

SIFT key 追跡に基づく撮影対象空間の重複度合定量化への試み

住谷 司[†] 亀田 能成^{††} 大田 友一^{††}

^{††} 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]sumiya@image.iit.tsukuba.ac.jp, ^{††}{kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本論文では、撮影画像中の SIFT key を元に、その撮影対象空間の三次元情報を陽に求めることなく、画像上で撮影対象空間の重複度合を定量化する手法について提案する。撮影対象空間の重複度合解析は、多カメラでの空間モニタリングにおける重要な課題の一つである。モニタリングでは観察方向が重要な情報なので、撮影対象空間の重複度合は、空間自体の重なりだけでなく、各カメラの視線方向も考慮して定量化されなければならない。本研究では、移動カメラであれ、固定カメラであれ、同一空間内で撮影しているカメラが同一方向から重複して撮影している部分空間を計測対象とし、その見かけの大きさを定量化する。本稿では重複する部分空間を検出するために SIFT key を用い、各画像で共起して発生する SIFT key 集合を求め、撮影対象空間の重複度合を画像上での SIFT key 集合の外接矩形で定義する。特に、移動カメラのように画像間に時間的連続性が期待できる場合は、まず SIFT key の追跡を行い、一定期間以上追跡ができた SIFT key 集合に基づいて重複度合を求める。この SIFT key 追跡のために、フレーム間での近傍拘束を導入する。実験により、移動カメラが固定カメラの近傍を通る様子を定量化できることを示す。

キーワード 特徴点追跡, 移動カメラ, 固定カメラ, モニタリング

Overlapping Area Measurement of Camera View Volumes Based on SIFT Tracking

Tsukasa SUMIYA[†], Yoshinari KAMEDA^{††}, and Yuichi OHTA^{††}

[†] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba Tennodai 1-2-3,
Tsukuba-shi, Tokyo, 305-8573 Japan

E-mail: [†]sumiya@image.iit.tsukuba.ac.jp, ^{††}{kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract This paper proposes a new measurement method of overlapping area of viewing volumes of multiple cameras. It is defined by an overlapping amount of the two volumes observed on camera images, and 3D explicit analysis is not needed to estimate it. Analysis of overlapping space that is visible from different cameras is important for monitoring applications. The extent of the overlapping space should be figured not only by the overlapping amount of camera viewing volumes but also by the lines of sight of the cameras. We exploit SIFT key to estimate the overlapping extent. The intersection set of the SIFT keys which are simultaneously observed on different images is estimated and the bounding box of which drawn on an image indicates its overlapping area. In case of extracting SIFT key set in a video sequence taken by a moving camera we introduce lifetime constraint so that only the long lasting keys could be counted for calculation. We have conducted some experiments in real environment and succeeded in showing the overlapping area of fixed cameras in a video sequence taken by a moving camera, where the fixed cameras are placed among the video path.

Key words Feature point tracking, Moving camera, Fixed camera, Monitoring

1. はじめに

近年、セキュリティの確保を行う必要性が高まっており、人

間の行動を観測するため、人間が生活する環境中にカメラを設置するケースが増加している。そのため、市街地や建物内に設置される監視カメラの数は年々増え続けており、人間の目に代

わって社会を見渡している。現在の監視カメラシステムの用途は侵入者の検知等を目的とするだけでなく、道路状況の調査や物体の認識、人物認証など、人間の生活する環境全般に渡っている。人間の生活環境中に監視カメラを用いることは、犯罪の抑制やセキュリティ向上の手段としても有効であり、今度、需要が高まり、それに伴って、更に設置台数が増加することが予想される。

複数カメラを擁するモニタリングにおいては、カメラ同士が同じ撮影対象空間を共有していることがわかると、様々な用途が考えられるようになる。例えば、似た方向から撮影した複数のカメラがあるのなら、対象の動きをより詳細に点検したり、ワイドベースラインステレオ計測を用いて奥行き情報を得たりできるようになる。一方で、異なる方向から撮影した複数のカメラがある場合は、対象の三次元形状復元が可能となる。これらのように、カメラ同士で撮影対象空間に重なりがあるかどうかを調査することは有益である。また、上述の例のように、撮影対象空間の重複度合いを調べる際には、撮影対象空間の単純な重なりのみでなく、各カメラの観測方向も考慮されなければならないことがわかる。

モニタリングにおいて、カメラ同士の観測方向の関係には様々なものが考えられるが、本研究ではカメラ同士が比較的近い方向から共通する撮影対象空間を観測している状況を取り上げる。このような重複は、注目する対象をより詳細に点検しようと考えた場合などに特に有用である。

複数カメラを用いたモニタリングシステムにおいて、撮影対象空間の重複度合いを求めるには、陽に三次元的な解析を行う三次元的アプローチと、それを行わない二次元的アプローチとが考えられる。

三次元的アプローチは、カメラの内部・外部パラメータを陽に与え、それをもとに撮影対象空間の重複度合いを解析する方法である。この方法には、重複空間内の対象について画像間での特徴点の対応さえ取れば、その三次元情報復元まで可能になるという利点がある。一方で、多カメラシステムにおいてカメラの内部・外部パラメータを全てのカメラで得ることは一般には容易ではないという問題がある。

それに対して、二次元的アプローチでは、カメラと世界との関係を規定するカメラパラメータを利用せず、各カメラの画像解析から、撮影対象空間の重複度合いを推測する。この場合、撮影対象空間の空間的重なりは、撮影対象空間の見かけ上の重なりをもって推測し、視線方向の評価については、撮影対象空間が見かけ上同じように見えるということをもって、対象空間を同じ側から見ていると見なす。この手法では、カメラパラメータを必要としないのが利点であるが、一方で、撮影対象空間の重なりを解析は画像解析に依存することになり、そのために本研究では SIFT key を導入する。

本研究では、同一空間内に存在する持ち運び可能な移動カメラと環境中に設置された固定カメラを用いて、それぞれ映像シーケンスを取得し、撮影対象空間を写した画像同士の重複度合いを調べることにより、撮影対象空間の重複領域の見かけの大きさを定量化することを目標とする。これらのカメラ間で画像

から相関を求める際には、画像が互いに同一視点から撮影されているわけではないので、画像的な連続性は必ずしも期待できないという問題がある。このような映像シーケンスについて、画像中に存在する自然特徴量を用い、マッチングを行うことによって画像同士の重複度合いを求める。本研究では、観測視線方向を考慮し、画像の向きが近いときのみ反応する特徴量として、SIFT 特徴量を用いて、撮影対象空間の重複度合いを定量化する手法を提案する。

アプリケーションの一例として、固定カメラ群が設置されている空間内を移動カメラによって撮影し、移動カメラの撮影対象空間が固定カメラの撮影対象空間とどのように重複しているかを解析し可視化することを取り上げる。実験によって、移動カメラ・固定カメラの映像シーケンスそれぞれにおいて、撮影対象空間の重複度合いが定量的な形式で表示できることを確認した。

2. 関連研究

手動でのカメラ校正を前提とするモニタリングシステムとして、Nguyen らの研究 [1] が挙げられる。Nguyen らは、屋内の大規模空間において、適応可能な監視カメラシステムの実現を試みた。また、Wu ら [2] は、較正済みカメラを用いて、撮影対象の位置検出・追跡による非日常イベントの自動検出を行っている。これらは、全てのカメラについて、撮影対象空間の重複領域を求めることができ、モニタリングする上では非常に有用な情報を既に得ることができる。しかし、カメラの台数が増加し、カメラシステムがさらに広範囲にわたって設置される場合、全てのカメラに対して、手動で必要なカメラパラメータを得ることは困難である。

モニタリングとカメラ関係の構築を同時に目指す研究としては、対象となる物体自体を利用して、カメラ関係を自動的に記述しようとする試みがこれまでも報告されている [3] [4]。しかし、これらは、カメラと対象物の距離が十分に大きくなくてはならない等様々な制約があり、まだ適用できる状況に制限があるのが現状である。

一方、画像中から自然特徴を抽出し、それらの画像同士の対応点を検出し、カメラの位置、姿勢を推定する研究が行われている [5] [6] [7]。例えば、金谷ら [6] は静止シーン中において移動する未較正カメラによって観測したオプティカルフローを用いて、画像の誤差の統計的モデルを導入し、3次元復元を行えることを示している。Klein ら [7] はカメラ軌跡推定と自然特徴の三次元情報の推定とを並列に行うことで、効率よく実時間でその両方を行えることを示している。しかし、これらの自然特徴の追跡を前提とする手法は、いずれも移動カメラで撮影された連続画像を前提としているため、本研究で想定するような、移動カメラと固定カメラとの間での自然特徴の相関を考える状況には適用しにくい。

そこで、本研究では、撮影に用いるカメラの種類や撮影条件の変化に比較的頑健な自然特徴マッチングを行うため、SIFT [8] を導入する。

3. SIFT key の利用と追跡

3.1 SIFT key による対応づけ

本研究では、固定カメラと移動カメラとの間の解析のように撮影条件の異なる画像や、時間的、空間的に連続でない画像間でも対応付けを検出できる必要がある。このとき、用いる画像特徴は、対応付けをすべきカメラ同士の位置姿勢が、撮影対象空間に対してある程度近い場合のみ検出される特徴量であることが望ましい。これらの条件を満たす特徴量として、本研究では SIFT [8] を利用する。SIFT key は画像の平行移動、スケール変化、回転などの二次元的変動に対して不変な局所特徴量であり、微分特徴を用いることから照明変動に対応可能で、かつ立体的な見かけの変化に対しても一定の許容性があるという性質がある。よって、移動カメラ画像における近傍フレーム同士の対応点を検出するだけでなく、撮影条件が異なり、時間的、空間的に不連続である固定カメラ画像と移動カメラ画像同士の対応点も検出することが可能であると思われる。

SIFT key のマッチングは、アフィン変換によるパターン歪みにある程度ロバストであるが、カメラで見かけが 20 度以上変化しているような三次元的回転には対応できないとされている。よって、観測方向が大きく異なったカメラから得られる画像同士の対応点は検出されず、画像の方向が近い場合のみ対応点を多く検出することができる。また、SIFT key は局所的に大きさを持つ特徴量であることから、SIFT key の対応が取れた時点で、その key の大きさに見合う部分空間の重複が検出できたとみなすことができる。

各 SIFT key は多少の大きさを持つので、対応が取れた SIFT key の各画像上での集合を求め、それらが画像上で占める領域を求めれば、それが撮影対象空間の見かけ上の重複領域を表していることになる。

3.2 SIFT key の追跡問題

ところで、SIFT key を用いて移動カメラの映像シーケンス内で、撮影対象空間の重複を探索しようとするとき、撮影状況によっては SIFT key 検出の変動が障害となることがある。移動カメラの映像シーケンスでは、その特性上、隣接したフレームはほぼ同じ場所、同じ方向から撮影されることになる。よって算出される SIFT key は類似していると予想されるが、その一方で、1つ1つの SIFT key は各フレームの画像処理によって得られるため、必ずしも同じ局所性（位置・大きさ）、同じパターンを示すとは限らない。

例として、オフィス環境でカメラを固定し、移動物体がない状態で撮影を行って得た映像シーケンスから、各フレームで SIFT key 集合を求め、連続する 2 フレームごとにマッチングできた対応点数の推移を、図 1 に示す。

グラフから、静止環境の撮影においてすら、画像ノイズや微妙な照明変動によって、SIFT key の検出状況が変化し、よって対応点数が安定しないことがわかる。これに対応するためには SIFT の局所画像特徴解析を時間方向に拡張することも考えられるが、本稿では、次節の SIFT key の近傍拘束を導入することでこの問題に対応する。

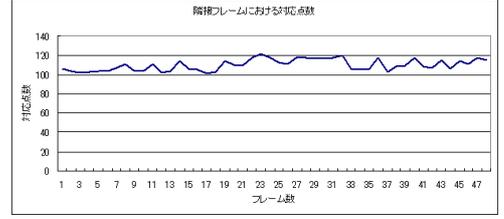


図 1 固定カメラの隣接フレームにおける対応点数の推移

3.3 SIFT key の近傍拘束

2つの画像について注目したとき、それらを撮影したカメラの方向が十分に近ければ、key どちらのマッチングを求めることで、見かけの重複領域を得ることができる。画像を撮影するカメラ同士が近ければ、同一の画像特徴を持つ SIFT key が得られる可能性が高くなる。そうではなくとも、複数のフレームにおいて、SIFT key の発生する場所や大きさがわずかに異なる場合、それらの SIFT key 同士は、SIFT key の大きさを半径とする円を用いると包含関係を構成している場合が多い(図 2)。不安定に算出される SIFT key でも、包含関係を有している SIFT key を用いることで、複数フレームに渡って対応点を追跡することが可能になると考えられる。これを SIFT key の近傍拘束と呼ぶ。

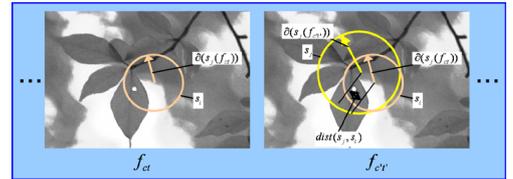


図 2 包含関係を持つ SIFT key

この近傍拘束に基づく SIFT key の対応探索のアルゴリズムを以下に示す。

今、カメラ c のフレーム番号 t の画像 f_{ct} と、カメラ c' のフレーム番号 t' の画像 $f_{c't'}$ とを考える。画像 f_{ct} から得られる SIFT key 集合 S を (1) 式で示す。ここで、 s は 1 つの SIFT key を表し、 n_{ct} 個の key が生成されたものとする。

$$S(f_{ct}) = \{s_i(f_{ct}) \mid 1 \leq i \leq n_{ct}\} \quad (1)$$

ある key $s_i(f_{ct})$ に対する $f_{c't'}$ 上の近傍拘束を満たす SIFT key 集合 M は $S(f_{c't'})$ の部分集合であり、(2) 式で定義できる。

$$M(S(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) = \left\{ S_j(f_{c't'}) \mid \begin{array}{l} \text{dist}(s_j(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) \\ \leq \max(\partial(s_j(f_{c't'})), \partial(s_i(f_{ct}))) \\ \text{and} \\ \text{sim}(s_j(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) \geq \varepsilon \\ \text{for } 1 \leq j \leq n_{c't'} \end{array} \right\} \quad (2)$$

ただし、ここで $\text{dist}(s_j, s_i)$ は 2 つの key の中心間の画像上での距離を表し、 $\partial(s_i)$ は key の大きさを示すものとする。

$sim(s_j, s_i)$ は 2 つの key のパターン特徴量の類似度を表すものとし、 ϵ は許容する類似度の下限を示す定数である。

この M の中で最も $s_i(f_{ct})$ に画像上で近い key s_j を、 $s_i(f_{ct})$ に対応する $f_{c't'}$ 上の key とする。ただし、 M が空集合である場合は、対応する key は存在しないものとする。

$$m(S(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) = \left\{ S_{\hat{j}}(f_{c't'}) \left| \begin{array}{ll} \hat{j} = \arg \min(\text{dist}(s_j(f_{c't'}), s_i(f_{ct}))) & \text{if } M \neq \emptyset \\ \text{none} & \text{otherwise} \end{array} \right. \right\} \quad (3)$$

このことから、画像 f_{ct} の key 集合 $S(f_{c't'})$ から $f_{c't'}$ の key 集合 $S(f_{c't'})$ に対応探索をした場合、 $f_{c't'}$ において、

$$MS(S(f_{c't'}), S(f_{ct})) = \{m(S(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) \mid 1 \leq i \leq n_{ct}\} \quad (4)$$

が撮影対象空間の見かけ上の重複を示す key 集合となる。同時に、その key 集合に対応する画像 f_{ct} における key 集合は、

$$OS(S(f_{c't'}), S(f_{ct})) = \{s_i(f_{ct}) \mid m(S(f_{c't'}), s_i(f_{ct})) \neq \phi \text{ for } 1 \leq i \leq n_{ct}\} \quad (5)$$

となる。

3.4 包含関係に基づく SIFT key の追跡

移動カメラで撮影した映像シーケンスについても、3.3 節のアルゴリズムを基本的にはそのまま適用する。ある移動カメラ c における連続する 2 フレームごとに、SIFT key の対応探索を行う。

連続する映像シーケンスの場合、信頼できる key は複数フレーム間に渡って近傍拘束に従いながらも継続して検出できていると考えられる。このため、それぞれで対応が取れた key について追跡ができたフレーム数 lt (LifeTime) の情報を付加する。すなわち、 lt が大きい対応点ほど長時間追跡することができたことを表し、信頼性の高い対応点であると見なせる。本稿では、経験的に LifeTime を 5 以上の key のみで対応づけ出来る場合、比較的信頼性の高い対応点と見なす。なお、ある特徴点が lt フレームに渡って継続的に検出できた場合、全てのフレームの該当する key それぞれに同じ LifeTime 値 lt が付されることに注意する。このことから、本節の処理はポストプロセス形式となる。

3.5 移動カメラ映像と固定カメラ画像との重複度合解析

移動カメラ映像中のあるフレームと、固定カメラ画像について、重複度合の解析を行う場合、3.3 節のアルゴリズムと 3.4 節のアルゴリズムとを併用する。

まず、移動カメラ映像シーケンスだけについて、3.4 節のア

ルゴリズムを実行し、対応が取れた SIFT key 集合の各要素について LifeTime 情報を付加する。その上で、一定の LifeTime 以上の key のみを残し、それ以外の key を全て棄却することで、高信頼 key 集合を得る。

その上で、固定カメラ画像の key 集合と、移動カメラでの各フレームの高信頼 key 集合との間で、3.3 節のアルゴリズムを実行し、最終的な重複解析を行う。

4. 重複領域の記述

前節までの解析により、各フレームについて、見かけの重複度合いを暗示する key 集合がそれぞれ得られる。追跡した SIFT key によって得られた画像上の対応点と、その周辺が重複領域となっていることは明らかである。

一方で、本稿で提案する手法は、画像間の重複解析を SIFT key に依存しているため、局所特徴が豊富でない撮影対象空間が存在する場合、それに対応することはできない。しかしながら、SIFT key の特性から、フレーム間で対応数が十分に存在する場合、カメラ同士の位置関係が比較的近いと考えられる。このことから、本稿では、2 点以上の対応点が追跡できた場合、その 2 点を結ぶ線分の近傍領域もまた重複領域とみなすことができるものとする。よって、追跡した対応点の情報を用いて、矩形を描画し、その内側を重複領域とする。

具体的には、各フレームで最終的に得られた全ての SIFT key について、その中心を包含する外接矩形を定義し、これを最終的な重複度合いの定量化された形とする。

3.4 節の手法によって得られた、1 つの移動カメラの映像シーケンスで得られた重複領域の表示例を図 3 に示す。特徴量の特性上、テクスチャ的に情報が無い部分については SIFT key が算出されないため、そのような領域については重複領域を推定することは困難である。一方で、対応点の追跡が十分に行われている範囲に関しては、重複領域を推定できていることが分かる。

5. 実験

本手法を用いて、SIFT key の追跡実験、及び重複領域の推定実験を行った。固定カメラと撮影カメラを用いて数種類の映像シーケンスを用意し、本手法を適用した。

5.1 実験環境

本実験では、固定カメラと撮影カメラを用いて、同一空間内を撮影し、映像シーケンスを取得した。固定カメラとして AXIS 205、撮影カメラとして、デジタルカメラ (Panasonic DMC-FX55) を利用し、解像度は共に 640×480 の VGA サイズとした。また、撮影カメラは動画撮影機能を使用し、撮影後にフレームレートを 3fps にした。

5.2 SIFT key の追跡と重複領域

移動カメラを用いて撮影した映像シーケンスについて、SIFT key の追跡実験と各フレーム間における重複領域の推定を行った。映像シーケンスは次のような種類を用意した。

- 撮影空間中の一部を注目し撮影
- 奥行きのある空間を撮影

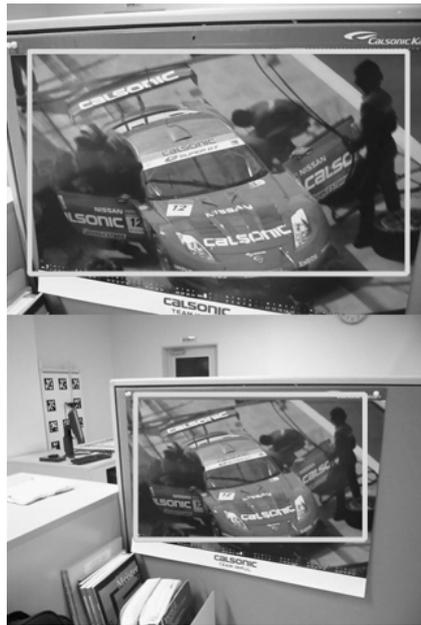


図 3 描画された重複領域の例

c. 照明変動のある撮影空間を撮影

追跡を行った結果の一部を図 4 に示す．図中左から右への方
向を時間方向とし，ある時刻で連続する 2 フレームを上下に示し
ている．各画像に描画されているラインは複数フレームに渡っ
て追跡ができた key のうち， $lt \geq 5$ であるものを示しており，
矩形内部が重複領域を示している．どのシーケンスにおいても，
非常に広範囲の重複領域が推定されていることが分かる．

シーケンス a は，各フレームの撮影対象空間が重複するよ
うに撮影した．また，SIFT key が多く算出されるような対象
について撮影を行ったため，対応点の追跡も安定して行うこと
ができた．ただし，SIFT key が算出されないような，テクス
チャ情報のない部分に関しては SIFT key の追跡を行うことが
できなかったが，局所特徴が豊富な撮影領域に囲まれているた
め，重複領域として推定されている部分空間が存在しているこ
とが分かる．

シーケンス b は，奥行き方向に物体が広がっている状態で撮
影を行った．そのため，移動カメラが移動するにつれて，見か
け上運動視差が大きく現れる．本手法では，前方後方に関係な
く対応点を追跡し，非常に安定した追跡を行うことが出来た．
そのため，重複領域を広範囲にわたって抽出することができて
いる．

シーケンス c は，撮影中に一部の照明の点灯・消灯を行って，
照明条件が異なる空間を対象に撮影を行うことで，SIFT 特徴
量の照明変動にロバストである特性を検証する実験を行った．
マッチングを行う際に，対応点の数がわずかに減少するが，対
応点の追跡には殆ど影響がなく，シーケンス a と同様に，安定
した追跡を行うことが出来た．シーケンス c では壁などのテク
スチャ情報のない部分空間が大きく分布していたため，その部
分に関しては SIFT key が算出されず，シーケンス a, b ほどの
広範囲で重複領域を推定することができなかったと思われる．

これらの結果から，包含係を用いて対応点の追跡を行う場

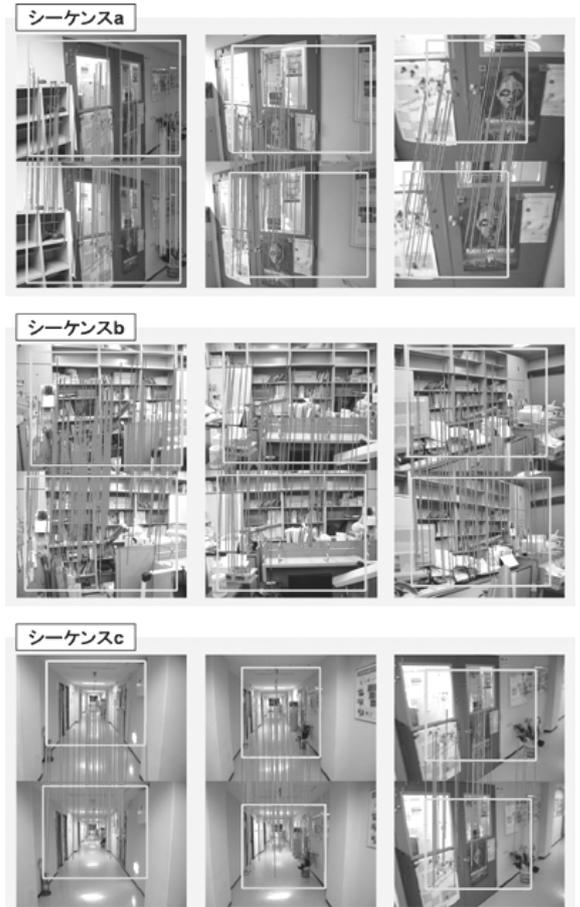


図 4 追跡実験と重複領域推定

合に，LifeTime を設定し，信頼性の高い対応点を判別すること
によって，誤対応が殆ど発生しない状態で各フレームの SIFT
key を対応付けることができた．また，条件の異なる 3 つの
シーケンスについて，比較的広範囲において重複領域を推定す
ることができ，本手法の有用性を確認することができた．

5.3 撮影条件の異なる画像における重複領域推定

固定カメラと移動カメラととの間での重複領域推定を行った．
まず，5.2 節と同様に，移動カメラで撮影したシーケンスに対
し，対応点の追跡を行う．次に，固定カメラ画像と移動カメラ
映像シーケンス中の各フレームについて，SIFT key のマッ
チングを行い，LifeTime が 5 以上の対応点に関してのみ，対応
探索を実施する．これによって，固定カメラと，移動カメラの
局所特徴が対応付けられ，時間的，空間的に不連続で，撮影条
件の異なる 2 つのカメラ画像に対して信頼性の高い SIFT key
のペアが検出される．更に 4. に基づき，固定カメラと映像カメ
ラ映像シーケンス中の各フレームに対して重複度合を表す矩形
を描画する．

実験は，建物内の廊下を移動カメラが進むという状況で行っ
た．実験結果を，固定カメラ (CamA, CamB) の配置と移動
カメラの軌跡と共に図 5 に示す．上下に並んだ画像は，上段が
固定カメラ CamA の画像で，下段が移動カメラの画像である．
移動カメラが固定カメラに近づくにしたがって，推定される重
複領域が大きくなり，逆に遠ざかると小さくなっていることが

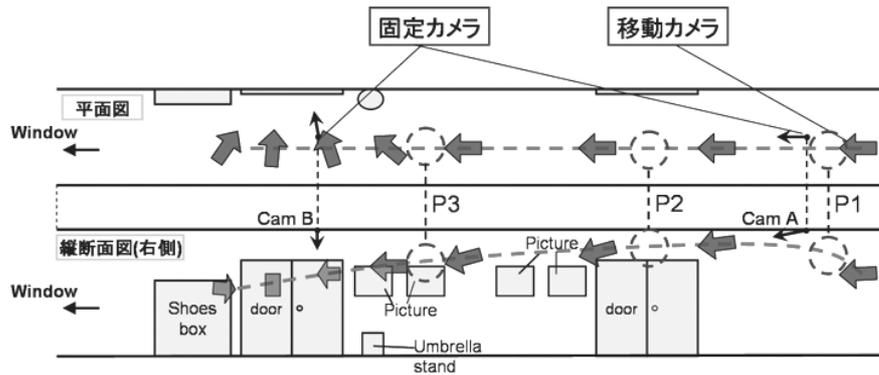


図 5 固定カメラの配置と移動カメラの軌跡

分かる。

今後の応用例としては、例えば、移動カメラの軌跡を記録しておくことによって、撮影カメラの軌跡に対して固定カメラがどのように設置されているかを推測することが出来るようになる。

6. おわりに

本稿では、同一空間内を撮影する固定カメラと移動カメラを用いて、重複撮影空間の重複度を定量化する手法を提案した。本手法では撮影画像中の SIFT key を元に、その撮影対象空間の三次元情報を陽に求めることなく、撮影対象空間の見かけの重複度を定量化した。移動カメラで撮影した時間的・空間的に連続な映像シーケンスについて、包含関係に基づく近傍拘束を導入することによって、対応点追跡を安定して行い、SIFT 特徴量の特性を利用し、撮影条件の異なるカメラ画像について、カメラの視線方向を考慮に入れて重複領域を推定することができた。

現在の重複度の定義では、SIFT key の大きさを近傍拘束以外に利用していないため、今後は大きさ情報を重複度の定義に組み込んでいくことで、より精度の高い重複領域表示が可能になると考えられる。また、観測方向が大きく異なる映像のみしか取得できなかった場合への対応も今後の課題である。求めた重複対象空間の情報を利用したアプリケーションの開発なども今後行っていきたい。

文 献

[1] N.T.Nguyen, S. Venkatesh, G. A. W. West and H. H. Bui,

“Hierarchical monitoring of people’s behaviors in complex environments using multiple cameras”, in 16th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 13-16, 2002.

- [2] G. Wu, Y. Wu, L. Jiao, Y. Wang and E. Y. Chang, “Multi-camera spatio-temporal fusion and biased sequence-data learning for security surveillance”, in 11th ACM Int. Conf. on Multimedia, pp. 528-538, 2003.
- [3] Tily Lee, Raquel Romano, Gideon Stein, “Monitoring Activities from Multiple Video Streams: Establishing a Common Coordinate Frame”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 8, pp.758-767, 2000.
- [4] O. Javed, K. Shafique and M. Shah, “Appearance modeling for tracking in multiple non-overlapping cameras”, in IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.26-33, 2005.
- [5] TAGAWA Norio, INAGAKI Atsuya, MINAGAWA Akihiro, “Parametric Estimation of Optical Flow from Two Perspective Views”, IEICE TRANS. INF.&SYST., VOL.E84-D, NO.4 APRIL pp. 485-494 2001.
- [6] 金谷健一, 太田直哉, 清水慶行, “未校正カメラによるオプティカルフローからの3次元復元とその信頼性評価”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.8, pp. 1655-1662 2001.
- [7] Georg Klein, David Murray, “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces”, In Proc. International Symposium on Mixed and Augmented Reality ISMAR pp.225-234 2007
- [8] David G. Lowe, “Object recognition from local scale-invariant features”, International Conference on Computer Vision, pp. 1150-1157, 1999.