

ユビキタスホームにおける対話インタフェースロボットの試作

上田 博唯*¹ 近間 正樹*¹ 佐竹 純二*¹ 佐藤 淳*² 木戸出 正継*²

概要: UKARI プロジェクトでは、ユビキタスホームと名付けた各種センサや家電品がネットワークで統合された環境において、新しい種々のコンテキストウェア型サービスを実現することを目指している。そして、このコンテキストウェア型のサービスをユーザに適切に提供して行くための対話インタフェースロボットの開発を進めてきた。本論文は、この対話ロボットのコンセプトとプロトタイプ試作について報告する。

A Prototyping of a Dialog Interface Robot at the Ubiquitous-Home

Hirotsada Ueda*¹, Masaki Chikama*¹, Junji Satake*¹, Jun Sato*² and Masatsugu Kidode*²

Abstract: In the UKARI project we are aiming at realizing new context-aware services in the environment, named Ubiquitous-Home, which various sensors and electric appliances are combined with over the network. We had been developing a dialog interface robot to provide the context-aware services for the user suitably. This paper reports the design concept of the new dialog interface robot and its prototyping.

1. はじめに

21 世紀はユビキタスの時代であると言われる。このユビキタスの時代に我々の住環境はどのように変化して行くのであろうか? そのような研究に先鞭をつけたのは、Georgia Institute of Technology の Aware Home Research Initiative のグループである[1]。日本でも東京大学の佐藤・森研究室[2]や産業技術総合研究所のデジタルヒューマン研究センター[3]等、いくつかの研究機関において、大量のセンサを住居空間に埋め込んだ部屋が試作され、これらのセンサからの情報によって人間の状態や行動を解析し、その状態や行動に応じたサービスを提供するというシステムの研究が進められている。

筆者が属している「ゆかりプロジェクト」でも、ネットワークで結合された家電製品や情報機器が、同じくネットワークによって結合されている各種のセンサと共に協調動作することによって、どのような新しいサービスを実現できるようになるかということを中心に研究を進めている[4-7]。

筆者らは、この「ゆかりプロジェクト」の中で、ユビキタス社会における生活支援技術としてのロボット型インタフェースという観点からの研究を進めている。そしてその中で、母親・子供メタファを提案してきた[7][8]。母親・子供メタファでは、各種

センサ情報に基づいて自律的にネットワーク上のアプリケーションを制御する、いわゆるアンコンシャス型ロボット(母親メタファ)と、ユーザとの対話に基づいてアプリケーションを制御するビジブル型ロボット(子供メタファ)を組合せる。

本稿では、ゆかりプロジェクトの中で構築したユビキタスホーム、すなわち筆者らの研究開発環境と母親・子供メタファについて概説し、この考えに基づいて試作したビジブル型の対話インタフェースロボットについて報告する。

2. ユビキタスホーム

2.1 ユビキタスホームの概要

ゆかりプロジェクトでは、情報通信研究機構 けいはんな情報通信融合研究センターのビル内に「ユビキタスホーム」と名付けた、マンションを模した居住空間を建設した。この施設は研究開発環境であり、同時に実証実験用でもあり、図 1 の見取り図に示すように、リビングルームと書斎、寝室、ダイニング・キッチン、浴室、トイレなどを完備している。通常の 2LDK マンションと同等の機能および居住性を満たしているので、ここに実際に一世帯の家族が生活することができる。この居住エリアの隣には NOC と名付けた部屋があり、ここに各種処理を実行するためのプロセッサやデータベースサーバ、映像サーバなどを設置している。

*1: 情報通信研究機構 けいはんな情報通信融合研究センター

*2: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: National Institute of Information and Communications Technology

*2: Nara Institute of Science and Technology

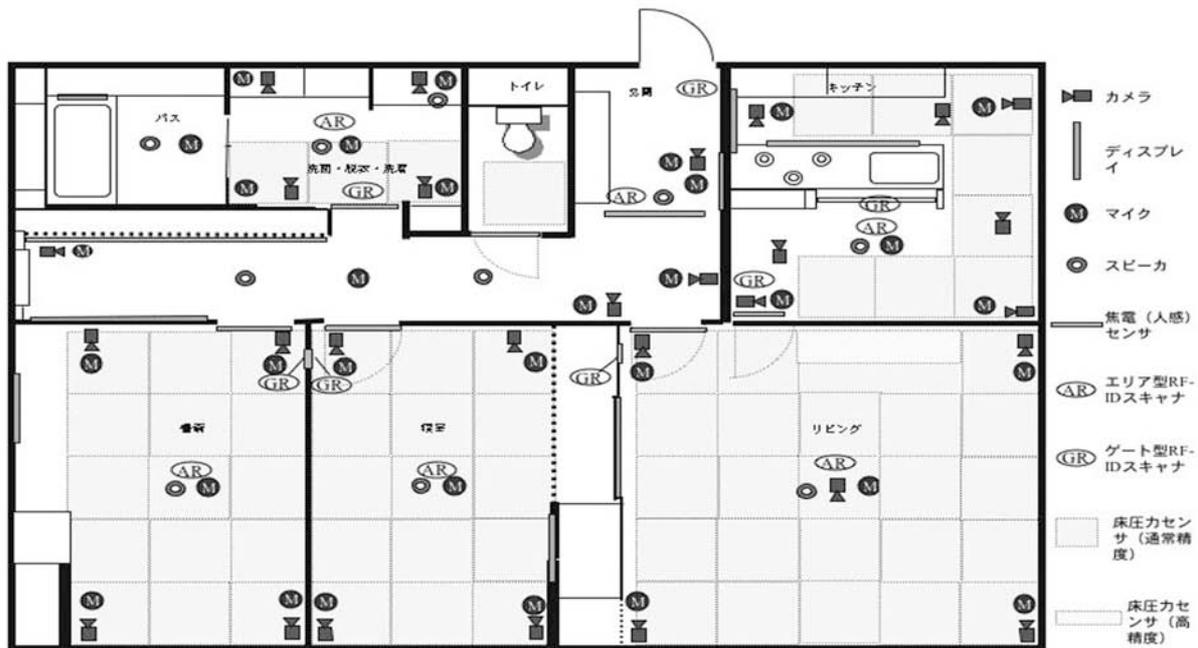


図1 ユビキタスホームの見取り図

この実証実験用住居には、ユビキタス関連技術を試すために、居住空間のあらゆるところに、ネットワークで相互に接続されたセンサと家電製品を始めとする各種機器を設置している。図1には、これらセンサや機器の配置状況をも示してある。センサに関しては、各部屋と玄関、廊下に、カメラやマイク、RFID タグ・スキャナ、床圧力センサ、人感(焦電)センサなどが取り付けられている。家電製品に関しては、さまざまな場所にディスプレイが設置されている。リビングルームには、50 インチのプラズマ・ディスプレイを2台、寝室、書斎、玄関、廊下には37 インチの液晶ディスプレイが設置されている。これらのディスプレイに表示するコンテンツは、ネットワーク経由で自由に制御することができる(もちろん、居住者の意志は第一プライオリティで尊重される)。音声メディア情報についても、全ての部屋の天井にスピーカーとマイクが設置されている。

ユビキタスホームの実際のリビングルームの様子を図2に示す。天井に見えている黒い半球形のものがカメラであり、部屋の中央と四隅に設置されている。この天井カメラで撮影された映像例を図3に示す。NOC 内に設置した映像蓄積配信サーバには、ユビキタスホーム内に設置されている全てのカメラの映像を、5fps で2ヶ月分蓄積させることができる。2ヶ月分を過ぎた記録は上書きしつつ録画を継続するように設定してある。

これら住宅に固定的に設置された設備の他に特徴的なのが、ユビキタスホーム内に点在するビジュアル型のロボット達である。これらについては次章で詳述する。



図2 リビングルーム



図3 リビングルームの実写映像例



図5 母親-子供メタファ

図5にその「母親・子供メタファ」の概念図を示す。ここでは、ネットワークで結合された機器とセンサ、そして自律的なサービスから構成される家全体(アンコンシャス型ロボット)を**母親**ととらえる。つまり、いつも家の中にいて家族を見守り、必要なときにはどこからともなく現れて、さりげなく家族を支援してくれる存在としての位置付けである。一方、ユーザとの対話を受け持つビジブル型ロボットは**子供**とする。

そして、この**子供**(ビジブル型ロボット)と**母親**(アンコンシャス型ロボット)が連携することで、新しい高度なサービスを提供しているというモデルである。この協調型システムは、時々刻々の各種センサ情報やアプライアンスの内部状態、サービスを実行しているシステム全体の現在状況、そして、それら全ての履歴と、ユーザ個人々の嗜好などを蓄積している分散環境行動DBの情報に基づいてユーザとの対話を進めつつ、次のサービスを実行する。

子供はユーザとの対話の内容に応じて、分散環境行動DBを通して、**母親**に対し適切なサービスの実行を依頼することができ、この**子供-母親**連携システムは、従来にない柔軟で高度な、そして、ユーザに対する気配りの行き届いたサービスを実行することができるようになる。

また、このモデルは、同時にアンコンシャス型自律動作に特有の、ユーザが感じる不気味さの解消やユーザが予期せぬ動作が生じた場合の説明役の意味あいも持つ。ユーザとの対話の中で、**子供**はユーザの持つ疑問(機器の操作方法がわからない、なぜ玄関の明かりがついたのか知りたい etc.)に対して、**母親**が分散環境行動DBに書き残している、機器の内部状態やユーザが操作した履歴の情報により、その答を適切に説明することができる。

このような説明のためのメカニズムを確立することで、将来的には家電製品メーカー内にある

データベースと連携させるようにして、分厚い取り扱い説明書と格闘するという非生産的な活動からユーザを開放することも可能となるであろう。

4. 対話インタフェースロボットのデザイン

4.1 子供(3歳児)のメタファ

前章で述べた母親・子供メタファの概念の下では様々なことを議論したが、その中の一つに次のような考えがあった。IT技術の進展は家庭内にも電子メールやWebによる情報提供などのサービスを持ち込んだ。これらは便利さと同時に情報弱者を作り出すという負の面を合わせ持つ。さらには、家族をパーソナルな機器に向き合わせるために、核家族化により疎遠になっている家族間の関係をさらに悪化させるという弊害も現れている。これからのIT技術は、家族を孤立させるのではなく、家族の会話を取り戻すような方向を目指す必要がある。家庭内に持ち込まれるロボットは、このような状況を改善する役割をも担うべきであると筆者らは考えた。

つまり、ユーザと同一の空間に実体として存在するロボットとのマルチモーダル(音声、映像、視線、表情、身振り etc.)な対話は、家族がロボットを媒介にして互いに話題を共有することになり、パーソナル機器による家族の孤立化の問題の解消にもつながっていくという考えである。例えば、今まではインターネットでの情報検索は一人でパソコンに向かって行うものであったのが、このような状況設定においては、ロボットと対話しながら、大画面のテレビを見てワイワイとにぎやかに行うものへと変化して行くことが期待される

このように考えた場合、ロボットの持つ音声対話機能は極めて重要な要素となる。家という空間内を無指向性で適度な減衰特性で広がっていく情報伝達手段である音声は、家族の誰がどんな活動をしているのかを他の家族が自然な形で知ることができ、またその活動に参加して行くためのきっかけとしての重要な役割を果たすと考えられる。

ところが一方で、現時点での音声対話システムの技術レベルでは、家庭内で家族が団欒しているような環境における日常会話を正しく認識し理解するというレベルには達していない。これは母親・子供メタファによるロボット対話システムを実現して行く上での大きな課題であり、その一つの解決策として考案したのが、3歳児なみの対話能力しか持たないが、ネットワークと家電等の機器に関しては「おたく」であると

いう想定の子供のメタファであった。

4.2 子供メタファのアフォーダンス

ヒューマンインタフェースの設計においては、良好なメンタルモデルをユーザに形成し、維持してもらうためのアフォーダンスが重要である[9]。筆者らの**子供**はいわゆる「おたく」という性格を与え、その置かれた環境の中で家電製品やネットワークを自由に操ることができ、また分散環境行動 DB という優れた記憶力をも有しているため、これらをユーザの状況に合わせて使い分けることによって、適切なアフォーダンスを持って強力にユーザの生活を支援することができると思われる。

しかし、その一方で自然言語による音声対話に関しては、残念ながら現在の音声認識・合成技術の性能は十分とは言えない。このようなことから、筆者らは子供メタファを3歳児程度と位置づけた。このメタファを成功させ、きちんとしたアフォーダンスを実現して、ユーザにしっかりとしたメンタルモデル維持してもらえるようにするためには、この**子供**のメタファを与えるロボットにどのような振る舞いをさせればよいのかということ深く掘り下げる必要がある。

そこで、ゆかりプロジェクトでは、認知科学、教育心理学や発達心理学の分野での知見[10, 11]を、おおいに参考にしていこうと考えている。文献[10]によれば、坂道を滑り落ちるというような物理的な現象についての推論は、3,4才児から可能となり、さらにその年齢においてはカテゴリという概念もある程度まで理解できるという実験観察結果が報告されている。

分散環境行動 DB を参照しながら進行するユーザとの対話において、この3,4才児レベルの推論と、カテゴリ的なデータハンドリング能力を上手に組み合わせることで、子供らしさを表現して行く方式を検討することで、適切なアフォーダンスを持たせようと考えている。

ここで考えるべきロボットの機能として重要なものの一つに移動能力があげられる。ゆかりプロジェクトでは、複数のロボットを混在させることで、それぞれの有用性を実証実験して行くことにしており、ここでも2種類のロボットを取り上げることにした。一つは車輪により移動することができるロボットであり、もう一つは自分自身では移動しないロボットである。

ゆかりプロジェクトでは、移動するロボットについては、3,4才児に見られる、人の後を追う、人の動作の真似をするといった行動パターンを主体として、親和性と実用性の融合という観点

からの取り組みをしている。そして、移動しないロボットについては、対話を重視して子供らしさを表現するという観点からの取り組みを目指して、子供メタファに特化した新しいロボット(以後、子供ロボットと呼ぶ)を開発しつつ、研究を進行することとした。

なお、前者の移動するロボットについては、ゆかりプロジェクトが発足する以前から東芝が開発が進められていたアプリアルファを応用して研究を進めている。これについては文献[12]に報告している。

この子供ロボットのアフォーダンスに関して、どのように考えるべきかをデザインと議論した時の図を図6に示す。従来の個人ユーザ向けのロボットは、その目的によって、大きくペット型、番犬型、パートナー型というようにくることができよう。これらは、それぞれ愛玩動物、肉食動物、人間をアフォーダンスの根源としてデザインされていると見ることもできる。これらに対し、これから開発しようとしている子供ロボットは、高度情報処理パートナーとして位置付けるべきで、そのときのアフォーダンスの根源は、従来にない新しいものでなければならない。そこで筆者らは、座敷童(ざしきわらし)にその根源を求めることにした。

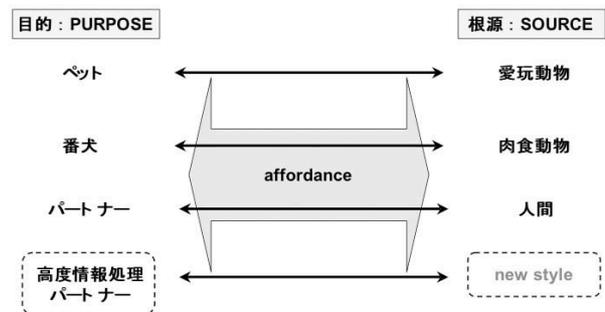


図6 子供ロボットのアフォーダンス

誤解を恐れずに言えば、座敷童は人家に棲みつき住人に幸福をもたらす小人の妖精というイメージである。調査してみると、このような妖精の話は世界中に見られることがわかった。日本ではザシキワラシやザシキボッコ、イングランドでは「ホブゴブリン」、デンマークでは「ニス」、ノルウェーでは「ニッセ」、アイルランドでは「ブーカ」、ウェールズでは「ブーカ」ドイツでは「コボルト」と呼ばれている。彼らはある地方ではこっそり家事を手伝う妖精として、またある地方では家族と話をしたり、歌を歌ったり踊ったりする陽気な妖精として登場する。またある地方では予知能力を持っていたりもする。このようなイメージを土台として、

筆者らは子供ロボットの具体的なデザインについて検討を進めた。

4.3 子供ロボットの外観デザイン

外観デザインを設計するにあたって、大まかな機能を決定した。その要点は

- ・ 二足歩行はしない代わりにワープする
- ・ 子供らしいかわいい仕草を可能とする

の2点であり、ここから運動の自由度は

頭部(首)	3 自由度
腕	1 自由度 (×2)
胴	1 自由度

の合計6自由度とすることが決まった。またユーザとの対話を行うためのデバイスとして

- CCD カメラ
- マイク
- スピーカ

を持たせることとした。そして、日常生活の邪魔にならないサイズということで、台所にあるサラダ油徳用瓶程度の大きさにするということを決めた。家の中では、歩行速度の遅いロボットは邪魔になる（逆に高速移動は危険を伴う）ことと、物を持って運ぶような仕事ではなく、情報処理を主体とするロボットの場合には歩き回る必要性が殆どないことから、邪魔にならないようなサイズのものを部屋のあちこちに置き、ユーザには同一のロボットがワープしてきて、対話を継続しているように見せるという選択は、(断定的なことを言うためには、今後の評価実験を待つ必要があるが)かなり合理的なものとなるのではないだろうか。

次に具体的な形状のデザインであるが、比較動物行動学者コンラート・ローレンツの、次のような説 [13]を参考にした。

動物の幼児が持つ丸っこい頭、つぶらな瞳、寸詰まりのプロポーション等に「可愛らしい」という感情ないし「面倒をみたい」という気分を駆り立てられるのは、人間も他の動物も同じである。子供っぽい姿かたちに愛情をそそられるのは、おそらくそれが育児行動の引き金となり、種の維持にかかせない本質的な形態だからであると考えられる。

寸詰まりのプロポーションの一例として図7に示すように、目が顔の上下方向の中心線よりも下に位置するということがあげられる。

これらの考察に基づいて、最初に完成した外観デザインを図8に示す。その後被験者を用いた評価や製作上の構造の問題などを検討して図9のような外観デザインになった。実際に試作した子供ロボットを図10に示す。

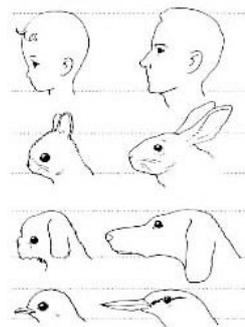


図7 子供のプロポーション(可愛らしさ)

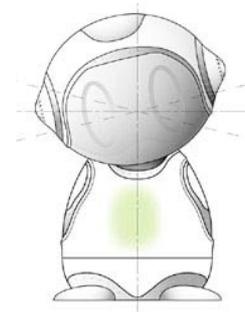


図8 最初の外観デザイン



図9 試作した子供ロボットの外観デザイン



図10 試作した子供ロボット



図 11 子供ロボットの頭部(正面)

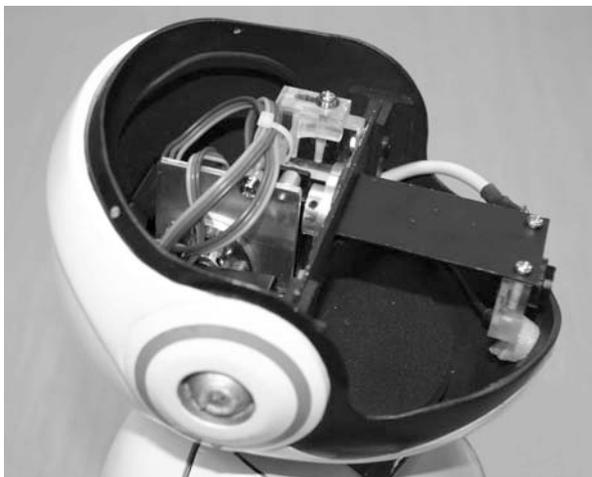


図 12 子供ロボットの頭部(斜め上から)

この子供ロボット2号機の頭部を正面と斜め上から写した写真を、それぞれ図 11 と図 12 に示す。身長は約 20cm である。図 11 では、頭部中央に取り付けた小型 CCD カメラを見やすくするために、クリアのカウルを取り付けて撮影している。カメラの下に小さく見えているのは、正面方向に指向性を持たせたマイクロフォンである。マイクロフォンは、図 12 からわかるように、両耳の位置にも取り付けてあり、合計で三つとなっている。スピーカは人間の耳の指向性を考えると、口の位置である必要はないと判断したので、胴体内部あるいは台座の中に埋め込むようにしている。また、制御用のノートパソコンと電源部は有線で外付けとなっている。

5. 対話機能のデザイン

ロボット対話システム全体の概要を図 13 に示す。

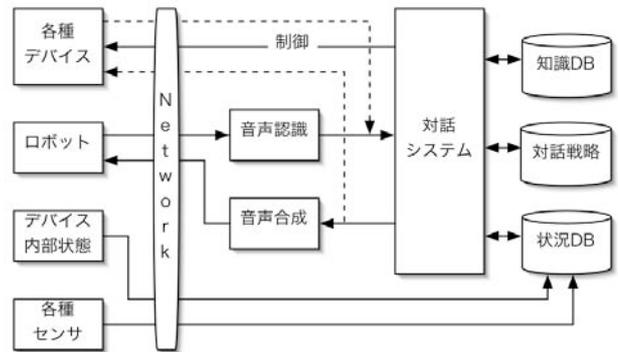


図 13 ロボット対話システムの概要

ロボットのマイクロフォンから入力されたユーザの発話は音声認識部を経て文字列となって対話システムに入る。対話システムからの発話データは文字列として音声合成に入り、ロボットのスピーカから発話される。こうすることでロボット以外のデバイスを使った対話も可能としている。子供ロボットが「おたく」として持つドメイン依存知識は知識データベースに格納される。対話をつかさどる戦略は対話戦略 DB に格納する。そしてコンテキストウェアサービスを実行するための情報は分散環境行動 DB(状況 DB)に格納される。これらを参照しつつ、対話システム部がユーザとの対話を進める。この対話の内容が、また分散環境行動 DB に書き込まれる。このループを通じて、コンテキストウェアサービスが適切に実行される。

対話戦略の基本として考えているのは、キーワードスポッティングである。サービスを実行するためのトリガとなるキーワードと、そのときに実行するサービスのスクリプトを組みとして対話戦略 DB に格納しておく。マッチするキーワードがユーザの発話の中にあれば、対応するサービスが発火するという仕組みである。子供は自分が知っているキーワードに反応して何かをしようとするという経験的知識によるアフォーダンスである。TV のチャンネルやエアコンの温度を変えるというような単純なサービスがこの形式となる。

さらに進めた戦略として連想しり取り対話戦略と名付けたものをデザインして実装した。大人の会話の中から、自分の知識に合致する言葉を捕えて、その会話に割り込もうとする幼児の行動は日常的にも観察される。この時、幼児は精一杯の連想と推論を働かせつつ、自分の知識の中から話題を提供して、大人を自分の話題に引き込もうとする。そして、大人の反応が自分の提供した話題を受けた内容になっている(連想的な意味でのしりとりになっている)とき、

話題の引き込みに成功したと判断して、自分の知識の提供することで、その話題を継続するという行動仮説である。

なんとか大人の役に立つことをしようと懸命に知恵を絞って対話する子供のアナロジーと言える。このときシステム的な観点からは、役に立つこと＝サービスの提供であるから、「連想しりとり」でユーザとの対話を維持しつつ、サービスの実行というゴールを目指すことが、この対話戦略の目標となる。

例えばユーザである家族が野球の話をしているとき、その家族の会話の中から野球チーム名をワードスポッティング的に検出する。ここで分散環境行動 DB を検索(連想)して、父親の最頂チームを知ることができ、「お父さんの好きなチームは〇〇だよ」と割り込む。「そうだよ」というような反応があると、テレビで観戦したいであろうと推論して、ネットワーク上のテレビ番組表を検索する。その結果ちょうど試合の中継があることが分かると、「〇〇の試合をテレビでやっているよ」と、ユーザとの対話をつなぐことができる。このようにして最終的には、テレビの電源をいれてチャンネルを設定するというサービスが実行される。

現時点で実装済みの連想しり取り対話戦略の概要を図 14 に示す。上述の連想のための推論のルールを格納する場所が連想ルール DB である。ユーザ発話からスポッティングしたキーワードがサービスのスクリプト S_i にマッチすれば、それを実行するが、そうでない場合には、ロボットは連想生成器にキーワードを送り、ドメイン依存知識と連想ルールに基づいて生成した発話を行う。これに対してユーザが返した発話の中から再びキーワードをスポッティングして、先程と同じ処理を行う。マッチしたサービスのスクリプトが存在すれば、それを実行して「しり取り」は終了する。また連想生成ができない場合にも終了し、ロボットは次のユーザ発話の中のキーワードを待つことになる。

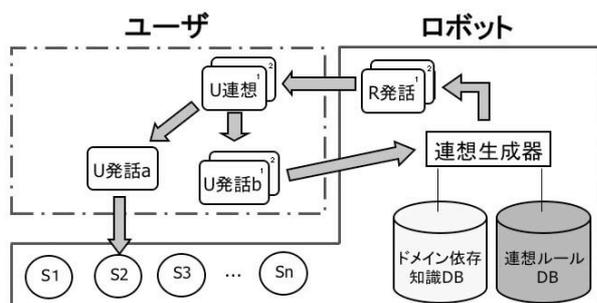


図 14 連想しり取り対話戦略の概要

6. おわりに

本稿ではネットワークで統合されたアプライアンスやセンサを制御して、コンテキストウェア型のサービスをユーザに適切に提供して行くための対話インタフェースロボットの開発について報告した。

今後は、ユビキタスホームでの実証実験を実施し、そのフィードバックによって、より高度なシステムに発展させて行く予定である。

謝辞

子供ロボットの設計に関して、Flow Design Studio 大宮篤士氏に多大なる御支援に感謝する。

参考文献

- 1) Kidd, Cory D. 他: "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research" In the Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings - CoBuild'99. Position paper, October 1999
- 2) <http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/ipa/ipa2001/publication/satomori/rr2.html>
- 3) <http://www.dh.aist.go.jp/>
- 4) 美濃導彦: 「ゆかりプロジェクトの目的と概要--UKARI プロジェクト報告 No.1 --」、情報処理学会第66回全国大会、pp5-5-5-8 (2004).
- 5) 山崎達也 他: 「ゆかりプロジェクトにおける分散協調基盤ミドルウェア--UKARI プロジェクト報告 No.2 --」、情報処理学会第66回全国大会、pp5-9-5-12(2004).
- 6) 土井美和子: 「分散環境行動DBと場モデルに基づくユビキタスインタフェース設計--UKARIプロジェクト報告 No.3 --」、情報処理学会第66回全国大会、pp5-13-5-16 (2004).
- 7) 上田博唯: 「ユビキタス生活支援のためのロボットインタフェース--UKARIプロジェクト報告 No.4 --」、情報処理学会第66回全国大会、pp5-17-5-20 (2004).
- 8) 上田博唯 他: アンコンシャス型ロボットとビジブル型ロボットの協調メカニズム --母親・子供メタファー、第28回ヒューマンインタフェース学会研究会、ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.6, No.3, pp.57-64 (2004).
- 9) D.A. Norman (野島久雄訳): 「誰のためのデザイン?」、新曜社 (1990)
- 10) 宮原英種他: 「応答的保育の研究」、ナカニシヤ出版 (2002)
- 11) 乾敏郎他編: 「認知発達と進化」、岩波書店、pp.88-93 (2001)
- 12) Daisuke Yamamoto 他: Behavior Fusion in a Robotec Interface for Practicality and familiarity -Approach by Simultaneous Imitations-, 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2004), No.8A1, September 2004
- 13) 沖田大三郎編: 「ザ・プロダクツ -モノのデザインのすべて-」グラフィック社、P.194 (1993)