

受信ユーザ状況に依存したモバイル向け情報通知制御システム

笠井 裕之[†] 倉掛 正治[†]

プッシュ型情報通知サービスは、受信ユーザ自身が情報検索や取得を行うことなく、有益な情報や新たな気づきを得られる点で有効なサービスといえる。しかしながら、一方的な情報提示により、受信ユーザが現在行っている作業への中断を引き起こす可能性や、提示情報に受信者が気づかず重要情報を見逃してしまう可能性があることから、広く利用されるには至っていない。本論文では、携帯端末を利用するユーザの状況、特に携帯端末上での作業を考慮しながら、受信ユーザに情報を提示することを可能とするモバイル向け情報通知制御システムを提案する。具体的には、提示情報の内容に対する受信ユーザの気づきやすさを示す指標として“情報認知度”を導入し、動的に変化するユーザ状況に応じて情報認知度を推定可能な“情報通知ユーザモデル”を構築する。そして、動的に変化する情報認知度に応じて情報の提示タイミングや提示時間を調整する“提示時間制御方式”と、情報が提示された時間帯における情報認知度に応じて再度情報を再送する“再提示判定制御方式”を提案する。本論文では、提案ユーザモデルおよび両制御方式の評価実験を行い有効性を示すとともに、提案システムの実装詳細について述べる。

Notification Control System for Mobile Terminal Considering User Situation

HIROYUKI KASAI[†] and SHOJI KURAKAKE[†]

A variety of information communication devices have been developed to help people maintain his/her awareness of interesting information. Notification systems play an important role in delivering up-to-date, important information via such devices. We have been developing a novel push-style notification system that delivers a succession of new messages onto the mobile terminal display in a well-timed manner. This system increases the probability of the user discovering interesting information from among a stream of items shown one after another, and accessing the network to get more details if desired. Needless to say, the appropriateness of the message to be notified is important to the user. To make a push-style notification system more useful and comfortable for users, however, it is also essential to deliver the information without interrupting the user's on-going task. Furthermore, some mechanism that can recover from the user's failure to notice a message is also needed. We propose a comprehensive and flexible push-style notification system. One of its main features is a Bayesian "Notification User Model" which takes task state, user state and user characteristic into consideration. The other is an adaptive notification control mechanism based on the user model, and a compensation mechanism to handle messages that the user missed. This paper details the user model and message control mechanisms, and concludes by showing implementation details.

1. はじめに

近年、携帯電話やPDA、携帯音楽再生機等、様々な生活密着型モバイル情報端末を利用した情報通知サービスの商用化が開始している。携帯端末へのプッシュ型情報通知サービスでは、情報を受信するユーザ（以下、“受信ユーザ”と呼ぶ）は、煩雑な携帯端末の操作をすることなく、刻々と変化するユーザの状況や場所に応じて有益な情報を受信することができる。このた

め、固定端末への情報通知とは異なる新たな価値や効果を提供できるサービスとして、大きく期待されている。しかしながら一方で、受信ユーザが行っている活動や作業への中断を引き起こすことや、受信ユーザが提示された情報に気づかない場合がある等、重要情報の通知手段として広く普及するには至っていない。そこで、提供する情報を適切に選択できる技術とともに、ユーザが行っている作業やタスクへの中断を回避しながら、より気づきやすいように情報を提示する技術、さらにユーザが提示情報に気づかなかった場合にはそれを補完することにより、受信ユーザへの“情報の到達性”を向上させる技術が要求される。このような情

[†] 株式会社 NTT ドコモサービス&ソリューション開発部
Service & Solution Development Department, NTT
DoCoMo, Inc.

報提示が可能になると、ユーザ自身の利益につながるばかりでなく、情報提供者、たとえば広告主やサービス提供者にとっても、ビジネス機会の増加をもたらすものと考えられる。

本論文では、携帯端末、特に携帯電話利用時に着目し、携帯電話を利用するユーザの状況、特に携帯端末上での作業を考慮しながら、受信ユーザに情報を提示することを実現するモバイル向け情報通知システムを提案し構築する。本論文では、提示された情報内容に対して、受信ユーザがどの程度気づきやすいかを示すユーザ内部状態指標として“情報認知度”を導入し、複数の観測可能な情報と情報認知度との依存関係を表現可能な“情報通知ユーザモデル”を提案、構築する。次に、本モデルに基づき情報の提示タイミングや提示時間を調整可能とする“提示時間制御方式”を提案する。さらに、提示情報が受信ユーザにとってどの程度気づきやすいタイミングや時間で提示されたかを判定し、再提示の必要性に応じて情報を再送する“再提示判定制御方式”を提案する。最後に、提案モデルおよび両制御方式の有効性について評価し、実装システムについて詳述する。

2章で提案システムの基本指針と関連研究について整理し、提案方式の概論を述べながらターゲットを明確にする。3章で情報通知ユーザモデルを構築し、4章で情報提示制御方式について提案する。5章で構築ユーザモデルおよび制御方式の評価実験を行い、6章で実装システムについて詳述する。

2. 提案通知システム

2.1 基本指針

プッシュ型情報通知システムは、ユーザ主導で情報検索、取得を行うプル型システムと比較して、システム主導で提示された情報を閲覧することで、受信ユーザは様々な有益情報や気づきを得ることが可能となる。特に、日常生活で携帯するモバイル端末の利用ユーザにとっては、情報を受信可能な状態や時間(すきま時間)を利用して様々な情報を受信することが可能になれば、大きな利益を享受できる可能性が高まる。一方で、システムからの一方的な情報提示は、受信ユーザの行う作業や行動(以下、“プライマリタスク”と呼ぶ)への中断や、受信ユーザによる重要情報の見逃し、等を引き起こす可能性があることから、広く普及するまでには至っていない。そこで、受信ユーザの状況を考慮しながら提示タイミングを決定する技術への期待は高い。しかしながら、日常生活におけるユーザ状況、とりわけ受信ユーザのプライマリタスクは多岐に

わたるため、それらをすべて理解し最適な提供タイミングを決定することはきわめて大きな困難と課題をともなう。

そこで本論文では、携帯端末システムから把握可能なユーザ状況として、携帯端末の利用シーンに着目する。具体的には、携帯端末の利用開始および終了時、さらに Web 閲覧や電子メール作業等の画面上に表示されるアプリケーション利用時に、テキスト情報を利用して情報を届ける仕組みに着目する。このような限定は、まず第1に、携帯端末利用時に限定することで、多岐にわたるモバイルユーザの状況を考慮範囲から除外し、受信ユーザ状況を限定してモデル化することができる点に基づいている。そして、第2に、携帯端末利用形態は、コンピュータやTV等の固定端末の利用形態とは異なり、携帯端末を把持しながら利用することが一般的であり、ユーザ状況を特定することが比較的容易である点に基づいている。

さて、このような状況下の情報提示においては、プライマリタスクへの中断や負荷の低減を考慮すると、画面最下部の小ウインドウへの情報提示が好ましい。しかしながら一方で、画面下に提示される情報内容に対する受信ユーザの気づきやすさは、端末状態やプライマリタスク状態等の受信ユーザ状況に応じて大きく異なることが予想される。さらに、仮に情報を提示したとしても、受信ユーザが情報に気づかないことも想定される。

以上のような観点から、提案システムでは、携帯端末利用時の受信ユーザ状況に応じて、プライマリタスクへの中断や負荷を極力抑制しながら、画面内部に情報提示する方式の実現を目的とする。特に、そのような情報提示に対する受信ユーザの情報への気づきやすさをモデル化し、そのモデルに基づき提示タイミングや提示時間を調整する方法、さらに提示情報に対して受信ユーザによる情報の見逃しを判定し情報を再度提示することで、情報の到達性を高める方法を提案し、実装する。

2.2 関連研究

従来より、情報通知システムについては数多くの研究がなされており¹⁾、たとえばMITラボのActive Messenger²⁾は、ユーザ嗜好に応じて情報を提示し、表示アプリケーションへのアクセス失敗に応じて再通知する機能を有する。同じくComMotion³⁾は、ユーザの移動パターンを学習し、ユーザ位置をトラッキングしながら適切な時間・場所で情報を提示する。MicrosoftのPriorities⁴⁾は、利用PCやWebカメラ、マイクロフォン等を含む各種センサから入力される情報を用

いて、各ユーザに届けられるメッセージの緊急性を学習し、学習モデルに基づいて最適な情報提示タイミングで情報を提示する機能を有する。

ユーザの注視状態を考慮した情報提示方法やインタフェース技術については、Attentive User Interface (AUI)⁵⁾ や Peripheral Display の分野で活発な研究がなされており、たとえば Attentive Agents⁶⁾ は、ユーザの興味や目的に応じて情報を選択し、提供するシステムを提案している。AROMA プロジェクト⁷⁾ は、情報を抽象化しながら情報提示する機能を有する。これらの技術は、ユーザのプライマリタスクを中断することなく、情報を提示することを目的としている。PC 画面上の効率的な情報提示インタフェースとして、Slideshow⁸⁾、Scope⁹⁾、Irwin¹⁰⁾ が開発されてきた。たとえば Scope は、ユーザごとの学習データに基づいて算出される優先度に応じて、円形のインタフェースを利用して着信メール、To Do タスク等を表示する。一方 Horvitz は、情報提示までの遅延時間とプライマリタスクへの負荷度をベイジアンネットワークを利用してモデル化し、各ユーザ状態における情報提示タイミングの決定方法について検討している^{11),12)}。さらに、PC 上でのプライマリタスク負荷と提示情報の理解やレスポンスに関する実験的評価の研究では、タスクごとに適した提示方式（ティッカやフェード等）について考察している¹³⁾。

本論文のターゲットの一部は、上記研究のそれと重複している。しかしながら、本論文は携帯端末上での情報提示に特化し、携帯端末上で取得可能な情報群から情報認知度を推定可能なモデルを構築している点を特徴とする。そして、提示タイミング・時間を制御することで、プライマリタスクへの影響を極力抑制しながら、受信ユーザが気づきやすいように情報提示できる機能、さらに受信ユーザが気づかなかった情報を特定し再提示することが可能な機能を提供でき、プッシュ型情報通知システムにおける従来からの課題を克服可能な点で大きく異なる。

3. 情報通知ユーザモデルの構築

前述した提案システムの実現にあたっては、受信ユーザ状況により動的に変化する“提示情報への気づきやすさ”を考慮して、システム制御に反映することが求められる。そこで本論文では“情報認知度”を導入し、複数の要素から複雑に決定する“提示情報への気づきやすさ”を一括して表現することで、制御システムでの取扱いを簡易にする。そして情報認知度の具体的定義として“画面上に提示される一定量のテキス

ト情報の内容を理解するまでの時間”と定義し、以降の議論を進めることとする。さて、このように定義した情報認知度は、実際の通知サービス運用過程の中では直接観測することが不可能な“ユーザ内部状態情報”（非観測情報）である。そこで本論文では、直接観測可能な情報（観測情報）との因果・影響関係を“情報通知ユーザモデル”として構築し、提案システムで利用する。

ただし、情報認知度は、複数観測情報の状態の組合せに大きく依存し、関数形式でその依存関係を表現することは困難であるため、確率を用いた依存関係の記述によるモデル構築を目指す。本論文では、観測情報から情報認知度を推論予測することが可能な点、モデルを構成する観測情報が不完全である場合においても再利用可能な点、実運用を通してモデルの再構築が可能な点から、ベイジアンネットワーク¹⁴⁾を採用する。ベイジアンネットワークは、複数の確率変数間の定性的な依存関係を有向非循環グラフ構造によって表現し、個々の変数間の定量的な関係を定量的に示す条件付き確率で表したモデルである。ネットワークは、確率変数を示すノードと、確率変数間の条件付き依存関係、その条件付き確率の3つによって提示される確率モデルである。特に確率変数が離散変数の場合は、条件付き確率はCPT(Conditional Probability Tables)により表現される。ベイジアンネットワークは、モデル表現による可視化の容易性だけでなく、各問題領域に関する事前知識を用いて確率変数間の順序関係としてモデル構造に反映することが可能である。以下では、モデルの設計指針およびモデル構成要素の検討について述べ、最後にベイジアンネットワークによる情報通知ユーザモデルを構築する。

3.1 モデル設計方針と手順

情報通知ユーザモデルを構築するにあたり、本論文では大きく2つの部分モデルに分けて検討する。1つは、ユーザが携帯端末を利用し、端末画面上へ注意を向けているか否かに依存して情報認知度への影響を表現する“部分モデルA”と、もう1つは携帯端末上のプライマリタスク状態に依存して情報認知度への影響を表現する“部分モデルB”である。部分モデルAでは、情報認知度へ直接影響する要素として、端末への注視状態を示す“注視状態要素”を仮定し、当該情報を中心とした部分モデルを形成する。一方、部分モデルBでは、情報認知度への直接影響要素として、プライマリタスク実行下での情報通知に対する情報認知度を示す“タスク中情報認知度要素”を仮定する。すなわち、 $P(\text{IA,AS,TIA}) = P(\text{IA} | \text{AS})$

TIA)P(AS)P(TIA) と仮定する．ここで IA は情報認知度要素，AS は注視状態要素，そして TIA はタスク中情報認知度，を示す．

まず端末注視状態要素は，端末の傾きや端末の安定度を考慮した端末注視状態と，端末に対するユーザインタラクションの有無を示すインタラクションイベント状態，から構成され，端末利用開始・終了イベントの判定や，後述するタスク中情報認知度要素から情報認知度要素への依存関係に影響を与える．本モデルは，端末上に搭載された加速度センサ情報や端末 OS から取得できるイベント情報から状態を特定できることから，事前知識を用いてモデル構造および CPT を決定するものとする．このような事前知識の取り込みは，ベイジアンネットワーク特有の特徴ともいえる．

一方，部分モデル B のタスク中情報認知度要素については，プライマリタスク中の操作や画面状態，タスクに対するユーザ特性等の複数要素の状態の組合せに応じて，複雑に変化するものと想定される．したがって本論文では，仮説モデル構築およびその検証から，最終的なモデル決定を行うこととする．具体的には，(i) 情報認知度要素に影響関係がある要素群を抽出し仮説モデルを構築し，(ii) 要素群情報を収集することにより仮説モデルを検証し，影響関係の有無について判定する．本検証では，分散分析による有意判定を行うことで判断する．(iii) 最後に，ベイジアンネットワークを構築し CPT を算出することで最終モデルを決定する．

3.2 仮説モデルとデータ収集実験

部分モデル B の仮説モデル検討においては，タスク中情報認知度と依存関係のある要素を抽出することから始める．本論文では，プライマリタスクとして Web 閲覧作業を取り上げ，受信ユーザは画面中央ウインドウ（プライマリタスクウインドウ）で Web 閲覧をしている際に，画面最下部ウインドウ（通知ウインドウ）に表示される様々な情報の詳細情報にアクセスする，という利用シーンを想定する．

上記のような状況下で，タスク中情報認知度へ影響を与える要素として，キー操作数，平均キー操作速度，カーソル画面内位置，カーソル移動方向，スクロール方向，画面リフレッシュイベント，を取り上げる．ここで平均キー操作速度とは，本データ収集実験前に，各被験者に前記プライマリタスクを十分な回数実施してもらい，各被験者ごとにキー操作数の平均値を求めたものである．一方，タスク中情報認知度が影響を与える要素としてエラーイベントを取り上げる．本要素は，Web 閲覧時の一般的な操作として，目的の情報や

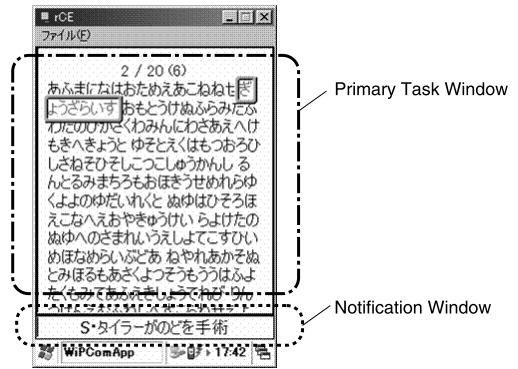


図 1 モデル構築用データ収集アプリケーション

Fig.1 Data collect application for model construction.

単語を見つけ出し，クリックすることでリンク先ページに遷移する操作の中で，目的箇所の見直しによるカーソルの行きすぎ，目的箇所以外でのクリックによる間違いページへの遷移イベント等が含まれる．

さて，このような仮説モデルに対して，各要素のタスク中情報認知度との依存関係を調べることを目的として，図 1 に示すようなデータ収集用アプリケーションを構築した．アプリケーション実装環境については，後述の 6 章で詳述する．実験では，被験者はプライマリタスクを正確かつ迅速に実行しながら，通知ウインドウに提示されるテキスト情報への興味の有無を判定する作業が要求される．プライマリタスクは，方向カーソルキーを利用して次々に提示される単語の中から“食べ物”を示す単語を探し出し，カーソルフォーカス時に単語をクリックし次ページへ進む作業を，規定ページ分実行する作業である．本タスクは，Web 閲覧時に文章を読むタスク，あるいは目的の単語やリンク先を見つけるタスクを模擬するものである．ここで一見して目的の単語や情報を見つけることが困難になるように，単語間にランダムに数文字分の文字を挿入した．一方，画面下部の通知ウインドウには，ファイルから読み込まれた様々なニュース情報が定期的にテキスト情報で表示される．被験者は，提示情報に興味がある場合と興味がない場合で，それぞれ特定キーの 1 度の押下，2 度連続の押下を行う．以上述べたような複数タスクの実行中に，キー操作数，平均キー操作速度，カーソル画面内位置，カーソル移動方向，スクロール方向，画面リフレッシュ，エラーイベント，の各要素がとりうる状態値のすべての組合せが発生する状況を生じさせる．そして，被験者による提示情報への興味の有無の応答（レスポンス）までの時間を測定することでタスク中情報認知度を測定する．通知ウインドウへのメッセージ提示は 10 秒ごとに切り替える

設定とし、被験者は日常的に携帯電話でメールや Web ブラウザを利用している 20 代の男女 7 名であった。

3.3 データ評価に基づくモデル構築

仮説モデル中で、タスク中情報認知度要素へ影響を及ぼすと予想される候補要素に対して、その影響の有無について評価する。評価においては、二元配置（繰返しあり）分散分析により有意判定を実施した。ただし、有意水準は 1% 水準とした。カーソル位置は画面を上下に 2 分割し測定した。また、エラーイベントは正解単語の見逃しによるカーソル移動方向の切替えイベント、間違い単語の押下による誤りページへの遷移イベントを測定した。さらに、前記の平均キー操作速度でキー操作数を除算することにより得られた情報をキー操作負荷要素として追加した。本来であれば、分散分析結果で有意と判定されたデータについては多重比較を実施することで有意差検定が可能となるが、今回検定対象とした要素の水準はすべて“2”としたため、多重比較は実施しなかった。

結果は以下のとおりであった。カーソル位置 ($F(1, 700) = 11.00, p = 9.27 \times 10^{-4} < 0.01$) とキー操作負荷 ($F(1, 700) = 162.90, p = 1.35 \times 10^{-35} < 0.01$) およびカーソル移動方向 ($F(1, 300) = 135.50, p = 9.63 \times 10^{-30} < 0.01$) とキー操作負荷 ($F(1, 300) = 389.35, p = 2.99 \times 10^{-75} < 0.01$) は有意差が認められた。これにより、ユーザが提示情報に気づく度合いは、カーソル位置とキー操作負荷の各状態の組合せや、カーソル移動方向とキー操作負荷の各状態の組合せ、により差異が生じることが示された。ただし、カーソル位置 ($F(1, 368) = 5.83, p = 1.59 \times 10^{-2} > 0.01$) とカーソル移動方向 ($F(1, 368) = 103.67, p = 1.42 \times 10^{-23} < 0.01$) から、カーソル位置の有意差が若干 1% 水準に満たさなかった。一方、カーソル位置 ($F(1, 400) = 14.44, p = 1.50 \times 10^{-4} < 0.01$) と画面リフレッシュ ($F(1, 400) = 0.62, p = 0.43 > 0.01$)、および画面リフレッシュ ($F(1, 300) = 3.40, p = 6.5 \times 10^{-2} > 0.01$) とカーソル移動方向 ($F(1, 300) = 18.26, p = 2.08 \times 10^{-5} < 0.01$) から、画面リフレッシュの有意差が認められなかった。ただし、画面リフレッシュ ($F(1, 700) = 18.46, p = 1.79 \times 10^{-5} < 0.01$) とキー操作負荷 ($F(1, 700) = 358.83, p = 2.19 \times 10^{-75} < 0.01$) で有意差が認められた。以上から、情報通知ユーザモデル構築にあたっては、タスク中情報認知度の要素として、キー操作負荷 (KL)、カーソル移動方向 (CM)、画面内リフレッシュ (DR)、カーソル画面内位置 (CL) を採用する。一方、タスク中情報認知度要素からエラー

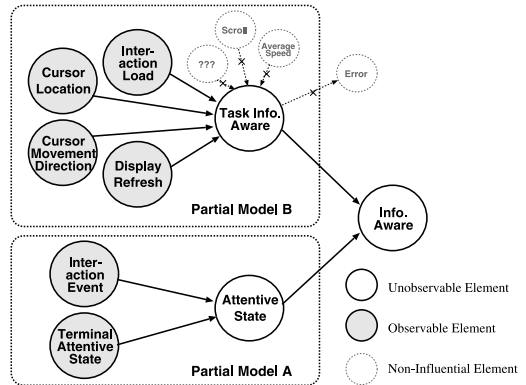


図 2 構築情報通知ユーザモデル
Fig. 2 Constructed notification user model.

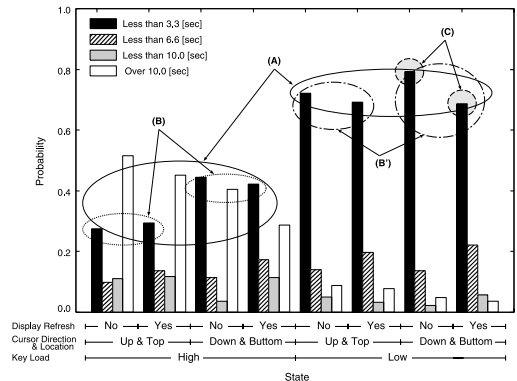


図 3 情報認知度における CPT
Fig. 3 Calculated CPT for task information awareness.

要素に対しては、事前に F 検定により $F = 0.158$ から等分散であることが検証し t 検定を行った。結果、両側検定で $T = 0.311$ であったことから有意差を認めることはできなかった。

以上の仮説モデルの検証から、タスク中情報認知度については、以下の式 (1) により表現できることが分かった。

$$\begin{aligned}
 P(TIA, KL, CL, CM, DR) &= P(TIA|KL, CL, CM, DR) \\
 &\cdot P(KL) \cdot P(CL) \cdot P(CM) \cdot P(DR) \quad (1)
 \end{aligned}$$

以上よりページアンネットワークによる情報通知ユーザモデルを構築した。構築モデルを図 2 に示す。タスク中情報認知度については、測定時間を 4 状態 (3.3 秒以内, 6.6 秒以内, 10.0 秒以内, 10.0 秒以上) に分けてモデル構築した。また、タスク中情報認知度要素の CPT を図 3 に示す。ただし、紙面上には発生回数が多い状態の組合せのみ示している。

図 3 (A) から、キー操作負荷要素がタスク中情報認知度に大きな影響を及ぼしていることが分かり、たと

例えば 3.3 秒以内のタスク中情報認知度を示す状態については、キー操作負荷が高い場合と低い場合とでは約 2 倍近くの差異が確認される。また、キー操作負荷が高い場合には、10.0 秒以上、すなわち見逃す場合が著しく増加しており、そのような状況下で情報を提示したとしても約 50% は認知されないことが分かる。カーソル移動方向および画面内位置要素に着目すると、図 3 (B) から、キー操作負荷が高い場合には、画面下方向へのカーソル移動でかつカーソルが画面下部に位置する場合には、その逆の場合と比較して約 1.5 倍ほど情報への気づきやすさが向上していることが分かる。これは、画面下部に情報が提示されることに起因しているものと考えられる。本結果は、携帯電話のようなきわめて小さな画面においても、画面内の位置に応じて情報への気づきやすさが大きく異なることを示している。一方、キー操作負荷が低い場合には、ほとんど差がないことが図 3 (B') から分かる。さらに、画面リフレッシュ要素に着目した場合、リフレッシュがあった場合には、認知度がわずかながら低下していることが図 3 (C) から分かる。これは、今回の画面リフレッシュは次ページへの画面遷移イベントを検知しており、画面遷移により被験者の視点が次ページ上部に移動することが原因と考えられる。以上述べたように、各要素の状態の組合せにより情報認知度は大きく変化することから、提案システムで実現しようとする情報の提示方法やタイミングを決定するには、算出した CPT に基づいて制御することがきわめて重要であるといえる。

4. 情報提示制御方式

本章では、3 章の結果を用いて、受信ユーザ状況により変化する提示情報に対する気づきやすさを推定し、情報の提示速度を調整する“提示時間制御方式”と、情報が提示された時間帯における情報の気づきやすさを推定し、その度合いに応じて再度情報を提示する“再提示判定制御方式”について詳述する。

4.1 提示時間制御方式

本方式は、動的に変化する受信ユーザ状況に応じて、画面下部情報通知ウィンドウに提示されるテキスト情報への受信ユーザの情報への気づきやすさを推定することで、最適な提示時間を算出し、ユーザによる情報の見逃しを回避しながら情報提示することを実現する。実現にあたっては、情報通知ユーザモデルに入力される各観測情報に基づき、情報認知度要素の各離散値の確率推論を行い、最適な提示時間を決定する。

ここで、情報認知度要素 IA は、 K_{ia} 個の離散状態

値 $IA = \{IA_0, \dots, IA_{K_{ia}-1}\}$ から構成され、 $p(IA_k|E)$ は、観測情報 E の下での IA_k の確率を示すこととする。そして、 k 番離散状態値 IA_k の下で情報が提示された場合に、ユーザが提示情報に気づくために必要な時間を $\psi(IA_k)$ とすると、求める提示時間 DT は式 (2) で示される。

$$DT = \sum_{k=0}^{K_{ia}-1} p(IA_k|E) \cdot \psi(IA_k) \quad (2)$$

ここで算出される DT を用いて情報の提示時間を調整する。さらに、あらかじめ提示時間の閾値を設定しておくことにより、提示時間が極端に長くなるような場合には、提示自体を停止することが可能となり、これにより受信ユーザが提示情報に気づかないような状況下での不要な情報提示を制限することが可能となる。

4.2 再提示判定制御方式

再提示判定制御方式は、本システムの特徴の 1 つである。本機能により、情報提示時に受信ユーザが認知できなかった情報を特定し再提示することで、ユーザへの情報到達性を向上させることが可能となる。しかしながら、前述したように、本論文では確率ネットワークモデルによる情報認知度の推定処理を行っている。そのため、確率的にしか情報認知の失敗、成功を判定することができない。そこで、提示情報の中で、どの程度の割合までユーザの情報認知を達成するかを示す目標値を“目標認知率”として定義し、目標認知率に基づいて制御する。そして、目標認知率を高める、つまり大部分の提示情報に受信ユーザが気づくことを目標とする場合、気づかなかった情報を再度提示する割合が増加するが、逆にすでに気づいた情報についても重複して再度提示する割合が増加する。一方で、目標認知率を低く設定すると、再提示により補うことができる割合は減少するが、重複した情報を提示する割合も減少する。実際のシステムでは、本目標値を調整することで、再提示制御の性能を調整することが可能となる。

さて具体的には、以下のステップにより制御を行う。(1) 提示区間内の情報認知度要素の平均確率値 p' を計算し、(2) 目標認知率に基づき要求提示時間を算出する。最後に、(3) 要求提示時間と実際の提示時間を比較することで、再提示の必要性の有無を判定する。まず最初に、情報が端末画面に実際に提示された時刻内の観測情報の変化を測定し、状態変化ポイントで複数の区間に分割する。そして、各区間ごとに情報認知度要素 IA の離散状態値 IA_k の確率を算出する。ここで、 $t_j = \{t_0, \dots, t_{J-1}\}$ は各区間の時間の長さを示し、 J は

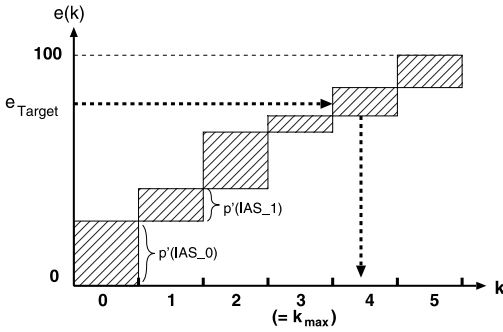


図 4 再提示判定アルゴリズム
Fig. 4 Renotification judgement algorithm.

区間総数を示す．次に，区間全体を通しての情報認知度要素 IA の離散状態値 IA_k の平均確率値 $p'(IA_k)$ を，以下の式 (3) から算出する．

$$p'(IA_k) = \sum_{j=0}^{J-1} \left\{ p(IA_k) \cdot \frac{t_j}{\sum_i^{J-1} t_i} \right\} \quad (3)$$

次に，要求提示時間 DT_{req} を算出する．情報通知ユーザモデル内の情報認知度要素の離散状態値 IA_k は， $\psi(IA_k)$ 時間内に $p(IA_k)$ の割合で認知することを示している．たとえば，目標認知率 e_{Target} が $p(IA_0) + p(IA_1)$ の場合，要求提示時間 DT_{req} は $\psi(IA_1)$ と一致する．以上のような考えに基づき，目標認知率がどの離散状態値 IA_k に該当するか，またはどの離散状態値の間に位置するかに応じて，線形的に要求提示時間 DT_{req} を算出する．まず，0 から K までの積算総和 $e(K)$ を，以下の式 (4) により定義する．

$$e(K) = \sum_{k=0}^K p'(IA_k) \quad (4)$$

ここで， $e_{target} \geq e(K)$ を満たす最大の K を $K = k_{max}$ とする．ここで前述の説明より， $K = k_{max}$ と $K = k_{max} + 1$ の間に目標認知率を e_{Target} が存在することとなる (図 4 参照)．したがって，求めるべき要求認知時間 DT_{req} は，以下の式 (5) で求められる．

$$DT_{req} = \psi(IA_{k_{max}}) + \frac{e_{target} - e(k_{max})}{e(k_{max} + 1) - e(k_{max})} \cdot \left\{ \psi(IA_{k_{max}+1}) - \psi(IA_{k_{max}}) \right\} \quad (5)$$

以上より，要求認知時間 DT_{req} が実際の提示時間よりも長い場合には，再提示することとする．

5. 評価実験

5.1 情報通知ユーザモデルの精度評価

本節では，3.3 節で構築したモデルの精度評価を行う．今回評価すべき対象は，データ収集から構築した“タスク中情報認知度”要素とする．評価においては，収集データを 85 対 15 に分割し，85% をモデル学習用データ，15% を評価対象データとした．ここで，タスク中情報認知度要素の 4 状態 (3.3 秒以内，6.6 秒以内，10.0 秒以内，10.0 秒以上) を識別する場合の識別精度の結果を示す．本評価において結果が正しいと判断される場合とは，実際に測定されたタスク中情報認知度要素の状態離散値と，モデルから予測される状態離散値とが一致する場合を指す．

まず，各被験者ごとにモデルを構築し，被験者ごとに評価を行った結果を図 5 の結果 A に示す．図 5 の結果 A から，被験者によって 50% から 80% の差異が生じたことが分かる．実際に収集に利用したサンプルデータ数を線グラフで同図に表示すると，本識別結果はサンプルデータ数の変化とほぼ同等の変化を示していることが分かる．したがって，識別率が比較的低い被験者に関しては，さらに実験を重ねサンプル数を増やすことで，識別率が増加するものと考えられる．

次に，被験者を区別することなく全被験者データを利用してモデルを構築し，被験者ごとに評価を行った結果を同図 5 の結果 B に示す．ほとんどの被験者において，各被験者ごとのモデルを使用した場合よりも 5% から 10% ほど低下しているものの極端な低下がないことが分かる．全体として，約 60% 強を示しており，何も知識がない場合の 25% と比較して，モデル精度は向上していることが分かる．本結果は，ユーザごとのパーソナルモデルが事前に存在しない場合においても，サービス開始時は一般的なモデルを用い，運用しながらモデル精度を高めていく，という手段が採用可能であることを示唆しており，提案モデルは有効であるといえる．

5.2 提示時間制御方式の評価

本節では，4.1 節で提案した提示時間制御方式による制御特性およびその効果について評価する．評価実験においては，提案方式により情報提示を行い，被験者は 3.2 節と同様，特定ボタンの押下操作により提示情報に対する興味の有無について回答する．ただし，ユーザ状況の変化に対する制御の追従能力について評価することを目的として，開始から 230 秒後付近で，プライマリタスクの操作速度を増加するよう，すなわち急いで操作するように，被験者に要求した．

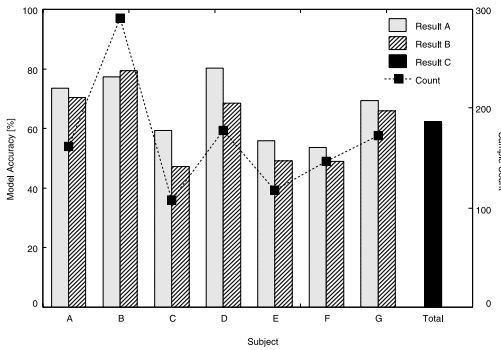


図5 構築モデル精度評価結果

Fig. 5 Results for model accuracy evaluation.

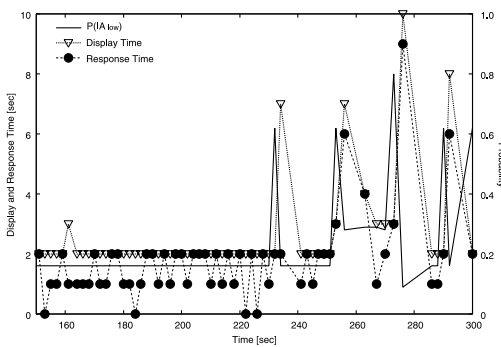


図6 提示時間制御方式結果

Fig. 6 Results for adaptive display control algorithm.

図6に結果を示す．図6には，制御結果に基づき提示された提示時間（DisplayTime）と，被験者が特定ボタンを押下するまでのレスポンス時間（Response Time）を示している．また同時に，モデル推定により算出された情報認知度要素のうち，情報認知度が低い状態値の確率値 $p(IA_{low})$ の変動の結果も示す．ただし，360秒間の実験内で，状態変化の大きかった区間（開始から150秒後から300秒）の結果のみを示す．230秒までは提示時間および回答時間とも1秒から2秒の間を示しており， $p(IA_{low})$ も0.2以下の値を変動している．これは，本区間では提示情報への情報認知度は高く，提示情報への認知は比較的容易なことが推定されるため，提示時間が低く抑えられている．そして，実際のレスポンスタイムもその時間付近を変動していることが分かる．一方，230秒以降では， $p(IA_{low})$ も上昇し，0.7から0.8の高い値を示している．この推定結果により提示時間も長くなっていることが分かる．レスポンス時間は必ずしも提示時間と一致はしていないが，提示時間に呼応する形で上昇，下降を繰り返していることが分かる．ただし，実際の情報認知度要素の確率値 $p(IA)$ の変動よりは，若干遅れ

て提示時間が変動していることが見てとれる．これは，キー操作負荷情報は過去一定時間（実験では12秒に設定）のキー操作数をモニタリングして算出しており，大きな状態変化があった場合であっても，制御システムへの急激な影響を低減させているためである．本制御のフィードバックの強さを強めることで状態変化への追従は向上になるが，制御結果が著しく変動し制御が不安定になってしまうため，最適な制御パラメータ（本例ではモニタリング時間）の導出方法を検討する必要がある．以上述べたように，提案方式では，ユーザ状況に応じた提示時間設定およびそれに基づく情報提示が可能であり，受信ユーザの状況を考慮せず一定の間隔で情報提示するシステムと比較して，情報受信者による情報の見逃しを回避しながら情報を提示できることが明らかとなった．

5.3 再提示判定制御方式の評価

本節では，4.2節で提案した再提示判定制御方式の特性評価および有効性検証を行う．評価実験においては，数種類の固定時間に基づいて情報を周期的に提示する方式と，提示時間制御方式により情報提示を行い，被験者は3.2節と同様，特定ボタンの押下操作により提示情報に対する興味の有無について回答する．本押下情報は，受信ユーザの情報認知の成功または失敗を示し，再提示判定制御方式の推定結果と比較することで，当該方式の性能評価結果とする．本実験では，目標認知率 e_{Target} として70%，80%，90%，の3種類について評価した．ただし，注視状態要素はすべて“高”となるように設定し，タスク中情報認知度の影響のみの評価を行うこととした．これは，注視状態要素を含めた実験では，注視状態でない場合の推定は比較的簡易であることから，必然的に判定結果が向上することが想定されるため，タスク中情報認知度の評価に限定して評価を行うことを目的とするためである．実験結果を混合マトリクス形式で表1に示す．表1における“ユーザ応答結果（U）”は，前述の被験者の回答結果を示しており，“No”は認知失敗（応答なし），“Yes”は認知成功（応答あり）を示す．一方，“推定結果（P）”は再提示判定アルゴリズムにより判定された結果を示す．したがって， $\{U, P\} = \{“No”, “No”\}$ および $\{“Yes”, “Yes”\}$ は，実際のユーザ応答結果と判定方式による推定結果が一致している場合，それ以外（表1で網掛けのセル）は不一致の場合を示している．表1の各セルの上段の数は，発生事象数，下段の数は全体の割合を示している．“正解率”は，一致している場合，つまり推定結果が正しい割合を示している．

表1において， e_{Target} が増加すると，判定アルゴ

表 1 再提示判定方式結果
Table 1 Results for renotification judgement algorithm.

		ユーザ応答結果: U	
		No	Yes
推定結果: P	No	197 20.1%	180 18.4%
	Yes	240 24.5%	363 37.0%
		正解率: 57.1%	

(a) 目標認知率 e_{Target} : 70%

		ユーザ応答結果: U	
		No	Yes
推定結果: P	No	299 30.5%	318 32.4%
	Yes	138 14.1%	225 23.0%
		正解率: 53.5%	

(b) 目標認知率 e_{Target} : 80%

		ユーザ応答結果: U	
		No	Yes
推定結果: P	No	375 38.3%	504 51.4%
	Yes	62 6.3%	39 4.0%
		正解率: 42.1%	

(c) 目標認知率 e_{Target} : 90%

リズムによる推定結果のうち、ユーザが認知失敗したと推定判定される場合 (P="No") の割合が増加し、再提示が行われる方向に制御されることが分かる。これにより、実際には認知したにもかかわらず再度提示が行われる場合 ($\{U, P\} = \{\text{"Yes"}, \text{"No"}\}$) の割合が著しく増加するものの、実際には認知失敗したにもかかわらず再度提示が行われない場合 ($\{U, P\} = \{\text{"No"}, \text{"Yes"}\}$) の割合が低減され、認知失敗への再提示判定制御による効果が現れる。最後に、実際に認知失敗しかつ再提示が行われない $\{U, P\} = \{\text{"No"}, \text{"Yes"}\}$ の割合について評価する。目標認知率 e_{Target} が $\{70\%, 80\%, 90\%\}$ の場合、前記割合がそれぞれ $\{30\%, 20\%, 10\%\}$ となるのが理想的である。一方、実験結果では、それぞれ $\{24.5\%, 14.1\%, 6.3\%\}$ であった。したがって、提案再提示判定制御方式により判定された結果と、基準とする目標認知率とに大きな差異がないことから、システムで要求する目標認知率を設定することで再提示判定が可能であることが明らかとなり、提案方式の有効性が示された。

6. プロトタイプシステム

6.1 システム詳細

本システムは、通知サーバ (Notification Server) と通知クライアント (Notification Client) の2つのエンティティから構成され (図7参照)、通知クライアントは通知サーバを介して提示用情報 (以下、メッセージと呼ぶ) を取得する。

通知サーバについては、メッセージ管理部 (Message Receiver & Feeder) が RSS リード機能によりメッセージを収集し、識別子を付与してクライアント送信用メッセージ蓄積器 (Message Storage) に蓄積する。そして通知クライアントからの要求に応じて、依頼数分のメッセージを返却するとともに、再通知用に保存する。状態管理部 (State Manager) は、通知クライアントで収集した各種観測情報の状態値、および情報提示イベント (通知開始&終了時刻、提示位置・サイズ) を受信し、時刻情報とともに管理する。

再提示判定制御部 (Re-Notification Controller) は、情報通知ユーザモデル (ペイジアンネット XML ファイル) を管理するユーザモデル管理部 (User Model Manager) と協調して再提示判定処理を実行し、必要に応じて再提示用メッセージ蓄積器からクライアント送信用メッセージ蓄積器内に再度コピーする。

一方、通知クライアントについては、メッセージ管理部 (Message Retriever) は通知サーバへメッセージ取得要求を送信し、受信メッセージをメッセージ蓄積部 (Message Storage) に蓄積する。蓄積部内の蓄積位置は、メッセージキューの最後部、最前列部等、サーバ、クライアント双方から指定することが可能である。状態管理部は、定期的に観測情報を収集し、一定期間分内部に保持するとともに、一定周期ごとにサーバに登録する。これらの情報は、端末装着された加速度センサ情報に基づく端末姿勢状態、端末安定度、アプリケーション情報、カーソル情報、スクロール情報、キーイベント情報、等が含まれる。アプリケーション部は、Web ブラウザおよび電子メール MUA から構成される。通知メッセージ提示部 (Message Window I/F) は、メッセージを提示し、提示イベントを通知サーバへ送信する機能を有する。適応の情報提示制御部 (Adaptive Notification Controller) は情報通知ユーザモデルを管理し、状態管理部の状態値に応じて、情報提示タイミングおよび提示時間長を算出し、結果を通知メッセージ提示部へ送出手する。

6.2 実装環境および機能動作

通知サーバは Windows XP を搭載するワークステーション上で稼動し ANSI C++ で実装した。設定ファイルに記載した RSS サイトの更新情報を周期的に収集し通知クライアントへ転送する。一方、通知クライアント端末は、Net-2Com 社の WipCom¹⁵⁾ 端末 (Windows CE.NET 4.2, Intel PXA273, 2.2inch QVGA カラー液晶画面) 上に実装した。通知サーバと通知クライアントは、IEEE802.11b の WLAN で接続している。通知クライアント端末上には、Web ブラウザおよび電子メール MUA を実装し、Web ブラ

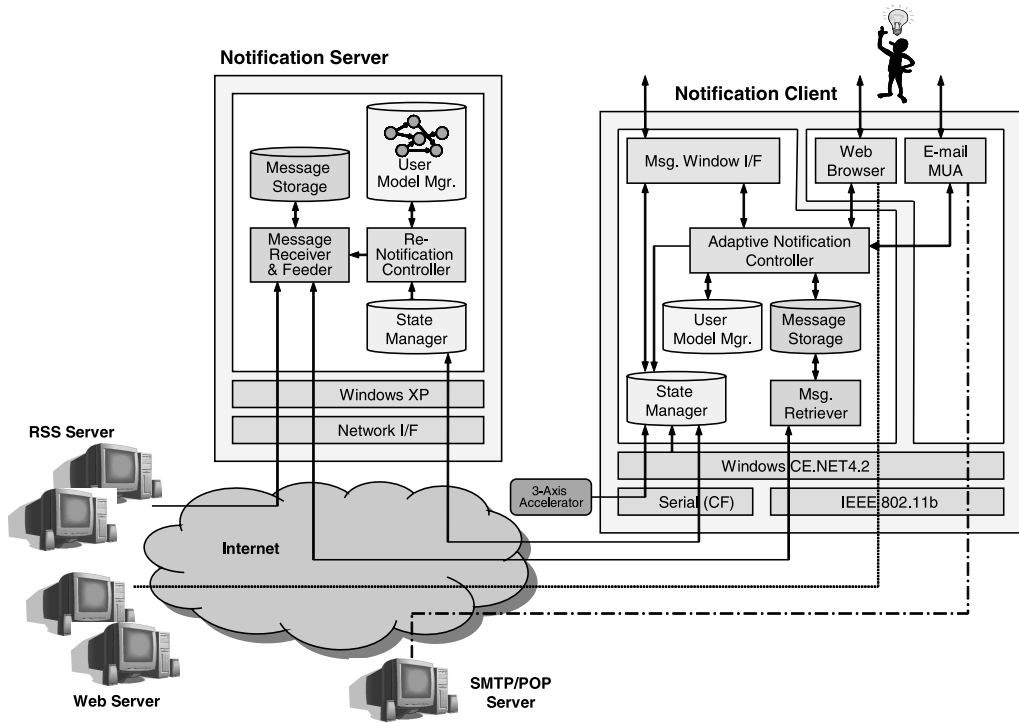


図 7 実装システム構成
Fig. 7 Implementation system.

ウザは IWebBrowser2 インタフェース¹⁶⁾ を利用している。ユーザの端末利用把持を検知するため、加速度センサによる端末姿勢、安定状態判定を行っている。本判定については、CF 型 3 軸加速度センサカードを利用し、64 [Hz] で定期的にセンサ情報を収集しながら、端末姿勢については端末角度を用い、安定状態については単位時間の 3 軸加速度センサ値変動量を用いて判定している。ページネットワークはオープンソースライブラリ PNL¹⁷⁾ を用い、推論アルゴリズムは Loopy BP を用いた。

動作例は以下のとおりである。受信ユーザによる端末の持ち上げ動作またはキーイベントにより、画面中央へのメッセージ提示が開始する。端末を机等に置く動作、またはタイムアウトによりメッセージウィンドウは消去される。端末把持中の WEB ボタン押下により Web ブラウザが立ち上がり、提示メッセージは画面下部の通知ウィンドウに移動し、引き続き提示が行われる。カーソル移動、画面の切替わり等により、メッセージの提示時間が調整され、また携帯を利用しながら移動すると、これまでの提示時間は少しずつ長くなる。システムが判定する情報認知状態や端末注視状態は、情報通知ウィンドウ下部トレイ内のインジケータにより (図 8 (A), (B)) にそれぞれ表示される。メッ

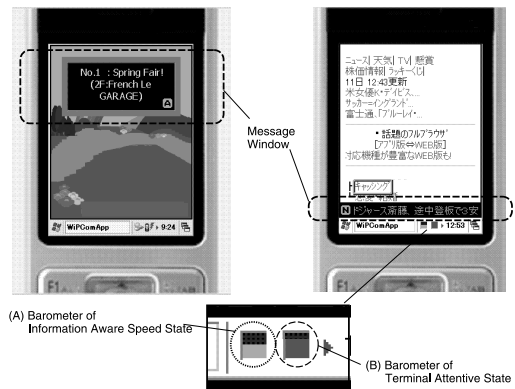


図 8 情報提示画面スクリーンショット
Fig. 8 Client application screenshots.

セジの詳細情報は、特定キーの押下により Web ブラウザに表示される。また過去に提示された通知メッセージについては、左右方向キーの操作により遡ることが可能であり、タイムアウト時間経過後に、自動メッセージ提示モードへ戻る。

7. おわりに

本論文では、モバイルユーザを対象とした携帯電話端末へのプッシュ型情報配信システムおよびその要素

技術について提案し、システム実装について詳細に説明した。提案方式は、携帯電話を利用するユーザ状況、特に携帯端末上での作業（プライマリタスク）を考慮しながら、作業の隙間を利用して情報をユーザに届けることを可能とする。本論文の第1の特徴は、携帯端末上に提示される情報に対する気づきやすさを情報通知ユーザモデルという形式で記述した点と、第2の特徴として、本モデルを参照しながらユーザの情報認知度に合わせて情報提示する“提示時間制御方式”と、情報提示後に、提示情報に対する認知度を判定し必要に応じて再提示する“再通知判定方式”にある。実際の携帯端末に実装し評価することで、提案方式の有効性および将来の発展性を示すことができた。

本システムは、携帯電話等の情報機器を常時携帯するようになった現在において、ユーザ自身の状況を考慮し、隙間時間を最大限利用しながら有益な情報をユーザに届けることが可能な仕組みを提供する点で、来る情報氾濫時代におけるシステムとユーザをつなぐ重要な仲介機能を提供するものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Schmandt, C., Marmasse, N., Marti, S., Sawhney, N. and Wheeler, S.: Everywhere Messaging, *IBM Systems Journal*, Vol.39, pp.660–677 (2000).
- 2) Marti, S.: Active Messenger: Email Filtering and Mobile Delivery, M.S. Thesis, Program in Media Arts and Sciences, MIT Media Lab (1999).
- 3) Marmasse, N. and Schmandt, C.: Location-Aware Information Delivery with ComMotion, *HUC 2000*, pp.157–171 (2000).
- 4) Horvitz, E., Jacobs, A. and Hovel, D.: Attention-Sensitive Alerting, *Proc. UAI '99, Conference on Uncertainty and Artificial Intelligence*, pp.305–313 (1999).
- 5) Vertegaal, R., et al.: Attentive User Interface, *Comm. ACM*, Vol.46, No.3, pp.31–72 (2003).
- 6) Maglio, P.P. and Campbell, C.S.: Attentive Agents, *Comm. ACM, SPECIAL ISSUE: Attentive user interfaces*, Vol.46, No.3, pp.47–51 (2003).
- 7) Pedersen, E.R. and Sokoler, T.: AROMA: Abstract Representation Of Presence Supporting Mutual Awareness, *CHI'97* (1997).
- 8) Cadiz, J., Gupta, A., Jancke, G. and Venolia, G.: Sideshow: Providing Peripheral Awareness of Important Information, Microsoft Research Tech. Report MSR-TR-200183 (2001).
- 9) Dantzich, M., Robbins, D., Horvitz, E. and Czerwinski, M.: Scope: Providing Awareness of Multiple Notifications at a Glance, *Proc. AVI 2002, ACM Conference on Advanced Visual Interfaces*, Trento, Italy (2002).
- 10) McCrickard, D.S.: Maintaining Information Awareness with Irwin, *Proc. World Conference on Educational Multimedia/Hypermedia and Educational Telecommunications (ED-MEDIA '99)*, pp.552–557 (1999).
- 11) Horvitz, E. and Apacible, J.: Learning and Reasoning about Interruption, *Proc. 5th ACM International Conference on Multimodal Interfaces* (2003).
- 12) Horvitz, E., Apacible, J. and Subramani, M.: Balancing Awareness and Interruption: Investigation of Notification Deferral Policies, *User Modeling 2005*, pp.433–437 (2005).
- 13) McCrickard, D.S., Catrambone, R., Chewar, C.M. and Stasko, J.T.: Establishing trade-offs that leverage attention for utility: empirically evaluating information display in notification systems, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.58, No.5, pp.547–582 (2003).
- 14) Russell, S.J. and Norvig, P.: *Artificial Intelligence: Modern Approach*, Prentice Hall (1995).
- 15) Net-2Com: WipCom 1000. <http://www.net-2com.co.jp/products/wipcom1000.html>
- 16) Microsoft: IWebBrowser2 Interface. <http://msdn.microsoft.com/workshop/browser/webbrowser/reference/ifaces/iwebbrowser2/iwebbrowser2.asp>
- 17) PNL: Intel's Open-Source Probabilistic Networks Library (PNL). <http://www.intel.com/technology/computing/pnl/>

(平成 18 年 6 月 21 日受付)

(平成 18 年 9 月 14 日採録)



笠井 裕之 (正会員)

1996年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1998年同大学大学院修士課程修了。2000年同大学院博士後期課程修了。1998年から2002年同大学国際情報通信研究センター助手。

2000年より1年間、British Telecom BText Technologies 客員研究員。2002年より(株)NTTドコモに勤務。マルチメディア通信システム、モバイルシステムの研究開発に従事。工学博士。電子情報通信学会会員。



倉掛 正治（正会員）

1983 年東京大学工学部計数工学科卒業．1985 年同大学大学院修士課程修了．同年日本電信電話（株）入社．1990 年より 1 年間，米国南カリフォルニア大学に客員研究員として滞在．2000 年より 2 年間，米国 DoCoMo USA Labs に勤務．現在，（株）NTT ドコモサービス&ソリューション開発部サービスマネジメント担当担当部長．文字認識，コンピュータビジョン，ユビキタスコンピューティング，モバイルサービス環境の研究に従事．電子情報通信学会，IEEE，ACM 各会員．
