

氏 名 TIEU Thi Ngoc Dung

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2274 号

学位授与の日付 2021年9月 28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Gait Anonymization with Preservation of Appearance and Motion

論文審査委員 主 査 越前 功
情報学専攻 教授
山岸 順一
情報学専攻 教授
YU YI
情報学専攻 助教
佐藤 真一
国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授
鄭 銀強
東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授
伊藤 康一
東北大学 大学院情報科学研究科 准教授

(Form 3)

Summary of Doctoral Thesis

Name in full: TIEU Thi Ngoc Dung

Title: Gait Anonymization with Preservation of Appearance and Motion

Video of walking subjects can be easily captured in many ways such as by surveillance cameras at the public areas, by personal devices (e.g. smart phone). Such data consists of sensitive information of subjects in videos like routine, activities, behavior. Meanwhile, there are many reasons for sharing such data among organizations or companies such as for law enforcement, forensics, research. However, a bad actor could use a gait recognition system to cross link a subject in a video to a subject in another video, and therefore the sensitive information of subjects in videos may be disclosed. This thesis investigates on anonymizing the gait (walking style) of a subject in a video so that the gait recognition systems incorrectly recognize the anonymized gait while preserving the appearance and motion of the subject for data analysis. The preservation of appearance means ensuring the naturalness of the body shape and preserving the garment color of the original gait images. The preservation of motion consists of guaranteeing the naturalness of movement and retaining the moving direction of the original gait. In this dissertation, several techniques based on deep learning are proposed to solve three problems that adapt to the wild (real application): (1) Gait anonymization on binary gait video, (2) Gait anonymization on RGB gait video, (3) Incomplete silhouette gait anonymization. The evaluation was conducted on an available gait dataset and several advanced gait recognition methods. The experimental results demonstrate that the proposed models achieve the promised performance in privacy protection as well as are able to generate the quality gait images.

Most of current gait recognition approaches exploit silhouette sequences of subjects that are sequence of binary image containing the shape and style working of each individual subject as the gait's feature. This thesis thus, initially, investigates on binary gait anonymization. This research is aimed at investigating on whether we can find the way to fool gait recognition systems by directly modifying the shape of silhouettes of the original gait. It also explores how to apply deep learning to ensure the naturalness of the body shape and the gait movement. A fast and easy-to-implement method is introduced. The main idea of this method is changing the shape of a gait by adding another gait, a "noise gait", to the original gait and the anonymized gait, thus, is partly similar to the original gait and partly similar to the noise gait. This is done using the contour coordinates of the gait in each frame instead of the gait image; these coordinates are converted into a vector. A convolutional neural network(CNN) based model is designed that takes two inputs, the contour vector of the original gait and that of the

noise gait, and outputs a modified contour vector. An anonymized gait is generated from this modified vector.

Although most of current gait recognition research are based on silhouette sequence of subjects, most of video uploaded/shared are RGB videos. Development of an approach for RGB gait anonymization is essential and therefore this thesis, secondly, consider how to anonymize RGB gait. This research investigates how to design a deep learning model to modify the shape of RGB gait by using a random noise to remove the identity information from the original video while preserving the appearance and motion of the original subject. A deep learning based generative model is proposed that consists of one generator and two discriminators, spatial discriminator and temporal discriminator, to solve this problem. This model adds a random noise generated with the traditional generative adversarial network from a random vector sampled from a Gaussian distribution to the original gait for anonymization. The spatial discriminator and temporal discriminator are to improve the quality of generation results. The role of the spatial discriminator network is to distinguish the real frame from a generated frame. It does this by discriminating the shape of the real gait and the shape of the generated gait at each frame. The role of the temporal discriminator network is to determine whether a generated gait moves smoothly.

This thesis also considers how to generate seamless anonymized gait when incomplete silhouette gaits are used because gait recognition systems are still able to recognize such gaits with the high accuracy. In this thesis, complete silhouette is defined as a seamless silhouette and an incomplete silhouette is defined as a silhouette with one or more parts of the body missing. Incomplete silhouettes are caused by the foreground extraction process and occur when the color of the body part is similar to the background color or the gait is partly occluded by another object. The incomplete silhouettes usually occur in uploaded/shared videos. The two previous models are unable to generate the seamless silhouette gait when the incomplete silhouette gaits are used. This is because of two reasons. Firstly, the architecture of previous generators is based on autoencoder network that tries to generate the output similar to the input. Secondly, the colors in the original gait image that need to be extracted to transfer to the anonymized gait are missed at the missing parts of incomplete silhouettes. This research aims to change the shape of an incomplete silhouette while producing the seamless silhouette. This research is also aimed at generating the finely texture color regardless the quality of the original silhouettes. To this end, the proposed model consists of two networks, anonymization network and colorization network. The anonymization network is based on DCGAN model and trained by the complete silhouette dataset to generate the seamless silhouettes while the colorization network transfers the garment colors of the original gait images to the anonymized gait without extracting the garment colors of the original gait images to avoid missing the original colors.

博士論文審査結果

Name in Full

氏名

TIEU Thi Ngoc Dung

Title

論文題目

Gait Anonymization with Preservation of Appearance and Motion

本学位論文は、映像内の人物の歩行動作（歩容：Gait）から歩容認識を通じて、別映像の同一人物を特定する分析に対して、歩容以外の属性を変えず、かつ、人物の見た目や動きなどの視覚的劣化を低減したまま、当該分析を困難にする歩容の匿名化手法の確立を目的としている。

本学位論文は、全 6 章から構成される。第 1 章では、本論文で扱う問題の重要性、位置付けおよび貢献について説明している。最初に、イメージセンサの高解像度化と機能向上により、ネットワークカメラやスマートフォンなどを通じて、撮影・共有された映像に人物が映りこむことで生じるプライバシー問題を概説している。次に当該映像の人物の顔が識別できない場合においても、歩容認識により、別映像の同一人物を特定することで、当該映像に映りこんだ人物のプライバシーが侵害される脅威について述べるとともに、着衣分析や性別判定などの映像からの人物分析の必要性についても述べ、本学位論文の目的である人物の見た目や動きなどの視覚的劣化を低減したまま、人物の特定のみを困難にする歩容の匿名化の重要性について述べている。さらに本目的を実現する 3 つの研究課題（3 章：シルエット画像系列を入出力とした匿名化の基本手法、4 章：人物歩行のカラー映像を入出力とする匿名化手法、5 章：不完全なシルエット画像系列に対する匿名化手法）について、研究課題の関係性に言及するとともに、概説している。第 2 章では、歩容認識の概説に加えて、関連研究を分析・比較し、本学位論文の研究課題の新規性および有用性について述べている。

第 3 章では、シルエット画像系列を入出力とした **Modified Contour Generator Network** を用いた匿名化の基本手法について述べている。歩容認識の多くは、人物歩行の映像から抽出したシルエット画像系列から得られる歩容特徴を用いて、個人の特定を行っている。そこで、対象人物のシルエット画像系列を、他の人物のシルエット画像系列とブレンドすることで、対象人物のシルエット画像系列の形状を変更する **Modified Contour Generator Network** を考案し、視覚的劣化を低減しながらシルエット画像系列の匿名化を行う手法を提案している。提案手法の有効性を検証するために、**CASIA Gait Database** に収録された大規模歩容データセットを用いて、匿名化したシルエット画像系列の自然らしさを主観評価実験により評価するとともに、代表的な 3 つの歩容認識手法を用いて、対象人物の匿名化したシルエット画像系列から当該人物の特定が困難であることを評価実験により示した。また、匿名化したシルエット画像系列に対して、ノイズ除去により当該画像系列から人物を特定する攻撃への耐性については、**Denoising Autoencoder** を用いて評価実験を行い、提案手法が一定の耐性を持つことを示した。

第 4 章では、人物歩行のカラー映像を入出力とする **Spatio-temporal GAN** をベースと

した匿名化手法について述べている．第 3 章で述べた基本手法は，他の人物のシルエット画像系列をブレンドすることで，対象人物のシルエット画像系列の匿名化を行うが，本手法では，**Noise Generation Network** を用いて生成したノイズをブレンドすることで，様々な撮影角度で撮影されたシルエット画像系列に対しても安定的に視覚的劣化を低減した匿名化が可能になる．また，**Temporal Discriminator** を導入することで，匿名化されたシルエット画像系列の系列間の視覚的違和感を軽減している．さらに，**Colorization** 手法の導入により，匿名化された人物歩行のカラー映像の出力を実現している．第 3 章で述べた基本手法の評価実験と同様に本手法の評価実験を行った結果，本手法は，基本手法と比較して，匿名化したシルエット画像系列の自然らしさが向上すること，3 つの歩容認識手法による人物の特定がより困難になることを示した．

第 5 章では，オクルージョンや背景画像との同化により，抽出されたシルエット画像系列が不完全なケースにおいても視覚的劣化を低減しながら，匿名化を行う手法について述べている．現実世界で撮影・共有される人物歩行の映像は，オクルージョンや背景画像との同化が生じるため，シルエットの一部が欠損するなどシルエット画像系列が不完全になるケースが多いが，歩容認識の精度は大幅に低下しないことが知られている．すなわち，歩容の匿名化の高度化には，不完全なシルエット画像系列に対しても適切な匿名化を行う必要がある．しかし，第 4 章で述べた手法により不完全なシルエット画像系列に対して匿名化を行うと，人物歩行のカラー映像も不完全になることが判明した．そこで，**Deep Convolutional GAN** をベースとした **Generator** により，不完全なシルエット画像系列から匿名化した完全なシルエット画像系列を生成するプロセスと，**Generator** が生成した匿名化したシルエット画像系列と人物歩行のカラー映像から，匿名化した人物歩行のカラー映像を出力する **Colorization** プロセスから構成される匿名化手法を提案している．第 3 章で述べた基本手法の評価実験と同様に本手法の評価実験を行い，本手法は，オクルージョンや背景画像との同化が生じた人物歩行のカラー映像に対しても，匿名化により，自然らしさを維持したカラー映像を生成すること，また，第 4 章で述べた手法と比較して，3 つの歩容認識手法による人物の特定がより困難になることを示した．

第 6 章では，結論として，本学位論文の貢献についてまとめ，同分野における今後の研究課題について述べている．

公開発表会では博士論文の章立てに従って発表が行われ，その後に行われた論文審査会及び口述試験では，審査員からの質疑に対して適切に回答がなされた．質疑応答後に審査委員会を開催し，審査委員で議論を行った．その結果，出願者は情報学分野の十分な知識と研究能力を持つと認められ，また研究内容は学位論文として十分なレベルの新規性や有効性があると認められた．本学位論文は，これまで検討がなされていなかった歩容のプライバシー保護に着目し，人物の見た目や動きなどの視覚的劣化の低減したまま，かつ，映像からの人物分析の有用性を維持しながら，歩容認識による人物の特定を防ぐ歩容の匿名化手法を提案し，マルチメディアフォレンジクスやバイオメトリクス分野において重要な貢献をなしたものである．また，本学位論文の成果は，査読付きジャーナル論文 1 編，査読付き国際会議論文 3 編として発表されている．以上の理由により，審査委員会は，本学位論文が学位の授与に値すると判断した．