

背景の分割に対応した グラフマイニングベースの動画像からの背景除去

青木 玄明^{†1} 古賀 久志^{†1}
渡辺 俊典^{†1} 横山 貴紀^{†1}

当研究室では頻出グラフマイニングを用いた動画像からの背景除去を行う手法 GBR(Graph-based Background Removal) を提案している。GBR は、監視カメラ映像のようなカメラの前を移動物体が通過する動画像からの背景除去を行う。GBR では、各フレームを領域隣接グラフとして表現し、背景を頻出部分グラフとして獲得する。領域単位で背景除去を行うため、カメラの動きによって背景が平行移動した場合においても、背景グラフの構造が変化しなければ背景除去を行うことができる。しかし、GBR では背景除去を見つげられた頻出部分グラフに対応する領域のみを除去することでやっているため、背景領域が前景により分断され、背景に対応する領域の数が増えてしまった場合、分断された領域のうち一部しか削除することができないという問題がある。そこで本稿では、背景の分断を検知し、背景として認識されなかった領域を背景と認識された領域と関連付け、除去する方法を提案する。

Graph Mining based Background Removal from Videos Solving Background Separation

HARUAKI AOKI^{†1}, HISASHI KOGA^{†1},
TOSHINORI WATANABE^{†1}
and TAKANORI YOKOYAMA^{†1}

Our laboratory has proposed a background subtraction method from videos named GBR (Graph-based Background Removal) which utilizes frequent graph mining. The targets of GBR are videos in which a moving object passes in front of a surveillance camera. After transforming each video frame into a region adjacency graph, GBR discovers the subgraph representing the background as a frequent subgraph. Because GBR realizes the region-based background subtraction, it removes the background well even if the camera moves moderately, unless the camera motion breaks the graph structure. On the other hand, since GBR only removes the regions in the discovered frequent subgraphs, it has

the drawback that it only removes the background partially, when some region in the background is separated into multiple pieces due to the overlapping of the foreground. This paper proposes an method which removes the background successfully even under the above background separation. The proposed method first detects the background separation and then associates the separated regions which belong to the same background region originally. Finally, the background subtraction is executed by deleting all of the associated regions.

1. はじめに

近年、電子媒体の記憶容量増大や、動画像の配信サービスの発達により、デジタル映像取得が容易になっている。そのため、インターネット上の動画共有サービス、デジタルテレビ映像、監視カメラ映像など、膨大な動画像データが存在している。このような大量の動画像を有効に活用するために、動画像の意味解析に対する研究の重要性が増してきている。

動画像からの背景除去は、動画像内に存在するオブジェクト切り出しの第一ステップとして非常に有用であり、また動画像に映っている人や車などの移動物体(前景)の認識を行うためにも必要な技術である。背景除去手法として一般的なものはピクセルベースの背景差分法である。ピクセルベースの背景差分法では背景を学習した後、フレーム毎にピクセルの色が変化するかを確認し、色の変化が一定値以内であれば背景であるとして背景除去を行う。しかし、ピクセルベースの背景差分法では、カメラの動きにより背景が平行移動した場合には、各ピクセルが表す対象が変化するため、背景除去を行うことができない。

一方、当研究室では頻出グラフマイニングを用いた動画像からの背景除去を行う手法 GBR(Graph-based Background Removal)^{†1} を提案している。GBR は、監視カメラ映像のようなカメラの前を移動物体が通過する動画像からの背景を対象とする。このような動画では移動物体の通過前後に背景のみのフレームが存在するため、背景を含むフレーム数が前景を含むフレーム数よりも十分多い。この性質を利用して GBR ではまず各フレームを領域隣接グラフとして表現した後、頻出グラフマイニングアルゴリズムを適用して背景を最も評価値の高い頻出部分グラフとして獲得する。GBR では、頻出グラフマイニングアル

^{†1} 電気通信大学 大学院 情報システム学研究所
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications 1-5-1, Chofugaoka, Chofu City, Tokyo, 182-8585 Japan

ゴリズムとして SUBDUE²⁾ を用いる。背景を表すグラフが得られた後は、各フレームの領域隣接グラフから背景を表すグラフを除去して背景除去を行う。GBR の特徴は、各フレームを領域隣接グラフとして表すことで、ピクセルベースでなく領域ベースの背景除去を実現している事である。従って、カメラの動きによって背景が平行移動した場合においても、背景グラフの構造が変化しなければ背景除去を行うことができる。

しかし、GBR では背景除去を SUBDUE によって見つけれられた頻出部分グラフに対応する領域のみを除去することで行っている。そのため背景を構成する領域が前景により分断され背景に対応する領域の数が増えてしまった場合、分断された領域のうち 1 つしか削除することができないという問題があった。

本研究では、カメラが動いても背景除去を行えるという GBR の長所を失わないために絶対座標を用いずに、前景による背景領域分断の問題を解決する手法を提案する。GBR では SUBDUE を適用した結果として、背景を表す(最も評価値の高い)グラフの各フレームにおけるインスタンスを得ている。そこで、インスタンス間の対応する領域の MBR(Minimum Boundary Rectangle) のサイズを比較し、サイズの小さい領域を分断された領域として取り出す。MBR とは、領域を最小の面積で包含する長方形のことである。分断された領域を中心として、他フレームの分断が発生していない領域の MBR がカバーする範囲にて、同色領域を探すことにより、分断された残りの領域を発見する。そして発見された領域も削除することによって、前景によって背景領域が分断されている場合でも正しく背景除去を行うことができる。

本稿の構成は以下ようになる。まず 2 章で SUBDUE について述べる。3 章では GBR の手法と問題について述べ、4 章では本研究で提案する、GBR の問題を解決する手法について述べる。5 章では実験により提案手法の有効性を示し、6 章で結論を述べる。

2. SUBDUE

本稿で使用するグラフマイニングアルゴリズム SUBDUE について説明する。SUBDUE は、頂点にラベルが付いたラベル付きグラフ $g = (v, e)$ から、頻出部分グラフを見つけ出すアルゴリズムである。ここで、 v, e はそれぞれ g の節点集合、枝集合である。SUBDUE は入力グラフ g をより圧縮する部分グラフ s を頻出パターンとして抽出する。ここで s による g の圧縮とは、 g 内に存在する s と同型な部分グラフを抽出し、それらを 1 ノードに置換して g を縮退させることである。以下では、 s を 1 ノードに置換して g を縮退させたグラフを $g|s$ と表記する。また、 g 内の s と同型な部分グラフのことを「 g における s のイン

スタンス」と呼ぶ。

例えば、図 1 では、 g 中に s のインスタンスが 4 個あり、これらを 1 ノードに置換して縮退すると節点数 4、枝数 4 のグラフ $g|s$ が得られる。 g 内の s のインスタンス数が多いほど、 $g|s$ のサイズが小さくなって g はより圧縮される。

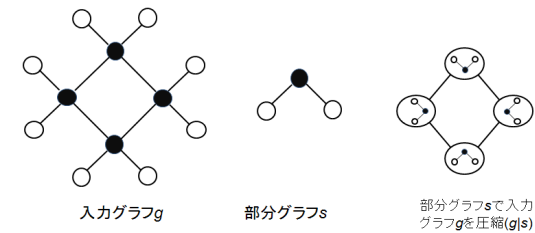


図 1 グラフの圧縮

2.1 アルゴリズム

SUBDUE では、 g 内に存在する部分グラフを列挙し、各部分グラフに対して 2.2 節で述べる最小記述長原理 (Minimum Description Length (MDL)) に基づいた評価値を計算する。そして、評価値が高い部分グラフを、 g をより圧縮する部分グラフとして返す。部分グラフの列挙は以下の手順で行う。初期状態では g 内の異なるラベルを持つノード群を節点数 1 の部分グラフの集合とする。次にこれらに枝を追加して新しい部分グラフ群を生成する。そして、新しい部分グラフ群に対して評価値を計算し、評価値上位の部分グラフを定数個 α だけ今後の拡張のために残す。 α をビーム幅と呼ぶ。これ以降、同様に枝の追加によって部分グラフ生成を繰り返していく。

SUBDUE のアルゴリズムを以下に示す。 S_i は i 回目の拡張によって得られる部分グラフの集合である。

- Step1. ユニークなラベルを持つ節点から、節点数 1 の部分グラフの集合 S_1 を作る。 $i=1$ とする。
- Step2. S_i に含まれる各部分グラフに対し、枝又は(枝+隣接する節点)を加えて、入力グラフ中に存在する、新しい部分グラフの集合 S_{i+1}^{tmp} を作る。その際に、同型性判定を行い、過去に出現した部分グラフは S_{i+1}^{tmp} の要素としない。
- Step3. 各部分グラフ $s \in S_{i+1}^{tmp}$ の評価値を計算する。そして、 S_{i+1}^{tmp} のうち評価値の大きい部分グラフを定数個 α だけ S_{i+1} として残す。

Step4. $i = i + 1$ として, Step2,3 を新しい部分グラフが生成されなくなるまで繰り返す.

Step5. 生成された部分グラフを評価値の大きい順に出力する. 出力される各頻出部分グラフに対して, その構造だけではなくインスタンス数と g 中のインスタンスが出力される.

2.2 評価値

SUBDUE では MDL 原理に基づく評価式 (1) により, 部分グラフ s の評価値を決定する.

$$value(s, g) = \frac{DL(g)}{DL(s) + DL(g|s)} \quad (1)$$

式 (1) において関数 DL はグラフを記述するのに必要な最小ビット数を表す.

SUBDUE の評価式 (1) は分子 (入力グラフ g の記述長) と分母 (s によって g を圧縮した時の記述長) との比となる. 分子は g から定まる定数なので, 実際は分母を小さくする s ほど評価値が高い. 分母の第 1 項 $DL(s)$ は s のサイズ (節点数と枝数) が大きいほど大きい. 一方, 分母の第 2 項 $DL(g|s)$ は, g 内の s と同型なグラフを 1 ノードに縮退させたグラフの記述長である. これは s のサイズが大きく, またインスタンス数が大きいほど小さい. トータルでは s が頻出する場合, s のサイズが大きいほど, 第 2 項の減少分が第 1 項の増加分を上回り分母が小さくなる.

以上の議論をまとめると, インスタンス数が多く, サイズ (節点数と枝数) が多い s ほど評価値が高くなり頻出部分グラフとして出力されやすい.

3. GBR

本章では当研究室で提案した背景除去アルゴリズム GBR¹⁾ について述べる. GBR は監視カメラ, とくにオフィスの通路や部屋の出入り口のような屋内で移動物体 (人) の出入りを監視する監視カメラで撮影した動画像を対象とする. このような監視カメラ映像では

- 移動物体の出現頻度は高くない. また, 移動物体は移動物体が出現した場合はせいぜい数十秒程度の短時間でカメラの前を横切る. 従って, 前景を含むフレーム数は背景を含むフレーム数より十分少ない.

と仮定できる. 通常, 監視カメラ映像は長時間に及ぶが, GBR ではそれから切り出した数分程度の短時間動画 (F とする) を入力とする. F は短時間動画なので F 内での照明条件は安定しており, また静止物体の配置換えなどによる背景の変化はないものとする.

F においては, 移動物体が通過するとその前後に背景のみのフレームが存在する. 典型的には, F が n 枚のフレーム集合 $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ から構成されるとすると, 前景と背

景は以下のように存在する.

$$\underbrace{f_1, f_2, \dots, f_i}_{\text{背景のみ}}, \underbrace{f_{i+1}, \dots, f_{n-1}}_{\text{前景+背景}}, \underbrace{f_n}_{\text{背景のみ}}$$

この時, 動画全体の長さは数分程度で, 前景の通過に要する時間は数十秒未満なので, 背景の出現頻度は「前景+背景」の出現頻度より十分大きい. 従って, F をグラフ G として表現すれば, 背景を表す G の部分グラフは「前景+背景」を表す G の部分グラフと較べてサイズは小さくても SUBDUE での評価値は高くなると考えられる. そこで, GBR ではフレーム f_i ($1 \leq i \leq n$) をグラフ g_i として表現し, その和グラフ $G (= \cup_{i=1}^n g_i)$ に SUBDUE を適用して, 評価値の最も高い G の部分グラフ s を背景とみなして抽出する. s が正しく背景となれば, 後は g_i から s を取り除くことにより, 背景除去が可能となる.

なお, 背景のみのフレーム数が十分多いという条件が満足されれば入力動画は前景を含むフレームから始まっていても構わない. つまり, 先頭フレームが背景のみのフレームであるかを意識せず GBR を適用できる. 一方で, GBR は移動物体が長時間停止するような動画に適用するのは困難である. GBR は, 背景を直近のフレームから推定する手法なので, 移動物体が長時間停止すると, 前景を背景と誤って認識する可能性がある. これは背景を直近フレームから推定する手法に共通して発生する問題であるが, 本稿はその解決策を与えるものではない.

3.1 アルゴリズム詳細

本節では GBR の詳細を説明する. 以降では, 入力動画の各フレームを領域分割したフレームの集合を $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ と記述する. また, 「背景を表す G の部分グラフ」を単に「背景グラフ」と記述する. 背景グラフは正解背景を構成する領域を過不足なく頂点として持つグラフである.

GBR では F を入力とし, 以下に示す条件 1 が成り立つことを仮定して動作する.

条件 1: 背景グラフが最も評価値の高い部分グラフとなる

さらに GBR の特徴として, 条件 1 の下で背景の一部が前景に隠されて, 背景グラフの部分グラフのみ存在するようなフレームに対しても背景除去することが可能である.

アルゴリズムは以下の 4 ステップで構成される.

Step1. 入力動画のグラフ化

Step2. SUBDUE の適用

Step3. 背景グラフが完全な形で存在するフレームに対する背景除去

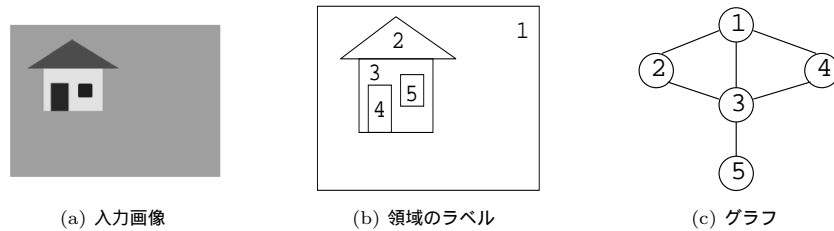


図 2 画像のグラフ表現

Step4. 背景グラフの一部のみが存在するフレームに対する背景除去

各 Step について詳述する。

Step1 では、入力動画 F を領域隣接グラフにする。具体的には各フレーム $f_i \in F$ に対して、 f_i の各領域が節点であり、互いに隣接した領域間に枝が張られた無向グラフ $g_i = (v_i, e_i)$ を作る。この際、節点には F の全領域を色と画素数でクラスタリングすることで決定されるラベルを付与する。図 2 に例を示す。図 2(a) の入力画像は 5 個の領域で構成されており、すべての領域の色が異なるのでそれぞれの領域に図 2(b) のように異なるラベル (本例では 1 から 5 までの数字) が付与される。そして、領域の隣接関係をグラフとして表現すると、図 2(c) の領域隣接グラフが得られる。グラフの頂点に付与された数字はラベル識別子を表す。本稿では以降、グラフを図示する際に頂点にラベル識別子を表す数字を付与する。

Step2 ではまず n 個の $g_i (1 \leq i \leq n)$ の和グラフ $G = (V, E)$ を生成する。ここで和グラフとは複数のグラフの集合全体を 1 つのグラフとみることに対応し、 G の節点集合 V 、枝集合 E と、 g_i の節点集合 v_i 、枝集合 e_i との間には以下の関係が成り立つ。

- $V = \cup_{i=1}^n v_i$
- $E = \cup_{i=1}^n e_i$

G を生成後、 G を入力として SUBDUE を実行する。実行結果として出力される部分グラフを評価値の大きい順に s_1, s_2, \dots とする。また、 s_1 が含まれるフレームの集合を F_1 とする。SUBDUE では出力される部分グラフの全インスタンスも出力するので、 F_1 は容易に求められる。

Step3, Step4 では、最も評価値が高い部分グラフ s_1 が背景グラフであると想定する。Step3 は背景グラフが完全な形で存在するフレームに対する処理であり、 F_1 の各フレームから s_1 を差し引くことにより背景除去を実現する。Step4 は、Step3 で背景が除去されな

かったフレーム集合 $F - F_1$ に対する処理である。これらのフレームには背景グラフの部分グラフのみが出現し、背景グラフそのものが含まれないため Step3 では背景が除去されない。このようなケースのうち、GBR は前景との重なりにより背景グラフの一部が隠れてしまうケースに関して背景除去可能である。具体的には、フレーム $f \in F - F_1$ に対して、 f 内に存在する最も評価値が高い s_1 の部分グラフ s_{1sub} を見つけ、 s_{1sub} を f から差し引くことにより背景除去を行う。 s_{1sub} を見つける手続きは、 s_2, s_3, \dots と出力された部分グラフを評価値の高い順に調べていき、

- s_1 の部分グラフであるか
- $F - F_1$ にインスタンスが存在するか

を判定することで容易に実現できる。

Step3 で処理されるフレームと

Step4 で処理されるフレームとの違いを図 3 を用いて説明する。図 2 を

正解背景とすると、図 3(a), (b) の 2 フレームはどちらも前景 (人間) を含む。しかし、図 3(a) では背景グラフは前景によらず完全な形で存在するため Step3 で処理される。一方、図 3(b) では背景グラフの一部 (家の窓) が前景と重なって隠れるので、Step4 で処理される。



図 3 前景と背景の重なり方

3.2 GBR の特徴

GBR は画像を領域隣接グラフとして表現することで領域単位の背景差分法を実現している。このため、画素単位の背景差分法と異なり、カメラの動きにより背景が多少平行移動しても、背景グラフの構造変化が起きなければ背景除去できる。但し、カメラの動きにより新規に発生する背景領域は除去できない。すなわち、例えば、右にカメラを動かして画面右側に新規の背景領域が発生した場合は、その新規領域は除去されずに残る。

3.3 GBR の問題

GBR では、各フレームにおいて背景を表すグラフが

- s_1 と完全一致する (オクルージョンがない場合)
- s_1 の部分グラフになっている (オクルージョンがある場合)

ということを仮定している。従って、背景を表す 1 つの領域が複数の領域に分割されること

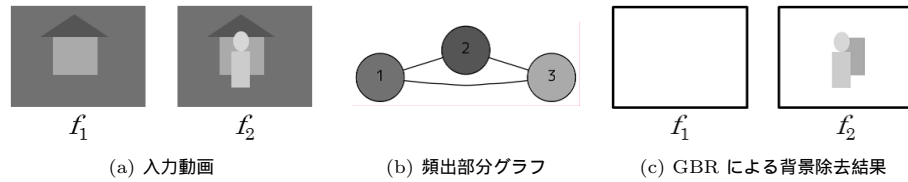


図 4 前景による背景領域分断時の問題例

は想定していない。しかし、現実には前景の存在により、背景を表す 1 つの領域が複数の領域に分断されることは起こり得る。

例えば図 4(a) では背景である地面と家のみのフレーム f_1 の後、フレーム f_2 にて前景である人が家の壁を分断し、家の壁の領域が 2 つに分割されている。この時、SUBDUE によって抽出される頻出部分グラフは図 4(b) となり、フレーム f_2 の分断された家の壁の領域に対応するノードは 1 つだけなので、2 つのうち 1 つしか除去されず、図 4(c) のように、壁の領域が除去されずに残ってしまう。このように GBR には、前景によって背景領域が分断された際、元の背景の一部しか除去できないという問題がある。

4. 前景による背景領域分断への対応

本稿では前景によって背景領域が分断された際に背景の一部しか除去できなくなる問題(以下、分断問題とする)の解決手法を提案する。

4.1 アイデア

分断問題を解決する手法のアイデアを述べる。なお GBR の利点である、カメラが平行移動しても背景除去を行える点を失わないために、提案手法は絶対座標を用いずに問題解決を計る。

分断問題は、背景除去を SUBDUE によって見つけられた頻出部分グラフに対応する領域のみを除去することで行っていることが原因である。そこで、分断された領域の 1 つが SUBDUE によって背景と認識されていることから、その背景と認識された領域と分断された他の領域を関連付けることができれば、SUBDUE に認識された背景を除去するときにとめて分断された他の領域を除去することができるはずである。

また、分断問題が発生しているとき、分断により元の領域が前景によって分割され、領域の幅または高さが元の領域よりも小さくなる。すなわち分断された領域は、他のフレームの

分断の発生していない領域と比べて、領域の MBR サイズが小さくなる。この特徴を用いて絶対座標を用いずに背景の分断を検出し、分断された領域同士を関連付けして、分断問題を解決する。

4.2 アルゴリズム詳細

領域の MBR 情報を用いた領域の関連付けのアルゴリズムについて説明する。具体的には、以下の Step1 ~ 3 を実行する。

Step1. 背景領域が前景によって分断されているかを判定する。

Step2. MBR 情報を用いて分断された領域同士の関連付けを行う。

Step3. 関連付けをされた領域を背景として全て除去する。

以下、4.2.1 節では Step1 の説明を、4.2.2 節では Step2 の説明を行う。

4.2.1 分断判定

ここでは背景領域が前景によって分断されているかを、分断時に MBR サイズが小さくなることから判定する。判定を行う前に、各領域が他のフレームのどの領域に対応するかを見つける必要があるため、SUBDUE に見つかった背景領域の各領域に対し、SUBDUE による同型性判定を用いて他のフレームのどの領域と対応しているかを調べる。ここで見つかった領域同士を対応領域とする。

対応領域の判明後、領域が分断されていないときの MBR サイズを求める。分断された領域は分断されていない領域よりも MBR サイズが小さくなるため、SUBDUE による同型性判定にて正確に対応領域が求められていれば、対応領域の中で最大の MBR サイズを求めればよい。

しかし、実際には正しく同型性判定が行われていない場合も考えられる。正しく同型性判定が行われていない場合、本来異なる領域が対応領域となるので、このような領域を除外した上で最大の MBR サイズを決定する必要がある。本研究では本来異なる領域が対応領域となった場合は、MBR サイズが著しく異なる点に着目した。そして、対応領域の中で他フレームと比べて著しく MBR サイズが大きいものを除外してから、最大の MBR サイズを求めるようにした。以下の Step1 ~ 3 を実行し、他フレームと比べて著しく MBR サイズが大きいものを除外する。対応領域の集合を $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ とする。

Step1. R の要素を MBR サイズで降順にソートする。ソートした結果を SR とする。

SR は領域の集合であり、それぞれの MBR サイズを $\{sr_1, sr_2, \dots, sr_n\}$ とする。

Step2. $sr_1 > sr_2 * k$ であれば sr_1 を除外する。 $sr_1 \leq sr_2 * k$ であれば終了する。 k は 1 より大きい定数である。

Step3. Step2にて終了するまで Step2 を繰り返す.

以上の手順で著しく MBR サイズが大きいものを除外できたので, 残った対応領域のうち最大の MBR サイズを分断されていないときの MBR サイズとする. 求めた分断されていないときの MBR サイズと, 各フレームの対応領域の MBR サイズを比較し, 対応領域の MBR サイズが小さくなっているとき, その領域は前景によって分断されているもしくは前景が覆いかぶさって領域が欠けている, という判定を下す.

この分断判定で分断されているもしくは欠けているという判定を下された領域に対し, MBR の大きさ情報を用いて分断された領域同士の関連付けを行う.

4.2.2 MBR の大きさ情報を用いた分断領域の関連付け

MBR 情報を用いて分断された領域同士の関連付けを行う. 前述の分断判定が完了した時点では前景によるオクルージョンにより, サイズの小さくなった背景領域が 1 つ発見されている. この領域を p とし, 領域 p の MBR の幅のサイズを w_p , 高さのサイズを h_p とする. また, 領域が分断されていないときの MBR のサイズも判明している. この領域が分断されていないときの MBR の幅のサイズを w_0 , 高さのサイズを h_0 とする. よって, 領域 p の MBR の大きさと分断されていないときの MBR の幅のサイズの差 d_{wp} と高さのサイズの差 d_{hp} を求めることができる.

$$d_{wp} = w_0 - w_p \quad (2)$$

$$d_{hp} = h_0 - h_p \quad (3)$$

求めた d_{wp} と d_{hp} を用いて, 領域 p を中心として同色領域を探す. 具体的には, 図 5 のように, 領域 p の MBR から左右方向に d_{wp} , 上下方向に d_{hp} だけ広げた範囲内で同色領域を探す. 探索を行い同色領域が見つかった場合には, その領域を p と元々同一領域で前景によって分断されたとして関連付ける.

なお, この MBR 情報による関連付けにて関連付けを行う領域が見つからなかった場合は, サイズの小さい領域は, 前景によって分断されたのではなく, 前景が重なったことよって領域が欠けていたということである.

5. 計算機実験

提案した背景除去アルゴリズムを PC (CPU: Intel(R) Core(TM)2 CPU 6700 @ 2.66GHz, Memory: 3.0GB, OS: Linux) に実装し, 有効性を確認するために実動画に対して計算機実験を行った.

動画の領域分割には EDISON(Edge Detection and Image SegmentatiON)⁴⁾ を用いた.

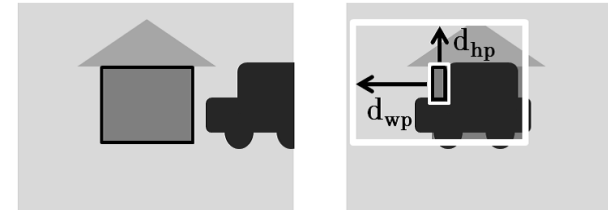


図 5 分断された領域の探索範囲

実験を行うに際し, 画像から領域隣接グラフを作る際, 領域間の距離が 10 ピクセル以内であれば枝を張るとした. これは, 実動画を領域分割した際, 本来隣り合うべき領域同士が領域間に生じた物体の影などにより, 正確に隣り合わないことがあるため, 確実に領域同士に枝を張れるようにすることを目的とする.

なお, 動画の撮影は照明が一定になるような環境にて行った.

5.1 前処理

実動画を提案手法に適用するため, 領域分割, 減色処理, ノイズ除去の順番で前処理を行った. まず, 領域分割に関しては実動画の各フレームを EDISON⁴⁾ により領域分割する. 次に領域分割後の全フレームで使用されているすべての色を対象に Lab 空間上で群平均法を用いてクラスタリングを行い減色処理 (色のベクトル量子化) を行う. 最後に, 減色処理後の画像に対し, 収縮・膨張処理により, ノイズ除去をする.

5.2 実験 1: 前景によって背景領域が分断されている場合

前景による背景領域分断に対応させる手法の有効性を確認するために実験を行った.

入力動画は図 6 のようなホワイトボードの前を人が横切る動画である. 入力フレーム数

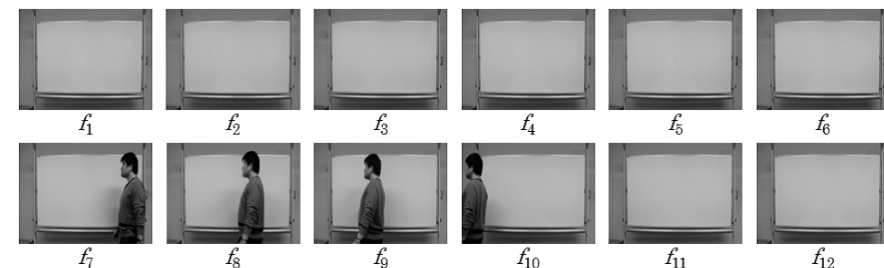


図 6 入力動画

は 12 枚で、このうち前景が存在するフレーム数は $f_7 \sim f_{10}$ の 4 枚である。背景はホワイトボード、ホワイトボードの後ろの壁で構成され、 $f_7 \sim f_9$ では、人によってホワイトボードが分断されている。

前処理を行い領域隣接グラフにしたところ、節点数 78、枝数 320、ラベル種類数 11 となった。図 7 にて背景と前景が含まれているフレーム f_8 の領域分割結果を示す。

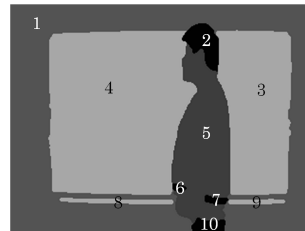


図 7 f_8 の領域分割結果

SUBDUE を実行したところ、最も評価値の高い部分グラフ s_1 が出力され、各フレームにて SUBDUE が s_1 と同型であると判定した領域を除去することにより、背景部分が除去される。

この動画に対し、従来手法である GBR にて背景除去を行うと、背景除去結果として図 8 の結果を得られる。この背景除去結果では、 f_7 では人の頭の後ろ、 f_8 では人の後ろ側、 f_9 では人の前側のホワイトボードの領域が除去できずに残り、前景領域による背景領域が分断された際に元の背景の一部しか除去できない。以下、提案手法にてこの問題を解決した結果を示す。

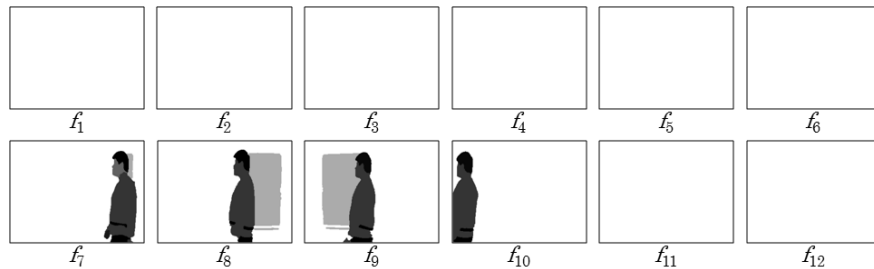


図 8 GBR による背景除去結果

s_1 は f_8 内にもインスタンスを持ち、SUBDUE にて領域 1, 4, 8 が同型であると判定され s_1 と同型であると判定した領域の部分グラフは図 9 となった。ここで分断判定により、フレーム f_8 の領域 4 と領域 8 が他のフレームの同一領域と比べて MBR が小さいため、領域が分断もしくは欠けているという判定を下される。次に分断判定が下された領域に対し、MBR に

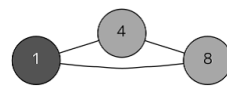


図 9 f_8 にて s_1 と同型と判定された領域の部分グラフ

よる関連付けが行われ、領域 4 と領域 3、領域 8 と領域 9 が関連付けられる。以上の動作にて分断 2 つの関連付け両方にて、背景領域 4 と関連付けをされた領域 3、背景領域 8 と関連付けをされた領域 9 が背景として除去される。

他のフレームに対しても同様の操作を行った結果、背景除去画像として、図 10 が得られた。

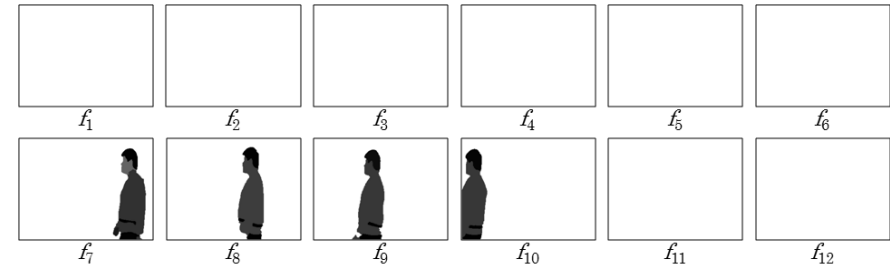


図 10 提案手法による背景除去結果

5.3 実験 2: カメラが平行移動する場合

GBR では背景が多少平行移動しても、背景グラフに変化が起きなければ背景除去できるという利点がある。提案手法にてこの利点が失われていないことを確認するために実験を行った。

入力動画は図 11 のような扉の付いた壁の前を人が横切る動画である。背景は壁、扉で構成され、前景は横切る人である。入力フレーム数は 12 枚で、このうち前景が存在するフレーム数は $f_6 \sim f_8$ の 3 枚である。 $f_1 \sim f_5$ にてカメラが平行移動しており、背景の壁と扉が移動している。また f_7 では、人によって扉が分断されている。

前処理を行い領域隣接グラフにしたところ、節点数 44、枝数 116、ラベル種類数 29 となった。SUBDUE を実行したところ、最も評価値の高い部分グラフ s_1 として図 12 の部分グラフが出力された。各フレームにて SUBDUE が s_1 と同型であると判定した領域を除去し、実験 1 と同様に f_7 の分断された壁の領域を関連付け除去することにより、背景除去画像として、図 13 が得られた。

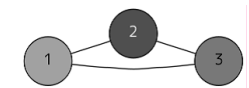


図 12 最も評価値の高い部分グラフ s_1

比較の為に、OpenCV2.1 に実装されたピクセルベースの背景差分法にて背景除去を行っ

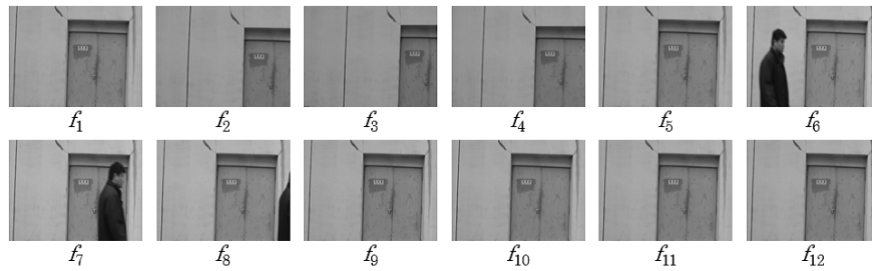


図 11 入力動画

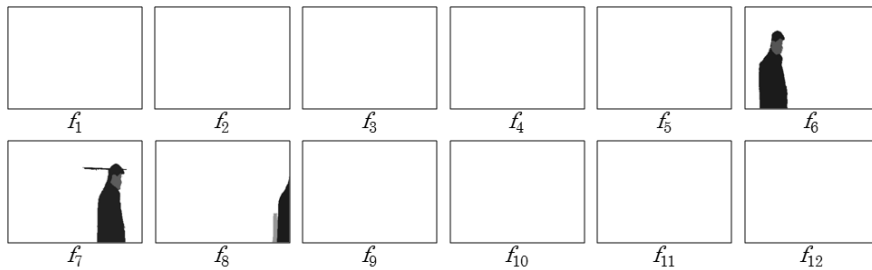


図 13 提案手法による背景除去結果

た．このアルゴリズムは各ピクセルをガウス混合分布でモデル化し，ガウス混合分布のどの部分が背景であるかを決定して，背景モデルを得る．このアイデアは文献⁵⁾にて最初に提案された．図 14 に背景除去結果を示す．この図には f_1 が記載されていないが，これは使用したピクセルベースの背景差分法が過去のフレームを学習して除去する手法であり，最初のフレームに適用することができないため記載していない．この背景除去結果では，カメラが平行移動している $f_2 \sim f_5$ にて背景である扉と壁の一部が前景だと認識され，除去できていない．

以上の実験により，GBR の背景が多少平行移動しても，背景グラフに変化が起きなければ背景除去できるという利点が，提案手法にて失われていないことを確認できた．

6. 結 論

本稿では，GBR の問題を分析し解決するための手法を提案した．GBR の問題として前景によって背景領域が分断された際，分断された背景領域が一部だけ削除されて，全てが削

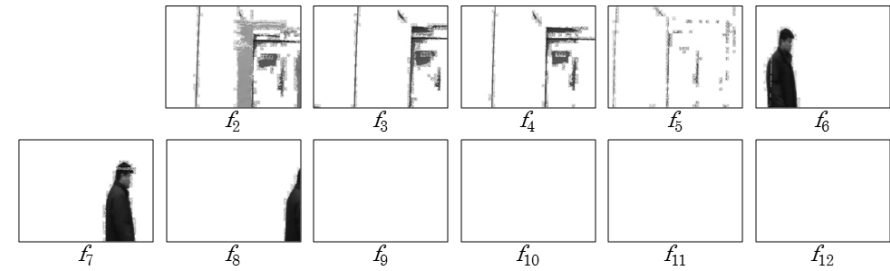


図 14 ピクセルベースの背景差分法による背景除去結果

除されないという問題があった．

この背景領域分断時の問題に対し，MBR の大きさ情報によって分断が起こっているかを確認し，MBR の大きさの差の範囲内にて同じ色の領域を探索，分断された他の領域を関連付け，関連付けられた領域を削除することによって，問題を解決した．また実際に，前景による背景領域分断が起こっている実動画にて実験を行い，提案の有効性を確認した．

一方で現状では，背景と前景の両方が同じ色かつ似たサイズの領域を含む場合，どちらの領域が背景であるかをグラフ同型性判定で決定するのは困難であり，うまく背景除去を行えない場合がある．この問題の解決が今後の課題である．

参 考 文 献

- 1) 辻 智和, 古賀久志, 横山貴紀, 渡辺俊典, “頻出グラフマイニングを利用した動画画像解析”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J93-D, No.2, pp.86-99, 2010.
- 2) N. Ketkar, L. Holder and D. Cook, “Subdue: Compression-based Frequent Pattern Discovery in Graph Data”, in Proc. of the ACM KDD Workshop on Open-Source Data Mining, pp.71-76, 2005.
- 3) D. Cook and L. Holder, “Substructure Discovery Using Minimum Description Length and Background Knowledge”, Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 1, pp.231-255, 1994.
- 4) Bogdan Georgescu, Chris Christoudias, “EDISON CODE“, “<http://coewww.rutgers.edu/riul/research/code/EDISON/>“.
- 5) C. Stauffer and W.E. L. Grimson, “Adaptive Background Mixture Models for Real-Time Tracking”, in Proc. of CVPR 1999, pp. 2246-2252, 1999.