

博士論文概要

論文題目

A System Framework for Decision Support
in Ambient Intelligence

知的環境下における意思決定支援のための
システムフレームワーク

申請者

Tetsuo	YAMABE
山邊	哲生

情報・ネットワーク専攻 分散システム研究

意思決定は我々が社会生活を営む上で欠かすことのできない活動である。個々人の夕飯の献立から一企業の経営方針に至るまで、常に人々は利益を最大化、ないしは生活に豊かさをもたらすためにより良い選択をしようとする。しかしながら、人間の意思決定プロセスは認知バイアスや感情状態といった種々の人的要因によって影響を受け、無意識のうちに非効率、非合理的な判断をしてしまうことが知られている。また経済的インセンティブや社会的インセンティブといった様々な動機付け要因も意思決定に影響を及ぼす。例えば、ギャンブルなどの不確実性の高い状況下での金銭に関わる意思決定はネガティブな感情を引き起こしやすく正確なリスク認知を妨げる。このように人間の意思決定は認知処理能力の限界も相まって往々にして不安定であり、誤った意思決定はしばしばヒューマンエラーという形で顕在化する。そこで、計算機を用いて人間の意思決定支援プロセスを客観的にサポートするために意思決定支援システム(DSS: Decision Support Systems)が開発されてきた。意思決定支援システムはユーザに補助的な情報や手引きを与えることでタスクの達成を支援するが、最も重要な点の一つとして人間の情報処理能力の限界を補うということが挙げられる。例えば、情報の収集や解析プロセスの一部を計算機によって代替、自動化することでタスク遂行にかかる時間やユーザの認知的労力を縮減することができる。また、大規模で複雑な情報を人間にとって解釈しやすい形式に変換して提示することも認知負荷の低減に効果的である。このような意思決定プロセスの補助(decision aid)に加え、中長期の期間におけるユーザ支援を見据えた訓練(decision training)も意思決定支援システムのもう一つの重要な側面である。意思決定時における即時的な支援だけでなく、繰り返しシステムを利用する中で初学者が熟達者の課題解決手法を経験し、また専門的知識を獲得していくことを促す。最終的には、意思決定支援システムによる補助無しでも正確かつ効果的、効率的な判断をユーザ自身で行うことができるようにすることが目的である。

また一方で、AmI (Ambient Intelligence) という概念に代表されるように、我々が日常生活を営む生活空間は様々なデバイスやサービスによって徐々に拡張されつつある。小型ながらも高い処理能力をもつ計算機やセンサ、アクチュエータが環境に埋め込まれ、ユーザが環境に遍在するその知性と明示的、または暗黙的に対話することを可能にする。意思決定支援はこのような知的環境においてユーザが享受する便益の一つの側面であり、それは即ち、知的環境下におけるサービス群は人間の意思決定プロセスについての深い理解をもとに設計されているべきだということを意味する。意思決定支援システムについても知的環境下でのユースケースは従来のそれとは異なり、様々なコンテキストのもと、検知可能な情報やユーザへの情報提示手法も多様化し、かつ支援対象とするユーザの属性(年齢、性別など)も多岐に渡る。無線ネットワークを始めとした技術的インフラストラクチャが整備され、取得できるコンテキスト情報

も増加しつつある中で、知的環境に期待されるシームレスな日常生活の支援は未だに実現されておらず、一般消費者の要求とは乖離があるのが現状である。そこで意思決定支援という側面からのアプローチによるサービス設計と開発は、知的環境下におけるサービス群をより現実的、かつ実用的なものにするために必要と考える。例えば、携帯電話を用いた歩行者ナビゲーションは知的環境下における意思決定支援システムの一つとみなすことができる。システムはユーザの位置情報を追跡し、公共交通機関のタイムテーブルといった専門知識データベースより考えうるルートを計算、提示して現在地から目的地までの移動手段についての意思決定を支援する。しかしながら、意思決定プロセスにおける重要な人的要素、例えば認知容量の制約などは現状において多くのサービスでは考慮されていない。そのため情報過多による認知的オーバーフローや、メンタルストレスまたは情動に起因するユーザの認知プロセスの変化を正しく検知することができず、適切な意思決定支援を行うことができていない。

そこで本論文では、4件のケーススタディをもとに知的環境下における人的要因を考慮した意思決定支援を実現するためのシステムフレームワークを提案する。また、本フレームワークに沿って設計されるシステムを（ADD S: Ambient Decision Support Systems）と呼び、従来のシステムとは異なりユーザの内的な意思決定プロセスにおける人的要因を中心に添えている点が特徴である。本フレームワークでは意思決定の流れをモデル化する上で、主に認知負荷（cognitive load）、感情（emotion）、動機付け要因（incentives）の3つの人的要因に着目する。これら複数の側面からシステム設計上の問題点をフレームワーク内で指摘することで、アンビエント意思決定支援システムの開発を支援することが目的である。本論文を構成する4件のケーススタディについて、以下に記す。

まず第4章では、マルチタスク環境における意思決定支援のための低認知負荷なユーザインタフェースを紹介する。本ケーススタディではモバイルデバイスを用いた歩行者支援を対象とし、モバイルコンテキストにおけるユーザの認知能力の低下をユーザインタフェース設計上の問題点として指摘した。多くのモバイルサービスは従来のデスクトップ環境におけるインタラクションを小型入出力インタフェース上に再現する形で開発されているが、ユーザ自身、また環境のコンテキストも刻一刻と変化するモバイル環境下ではユーザの注意を満足に得られないことが多い。例えば、歩行中における障害物の回避運動などマルチタスキング時の注意の分散や、直射日光によってディスプレイが見づらくなって多くの認知的労力を要求される状況的無力化が挙げられる。そこで本ケーススタディでは、認知負荷低減のための設計指針を提案し、歩行者ナビゲーションサービスを実装した上で従来の地図ベースのユーザインタフェースと比較実験を行った。

続いて第5章では拡張現実感を用いたテーブルゲームでの意思決定支援を紹介する。本ケーススタディでは訓練をテーマとして、囲碁とポーカーというそれ

ぞれ伝統的なテーブルゲームを学ぶ際に初学者が見落としがちな情報を与えることで学習効率を上げることを目標としている。またその際に碁盤やトランプカードといった従来の用具に拡張現実感を付加することで認知負荷の低減を狙い、また意思決定支援なしの通常モードへのシームレスな移行を可能とする。例えば、囲碁では碁盤上の碁石の配置をシステムが把握し、碁石間のリンクを視覚的に表示することで陣地になりやすいエリア、または危険なエリアの知覚を容易にする。またポーカーでは生体センサを用いてユーザの興奮状態を明示的に音声としてフィードバックすることで冷静、かつ合理的な判断を促す。先述の通り感情は意思決定プロセスにおける重要な人的要因であり、本ケーススタディでは完全情報ゲームである囲碁と不完全情報ゲームであるポーカーそれぞれの意思決定支援システムの開発を通して、不確実性と感情という観点からも議論を行った。

第6章では動機付けによる意思決定プロセスへの干渉のケーススタディとして、行動単位での課金システムを紹介する。本ケーススタディでは消費者の行動を特定のパターンへ誘導、改善することを目的として経済的インセンティブとコンテクストアウェアネスを組み合わせたシステムを提案した。一般的に人々は少額であっても課金や還付といった金銭の授受に敏感であり、また特に課金に対してより強力な不安感や抵抗を示すという認知バイアスを持つことが知られている。本ケーススタディではこれを応用し、状況に応じて課金と還付を切り替えることでメンタルストレスをコントロールする。また、中長期に渡って持続可能な行動変革を目的として、社会的インセンティブなど他の動機付け要因との組み合わせについても議論を行った。

最後に、第7章では情報の可視化と社会的なインセンティブを用いた意思決定支援のケーススタディとして、ユーザの行動履歴をもとにしたパブリックディスプレイ上でのアクティビティガイドを紹介する。本ケーススタディでは観光名所やレストランといった、地域に依存した情報検索にパブリックディスプレイを用いることを提案した。個々人に紐付けられた携帯端末とは異なり、パブリックディスプレイは不特定多数のユーザが同じサービスを利用することで行動履歴を蓄えることができる。特に同じ地域を訪れたユーザ間では類似した興味を持つことが期待され、将来のユーザに対しても行動履歴による意思決定支援は有効であると考えられる。本ケーススタディでは実際にパブリックディスプレイを想定した地図ガイドサービスを開発し、他ユーザの行動履歴がどのように意思決定プロセスに影響を与えるかについて評価実験を行った。

本論文は上記のケーススタディの開発、評価結果から得られた知見をもとに構成されており、それぞれ異なる側面からどのように意思決定プロセスにおける人的要因を修正、補填、または利用できるか研究するものである。また知的環境下における意思決定支援のための統合的なシステムフレームワークを提案し、様々な絡み合う要素によって構成される人間の意思決定プロセスを読み解くための手がかりをシステム開発者に与えることが本研究の学術的貢献である。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 山邊 哲生 印

(2010年 11月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文(論文誌)	<p>○ <u>Tetsuo Yamabe and Tatsuo Nakajima. 2009. Possibilities and Limitations of Context Extraction in Mobile Devices: Experiments with a Multi-sensory Personal Device, International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, Vol.4, No.4, 37-52.</u></p> <p>藤波香織, 山邊哲生, 中島達夫; “コンテキストウェアなアプリケーションフレームワークにおけるメタコンテキスト情報の利用方法の提案とその応用”, 日本ソフトウェア科学会 コンピュータソフトウェア誌, pp.46-59, Vol.21, No.1, January, 2004.</p>
論文(国際会議)	<p>Takahiro Shichinohe, Tetsuo Yamabe, Takahiro Iwata, and Tatsuo Nakajima, Augmented Calligraphy: Experimental Feedback Design for Writing Skill Development, To be appeared in In The Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. TEI' 11. (掲載決定)</p> <p>Takahiro Shichinohe, Tetsuo Yamabe, Takahiro Iwata, and Tatsuo Nakajima, Demonstration of Augmented Calligraphy System, To be appeared in Internet of Things 2010 Conference. IoT' 10. (掲載決定)</p> <p>○ <u>Tetsuo Yamabe, Ilkka Kosunen, Inger Ekman, Lassi A. Liikkanen, Kai Kuikkaniemi, and Tatsuo Nakajima, Biofeedback Training with EmoPoker: Controlling Emotional Arousal for Better Poker Play. Presented in Fun and Games Conference 2010 (Leuven, Belgium, September 15-17, 2010). Fun and Games' 10.</u></p> <p>Takahiro Iwata, Tetsuo Yamabe, Tatsuo Nakajima, Towards a Mobility Enhanced User Interface Design for Multi-task Environments, In Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments (Kuala Lumpur, Malaysia, July 19-21, 2010). IE' 2010.</p> <p>○ <u>Tetsuo Yamabe, Yasuyuki Washio, Sota Matsuzawa, and Tatsuo Nakajima. 2010. Empowering End-users to Find Point-of-interests with a Public Display. In Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Services (Berlin, Germany, July 13-15, 2010). ICPS' 10. ACM, New York, NY, xx-yy.</u></p> <p>○ <u>Tetsuo Yamabe, Vili Lehdonvirta, Hitoshi Ito, Hayuru Soma, Hiroaki Kimura, and Tatsuo Nakajima. 2010. Activity-Based Micro-pricing: Realizing Sustainable Behavior Changes through Economic Incentives. In: T. Ploug, P. Hasle and H. Oinas-Kukkonen (eds), Proceedings of the 5th International Conference on Persuasive Technology (Copenhagen, Denmark, June 7-10, 2010). Persuasive' 10. LNCS 6137, Berlin: Springer, pp. 193-204.</u></p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<p>○ Takahiro Iwata, Tetsuo Yamabe, Mikko Polojärvi, and Tatsuo Nakajima. 2010. Traditional games meet ICT: a case study on go game augmentation. In Proceedings of the Fourth international Conference on Tangible, Embedded, and Embodied interaction (Cambridge, Massachusetts, USA, January 24 - 27, 2010). TEI '10. ACM, New York, NY, 237-240.</p> <p>○ <u>Tetsuo Yamabe, Vili Lehdonvirta, Hitoshi Ito, Hayuru Soma, Hiroaki Kimura, and Tatsuo Nakajima. 2009. Applying pervasive technologies to create economic incentives that alter consumer behavior. In Proceedings of the 11th international Conference on Ubiquitous Computing (Orlando, Florida, USA, September 30 - October 03, 2009). Ubicomp '09. ACM, New York, NY, 175-184.</u></p> <p>Vili Lehdonvirta, Hayuru Soma, Hitoshi Ito, Tetsuo Yamabe, Hiroaki Kimura, and Tatsuo Nakajima. 2009. UbiPay: minimizing transaction costs with smart mobile payments. In Proceedings of the 6th international Conference on Mobile Technology, Application & Systems (Nice, France, September 02 - 04, 2009). Mobility '09. ACM, New York, NY, 1-7.</p> <p><u>Tetsuo Yamabe, Kiyotaka Takahashi, and Tatsuo Nakajima. 2008. Design issues and an empirical study in mobility oriented service development. In Proceedings of the 1st Workshop on Mobile Middleware: Embracing the Personal Communication Device (Leuven, Belgium, December 01 - 05, 2008). MobMid '08. ACM, New York, NY, 1-6.</u></p> <p>Tatsuo Nakajima, Hiroaki Kimura, Tetsuo Yamabe, Vili Lehdonvirta, Chihiro Takayama, Miyuki Shiraishi, and Yasuyuki Washi. 2008. Using Aesthetic and Empathetic Expressions to Motivate Desirable Lifestyle. In Proceedings of the 3rd European Conference on Smart Sensing and Context (Zurich, Switzerland, October 29 - 31, 2008). D. Roggen, C. Lombriser, G. Tröster, G. Kortuem, and P. Havinga, Eds. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 220-234.</p> <p><u>Tetsuo Yamabe, Kiyotaka Takahashi, and Tatsuo Nakajima. 2008. Demonstration of a mobility-enhanced pedestrian navigation on mobile devices. In Proceedings of the 5th Annual international Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services (Dublin, Ireland, July 21 - 25, 2008). ICST (Institute for Computer Sciences Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, 1-2.</u></p> <p>○ <u>Tetsuo Yamabe, Kiyotaka Takahashi, and Tatsuo Nakajima. 2008. Towards mobility oriented interaction design: experiments in pedestrian navigation on mobile devices. In Proceedings of the 5th Annual international Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services (Dublin, Ireland, July 21 - 25, 2008). ICST (Institute for Computer Sciences Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, 1-10.</u></p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<p>Kiyotaka Takahashi and Tetsuo Yamabe. 2007. A Proposal on Adaptive Service Migration Framework for Device Modality Using Media Type Conversion. In Proceedings of the the 2007 international Conference on intelligent Pervasive Computing (October 11 - 13, 2007). IEEE Computer Society, Washington, DC, 249-253.</p> <p><u>Tetsuo Yamabe and Kiyotaka Takahashi. 2007. Experiments in Mobile User Interface Adaptation for Walking Users. In Proceedings of the 2007 international Conference on intelligent Pervasive Computing (October 11 - 13, 2007). IEEE Computer Society, Washington, DC, 280-284.</u></p> <p><u>Tetsuo Yamabe, Avako Takagi, and Tatsuo Nakajima. 2005. Citron: A Context Information Acquisition Framework for Personal Devices. In Proceedings of the 11th IEEE international Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (August 17 - 19, 2005). IEEE Computer Society, Washington, DC, 489-495.</u></p> <p><u>Tetsuo Yamabe, Kaori Fujinami, and Tatsuo Nakajima. 2004. Experiences with Building Sentient Materials Using Various Sensors. In Proceedings of the 24th international Conference on Distributed Computing Systems Workshops - W7: EC (Icdcs'04) - Volume 7 (March 23 - 24, 2004). IEEE Computer Society, Washington, DC, 445-450.</u></p> <p>Kaori Fujinami, Tetsuo Yamabe, and Tatsuo Nakajima. 2004. "Take me with you!": a case study of context-aware application integrating cyber and physical spaces. In Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing (Nicosia, Cyprus, March 14 - 17, 2004). SAC '04. ACM, New York, NY, 1607-1614.</p> <p>Kaori Fujinami, Tetsuo Yamabe, Tatsuo Nakajima. 2004. Bazaar: A Conceptual Framework for Physical Space Applications. Ubiquitous Computing Systems, Second International Symposium (Tokyo, Japan, November 8 - 9, 2004). UCS' 04. UBIQUITOUS COMPUTING SYSTEMS, Lecture Notes in Computer Science, 2005, Volume 3598/2005, 174-191.</p> <p><u>山邊哲生, 藤波香織, 正寺朋子, 中村暢芳;"PENATES:コンテキストウェアな環境下でのプライバシー制御のためのアーキテクチャ", 第16回コンピュータシステムシンポジウム (ComSys2004), 16-17 November, 2004.</u></p> <p>藤波香織, 山邊哲生, 中島達夫;"コンテキストウェアなアプリケーションフレームワークにおけるメタコンテキスト情報の利用方法の提案とその応用", 第6回プログラミングおよびシステムに関するワークショップ (SPA'03), Mar. 2003.</p>
その他(特許)	(WO/2009/074903) Tetsuo Yamabe and Kiyotaka Takahashi. METHODS, APPARATUSES, AND COMPUTER PROGRAM PRODUCTS FOR SEMANTIC MEDIA CONVERSION FROM SOURCE DATA TO AUDIO/VIDEO DATA (18.06.2009)