像 $I_{t'_n}$ と空撮画像 J の対応付けを以下の目的関数を最小化する画像レジストレーションにより行う。

$$\epsilon(\mathbf{H}_{t'_n}) = \sum_{\mathbf{x} \in \mathcal{R}(I_{t'_n})} w(I_{t'_n}(\mathbf{x})) (I_{t'_n}(\mathbf{x}) - J(\mathbf{H}_{t'_n} \mathbf{x}))^2 \quad (2)$$

車載カメラ画像 $I_{t'_n}$ 中の座標 $\mathbf{x} = [x, y, 1]^T$ に対応する空撮画像中の座標 $\mathbf{H}_{t'_n} \mathbf{x}$ を次式で表す。

$$\mathbf{H}_{t'_n} \mathbf{x} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

また、 $w(\mathbf{x})$ は重み関数を表し、以下で定義する。

$$w(I_{t'_n}(\mathbf{x})) = \begin{cases} \omega & I_{t'_n}(\mathbf{x}) \geq \theta \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

これは、画像中の路面標示を精度良く対応付けるために導入する重み関数である。路面標示は道路面中で高い輝度を持つため、提案手法ではしきい値 θ 以上の輝度の画素を路面標示とする。そして、路面標示の画素に対して重み $\omega (> 1)$ を設定し、画像間の対応付けを行う。本稿では、最急降下法 [11] を用いて目的関数である式 (2) を最小化する $\mathbf{H}_{t'_n}$ のパラメータ $[h_1, \dots, h_8]$ を求める。

2.5 モザイクキング

図 7 に示すように、各時刻の車載カメラ画像中の道路面をモザイクキングすることによって、道路画像を構築する。モザイクキングは、 \mathbf{H}_t ($t = 1, \dots, T$) を用いて、各時刻の車載カメラ画像中の道路領域を空撮画像の座標系に変換し、張り合わせることによって行う。時刻の異なる複数の画像を重畳する場合には、時刻の新しい画像により既に張り付けた画像を上書きする。任意の時刻 t における \mathbf{H}_t ($t'_{n-1} \leq t < t'_n$) は、近傍のキーフレームにおける $\mathbf{H}_{t'_{n-1}}, \mathbf{H}_{t'_n}$ のパラメータを線形補間して求める。

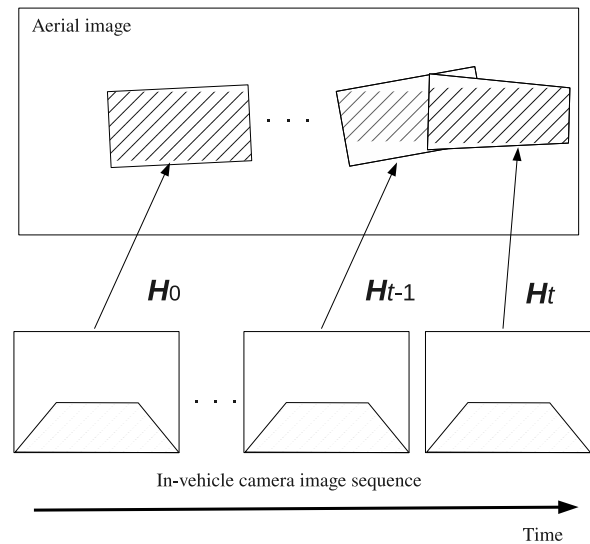


図 7: 車載カメラ画像のモザイクキング

3. 実験

実際に撮影した車載カメラ画像及び空撮画像を用いて、提案手法により道路画像の構築を行った。

3.1 実験条件

3.1.1 利用データ

市街地を走行した際に撮影した車載カメラ画像系列と、同経路の道路面が撮影されている空撮画像を用いた。車載カメラ画像は 2 系列用意した。図 8 に各系列の一部を示す。実験に用いた車載カメラ画像の解像度は 640×480 pixels、フレームレートは 30 fps であった。いずれの系列も 500 ($= T$) フレームからなる。車載カメラの設置条件は、 $W = 10, H = 20, l = 5, h = 1.6, a = 36$ とした。

表 1 に各車載カメラ画像系列に対応する空撮画像および構築した道路画像の解像度、遮蔽の占有率を示す。また、図 10, 11 にこれらの画像を示す。空撮画像の解像度は 0.15 m/pixel であり、撮影に伴う歪みはないものとした。提案手法の有効性を確認するため、各系列に対して異なる条件を持つものを用いた。系列 1 に対応する空撮画像は、道路画像の高解像度化に関する有効性を確認するため、元の空撮画像の解像度を 0.75 m/pixel に変換したもので用いた。この空撮画像中の道路領域には車両による遮蔽は存在しなかった。また、系列 2 に対応する空撮画像は、遮蔽の除去に関する有効性を確認するため、道路面上に車両などの遮蔽が存在するものを用いた。遮蔽された領域は、対象とした道路領域全体の約 16% を占めていた。

その他のパラメータについては、予備実験により $\omega = 100, \theta = 100, \rho = 150$ と設定した。また、 $N = 10$ としてキーフレームを選択し、車載カメラ画像系列の最初と最後のフレームをキーフレームに含めた。最初のフレームにおける車載カメラ画像と空撮画像の対応付けの初期パラメータ $\mathbf{H}_1^{(0)}$ を人手により与えた。



(a) 系列 1



(b) 系列 2

図 8: 車載カメラ画像系列

表 1: 実験に用いた空撮画像および道路画像の構築結果

| 系列 | 車載カメラ画像 | | 解像度 (m/pixel) | 遮蔽の占有率 (%) | 基準点の平均誤差 (m) |
|----|---------|------------------|---------------|------------|--------------|
| 1 | 図 8(a) | 空撮画像 図 10(a) | 0.75 | 2 | 1.6 |
| | | 構築した道路画像 図 10(b) | 0.10 | 2 | |
| 2 | 図 8(b) | 空撮画像 図 11(a) | 0.15 | 16 | 2.4 |
| | | 構築した道路画像 図 11(b) | 0.10 | 7 | |

3.1.2 評価基準

構築した道路画像を評価するため、本実験では以下の3つの指標を用いた。

(1) 解像度：路面標示の実際の面積を構築された道路画像中の路面標示を画素数で割ることにより算出した。

(2) 遮蔽の占有率：道路領域中に存在する車両などの遮蔽とみなされる画素の数を数え、全体に対する割合として算出した。

(3) 基準点における平均誤差：元の空撮画像に対する構築された道路画像の歪みの指標として、各画像から同じ地点を示す基準点の位置の平均誤差を用いた。本実験では、基準点として道路領域中に存在する路面標示の端点などのユニークな箇所を用いた。図 9 に基準点の例を示す。

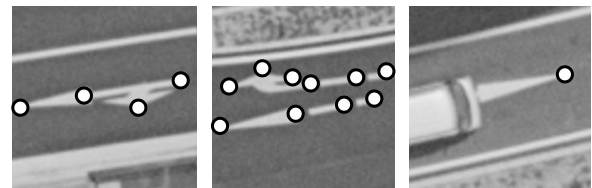


図 9: 基準点：図中の印により表す。

この系列では、解像度が約 0.15m/pixel から約 0.1m/pixel に向上した。また、道路面上に存在する車両などの遮蔽の占有率が 16% から 7% に改善した。除去しきれなかった遮蔽領域のほとんどは、道路脇の駐車車両によるもので、車線の中央付近の遮蔽は良好に除去できていた。40 点の基準点における平均誤差は約 2.4m であった。

3.3 考察

3.3.1 高解像度化

車載カメラ画像中の道路面をモザイクングすることで、元の空撮画像から高解像度な道路画像を構築できた。しかしながら、図 10(b)、11(b) 中には路面標示が歪んだ箇所が存在した。この要因については、3.3.4 節で述べる。このような歪みにより、構築した道路画像中の位置に応じて解像度が異なると考えられる。また、これは各系列において基準点における平均誤差にも影響している。今後は、高解像度化とともに画像の歪みに対する改善手法も検討した。

3.3.2 遮蔽の除去

図 13 に、系列 2 中の同地点における元の空撮画像と構築した道路画像の一部を拡大したものを示す。この図

3.2 実験結果

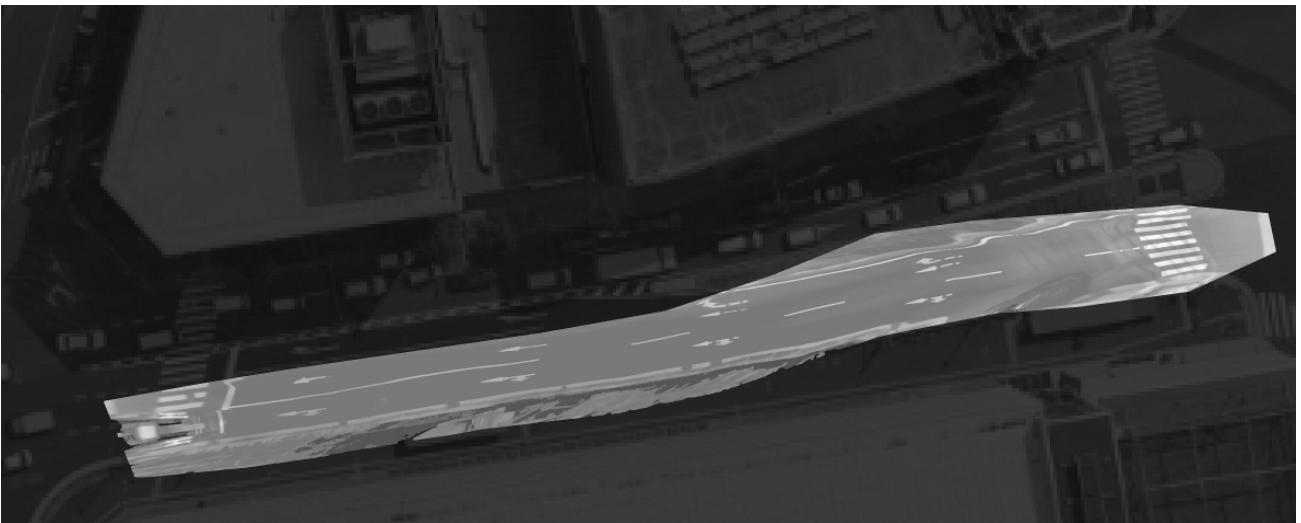
図 10(b)、11(b) に構築された道路画像を元の空撮画像に重畳したものを示す。構築した道路画像をハイライトで示す。また、表 1 に各系列の構築された道路画像の解像度、遮蔽の占有率、基準点の平均誤差を示す。

図 10(b) は系列 1 に対する道路画像の構築結果である。この系列では、解像度が元の空撮画像の約 0.75m/pixel から約 0.1m/pixel に向上した。図 12 に、同地点における元の画像と構築結果の一部を拡大したものを示す。この図より、元の解像度では形状が不鮮明であった路面標示が、高解像度化により鮮明になったことが確認できる。60 点の基準点における平均誤差は約 1.6m であった。

図 11(b) は系列 2 に対する道路画像の構築結果である。



(a) 空撮画像：対象とした道路領域をハイライトで表示する。



(b) 構築した道路画像：ハイライトで表示する。

図 10: 空撮画像および構築した道路画像 (系列 1)

より、路面標示を遮蔽していた車両が除去され、路面標示が視認できるようになっていることが分かる。しかしながら、同地点の画像を切り出したにも関わらず、路面標示の位置ずれが発生していることが確認できる。これは、空撮画像中の遮蔽の有無に関係なく、道路面の対応付けを行うため、遮蔽が存在する場合に対応付けが正確に行われないことが原因であると考えられる。この問題は、あらかじめ車両などを検出し、遮蔽とみなす領域を除外してから対応付けることによって解決できると考えられる。

3.3.3 道路面の対応付け

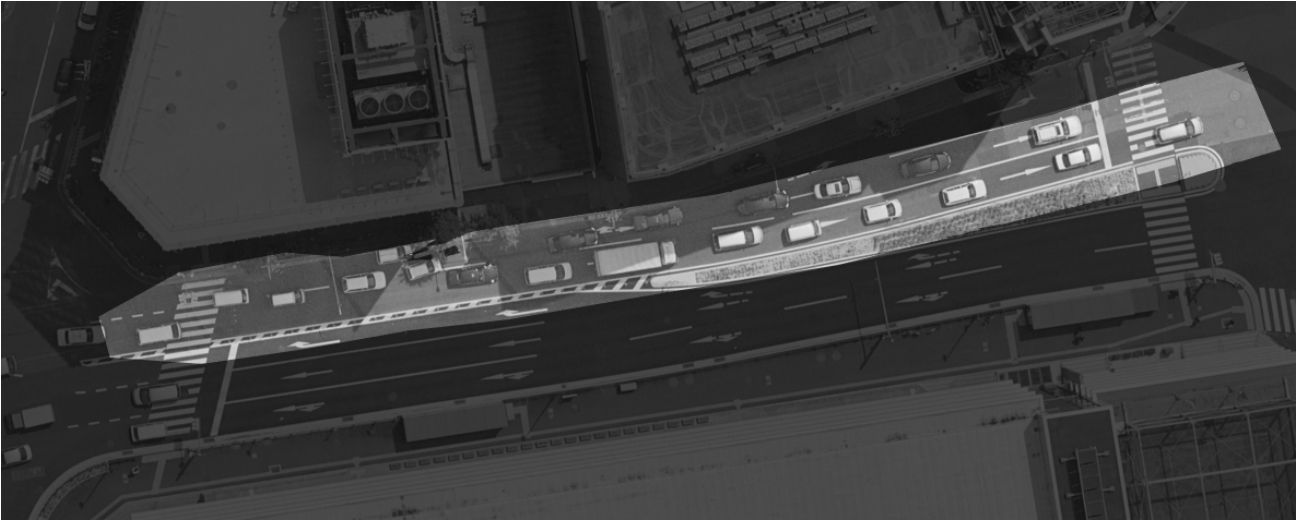
提案手法で工夫した点の1つである空撮画像と車載カメラ画像を対応付ける際のレジストレーションの評価関数に対する重み付けの効果を確認するため、予備実験として重み付けを行わない対応付け手法と比較した。この結果、系列1における基準点の平均誤差が、重み付けを行わない場合に比べて約0.1m減少し、若干ではあるが重み付けの効果を確認した。今後はより高精度な対応付

け手法の実現に向けて、車載カメラ画像と空撮画像の解像度の違いを考慮したレジストレーションの評価関数の導入などを検討したい。

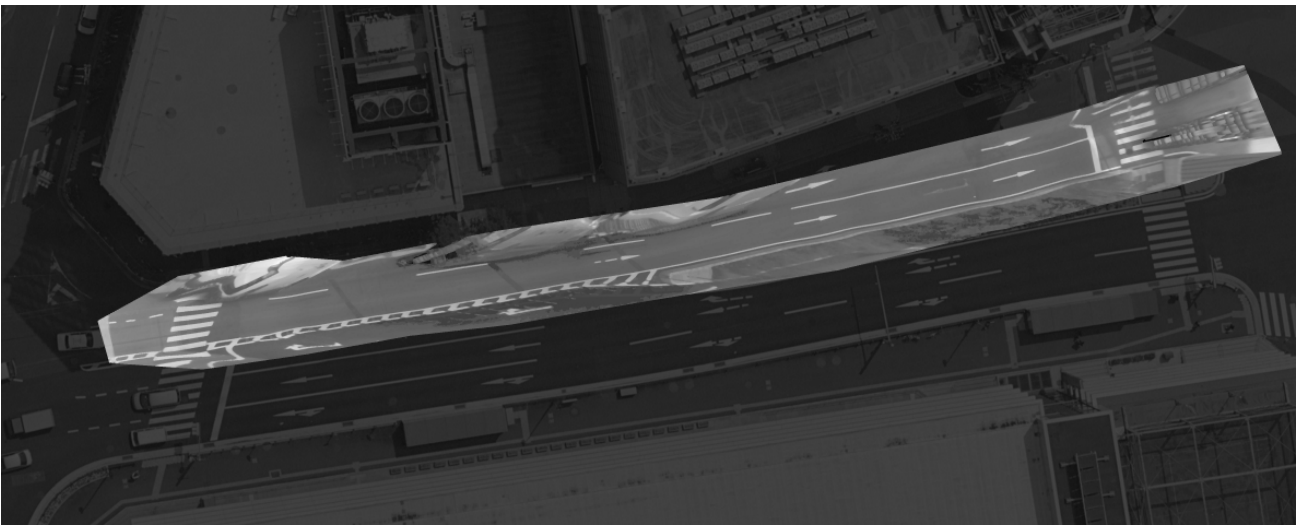
3.3.4 キーフレーム選択

提案手法のもう1つの工夫点である路面標示が多く存在するキーフレームのみを空撮画像と対応付けた場合との比較として、全ての車載カメラのフレームを対応付けに用いた場合、路面標示が少ないフレームにおいて対応付けに失敗した。その結果、道路画像を構築できなかった。このことから、提案手法によるキーフレーム選択の有効性を確認した。

しかしながら、構築された道路画像には図14に示すような区画線が歪んだ箇所などが存在した。対応する車載カメラ画像において、車線変更に伴い、車両の速度や動きが大きく変化していることが確認できた。このことから、区画線の歪みの原因は、キーフレーム間の車両の大きな変化に対応できなかったことであると考えられる。このため、キーフレーム選択方法を検討する必要がある。



(a) 空撮画像：対象とした道路領域をハイライトで表示する．



(b) 構築した道路画像：ハイライトで表示する．

図 11: 空撮画像および構築した道路画像 (系列 2)

3.3.5 自然な画像合成

車載カメラ画像が撮影された場所によって、周辺の建物による影の影響で道路面の輝度が異なること、モザイクキング時に画像のエッジが不連続になること、などが見られた。今後は、より自然な道路画像の構築手法も検討する。

4. ま と め

高品質な道路画像を構築することを目的とし、空撮画像を位置合わせの基準として、車載カメラ画像をモザイクキングすることで道路画像を構築する手法を提案した。実験の結果、提案手法によって構築した道路画像は、空撮画像と比較して高解像度であり、遮蔽が良好に除去されたものであることを確認した。今後は車両検出による対応付けの高精度化、キーフレーム選択方法の検討を行っていきたい。

謝 辞

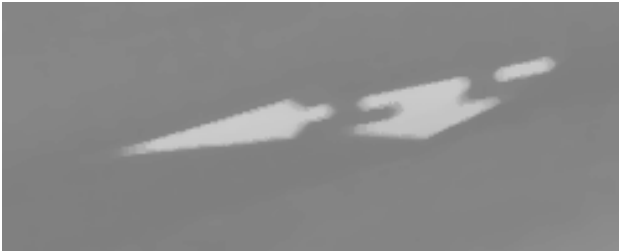
日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する。本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST および科学研究費補助金による。また、本研究を進めるにあたり貴重なアドバイス、データを提供して頂いた(株)豊田中央研究所に深く感謝する。

文 献

- [1] M. Noda, T. Takahashi, D. Deguchi, I. Ide, H. Murase, Y. Kojima and T. Naito: "Vehicle ego-localization by matching in-vehicle camera images to an aerial image", Proc. ACCV2010 Workshop on Computer Vision in Vehicle Technology: From Earth to Mars, pp. 1-10 (2009).
- [2] O. Pink, F. Moosmann and A. Bachmann: "Visual features for vehicle localization and ego-motion estimation", Proc. Intelligent Vehicles Symp., pp. 254-260 (2009).
- [3] R. Szeliski: "Image mosaicing for tele-reality applications", Proc. IEEE Workshop on Applications of



(a) 元の空撮画像



(b) 構築した道路画像

図 12: 高解像度化



(a) 元の空撮画像



(b) 構築した道路画像

図 13: 遮蔽の除去



図 14: 区画線の歪み

Robotics System, **55**, pp. 323–343 (2009).

- [8] Y. Lin and G. Medioni: “Map-enhanced UAV image sequence registration and synchronization of multiple image sequences”, Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1–7 (2007).
- [9] 西村, 藤吉: “空撮画像と衛星画像のレジストレーションによる道路状況把握のための車両移動方向の可視化”, 情報処理学会 研究報告 CVIM 163, pp. 129–136 (2008).
- [10] B. Zitova: “Image registration methods: a survey”, Image and Vision Computing, **21**, 11, pp. 977–1000 (2003).
- [11] S. Baker and I. Matthews: “Lucas-Kanade 20 years on: A unifying framework”, Int. J. Computer Vision, **56**, 1, pp. 221–255 (2004).

Computer Vision, pp. 230–236 (1994).

- [4] D. Capel: “Image mosaicing and super-resolution (Cphc/Bcs distinguished dissertations.)”, Springer-Verlag (2004).
- [5] A. Geiger: “Monocular road mosaicing for urban environments”, Proc. Intelligent Vehicles Symp., pp. 140–145 (2009).
- [6] A. Camargo, R. R. Schultz and Q. He: “Super-resolution mosaicking of unmanned aircraft system (UAS) surveillance video using Levenberg Marquardt (LM) algorithm”, Proc. Int. Symp. on Visual Computing, pp. 698–706 (2010).
- [7] F. Caballero, L. Merino, J. Ferruz and A. Ollero: “Unmanned aerial vehicle localization based on monocular vision and online mosaicking”, J. Intelligent