

AWB を用いた卓上作業の支援

太田順 杉正夫 新井民夫
工学系研究科精密機械工学専攻

概要

Attentive Workbench を用いた卓上作業の支援を目指す。作業対象物体指示のためのユーザの手振り情報を赤外線カメラを用いて観測することで意図推定を行う。センサ情報並びに行為系列の両者を推定に有効利用するための枠組みとして Dynamic Bayesian Network を適用する。仮想トレイを用いた実験により、提案手法がセンサ情報のみを用いた手法と比較して約2倍の正解率を得ることがわかり、提案手法の有効性が示された。

1 はじめに

人間が卓上で行なう作業には、コンピュータを用いたデスクワークや、資料・本などからの情報収集、書類や手紙の執筆、物の組立て、食事など様々なものがある。このような卓上作業に共通の特徴としては、

- 多様な行がなされること
- 多様な物体を用いること

が挙げられる。このような特徴をもつ卓上作業における作業者に手を差し伸べるシステムとして、著者らのグループは Attentive Workbench (以下 AWB と呼ぶ) を提案している。AWB は特にセル型生産システムにおける作業者を情報面、物理面の双方から支援することを目的として提案されたシステムであるが、ここではそれを家庭やオフィスにおけるデスクワーク支援に適用することを考える。デスクワークを情報面から支援する試みとしては、例えば履歴に基づいてユーザのブラウジングを支援するような研究[1]がなされている。また、拡張現実感を用いてユーザに対して情報を提示したり環境と仮想環境の融合を図る、机型実世界指向インタフェースの研究[2][3]もなされてきているが、物理的にユーザを支援するような試みはほとんどなされていない。また、家庭・オフィス環境におけるデスクワークでは、個人によって行われる作業の順序は異なり、また、同じ人間でも時間帯やその時の状況によって作業の順序は様々である。すなわち、デスクワークには、生産システムにおける作業とは異なり、作業シー

ケンスが非定型的である特徴がある。

各作業ごとにそのシーケンスをオフラインでシステムに教示することは現実的ではないので、システムがユーザの行を実時間で観察することでユーザの意図を理解し、それに基づいた支援を行なうことが重要である。そこで本研究では、卓上作業を行なう作業者に対する AWB を用いた物理的支援のための、ユーザ意図推定手法を提案することを目的とする。

2. ユーザ意図の推定

2.1 意図推定手法の概要

ユーザの意図を推定する際には、以下の2つのアプローチが考えられる。

- センサによるユーザの現在の状態の認識から意図を推定するアプローチ
- ユーザの過去の行系列から現在の意図を推定するアプローチ

以下それぞれの方法について概観する。

センサ情報の利用

人間同士の意図伝達におけるノンバーバル手段の占める割合は約65%であると言われている[4]。一方で、卓上作業においては、ユーザは主に手を使って作業を行なう。これらのことから、卓上作業を行なうユーザの意図を推定するためには、「手振り動作からのユーザ意図」の認識が重要であると言える。意図伝達のための手を用いたジェスチャには様々なものがあるが、卓上作業の支援システムをヒューマンインタフェースという観点から見た場合、単純なジェスチャで操作できることが求められる。必要な物を自走式トレイによってユーザの手元に運ぶという物理的な支援を考えたとき、ユーザ自身が必要とする物を指差しによってシステムに指示することが、自然かつ妥当である。

行系列の利用

人間同士のコミュニケーションにおいては、相手の性格や過去の行などに基づいて相手の意図を推測することがしばしばなされている。AWB を用いた卓上作業の支援においても、ユーザの過

去の行為系列情報を利用することは、有益である。

2. 2 確率モデルを用いたユーザ意図推定

センサ情報、過去の行為系列ともに、ユーザの意図を推定するための完全な情報を与えるものではなく、これらからは曖昧な情報しか得ることはできない。センサ情報の曖昧さを確率的に吸収することができるモデルとして、Bayesian Network[5]の利用が考えられる。Bayesian Networkとは、不確実性のもとでの予測や意思決定などに用いられる確率モデルの一つで、変数間の因果関係を有向グラフを用いて表すものであり、観測された事象に基づいて未観測の事象を確率的に推定することが可能である。

Bayesian Networkを用いる利点としては、以下に示すものがある[6]。

- ユーザとシステムとのインタラクションの積み重ねから、単純な確率計算を用いて、実時間での適切な意図推定が可能になる。
- システムによるユーザの意図推定結果を確率値で表現できるため、ユーザにとってもシステムの状態が理解しやすいものである。
- センサ情報から得られるデータに欠落があっても、ある程度適切に意図を推定することが可能である。

稲邑ら[7]はBayesian Networkを、ユーザとロボットとの適応的インタラクションに用いたシステムを提案している。また、田中ら[8]は、視線入力をベースとしたショートカット機能を実現するシステムをBayesian Networkを用いて構築した。これらの研究は、センサ情報を確率的に処理することで、適応的なシステムを実現しているが、ある瞬間におけるセンサ情報しか考慮されおらず、時系列情報は考慮されていない。

本研究では、Bayesian Networkを時系列モデリングに利用できるように拡張したDynamic Bayesian Network(以下DBN)[9]を用いる。

指差しの認識手法には、加速度や指の曲げ角度などを測定するセンサや、赤外LEDなどの発信機器を搭載したデバイスを用いる装着型の手法[10]と、カメラなど外部のセンサからの情報を得る非装着型の手法がある。デスクワークにおいては、様々な作業において手指を使用するため、作業の妨げにならない非装着型の手法が望ましい。非装着型の認識デバイスとしては、カラーカメラやトラッキングビジョン装置を用いる方法[11]や、赤外線カメラを用いて手の熱放射を撮影する方法[3]が考えられるが、本研究では、照明条件の変化や背景の複雑さに対してより頑健である

後者の手法を採用する。

指差しの認識は大きく分けて、

- 指差しが行なわれているかどうかの判定
- どのトレイを指差しているか(ターゲットはどれか)の推定

の2つのフェーズに分けることができる。指差しが行なわれているかどうかの判定には、以下の2つの条件を用いる。

- 指差しを行なうときは、ある一定の作業領域の外に手を出して行なう。
- 指差しは指一本で行なう。

したがって、上記の条件が同時に満たされているとき、指差しが行なわれたと判断することができる。

以下指差し方向の推定過程を示す。詳しい記述は、文献[12]を参照されたい。

1. ユーザがどのトレイを意図して指差しを行なっているかを、指差し方向とトレイ方向の関係に基づいて推定する (Fig. 1)。
2. あるターゲットを指差した際に、それがある方向を示していることをBayesian Networkを用いてモデル化する (Fig. 2)。
3. その行為の時系列情報を指差し方向(すなわち人間の意図)推定に用いるため、モデルをDynamic Bayesian Network形式に拡張する (Fig. 3)。このネットワーク上で指差し方向の推定を行う。これには事前に知識を獲得する学習フェーズが存在する。

3. 仮想トレイを用いた検証実験

3. 1 実験の概要

上記の理論の有効性を検証する。LCDプロジェクタで上部から投影された仮想トレイに対して指差しを行なう。被験者は以下に示すモデルタスクにおいて、必要なものが載っているトレイを順

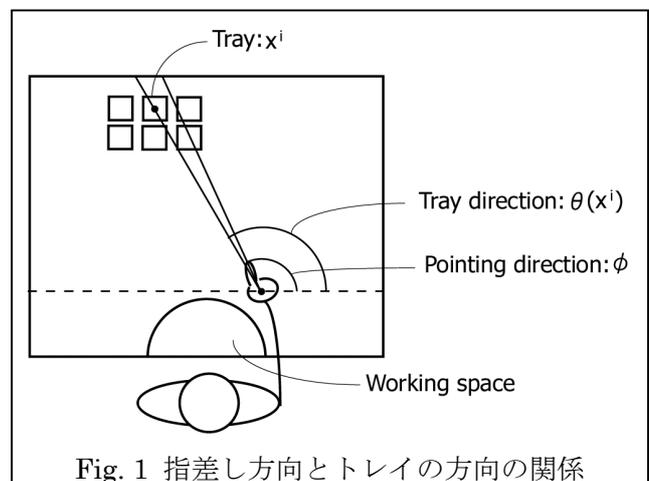
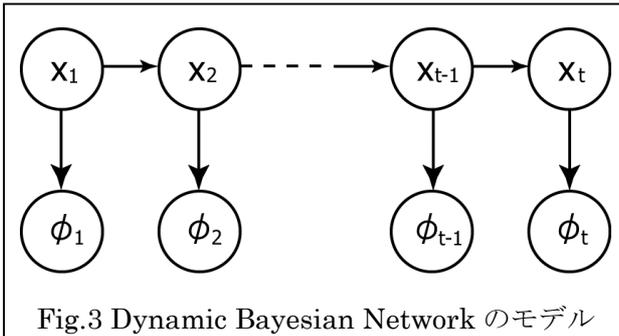
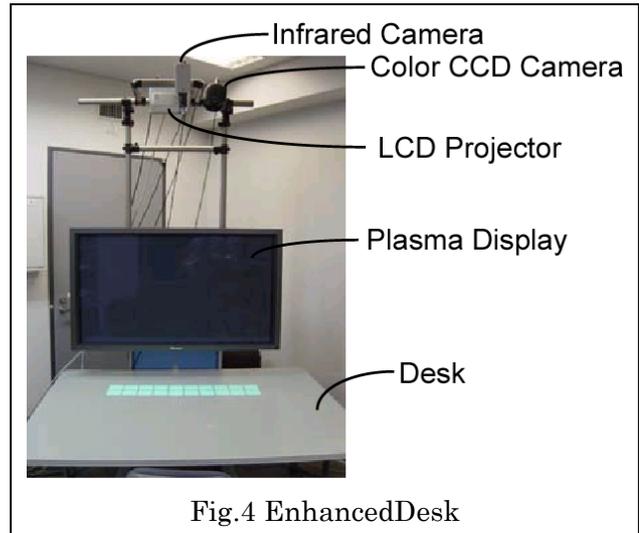
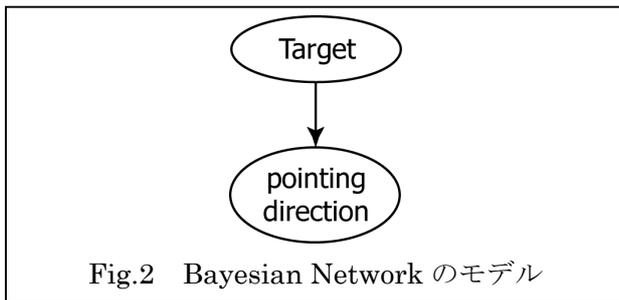


Fig. 1 指差し方向とトレイの方向の関係



番にターゲットとして指差す.

Task A 手紙を書く

Task B コーヒーを飲む

Task C 英文を翻訳する

Task D ネジ締め

Task E 本を読む

今回の実験では、被験者は事前に実際の物体を使って各タスクを行ない、その行為系列を記録した上で、それにしたがって指差しを行なった。これは、仮想トレイを使用しているために行為の系列が不自然なものになってしまうことを防ぐためである。各作業に用いた物体と、行為系列を以下に示す。

Task A 便箋⇒筆記具⇒封筒⇒切手

Task B コーヒーカップ⇒砂糖⇒クリーム⇒スプーン

Task C 辞書⇒ノート⇒筆記具

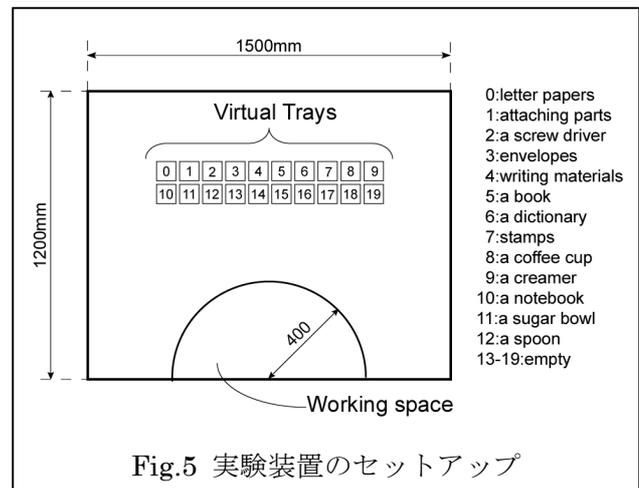
Task D 部品⇒ドライバー

Task E 本

3. 2 実験環境

実験には、Fig. 4に示すEnhancedDeskを用いた。指差し認識には、赤外線カメラとして三菱 IR-SC1を、仮想トレイを描画するためのLCDプロジェクタには、PLUS US-1100SFを使用した。また、画像処理には画像処理ボード日立 IP7000BD を搭載したLinuxマシン(Pentium4 2.8GHz)を使用した。

Fig. 5のように一辺が75mmの正方形である仮想トレイ20台を2列に並び、各トレイには1つずつ無作為に物体を割り振った。このような環境で



は、トレイが密集しているためセンサ情報だけではターゲットの推定が困難であると考えられる。

3. 3 実験結果

実験を以下の2つのフェーズに分けて行った。ターゲット推定の正解率について、提案手法を用いた場合と、指差しのみの情報を用いた場合とを比較した。

学習フェーズ 5つのタスクを任意の順序で全て行なうことを10セット行う(タスク内での行為の順序は固定)。

テストフェーズ 以下の3つの状況を含むような場合について、学習フェーズで学習されたCPTをもとに3セット独立に行なう。

行為順序変更 Task Aにおいて、便箋と筆記具の順序を逆にする。

行為省略 Task Bにおいて、砂糖を使用しない。

行為追加 Task Eにおいて、本の後に筆記具を使用する。

Fig.6 に、学習フェーズにおける指差し回数に対するターゲット推定の正解率の1セットごとの推移を示す。最初のセットでは、学習が進んでいないので正解率に差はない。2セット目以降は、指差しのみの場合は40%程度であるのに対して、提案手法を用いた場合は正解率が増加し、最終的には指差しのみの場合の2倍以上になっている。これは、提案手法においてはシステムが同じタスク内の行為系列を学習し、指差し認識による誤差を吸収できるようになったからと考えられる。

テストフェーズにおけるターゲット推定の正解率は、指差しのみの場合に35.7%であったのに対し、提案手法では69.0%であった。すなわち提案手法の正解率は指差しのみの場合の約2倍であった。これより提案手法の有効性が確認された。

4. 結論

AWB を用いた卓上作業支援のためのユーザ意図推定手法を提案した。Dynamic Bayesian Network を用いて、センサによる指差し方向の情報と行為系列情報からユーザの意図するターゲットを推定する手法を提案した。仮想トレイを用いたターゲット推定実験を行った結果、ターゲット推定の正解率がセンサ情報のみを用いた場合の約2倍となり、提案手法の有効性を示すことができた。

今後は、トレイ群制御システム[13]を実装した上で、実機のトレイ[14]と統合し、実際に物理的支援を遂行するシステムを構築する予定である。

参考文献

[1] 松尾豊他：ユーザ個人の閲覧履歴からのキーワード抽出によるブラウジング支援, 人工知能学会論文誌, Vol. 18, No. 4, 203/211 (2003).

[2] Pierre Wellner, Interacting with Paper on the DigitalDesk, Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, 87/96 (1993).

[3] Kenji Oka et al., Real-Time Fingertip Tracking and Gesture Recognition, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 22, No. 6, 64/71 (2002).

[4] 黒川隆夫, ノンバーバルインタフェース, オーム社 (1994).

[5] Judea Pearl, Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufman (1988).

[6] Nir Friedman et al., Challenge: Where is the Impact of Bayesian Networks in Learning?, Proceedings of the 15th International Joint Conference on

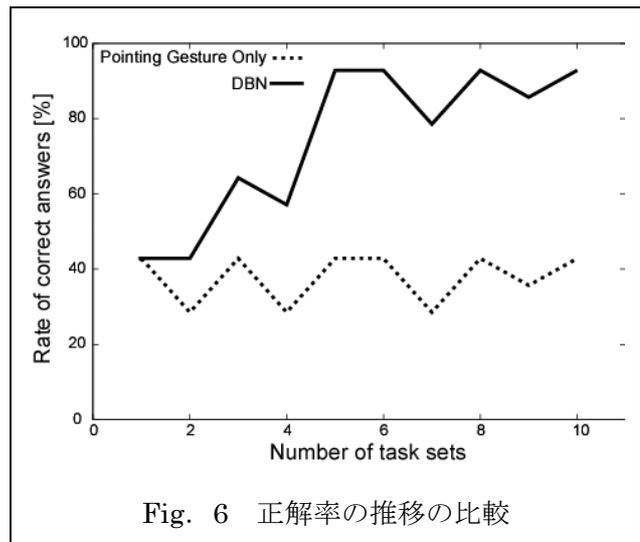


Fig. 6 正解率の推移の比較

Artificial Intelligence, 10/15 (1997).

[7] 稲邑哲也他, PEXIS: 統計的経験表現に基づくパーソナルロボットとの適応的インタラクションシステム, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J84-D-I, No. 6, 867/877 (2001).

[8] 田中克己他: エージェントによるリアルタイムインタラクションを活用した視線入力インタフェース, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J85-D-II, No. 9, 1464/1472 (2002).

[9] Vladimir I. Pavlovic: Dynamic Bayesian Networks for Information Fusion with Application to Human Computer Interfaces, Ph.D. Thesis, University of Illinois (1999).

[10] 塚田浩二他, Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, 3675/3684 (2002).

[11] 佐藤信他, 実空間にマークを投影するインタラクティブハンドポインタの構成, 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌, Vol. 121, No. 9, 1464/1470 (2001).

[12] 田村雄介他: Attentive Workbench を用いた卓上作業の支援, 第 16 回自律分散システム・シンポジウム資料, 291/296 (2004).

[13] 杉正夫他, Attentive Workbench --- 手を差し伸べる生産システム 第1報: 自走式トレイ群の制御システム, 日本ロボット学会第 21 回学術講演会予稿集 2B27, 1/2 (2003).

[14] 陳欣他: 作業配慮型生産システム(第4報) --- 平面リニアモータを用いた駆動機構の開発, 2003 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 643 (2003).