Vol.2013-CG-152 No.1
2013/9/9

簡略化された手がかり表示による任意動作の誘導法

安妻洸太[†1]　　栗山繁[†1]
†1 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology

本研究では，健康増進や医学的リハビリテーションを目的とする運動訓練の支援にシリアスゲームを導入するための基盤技術の構築を目的とする．特に，運動を誘発するための視覚的な手がかりを，できるだけ少ない情報量と認知的な負荷で訓練運動のデータから自動生成する手法を提案する．本稿では，３次元的に表示された板を割るという運動誘発刺激の認知的な影響に関して，実験的に検証する．

1. はじめに

近年注目を浴びているシリアスゲームは，教育や学習，疑似体験といった単なる娯楽以外の目的を持つ．さらに，テレビゲームなどに散見される遊びのための仕組みや技術を他の仕組みに当てはめて課題解決に利用するという考えのゲーミフィケーションやゲームニクスという概念も注目され始めている．

福祉分野へのシリアスゲームの導入も注目を浴びており，健康増進や医学的リハビリテーション等の運動訓練に既に適用されている．身体障碍者のリハビリにおいては専門のトレーナーが常に傍らにいて支えや助言を与える．また，高齢者のリハビリにおいてはヘルパーがお手本を見せながら訓練を支援する．しかしながら，高齢者の数は年々増加しており，ヘルパーの数が相対的に不足しているので，リハビリにおけるヘルパーの負担を軽減する必要がある．

本論文では健康増進や医学的リハビリテーション等の運動訓練支援にシリアスゲームを導入するための基盤技術の構築を目的とする．ゲーム要素を混在させることで楽しみながらできる運動訓練を提供するために，訓練させたい所望の運動動作の数値データを入力し，その値より視覚的な手がかりを自動的に生成，配置する事を目的とする．

ここで，視覚的手がかりとは運動訓練を支援するために画面に表示される視覚刺激であり，誘導したい運動を直観的に理解させるためのものである．例えば出現する板を割るゲームであれば，その板の振る舞いが視覚的手がかりに相当する．視覚的手がかりの出現位置とそのタイミングは誘導したい運動訓練の動作データから自動的に決定する．本手法では，入力された動作データからキーとなる姿勢を抽出して手がかりとなる物体の位置や向き等を決定する．キー姿勢とは動作中の特徴的な姿勢に相当し，これにより動作の肝となる部分を取り出すことができる．

生成した視覚的手がかりをもとに被験者に自由に運動訓練を行ってもらい，誘導すべき動作と計測した運動動作を比較して，提案手法の効果を検証した．

2. 関連研究

2.1 視覚的手がかり

本研究に先行して，運動を誘発する視覚的手がかりの表示様式が動作の再現に与える影響を調査した[1]．その結果，誘導する動きの関節位置が表示されていれば，動作は再現可能であることが判明した．また所望する動作の特徴によって利用すべき視覚的手がかりは異なっていることが発見され，動作特徴の解析と視覚的手がかりの関連付けが必要である事が判明した．

2.2 キーフレーム抽出

鈴木らによって提案された，動作データからのキー姿勢抽出方法[2]では，モーションカーブを最適に線分近似する姿勢群を動的計画法により効率的に求めている．この手法では選択すべき姿勢数を近似誤差から自動的に推定できるので，運動の激しさに合致した数の姿勢が自動的に選ばれる可能性がある．また，近似手法の性質により，手足を伸ばしきった状態等，目標物を設定するのに適切な姿勢が選ばれる可能性が高い．以上の理由により，本手法においても視覚的手がかりを表示するタイミングは，このキー姿勢が選ばれるタイミングに設定する．

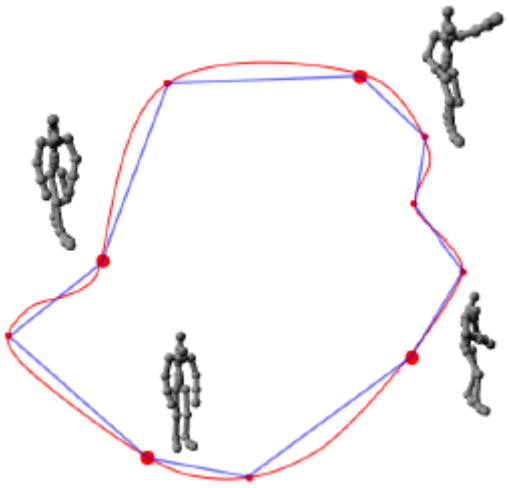


図１　抽出したキーフレームによるモーションカーブ近似

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

3. 提案手法

本研究では，標的物体を壊していくゲームを対象とし，その位置や向き，および出現タイミングを訓練する動きを表すモーションキャプチャデータから自動的に計算する．入力となる動作データを解析し，鈴木らの手法[2]によって抽出されるキー姿勢の関節座標に標的物体を配置する．ただし，標的物体の奥行きの位置を明確にするため，出現位置に合わせてその大きさを変更する．標的物体は触れられたときに割れる表示の後に消滅させ，次の標的物体の表示を開始する．動作を高精度に誘導するために，上腕の運動方向と次の物体の出現位置の把握が容易になるように標的物体の向きを設定した．

3.1 動作比較

動作間の比較は，関節位置から構成される姿勢ベクトルの間のユークリッド距離として定義される姿勢距離を用いる．ただし，今回の実験では右腕の動きに限定したので，上半身の関節に限定した姿勢距離を用いた．動作比較に際しては，動作の時間ズレや伸縮を解消する必要があるので，動的時間伸縮法[3]（Dynamic Time Warping，以後 DTW）を導入した．この方法を用いて姿勢間の最適な対応関係を求め，姿勢距離を算出する．

DTW はデータ長やピーク値をとるタイミングが一致するように 2 つのデータの同期をとるアルゴリズムである[3]. 長さ n の姿勢系列 X=(x1,x2,…,xn)と長さ m の姿勢系列 Y=(y1,y2,…,ym)を考えると，この 2 つの DTW 距離 D(X,Y)は以下のように定義される．

$$D(X, Y) = f(p, q)$$

$$f(p,q) = \|xp - yq\| + \min\{f(p, q-1), f(p-1, q), f(p-1, q-1)\} \quad (1)$$

$$f(0, 0) = 0,\ f(p, 0) = f(0, q) = \infty$$

$$(p = 1,\ldots,n;\ q = 1,\ldots,m)$$

ただし，‖‖ はユークリッド距離を表す．

(1)式によって求められた DTW 距離が最小となる経路探索を行い，比較するべき姿勢を抽出する．図 2 に探索の結果を示す．ただし，水平と垂直の目盛は時間的に伸縮している動作箇所を示している．

3.2 再現率

比較する 2 つの動作の相違度を評価基準として再現率を定義する．再現率は同じとみなされた姿勢数の，動作全体の姿勢数に対する比率で定義する．ただし，ここでの同じ姿勢とは DTW で対応付けられた 2 姿勢の姿勢距離が閾値以下である場合にカウントされ，閾値については経験的に設定した．

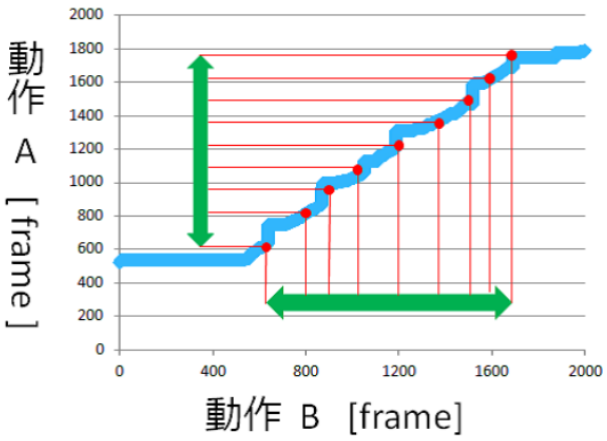
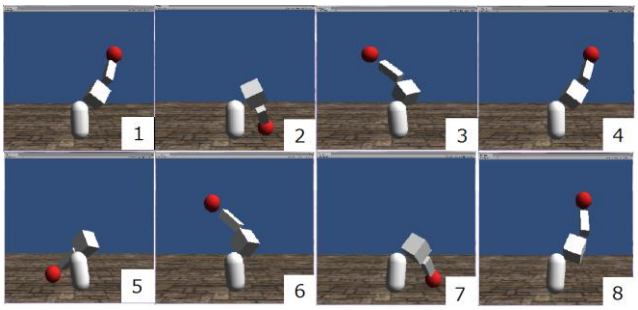


図 2　DTW による対応姿勢の探索の結果

4. 動作誘導実験

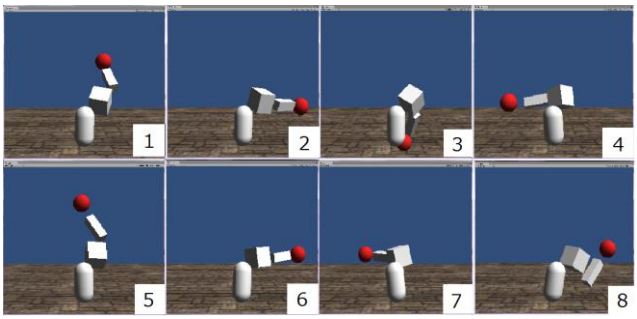
本実験では右腕のみを使用する運動に限定し，システムへの入力となる動作も右腕に関するデータのみを用いた．これらの動作は，図 3 に示すように直線的な動きの動作 A，曲線的な動きの動作 B，奥行きのある動きの動作 C，肘を屈折させる動きの動作 D，およびそれらの複合動作 E の 5 種類から構成される．動作 A,B,C では肘を伸ばした状態での動作である．なお，各動作は部分的に共通した動きを含んでいる．これらの動作から自動的に生成される手がかりを表示して，被験者に出現した順序で触れるよう指示した．被験者の動きは Kinect を用いて計測され，手がかりを生成するのに用いられた訓練動作と比較することで手がかりの効果を検証した．

手がかりはキー姿勢の右手の座標に表示する．向きを持たせる場合には各キー姿勢での右手位置の移動方向と一致させた．また，手がかりの数は全実験を通して 12 個とした．ただし，手がかりの初期位置はすべて同じに設定し，最初の手がかりに対してのみ触れ方を指定した．

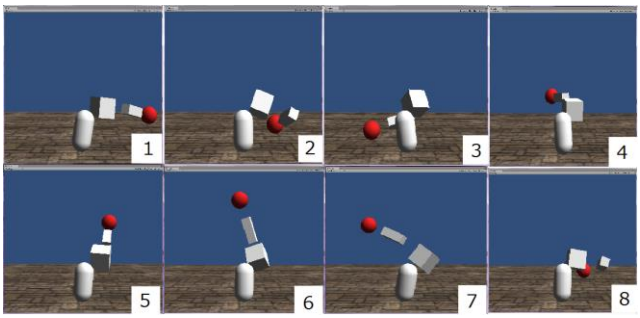


(a) 動作 A

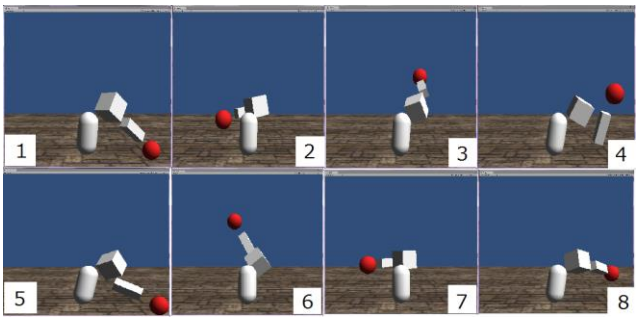
ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan



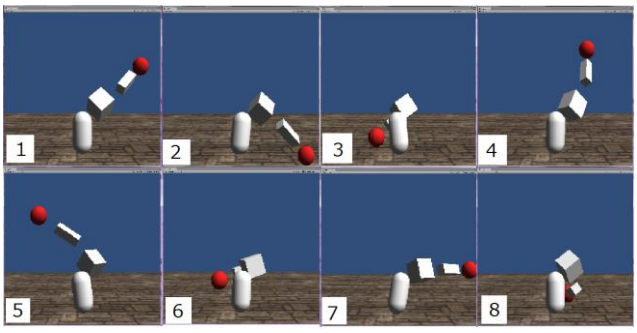
(b) 動作 B



(c) 動作 C



(d) 動作 D



(e) 動作 E

図 3 実験で用いた訓練動作データ

4.1 実験環境

本実験では，50 インチの液晶ディスプレイ下に Kinect を設置し，5 人の各被験者にディスプレイから 2.5m 程遠ざかった位置に立って，ディスプレイに映る手がかりを観ながら運動してもらった．ただし，実験を開始する前に全ての手がかりに触れる事により，その出現範囲を事前に把握してもらった．

今回は 3 種類の実験を実施した．1 つ目の実験では入力動作 A～E に対して手がかりを板として表示した．ただし，板は奥行きのある 3 次元物体として表示され，板に対して垂直に触れて長辺を割るように指示した．被験者が板に触れると割れる表示で視覚的フィードバックを提供し，次の板が即座に出現する様に実装した．また，手がかりの予測が可能な様に，次の板を透けて表示させてその出現位置を知覚できるようにした．図 4 のように 2 つの板の予測表示があり，現在の目標となる板と予測表示 2 つ板を同時に表示している．

2 つ目の実験では予測表示がない場合の動作 E の手がかり表示を用いた．さらに，3 つ目の実験では手がかりを球とし，2 つ目の実験と同様に予測表示なしで動作 E の手がかりを表示した．

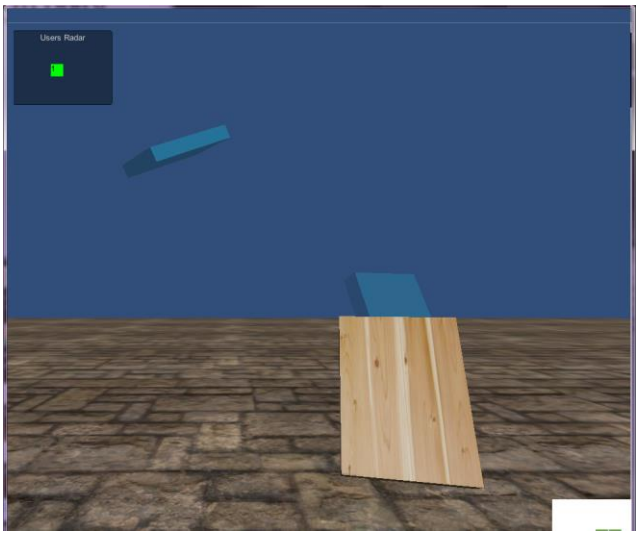


図 4 実験時の画面

4.2 実験結果

ここでは，2 つの手がかり間においてセグメント分割された動作間を比較する．ただし，最初の手がかりは位置が固定であるために除外した．

全体に見られた傾向として，直観的に把握しやすい位置や向きで表示された手がかり間の動作の関しては，高い再現率で運動が誘導された．一方，位置や向きが直観的に把握し難い場合には手がかりに触れることすらできない場合が頻発した．また，どの動作においても 1 つ目の手がかりへの動作は高い再現率であったが，これは最初の手がかりへの触れ方が決まっており，その直後に現れる手がかりも比較的把握しやすかった事が考えられる． また，2 つ目以降の手がかりへの動作は再現率が低くなっているが，これは一旦解らなくなった手がかりがその後も伝播して，動作の誤差が拡大していったものと考えられる．

図 5 に実験(1)の結果である動作 A～E の各手がかり間の再現率を示す．動作 A の後半部分と動作 B の前半部分では高い再現率で運動できている．特に，動作 A と動作 B は肘を伸ばした状態で，手先が直線や曲線を描くように運動する簡単な動作であるので，動作の再現性が高かったと考え

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

られる．一方，動作 C，動作 D，および動作 E は再現率が低かった．動作 D は特に再現率が低く，本実験で用いた手がかり表示のみでは動作の再現は難しいものと考えられる．本実験の手がかりは手先の動きに誘導に限定されているので，動作 D のような肘の屈折を多く含む動作の再現は非常に困難であると考えられる．今後は，肘の屈折を誘導できる補助的な手がかり表示の検討が必要である．

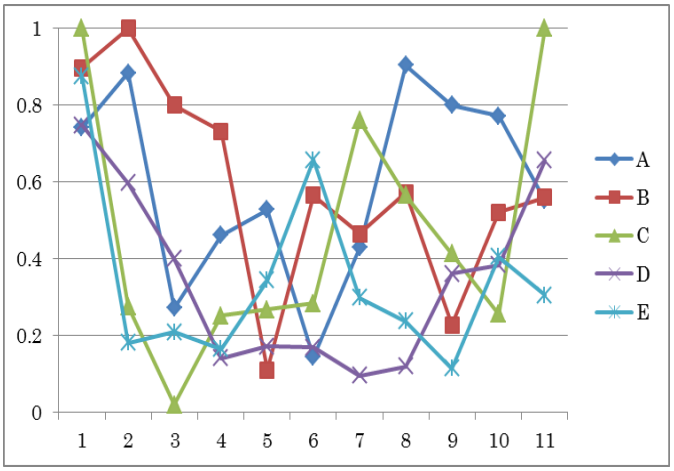


図 5　各動作における再現率

図 6 に，各実験での動作 E による手がかり表示の結果を示す．この結果により 1 区間目と 6 区間目の手がかりへの動作は再現率が高いことが確認できる．動作 E では手がかりが板でも球でも再現率は概ね変化が無く，予測表示も再現率の上昇に寄与していない．さらに，7 区間目から 10 区間目までの手がかり間の動作では実験(3)の球表示の再現率が他を上回っている．これは先述した様に，手がかりに対する直観的な把握し易さによって再現率の差が生まれたと考えられる．実験(1)や実験(2)の板のように角度や奥行きを持つことが手がかり自体の把握を困難にしており，実験(3)で用いた球のような簡略な表示の方が効果的であるという結果となった．これは，別の見方をすれば，位置と奥行きの視覚刺激のみで，ある程度までは運動を誘発可能である事を示唆している．

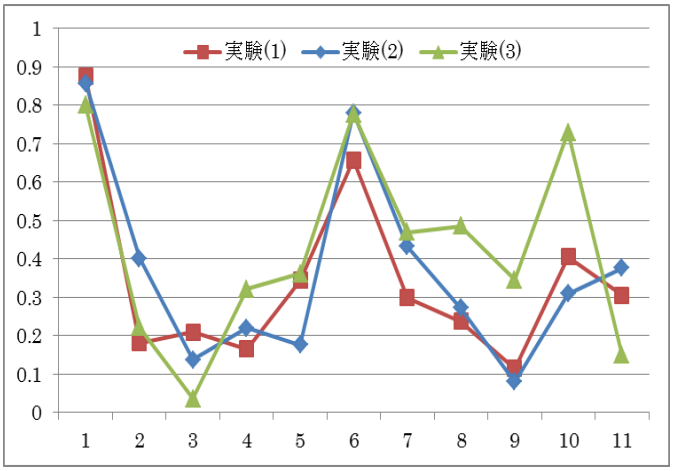


図 6　各表示における各被験者の再現率の平均

5. まとめ

本報告では，手がかりを用いた動作の誘導実験を行い，その有効性について検討した．時間的に連続した動きを誘発させるため，手で割るべき対象としての板を手がかりとして 3 次元的な表示と予測表示を用いた．図 5 に示された様に，手がかりを用いた動作誘導では手がかり物体そのものの直観的な把握し易さが，正確な動作誘導に適している事が示唆された．一方で，本実験で用いた手がかり表示では動作 D のような肘の屈折運動を多く含むような運動を誘発させることは難しい．ゆえに，手がかり表示の直観的な分かりやすさを維持したまま，さらに多くの情報が得られるような手がかりの表示方法を考案する必要がある．

今回はキー姿勢の抽出手法として，鈴木らのモーションカーブの線分近似による抽出法を用いたが，これによって標的物体を適切なタイミングで表示する事ができたと考えられるが，今後は訓練動作データの長さや特徴に対して，手がかりの適切な表示数を検証する必要がある．

参考文献

[1] 安妻洸太，栗山 繁：簡略化された手がかり表示による任意動作の誘導法，電子情報通信学会大会講演論文集 2013 pp.276 (2013)

[2] 鈴木唯道，栗山繁：モーションカーブ解析による意味特徴を保存したキーフレーム抽出，情報科学技術フォーラム FIT 2006 pp.233-234 (2006)

[3] 桜井保志，ChristosFaloutsos，山室雅司：ダイナミックタイムワーピング距離に基づくストリーム処理，電子情報通信学会論文誌．D，情報・システム J92-D(3) pp.338-350 (2009)

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan