

モーフィング技術を用いた情報隠蔽手法

近藤, 聡
会津大学大学院

趙, 強福
会津大学大学院

高木, 英行
九州大学

<https://hdl.handle.net/2324/4482761>

出版情報 : 電子情報通信学会技術研究報告. ITS. 105 (608), pp.145-150, 2006-02-20. 電子情報通信学会
バージョン :
権利関係 : Copyright (C) IEICE



モーフィング技術を用いた情報隠蔽手法

近藤 聡[†] 趙 強福[†] 高木 英行^{††}

[†] 会津大学大学院 〒965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀

^{††} 九州大学 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

E-mail: [†]{m5081134,qf-zhao}@u-aizu.ac.jp, ^{††}takagi@design.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本稿ではモーフィング技術を情報隠蔽手法として利用する方法を提案する。提案手法ではモーフィングにより原画像 (embedded data) を変形しモーフィング画像 (stego data) を生成する。これが従来の情報隠蔽手法における embedded data の埋め込みに対応する。そのため、従来の情報隠蔽手法における cover data が不要である。また、stego data に対応するモーフィング画像上にはモーフィング率に従い原画像の画像情報が現れる。そのため、従来の情報隠蔽手法に見られるように stego data から抽出した embedded data を利用する他に stego data 自体を利用することが可能になる。本稿では、まず、モーフィング技術が情報隠蔽手法として利用できることを示し、次に、従来の情報隠蔽手法と比べた提案手法の特徴について述べる。最後に、この特徴を利用した利用例を取り上げる。

キーワード モーフィング, 情報隠蔽, ステガノグラフィ

Information Hiding Technique Based on Morphing Technology

Satoshi KONDO[†], Qiangfu ZHAO[†], and Hideyuki TAKAGI^{††}

[†] The University of Aizu Graduate School Turuga, Ikkimachi, Aiduwakamatu-shi, Fukusima, 965-8580 Japan

^{††} The University of Kyushu 4-9-1 Shiobara, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan

E-mail: [†]{m5081134,qf-zhao}@u-aizu.ac.jp, ^{††}takagi@design.kyushu-u.ac.jp

Abstract This paper proposes a new technique for information hiding based on morphing technology. In the proposed technique, the morphing image (stego image) is generated with warping of the source image (embedded data) by morphing. This corresponds to embedding of data in conventional information hiding. Therefore, the cover data which is necessary in conventional information hiding is unnecessary. Also, information of the source image appears on the morphing image which corresponds to the stego data according to the morphing rate. Besides extracting the embedded data from the stego image, it is also possible to use the stego image alone. In this paper, we first show that the morphing technology can be used as an information hiding technique, and then describe the features of the proposed technique as compared with the conventional techniques for information hiding. Finally, an application is introduced.

Key words morphing, information hiding, steganography

1. はじめに

近年、情報通信の発達に伴い情報隠蔽 (インフォメーションハイディング) 技術が注目を集めている [1]。情報隠蔽とは直接的には「情報を隠す」セキュリティ技術全般を指し、情報隠蔽の代表的な技術としてステガノグラフィ、電子透かし、フィンガープリンティングといった技術がある。ステガノグラフィとは、秘密データを別の情報媒体 (カバーデータ) に埋め込んで秘密データの存在を隠す技術である。秘密データを埋め込む方法としては画像を2値化する際に埋め込む方法 [2]、画像データのビットプレーン分解に基づく方法 [3] などがある。これらの方

法で秘密データを埋め込んだ画像 (ステゴデータ) からは見た目では秘密データの存在を確認することはできない。

ところで、画像を扱う場合にはその画像中に第3者に知られたくない内容と知らせたい内容が混在する場合がある。例えば医療画像、特に顔画像や身体特徴のような個人情報を含む場合は、第3者にその個人性を隠蔽しつつ病気の診断に必要な画像情報は関係者に開示したい場合がある。また、インターネット上で画像公開する際に、個人を特定できる画像情報を隠蔽しつつその他の部分の画像情報を公開したい場合もある。このような要求を満たすことはステガノグラフィのような情報隠蔽手法では困難である。ステガノグラフィでは秘密画像を隠蔽する

際にはカバー画像の見た目が変化しないように秘密画像を埋め込むことが目的であり、それにより秘密画像を埋め込んだステゴ画像には秘密画像の画像としての情報は含まれないからである。つまり、ステガノグラフィによる情報隠蔽ではカバー画像に埋め込んだ秘密画像はステゴ画像から抽出しなければ利用することができない。

本稿ではモーフィング技術を用いた情報隠蔽手法を提案する。モーフィングとは原画像を目的画像に近づけるよう画像を変形する技術であり、コンピュータグラフィックスを用いた映画やテレビCMなどで使われている[4]。このモーフィングにより生成される画像(モーフィング画像)は原画像を目的画像と、どの程度目的画像に近づけるかを表す割合(モーフィング率)による変形で生成される。そのため、モーフィング画像上にはモーフィング率に従い原画像の画像情報が現れる。したがって、このモーフィング画像を利用することによりステゴ画像からの抽出を行うことなしに秘密画像(原画像)の画像情報を利用することができる。また、モーフィングにより原画像を変形しモーフィング画像を生成することが、従来の情報隠蔽手法における秘密画像の埋め込みに対応することにより、提案手法ではカバー画像が不要になる。

本稿では以下、2節で提案手法における基礎技術としてモーフィングについて述べ、3節で提案手法が情報隠蔽手法として考えられることを情報隠蔽のプロセスに照らし合わせることで検討する。また、4節では提案手法において埋め込み画像を抽出する逆モーフィングを提案し、5節では提案手法が持つ特徴について述べる。さらに、6節で提案手法を用いた利用例を述べ、最後に、7節でまとめと今後の課題について述べる。

2. 基礎知識

モーフィングでは原画像と目的画像、原画像の特徴と目的画像の特徴、モーフィング率を用いてモーフィング画像を生成する。この原画像と目的画像における特徴の指定方法はモーフィングの種類によって異なる。例えば、代表的なモーフィング手法であるメッシュワーピング[5]では画像に対してメッシュを張ることで特徴を指定し、またフィールドモーフィング[6]では特徴線を引くことにより原画像、目的画像における特徴を指定している。以下、モーフィングの流れを説明する。

モーフィングにおいてまず行われることはモーフィング画像の特徴を求めることである。モーフィング画像の特徴 F_M は

$$F_M = (1-k)F_S + kF_T \quad (0 \leq k \leq 1) \quad (1)$$

によって求められる。式(1)において F_S は原画像の特徴、 F_T は目的画像の特徴、 k はモーフィング率を表す。モーフィング率の値が0から1に近づくにつれ求められるモーフィング画像の特徴は原画像の特徴に近いものから、目的画像の特徴に近いものに変化していく。

次に原画像を変形した画像(変形原画像)、目的画像を変形した画像(変形目的画像)を求める。変形原画像、変形目的画像は

$$(x', y') = f(x, y) \quad (2)$$

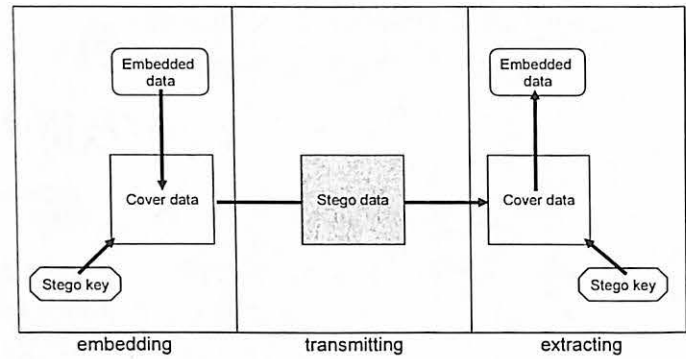


図1 情報隠蔽のプロセス

$$I_w(x, y) = I(x', y') \quad (3)$$

によって求められる。式(2)において (x, y) は変形画像(変形原画像または変形目的画像)における座標、 (x', y') は変形前画像(原画像または目的画像)における座標、 f は入力された変形画像の座標に対応する変形前画像の座標を求める関数(変形関数)を表す。この変形関数 f は変形原画像を求める場合は原画像の特徴とモーフィング画像の特徴によって、変形目的画像を求める場合は目的画像の特徴とモーフィング画像の特徴によって生成される。式(3)においては、 $I_w(x, y)$ は変形画像の座標 (x, y) の画素、 $I(x', y')$ は変形前画像の座標 (x', y') における画素をそれぞれ表す。変形画像は変形画像の各画素に対して順に焦点を当てていき、式(2)によって対応する変形前画像の座標を求め、式(3)によりその座標における画素を焦点を当てている変形画像の画素として割り当てることによって求められる。この変形画像の各画素に対して順に焦点を当て、対応する変形前画像の画素を割り当てる方法をリバースマッピングと呼ぶ。

最後にモーフィング画像を求める。モーフィング率 k におけるモーフィング画像 $I_M(k)$ は

$$I_M(k) = (1-k)I_{wS}(k) + kI_{wT}(k) \quad (4)$$

によって求められる。式(4)において $I_{wS}(k)$ はモーフィング率 k により求めた変形原画像、 $I_{wT}(k)$ はモーフィング率 k により求めた変形目的画像を表す。式(4)からモーフィング画像を求める際には変形原画像と変形目的画像を $1-k : k$ の割合で合成していることがわかる。そのため、モーフィング率の値が0から1に近づくにつれ求められるモーフィング画像は原画像に近いものから目的画像に近いものに変化していく。

3. モーフィング技術を用いた情報隠蔽手法

本節ではモーフィング技術を用いた提案手法が情報隠蔽手法として考えられることを情報隠蔽のプロセスに照らし合わせることで検討する。

一般に、情報隠蔽は図1に示すように情報の埋め込み(embedding)・伝送(transmitting)・抽出(extracting)のプロセスからなる[7]。図1において、embedded dataは隠蔽すべき情報、cover dataはembedded dataを埋め込む情報、stego dataはembedded dataとcover dataから成る情報である。情報隠蔽の特徴はstego dataを見てもembedded dataの存在を知る

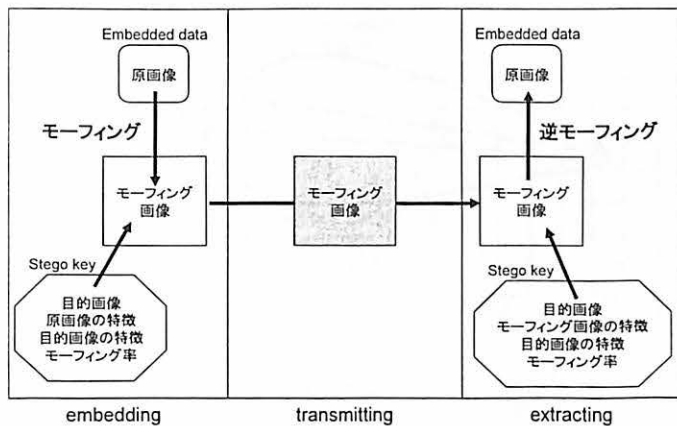


図2 モーフィング技術を用いた情報隠蔽手法

ことができない点であり、この特徴を利用した多くの利用例が考えられる [8]。

本稿では、従来の情報隠蔽手法と異なる、モーフィング技術を用いた情報隠蔽手法を提案する。

図2にモーフィング技術を用いた情報隠蔽手法の全体図を示す。embedding プロセスではモーフィングにより原画像を埋め込み、extracting プロセスではモーフィング画像から逆モーフィングにより原画像を抽出する。抽出に使われる逆モーフィングについては次節で詳細に述べる。

図1に示した情報隠蔽のプロセスと照らし合わせると、モーフィングにおける原画像が embedded data、モーフィングで使用される目的画像、原画像の特徴、目的画像の特徴、モーフィング率が埋め込み時における stego key、モーフィング画像が stego data、逆モーフィングで使用される目的画像、モーフィング画像の特徴、目的画像の特徴、モーフィング率が抽出時における stego key に対応する。ここで、モーフィング画像が stego data に対応するのは stego data の役割を果たしているからである。stego data の役割としては embedded data の存在を知らせずに伝送することと考えられる。モーフィング画像は高いモーフィング率を使って生成することにより、原画像の画像情報がモーフィング画像上に現れるものの、その画像から原画像の存在を知ることは難しくなる。したがってモーフィング画像は stego data の役割を果たしており、stego data と対応することができる。

提案手法には従来の情報隠蔽における cover data に直接対応する画像は存在しない。しかしながら、この cover data の持つ embedded data を隠すという役割はモーフィング画像を生成することによって果たすることができる。このモーフィング画像の生成は原画像を変形することによって行われる。そのためモーフィング画像は原画像の画像としての情報を含んでいると考えることができる。つまり、モーフィング画像を生成することは原画像 (embedded data) の情報を埋め込んだ画像の生成であり、cover data における embedded data を隠すという役割はモーフィング画像を生成すること自体によりなされていると考えられる。

このように、モーフィングは情報隠蔽における embedding、

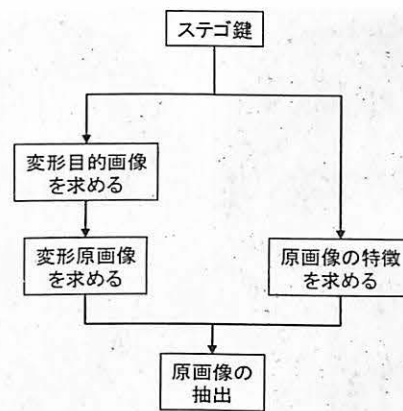


図3 逆モーフィングの流れ

transmitting のプロセスに対応する。したがって、図2に示した extracting プロセスに対応させた逆モーフィングによりモーフィング画像から原画像を抽出することができれば、提案手法は情報隠蔽における手法のひとつとして考えることができる。

4. 逆モーフィング

図2に示される提案手法において原画像の抽出を行う逆モーフィングを提案する。

逆モーフィングでは目的画像、モーフィング画像の特徴、目的画像の特徴、モーフィング率を用いてモーフィング画像から原画像を抽出する。情報隠蔽と対応させて述べると、目的画像、モーフィング画像の特徴、目的画像の特徴、モーフィング率は stego key、モーフィング画像は stego data に対応する。

モーフィングでは原画像、原画像の特徴、モーフィング画像の特徴を用いリバースマッピングにより変形原画像を求めた。それに対して、逆モーフィングでは変形原画像、モーフィング画像の特徴、原画像の特徴を用いて変形原画像から原画像へマッピングすることにより原画像の抽出を行う。以下、逆モーフィングの流れを説明する。

逆モーフィングにおける全体の流れを図3に示す。この流れに従い、まず変形目的画像を求める。変形目的画像は式(2),(3)によって求める。つまり、モーフィング時における変形目的画像を求める際と同様の求め方である。変形目的画像を求めるには目的画像、目的画像の特徴、モーフィング率が必要であるが、これらは stego key として与えられている。したがってモーフィング時と同様の方法で変形目的画像を求めることができる。

次に変形原画像を求める。変形原画像は

$$I_{wS}(k) = \frac{I_M(k) - kI_{wT}(k)}{1 - k} \quad (0 \leq k < 1) \quad (5)$$

によって求める。式(5)は式(4)を左辺が変形原画像だけになるように変形した式である。変形原画像を除いて式(5)で使われている情報はモーフィング画像、変形目的画像、モーフィング率である。モーフィング画像は stego data として、モーフィング率は stego key として与えられ、変形目的画像は stego key を使い求めている。したがって式(5)により変形原画像を求めることができる。

次に原画像の特徴を求める。原画像の特徴は



図4 原画像と逆モーフィングによって抽出された原画像

$$F_S = \frac{F_M - kF_T}{1 - k} \quad (0 \leq k < 1) \quad (6)$$

によって求める。式(6)は式(1)を左辺が原画像の特徴だけになるように変形した式である。原画像の特徴を除いて式(6)で使われている情報はモーフィング画像の特徴、目的画像の特徴、モーフィング率である。これらは stego key として与えられている。したがって式(6)により原画像の特徴を求めることができる。

最後に原画像を求める。モーフィング時は原画像の画素を変形原画像に埋め込むことによって変形原画像を求めた。それに対して、逆モーフィングでは変形原画像の画素を原画像に埋め込むことによって原画像を抽出する。式で表すと、式(2)と以下の式によって原画像は求められる。

$$I_S(x', y') = I_{ws}(x, y) \quad (7)$$

式(7)において $I_S(x', y')$ は原画像の画素、 $I_{ws}(x, y)$ は変形原画像の画素を表す。式(2)であるが、この式は変形原画像のある座標に対応する原画像の座標を求める式である。モーフィング時はこの式(2)による座標の対応をもとに式(3)により原画像の画素を変形原画像に埋め込むことにより変形原画像を求めた。それに対して、逆モーフィングではこの変形原画像から原画像に埋め込まれた画素を元の位置に埋め込むことによって原画像を求める(抽出する)。すなわち、式(2)による座標の対応をもとに式(7)により変形原画像の画素を原画像に埋め込むことにより原画像を求めることができる。

図4に、ある原画像とこの原画像をモーフィングして得られるモーフィング画像から逆モーフィングにより抽出した原画像を示す。図4において、逆モーフィングにより抽出した原画像に現れる線は実際には逆モーフィング時に埋め込みが行われなかった(画素情報を持たない)箇所である。以下、この箇所のことをノイズと呼ぶ。つまり、逆モーフィングにより抽出した原画像はノイズを含み完全な原画像にはならない。

このノイズが発生する原因はモーフィング時におけるリバースマッピングである。モーフィングにおいて変形原画像を求める際には式(2)によって変形原画像の座標に対応する原画像の座標を求める。この際に異なる変形原画像の座標から同一の原

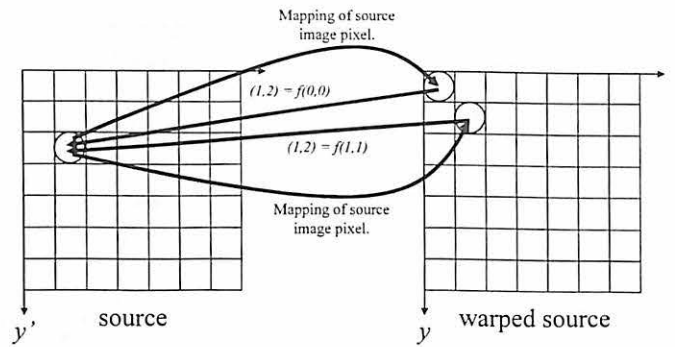


図5 リバースマッピングによる同一画素の埋め込み

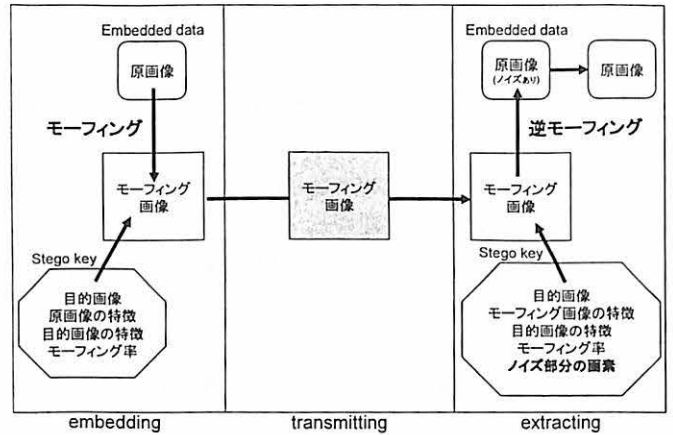


図6 ノイズ除去を含む提案手法

画像の座標が求まることある。そのため図5に見られるようにリバースマッピングにより求めた変形原画像には原画像中の同じ座標から埋め込んだ画素が存在する可能性がある。つまり、変形原画像は原画像の全画像情報を持っていないことになる。したがって、逆モーフィングによって変形原画像から原画像に画素を埋め込んでもリバースマッピング時に埋め込まれなかった画素を埋め込むことはできず、そのためにノイズが発生する。

このノイズを除去するため、提案手法を図6のように変更する。図6では図2と比べて、逆モーフィングにおける stego key にモーフィング時に変形原画像に埋め込まれない画素であるノイズ部分の画素が追加されている。このノイズ部分の画素はモーフィングの際に変形原画像に埋め込まれなかった画素を取得し、その画素を他の stego key と同様に伝送して得ることができる。このノイズ部分の画素を逆モーフィングによって求めた原画像のノイズ箇所に埋め込むことによって完全な原画像を得る(抽出)ことができる。

情報隠蔽の embedding プロセスと対応してモーフィング、transmitting プロセスと対応してモーフィング画像、そして extracting プロセスとして逆モーフィングが対応する。したがって、提案手法を情報隠蔽におけるひとつの手法としての考えることができる。

5. 提案手法の特徴

従来の情報隠蔽手法と比較し提案手法の持つ特徴は cover data が不要な点、stego data 上に embedded data の画像情報

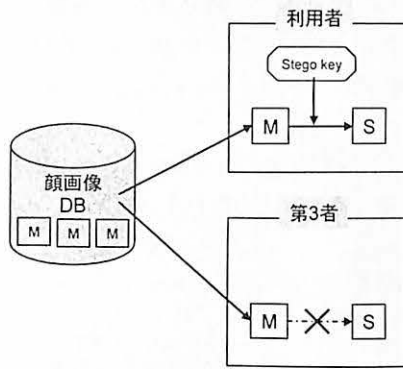


図7 顔画像データベースの利用例

が現れる点である。

5.1 cover data が不要

従来の情報隠蔽手法では embedded data を埋め込むために cover data が必要であった。提案手法ではこの cover data の役割をモーフィング画像の生成が果すため、cover data が不要である。cover data が不要であることの利点は画像データベースなどの多くのデータに対する隠蔽を扱うことが可能な点である。従来の情報隠蔽ではデータ毎に cover data が必要であり、画像データベースのような多くのデータを扱う際には不向きであると考えられる。

5.2 stego data 上に embedded data の画像情報が現れる

従来の情報隠蔽手法では embedded data を cover data に埋め込む際に cover data を変化させない手法を用いることにより embedded data の情報を隠蔽している。そのため stego data は embedded data の情報を持ってはいるが、stego data の画像上には embedded data の画像情報は現れない。それに対して、提案手法ではモーフィングにより原画像の変形を行うため、stego data に対応するモーフィング画像の画像上には原画像の画像情報がモーフィング率にしたがい現れる。

そのため、従来の情報隠蔽に見られるように stego data から抽出した embedded data を利用する他に、stego data 自体を使った利用例が考えられる。

6. 提案手法を用いた利用例

本節では提案手法を用いた利用例について述べる。提案手法では抽出した原画像の利用、モーフィング画像の利用が考えられる。以下、それぞれにおける利用例を述べる。

6.1 抽出した原画像の利用

図7に見られる顔画像データベースの利用例を考える。図7において M はモーフィング画像、 S は原画像を表す。このデータベース内には原画像ではなくモーフィング画像が入っている。そのため、正規の利用者が原画像を利用する場合、データベースから取得したモーフィング画像に対しあらかじめ受け取った stego key を利用して原画像を抽出する必要がある。

このようにモーフィング画像をデータベース内に置いておくことにより、不正な方法で第三者に画像が取得されても問題がない。なぜなら、第三者が取得したモーフィング画像からは

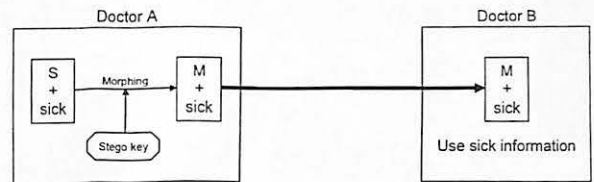


図8 医者 A から医者 B へ病気患者の個人性を隠蔽し病気情報を公開

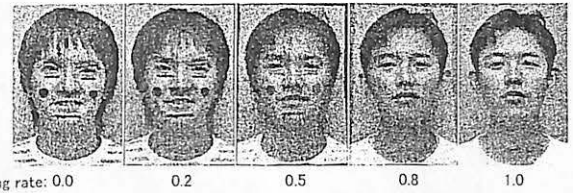


図9 モーフィング率毎の病気患者の顔画像

そのままでは個人の顔画像情報を抽出することができず、またモーフィング画像は原画像と目的画像から生成された顔画像であり、モーフィング画像から原画像の存在を見破ることが難しいからである。

従来の情報隠蔽手法でも同様の利用例を行うことができる。しかしながら、cover data が必要である従来手法では顔画像データベース内に置く画像と同数の cover data が必要であり、実際に適用するには不向きである。

6.2 モーフィング画像の利用

図8に示される利用例を考える。この例は医者 A が病気患者の個人性を隠蔽しつつ、病気の特徴を医者 B に公開する利用例を表す。図8において $S + sick$ は病気患者の顔画像、 $M + sick$ は病気患者の顔画像をモーフィングした画像を表す。この図のように病気患者の顔画像をモーフィングすることにより、病気患者の個人性を隠蔽しつつ病気情報を公開することができると考えられる。

図9にモーフィング率毎における病気患者のモーフィング画像を示す。この例ではペインティングされた箇所を病気による変化箇所と考える。図9に見られるようにモーフィング率が増加するにつれ生成されるモーフィング画像は目的画像に近づいていく。つまり、高いモーフィング率を使用することにより病気患者の個人性を隠蔽することができる。しかしながら、モーフィング率が増加すると個人性を隠蔽するのと同様、病気情報も隠蔽されてしまう。この原因はモーフィング画像が式(4)により生成されることである。つまり、原因は変形原画像と変形目的画像をモーフィング率によって合成することにより、変形原画像中に含まれる病気情報がモーフィング率にしたがい失われることである。

そこで、病気患者の顔画像から病気情報を分離し、病気患者の顔画像はモーフィング、分離した病気情報はワーピングを行うことにより病気情報が失われる問題を解決する。このワーピングとはモーフィング時における原画像から変形原画像を生成する際に見られる画像を変形する技術である。ワーピングにより病気情報画像を変形させることにより、病気情報を失うことなしにモーフィング画像に対応した位置に病気情報を移動させ

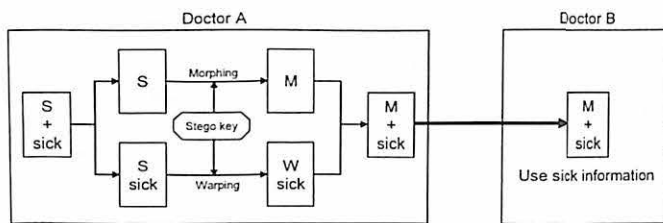


図 10 医者 A から医者 B へ病気患者の個人性を隠蔽し病気情報を公開 (病気情報の分離を行った場合)

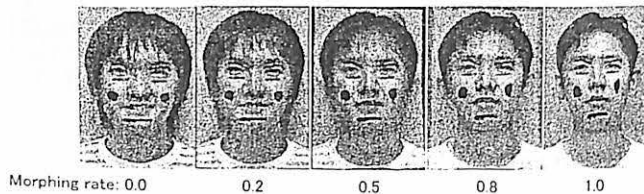


図 11 モーフィング率毎の病気患者の顔画像 (病気情報の分離を行った場合)

ることができる。

図 10 に全体の流れを示す。図 10 において S_{sick} は病気患者の病気情報画像、 W_{sick} は病気患者の病気情報画像をワーピングにより変形させた画像を表す。

図 10 に見られるようにまず、病気患者の顔画像から病気情報画像を分離する。なお、ここでは病気患者の顔画像から病気情報を分離できると仮定する。次に病気情報を分離した画像に対してモーフィング、分離した病気情報画像に対してワーピングを行う。病気情報を分離した画像をモーフィングすることによって病気患者の個人性を隠蔽したモーフィング画像を生成することができる。また、病気情報画像をワーピングすることにより、病気情報を失うことなしにモーフィング画像に対応した位置に病気情報を移動した画像を生成することができる。最後に、モーフィング画像に変形させた病気情報画像を被せることによって、個人性を隠蔽し、なおかつ病気情報を持った画像を生成することができる。

図 11 にこの方法を用いたモーフィング率毎における病気患者のモーフィング画像を示す。図 11 は図 9 と同様、モーフィング率の増加により病気患者の個人性が隠蔽されていくが、ワーピングによって変形させた病気情報画像をモーフィング画像に被せたことにより病気情報は失われていない。したがって、医者 A は病気患者 (原画像) の個人性を隠蔽しつつ病気の特徴を医者 B に公開することができる。

このように提案手法による情報隠蔽では、stego data に対応するモーフィング画像を利用した利用例が考えられる。

7. おわりに

本稿ではモーフィング技術を用いた情報隠蔽手法を提案した。モーフィングが情報隠蔽手法として考えられることを情報隠蔽のプロセスに照らし合わせることによって検討した。その際に情報隠蔽の extracting プロセスに対応する逆モーフィングを提案した。また、提案手法の特徴として、cover data が不要であ

る点、stego data 上に embedded data の画像情報が現れる点について述べた。さらに、これらの特徴を利用し抽出した原画像を用いる利用例、モーフィング画像を用いる利用例について述べた。

今後の課題としては、違和感のないモーフィング画像の生成、処理時間の短縮、特徴指定の自動化が挙げられる。

文 献

- [1] Fabien A. P. Petitcolas and Ross J. Anderson and Markus G. Kuhn: "Information Hiding: A Survey", Proc. of the IEEE, vol.87, No.7, pp.1062-1078 (1999)
- [2] 小出, 荻原, 金田: "誤差拡散法および平均濃度近似法を用いた画像深層暗号方式の提案", テレビジョン学会技術報告, Vol.20, No.5, pp.7-14 (1996)
- [3] 新見, 野田, 河口: "複雑さによる領域分割を利用した画像深層暗号化法", 電子情報通信学会技術研究報告 (画像工学), IE97-14, Vol.97, No.70, pp.39-44 (1997)
- [4] G.Wolberg: "Image Morphing: A Survey", Visual Computer, vol.14, pp.360-372 (1998)
- [5] G.Wolber: "Digital Image Warping", IEEE Computer Society Press, Los, Alamos, CA (1990)
- [6] T.Beier and S.Neely: "Feature-Based Image Metamorphosis", Computer Graphics(Proc. SIGGRAPH), Vol.26, No.2, pp.35-42 (1992)
- [7] 情報処理振興事業協会: "インフォメーションハイディングの技術調査" (1998)
- [8] 牧野: "インフォメーションハイディングの社会的側面", 情報処理, vol.44, No.3, pp.260-264 (2003)