

# 感圧センサを使った感覚運動インタラクションのための自然なプレイヤー分析アルゴリズムと評価

山下泰介\*<sup>1</sup>

白井暁彦\*<sup>2</sup>

服部元史\*<sup>3</sup>

神奈川工科大学

\*<sup>1</sup>yamashita@shirai.la \*<sup>2</sup>shirai@mail.com \*<sup>3</sup>hattori@ic.kanagawa-it.ac.jp

## アブストラクト

感圧センサを使った感覚運動インタラクションのための自然なプレイヤー分析アルゴリズムと評価として、バランスボードと音声のみのフィードバックをもつマッサージ・エクササイズゲームを開発し、エージェントの認識アルゴリズムにおける評価関数の総和を感圧センサの強度閾値によるもの(モデル A)と、周波数スペクトルによるもの(モデル B)を比較した。結果として、一般的に利用されているモデル A は、50%の体験者がエージェントとのインタラクションを体験できるが、プレイヤーにモデルを獲得されやすく飽きられやすい。一方、周波数スペクトル分析によるモデル B は初心者を含む58%の体験者が体験でき、またモデルが周波数によるものであることがプレイヤーに把握されづらいことがわかった。一般的に周波数スペクトル分析にはFFTライブラリ等による煩雑な事後処理が利用されるが、本論文では、ゲーム応用しやすい動的な認識による実用的な実装方法を行った。

## 1. はじめに

任天堂のバランス Wii ボードのようなコンシューマープラットフォームにおける全身をフィジカルに使用した exercise entertainment system(EES)は、ゲーム的な楽しみをモチベーションに、汗をかくほどの運動をすることができるという報酬(rewards)がある。このようなゲームコンテンツの開発は先進国を中心に今後も需要があるだろう。しかしながら、全身入力を使ったゲームシステムは、マウスやタッチパネルデバイスを使った入力と異なり、難易度調整や操作性の標準化(normalization)が難しい。身体による入力は年齢や基本的な身体機能によって異なる。ユーザの体重を前提とした入力システムでは、ゲームプレイ前にプレイヤーが静止状態で感圧センサに乗る必要がある。このキャリブレーションを実施することで、入力信号の標準化を実施しているが、これは自然な遊び体験を阻害する行為であり、特にカジュアルなゲームにおいてはシステムに自身の体重を伝えるという意味で心理的なハードが高い。このような背景から、本研究では EES を利用して、バーチャルな massage experiments が体験できるコンパニオン・エージェントと感覚運動インタラクション(sensory-motor interaction)できるカジュアルなマッサージ・エクササイズゲーム「LovePress」のゲームデザインを考案した。ベータ開発でのプレイヤー体験(Player experiences)の分析から、マッサージエクササイズのゲームプレイとプレイヤーのモチベーション、難易度調整においてはコンパニオン・エージェントのモデル設計が重要であることがわかった。本論文では、コンパニオン・エージェントの評価関数に、押圧の強度(pressure intensity)の閾値処理によるモデルと、バンド

パスフィルタを用いた周波数スペクトル分析によるモデルの2種について、音声のみの感覚運動インタラクションユーザ実験を複数回実施し、比較して評価した。EESにおける多様なコンパニオン・エージェントを設計することができれば、エクササイズゲームにおける表現力を増加できる。また多種多様なプレイヤーの物理的な体験をリアルタイムに評価する評価手法が確立できれば、プレイヤーのモチベーションを動的に維持することが可能なゲームシステムを実現できるだろう。

## 2. 動機

現在のデジタルゲームプラットフォームは従来の据え置き型コンシューマープラットフォームに加えて、携帯電話機のような携帯ゲーム機環境や加速度センサ、GPSやマルチポイント・タッチパネルといったリッチインタフェースを装備したスマートフォンとWebブラウザ上のFlashゲームにシフトしてきている。また既存の据え置き型も、任天堂「Wii」[1]やマイクロソフト「Kinect」[2]に代表される次世代型の実世界指向ヒューマンインタフェースに移行しつつあり、今後すみ分けが進むだろう。これらの実空間指向のインタフェースデバイスを用いたインタラクションにおいては、既存の論理的なプレイヤーモデルの下層に存在する、より原理的で自然で自由度高く無意識な遊びである「運動知覚的なインタラクション」について考えるべきである。ユーザからの物理的かつ連続的な入力を動的に認識しながら、実世界のユーザと相手となるエージェントが身体的インタラクション可能な手法を開発していくことが必要となるだろう。また、その上層におけるプレイヤーとゲームシステム内のコンパニオン・エージェントの感情モデルについても考慮さ

れるべきだろう[3][4]。ビデオゲーム産業においてこの課題は特殊な視点ではない。感情の盛り上がり測定して、キャラクタを制御するという課題はまさに海外人気ゲームタイトルの開発現場からもレポートされており`Valve's Approach to Playtesting: the Application of Empiricism"[5]`Replayable Cooperative Game Design: Left 4 Dead"[6]などで報告されている[7]。また実空間指向の入力側となるフィジカルコンピューティングによるエンタテインメントシステムの産業・研究の両面においていくつかの先行事例が存在する。セガ「きみのためなら死ぬる」[8]やコナミ「ラブプラス」[9]のようなタッチパネルを使う例、辻田らの「SyncDecor:遠距離恋愛支援システム」[10]のような離れた2つの室内空間における家具等とのインタラクションを利用する例、稲見ら「RobotPHONE」[11]のようなリンク機構として接続された接触可能なロボットで実現する例である。DSやiPhoneのタッチパネルを使うことで、コナミ「ラブプラス」のような「物理的な入力に対して感情をエミュレーションし、フィードバックを返すコンパニオン・エージェント」を具現化することができるが、これではプレイヤーの運動量が少なすぎて、直感的な感覚運動インタラクションとは言い難い。また同じモデルを次世代型のEESや格闘ゲーム、没入感の高いFPSへ応用することが難しいだろう。以上のような背景から、本研究ではプレイヤー自身が身体を動かしモチベーションを保てるようなエージェントを持った次世代型のゲームシステムをターゲットとしている。

### 3. システム

実験システムは、バランスボードを用いた4つの感圧センサ入力とヘッドフォンで構成されている(図1)。

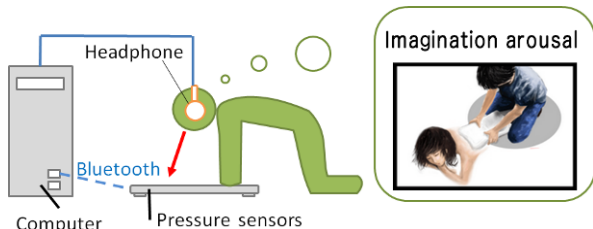


図1. 実験システムのハードウェア構成

#### 3.1 プロトタイプゲームデザイン

本研究で想定している新しいEESのゲームデザインは、想像力喚起とマウスやボタンによる操作や選択ではなく、感圧センサに対し全力で連続的にマッサージすることのみ、キャラクタの感情に訴えることができるというものである。言語や文化に依存することを避けるため、極力ナレーションを使わず、情報を感嘆詞のみのセリフに絞ることで、体験者は想像力で状況を想像しながら身体的対話を行う設計となっている。

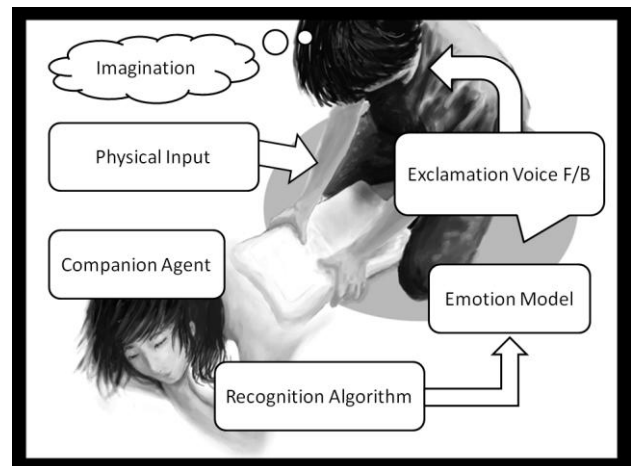


図2. EESにおける感覚運動インタラクションとボイスフィードバックによる想像力喚起

#### 3.2 アルゴリズム

エージェントは、プレイヤーの仮想的な感情に訴えるため、強度閾値ベースの評価関数(A)と周波数スペクトルベースの評価関数(B)の2つの評価関数を持つ。評価関数(B)で用いた動的な周波数認識アルゴリズムは、FFTライブラリを用いた複雑な周波数スペクトル分析ではなく、ゲームシステムに応用しやすい実用的な実装を行った。

#### 3.3 評価関数

エージェントの仮想的な感情は評価関数によって実装される。つまり、ポジティブ評価またはネガティブ評価は評価関数の出力値によって表される。評価関数の出力値が増加する場合、エージェントの感情はポジティブ評価へと増加する。評価関数の出力値が減少する場合、エージェントの感情はネガティブ評価へと減少する。本論文では強度閾値ベースの評価関数(A)と、周波数スペクトルベースの評価関数(B)の2種類の評価関数について報告する。

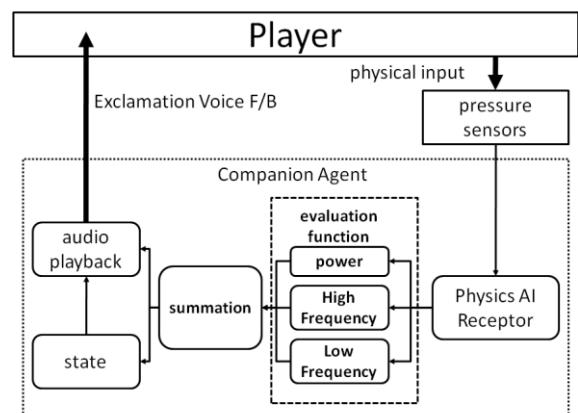


図3.システムのブロック図

##### 3.3.1 (A)閾値ベース評価関数

評価関数(A)の値は、マッサージの圧力の強さによって決定される。マッサージの圧力の強さは、バランスボードの4つの圧

力センサの出力の合計から計算される。強さが 10kgF 以上かつ 25kgF 未満であるならば、評価関数(A)の値は増加する。その範囲外の強さであれば、評価関数(A)の値は減少する。

評価関数 f(t)	評価関数 Aにおける条件	評価関数Bにおける条件
+1 (ポジティブ評価)	10kgF以上 25kgF未満	2Hz以上 0.85Hz未満
-1 (ネガティブ評価)	10kgF未満 又は 25kgF以上	25kgF以上

図 4. 評価関数 : Type A と Type B

### 3.3.2 (B)周波数スペクトルベース評価関数

マッサージの圧力の強さは、上記によって定義される(図 4)。また、圧力の強さは、バランスボードから 60fps で測定される。圧力の強さの時間ごとの増加と減少を調べることで、最大値と最小値の値を得ることができる。その最大値と最小値、さらに次の最大値を調べることで、圧力の間隔は計算される。そして、周波数は圧力の間隔から得られる。この周波数が 0.85Hz 以上 2Hz 未満であるならば、評価関数(B)の値は増加する。また、強さが 25kgF 以上ならば、評価関数(B)の値は減少する。

## 4. 実験と結果



図 5. EES を用いた実験

### 4.1 実験プロトコル

2章の課題でも整理したように、先行事例において「力強いインタラクション」を行うことのできるシステムは少ない。本システムではその問題を解決するため、本来重心動揺を計測する装置である、圧力センサを4つ内蔵する「バランス Wii ボード」(最大荷重約 136kg)を無線圧力センサデバイスとして使用した。体験者は用意された2種類のモデルに対してそれぞれ5分間マッサージを行う。体験者は健康な平均22歳男子12名、体重60キログラム前後(最小44kg, 最大88kg), 学習による影響を排除するため、モデルAを先に体験するグループとモデルBを先に体験するグループにおのおの6名ずつ2つのグループに分けた。体験者には毎回のマッサージに対する成功判定がキャラクターの音声として伝えられるが、現在の評価の合計や結果につい

ては伝えられない。体験者が5分の体験を終えるごとに、体験の感想を聞き、

- どちらのモデルが長く感じたか?
- どちらのモデルが好きか?
- 発声の判定アルゴリズムに気がついたか?

などを印象から取得した。

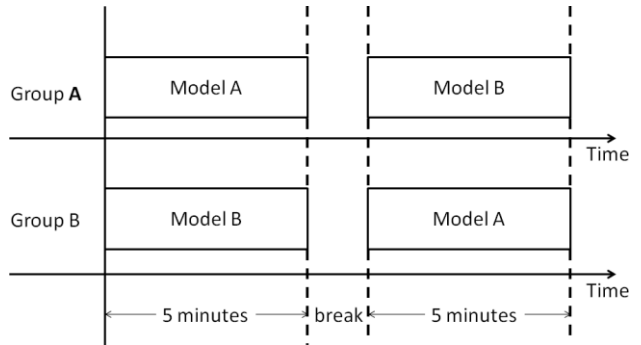


図 6. 実験プロトコル

モデルAは押し圧の閾値による評価関数(A)を適用したもの。モデルBはAと同じセンサ入力に対して、バンドパスフィルタを用いた周波数スペクトル分析による評価関数(B)を適用したもの。エージェントの感情は各々の評価関数によってインクリメントされ、強すぎる力(25kgF以上)によって減点、それ以外はゼロとした。

### 4.2 実験結果

図7, 8, 9, 10は、体験者1と2がモデル(A)とモデル(B)に対してそれぞれ5分間マッサージをした際の圧力値と評価関数の出力値を示している。体験者1のマッサージによって、モデル(A)と(B)、それぞれにポジティブ評価があった(図8, 9)。体験者2のマッサージによって、モデル(B)はポジティブ評価があった(図11)。しかし、モデル(A)はネガティブ評価であった(図10)。このネガティブ評価は、体験者がエージェントの認識モデルを理解できなかったためと考えられる。また、体験者2は150秒から160秒の間、モデル(A)にマッサージすることをやめている。おそらく、体験に飽きてマッサージがおざなりになっている、もしくは疲れてマッサージをやめていると考えられる。

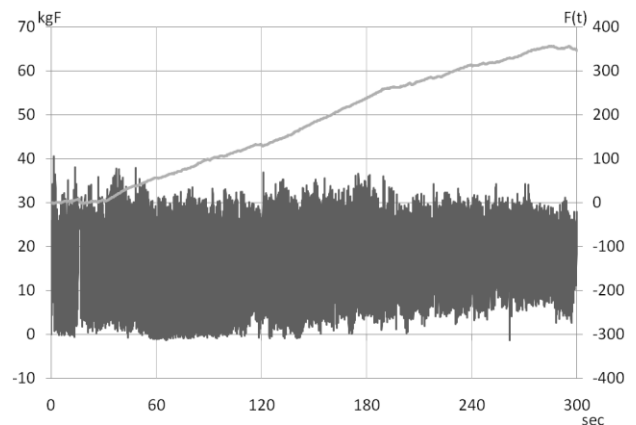


図 7. 体験者1 - モデル(A)

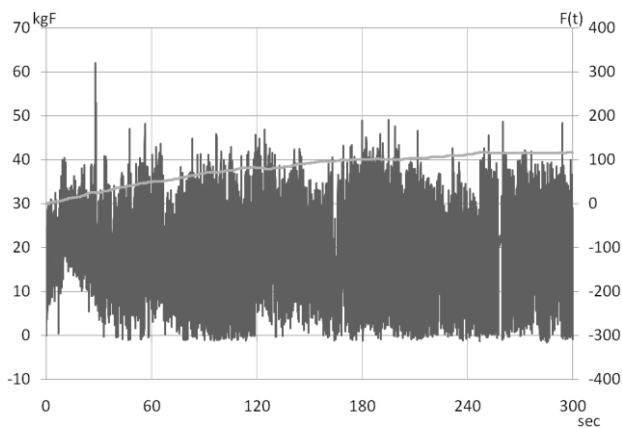


図 8. 体験者 1 - モデル(B)

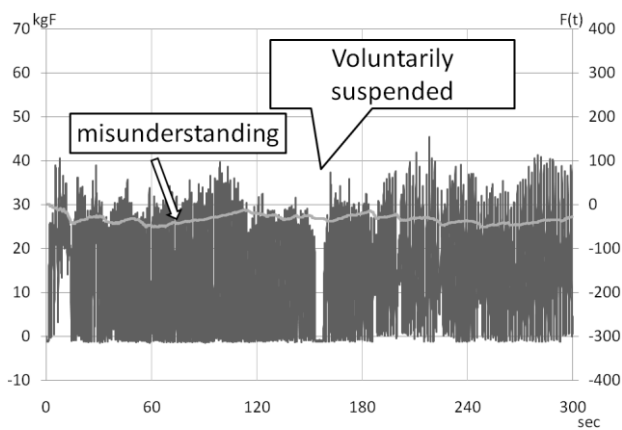


図 9. 体験者 2 - モデル(A)

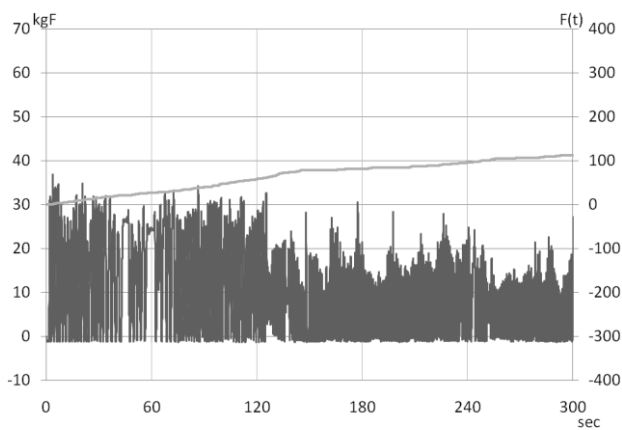


図 10. 体験者 2 - モデル(B)

図 11 および 12 はモデル A および B に対する 12 名の被験者による 5 分間の体験による評価関数の合計をグラフにしたものである。A に対して、12 人中 6 人の体験者が継続的に成功判定を入力できたが(positive), モデル B では 12 人中 7 人であった。どちらのモデルでも完全に体験が成立していない。またネガティブ評価しか加算されない被験者がそれぞれ 1 名存在した。特徴として、A では被験者によらず幅広い分散が起きていることに対し、B では上位のグループとプラスマイナスゼロに近いグ

ループに収束する傾向がある。さらに、モデル(A)のネガティブ評価は、モデル(B)のネガティブ評価より大きい。これはアルゴリズムとペナルティの判定が異なるためと言える。また、66%の体験者はモデル(A)の方が好みだと答えた。これは、体験者がモデル(A)の判定モデルを理解し、コントロールできたためと考えられる。

また、実験後に聞き取り調査を実施した結果、ほとんどの体験者は強さによる判定(モデル A)の判定アルゴリズムには気づくが、周波数による判定(モデル B)には気づかないことが分かった。また、モデル(A)において、3分経過後プレイを一時中断する体験者が 2 名いたが、モデル(B)では最後までプレイする体験者がほとんどであった。そして、体験時間に関しては、「5分は長い。2分から3分が丁度いい」と答えた体験者が多数であった。

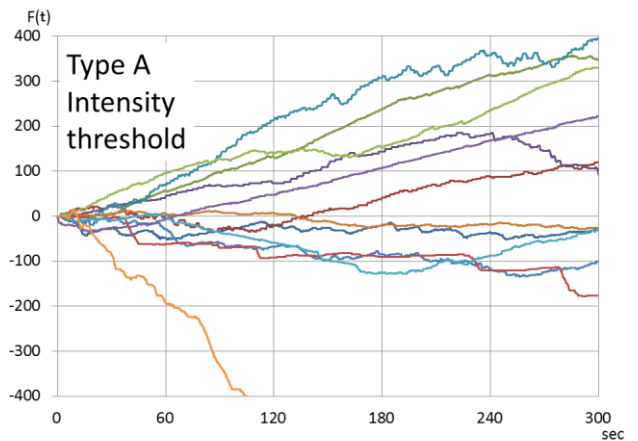


図 11. 評価関数(A)の全体験者の概要

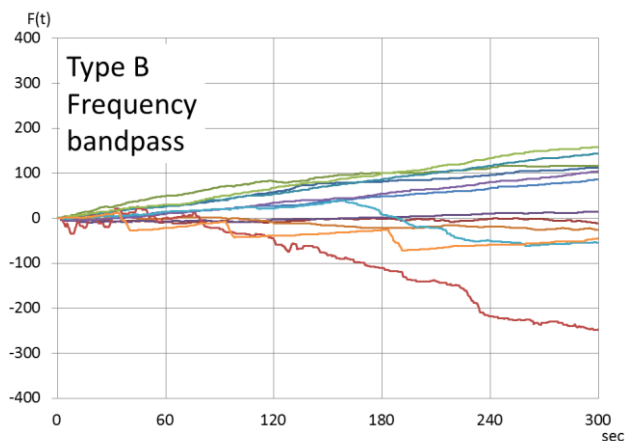


図 12. 評価関数(B)の全体験者の概要

## 5. ディスカッションとアプリケーション

### 5.1 ディスカッション

ここまでの実験結果を利用して、プロトタイプของเกมシステムにモデルを適用することを考えた。実験した 2 つのモデルをそのまま割り当てるのではなく、A、B それぞれをパチニ小体やメルケル小体のような(Pacinian corpuscles and Meissner's corpuscles)皮膚感覚刺激における機械受容器(cutaneous

mechanoreceptor)および、人体の知覚心理(perceptual psychology)的なレセプターに置き換えた時、刺激に対する周波数特性や変形に対する信号特性が異なるという考え方は合理的である[12][13]。またこれら受容器の感度や配分は個体や部位によって一様ではないため、ゲーム上では個々の個性として設定することができる。そこで、プレイヤーがマッサージの相手として選択できるエージェントとして3名のキャラクタ設定を用意した(図13)。

個々のキャラクタで評価関数 A および B の寄与率が異なり、その評価関数の時系列の総和でエモーションの状態が動的に変化する。補足的なビジュアルとともに、複数段階の感情を表現するボイスフィードバックを割り当てた。

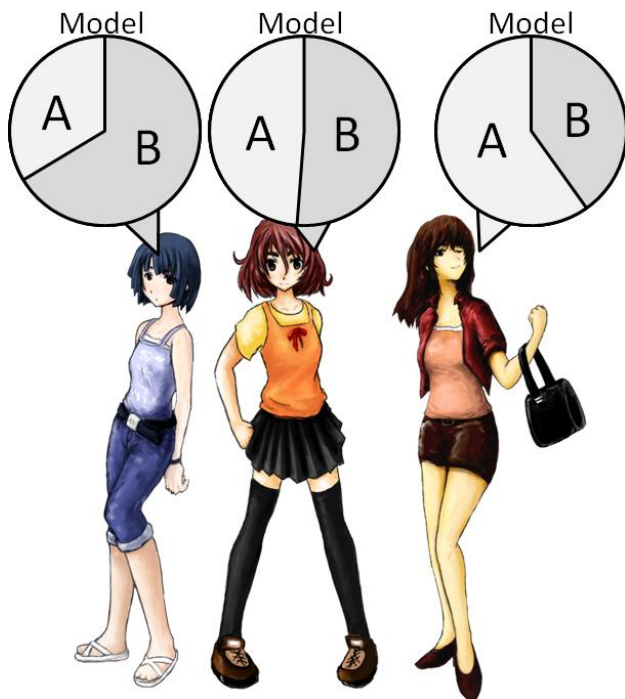


図 13. キャラクタ設定と受容器モデルの寄与率の例

## 5.2 アプリケーション

本論文では、エージェントの認識シミュレーション方法と認識心理学のいくつかの実験法から評価モデルを報告した。この結果は、近い将来、バーチャルリアリティ・エンターテインメントや、遠隔地コミュニケーション・エンターテインメントシステムのような現在のインタラクティブ技術を発展させるための様々な分野へ応用できる。

例えば、本システムは、プレイヤーが意識しない状態での自然なプレイで分かるプレイヤーが最も好む周波数と圧力の強さを得ることができる。この周波数と圧力の強さはプレイヤーの特徴と言える。

また、実在する人物の感嘆詞ボイスサンプルを得ることができれば、その人物に適当なボイスフィードバックをする新たなエージェントを設定することができる。このプレイヤー・エミュレーションを用いれば、インターネットを通し一組のEESを使った、長距離で非同期な身体的コミュニケーションゲームシステムを作ることができる(図14)。

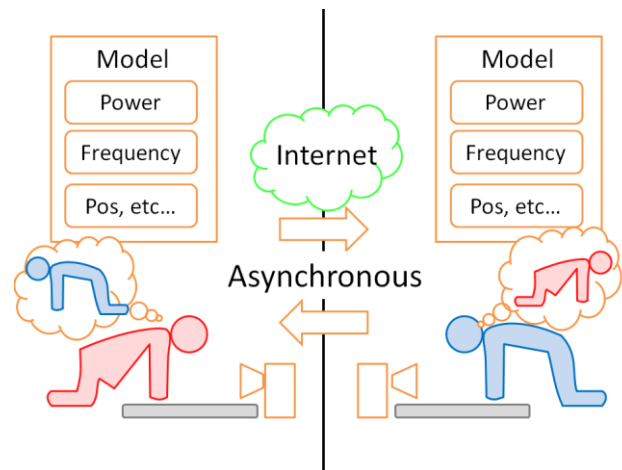


図 14. テレグジスタンス用アプリケーション

## 6. 結論

本論文では感圧センサを使った感覚運動インタラクションのための自然なプレイヤー分析アルゴリズムと評価として、バランスボードと音声のみのフィードバックをもつマッサージ・エクササイズゲームを開発し、エージェントの認識アルゴリズムを感圧センサの強度閾値によるもの(モデル A)と、周波数スペクトルによるもの(モデル B)とで比較した。

結果として、一般的に利用されているモデル A は、50%の体験者がエージェントとのインタラクションを体験できるが、プレイヤーにモデルを獲得されやすく飽きられやすい。一方、周波数スペクトル分析によるモデル B は初心者を含む 58%の体験者が体験でき、またモデルが周波数によるものであることがプレイヤーに把握されづらかったことがわかった。

そして、評価関数(A)と(B)を適用したメンタルモデルを作成した。これは、現実的なヒューマンエージェントとの身体的コミュニケーションを実現する運動エンタテインメントシステムとして、退屈なトレーニングマシンの代わりとなりうるだろう。

筆者らは本論文のメンタルモデルが、テレグジスタンス・エンタテインメントシステムのような、次世代のエンタテインメントシステムへ利用されるであろうと考える(図14)。誰でも言語や文化に限らず体験できる感覚運動インタラクションの広がりによって、クオリティ・オブ・ライフをより高品質にすることに貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 任天堂ホームページ: <http://www.nintendo.co.jp/>.
- [2] Kinect - Xbox.com: <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>.
- [3] Akihiko Shirai, Takahiro Nakatani, Erik Geslin, Hidetaka Kimura, Masafumi Takahashi, Kazunori Miyata, Simon Richir, Physical evaluation of new computer entertainment interfaces under natural play conditions, Sandbox: an ACM SIGGRAPH Video Game Symposium, 2006.
- [4] Akihiko SHIRAI, Erik GESLIN, Simon RICHIR, WiiMedia: motion analysis methods and applications using a consumer video game controller, Sandbox: an ACM SIGGRAPH Video Game

Symposium, 2007.

[5] Mike Ambinder, Valve's Approach to Playtesting: the Application of Empiricism, Game Developer's Conference 2009, 2009.

[6] Michael Booth, Replayable Cooperative Game Design: Left 4 Dead, Game Developer's Conference 2009, 2009.

[7] 三宅 陽一郎, オンラインゲームにおける人工知能・プロシージャル技術の応用 (特集 オンラインゲームと知能情報処理), 知能と情報, 日本知能情報ファジィ学会, Volume 22, Number 6, pp. 745-756, 2010-12.

[8] きみのためなら死ぬる: <http://kimishine.sega.jp/>.

[9] ラブプラス: <http://www.konami.jp/products/loveplus/>.

[10] 辻田眸, 椎尾一郎, Sync Decor : 遠距離恋愛支援システム, ヒューマンインタフェースシンポジウム2006, pp.571-574, 2006.

[11] 稲見昌彦, 関口大陸, 川上直樹, 館章, RobotPHONEによる物体共有型コミュニケーション, 情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告2001(87), pp.147-150, 2001.

[12] K.Yuichiro, A.SHIRAI, Et Al., Foot interface: fantastic phantom slipper, ACM SIGGRAPH 98 Conference abstracts and applications, SIGGRAPH 98, pp.114, 1998.

[13] Mami Tanaka, Development of tactile sensor for monitoring skin conditions, Journal of Materials Processing Technology, Volume 108, Issue 2, pp.253-256, 2001.