

ドローンカメラによる歩容認証を想定した視点選択のための 認証性能評価

繁木 結衣^{1,a)} 大倉 史生^{1,b)} 満上 育久^{1,c)} 林 建一^{2,d)} 八木 康史^{3,e)}

概要: 本研究では、ドローンで歩容認証を行うことを目指し、その観測視点選択のための認証性能評価を行う。ドローンは自由に移動可能なため、歩行者を様々な方向から撮影できる。歩容認証では、その観測視点によって認証精度が変わるため、適切な視点を選択することで高い精度での認証が可能になる。適切な視点を選択するためには、観測視点と認証精度の関係を知る必要がある。そこで、まず、全周認証性能評価をおこない、観測視点と認証精度の関係を明らかにする。また、ドローンは連続して複数の方向から歩行者を観測できるため、複数の観測視点から得られた歩容特徴を組み合わせることで認証精度の向上が期待される。そこで2視点からの認証を行い、その精度と1視点による認証精度からの向上率を検証する。その結果、全周認証性能評価では、俯角が小さいときには人物の前後から、俯角が大きいときには人物の後方から撮影すると高い認証精度が得られることが分かった。また、2視点からの認証では、俯角が小さいときには90° 違いの2視点を、俯角が大きいときには人物の前後の2視点を選べば認証精度が向上することが分かった。

キーワード: ドローン, 歩容認証, 認証性能評価

1. はじめに

近年、不審者発見や、犯人追跡といった防犯の手段の一つとしてドローンカメラに注目が集まっている。従来、環境中に固定された防犯カメラを用いた映像解析による防犯が広く取り入れられてきた。しかし、防犯カメラには、遠くのもの鮮明に映らない、死角が存在するなど欠点がある。一方、ドローンは自由に移動することが可能になるため、不審者や犯人に接近することが可能になり、鮮明な映像を撮影することができる。また、犯人等を追跡して撮影することも可能で、防犯カメラにみられる死角などの問題点を解消することが期待されている。実際、ドローンを用いた防犯システムとして、外部センサーが不審者等を検出してドローンがその不審者等を追跡・撮影するシステム [1] や、遠隔操作で家の中を巡回するドローン [2] は実用化段階にある。将来的には、図1のようにドローンが自律飛行を行いながら自動的に不審者や犯人を検出し、追跡するよ

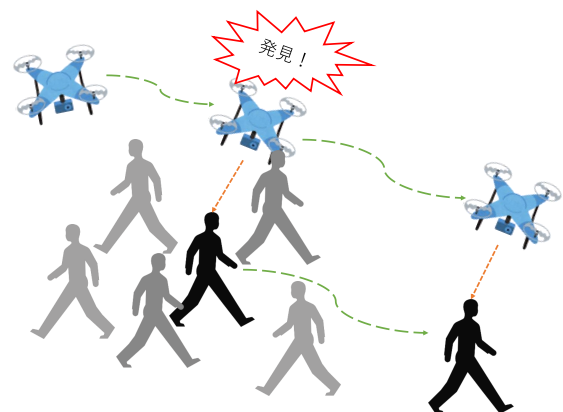


図1 ドローンによる犯人検出・追跡のイメージ

うなアプリケーションの実現が期待される。

ドローンを利用した移動物体の追跡 [3][4][5] や、物体追跡を目的とするパスプランニング [6][7] の研究は、これまで多数行われてきた。しかし、指名手配犯などの事前に登録された人物を発見するためには個人認証が必要となる。画像を用いた個人認証には、虹彩や顔などのバイオメトリクスがしばしば使用される。しかし、これらを用いて認証を行うには、人物がカメラなどのセンサーに近づいたり、接触したりする必要があり、人物を遠くから撮影するドローンには適さない。一方、人物の歩き方から個人を特定する

¹ 大阪大学 産業科学研究所

² 株式会社コンセプト

³ 大阪大学

a) shigeki@am.sanken.osaka-u.ac.jp

b) okura@am.sanken.osaka-u.ac.jp

c) mitsugami@am.sanken.osaka-u.ac.jp

d) hayashi@qoncept.co.jp

e) yagi@sanken.osaka-u.ac.jp

歩容認証 [8] は、遠くから撮影した映像を用いても認証可能であることが知られており [9], ドローンを用いて個人認証を行うのに適していると考えられる。

これまでの歩容認証の研究では、一般的に防犯カメラの映像が用いられることが前提となっていた。防犯カメラは位置が固定されているため、一定の方向からしか歩行者を撮影できないが、ドローンは自由に位置を選択できるため、様々な方向から歩行者を撮影することが可能になる。歩容認証では、歩行者の観測位置によってその認証精度は異なるため、適切な観測視点を選択することで高い精度での認証が可能になる。適切な観測視点の選択のためには、観測視点によってどのような認証精度を持つのかを明らかにする必要がある。これまでの観測視点と認証精度の関係を調査した研究 [10][11] では、視点数や視点の変化が限られており、ドローンを用いた歩容認証のための視点選択の尺度として用いるのは難しい。そこで本研究では、カメラの俯角、方位角、人物との距離を変えながら歩容認証を行い、その性能を評価することで、観測視点と認証精度の関係を明らかにする。また、ドローンは自由に動くことができるため、歩行者を様々な視点から連続して撮影することが可能である。複数の視点で得られた歩容特徴を組み合わせることで認証精度の向上が期待できる。したがって本研究では、2 視点で得られた歩容特徴を用いて認証を行い、その精度と 1 視点による認証精度からの向上率を検証する。

これらの実験のために、様々な方向と距離から得られた歩容特徴が必要になるが、実際に歩行者を様々な観測位置で同時に撮影することは困難である。そこで複数のカメラ画像から復元した歩行者の 3 次元ボリュームを用い、そこから任意視点からの人物シルエット画像列を生成し、そこから歩容特徴を抽出して実験を行う。

2. 実験設定

本研究で行う実験のためには、様々な方向と距離で観測された歩行者の画像から作成した歩容特徴が必要である。そこで本研究では、既に存在する歩行者の 3 次元ボリュームから観測位置を変えた画像を作成し、歩容特徴を抽出し、データセットとした。

2.1 実験に用いた歩容特徴

歩容認証では歩き方を示す歩容特徴を画像から抽出して認証を行う。ドローンカメラによって撮影された画像を用いて歩容認証を行うためには、ドローン映像の歩行者に対して効果的な歩容特徴を選択する必要がある。歩容特徴は、人物モデルを観測画像にフィッティングすることにより得られるモデルベースの特徴 [12][13][14] と、人物映像から抽出されたシルエットに基づくアピアランスベースの特徴 [15][16][17][18] に大別できる。モデルベースの特徴は、

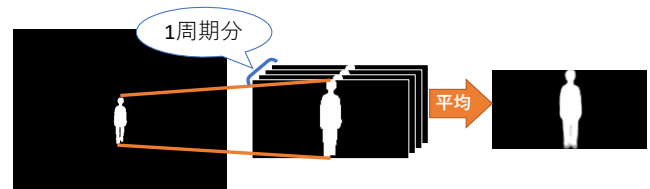


図 2 GEI の作成過程

低解像度の画像に対して適用することが難しく、ドローンで撮影する画像に対してはアピアランスベースの特徴が適していると考えられる。

アピアランスベースの特徴のうち、代表的な歩容特徴の一つである Gait Energy Image (GEI)[15] はシルエット画像列をその高さで正規化し、平均することで得られる。GEI は単純さと汎用性を持ちながら高い認証精度を実現する効果的な特徴として知られており、様々な歩容認証手法においてベンチマーク的に扱われることが多い。一方で、ドローンを用いた認証においてはシルエットの正規化に異なるアプローチが適用可能である。ドローンはその撮影特性上人物から遠い位置から観測するため、歩行 1 周期中の、人物とドローンの位置関係はほとんど一定とみなすことができる。人物とカメラの相対的な位置関係が変化しない画像列を用いて得られる歩容特徴は View Normalized GEI (VNGEI)[18] である。VNGEI は、距離画像列を入力することを前提としており、歩行者のメトリックな身長情報を持つ。しかし、ドローンで撮影した画像は、メトリック情報を得ることは難しいため、ドローン環境で用いるには VNGEI を高さで正規化する必要がある。

したがって、本研究では、ベンチマーク的に扱われる GEI と、ドローンで人物を撮影することを考え、撮影された画像列のシルエット画像をそのまま平均して得られる VNGEI を高さで正規化したものの 2 種類の歩容特徴を用いて実験を行う。

2.1.1 Gait Energy Image (GEI)

GEI[15] は以下の手順で作成される。歩行者を撮影した映像から抽出されたシルエット画像に対し、外接矩形で人物領域を切り出す。その高さを正規化したものを Gait Silhouette Volume (GSV) と呼び、GSV の画像列から自己相関を用いて歩行 1 周期分の画像列を取り出す。そして、取り出した 1 周期分の GSV の画像列について式 (1) で各画素に対して時間方向の平均をとる。

$$G(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N B_t(x, y) \quad (1)$$

ここで、 N は 1 周期中のフレーム数、 $B_t(x, y)$ は t フレーム目の画像の位置 (x, y) の値である。処理の様子を図 3 に示す。

2.1.2 View Normalized GEI (VNGEI)

VNGEI[18] は、歩行者とカメラ位置関係が常に一定な

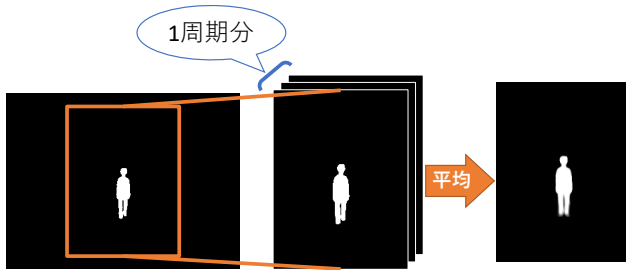


図 3 VNGEI の作成過程

状態で撮影された歩行者映像からシルエットを抽出し、1周期分の画像列の各画素について式(1)と同じように計算し、時間方向に平均したものである。処理の様子を図3に示す。

人物から遠い位置で撮影するドローンは、歩行者とカメラ位置関係がほとんど一定になるため、撮影した映像から人物のシルエットを抽出してそのまま平均することでVNGEIが作成される。しかし、ドローンは人物の位置情報を持たないため、得られた特徴から本来VNGEIが持つメトリック情報を得ることができない。したがって、得られた特徴を高さで正規化することで、特徴からメトリック情報を無くし、認証に用いる。

高さの正規化には、輝度値の高さ方向の標準偏差を用いる。本来シルエット画像の高さの正規化には、シルエットの上端・下端を用いるが、VNGEIでその方法を用いると、すでに画像が1周期で平均されてしまっているため、1周期分のシルエット画像列のうち、1フレームでもシルエットの位置がほかのフレームのシルエット位置とずれていると、高さの正規化に大きく影響が出てしまい、同一人物の特徴同士であっても、異なる特徴が得られる可能性がある。

輝度値の高さ方向の標準偏差を求めるために、以下の処理を行う。まず、画像の各列の輝度値の和を求める。

$$I(x) = \sum_{y=1}^w V(x, y) \quad (2)$$

ここで、 w は画像の幅であり、 $V(x, y)$ はVNGEIの画像の位置 (x, y) の値、 $I(x)$ は画像の x 列目の輝度値の和である。次に、平均 m を求める。

$$m = \frac{1}{\sum_{x=1}^h I(x)} \sum_{x=1}^h x \times I(x) \quad (3)$$

ここで、 h は画像の高さである。そして、求められた平均 m を用いて分散 σ^2 を計算する。

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sum_{x=1}^h I(x)} \sum_{x=1}^h I(x) \times (x - m)^2 \quad (4)$$

こうして得られた σ が標準偏差であり、元の画像の $m - 3\sigma$ 列目から $m + 3\sigma$ 列目までを高さで正規化し、新たな特徴とする。処理の様子を図4に示す。

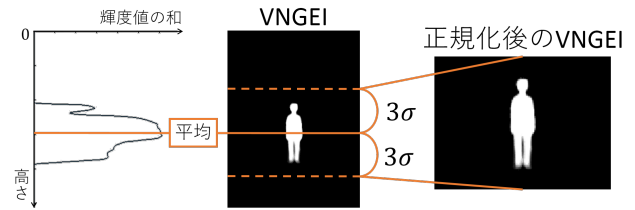


図 4 身長の高さ正規化

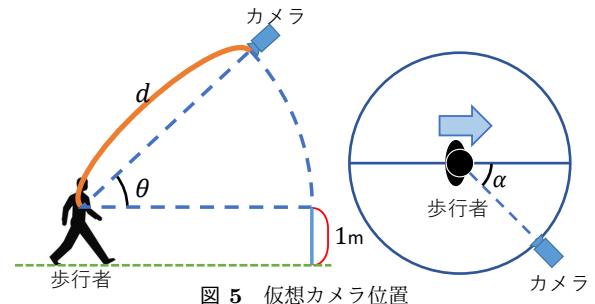


図 5 仮想カメラ位置

2.2 データセット

本研究では、実験を行うために様々な方向、距離から作成された歩容特徴が必要になる。しかし、実際に歩行者を様々な位置から同時に撮影するには、歩行者の周囲に多くのカメラを設置することが必要になり、非常に大掛かりで実現が困難である。そこで Muramatsu らが作成した3次元ボリューム [19] を用いてシルエット画像を作成し、そこから歩容特徴を抽出する。本研究で用いる3次元ボリュームは、24台のカメラと歩行路からなるトレッドミル環境で撮影された歩行者の画像から、視体積交差法によって3次元復元し、格子点群によって表現されたものである。格子点群の表面を滑らかに表現するためにマーチングキューブ法を適用し、三角形メッシュ化した三次元モデルから歩行者画像を作成する。

2.2.1 シルエット画像の作成

まず、3次元ボリュームを用いて歩行者のシルエット画像を作成する。三角形メッシュがはられた3次元ボリュームに対し、撮影する仮想カメラ位置を設定する。仮想カメラ位置は、俯角 θ 、方位角 α 、人物との距離 d で定められる。(図5)。そして、3次元ボリュームの点群を、カメラ座標に変換する。カメラ座標に変換された3角形メッシュの各頂点を画像平面に射影し、その頂点に囲まれた画素値を255に設定することでシルエット画像を作成する。こうして得られた歩行者のシルエット画像をもとに歩容特徴を作成する。

2.2.2 データセットの作成

実験には、97人の被験者のそれぞれ連続した歩行周期3周期分、計291シーケンスのデータを用いた。仮想カメラの俯角 θ は 0° から 10° 刻みで 90° まで、方位角 α は 0° から 10° 刻みで 350° まで、距離 d は 5, 10, 20, 40m に変えてシルエット画像を作成した。このとき、作成された画

	GEI	VNGEI	俯角 $\theta = 0^\circ$ 時の シルエットの高さ (px)
$d = 5m$			98
$d = 10m$			49
$d = 20m$			24
$d = 40m$			12

図 6 距離と解像度の関係

像のサイズは 300×400 (px), 仮想カメラの垂直画角は 53° である. このシルエット画像からそれぞれ GEI と VNGEI を作成した. また, 距離 $d = 5m$ で画像を作成したとき, 人物とカメラの距離は十分離れているものとして, 弱中心射影を仮定し, 距離 $d = 5m$ で作成した画像の解像度を変えることで距離 $d = 10, 20, 40m$ の画像を作成した. 俯角 $\theta = 0^\circ$ で作成したときの GEI とそのシルエットの高さを図 6 に示す. こうして, 俯角 10 種類, 方位角 36 種類, 距離 4 種類の計 1440 の観測視点から 291 シーケンス分の GEI と VNGEI を作成した.

3. 全周認証性能評価

全周認証性能調査では, 認証精度が高い視点を探すため, カメラの俯角, 方位角, 人物とカメラの距離を変化させた歩容特徴について, 各視点でそれぞれ歩容認証を行い, その精度を比較, 評価した.

3.1 評価方法

性能評価には等価エラー率 (Equal Error Rate, 以下 EER) を使用する. EER は本人誤り率 (False Rejection Rate, 以下 FRR) と他人誤り率 (False Acceptance Rate, 以下 FAR) が一致する点として計算される.

各視点ごとに被験者 97 名, それぞれ歩行 3 周期分の計 291 シーケンスの特徴から 1 つを選び, それを入力データ, それ以外を登録データとして扱う. 入力データと登録データの相違度を調べるため, 2 つの特徴間の L2 ノルムを計算し, 特徴間距離とする. 入力データとすべての登録データ間の特徴間距離が求められると, 入力データを変更して同じ処理を行う. 291 シーケンス分の特徴について, それぞれ入力データとしたときの登録データとの特徴間距離を求め, 距離行列を作成する. その距離行列から FRR, FAR を求め, EER を計算する.

3.2 結果

GEI, VNGEI の距離 $d = 5m$ での結果をそれぞれ図 7, 8 に示す. これは, 進行方向を上としたときの各俯角の

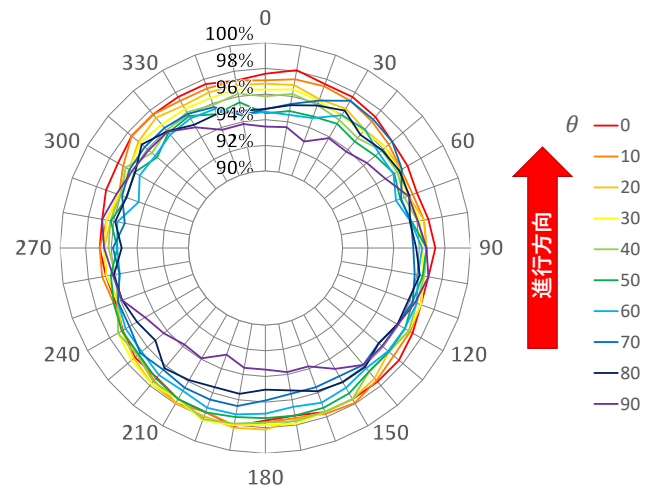


図 7 GEI: 距離 $d = 5m$ での (100-EER (%))

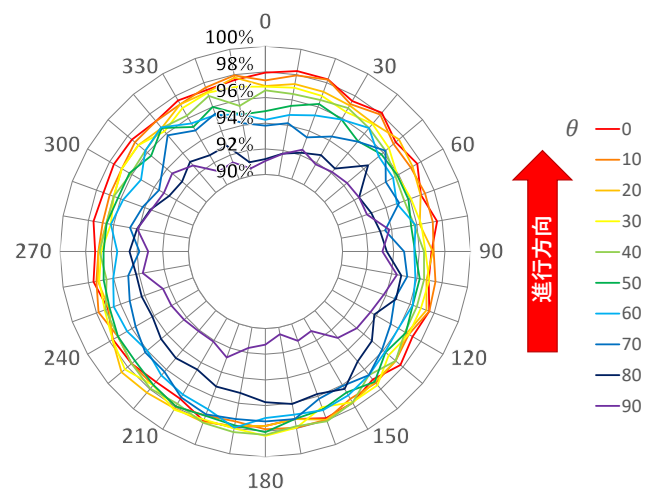


図 8 VNGEI: 距離 $d = 5m$ での結果 (100-EER (%))

俯角	方位角		
	$\alpha = 0^\circ$ (前方)	$\alpha = 90^\circ$ (横)	$\alpha = 180^\circ$ (後方)
$\theta = 0^\circ$	2.40	2.75	2.56
$\theta = 50^\circ$	5.50	3.34	2.75
$\theta = 90^\circ$	6.53	3.44	6.52

表 1 GEI: 距離 $d = 5m$ での EER (%)

100-EER(%) を示しており, グラフが外側に近づくほど精度が高いといえる. また, GEI による EER を表 1 に示す.

全体的に, GEI, VNGEI の両方で人物の後方に当たる方位角 $\alpha = 180^\circ$ 付近で精度が高くなっていることがわかる. 低俯角 ($\theta = 0^\circ$) のときには, 方位角 $\alpha = 0, 180^\circ$ 付近で認証精度が高くなり, 中俯角 ($\theta = 50^\circ$) では, 方位角 $\alpha = 180^\circ$ 付近で精度が高くなる. また, 高俯角 ($\theta = 90^\circ$) ではほかの俯角とは異なり, 方位角 $\alpha = 90, 270^\circ$ 付近で精度が高くなる. これは表 1 を見ても分かる.

また, 方位角 $\alpha = 0^\circ$ において距離を変化させたときの EER を図 9 に示す. GEI では距離 $d = 10m$ までは EER の変化は小さいが, $d = 20m$ からは距離と比例して EER

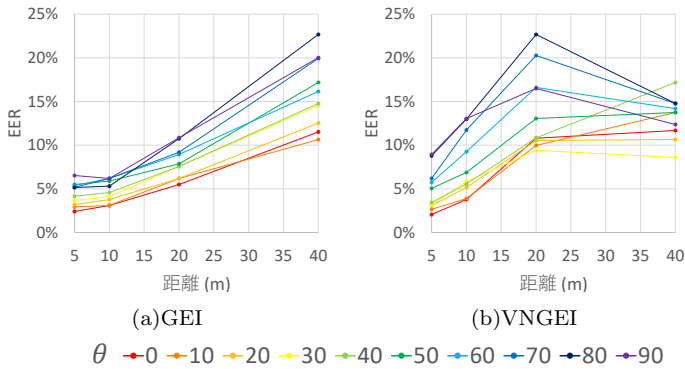


図9 方位角 $\alpha = 0^\circ$ において距離を変化させたときの EER (%)

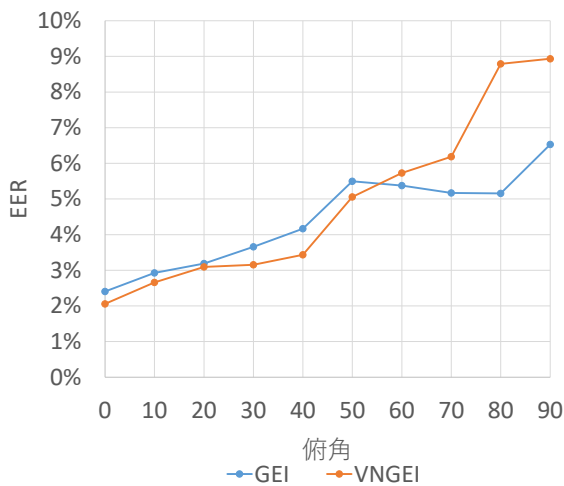


図10 距離 $d = 5\text{m}$, 方位角 0° における GEI と VNGEI の EER の比較

が上昇し、精度が低下する。VNGEI では、距離 $d = 10\text{m}$ までは俯角が小さいものに関しては EER の変化は小さいが、 $d = 20\text{m}$ からは精度が低下し、 $d = 40\text{m}$ では GEI の結果とは異なり、俯角によって $d = 20\text{m}$ より精度が低下するものもあれば上昇するものもある。

また、距離 $d = 5\text{m}$, 方位角 0° における GEI と VNGEI の EER の比較を図 10 に示す。俯角が小さいときには GEI と VNGEI は同程度の精度を示すが、俯角が大きくなると VNGEI の精度が大きく低下する。

3.3 考察

3.3.1 実験結果に対する考察

俯角によって高い精度を示す方位角が異なる理由を考察する。低俯角 ($\theta = 0^\circ$)、中俯角 ($\theta = 50^\circ$) での GEI をそれぞれ図 11, 12 に示す。俯角が小さいときには、人物の前方と後方どちらから撮影しても、同じような特徴が得られるのに対し、中俯角では、前方より後方から撮影したときに頭の形や腕の振りがはっきり現れていることがわかる。これは、人間の形状が首が前に出て背中が少し丸くなっているため、後方からの撮影時にこのような特徴が表れるのだと考えられる。そのため、中俯角では後方から撮影した



(a) 方位角 $\alpha = 0^\circ$ (前方) (b) 方位角 $\alpha = 180^\circ$ (後方)

図11 低俯角 ($\theta = 0^\circ$) での GEI



(a) 方位角 $\alpha = 0^\circ$ (前方) (b) 方位角 $\alpha = 180^\circ$ (後方)

図12 中俯角 ($\theta = 50^\circ$) での GEI

時に高い精度で認証が可能になると考えられる。VNGEI でも同じ理由で精度の差が表れると考えられる。

また、GEI において、人物の真上 ($\theta = 90^\circ$) から撮影したときは GEI 作成時の高さ正規化の影響でその精度が変化する。GEI は各フレームのシルエットの高さを正規化してからそれを平均することで作成する。俯角 $\theta = 90^\circ$ において高さで正規化されたシルエット画像 (GSV) とその GEI を図 13 に示す。方位角 $\alpha = 0^\circ$ では、シルエットの高さ正規化の際に、腕の振りや歩幅によって正規化するシルエットの高さが変化しやすく、その結果不安定な特徴が得られる。一方、方位角 $\alpha = 90^\circ$ では、正規化するシルエットの高さは人物の横幅とほぼ等しくなり、ほとんど一定となって安定した特徴が得られる。このため、方位角 $\alpha = 0^\circ$ では精度が低下し、方位角 $\alpha = 90^\circ$ では高い精度を示したのだと考えられる。

VNGEI では、GEI と異なる理由で精度が変化する。図 14, 15 はそれぞれ方位角 $\alpha = 0, 90^\circ$ のときの 2 周期分の VNGEI とその差分である。VNGEI は、シルエット画像を平均してから高さで正規化するため、方位角 $\alpha = 0, 180^\circ$ の時には、同一人物の特徴であっても歩幅や腕の振りなどでシルエットの高さが変わりやすく、正規化する領域が変化し、認証精度が悪くなる。それに対して、方位角 $\alpha = 90, 270^\circ$ の時には、シルエットの高さは人物の身体の幅とほとんど等しくなるため、同一人物だと正規化する領域がほとんど変わらず、認証精度が高くなると考えられる。

また、VNGEI が距離 $d = 40\text{m}$ のときの本人同士の周期の異なる VNGEI とその差分を図 16 に示す。距離が遠くなるにつれて、人物の領域の画素数が少なくなり、高さで正規化する前の VNGEI の 1 ピクセルの違いが、正規化によって、特徴間距離に大きく影響し、認証が難しくなる。そのため、距離 $d = 40\text{m}$ のときには、GEI の結果とは異なり、俯角によって $d = 20\text{m}$ より精度が低下するものもあれば上昇するものもある。

俯角 $\theta = 0, 70^\circ$ での高さ正規化前の VNGEI と正規化後

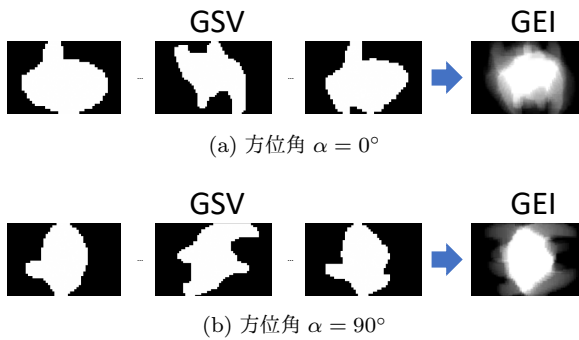


図 13 俯角 $\theta = 90^\circ$ における GSV と GEI

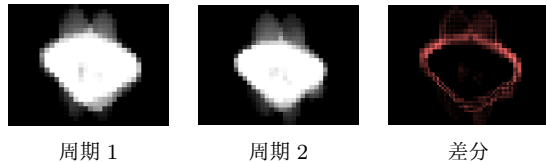


図 14 俯角 $\theta = 90^\circ$, 方位角 $\alpha = 0^\circ$ VNGEI とその差分

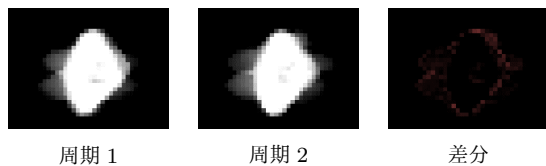


図 15 俯角 $\theta = 90^\circ$, 方位角 $\alpha = 90^\circ$ での VNGEI とその差分

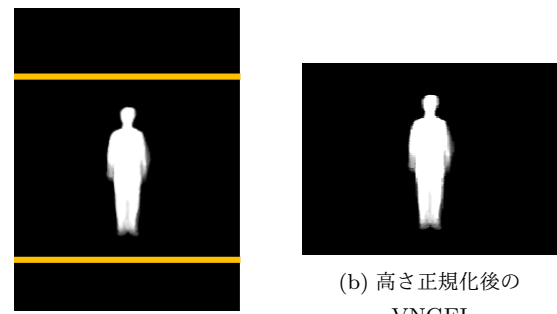


図 16 本人同士の VNGEI
距離 $d = 40\text{m}$, 俯角 $\theta = 0^\circ$, 方位角 $\alpha = 0^\circ$

の VNGEI を図 17, 18 に示す。図 17(a), 18(a) の黄色い線で囲まれた領域が正規化する領域である。図 18(a) を見てわかるように、俯角が大きくなると高さで正規化する領域が小さくなり、この領域の 1 ピクセルの違いが正規化後の VNGEI の特徴間距離に大きく影響を与える。したがって、VNGEI による認証では、俯角が大きくなるほど精度が大きく低下する。

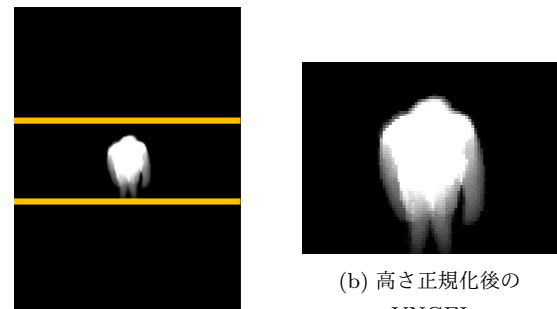
3.3.2 ドローンへの適用

最新のドローン PHANTOM4 が搭載するカメラの解像度は 2160×4096 (px) で、垂直画度は 94° である。PHANTOM4 を用いた場合、今回の実験で作成した距離 $d = 5\text{m}$ の画像の解像度と等しくなるのは、ドローンと人物の距離が約 10.3m となるときのときである。このとき、EER が得られたときの閾値を用いて認証を行う場合、本人が正しく本人だとみなされる確率は $1 - \text{EER}$ となり、95%以上の確率で本人の認証が成功するためには、俯角 $\theta = 70^\circ$ 以下の位置を選んで歩行者を撮影する必要がある。また、その中でも特に、歩行者の後方から撮影した時にもっとも高い精度で認証が可能になる。俯角が大きいときには、VNGEI より



(a) 高さ正規化前の VNGEI

図 17 俯角 $\theta = 0^\circ$ における VNGEI



(a) 高さ正規化前の VNGEI

図 18 俯角 $\theta = 70^\circ$ における VNGEI

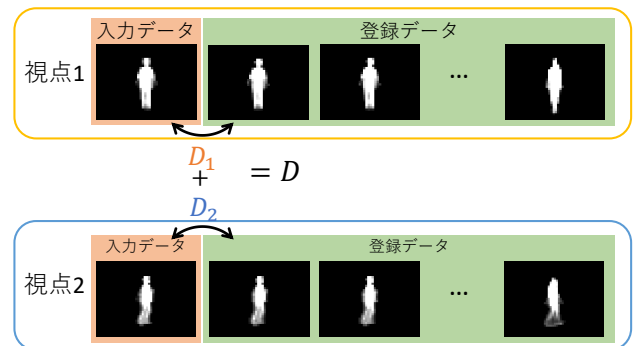


図 19 2 視点方向からの認証方法

GEI を用いて認証を行う方が高い精度での認証が可能になる。また、実験の結果より、距離 $d = 10\text{m}$ で作成した画像の解像度と等しくな約 20.6m の距離までは、同等の精度で認証可能なことが示された。

4. 2 視点からの認証

2 視点からの認証では、2 つの視点から得られた歩容特徴を組み合わせることで、より高い認証精度を得られることを期待する。2 か所のカメラ位置を定め、それぞれの位置から得られた歩容特徴を組み合わせる新たな歩容特徴とし、認証を行い、その精度及び 1 視点による認証精度からの向上率を検証する。

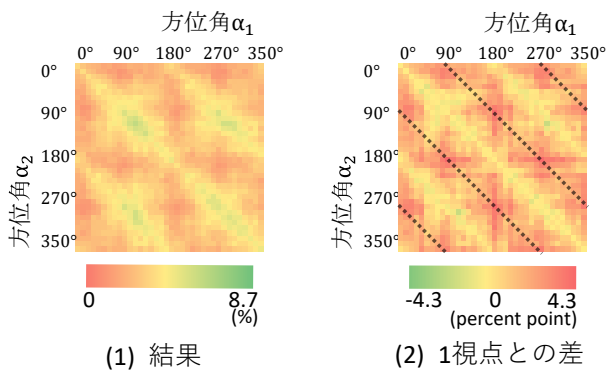


図 20 GEI: 俯角 $\theta = 0^\circ$ での結果

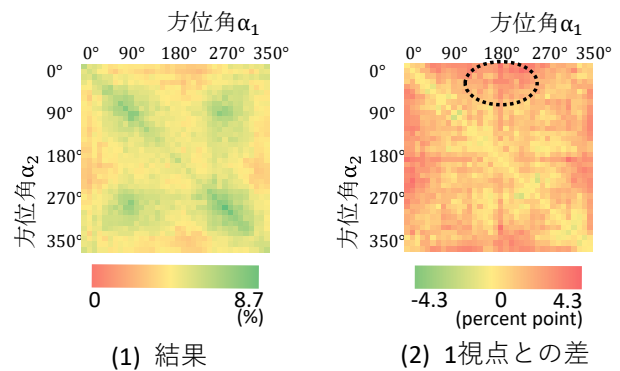


図 22 GEI: 俯角 $\theta = 70^\circ$ での結果

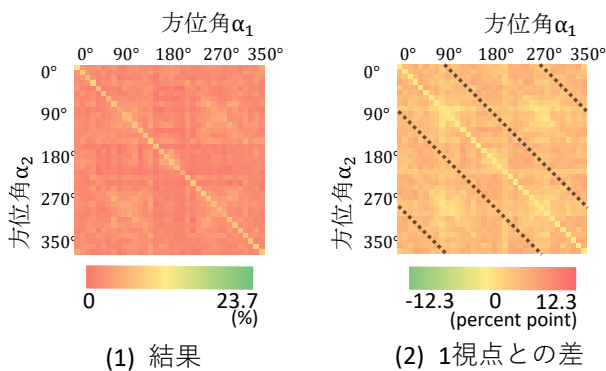


図 21 VNGEI: 俯角 $\theta = 0^\circ$ での結果

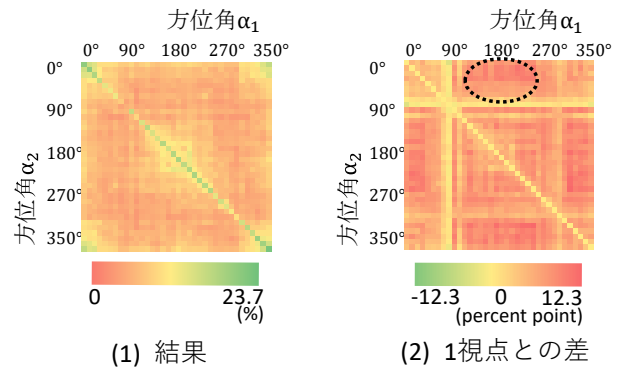


図 23 VNGEI: 俯角 $\theta = 70^\circ$ での結果

4.1 認証方法

任意の2視点において、それぞれの入力データと登録データに対し、特徴間距離 D_1, D_2 をL2ノルムで計算する。この2つの特徴間距離から、新たな特徴間距離 $D = D_1 + D_2$ を計算し距離行列を作成する。すべての入力データと登録データに対して新たな特徴間距離を求め、そこからFRR, FARを計算し、EERを求める。処理の概略図を図19に示す。そして前章で得られた単一視点の認証によるEERと比較し、その性能を評価する。本実験では、距離 d と俯角 θ を固定し、方位角のみ異なる2視点を用いて認証を行い、その性能を評価した。

4.2 結果

GEI, VNGEIにおける俯角 $\theta = 0$ での結果と1視点とのEERの差を図20, 21に、俯角 70° での結果と1視点とのEERの差を図22, 23に示す。このとき、1視点との差は、方位角 α_1, α_2 それぞれの1視点での EER_1, EER_2 と2視点での認証で得られたEERから、 $\Delta_{EER} = \min(EER_1, EER_2) - EER$ で計算される。

俯角 $\theta = 0^\circ$ のとき、図20, 21を見ると、2視点の方位角の差が 90° に近い組み合わせ（黒点線）のときに精度が大きく向上している。また、俯角 $\theta = 70^\circ$ のとき、図22, 23を見ると、2視点の方位角の組み合わせが 0° と 180° のとき（黒い円）に精度が大きく向上している。

4.3 考察

4.3.1 実験結果に対する考察

一般的に、物体を2方向から観測するときは 90° 違いの方向から観測すると、最も物体の形状を認識することができる。したがって、俯角 $\theta = 0^\circ$ などの俯角が小さいときには2視点の方位角の差が 90° の組み合わせの時に大きく精度が向上した。この傾向は、俯角 $\theta = 50^\circ$ 付近まで見られた。

また、俯角 $\theta = 70^\circ$ など、俯角が大きいときには、2視点間の角度は必ず 90° より小さくなってしまいが、その中で最も角度が大きくなるのは2視点の方位角の差が 180° になるときである。そして、もともとの単一視点からの精度が低いことに加え、人間の体形を考慮すると、人物の前方と後方の組み合わせの時には2つの視点からの人物の見え方が大きく変わり、得られる情報が増え、精度が向上するのだと考えられる。

4.3.2 ドローンへの適用

ドローンが人物を撮影するときには、俯角が 50° 以下の時は、歩行者を中心として直交するような2視点をも、また俯角が 50° より高いときには歩行者の前方と後方の2視点を選んで撮影すると、単一視点の時より認証精度が向上する。PHANTOM4を用いた場合には、実験で作成した距離 $d = 40\text{m}$ の画像の解像度と等しくなる距離は約 82.4m で、この距離でも同じ傾向がみられる。単一視点の時のEERの値が非常に高いときには2視点方向からの認証を用いて

も、十分な精度で個人認証を行うことはできないが、単一視点の時の EER の値が 1 割程度の時には、先に述べたような 2 視点を選択すると、95%以上の精度で本人の認証が成功するように精度が向上することも確認できた。ドローンを用いて 2 視点方向からの認証を行うときには、そのときの人物との距離と、俯角を考慮しつつ、観測視点を選ぶ必要がある。

5. おわりに

本研究では、ドローンカメラを用いた歩容認証を想定し、その視点選択のための認証性能評価を目的として 2 つの実験を行った。実験には、歩容特徴として GEI と VNGEI を採用した。

全周認証性能評価では、距離、俯角、方位角を変化させて撮影された歩行者画像から歩容特徴を抽出し、認証を行った。その結果、歩行者の背後から撮影すると高い認証精度が得られることがわかった。また、人物のシルエットの高さが、俯角が 0° のときに 24 画素以下となる距離では、認証精度が大きく低下することがわかった。これは、最新のドローンの一つである PHANTOM4 に搭載されたカメラを用いる場合に換算すると約 20.6m の距離である。

2 視点方向からの認証では、俯角とカメラと人物間の距離を固定し、方位角のみ変えた 2 視点の歩容特徴を組み合わせさせて認証を行った。その結果、俯角が 50° 以下の時には 2 つの視点の方位角の差が 90° になるときが、また俯角が 50° より高いときには方位角が 0° と 180° 、つまり歩行者の前方と後方の組み合わせの時に単一視点と比べて認証精度が高くなることがわかった。したがって、ドローンが歩行者を撮影するときには、人物の後方から撮影すると高い精度で歩容認証が可能になる。また、認証がうまくいかないときにはその時の俯角によって、低いときには人物を中心として 90 度違いの位置を、高いときには人物の前方と後方を撮影することによって認証精度を上げることができる。

本研究によって、ドローンが歩容認証を行うときに選ぶべき観測視点が明らかになった。今後の課題として、歩容認証に適した視点を通して撮影を行うようなドローンのプランニングがあげられる。一般的にプランニングの指標として障害物回避や最短経路などがあげられるが、そこに歩容認証のしやすさを追加して、実環境でドローンが歩容認証を行いながら自律飛行するシステムの実現を目指したい。

参考文献

- [1] 阿部幸司：空の監視サービス，電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン，Vol. 10, No. 3, pp. 150–155 (2016).
- [2] Wu, J.: Rook: World's 1st Fly-From-Anywhere Home Drone, <https://www.indiegogo.com/projects/rook-world-s-1st-fly-from-anywhere-home-drone-camera-drones#/> (accessed 2017-4-12).
- [3] Canals, R., Roussel, A., Famechon, J.-L. and Treuillet,

- S.: A biprocessor-oriented vision-based target tracking system, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 49, No. 2, pp. 500–506 (2002).
- [4] Chen, J. and Dawson, D. M.: UAV tracking with a monocular camera, *Proc. 45th IEEE Conf. on Decision and Control*, pp. 3873–3878 (2006).
- [5] Benhimane, S. and Malis, E.: Homography-based 2d visual tracking and servoing, *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 26, No. 7, pp. 661–676 (2007).
- [6] Lee, J., Huang, R., Vaughn, A., Xiao, X., Hedrick, J. K., Zennaro, M. and Sengupta, R.: Strategies of path-planning for a UAV to track a ground vehicle, *Proc. AINS Conference*, Vol. 2003 (2003).
- [7] Chen, H., Chang, K. and Agate, C. S.: UAV path planning with tangent-plus-Lyapunov vector field guidance and obstacle avoidance, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 49, No. 2, pp. 840–856 (2013).
- [8] Nixon, M. S., Tan, T. and Chellappa, R.: *Human Identification Based on Gait*, Vol. 4, Springer Science & Business Media (2010).
- [9] Iwama, H., Okumura, M., Makihara, Y. and Yagi, Y.: The OU-ISIR gait database comprising the large population dataset and performance evaluation of gait recognition, *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, Vol. 7, No. 5, pp. 1511–1521 (2012).
- [10] Sarkar, S., Phillips, P. J., Liu, Z., Vega, I. R., Grother, P. and Bowyer, K. W.: The humanid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 2, pp. 162–177 (2005).
- [11] Yu, S., Tan, D. and Tan, T.: Modelling the effect of view angle variation on appearance-based gait recognition, *Proc. Asian Conf. on Computer Vision*, pp. 807–816 (2006).
- [12] Urtasun, R. and Fua, P.: 3D tracking for gait characterization and recognition, *Proc. Sixth IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 17–22 (2004).
- [13] Cunado, D., Nixon, M. S. and Carter, J. N.: Automatic extraction and description of human gait models for recognition purposes, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 90, No. 1, pp. 1–41 (2003).
- [14] Wagg, D. K. and Nixon, M. S.: On automated model-based extraction and analysis of gait, *Proc. Sixth IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 11–16 (2004).
- [15] Han, J. and Bhanu, B.: Individual recognition using gait energy image, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 2, pp. 316–322 (2006).
- [16] Muramatsu, D., Shiraishi, A., Makihara, Y., Uddin, M. Z. and Yagi, Y.: Gait-based person recognition using arbitrary view transformation model, *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 24, No. 1, pp. 140–154 (2015).
- [17] Lam, T. H. W., Cheung, K. H. and Liu, J. N. K.: Gait flow image: A silhouette-based gait representation for human identification, *Pattern Recognition*, Vol. 44, No. 4, pp. 973–987 (2011).
- [18] Mitsugami, I., Ikeda, T. and Yagi, Y.: Thorough Performance Comparison between Silhouette-Based and Depth-Based Gait Authentication Methods, 第 19 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) (2016).
- [19] Muramatsu, D., Shiraishi, A., Makihara, Y. and Yagi, Y.: Arbitrary view transformation model for gait person authentication, *IEEE Fifth Int. Conf. on Biometrics: Theory, Applications and Systems*, pp. 85–90 (2012).