

特集 「HAI: ヒューマンエージェントインタラクション」

適応としての HAI

Human-Agent Interaction as Adaptation

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所
National Institute of Informatics.
seiji@nii.ac.jp, <http://research.nii.ac.jp/~seiji/>

角所 考
Koh Kakusho

京都大学学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies.
kakusho@media.kyoto-u.ac.jp, <http://www.mm.media.kyoto-u.ac.jp/members/kakusho/index-j.html>

Keywords: agent, interaction, communication, adaptation.

1. はじめに

人間は程度の差こそあれ、対象がコンピュータでもロボットでも、単なる道具であっても、インタラクションをもつあらゆる対象に適応しようとする。特に、ソフトウェアエージェントからロボットに至るエージェントは、人間の代わりに自律的に行動するか、人間と協調して行動するため、人間はエージェントを擬人化する。つまり、エージェントを最も身近な認知主体である人間（あるいは、ペットなどの動物）などと同等にモデル化することにより、エージェントの行動を理解しようとする。そして、このようなモデル化により、人間はエージェントの行動を予測し、エージェントとの有効なつきあいを学習していく。つまり、人間はエージェントに適応することになる。

一方、エージェントが、ユーザとの自然なインタラクションやコミュニケーションを実現するためには、ユーザにカスタマイズされる機能が必須であり、例えば、ユーザプロファイルや選好などを表現するユーザモデルを学習により獲得することで、ユーザに適応することが望まれる [Bates 94]。このような背景に基づき、適応インタフェース [Kühme 93] や学習インタフェースエージェント [Maes 94] の研究が活発に行われている。つまり、エージェントも人間に適応するのである。

このように、ヒューマンエージェントインタラクション HAI (Human-Agent Interaction) を考える場合、エージェントと人間 (ユーザ) 間において、相手に対する適応が必ず発生し、また、その適用により人間-エージェント間のインタラクションやコミュニケーションが向上するため、HAI をエージェントとユーザである人間の適応を中心に捉えることが重要である。本稿では、このような観点から、エージェントから人間への適応、逆に人間からエージェントへの適応、そして相互適応という論点から、HAI のモデルを提案する。そして、そのモデ

ルをもとに従来研究を分類し、今後の HAI 研究の進むべき方向を議論する。

2. 適応としての HAI のモデル

HAI を通じた適応の過程にはさまざまなものが考えられるが、そのような適応はいずれも、人間、エージェント、環境、それぞれの間でのインタラクションを構成要素としてモデル化できる [小松 02]。本稿の目的は、適応のための HAI 設計について議論することであるが、まずエージェントのタスクを分類することで、論点を明確にする。

2.1 タスク達成のためのインタラクション

エージェントには、適応するか否かとは関係なく、本来達成すべきタスクがある。そして、そのタスクは、自律ロボットや自律ソフトウェアエージェントのように、本来エージェントが人間とのインタラクションなしに単独で達成すべき自律的タスクと、インタフェースエージェントやユーザのシステム操作を支援する擬人化エージェントのように、人間との情報のやり取り、つまりインタラクションをもつことがタスク達成に必須となっている対話的タスクとに大別できる。なお、本稿ではエージェント・人間・環境間においてやり取りされる情報とその処理過程を、例えそれが一方向であっても広くインタラクションと呼ぶ。

§ 1 自律的タスク

自律的タスクの典型的な例は、自律ロボット、自律ソフトウェアエージェントなどである。これらのエージェントのタスクは、最終的には、人間の助けを借りずに自分自身で環境の情報を獲得し、行動を決定し、実行していくことにより遂行される。

自律的タスクにおいてエージェントは、自身の身体や外界などの環境をセンサによって観測する一方、身体や外界に対して物理的、論理的な操作といった行為を実行す

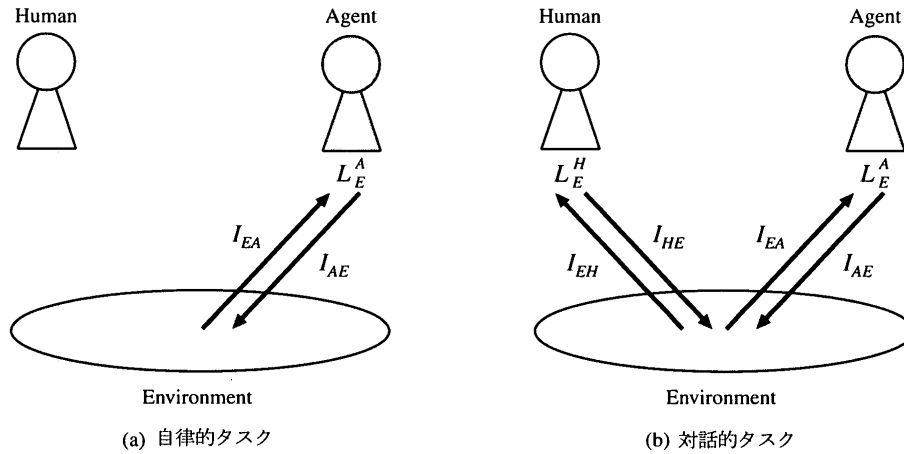


図1 自律的タスク, 対話的タスクにおけるインタラクション

る。自律的タスクは、エージェントと環境との関係として、図1 (a) のようになる。エージェントを A 、タスクを実行する対象となる身体や外界を広義の意味での環境とみなし E とすると、エージェントが環境から得る観測結果と、エージェントが環境に対して実行する行為は、 E から A 、 A から E へのインタラクションを定めるものとして、それぞれ I_{EA} 、 I_{AE} で表現できる。さらに、エージェントの環境へ適応を L_E^A とする。なお、この適応 L は、具体的には、何らかの学習アルゴリズムにより実現される。

§ 2 対話的タスク

対話的タスクでは、エージェントと人間との情報伝達をもとにタスクが遂行される。例えば、オフィスソフトの操作の支援を行うソフトウェアエージェントや、エージェントを介して人間どうしがコミュニケーションを実現するエージェントメディアイテッドコミュニケーション [長尾 00] などがこの対話的タスクを扱うエージェントの典型例である。

エージェントと人間が相手に情報を伝達するには、データ出力やアイコン、テキスト、文字、音声、表情、ジェスチャといった何らかの表現メディアを用いて、情報をいったん人間が理解できる表現に外化することが必要であり、人間とエージェントとの情報伝達は、両者がそれぞれ、情報をこのような表現メディアを用いて外化し、表現メディアによる外化結果を観測、解釈することで実現される。

このとき、表現メディアを一種の環境とみなして環境 E に含めると、人間 H 、エージェント A を用いて、人間あるいはエージェントが外化結果を環境から獲得する、あるいは環境を用いて生成する過程も、それぞれ E と H 、 A との間のインタラクションを定めるものとして、 I_{EH} 、 I_{HE} 、 I_{EA} 、 I_{AE} で表し、それらの関係は、図1 (b) のようになる。ここでは、人間の環境への適応 L_E^H と、エージェントの環境への適応 L_E^A により、人間とエージェントがともに環境に適応していることが表現されている。

以上のことから、広義の環境を導入することにより、

エージェントによるタスク実行のためのインタラクションは、タスクが自律的タスクであるか対話的タスクであるかを問わず、環境、人間、エージェントとの間の四つのインタラクション I_{EH} 、 I_{EA} 、 I_{HE} 、 I_{AE} を要素としてモデル化される。

2.2 適応のためのインタラクション

機械学習 [Mitchell 97] などの人工知能における研究の多くは、エージェントによる適応 L_E^A を、できる限り環境とのインタラクション I_{AE} 、 I_{EA} だけを通じて学習する、つまり、エージェントが自律的に適応することを目指してきたと解釈できる。しかし、一般的にエージェント側でそのような自律的適応を実現するのは容易ではなく、また一方の人間にとっても、そのような形での適応には多くの試行錯誤を必要とし、必ずしも容易にはいかない場合が多い。

以上のことを考慮すると、タスク実行のためのインタラクションに加えて、人間とエージェント間に新たに適応のためのインタラクションを導入し、これを利用して L_E^A 、 L_E^H を実現する方法が、最も有効かつ現実なアプローチの一つである。このような人間とエージェントの適応を促進するためのインタラクションにおける、人間からエージェント、エージェントから人間への情報の流れをそれぞれ I_{HA} 、 I_{AH} で表すと、自律的タスク、対話的タスクそれぞれにおける人間、エージェント、環境の関係は、図2、図3のように表現できる。

適応のためのインタラクションの導入によって L_E^A 、 L_E^H をどの程度効果的、効率的に実現できるかは、 I_{HA} 、 I_{AH} でどのような情報がやり取りされるかによって決まる。また、 I_{HA} 、 I_{AH} を導入する際の人間の負担が大きすぎる場合には、そのようなインタラクションは L_E^A 、 L_E^H を実現できるメリットに見合わないものとなる。したがって、エージェントのタスク実行における人間、エージェントの適応を実現するには、機械学習において主にされてきた学習・適応アルゴリズム自体の議論もさることながら、それを実現するためのインタラクション I_{HA} 、

I_{AH} をいかに設計するかがより重要な研究課題となる。我々は、このような I_{HA} , I_{AH} の設計問題を、適応のためのHAI設計と呼ぶ。なお、厳密には、 I_{HA} , I_{AH} も、何らかの表現メディアや物理的環境を通して実現されるものであり、ある種の環境を必要とするが、ここでは、そのような I_{HA} , I_{AH} のための環境の設計も、適応のためのHAI設計に含めて考える。

適応のためのHAI設計のクラスは、タスクが2章における自律的タスク、対話的タスクかにより分類される。また、タスクが決定した後、 I_{AE} , I_{EA} を設計する際に、適応のためのインタラクションを用いて、 L_E^H , L_E^A のいずれの適応を促進の対象とするかの選択がある。次章以降では、このような分類に基づいて、適応のためのHAI設計の観点から興味深いと考えられる研究例を示し、適応のためのインタラクション設計について議論する。

3. 適応のためのHAI設計

本章では、自律的タスク、対話的タスクにおける適応のためのHAI設計の研究例を紹介し、その意義と課題について考察する。

3.1 自律的タスクにおける適応のためのHAI設計

自律的タスクにおける適応のためのインタラクションの枠組みは、図2のようになる。ここでの適応のためのHAI設計の目的は、 L_E^A の促進である。

§1 エージェントの適応のためのHAI設計

エージェントの環境への適応 L_E^A を促進するためのHAI設計に関する研究としては、ロボットに物体操作タスクなどのための行動モデルを獲得させるために、人間の実演による教示を利用しようという試みがある [Ikeuchi 94, Kuniyoshi 94]。

これらの研究が、人間の实演に基づくロボット側の学習手法自体を議論しているのに対し、人間とロボット間のインタラクションの設計指針に関する知見を与える研究として、対話的進化ロボティクスにおける教示の視点の効果について議論した片上らの研究がある [Katagami 02]。

片上らは、クラシファイアシステムにより行動学習を行う移動ロボットに対し、人間が次に取るべき行為をジョイスティックで直接教示することにより、一般には非常に効率の悪い進化ロボティクスによる学習の高速化を実現している [Katagami 02]。ロボットは、教師の教示をクラシファイアとして取り込み、学習に役立てる。

この研究は、人間とロボットとのHAIであり、タスクは、移動ロボットが障害物回避を含む自律的な移動行動を学習することであり、これは自律的タスクになっている。よって、図2により記述できる。まず、ロボットにより、 I_{EA} , I_{AE} が、学習アルゴリズムの設定により L_E^A が、以下のように決定される。

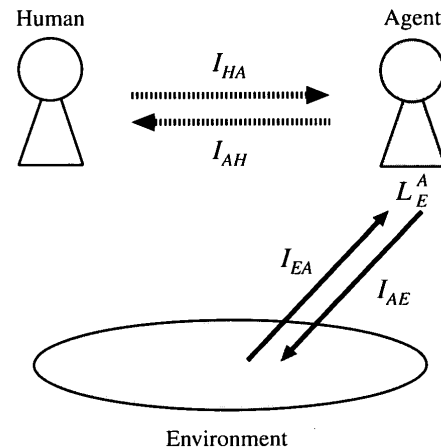


図2 自律的タスクにおける適応のためのHAI設計

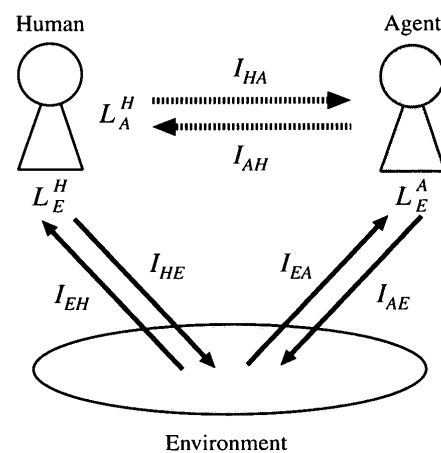


図3 対話的タスクにおける適応のためのHAI設計

- E : ロボットのワークスペース。
- I_{EA} : ロボットのセンサによる情報の獲得。
- I_{AE} : ロボットのアクチュエータによる行為。
- L_E^A : クラシファイアシステムによるロボットの環境への適応。

また、この研究では、人間の教示には制約を与えないので L_A^H は設計対象ではない。よって、適応のためのHAI設計の設計対象となるのは、 I_{HA} , I_{AH} である。片上らの研究では、 I_{HA} をジョイスティックによるロボットの直接操作として固定し、残る I_{AH} について、以下に示すような二つの設計方法について、その L_{AE} への効果を実験的に比較している。

- 学習者の視点：ロボットの得るセンサ情報と同じものを人間の教師も見て、環境の情報を獲得し、教示を行う。つまり、 $I_{AH} = I_{EA}$ として設計される。具体的には、ロボットのセンサ情報を表示する図4のようなインタフェースを通して教示がなされる。
 - 教師の視点：人間は鳥瞰的に環境を見て、環境の情報を獲得する。これは、従来よく用いられる方法である。図5のような環境全体を見渡せる視点から、大域的な情報をもとに教示がなされる。
- 比較実験の結果、学習者の視点による教示のほうが、

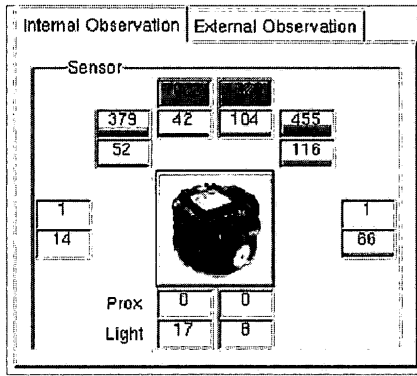


図4 ロボットと同じ視点: $I_{AH} = I_{EA}$

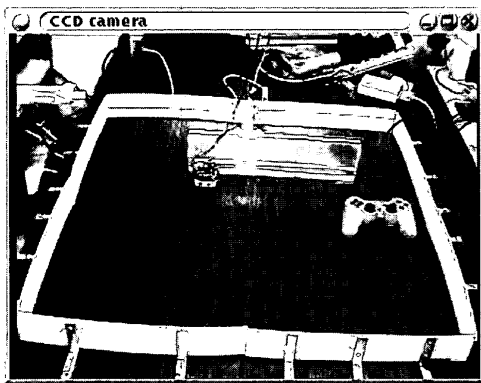


図5 教師の視点

クラシファイアシステムの学習効率が良かった。これは、学習者の視点のほうが教師の視点よりもロボットの環境認識能力とのギャップが少なく、そのためより適切なクラシファイアが学習でき、結果としてロボットの適応 L_E^A の効率が良くなったと考えられる。一方、人間にとっては、教師の視点のほうが、自然に環境を認識するために認知的負荷が少ないが、学習者の視点に対して、多少の負荷はかかるものの、人間はそれに対し十分に早く適応することに起因する。このように片上らの研究は、この人間の特性をうまく利用して、換言すると、人間の高度な適応能力に頼って、エージェントの適応 L_E^A の効率化を図るためのインタラクションを設計した一例となっている。このように、対話的システムである以上は、ユーザに過度の認知的負荷を与えない範囲であれば、人間の適応能力を最大限有効に利用することが重要である。

3.2 対話的タスクにおける適応のための HAI 設計

対話的タスクにおける適応のための HAI 設計は、前述の図3のように表現される。これをもとにして、いくつかの研究例を眺めていく。

§ 1 人間の適応のための HAI 設計

対話的タスクにおける人間の適応 L_E^H のための HAI 設計の例として、擬人化エージェント (life-like agent) がある。擬人化エージェントは、Microsoft Agent [Microsoft Agent, Microsoft Agent Ring !] に代表されるようなユーザのソフトウェア操作や Web ショッピング

でのデータ入力を支援するエージェントが数多く開発されている [石塚 00]。

これらのエージェントの多くは、環境への適応能力 L_E^A をもたない。そして、支援する対象のソフトウェアによって、エージェント、あるいは人間と環境間のインタラクション I_{AE} , I_{EA} , I_{HE} , I_{HA} が決定される。例えば、Web のオンラインショッピングの情報入力をユーザに支援するソフトウェアエージェントの場合、以下のように各要素が決まる。また、ユーザの適応 L_E^H , L_A^H には制約を与えない場合が多いため、設計対象は、 I_{HA} , I_{AH} となる。

- E : オンラインショッピングの Web サイト。
- I_{EH} : Web ページ自体からの情報獲得と I_{AE} により提供される情報の獲得。
- I_{HE} : ユーザによる商品名、個数、支払い方法などの情報の入力。
- I_{EA} : I_{HE} により提供される情報とユーザプロフィールなどの付加情報の獲得。
- I_{AE} : エージェントからユーザへの情報入力に関するアドバイス (次に入力すべき情報の指示, バルーンヘルプなど) の提示。

この人間の適応のための HAI 設計に対し、これまでの多くのソフトウェアエージェントの研究では、 I_{HA} を使っていない。そして、主に人間がエージェントのアドバイスを受け入れるように適応 L_E^H を実現するためには、 I_{AH} としてどのような情報を与えればよいかの議論がされてきた。

そして、有効な I_{AH} の一つとして、エージェントをあたかも自我をもつ人間のように感じさせることにより、信頼関係を築こうとするエージェントの擬人化が研究されている [André 98, Bickmore 01, 土肥 02]。このような擬人化エージェントにおいて、具体的な I_{AH} は、人間に近い外見, ジェスチャ, 感情的表情などである。

また、ロボットの擬人化に関する研究も同様に人間の適応のための HAI 設計に分類される。ロボット自身に感情モデルを実装し、感情的な顔表情を表出することにより、人間とロボットとの自然な関係を実現する研究 [Breazeal 98] や、小野らの研究 [Ono 00] のように、まずソフトウェアエージェントと人間に親しい関係をつくり、そのエージェントをロボットに憑依させることにより、ロボットを擬人化して親密さを向上させる研究などがある。

§ 2 エージェントの適応のための HAI 設計

一方、対話的タスクにおけるエージェントの適応を支援する適応のための HAI 設計に関する典型的な研究例としては、ユーザの実表情をエージェントの合成表情で置換する処理を、ユーザとのインタラクションを利用してユーザの要求に適応させるという試みがある [近藤 00]。エージェントの表情を用いてユーザの表情を伝えるエージェントメディアエイテッドコミュニケーション



図6 合成表情の主観依存性の例

や、ユーザの表情変化によってCGキャラクターの表情を制御する表情アニメーションなどでは、ユーザの顔をカメラで観測し、それに対応するエージェントの表情を合成するという、以下のようなインタラクションを実現する必要がある。なお、このタスクのHAIにおいては、 I_{EH} は必要ない。

- E : ユーザ, エージェントそれぞれの顔.
- I_{HE} : ユーザによる表情の表出.
- I_{EA} : ユーザの顔の観測による表情特徴の抽出.
- I_{AE} : エージェントの表情の合成と表出.

表情認識の分野では、従来からこの中の I_{EA} , I_{AE} を実現する手法が多数提案されている。しかし、図6中央のユーザの表情に対応するエージェントの表情として、左右どちらの表情が適当であるかはユーザの好みに依存することからわかるように、この処理では、 I_{EA} , I_{AE} に加えて、ユーザの表情とエージェントの表情の対応関係をユーザの要求に適應させるための L_E^A が必要となる。上の研究では、この L_E^A を実現するために、以下のような I_{AH} , I_{HA} を導入し、これに基づく事例ベース学習によって、エージェントの表情をしだいにユーザの要求に合ったものに適應させていく処理を実現している(図7)。

- I_{AH} : 合成されたエージェントの表情のフィードバック.
- I_{HA} : GUIによるエージェントの表情の修正.

対話的タスクにおける L_E^A の実現のために、本来のタスクとは別の I_{HA} , I_{AH} を導入している他の研究例には、ペットロボットによる実演付きのstorytellingタスクにおいて、ユーザが適切な演技を、体に位置センサを装着して実演することによって教示し、その動作を子供のリハビリテーションに利用する試み[Plaisant 00], 自律型キャラクターのbehaviorによってストーリーが決まるキャラクターベース型のstorytellingタスクにおいて、ユーザが期待したストーリー展開を楽しめるように、ユーザが途中で、シーン中の物体を直接操作したり、個々のキャラクターに行動内容を言葉で指示できるようにする試み[Cavazza 02], 心理状態を表情で表現する赤ん坊エージェントとユーザとのインタラクションにおいて、ユーザの行為の因果関係をエージェントに学習させる一方、エージェントの心理状態をユーザにパラメータで提示し、ユーザからの意図的な働きかけによるエージェントの条件付けによって、ユーザの行為に対するエージェントの表情に変化を起こすという試み[El-Nasr 99]などがある。

これらの中には、 L_E^A としてエージェントによる適應を実現するというよりは、エージェントによるタスク実

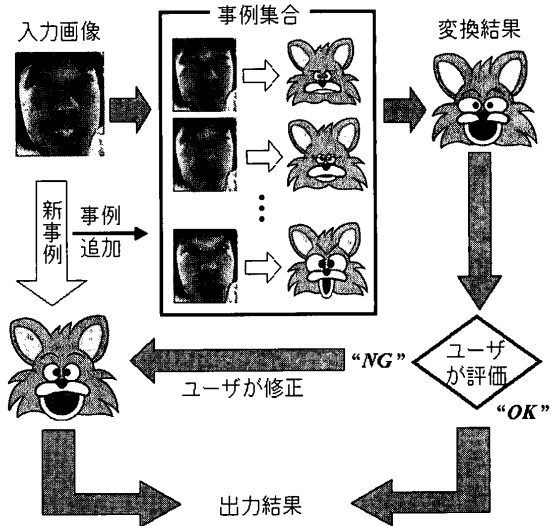


図7 表情合成のためのインタラクション

行の各場面においてユーザによる介入を許すに留まっているものも多いが、いずれもユーザに負担のない形で I_{HA} , I_{AH} を導入するための工夫が見られ、適應のためのHAI設計について考えるうえで興味深い。

§3 エージェントと人間の相互適應のためのHAI設計

次に、人間の適應 L_E^H とエージェントの適應 L_E^A の両方、つまり人間とエージェントの相互適應を扱った山田らの研究[Yamada 02]を紹介する。この研究では、擬人化エージェント(Microsoft Agent)と人間が対話的タスクを扱う場合に必要となる自然なコミュニケーションを実現するためには、お互いが相手の表情からマインドと呼ばれる内部状態(“忙しい”, “暇である”など)を推定できるように適應する、つまり相互適應する必要があるというマインドマッピングの相互適應という問題(図8)を提案している。エージェントは、CCDカメラで人間の表情を取り込み、それを事例とした事例に基づく学習により、人間のマインドマッピングの学習を行い、一方人間は自由にエージェントのマインドマッピングの学習を行う。この相互適應において、各要素は以下のようになる。

- E : 相手の表情を表現するメディア.
- I_{EH} : エージェントの表情の観測.
- I_{HE} : 人間の表情の表出.
- L_E^H : 人間によるエージェントのマインドマッピング

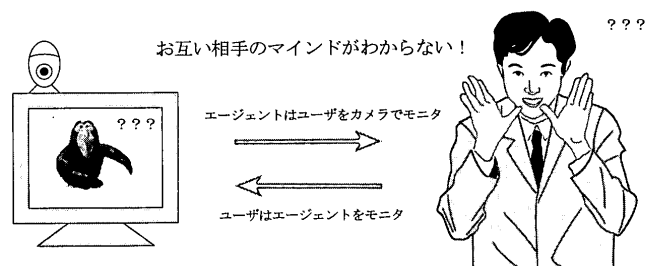


図8 マインドマッピングの相互適應と相互読心ゲーム

ングの学習.

- I_{EA} : 人間の表情のキャプチャリング.
- I_{AE} : エージェントの表情の表出.
- L_E^A : エージェントによる人間のマインドマッピングの学習.

山田らの研究では、二つの適応 L_E^A , L_E^H の両方を促進させるための HAI 設計として、相互読心ゲームという、お互いが相手の表情からマインドを当て合う一種の協調ゲームを設計した。図 9 に、そのゲームが実際に行われているようすを示す。これにより、エージェントと人間の適応がスムーズに実現されることを調べる予備実験が行われている [Yamada 02].



図 9 相互読心ゲーム

このほか、テレビゲームのスキル学習における人間の教師と人間の学習者の相互適応のための HAI 設計の研究 [Komatsu 02] などがあるが、この相互適応のための HAI 設計は、重要であるにもかかわらずまだまだ研究例が少ない。

1 章で述べたように、HAI において人間とエージェントは互いに適応することが望ましい。よって、人間とエージェントの相互適応のための HAI 設計は、今後ますます重要となる分野である。

4. ま と め

本稿では、人間とエージェントとのインタラクション HAI を、適応を軸として捉える枠組みを提案し、適応のためのインタラクション設計の重要性を示した。人間は対象に適応し、一方エージェントも適応機能が重要であることから、適応を軸として HAI 設計を考えるアプローチを示し、自律的、対話的という二つのタスクをもとに、それぞれにおける、タスクに関するインタラクションを超えた適応のためのインタラクションの重要性について述べた。そして、各タスクにおける適応のための HAI 設計に関連する研究例を紹介し、その課題と今後の展開について議論した。

ここで提案した枠組みが完全なものだと主張する気は毛頭ないが、今後ますます発展するであろう HAI 研究において、その設計指針を考える一助になれば幸である。

謝 辞

日頃本稿の内容に関連する研究の議論に参加いただいている IΔEA (Interaction DEsign for Adaptation) 研究会のメンバに感謝します。

◇ 参 考 文 献 ◇

[André 98] André, E., Rist, T. and Müller, J.: WebPersona: A Life-Like Presentation Agent for the World-Wide Web, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 11, No. 1, pp. 25-36 (1998)

[Bates 94] Bates, J.: The role of emotion in believable agents, *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 7, pp. 122-125 (1994)

[Bickmore 01] Bickmore, T. and Cassell, J.: Relational Agents: A Model and Implementation of Building User Trust, *Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2001)*, pp. 396-403 (2001)

[Breazeal 98] Breazeal, C.: A Motivational System for Regulating Human-Robot Interaction, in *AAAI/IAAI*, pp. 54-61 (1998)

[Cavazza 02] Cavazza, M., Charles, F. and Mead, S. J.: Interacting with Virtual Characters in Interactive Storytelling, *Proc. of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, pp. 318-325 (2002)

[土肥 02] 土肥 浩, 石塚 満: WWW と連携する擬人化エージェントとの HAI, *人工知能学会誌*, Vol. 17, No. 6, pp. 693-700 (2002)

[El-Nasr 99] El-Nasr, M. S., Ioerger, T. R., Yen, J., House, D. H. and Parke, F. I.: Emotionally Expressive Agents, *Proc. of Computer Animation*, pp. 1-10 (1999)

[Ikeuchi 94] Ikeuchi, K. and Suehiro, T.: Towards an Assembly Plan from Observation Part I: Task Recognition with Polyhedral Objects, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 10, pp. 368-385 (1994)

[石塚 00] 石塚 満: マルチモーダル擬人化エージェントシステム, *システム/制御/情報*, Vol. 44, No. 3, pp. 128-135 (2000)

[Katagami 02] Katagami, D. and Yamada, S.: Interactive Evolutionary Robotics from Different Viewpoints of Observation, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2002)*, p. to appear. (2002)

[小松 02] 小松孝徳, 開一夫, 岡夏樹: 人間とロボットとの円滑なコミュニケーションを目指して, *人工知能学会誌*, Vol. 17, No. 6, pp. 679-686 (2002)

[Komatsu 02] Komatsu, T., Suzuki, K., Ueda, K., Hiraki, K. and Oka, N.: Mutual Adaptive Meaning Acquisition by Paralanguage Information: Experimental Analysis of Communication Establishing Process, *Proc. of the 24th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, pp. 548-553 (2002)

[近藤 00] 近藤 崇, 角所 考, 美濃 導彦: 対話的に獲得される事例に基づく行為者指向の顔メディア変換, *システム制御情報学会論文誌*, Vol. 14, pp. 308-315 (2000)

[Kühme 93] Kühme, T.: A user-centered approach to adaptive interfaces, *Proc. of the 1993 International Workshop on Intelligent User Interfaces*, pp. 243-245 (1993)

[Kuniyoshi 94] Kuniyoshi, Y., Inaba, M. and Inoue, H.: Learning by Watching: Extracting Reusable Task Knowledge from Visual Observation of Human Performance, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 10, pp. 799-822 (1994)

[Maes 94] Maes, P.: Agents that Reduce Work and Information Overload, *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 7, pp. 30-40 (1994)

[Microsoft Agent] Microsoft Agent: <http://www.microsoft.com/>

products/msagent/

[Microsoft Agent Ring !] Microsoft Agent Ring !: <http://www.msagentring.org/>

[Mitchell 97] Mitchell, T.: *Machine Learning*, McGraw-Hill (1997)

[長尾 00] 長尾 確 編: エージェントテクノロジー最前線, 共立出版 (2000)

[Ono 00] Ono, T. and Imai, M.: Reading a Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding Based on the Theory of Mind Mechanism, *Proc. of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 142-148 (2000)

[Plaisant 00] Plaisant, C., Druin, A., Lathan, C., Dakehane, K., Edwards, K., Vice, J. M. and Montemayor, J.: A Storytelling Robot for Pediatric Rehabilitation, *Proc. of the 4th International ACM Conference on Assistive Technologies*, pp. 50-55 (2000)

[Yamada 02] Yamada, S. and Yamaguchi, T.: Mutual Learning of Mind Reading between a Human and a Life-like Agent, *The Fifth Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents*, pp. 138-150 (2002)

2002年9月9日 受理

著者紹介



山田 誠二 (正会員)

1984年大阪大学基礎工学部卒業。1989年同大学院博士課程修了。同年大阪大学基礎工学部助手。1991年同大学産業科学研究所講師。1996年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002年国立情報学研究所教授、現在に至る。工学博士。人工知能、特に、知的 Web、ヒューマンエージェントインタラクションに興味をもつ。情報処理学会、日本ロボット

学会、電子情報通信学会、AAAI、IEEE、ACM 各会員。

角所 考 (正会員) は、前掲 (Vol. 17, No. 4, p.485) 参照。