

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2009年～2011年

課題番号：21500511

研究課題名(和文) ファントムセンセーションと仮現運動の触感覚統合による本人認証パラダイムの設計

研究課題名(英文) Paradigm Design of Personal Identification by Using Tactile Sensor Fusion of Phantom Sensation and Apparent Movement

研究代表者

内田 雅文 (UCHIDA MASAFUMI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：00245341

研究成果の概要(和文)：本人認証において第三者に漏洩し辛い認証キーの構成は重要であるが、暗証番号・指紋など一般的な認証キーの多くは視覚情報として扱われる。その一方において、視覚障害者がIT分野で本人認証を求められるとき、その操作性やセキュリティへの配慮は現状、皆無に等しい。本研究では、触覚で生じる二種類の錯覚現象、ファントムセンセーションと仮現運動の触感覚統合を利用して認証キーを構成し、触覚情報ベースで本人認証を成立させるための仕組みを提案、構成した。

研究成果の概要(英文)：In present, personal identification system have been used to input identification-numbers and passwords by keyboards and touch panels. When a user enters their identification-numbers and passwords an observer could easily see the user's secret details. In this research, new personal identification that system constitutes tactile sense information by using tactile sensor fusion of phantom sensation and apparent movement was proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：生活支援技術 本人認証

1. 研究開始当初の背景

IT分野において本人認証は日常的に使われる操作プロセスになるが、視覚障害者がそれを求められるとき、その操作性やセキュリティへの配慮は皆無に等しい。その一方で暗証番号、パスワード、指紋や静脈血管パターンなど、一般的な認証キーの多くは、視覚的に扱われる情報で構成されている。本研究で

取り上げた触刺激により情報伝達する技術は、一般に触覚ディスプレイとして知られるが、本人認証を触覚ディスプレイ上で成立させる仕組みはこれまで存在していなかった。そもそも触覚ディスプレイ自体は、ユーザへ触覚情報を伝える技術であって、一部の例外(触刺激素子アレイ構造を採用する部類の触覚ディスプレイ)を除けば、この観点にお

いて視覚系の関与を完全に遮断する機能を本質的に備えた技術である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚障害者の本人認証においてセキュリティの確保と操作性向上のための、視覚情報に依らない本人認証の枠組みの設計と、これを実現するためのファントムセンセーションと仮現運動の触感覚統合による本人認証システムの構築である。この目的を達成するために、本研究では一般的な本人認証パラダイムにおける『視覚』情報を『触覚』情報で完全に置き換えることにより、触覚情報ベースで本人認証を成立させることを提案する。すなわち、本人認証プロセスにおけるユーザと本人認証システムとの間の情報（認証キー）のやり取りを完全に触覚情報だけで行いながら本人認証する仕組みの構築である。触刺激で構成される認証キーは、触覚で生じる二種類の錯覚現象、ファントムセンセーションと仮現運動を利用して3つの触刺激素子により表現される方位情報という形でユーザへ提示されるものとする。認証キーの構成要素は符号ではなく、方位情報という形の直感的な性質をもってユーザへ伝えられることから、触刺激から伝達情報を読み解く容易さや感覚的な憶え易さにおいて優位性が期待できる。

3. 研究の方法

研究の基本的な方法論は、研究代表者が数年来行ってきた触刺激による情報提示技術の手法を踏襲するものであるが、その基盤を成す提示刺激に対する生体反応の統合的観測システム（以後、実験システムと略記する）は、本研究において身体動態の計測および感性情報評価の観点において強化された。本研究において構成された実験システムの一例を図1に示す。

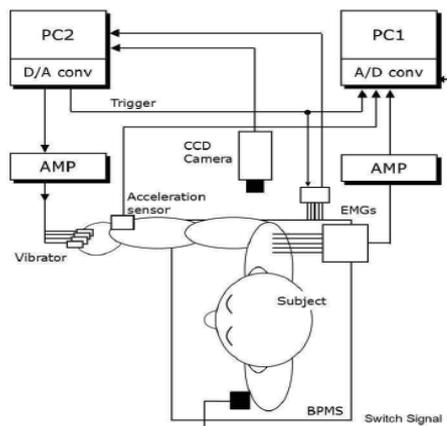


図1 実験システムの一例

実験システムは大きく2つの系統から成る。一方は被験者へ提示する触刺激を生成・出力する系、もう一方は提示刺激に対する生体反応を同期的統合的網羅的に観測・記録する系である。

触刺激はその時々の実験目的に応じて振動刺激か電気刺激の何れか一方を採用している。前者においてはボイスコイルモータ

(Audiological Engineering 社製 Skin Stimulator)、後者においてはゲル電極 (TOITU 社製 TE-620-06) がそれぞれ触刺激素子として用いられた。図2に方位情報の提示手法を示す。

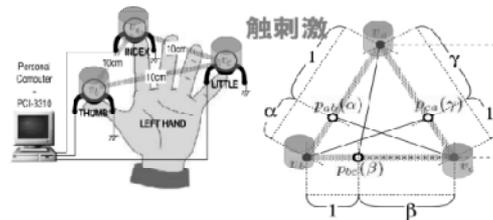


図2 ファントムセンセーションと仮現運動の触感

覚統合による方位情報提示

被験者は3つの触刺激素子を左手の親指、示指、小指の先端指腹部に装着、3つの触刺激素子 (v_a, v_b, v_c) がそれぞれ一辺約10cmの正三角形の頂点を成す状態で保持、各触刺激素子へ矩形波電圧を印加し、駆動する。3つの触刺激素子のうち何れか1素子（あるいは2素子）と他の2素子（あるいは1素子）との間に適当な位相差 τ を設けることで、刺激像が前者から後者へ流れるように向かう仮現運動を生起させることが可能になる。仮に v_b から v_c へ向かう仮現運動を生起させ、この仮現運動が表現する辺（正三角形の底辺）を基準方位0度と定めると、その底辺と、 v_b から v_a へ向かう仮現運動によって表現される辺との成す角度は60度になる。0~60度間の角度は、 v_a, v_c へ印加する矩形波電圧の振幅差を制御パラメータにファントムセンセーション像 $p_{ca}(\gamma)$ の生起位置を制御することで v_b から $p_{ca}(\gamma)$ へ向かう仮現運動を構成し、これを表現する。さらに、仮現運動の始点（起点）となる触刺激素子 v_b と終点となる触刺激素子 v_a, v_c およびファントムセンセーション像 $p_{ca}(\gamma)$ の始点と終点を入れ替えることにより180~240度を表現することが可能になる。以下、 v_a, v_b, v_c を順次入れ替えることにより、360度全方位が3つの触刺激素子により表現される。この手法に従うと、方位情報は18度刻み、20方位の提示が可能であることが、研究代表者の過去の研究成果で明らかになっている。本研究では、この方位情報を認証キーに利用し、その有効性を検証している。20の方位情報を利用して認証キーを構成したとき、ユーザは提示される触刺激を頼り

に、触刺激で表現される方位情報を入力デバイスを通じて調整、事前に登録していた方位情報をその場で再現することにより本人認証が成立する。本人認証システムは、触刺激によって方位情報を表現し、触刺激によって方位情報をユーザへ提示する。一方、ユーザは提示される触刺激から直観的に方位情報を解釈、読み解くことになる。その際、本人認証システムからユーザへ触刺激提示された方位情報と、ユーザが触刺激から解釈、読み解いた方位情報とは必ずしも一致せず、また、その差はその都度、変化する。すなわち、本人認証システムから触刺激提示される方位情報が同じであっても、ユーザ個人の解釈によってその都度、異なった方位情報として認知されてしまうことになる。したがって、触刺激で表現される方位情報を認証キーとして使用する場合、本人認証システム側では、変動するユーザの解釈、およびその解釈に基づくユーザの回答からユーザの意図する情報を推測し、有意な認証キーとして認識する必要がある。

本研究で提案する本人認証システムの概念図を図3に示す。触刺激で表現される方位情報を認証キーとして用いる際、提示される方位情報（以後、提示方位と略記する）と、その方位情報を表す触刺激をユーザが受容して解釈、読み解き回答した方位情報（以後、回答方位と略記する）の誤差を補正する機構を本人認証システムとユーザの間に設置する。この補正機構は、ニューラルネットワークをベースに、事前の登録情報および過去の回答履歴を基に学習によって構成される。

提示方位に対する回答方位は、ユーザの直感的な解釈、すなわちユーザの個性が反映されるものである。そこでユーザごとに、ある

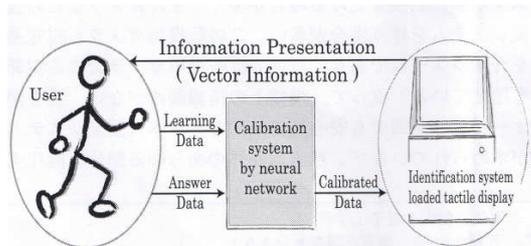


図3 方位情報を用いた本人認証システム。ニューラルネットワークによる回答方位補正システム

提示方位に対して複数の回答方位を取得し、提示方位と複数の回答方位との関係をニューラルネットワークに学習させる。複数の回答方位をニューラルネットワークへ入力し、その出力を補正済の回答方位として本人認証に用いることで、回答方位のばらつきが抑えられる。回答方位のばらつきが抑制されれば、方位角度の分解能の向上が図られ、認証キーのバリエーションの拡大も期待できる。

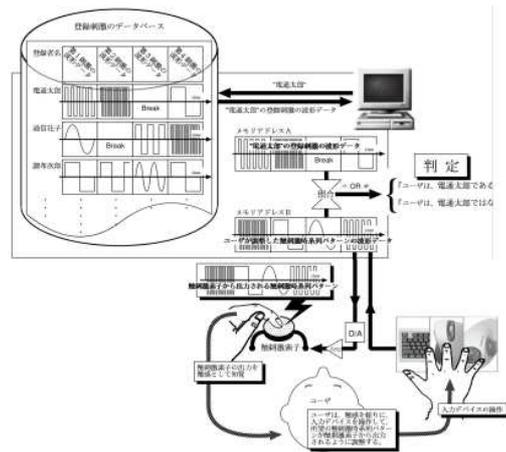


図4 個人認証方法、個人認証システム及び認証プログラム（特許第4862155号・2011年11月18日取得）

さらに、提示方位と複数の回答方位との関係はユーザごとに異なるので、補正処理を担う学習後のニューラルネットワークには、そのユーザの個性が盛り込まれることになる。

本研究では、本人認証時のユーザへの負担やシステムの操作性を考慮し、1回の補正処理に要する回答方位の数を2~4の3種類とし、その有効性を検討した（以後、それぞれ2方位補正処理、3方位補正処理、4方位補正処理と記す）。

4. 研究成果

触覚情報を用いて本人認証を成立させるための基本的な考え方は「個人認証方法、個人認証システム及び認証プログラム」（特許第4862155号・2011年11月18日取得）にほぼ集約されている（図4参照）。

ユーザは触感を頼りに入力デバイスを操作して触刺激提示装置から出力される触刺激の触感パターンを調整、事前にデータベースへ登録していた触感パターンをその場で再現することにより本人認証が成立する。ただし、用いられる触感パターンは単純な触刺激の組み合わせではなく、触覚で生じる二種類の錯覚現象、ファントムセンセーションと仮現運動の触感覚統合により表現された方位情報という形でユーザへ伝えられる。すなわち、本人認証の基礎データ、データベースに登録される情報のうち、触刺激に対応する部分は、ファントムセンセーションと仮現運動の触感覚統合により表現された方位情報に置き換えられている。方位情報を用いて安定的に本人認証を成立させるためには、ユーザの回答方位に対する相応の方位補正の必要性が明らかとなり、本研究ではこれをニューラルネットワークを用いて解決した。

本研究では、実験的に有効な方位補正処理を調査、検討した（被験者は20~55歳の健康な成人男女20名）。結果として2方位補

正処理では本人認証を成立させるに足る補正が実現されないこと、また、被験者は提示方位と回答方位との差の大小により2群に分けられ、差の小さい群では3方位補正処理が有効、差の大きい群では4方位補正処理が適していることを明らかにした。年代別では、20~30代において3方位補正処理優位、40~50代においては4方位補正処理が優位となった。

本研究を遂行する上で、仮現運動が定量的・客観的かつ比較的簡単・確実に捉えられることは必要不可欠な課題であった。実験を遂行する中で、被験者を特定の実験環境下に置き(4つの触刺激素子を近位指節間関節で挟み込み、その上肢を前方水平に保持; 図5参照)、仮現運動を生起させると、その上肢に特徴的な動揺が生じることを見出した。こ



図3 4つの触刺激素子を近位指節間関節で挟み込み、その上肢を前方水平に保持

のときの動揺に関連するであろう筋肉の活動状況を皮膚表面筋電位として計測し、解析的に調査・検討した。結果、親指から小指へ向かって下向きに流れる仮現運動が生じたときの上肢には、触刺激提示終了後250ms付近において、仮現運動の向きに抗するような筋肉の活動、具体的には大菱形筋の関与を示唆する反応が確認された。皮膚表面筋電位の反応として捉えられた身体動揺を、より具体的な身体の動態として捉えるため、前腕の3軸加速度値、上半身のトラッキング点座標値、身体の重心位置座標値および皮膚表面筋電位の同期的・統合的な観測により捕捉し、身体動揺と皮膚表面筋電位との関連性、因果関係を解析・調査した。因果関係は相互情報量解析により定量化され、仮現運動との関連性は多重比較検定によって比較検討された。

被験者4名より得られた実験データに対して特徴抽出した結果、仮現運動に関連する特徴量が見い出された。また、身体動揺は少なくとも1.5秒間は継続する、提示刺激に関連する周期の揺れである可能性も見い出した。今後の展望として、仮現運動に伴う身体動揺に対し、より効果的な触刺激の構成や刺激提

示部位の精査、およびその発現機序の解明が課題として残されている。また、より広い視点で身体動揺を捕え、触刺激により誘発される身体動揺の制御、さらに一步進めて、触刺激により身体誘導する技術へと発展させていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- (1) Kennichi Mogi and Masafumi Uchida, "Quantitative evaluation of body-sway caused by tactile apparent movement," *Artificial Life and Robotics*, vol.16, no.2, pp.266-270 (2011), 査読有, DOI: 10.1007/s10015-011-0966-0
- (2) Young-il Park and Masafumi Uchida, "Swing analysis of body-parts motion accompanied by apparent movement," *Artificial Life and Robotics*, vol.15, no.4, pp.491-495 (2011), 査読有, DOI: 10.1007/s10015-010-0851-2
- (3) 齋藤和哉, 内田雅文, 野澤昭雄, "リズム知覚に基づく運筆解析," *IEEJ Trans. FM*, vol.131, no.4, pp.304-305 (2011), 査読有, DOI: 10.1541/ieejfms.131.304
- (4) 茂木兼一, 内田雅文, "仮現運動認知に伴う身体動揺の相互情報量解析," *IEEJ Trans. EIS*, vol.131, no.1, pp.127-133 (2011), 査読有, DOI: 10.1541/ieejjeiss.131.127
- (5) 朴永鎰, 内田雅文, "触刺激で構成された方位情報の補正システム," *IEEJ Trans. FM*, vol.130, no.6, pp.601-606 (2010), 査読有, DOI: 10.1541/ieejfms.130.601
- (6) 川原幸司, 朴永鎰, 内田雅文, "触覚の仮現運動認知時における皮膚表面筋電位の特徴抽出," *IEEJ Trans. SM*, vol.129, no.6, pp.187-188 (2009), 査読有, DOI: 10.1541/ieejsmas.129.187

[学会発表] (計17件)

- (1) Ali Mokhtari and Masafumi Uchida, "EMG analysis accompanied by tactile apparent movement," *The 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2012*, 2012年1月21日, Ohita
- (2) 渥美広子, 内田雅文, "ERPを用いたSVMによる触刺激の嗜好推定," 電気学会産業計測制御研究会, 2012.3.6, 神奈川

- (3) 鈴木潤也, 内田雅文, “体幹を貫く触覚仮現運動の知覚特性,” 電気学会産業計測制御研究会, 2012年3月6日, 神奈川県
- (4) Kenichi Mogi and Masafumi Uchida, “Quantitative evaluation of body-sway caused by tactile apparent movement,” The 16th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2011, 2011年1月27日, Ohita
- (5) 齋藤和哉, 内田雅文, 野澤昭雄, “リズム知覚に基づく運筆制御,” 電気学会産業計測制御研究会資料, 2011年3月9日, 千葉
- (6) 大坪正, 内田雅文, “多層ニューラルネットワーク解析を用いた鼻部皮膚温の特徴抽出,” 平成23年度電気学会産業応用部門大会, 2011年9月8日, 沖縄
- (7) Kazuya Saito, Young-il Park and Masafumi Uchida, “Investigation of voluntary movements in auditory stimulated conditions by integrative measurement,” The Fifteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2010, 2010年2月4日, Ohita
- (8) Young-il Park, Kazuya Saito and Masafumi Uchida, “Swing analysis of body-parts motion accompanied by apparent movement,” The Fifteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2010, 2010年2月4日, Ohita
- (9) 茂木兼一, 内田雅文, “仮現運動認知による身体動揺の相互情報量解析,” BPES 2010 第25回生体・生理工学シンポジウム論文集, 2010年9月25日, 岡山
- (10) 大坪正, 内田雅文, “視覚的驚愕刺激に対するヒト末梢血管抵抗の特徴抽出,” 電気学会計測研究会, 2010年8月31日, 東京
- (11) 鈴木潤也, 内田雅文, “振動モータを用いた振動刺激生成システム,” 電気学会計測研究会, 2010年12月17日, 東京
- (12) 渥美広子, 内田雅文, “事象関連脳電位を用いた触刺激の嗜好推定,” 電気学会計測研究会, 2010年12月17日, 東京
- (13) Kazuya Saito, Young-il Park and Masafumi Uchida, “Integrative Measurement of Biological Information During Voluntary Movement,” ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月19日, Fukuoka
- (14) Akio Nozawa and Masafumi Uchida, “Characterization of Preference for Viscosity and Fragrance of Cosmetic

Emulsions by Autonomous Nervous System Activity,” ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月19日, Fukuoka

- (15) Young-il Park and Masafumi Uchida, “Analysis of Surface EMG with Apparent Movement of Tactile Sense,” ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月19日, Fukuoka
- (16) 大坪正, 朴永鎰, 内田雅文, “触刺激に起因した手書き文字変形の計測,” 電気学会計測研究会, 2009年12月11日, 東京
- (17) 茂木兼一, 朴永鎰, 内田雅文, “触覚の仮現運動認知に伴う身体動揺の計測,” 電気学会計測研究会, 2009年12月11日, 東京

〔産業財産権〕
○取得状況 (計1件)

名称: 個人認証方法、個人認証システム及び認証プログラム
発明者: 内田雅文・朴永鎰
権利者: 国立大学法人電気通信大学
種類: 特許
番号: 第4862155号
取得年月日: 2011年11月18日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 内田 雅文
(UCHIDA MASAFUMI)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号: 00245341

- (2) 研究分担者
なし

- (3) 連携研究者
なし