

平成 30 年 4 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280075

研究課題名(和文) 合意形成の内的過程を考慮したターンテイキングのタイミング生成機構

研究課題名(英文) Timing Generation of Turn-taking Based on an Internal Process of Consensus Building

研究代表者

川嶋 宏彰 (Kawashima, Hiroaki)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：40346101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人の意思決定に関わる対話、たとえば商品やコース選択時の対話的意思決定支援や、人同士の合意形成対話の状況理解を行うシステムの構築を長期的目的とする。対話には、目的および話者の内的過程という対話背後のメカニズムが存在するが、人の意図理解に基づき自然な対話のタイミング制御を行うには、この話者モデルをいかに構築するかが重要となる。そこで本課題では、この基礎的研究として、(1)「意思決定」における人の内的状態のモデル化、(2) (1)のモデルに基づく人の興味や意思決定状況の推定アルゴリズム、さらには(3)ユーザの内的状態推定に基づく対話的働きかけのタイミング生成手法について研究を行った。

研究成果の概要(英文)：The long-term goal of this research is to build an interactive assistant system for human decision making, such as selecting items to purchase and courses to learn, and a monitoring system to understand human interaction of consensus building. Each participant has his/her objectives and internal processes during conversation, and it is crucial to construct an appropriate participant model to realize natural timing control of dialog systems based on the understanding of human intention. Toward this goal, this project aims at developing methods to (1) model human internal process of decision making, (2) develop an algorithm to estimate human interests and decision-making situation, and (3) build a system to automatically find appropriate timing to generate an interaction based on the estimation of human internal states.

研究分野：パターン認識

キーワード：視線 注視行動 選択行動 興味 心的状態推定 意思決定

## 1. 研究開始当初の背景

人と情報システム（音声対話システムや共生型ロボット）との「間」の合ったインタラクションを実現するために、決定木による音声対話システムの発話タイミング制御や有限状態トランスデューサーによるロボットの話し生成など、様々な応答タイミング調整手法が開発されてきた。対話における「間」は、適切なタイミングで応答すると心地よい、というユーザビリティの問題にとどまらず、対話という共同行為の成否自体にかかわる。発話タイミングの違いが、しばしば正確な意図の伝達を妨げ、円滑な対話を困難にする。

実際、対話における発話タイミングは、話速や音響ピッチ、表面上の発話内容だけでなく、話者の意図や目的にも大きく依存することが、本課題の代表者や他のグループの研究で明らかになっている。つまり、多くの事例（コーパス）からの統計学習を用いて規則を獲得する従来の枠組みでは、その条件数が爆発するとともに、学習用の教師データを与えることがしばしば困難となることが予想される。

一方で、対話には目的および話者の内的過程という対話背後のメカニズムが存在するため、人の意図を深く理解する対話システムの実現には、この対話参加者のモデルをいかに構築するかが重要となる。ターンテイキングや能動的な発話開始、情報提示のタイミング制御においても同様に、対話背後の対話参加者の内的過程までをさかのぼってモデル化することが、人の柔軟な「間合い」に迫る有効なアプローチになると期待できる。

## 2. 研究の目的

人同士の対話では、「興味を共有したい」「会話を継続したい」といった対話目的を実現しようとする意図に基づいて、各対話参加者が発話内容および発話タイミングを調整している。そこで本研究では、対話の背後にある対話目的および話者の内的過程までをさかのぼってモデル化することで、人の柔軟なターンテイキングのタイミング生成機構を実現することを目的とする。

本課題では、特に「意思決定」における対話を扱う。このとき、人の内的状態はいくつかの離散的モードやフェーズを持つと仮定し、これらのモード切替系により対話参加者の内的過程をモデル化することを目指す。

話者の内的状態、およびその過程が本質的に観測できないという問題に対しては、提示コンテンツおよび視線計測を積極的に利用し、観測される行動データから内的状態を推定する手法を開発する。さらに、推定された意思決定者の状態を基に、発話や情報提示タイミングを決定するアルゴリズムを開発し、対話型の情報提示システムを構築することでその有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

モニタに電子的カタログ、すなわち複数の選択肢が提示された状況において、対話を伴いながら意思決定を行う状況を想定する。このとき、対話の本質的側面のひとつは話者間での内的状態の共有であると考え、(1)「意思決定」における人の内的状態のモデル化、(2)意思決定者の視線計測が可能な状況における興味や意思決定状況の推定アルゴリズム、および(3)ユーザの内的状態推定に基づく対話的働きかけのタイミング生成手法とそれを用いた選択支援システムについて研究を行う。

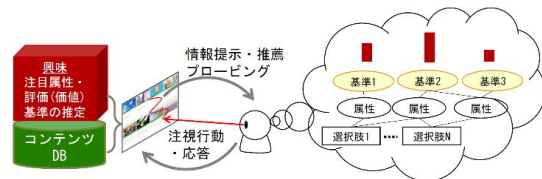


図1 視線計測を用いた対話的選択支援

### (1) 意思決定者の内的状態のモデル化

コンテンツ閲覧時における意思決定者の内的状態は階層構造を仮定することができる。たとえば商品選択であれば、提示商品を単に眺めているだけなのか、積極的に比較・吟味して絞り込みをかけているのか、といった意思決定フェーズ（ここでは閲覧状態と呼ぶ）が存在する。さらに、このうち比較・吟味状態においては、どの対象に対して強い興味があるのか、といった興味状態を考えることができる。この内的状態空間の構造モデルと、それらの状態の遷移ダイナミクスのモデルを、視線データから教師無し学習を用いてボトムアップにモデル化することを試みる。このとき、外部からアイトラッカーを用いて観測可能な視線情報と、人の内的な状態との関係についてもモデル化を行う。

### (2) 内的状態の推定アルゴリズムの開発

(1)のモデルを用いることで、計測された視線情報から、意思決定行動を行っている人の内的な状態、すなわち閲覧状態や興味状態とその変化を推定するアルゴリズムの開発を行う。注視対象（選択肢）の遷移パターンは、ユーザの意思決定における内的過程をそのまま反映したものではなく、ユーザの興味とコンテンツ情報（選択肢となる提示アイテム、空間レイアウト、顕著性など）の双方が絡み合っており、その一部が観測されたものである。そこで、コンテンツのデザイン構造、計測される視線、内的状態の三つ組みでとらえながら、このうち内的状態を推定するための手法とする。

### (3) 対話的コンシェルジュシステムの構築

(2)で推定された閲覧状態や興味状態を踏まえて対話的に意思決定や選択支援が可能なコンシェルジュシステムを実装する。この

とき、相手の状態を探る発話を適切なタイミングで自律的に生成し、ユーザの興味を推定しながら、質問生成を行う手法を開発する。これを、リアルタイム視線計測と統合してマルチモーダル対話システムを構築し、ユーザビリティ等から提案する枠組みの有効性を評価する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 意思決定者の内的状態のモデル化

内的状態をどのように表現すればよいかという問題に対し、本研究では状態空間そのものを視線データからボトムアップに構築するアプローチをとる。しかしながら、それには視線から得られる注視点系列の情報を適切に処理しておく必要がある。そこで、その基礎技術となる マルチスケール検定を新たに考案するとともに、確率的生成モデルに基づく興味状態空間の構築手法を提案した。さらに、情報取得や比較評価といった閲覧状態の遷移構造抽出手法を考案した。それぞれの提案手法について、以下で詳細に述べる。

マルチスケール検定による注目属性検出  
閲覧者の興味を推定するには、その人が注目する属性を知ることが重要となる。しかし、一般的な状況においては、選択肢が複数の属性を持つ場合や、属性が選択肢に明示的に表されていない場合など、注視点から注目属性を直接的に取り出せないことがしばしばある。そこで、「ユーザは選択肢の持つ属性のすべてではなくその一部に注意して閲覧しており、さらにその注意対象属性を変化させながら比較吟味を行っている」と考える。そのうえで、各選択肢への注視を個別に解析するのではなく、短時間窓内で閲覧者が「見比べた」選択肢をまとめて解析し、有意に偏りを持った共通項として注目属性を検出する手法を考案した。

短時間窓内でのデータ量は限られているため、本手法は統計における正確検定を利用し、これを様々な長さの時間窓に適用することで、いつ、どの属性に、どの長さ注目していたかをリアルタイムに検出することを可能とした(図2)。

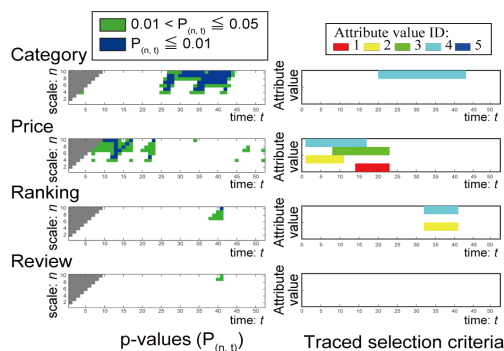


図2 マルチスケール検定による注目属性検出

注目属性を用いた内的興味空間の構造化  
選択行動の意思決定過程では、ユーザは特定の比較軸(選択肢の属性等による評価基準)に注目したうえで、複数の選択肢を比較・吟味して絞ろうとすることがしばしば観察される。すなわち、「どの」選択肢に興味があるかだけでなく、「なぜ」その選択肢に興味があるかが情報推薦などの応用上重要となる。そこで、ユーザがどのような視点からアイテムの選択を行うかを、アイテムのさらに上位の興味空間上で表現できるように、視線データからボトムアップに空間構造を学習する手法を開発した。これは、のフィルタリング手法を前段で用いる点に特徴があり、確率的注視行動生成モデルを仮定した教師無し機械学習手法と統合することで、選択行動時のユーザの「目的」を表現する上で有効な内的興味空間を構築できる。

たとえば図3の例ではノートPCを選択対象ドメインとしているが、購入者がどのような評価基準(使用目的等)を持ちうるかという情報は、マーケティング等の実用上重要となる。ラダリングなどのインタビュー手法では、コストをかけた調査が必要となるが、本提案手法では、カタログ閲覧を行う大勢の視線データが得られれば、購入者の持ちうる評価基準を自動抽出することが可能となる。

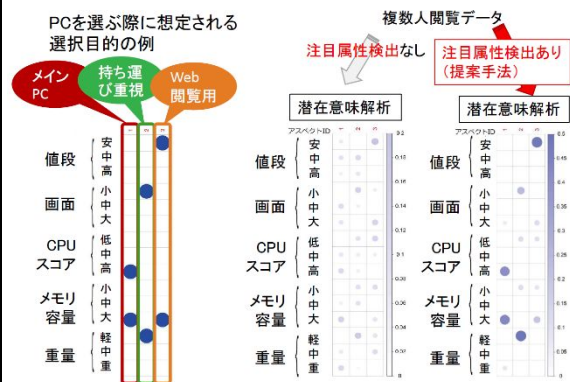


図3 視線データを用いた興味空間の構造化

##### 閲覧状態遷移モデルの構造抽出

閲覧者がカタログ上の選択肢の一つを選ぶ状況において、視線計測データ(注視系列)および最終的に選択したアイテムの情報から、各時刻において情報探索(Exploration)および比較評価(Evaluation)のどちらの閲覧状態にあったかという分節化問題と、(初期状態を含めた)状態間の遷移構造の同定問題を同時に解く手法を考案した。

本手法では、最終的に選択された選択肢が、一度注視されたあとに再度注視されるまでの再注視時間の間隔を利用する(図4左)。まず、再注視時間は幾何分布に従うと仮定する。このとき、閲覧状態に応じて再注視間隔の幾何分布パラメータは異なるとし、情報探索状態(exp)では等確率で別の選択肢へ注視領域が移動するが、比較評価状態(eva)では最



最終的に選択された選択肢が他の選択肢よりも高い確率で再び見られると考える。このとき、閲覧状態の遷移を確率的モード切替系として表現し、再注視間隔の系列に対して反復的最尤推定を行うことで、各注視がどちらの閲覧状態で行われたかという分節化と、閲覧状態間の遷移確率の構造(図4右)、さらに比較評価状態における分布パラメタが同時に求まることを確認した(論文)。

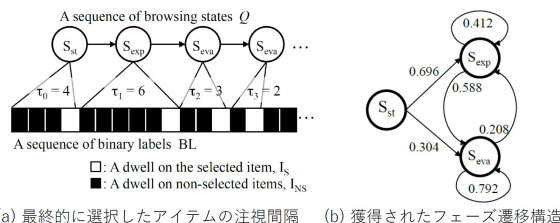


図4 閲覧状態の遷移ダイナミクスの学習

## (2) 内的状態の推定アルゴリズムの開発

外的要因を考慮した内的興味状態推定

(1) の手法の確率的注視行動生成モデルにおいて、閲覧・選択を行っている意思決定者の内的興味を隠れ変数と考えることで、視線データから興味推定を行うことが可能である。しかし、視線データから得られる注視対象の遷移パターンは、ユーザの興味だけでなく、コンテンツの空間的配置や顕著性などの外的要因にも影響を受ける。そこで、ユーザの意思決定(選択)の過程を、内的興味がコンテンツ情報(外的要因)によって修飾されるとしてモデル化し、内的要因と外的要因の重みがどのように変化するかを推定する手法を考案した(論文)。

評価基準に対する確信度変化推定

意思決定や合意形成を行う際に、人は対象を選択するための評価基準を、自律的、もしくは対話等で得られた情報に基づき、適応的に変化させることがある。この内的な評価基準の動的変化を捉えることは、適切な提示情報の選択や提示タイミングの決定、さらには情報提示の効果を調べるうえで重要となる。そこで、評価基準が複数存在する際に、それぞれの評価基準に対する意思決定者の確信度を推定する手法を開発した。これは、評価基準に対して意思決定者が持つ相対的な重み(興味)を考え、それらの重みの背後に想定した事前分布のパラメタ推定を利用する方法である。たとえば評価基準にぶれがある時間帯には、その確信度は低くなる。実際にディスプレイ上に提示された選択肢に対する注視系列から、評価基準に対する確信度の時間的変化が推定されることを確認した。

意思決定を伴う閲覧フェーズの推定

ユーザがコンテンツを閲覧し購買行動を行う際の閲覧状態として、どのような選択候補があるのかを「情報取得」するフェーズ、

選択行動に移るために「比較・吟味」するフェーズ、さらに「購入対象決定後」の閲覧フェーズの3つを仮定し、コンテンツ情報および視線からこれらの閲覧フェーズを推定する手法を提案した。特に、フェーズによってコンテンツのレイアウト情報の影響を受ける強さが異なるという仮説の下、コンテンツのデザインや配置構造がどれだけ利用されて見比べが行われたかを特徴量化することで、これら意思決定過程の閲覧フェーズ認識が可能であることを確認した(論文)。

図5は識別器としてRandom Forestを学習した際の各特徴量の重要度であるが、実際にコンテンツレイアウト情報(IL design feature)の重要度が高いことが分かる。

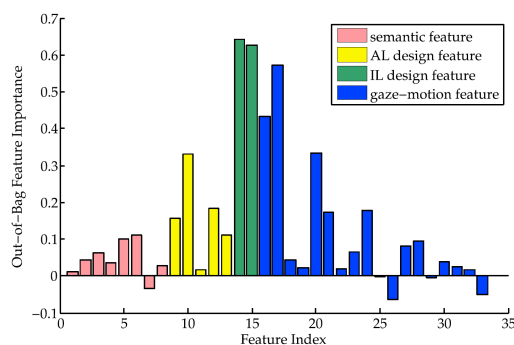


図5 Random Forest での特徴量の重要度

## (3) 内的状態の推定に基づく対話タイミング生成のプロトタイプシステム

カタログ閲覧時のユーザの注視系列から、その内的な興味トピックを推定し、推定された興味トピックに基づいてプロビング質問タイミングを制御する、テキスト対話ベースのプロトタイプシステムを開発した。対話開始はシステムからプロアクティブに行われ、具体的には特定のトピックに対するユーザの注視の偏りが生じたタイミングで質問を生成する。(図6)

実験参加者の協力を得て評価を行ったところ、システムからの働きかけにより、ユーザ自身の興味トピックがより明確になることが示唆された。このように、ユーザの興味を明示的に言及する対話的選択支援は、たとえば受講コース選択等のように、自身の自己調整やメタ認知が重要になる状況で有効に働くことが期待できる。

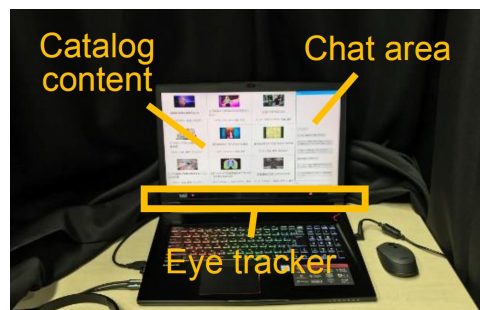


図6 興味推定に基づく対話タイミング生成プロトタイプシステムの実験環境

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計3件)

Erina Ishikawa Schaffer、Hiroaki Kawashima、Takashi Matsuyama、A Probabilistic Approach for Eye-tracking Based Process Tracing in Catalog Browsing、査読有、Vol. 9、No. 7:4、2016、1 - 14、DOI:  
<http://dx.doi.org/10.16910/jemr.9.7.4>

Erina Ishikawa、Hiroaki Kawashima、Takashi Matsuyama、Using Design Structure of Visual Content to Understand Content-Browsing Behavior、IEICE Trans. Information and Systems、査読有、Vol. E98-D、No. 8、2015、1526 - 1535、DOI:  
<https://doi.org/10.1587/transinf.2014EDP7422>

下西 慶、石川 恵理奈、米谷 竜、川嶋 宏彰、松山 隆司、視線運動解析による興味アスペクトの推定、ヒューマンインタフェース学会論文誌、査読有、Vol. 16、2014、103 - 114、  
[https://www.his.gr.jp/paper/archives.cgi?c=download&pk=81&page=paper\\_journal](https://www.his.gr.jp/paper/archives.cgi?c=download&pk=81&page=paper_journal)

### 〔学会発表〕(計9件)

下西 慶、川嶋 宏彰、視線運動に基づく選択行動時の興味変化推定、第20回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)、2017.8.9、広島国際会議場(広島県・広島市)

川嶋 宏彰、インタラクションの数理モデル - タイミング、コミュニケーション、分散最適化、電子情報通信学会 HCG 第3種研究会 ヴァーバル・ノンヴァーバル・コミュニケーション(VNV)研究会、2016.10.31、京都大学(京都府・京都市)(招待講演)

Tomoki Nishide、Kei Shimonishi、Hiroaki Kawashima、Takashi Matsuyama、Voting-Based Backchannel Timing Prediction Using Audio-Visual Information、The fourth International Conference on Human Agent Interaction (poster)、2016.10.4-10.7、Singapore

下西 慶、川嶋 宏彰、石川 恵理奈、松山 隆司、対話的意思決定支援システムのための視線運動を用いた興味変化推定、第30回人工知能学会全国大会、2016.6.7、ウインクあいち(愛知県・名古屋市)

川嶋 宏彰、心的状態推定のための視線パターン解析、日本教育工学会 SIG-03 教育・学習支援システムの開発・実践 第4

回研究会、2016.3.20、別府湾ロイヤルホテル(大分県・速見郡)(招待講演)

Kei Shimonishi、Hiroaki Kawashima、Erina Ishikawa Schaffer、Takashi Matsuyama、Tracing Temporal Changes of Selection Criteria from Gaze Information、ACM Intelligent User Interface (poster)、2016.3.7、Sonoma California, USA

Erina Ishikawa Schaffer、Hiroaki Kawashima、Takashi Matsuyama、Estimation of Browsing States in Consumer Decision Processes from Eye Movements、3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition、2015.11.5、Kuala Lumpur, Malaysia

Kei Shimonishi、Hiroaki Kawashima、Takashi Matsuyama、Probabilistic Aspect-Oriented Gaze Behavior Modeling in Visual Content Browsing、第18回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)、2015.7.29、ホテル阪急エキスポパーク(大阪府・吹田市)

下西 慶、川嶋 宏彰、松山 隆司、コンテンツ閲覧時における確率的注視行動モデル、第77回情報処理学会全国大会、2015.3.19、京都大学(京都府・京都市)

### 〔その他〕

2016年9月18日 京都大学アカデミックデイのブースにて関連研究とともにポスターおよびデモにて紹介を行った。

[http://research.kyoto-u.ac.jp/academic-day/2016/hiroaki\\_kawashima/](http://research.kyoto-u.ac.jp/academic-day/2016/hiroaki_kawashima/)

2016年2月23日 京都大学第10回ICTイノベーションのブースにて紹介を行い、発表者下西慶は優秀研究賞が授与された。  
<http://ict-nw.i.kyoto-u.ac.jp/ict-innovation/10th/panel/panel.php?id=26>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川嶋 宏彰 (KAWASHIMA, Hiroaki)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号： 40346101