

HAIにおける相互適応現象の十分条件の考察

Study on Sufficient Conditions of Mutual Adaptation Phenomenon in HAI

徐 涌^{1*} 大本 義正¹ 岡田 将吾¹ 植田 一博² 小松 孝徳³
岡留 剛⁴ 亀井 剛次⁵ 角 康之¹ 西田 豊明¹

Yong Xu¹ Yoshimasa Ohmoto¹ Shogo Okada¹ Kazuhiro Ueda² Takanori Komatsu³
Takeshi Okadome⁴ Koji Kamei⁵ Yasuyuki Sumi¹ Toyoaki Nishida¹

¹ 京都大学 ² 東京大学 ³ 信州大学 ⁴ 関西学院大学 ⁵ ATR

¹ Kyoto Univ. ² Univ. of Tokyo ³ Shinshu Univ. ⁴ Kwansai Gakuin Univ. ⁵ ATR

Abstract: In order to clarify the mutual adaptation phenomenon in HAI, this paper provided a definition of this phenomenon, and examined the hypothesis of conditions to induce this phenomenon during interactions. Based on the proposed conditions, an experimental environment was implemented by using a human-agent collaborative task, and an experiment was conducted in this environment. As the results of the experiment, it was shown that the mutual adaptation phenomenon that actually occurred in the process of humans and agent's interactions was observed, hypothesis of sufficient conditions was studied.

1 はじめに

ソフトウェアエージェント (Software Agent) とは、ユーザーや他のソフトウェアとの仲介 (Agency) 的関係において動作するソフトウェアを説明する概念である。エージェントにとって、状況に応じて適切な代行的行動を決める能力は重要な能力であろう。特に、人間と直接インタラクションする場合、人間はエージェントより高い能力を持つので、エージェントが人間に適応すると同時に、人間もエージェントに適応してしまう。このような相互適応現象は HAI (Human-Agent Interaction) における普遍的な現象といえよう。

人とエージェントの相互適応現象を人の飼い主がペットの犬に指示を教える例で説明してみる。例えば、人は「座れ」と犬に指示した時、もし最初に犬は指示の意味を分からなければ、指示を無視するか、違う行動をとる。人はこれを見て、犬を叱ったり、叩いたり、罰を与える。もし人は犬が指示を分からない内部状態を推測できれば、自分の指示を変えることで、犬に適応することがある。もし犬が人のほしい行動をとれば、人は餌やおもちゃを上げることで、報酬を与えることがある。そうすると、犬は報酬を得るために、ある指示に対して間違った行動をとって、罰を受けた後に、別の行動に変えることで、人に適応する。このようなプロセス

によって、人と犬の間に相互適応現象が起こる。エージェントは適応無しのエージェント、普通適応のエージェントと相互適応のエージェントという三種類に分類できる。もし図 1(a) に示した適応無しのエージェントの例のように、適応しない犬はある特定の指示にしか反応できない、即ち、人の指示に対して、犬は自分の行動を変えない。人はいろいろな指示を試して、犬が反応するような指示を見つけなければ、犬が望ましい行動をしてくれない。一方、図 1(b) に示した普通適応のエージェントの例のように、人はある指示の教示に対して、犬が望ましい行動をとって、報酬を与えることで成功させるまで、ずっと同じ指示を繰り返し続ければ、成功できるかもしれないが、人にとって、このような教示行為が不自然で、高い心理負担を感じることが多いだろう。

この二つの状況とも、指示と行動の対応関係は固定しなければ、適応行為が成功できない。図 2 に示すように、もし人と犬の間に、相互適応現象が起きると、相手に応じて変化するので、どれか一方で決めた指示と行動の対応関係ではなく、インタラクションによって柔軟に変更することが可能なので、インタラクションの過程で、共通的なプロトコルが自然に形成出来て、人の心理負担も軽減出来るであろう。

相互適応現象は人 (ユーザ) とインタラクションする必要があるあらゆる人工適応システムに関わる研究領域で、普遍的に存在する現象と考えられる。エージェ

*連絡先: 京都大学大学院情報学研究所 西田・角研究室
〒 606-8501 京都市左京区吉田本町
E-mail: xuyong@ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp



図 1: 適応なしと普通適応エージェントの例.



図 2: 相互適応エージェントの例.

ントが相互適応の能力を持つことはいくつかのメリットがある：柔軟な指示-行動の対応関係に対応できる、自然な学習過程によって対応できる。そして、高い確率でインタラクションのプロトコルを成立させることができる。

山田らは [1] 人間とエージェントのインタラクションにおいて、互いに相手の機能モデルを学習することによって、相手に適応する過程を相互適応と規定し、HAI 研究の重要課題の一つに挙げている。HAI における相互適応能力の実現はエージェントが人間とスムーズに共存するための重要な解決方法となるだろう。相互適応を「人間とロボットが長い時間をかけてそれぞれの行動パターンを変えながら長期的な関係を形成していく適応学習のこと」と定義している [2]。

文献 [3] は人間とロボット、またはロボットとロボットの間の模倣による社会的ルールの伝播という社会的なマクロな視点から、相互適応現象を研究している。

小松らは相互適応な音声インターフェースを開発した [4]。このインターフェースは、音声指示に含まれる韻律情報、特に警告韻律を負の報酬として利用して、ラケットでボールを打ち返す TV ゲームの環境下で、ローパスフィルターで処理した音声指示からラケットの二方向の移動動作との対応関係を学習させた。さらに、移動方向の学習が確立した後に、ラケットの移動距離の学習への移行、即ち、二段階相互適応学習現象が観察

された。音声指示の意味は混合ガウス分布から生成されたと仮定し、拡張 EM アルゴリズムを実装して、教示の意味を事前に決めなくても、獲得できるシステムを開発し、二段階の相互適応学習ができる学習モデルを実現した。この研究は音声教示のパラ言語情報に対する学習に重点を置き、特に警告韻律を負の報酬として利用し、人間同士および人間とエージェント間の協力タスクを用いて相互適応学習の現象を誘発し、構成的な手法によって検証した。

以上のような相互適応に関する研究はいろいろな側面から展開されているが、相互適応現象を成立させる条件や成立したかどうかを評価する手法に関する研究はまだ確立されていないように思う。本論文は HAI における相互適応現象を解明するために、人（指示者）とエージェント（行動者）がある協調タスクを完成することを共通目標とした状況の下、相互適応現象が誘発され、成立できる条件に焦点を当てる。本研究では、協調タスクに関して、人とエージェントがそれぞれ部分情報しか持たないことを前提とする、両者が過去の行動変化を参照したり、次の行動選択を決定したりして、お互いに相手の意図を推測して、適応のループを形成し、適応の過程によって、コミュニケーションのプロトコルを形成するようになることを予想している。

本研究は HAI 分野における下記のような貢献がある。

1. HAI における相互適応現象を誘発できる条件の仮説を提案した。
2. 人とエージェントの協調作業タスクを設計し、実験環境を実装した。
3. 人とエージェントのインタラクションの過程で起きた相互適応現象を観察し、現象を踏まえて誘発条件仮説を検討した。

2 相互適応の概念

人とエージェントがある協調タスクを完成するために、このタスクに関して、それぞれ異なる部分情報が得られないことが本研究が着目している相互適応現象の前提条件とする。

本研究で言及している相互適応 (Mutual Adaptation) とは、人とエージェントが協調して共通タスクを達成するために、両者が相手の過去の行為を参照し、次の行為を予測することによって、相手の意図を推測し、相手のモデルを作る。そして、状況に応じて主導権を取りあい、自分の行動を変化させて、相手に適応すると同時に、相手に働きかけて、相手の行動を変化させて、自分に適応させることによって、適応のループを形成し、インタラクションのプロトコルを形成しながら、段階的に適応を発展させていく現象である。

本研究の一つの目標は相互適応現象の発生条件を探すことである。相互適応の定義に基づいて、相互適応現象が発生する必要条件と十分条件の仮説を述べる。もし相互適応現象が発生すると、下記の必要条件は満たされるはずだという仮説を立てる。

- 人とエージェントとも相手からフィードバックまたは報酬を受け取ることができる。
- 両者とも相手の過去の行動を参照して、次の行動を決める。
- 両者間に共通プロトコルを成立させることができる。

もし下記の十分条件は満たされれば、相互適応現象が発生するはずだという仮説を立てる。

- 人とエージェントとも主導権をとれる
- 人とエージェントとも相手の行動の変化に対して、自分の行動または戦略を変える。
- 二つの変化は適切な時間間隔内に起きる。

第三者（観察者）の視点からみると、エージェントは自律性、反応性と適応性の三つの基本特性を持つことが出来れば、相互適応現象を誘発できる。自律性とは、主導権をとる能力がある。反応性とは、相手の行動に対して、対応する行動をとる能力がある。適応性とは、相手の行動の変化に対して、自分の行動を変化させる能力がある。

本論文では、主に十分条件に重点を置く。特に主導権をとれることは相互適応発生不可欠な条件（必要十分条件に含まれる）であることも本研究で検討したい仮説である

3 実験

本研究ではレストランでマネージャー（人）がウェイター（エージェント）をトレーニングするタスクを題材とする。

3.1 タスクと設定

このタスクは人とエージェントが協力して店の利益を最大化することを共同目標とする。エージェントの目標は客満足度（客からウェイターエージェントに与えるチップの額に反映される）の最大化で、人の目標は店売上（注文した客の数）の最大化である。タスクには三つの役：マネージャー（人）、ウェイター（エージェント）と客がある。席の状態は「空席」、「注文待ち」、「食

事中」と「要片付け」の四状態があり、入り口は「（案内待ちの）新客あり」と「（案内待ちの）新客なし」の二状態がある。エージェントは「手ぶら」、「客案内中」と「食器運搬中」の三状態がある。実験環境はPC上でMatlab2007環境で開発された図3に示したようなGUIを持つWAITER (Waiter Agent Interactive Training Experimental Restaurant) システムである [5]。

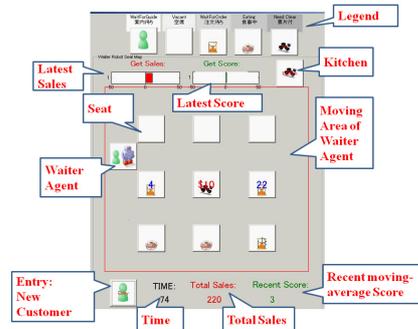


図 3: WAITER システムの GUI

GUIには入り口、厨房と九つの客席の11個のボタンがある。マネージャーはマウスでボタンを押すことでエージェントに指示を出す。タスクにはいくつかの制約条件がある：エージェントが入り口の新客を空席に案内する必要がある。着席した客が一定時間後に注文待ち状態に変わるが、注文待ちの客の待ち時間が長すぎると、注文せずに帰ってしまう可能性がある。また、一旦注文をとると、一定時間後に食事中の状態に変えて、またしばらくして要片付け状態になる。エージェントは要片付け席の食器を厨房に運ぶ必要がある。

エージェントは手動モード (Manual-Mode, M-Mode) と交互モード (Interactive-Mode, I-Mode) の二つのモードがある。手動モードの場合、人の指示がある時のみ行動をとる。一方で、交互モードの場合、人の指示を参考して、エージェントが行動を決める。交互モードには、エージェントの動作の適応段階の切り換えは定期的な切り換える方法と人手による手動で切り換える WOZ (Wizard of OZ) 方法の二種類がある。前者のエージェントの適応段階の切り換えは、参加者とは無関係に事前に決めた時刻で行う。後者の WOZ 方法では、実験者が実験の進行状況を判断し、無線キーボードを利用し、実験参加者に気づかないように、エージェントの適応段階を調整し、参加者にエージェントが適応しているように見せかける方法である。

本研究では、三種類（即ち、適応無し、普通適応と相互適応）のエージェントを実装した。適応無しのエージェントの実験では、実験環境に対する人間の指示者の適応行動を観察できる手動モード (M-Mode) を実装した。普通適応エージェント、すなわち、人間の適応を促せないエージェントは、人間の指示と無関係に適応

行動をとるエージェントに対して、人間の指示者の適応方法を観察できるランダムモード (R-Mode) を実装した。相互適応エージェント、あるいは、人間の適応を促せるエージェントの実験では、人間とエージェントの両方を連鎖した適応行為を観察できる線形予測モード (L-Mode) とベイジアンネットワークモード (B-Mode) も実装した。さらに、実験の途中で、エージェントが学習したかどうか、確かめることができる観察フェーズが入れたモード (O-Mode) も実装した。エージェントが案内、注文と片付けの三つの優先度の間に切り換えることができるように実装した。R-Mode の場合は、優先度の切り換えが指示者の指示とは無関係で、ランダムに切り換える。B-Mode の場合は、優先度の切り替えは、指示者の指示の頻度ではなく、WOZ 実験で蓄積したデータから、創られたベイジアンネットワーク (Bayesian networks) モデルによって、優先度を計算して決める、優先度の確率が低い場合は、線形予測の結果によって決める。O-Mode の場合は、エージェントは線形予測法を利用した優先度を計算する。それに、実験の始め、三分の一と三分の二の時刻に、それぞれ 30 秒の強制観察期間 (画面に「指示しないでください」という文字を提示する) を設けた。

3.2 手順と被験者

本研究では、実験 1 (WOZ エージェント実験) と実験 2 (自律エージェント実験) の二種類の実験を実施した。

実験 1 の手順として、まず、実験実施者は参加者にタスクを紹介しながら、実験用ソフトウェアの使い方を説明する。次に、事前アンケート記入と数分間練習の後、手動モードと WOZ 操作無しの交互モードを各一試行ずつ行い、最後は交互モードで WOZ 操作有りの試行を行った。実験 2 では、手動モードの他に、R-Mode、L-Mode、B-Mode と O-Mode の 4 種類の交互モードを利用して、実験を行った。

参加者には GUI に表示される売り上げと点数を出来るだけ獲得するように教示を与え、参加者の参加意欲を高めるために、高い点数をとった人が景品をもらえると伝えた。

実験 1 では、2 回実験を行った。一回目では、エージェントの行為パターンは 3 段階を用意した。二回目では、エージェントの行為パターンは 6 段階を用意した。実験 1 では、12 人 (男性 5 人、女性 7 人、平均:22.8 歳) の参加者が 6 人一組で二組に分けて、第一組は、1 試行 10 分間 (手動モード 1 回、交互モード 1-3 回) 合計一人あたり 3-4 試行を行った。第二組は、1 試行 10 分間 (手動モード 1 回と交互モード 1 回)、そして、交互モードでは、20 分間と 30 分間も各 1 試行を行った。

WOZ 実験の第一組の参加者は M1-M12 までの表記で表す。

実験 2 では、25 人 (男性 16、女性 9、平均 21.7 歳) の参加者が三組に分けて、実験に協力した。第一組は 6 人 (男性 5 人、女性 1 人、平均 20.1 歳、N1-N6 で表記)、1 試行は 15 分間で、手動モードは一回、交互モードの R-Mode と L-Mode をそれぞれ一回行った。第二組は 11 人 (男性 6、女性 5、平均 22.5 歳、N7-N17 で表記)、1 試行は 15 分間で、手動モードは一回、交互モードの R-Mode、L-Mode をそれぞれ一回行った。第三組は 8 名 (男性 5 人、女性 3 人、平均 21.8 歳、N18-N25 で表記)、1 試行も 15 分間で、手動モードは一回、交互モードの R-Mode、L-Mode、B-Mode および O-Mode をそれぞれ一回行った。

参加者の意図を記録するために、実験の過程で、参加者の指示の意図、エージェントに関する感想などを言語で現すために、発話思考法 (think-aloud method) を用い、実験者は参加者と話しながら、全ての試行を行った。発話思考法は心理学実験でよく使う手法で、実験参加者が実験タスクを実行する間に、見ている、考えている、している、感じていることを確認する手法である。これによって、観察者から参加者がタスクを完成するプロセスを分析できる手法である。

3.3 結果と考察

実験 1 では、全部で 56 のログ、840 分間の GUI 画面録画、音声、実験様子を記録したビデオ録画データが記録された。実験 2 では、全部で 102 のログ、一人 15 分間で 1485 分間 (3 試行分の GUI 画面録画は記録出来なかった) の GUI 画面録画、音声、実験様子を記録したビデオ録画データが記録された。

マネージャーの指示者の指示 (押したボタンの時刻、番号、および対応する席の状態) は大きく三種類に分ける: 入り口に客がある時に「入り口」ボタンを押した「入り口案内指示」と客を連れて空いている「空席」ボタンを押した「空席案内指示」は「案内」(Guide) 指示に分類し、「注文待ち」の席を押した指示は「注文」(Order) 指示に分類し、「要片付け」席を押した指示と食器を厨房へ運ぶ時に「厨房」のボタンを押した指示を「片付け」(Clear) 指示と分類する。必要条件について、エージェントは注文でもらえるチップの予測額に従って動くと同時に、人の指示にも対応しているの、例えば、マネージャーはある注文席のボタンを押して、エージェントがその席へ向かって移動し始める途中、入り口に新来客が来ると、指示者は案内指示を出すことで、エージェントが実行中の注文指示を中断することになり、現在の行動に対して、負の報酬となる。そして、エージェントはこれを受けて、現在の行動を変更

すれば、指示者はエージェントが報酬を受け取ったと理解できる。また、指示者はエージェントに指示を出すことで、主導権をとりやすいが、指示者が案内指示を出しても、エージェントは無視して、自律的に注文席へ移動する場合、指示者はこれをフィードバックを受けて、案内指示を変えて、エージェントにあわせて、注文指示に変えた例も観察された。これはエージェントが主導権をとれる例である。従って、主導権の十分条件は満たされていることが分かるだろう。

実験結果のログデータには、時刻、エージェントの状態、位置、各席の状態、指示者が押したボタンの番号などが記録される。これらのデータを解析することは、多次元ベクトルで形成される時系列データの解析になる。指示の時系列と行動の時系列はそれぞれマネージャーの指示意図とエージェントの行動を反映している。時系列の変化点を検出する手法として、SST [6] という汎用的な時系列変化点検出アルゴリズムは注目を集めている。本研究では、その改良版のRSST [7] を利用した。このアルゴリズムでは、時間窓 W と過去参照窓個数の N という二つのパラメータを決めれば、時系列の変化点を高い精度で検出できる。

実験環境の実装では、指示者（マネージャ）はエージェントがチップの予想額に基づいて自律行動を取っていることは知らなくて、売り上げを上げれば、点数が上がることを知っている。一方で、エージェントはチップ情報は知っているが、指示者が何に基づいて指示を決めるのかは知らない。ここで、指示者に売り上げを上げることを教示で与えたが、これはあくまでも初期条件で、実際に指示者がどんな方法で指示を決めてもいいから、指示者とエージェントは不完全なタスクの情報をもち、且つ相手が持っている情報が知らなければ、両者がともに点数を上げる共通的な目標を目指して協調行動をするから、相互適応現象の前提条件が満たされていると言えよう。

以下、実験参加者 N18 の B-Mode の試行の例を挙げて説明する。基本的に提案条件に基づいてエージェントと実験環境を実装したので、エージェント側が十分条件に満たしていることは判断しやすい。ここで検証したいのは、主に人側の適応のことである。参加者 N18 がエージェントの過去行為を参照して、次の行為を予測することによってエージェントの意図を推測していることはデータから確認できる。人はエージェントのモデルを作っているかどうかの確認は難しいが、過去データを参照していることがあれば、指示者の中には何らかの形でモデルを作っている可能性が高い。そして、N18 のみならず、多くの指示者が繰り返して指示する行為が観察されたので、人側が主導権をとった場合が圧倒的に多い。それに対して、エージェントが自律行動をとることも観察されたので、それはエージェントが主導権をとれたと言えよう。さらに、人は自分の

指示を変化させて、エージェントに適応する行為、また、指示を変えて、相手の行動を変化させて、自分に適応させる現象もあった。このように適応のループが形成できた例があって、少なくとも、第一段階の適応ループが観察された。従って、N18 の B-Mode の結果は相互適応現象が発生したと言えよう。

図 4 は参加者 N18 の指示が時間とともに変化する様子を描いた。

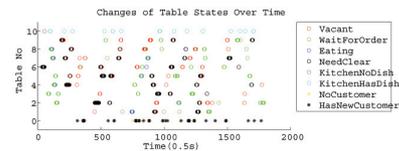


図 4: N18 の B-Mode の各指示の席状態配布図

図 5 は N18 の指示とエージェントの行動が時間とともに変化する様子を描いた。この図に示した各色の丸は指示者の各種の指示を表示している。四角形はエージェントの行動を現している。図の中に案内指示無しで、案内行動をとった箇所が数カ所観察されているから、エージェントが主導権を取り、自律行動をとっていることが明らかである。これらの現象は主導権の十分条件が満たされていることを証明しているように見える。

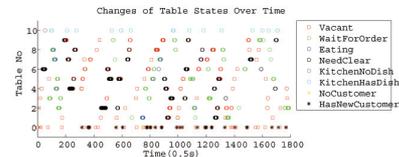


図 5: N18 の B-Mode の案内動作と指示の席状態配布

図 6 は N18 の指示の時系列を RSST アルゴリズム ($W=3, N=3$) で得た変化点検出結果の図である。

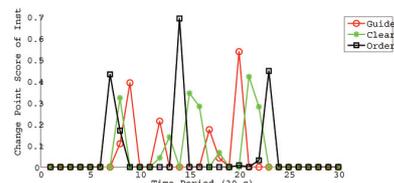


図 6: N18 の B-Mode の指示系列変化点検出結果

図 7 は N18 の指示に対して、エージェントの行動時系列を RSST アルゴリズム ($W=3, N=3$) で得た変化点検出結果である。

これらの図から、指示者の指示頻度の変化とエージェントの行動頻度の変化の間に対応関係がある、そして、時間とともに変化していることが分かるだろう。しかし、二つの変化の間の時間間隔は適切かどうかの判断

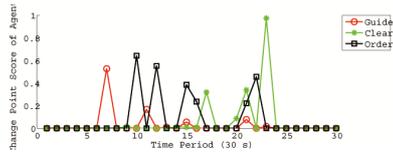


図 7: N18 の B-Mode の行動系列変化点検出結果

は、データ系列のみではわかりにくいので、GUI で録画されたビデオによる検証を行うことで、判断出来る。この試行の場合、最初、指示者は案内指示を頻繁に出したが、エージェントが案内行動をよく出来たので、指示者は段々案内指示の頻度を減らして、指示の仕方を変えた。そして、エージェントが片付けをあまり積極的にやらないことに気づいた指示者は片付け指示を短時間内に連続的にボタンをクリックする指示の仕方をして、片付け指示に重点を移って、エージェントも片付け行動をとるようになった。このように、両者が相手の行動の変化に対して、自分の行動を変えた現象が観察された。二つの変化間の時間間隔は適切かどうかの客観的な判断基準はまだ不明確で、判断は難しいが、変化があったことは実験参加者の発話から確認出来た。

本研究が得られた結果はまだ十分に検証されたとはいえないが、相互適応現象の重要性について異議はないだろう。本研究の実験では、試行錯誤的ではある、エージェントがある個々の指示者を相手にして適応する方法を研究対象としているが、同じエージェントが違う指示者に対して、適応方法を一般化する研究は次のステップとして考えている。今回の実験は限定的な環境、タスクにおいて考察した物なので、条件の一般化について、さらに考察する必要がある。例えば、エージェントにとって、主導権をとる必要があるが、タスクの状況（例えば、空席が多かった時、また満席となった時は、自律的な片付け行動の優先度が違う）、指示者の自己主張度（例えば、指示が少ない人と指示が多い人に対して、自律行動の優先度が違う）、指示者の嗜好（例えば、案内が一番優先にしたい人と片付け席があれば、必ずすべて片付けておく人に対して、片付けの自律行動をとる確率も違う）。特に、指示頻度の変化、指示者の個性を現れるパターンについて、一般的なルールを見いだすのも相互適応現象の条件を一般化する方向に対して、有益であろう。

4 まとめ

本論文は、HAI における人とエージェントの間に起きる相互適応現象を解明するために、相互適応の概念を説明した上で、その現象の誘発条件に関する仮説を提案し、人とエージェントの協調作業のタスクを設計し、実験環境を開発した。さらに、この実験環境にお

いて、行った実験の結果に基づいて、相互適応現象が発生する十分条件を検討した。

参考文献

- [1] 山田 誠二 監著: 人とロボットの<間>をデザインする, 東京電機大学出版局, (2007)
- [2] 山田 誠二, 角所 考, 小松 孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 648–653 (2006)
- [3] 駒込 大輔, 鈴木 道雄, 小野 哲雄, 山田 誠二: Robot-Meme: 模倣による人-ロボットの周辺の相互適応, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 47–57 (2008)
- [4] Komatsu, T., Utsunomiya, A. Suzuki, K., Ueda, K., Hiraki, K., Oka, N: Experiments Toward a Mutual Adaptive Speech Interface That Adopts the Cognitive Features Humans Use for Communication and Induces and Exploits Users' Adaptations, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 18, No. 3, pp. 243–268 (2005)
- [5] Xu, Y., Ohmoto, Y., Ueda, K., Komatsu, T., Okadome, T., Kamei, K., Okada, S., Sumi, Y., Nishida, T., A Platform System for Developing a Collaborative Mutually Adaptive Agent, *International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2009)*, *Lecture Notes in Computer Science: Next-Generation Applied Intelligence*, Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 5579, pp. 576–585, (2009)
- [6] Ide, T., Inoue, K.: Knowledge discovery from heterogeneous dynamic systems using change-point correlations, *the SIAM International Conference on Data Mining (SDM 05)*, pp. 571–576 (2005)
- [7] Mohammad, Y., Nishida, T.: Robust Singular Spectrum Transform, *In Next Generation Applied Intelligence (the Twenty Second International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2009))*, Taiwan, LNAI 5579, Springer, pp. 123–132 (2009)