

平成 22 年 06 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19700198
 研究課題名（和文） ヒューマンエラーと向き合う次世代ロボットのためのリアルタイムの人間信頼性評価機能
 研究課題名（英文） Real-Time Human-Reliability Estimation Addressing Next-Generation Robots Coping with Human Errors
 研究代表者
 尾暮 拓也（OGURE TAKUYA）
 独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・研究員
 研究者番号：60415651

研究成果の概要（和文）：

ヒューマンエラーの影響を受けやすい次世代ロボットの安全性について、次世代ロボットが使用者に関する様々なモダルの情報を取得しやすいという特性を利用して事故を予防する固有技術の可能性を提案した。人間の信頼性は個人的要因の影響が大きいため本研究では操作型の次世代ロボットが本質的にリアルタイムで個人を特定できることを示し、ヒューマンエラーの予防に寄与できることを示した。

研究成果の概要（英文）：

We showed a potential technology to avoid accidents in the next-generation robots, which are to be influenced adverse effects of human errors. These robots are expected to work alongside humans, where information of a variety of modality flows from the human. As human reliability depends on factors associated to one's personality, we demonstrated personal identification based on information of operational input of a robot, in order to claim certain type of next-generation robots fundamentally have possibility to identify their users before activate preventive measures of human errors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	0	2,600,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	240,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：デジタルヒューマンモデル、人間信頼性評価

1. 研究開始当初の背景

今日の人類社会は科学技術を通じてのみ持続的発展が可能である。例えば少子高齢化の進行がもたらす「労働人口の減少」と「要介護者の増加」という全世界的な課題に対し

ては次世代ロボットの実用化が一つの解決方法になると考えられている。ここでいう「次世代ロボット」とは人間と共に生産活動を行う次世代産業用ロボットや、人間の家事支援及び介護や看護を行うサービスロボッ

トを指している。厚生労働省の調査では2025年までに先進国の人口の30%弱、世界人口の10%が65歳以上の高齢者になるとしている。そして経済産業省の「ロボットビジョン懇談会」は2025年までに次世代ロボットを実用化することを目標に掲げている。このような次世代ロボットに共通する特徴は人間に近接するか、あるいは接触して動作するという点である。十分な出力を持つ産業用ロボットは現在ではフェンスなどで人間から厳重に隔離されて使用されており、このようなロボットを人間の近傍で作動させるような条件での安全確保は人類にとって未知の領域である。従って人に近接する次世代ロボットの安全に関しては早急に研究を推進することが必要であるといえる。

人工システムに対して不適切である人間の行動はヒューマンエラーと呼ばれ、「ヒューマンファクタ工学」の分野で体系化されている。ヒューマンファクタ工学は第二次世界大戦以降に複雑化する兵器を最適設計するために米国で体系化が始められた分野であり、人間にとっての機械等の操作性と安全性を改善することを目的とする。これは現在では航空機や原子力プラントの設計にも応用されている。

ヒューマンエラー研究が始められた契機は1979年に起きたスリーマイル島原発事故であり、その後も主に原子力安全の領域で研究が行われてきた。そして原子炉の制御卓の操作は単純な動作であることから「ミステイク」のヒューマンエラーが集中的に研究され、対照的に「アクションスリップ」の研究は手薄になった。ここでミステイクとは誤解や判断ミスなどの認知的エラーのことであり、アクションスリップとは身体の運動制御のエラーのことである。しかし人間と次世代ロボットとの間のインタラクションでは運動学的に複雑な関係が発生し得るのでアクションスリップの問題が避けられない。具体的な問題としては次世代産業用ロボットと作業者とがグループ作業を行う時のアクションスリップなどが予想できる。ここでいうグループ作業とは、次世代産業用ロボットが作業者の作業野に治具やワークピースを提供する作業等である。このような作業は人間同士であれば手術看護師が執刀医に対して医療器具を提供する「直接介助」に見ることができるが、ここで被介助者に運動制御のエラーがあれば衝突や器具による怪我が起こりえる。さらに介助者がロボットであれば可動部や機体と固定物との間に手足を挟み込むなどの事故も起こりえる。現状ではこのような問題を解決できないために法的にも産業用ロボットと人間との協働は禁止されている。次世代ロボットが人間に近接して作業をするためにはロボットには人間のアクション

スリップに柔軟に対応できる機能が要求されるであろう。従って現在手薄になっているアクションスリップの研究を推進することが必要であるといえる。

工学的にアクションスリップを対象とした研究は少ないが、人文科学としては心理学の分野でアクションスリップのモデル化と分類の研究が行われている(D. A. Norman, 1981)。人間の「運動動作(Motor Action)」そのものの研究に関しては、「人間工学」と「スポーツサイエンス」の分野で研究が行われている。人間工学は労働生産性を最適化するために1950年頃からヨーロッパで発展した分野とされ、例えば周期的作業のプレと習熟度との相関(中島, 1943)や、刺激に対する反応時間と疲労との相関など、多くの知見が得られている。

スポーツサイエンスは1922年にノーベル賞を受賞したA.V. Hillの筋生理学の研究から発展したとされ、人が立位姿勢でバランスを崩したときの筋活動の特徴(F. Horak, 他, 1986)などの多くの知見が得られている。さらに近年ではモーションキャプチャなどのデジタル計測器とデータマイニング技術の発達を背景に「スキルサイエンス」や「デジタルヒューマンモデリング」の分野が立ち上がりつつある。スキルサイエンスはスポーツサイエンスの下位分野で動作の一般的な「巧さ」を構成論的に考察するものであり、これまで「ピークタイミングシナジー」(植野研, 2005)などの研究が行われている。デジタルヒューマンモデリングは計算機で人のシミュレーションを行うというアプローチによって人類学の理解を深めるものであり、これまで自動車ドライバーの誤り動作のモデル化(中田亨, 2004)などの研究が行われている。これらの安全に関連性のある運動動作の研究を領域横断的に参照してロボット安全のためのヒューマンエラーの知見を充実させることは有意義であり、研究の推進が必要であるといえる。



図1 実験で用いるスキルアシスト

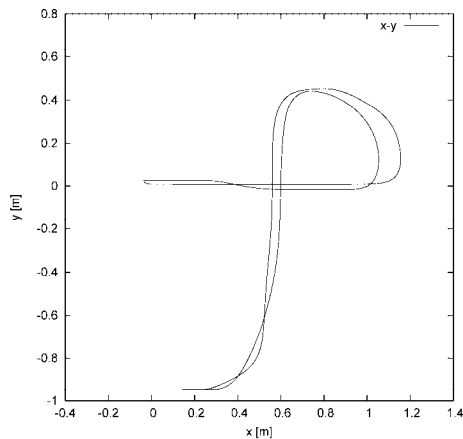


図2 被験者のスキルアシスト操作軌道

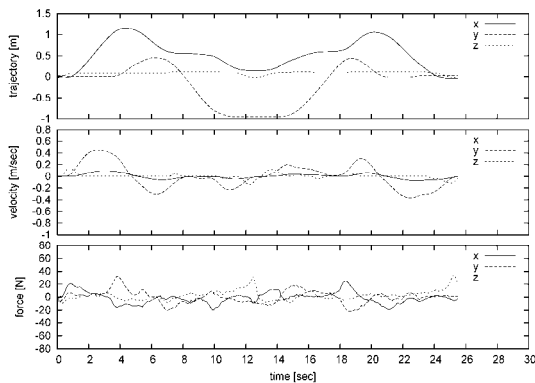


図3 スキルアシスト操作の時系列データ

2. 研究の目的

ヒューマンエラーの頻度など人間のパフォーマンスを決定する要因を「パフォーマンスシェーピングファクター」と呼ぶが、これまでの予備実験から、パワーアシスト装置を使用した場合にはヒューマンエラーに係わるパフォーマンスシェーピングファクターは疲労などの状況的依存的なものよりも性格に起因するような個人固有のものの方が支配的であるという知見を得た。

さらに過去の研究 (Wogalter, 1994) により、個人ごとに産業用機械を調整してパフォーマンスを向上する場合、ヒューマンエラーの減少のためには個人名を特定したウォーニングを提示することが有効であることが示されている。

そこで本研究では、次世代産業用ロボットが人間とのインタラクションの中でヒューマンエラーを減少させるための手段として、まずインタラクション相手の個人の特徴が最重要課題であると位置づけ、オンライン個人識別をロボットのセンサ系を利用して実施する方法を検討する。

3. 研究の方法

パワーアシスト装置の操作データからの個人の識別可能性を評価する。

パワーアシスト装置には「スキルアシスト」を使用する。図1は実験で用いるスキルアシストのアクチュエータ、センサ、制御用コンピュータの外観を表わしている。アクチュエータの構成はx軸とy軸にACモータ、z軸に空気圧アクチュエータを用いている。センサの構成は3軸のリニアエンコーダ、操作ハンドルに取り付けられた3軸の力覚センサとなつている。エンドエフェクタにはシートを把持する機構が備わっている。またエンドエフェクタは回転可能だが、この軸にはアクチュエータは備わっていないので手動力で回転が行われる。制御用コンピュータには3chのカウントボードとAD/DAが備わっており、それぞれエンコーダからの入力、力覚センサからの入力、アクチュエータへの制御出力を行っている。

被験者の数は研究室の男子学生5人であった。すべての被験者はこの実験で初めてスキルアシストの操作を行った。実験は2日間とし、各被験者は休憩をはさんで30分間、搬送作業を行った。

被験者は、はじめに操作に慣れるまで作業の練習を働、その後、以下の搬送作業を行うように指示される。

- (1) シートを作業台から持ち上げる
- (2) シートを自動車フレームまで運ぶ
- (3) シートをフレームに置き、数秒動かさず待つ
- (4) シートをフレームから持ち上げる
- (5) シートを作業台に運ぶ
- (6) シートを作業台に置く

このようにして被験者がスキルアシストを操作した場合、スキルアシストのエンコーダを通じて得られるデータは図2、図3に示すような位置、速度と入力操作力の6次元の時系列データとなる。

オンライン個人識別のためのデータ処理は Support Vector Data Description (SVDD) と Dynamic Programming (DP) マッチングとを用いて行う。

SVDD は 1-class 識別器であり、標本が存在する領域を標本から推定する評価手法である。標本データの分布空間があり、標本の属性に応じて分布に十分な偏りがある場合、標本の属性に対応する分布領域を推定することができる。参考のため被験者2名の操作履歴の標本データの分布の例を図3に示す。標本データは操作されるスキルアシストのアーム部の位置、速度、および加えられる操作力の時系列データであるが、図3ではこれらのパラメータを平面上の1点に縮退して表現

し、標本間の類似性の大きさを保存するように平面上にプロットしてある。スキルアシスト操作の時系列データにはこのように個人に特有の特徴が保存されていることが多い。

SVDD で標本空間をパターンとして分類するとき、それぞれの領域はサポートベクトルと呼ばれる、領域を包含する境界を形成する標本ベクトルの集合で定義される。ある標本はサポートベクトルと比較してどの分布領域に含まれるかを評価することによって標本の属性が推定される。推定と学習のためには標本となるベクトルの類似度を評価する手法が必要となる。

DP マッチングは多値の時系列データの類似度を計算するために広く用いられている評価手法であり、時間軸上で伸張のノイズが乗っているベクトルのシリーズの間の類似性をロバストに評価することができる。

本研究ではスキルアシストで操作型の次世代ロボットを模擬し、その操作履歴から操作者の同定を試みる。操作履歴のデータは先に説明した方法でサンプリングし、このデータに対してSVDDおよびDPマッチングからなるパターン分類法を適用する。この処理について交差検定を行い、ロボットによるオンライン個人識別の精度を評価する。

4. 研究成果

5人の被験者のスキルアシスト操作履歴に対するパターン分類の交差検定の結果をTable 1に示す。またパターン分類に要した操作履歴の時系列の時間間隔をTable 2に示す。

Table 1 Identification Results

	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>Total</i>
Trials	118	283	332	522	168	1423
Succeed	118	283	304	518	167	1390
Fail	0	0	28	4	1	33

Table 2 Takt-Time and Response-Time

<i>Time(s)</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>
Takt	26.6	21.1	20.1
Response	1.69	0.17	2.38
	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>Ave</i>
Takt	19.5	17.5	21.0
Response	2.54	0.57	1.47

これらの実験から、個人識別の平均成功率は97.7%、識別に要するデータ取得時間は平均1.47秒であった。同様の他の研究の結果と比較して今回の実験での成功率は必ずしも低くないといえる。そして識別に要するデータ取得時間はほぼ一呼吸の時間であり、この短い時間間隔でリアルタイムの個人識別が可能である場合、操作型の次世代ロボットで想定される用途、たとえば食事の介助、トイ

レの移乗の介助などで使用開始後まもなく危機的な状況が訪れる前に、個人に応じたアラートの提示やロボットの自由度の制限などヒューマンエラーを予防する介入が可能になる。このように、本研究では、ヒューマンエラーの影響を受けやすい次世代ロボットの安全性について、次世代ロボットが使用者に関する様々なモダルの情報を取得できる可能性があるという特性を利用してヒューマンエラーを予防する固有技術の可能性を提案した。

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1件)

横塚将志、尾暮拓也、山田陽滋、尾崎功一、パワーアシスト装置のためのオンライン個人識別、精密工学会誌、査読有、Vol. 75, No. 9, 2009, pp. 1139-1144.

[学会発表](計1件)

Yokotsuka, M., Ogure, T., Ozaki, K., and Yamada, Y., "Measurement of Human Reliability for Enhancing Next-Generation Robots' Safety", No Review, Safety of Industrial Automated Systems 5th International Conference (SIAS2007) Proceedings, pp. 199-203.

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾暮 拓也 (OGURE TAKUYA)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・研究員

研究者番号：60415651

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

横塚 将志 (YOKOZUKA MASASHI)

宇都宮大学大学院・工学研究科・博士課程
研究者番号：