周辺認知テクノロジーPCTによる ユーザの作業に干渉しないペリフェラル情報通知

Peripheral Notification That Does Not Bother User's Operations by Peripheral Cognition Technology

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学 / 東京工業大学
National Institute of Informatics, SOKENDAI, Tokyo Institute of Technology
seiji@nii.ac.jp, <http://www.ymd.nii.ac.jp/lab/seiji/>

森 直樹
Naoki Mori

東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻^{*1}
Tokyo Institute of Technology

小林 一樹
Kazuki Kobayashi

信州大学 学術研究院
Academic Assembly, Shinshu University
kby@shinshu-u.ac.jp, <http://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kkobayashi/>

keywords: Notification, peripheral cognition technologies, visual field narrowing

Summary

Various notifications on a display for e-mail arrival, micro-blog updates, and application updates are becoming increasingly important. Thus many studies have been done to make notifications not to prevent a user to achieve a task. In this paper, we propose a novel notification method, the peripheral notification that uses the human cognitive property, visual field narrowing, that a human does not recognize subtle changes in a peripheral visual field when he/she concentrates on a task and that he/she automatically recognizes the changes when not concentrating on the task. By only setting a notification icon in the area of visual field narrowing, a user automatically and easily accepts the notification only when his/her concentration breaks. We conducted two experiments to investigate a visual field narrowing region in a controlled environment and evaluate the effectiveness of peripheral notifications by comparing with a traditional method in a more realistic environment. As a result, we confirmed the visual field narrowing in a display, and our peripheral notification had advantages.

1. は じ め に

現在, PC, スマートフォンがオフィスや家庭で広く利用されており, それらの上では電子メールの受信, 電話の着信, アプリケーションソフトの更新, そして SNS, マイクロブログなどのソーシャルメディアからの情報提示など様々な情報通知 (notification) [Iqbal 10, Vastenburg 08] が行われている (図 1). これらの情報通知は, 有益な情報の発生をユーザに伝える意味で重要であり, ユーザが様々な情報の更新を繰り返しチェックする手間を大幅に削減できるため, 今後も情報機器および通知コンテンツの増大と共にますます増えていくと考えられる. しかし, このような情報を適切に通知する方法は十分に研究されておらず, 現在では単に情報通知が発生したタイミングで通知する方法がとられている [Iqbal 10]. つまり, 現状の情報通知はシステム側から一方的に行われ, ユーザの作業状

態が通知のタイミング決定に反映されることはない. そのため, 頻繁に情報通知がユーザの作業中に割り込むことになり, タスク遂行の中断, 再開負荷の増大が起こり, タスク遂行が阻害されるなどの問題が指摘されている [Bailey 06, Mark 05]. このような背景から, 適切な情報通知メカニズムの開発は, 割り込み可能性 (interruptibility) の研究として, HCI (Human-Computer Interaction) における重要課題の一つとなっている [McCrickard 03a, McCrickard 03b].

適切な情報通知のためには, 基本的にユーザのタスク遂行に干渉しない情報通知が必要であるが, これまでの研究はユーザが割り込みを受理可能であるタイミングを推定し, そのときに通知を行うユーザ状態推定法と PC のデスクトップ上でメインタスクのウィンドウ近くにサブウィンドウを配置して, そこで情報通知を並列的に表示するペリフェラルディスプレイ (peripheral display) に大別される.

*1 現職: 富士フイルムコンピューターシステム株式会社

図 1 PC, 携帯情報機器上での様々な情報通知

ユーザ状態推定法では、ユーザが情報通知を受理できるか否かを意味する割り込み可能性を推定する試みがなされてきた [Iqbal 10, Fogarty 05]。Web カメラからの情報 [Jaimes 06]、キーボードタイピングの情報 [Epp 11] や PC 操作に伴う身体による圧力 [谷 14] を利用して、それらのデータから機械学習 (分類学習、ページアンネット) により割り込み可能性を判定する方法、ブレークポイントと呼ばれる作業の中断タイミング [Iqbal 08] やアプリケーションの切り替えタイミングを利用する方法 [田中 10] など様々な方法が提案されている。これらの方法は、ユーザの状態推定が正確に行われれば、割り込み可能な状態のみに情報を通知することができるが、一般的に、高精度の割り込み可能性の推定は困難である。

田中、藤田 [田中 12] は、サブディスプレイに常駐する秘書エージェントが、他ユーザからの会話開始要求を受けて、ユーザの割り込み拒否度が低いときに、視線による会話要求をアピールし、それに気付いたユーザが任意のタイミングでインタラクションを開始する方法を提案している。そして、参加者実験の評価により、拒否度において、状態推定、アピールの主効果が有意に認められ、ユーザの印象評価も提案手法が良好であることを示している。この研究は、基本的にユーザ状態推定を行い、割り込み可能性が高いときに視線アピールによる情報提示を行う方法であり、ユーザの状態推定を必要としない本研究とは方法論が異なる。

一方、ペリフェラルディスプレイでは、ユーザの状態推定を行わず、ユーザがメインタスクの情報と通知内容を並列的に認識できるように、通知内容の見せ方やサブディスプレイ等の周辺デバイスによる通知方法が研究されてきた [Kim 10, McCrickard 01]。McCrickard らは、デスクトップ上のメインタスクウインドウ近くにサブウインドウを表示し、株価を通常の瞬間表示、横に流れるティッカー表示、徐々に現れるフェディング表示などで表示する環境を用意した。そして、ユーザがメインタスクを行いながら、並列的にサブウインドウの情報通知も認識で

きることを確認し、そのようなペリフェラルディスプレイに適した表示方法を実験的に検討している [McCrickard 01]。

さらに、三好ら [三好 06] は、ウインドウタイプ、テキストの動き方、動く方向、動く速さ、ハイライティング、音などの様々な組み合わせについて、平均認知時間とタスク集中度を評価し、両評価指標でバランスのとれた表示方法、つまり“ユーザの作業を邪魔せず、かつ気付かせやすい周辺表示法”が、静的ウインドウ・断続的・垂直方向・遅いテキストの組み合わせであることを実験的に示した。

また、メガネ [Costanza 06] 等のデバイス上でのペリフェラルディスプレイの研究がある一方で、配色の変化による PC 内部状態の表出 [Matthews 06] やメール着信内容に応じた表示アイコンの変化 [Zhang 05] 等により、直観的に通知内容を理解させる手法も提案されてきた。

このようなペリフェラルディスプレイは、ユーザの割り込み可能性を判定する必要がない点が優れているが、情報通知の認識がメインタスクと並列的に処理されることを前提としており、メインタスクへの干渉が生じる問題があり、さらに複雑な情報が通知された場合には、メインタスクとの並列的な処理が難しくなる。

情報通知に対するこれらのアプローチに対し、本論文において我々はユーザ状態推定を行わず、割り込み可能状態になった場合にユーザが自動的に情報通知に気付く方法である周辺認知テクノロジー PCT (Peripheral Cognition Technology) の枠組みを提案し、実際に視野ナローイング VFN (visual field narrowing) 現象を利用した PC ディスプレイ上での PCT 実装型であるペリフェラル情報通知 (peripheral notification) を構成し、実験的に評価する。具体的には、まず参加者実験により、VFN が PC ディスプレイ上でも生じることを確認し、その発生領域モデルを構築する。次に、その領域内に通知を行うことでペリフェラル情報通知を実現し、その有効性を参加者実験により検証する [Yamada 13b]。

本研究は、ユーザ状態推定を行わない点において、従来のユーザ状態推定法とは異なり、ペリフェラルディスプレイと類似している。しかし、ペリフェラルディスプレイでは、ユーザが割り込み可能状態であるかどうかに関わらず、通知された情報が並列的に認識されるのに対し、PCT では、あくまでユーザが割り込み可能状態になったタイミングで、自動的にユーザが通知に気付く点が異なっており、その点に方法論的なオリジナリティがあると考ええる。また、通知タイミングを決定するために、ユーザの割り込み可能性を推定する必要はなく、さらに通知された情報の内容の理解は、メインタスク遂行が一段落付いた割り込み可能な時に行われるため、その理解に認知的負荷を必要とする複雑な内容の情報を通知することが可能である。

2. PCT：周辺認知テクノロジー

周辺認知テクノロジー PCT は、適切な情報通知の実現を主な目的とする認知的インタラクションデザインの方法論である。ここで、認知的インタラクションデザインとは、人間の認知特性 [Stafford 04] を利用したインタラクションデザインを意味し、そのような認知特性には、本論文で利用される視野ナローイングをはじめ、不注意による盲目 (inattentinal blindkess)、変化盲 (change blindness) などがある [Yamada 13b]。これらの認知特性はいずれも、周辺 (視野) 領域への注意に関係する認知現象であることから、我々はこのアプローチを周辺認知テクノロジー PCT と呼ぶことにした。基本的な方法は、情報通知を認知的周辺領域に提示することで、ユーザが割り込み可能になったときだけに、認知的負荷を伴わず自動的にその通知に気付くという機能が実現され、ユーザ状態推定が不要でかつ割り込み可能状態にはユーザに情報を通知することが可能となる。

人間がタスク処理に負荷がかかっている時には、トンネル視 [Williams 85] のように周辺視野が見えにくくなり、負荷が軽くなると周辺視野が見えてくる現象が、視野ナローイング VFN [Williams 95, Crundall 99] と呼ばれる。そして、タスク処理の負荷の重さに応じて、見えたり見えなくなったりする周辺視野領域を本研究では VFN 領域と呼ぶ。この VFN を利用した PCT の一つの実装型として、情報通知発生時に VFN 領域に通知を表示するだけで、ユーザがタスク処理の高負荷時 (割り込み不可能状態) には通知に気付かず (つまり、タスク遂行に干渉せず)、負荷が軽くなったとき (割り込み可能状態) には、自動的に通知に気付く受理するのがペリフェラル情報通知である。

その他にも、VFN に類似した認知特性として、人間は注視しないと環境の情報を認識できない、つまり集中して見ている目標以外のものが周辺視野に限らず見えにくくなるという心理学的現象である“不注意による盲目” [Simons 99]、そして些細な変化に気付かないという認知特性である“変化盲” [Rensink 97, Cavanaugh 04] などを利用して、ペリフェラル情報通知以外にも、PCT の実装型を様々なアプリケーションとして実現可能である。その一つとして、情報通知発生時にゆっくり起き上がり始めることで、ユーザが割り込み可能になったときに通知への自動的な気付きを促すサブディスプレイである形状変化デバイスの実装、評価実験も進めている [Kobayashi 13]。

また、PCT 研究により得られる知見は、ヒューマンエージェントインタラクション HAI [山田 13a, 山田 07] において研究課題となっている、情報通知を行うエージェントやデバイスの配置、そのアピアランスなどの設計について示唆を与えるものである。よって、HAI における情報通知エージェント設計への応用も期待できる。

図2 VFN 領域とペリフェラル情報通知

3. PCT によるペリフェラル情報通知

3.1 VFN 領域、タスク

VFN の発生および飛行機操縦士と一般の人における VFN の違いが、Williams により実験的に検証された [Williams 95]。その研究では、中央に表示されたアルファベットとその周辺に表示された数字をタキストスコープにより参加者に一瞬だけ見せて、その 2 つを同時に知覚する実験を行い、記憶するアルファベットの数によりコントロールされたタスク負荷と網膜偏心度 (retinal eccentricity) との関係性を明らかにした。網膜偏心度とは、見ている対象と視野中心との網膜上での距離を角度で表したものである。この網膜偏心度が 0 の場合、視点は視野中心にあり、大きいと周辺視野にある。Williams の実験より、網膜偏心度の増加に応じて知覚精度は低下し、低下の程度はタスク負荷に比例することが示された [Williams 95]。

このようなタスクを行っている集中時とタスク負荷のない通常時で知覚が低下する周辺視野を、前述のように VFN 領域と呼ぶ。換言すると、VFN 領域は、集中時には気付かず、非集中時には気付く視野領域と考えられる。図 2 のように、本研究において情報通知が提示される PC ディスプレイ上にも、この VFN 領域が存在すると考えられ、以降それを単に VFN 領域と呼ぶ。

3.2 PCT によるペリフェラル情報通知のメカニズム

PCT によるペリフェラル情報通知の基本的なアイデアは、VFN 領域に情報通知のアイコンを情報の発生時に配置するだけで、ユーザはタスク集中時 (割り込み不可能状態) にはその通知に気付かず、非集中時 (割り込み可能状態) になるとその通知に自動的に気付く、つまりユーザ状態推定を用いずにしかも情報通知がユーザが割り込み可能状態の時だけに自動的に気付く適切な情報通知を実現できるというものである。

一般に情報通知の対象となる情報は、電子メールの受信、電話の着信、アプリケーションソフトの更新、そして SNS、マイクロブログなどのソーシャルメディアの更

新などのうち、その内容の緊急性が高くないものである。緊急性の高い情報は、割り込み可能かどうかに関わらず、強制的にすぐさまユーザに知らせるべきなので一般に情報通知の対象とはならない。

前述の図 2 で、PCT によるペリフェラル情報通知のメカニズムを説明する。ペリフェラル情報通知は、ユーザ状態を推定することなく、通知情報の発生時に VFN 領域内に提示される。具体的には、人型のアイコン（図 3 の PN アイコン）を表示することで情報通知を行う。このとき、PN アイコンは VFN 領域に出現するため、タスク処理に集中しているユーザは通知アイコンを知覚することができない。ただし、通知アイコンの大きさ、明度、コントラスト、動きによってはユーザがすぐに気付いてしまうため、実際の通知アイコンの表示は、徐々に明度を上げるフェード表示 [McCrickard 01] で行うなどの工夫が必要となる。

VFN 領域内ではタスク処理への集中が持続している限り知覚の低下が続くため、ユーザはタスクへの集中が十分に低下するまで、VFN 領域の PN アイコンに気付かない。タスク処理が軽減された時、集中力の低下に伴い中心視野が拡大し、それに伴いユーザは VFN 領域に出現していた PN アイコンに気付き、それをクリックする等の情報受取アクションを行うことで、Web ブラウザ、メールアプリケーション、PN アイコンからの吹き出しなどを通して通知情報の内容へアクセスできる。

また、ペリフェラル情報通知の有効性は、ディスプレイサイズに依存すると考えられるため、本研究で扱うタスクは、現在最も普及している 23 インチ液晶 PC ディスプレイと PC を利用した情報処理タスク一般とする。

以上のペリフェラル情報通知の実現には、ある情報通知アイコンの条件下で、PC ディスプレイ上に実際に VFN 領域が存在することを実験的に確認し、さらに具体的な VFN 領域を決定する必要がある。よって、次節では、まず統制された参加者実験により VFN 領域を確認し、モニター上の閉領域としてモデル化する。そして、より現実的なデスクトップにおいてペリフェラル情報通知を実装した環境で参加者実験を行い、従来の情報通知手法との比較により、ペリフェラル情報通知の有効性を議論する。

4. 実験 1: VFN 領域モデルの構成

4.1 VFN 領域モデル

VFN の発生領域は、網膜偏心度の範囲で記述される場合が多いが [Williams 95]、本研究では、タスクを PC ディスプレイを利用した作業に限定しているため、一般に眼球と PC ディスプレイの間の距離は 50cm 前後と仮定し、さらに情報通知は PC ディスプレイ上に提示されるため、PC ディスプレイ上の VFN 領域のみに注目する。よって、本研究では、VFN 領域を PC ディスプレイ上の閉領域（図 2 の PC ディスプレイ内のグレーの領域）と

図 3 PN アイコン

図 4 タスクの様子

してモデル化する。

一方、一般に VFN 領域は視野中央（視点）からの距離で表されるため、視点に依存して変化する。しかし、様々な視点について網羅的に VFN 領域を調べることは現実的ではないため、本研究では PC ディスプレイ中央付近に視点がある場合の VFN 領域モデルのみを実験的に構成し、大きな視点の移動に対しては、視点同定によりモデルを平行移動させることで対応することとした。

4.2 実験方法

PC ディスプレイの中央付近に視点がある場合の VFN 領域を特定することを目的としたモデル構成実験を実施した。

§1 タスク

実験のタスクは、日常的によく行われる PC を使った作業であり、かつその処理の集中度をコントロールしやすいものが望ましい。そこで、本研究では、一定速度でスクロールする文章をタイピングするディクテーションタスクを採用した [谷 14]。表示するテキストは、参加者の予測を避けるためランダムなアルファベット文字列とし、文字色を緑 ($RGB = (0, 255, 0)$)、文字サイズを 16px とし、25 文字ごとに全角スペースを挿入した。また、文字のスクロール速度は、事前に参加者のタイピング速度を計測し、それに合わせて入力文章の正解率が 80~90% となるよう、参加者毎に 2~6mm/s の範囲で調整を行った。なお、正解率を測定するため、タイピングログを記録した。

§2 実験設定

タスク処理中に PC ディスプレイ上に一定タイミングで表示される PN アイコンに、参加者が気付くタイミングも計測した。実際に用いた PN アイコンを図 3 に示す。PN アイコンの大きさは、 $19.8 \times 7.9\text{mm}$ とし、色を黄色、透明度 75% で表示した ($RGBA = (255, 255, 0, 192)$)。参加者が PN アイコンに気付いたことを知らせるために、タスクのタイピングに干渉しないようにフットスイッチを

図5 実験タスクのテキスト表示ボックスと入力ボックス

踏むよう指示した。タスク処理の様子を図4に示す(赤い円がフットスイッチ)。フットスイッチを踏むとエージェントは非表示状態となる。また、参加者には、タスク処理に集中し、PN アイコンの気付きには意識を向けないようにして、自然にそれに気付いた時にフットスイッチを踏むように教示を与えた。

本実験で、PN アイコンは、PC ディスプレイ画面の中央上、右上、右中央、右下、中央下、左下、左中央、左上の8ヶ所の端のいずれかにランダムに出現し、各位置の出現回数に応じて表示位置を中央方向に移動させた。上下方向はディスプレイ上下端部、左右方向は左右端部より26.4mmを初期表示位置とした。PN アイコンは、フェード表示により出現し(3s)、明度最大で表示され(4s)、フェードアウトで消失(3s)する。そして、非表示待機があり(4s)、次に8ヶ所の出現位置のいずれかにランダム移動、その位置の出現回数 n に応じて、 $5.0 \times n$ mm 中心方向に出現する。この表示を参加者が気付くまで繰り返す。なお、PN アイコンの大きさ、色、表示方法は、PC デスクトップ上にある通常のアイコン(フォルダ、ゴミ箱など)とは容易に区別でき、かつすぐに気付かれることのないように事前に調整しながら決定した。なお、PN アイコンの出現回数は、参加者毎に0にセットされ、実験終了までインクリメントされた。そして、各参加者がPN アイコンを気付いた時のPN アイコンの位置を記録した。

ディスプレイは、現在広く利用されている23インチモニター(三菱電機、Diamondcrysta RDT232WX(BK)、 1920×1280 px)を使用した。実験には、参加者が最も気付きやすい状況をつくり、最小のVFN領域を求めることを目的とし、背景が単色の黒であるdarkroomエディタ^{*2}を利用した。この環境では、最もPN アイコンに気付きやすい状況を作ること、最小のVFN領域を求めることができ、その領域にPN アイコンを置くことで、一般的なデスクトップ背景などの状況においても、PN アイコンがVFN領域にあることが保証されると考える。

タスクに用いるテキスト表示ボックス、入力ボックスは、ディスプレイ中央に視線が向くよう、それぞれディスプレイ中央に配置された。上部に表示ボックスを、下部に入力ボックスを表示し、それぞれのサイズを、 31.8×5.3 mmとした。また、表示ボックスは背景色を黒、入力ボックスはグレー(RGB=(0, 0, 65))とした(図5)。

実験は、タッチタイピングが可能な参加者20名(男性

11名、女性9名、年齢23~52歳、年齢の平均30.0歳、標準偏差8.7)の協力によって実施された。実験は、タスクのみを行う練習フェイズと、タスクとフットスイッチ操作を行う実験フェイズで構成し、練習フェイズは、参加者の入力文章の正解率が一定となるまで複数回、実験フェイズは三回行った。参加者1人に対し、全フェイズで最大6回の気付き位置を測定し、気付きがない場合は、気付きなしとした。

4.3 実験結果

各参加者の気付き位置と、その平均値より求めたVFN領域を図6に示す。原点はディスプレイ中心であり、両軸とも単位はピクセルpxである。気付き位置の座標は、PN アイコンの中心座標であり、エラーバーは標準偏差を表している。青色の実線は、各気付き位置の平均を結んだ領域境界であり、左右両端の青色の領域がVFN領域を表している。ただし、中央上下は分散が大きく、気付く参加者と気付かない参加者が両極端であったことから、上下方向をVFN領域から除外した。中央上下の分散が大きいのは、タイピング中にキーボードを見てしまう参加者がおり、その時に視線が上下動して、PN アイコンに気付く場合が多いことが原因と考えられる。このように、VFN領域モデルが実験的に求められた。

5. 実験2：ペリフェラル通知の評価実験

前節の実験1によりVFN領域モデルが得られたので、次にそのVFN領域を利用してペリフェラル情報通知を実装し、より実環境において、参加者実験により従来通知手法と提案手法の比較を行い、提案手法の有用性を示すために実験2を行う。

5.1 実験設定

比較対象とする従来通知手法は、画面右下端部でメッセージウインドウを用いた通知を行う(図7の右下の小さいバルーン)、ごく一般的に用いられる通知方法とした。この通知は、右端部からスライドインし、メッセージウインドウのサイズは、一般的なバルーン通知の平均的なサイズを用いて、 61.9×19.0 mmとし、色はRGB=(250, 247, 236)とした。以降、この通知方法をスライドイン通知と呼ぶ。

評価実験のタスクレイアウトを図7に示す。タスク環境は、背景をdarkroomから、実環境に近い背景色へと変更し、デスクトップ左上に5つのアイコンを表示した。また、タスクウインドウに加え、英語文章を表示しているPDFビューア、辞書ページを開いているWebブラウザを左右に表示し、実作業に近い環境を再現した。それぞれのウインドウサイズは、 169×230 mm、 132×222 mmとした。タイピングタスクは、一定タイミングでスクロールを停止することで、タスクへの集中力低減を図り、割り込み可能状態を作った。参加者には、スクロール停止

*2 <http://www.codealchemists.com/jdarkroom/>

図6 気付き位置と VFN 領域モデル

図7 評価実験タスクレイアウト

図8 タスク、通知のスケジュールと実験結果

後は作業を中断するよう、事前に教示を与えた。メインタスクでは、タスク終了タイミングを把握するため、特定キーを押してもらった。

5.2 実験手続きと参加者

実験1で実施したフットスイッチによる情報通知の気付きタイミングの計測に加え、割り込みの受理タイミングも計測した。割り込みの受理は、PN アイコン、またはスライドイン通知のメッセージウインドウをクリックすることでを行い、クリック後は通知を非表示にした。この割り込みの受理は、通知情報にアクセスすることを意味する。

割り込みの表示方法は、提案手法では実験1と同様とし、従来法では右下端部から左方向に水平にスライドイン(速度 264.6mm/s)する表示方法とした。PN アイコンの表示位置は、提案手法ではモデル構成実験により求めた VFN 領域境界内の6点($(x, y) = (-794, 469), (-802, 0), (-758, -441), (771, 449), (757, 0), (722, 418)$ 、図7にPN アイコンで位置をプロット)のいずれかからランダムに

決定され、参加者間でカウンタバランスをとった。

実験は、通知方法を提案手法のペリフェラル情報通知、従来法のスライドイン通知の2水準からなる要因とし、1要因2水準の参加者内配置として実施した。2水準の実施順は、参加者間でカウンタバランスをとった。

タスク開始後、まず40秒後に情報通知が行われ(通知1)、80秒後経過したところでタスクが終了する。さらに、105秒後に情報通知(通知2)が行われた。図8に、時間とタスク負荷のグラフと、その上に実験結果をまとめたものを示す。グラフの横軸は、実験中の時間経過で、縦軸はタスク負荷である。なお、心的なタスク負荷の低下時刻が、タスクの終了時刻とずれている可能性はあるが、考えられる妥当な近似メジャーとして、タスクの終了時刻を採用した。なお、図8中の実験結果については、次節で説明する。

実験は、タッチタイピングが可能な参加者18名(男性12名、女性6名、21~49歳、平均年齢28.3歳、標準偏差8.7)の協力を得て実施した。実験フェイズ前には、メ

インタスクのみによるテキストスクロール速度の調整を行った後、実験フェイズの流れを確認する練習フェイズを設けた。なお、本実験ではタイピングログは記録していない。

5.3 評価指標

情報通知に気付いた時刻、情報を受理した時刻、通知に気付いてから受理するまでの時間を評価指標とした。タスクへの干渉がない状態が理想的であり、タスク中には通知に気付かず、受理もしないが、タスク終了後速やかに気付いて受理することが望ましい。

6. 実験結果と解釈

実験結果を図 8 に示す。このグラフ中では、各条件においてユーザが情報通知に気付いた平均時刻と情報を受理した平均時刻をアイコンと矢印で表している。スライドイン (SI) 条件については吹き出しアイコンを、ペリフェラル情報通知 (PN) 条件については人型アイコンで示している。それぞれの条件で、ユーザが情報通知に気付いた平均時刻は白塗りのアイコンで、情報を受理した平均時刻は黒塗りのアイコンを用いている。アイコンの中の数字は、情報通知の順序 (通知 1, 通知 2 の番号) に関するものであり、矢印付近の実数は平均値であり、括弧内の実数は標準偏差である。

また、統計的検定を行った対象間を線で結んでおり、その有意確率 p 値も示している。各検定結果については、図中の丸括弧付きの整数で区別しており、それぞれ以下で詳しく説明する。

図 8 の検定結果 (1) に示すように、高タスク負荷時において通知 1 に気付くまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行ったところ、PN 条件と SI 条件間で有意差が認められ ($t = 6.568, df = 17, p < .01$)、PN 条件のほうが通知に気付くまで時間がかかることが示唆された。通知に気付いた平均時刻は両条件ともタスクが終了する 80s より前であり、タスクへの干渉が示唆される。このように有意差がでた原因は、PN アイコンの表示位置がランダムであり予想しにくいこと、通知アイコンの色、コントラストなどから SI 条件は PN 条件より通知アイコンが見つけやすいことなどが考えられる。

また、参加者ごとのデータをみると PN 条件では、8/18 名がタスク中に気付く、SI 条件では、全員タスク中に気付いている。PN 条件のほうが、タスク終了後に通知に気付く人数は多いため、タスクへの干渉が軽減できる手法だと考えられる。

図 8 の検定結果 (2) は、高タスク負荷時において通知 1 の情報を受理するまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行った結果であり、PN 条件と SI 条件の間に有意差が認められた ($t = 4.779, df = 16, p < .01$)。PN 条件において、情報を受理しなかった 1 名の参加者のデー

タを除外した。この検定の結果、PN 条件の方が情報を受理するまで時間がかかることが示唆される。

平均値をみると、SI 条件ではタスク終了前に受理しているのに対し、PN 条件ではタスク終了後に受理しており、SI 条件ではタスクに干渉しているかたちとなっている。PN 条件では、12/18 名がタスク終了後に情報を受理したが、1 名が不受理であった。SI 条件では、3/18 名がタスク終了後に情報を受理した。PN 条件の方が、タスク終了後に情報を受理する人数が多いため、タスクへの干渉が軽減されていると考えられる。しかし、1 名が情報を受理しておらず、最後まで受理できないリスクが存在する可能性がある。

図 8 の検定結果 (3) では、低タスク負荷時において通知 2 に気付くまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行っており、PN 条件と SI 条件の間に有意差が認められた ($t = 9.020, df = 17, p < .01$)。PN 条件のほうが、通知に気付くまで時間がかかることが示唆される。

図 8 の検定結果 (4) は、低タスク負荷時において通知 2 の情報を受理するまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行ったものであり、PN 条件と SI 条件の間に有意差が認められた ($t = 7.880, df = 15, p < .01$)。PN 条件のほうが、情報を受理するまで時間がかかることが示唆される。この検定では、低タスク負荷時に PN 条件で情報受理しなかった 2 名のデータを除外した。

図 8 の検定結果 (5) では、高タスク負荷時において通知に気付いてから受理するまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行っており、PN 条件と SI 条件の間に有意差が認められた ($t = -2.894, df = 16, p < .05$)。PN 条件の方が通知に気付いてから受理するまで時間が短いことが示唆される。これは、高タスク負荷時においては PN 条件のほうが、情報に気付く、通知内容を気にしながらタスク処理をしている時間が短いことを意味し、その分ストレスが軽減されている可能性がある。なお、この検定では、PN 条件で情報を受理しなかった 1 名のデータを除外した。

図 8 の検定結果 (6) は、低タスク負荷時における通知に気付いてから受理するまでの時間の差について t 検定 (対応あり) を行ったものであるが、PN 条件と SI 条件の間に有意差は認められなかった ($t = -0.199, df = 15, p = 0.845$)。このことから、低タスク負荷時においては、PN 条件と SI 条件の間に気付いてから受理するまでの時間に差はなく、同等だと考えられる。この検定において、PN 条件で情報を受理しなかった 2 名のデータを除外した。

図 8 には示していないが、タスク負荷の違いによる気付くタイミングの変化について比較するために、SI 条件と PN 条件それぞれにおいて、高タスク負荷時における通知に気付くまでの時間と低タスク負荷時における気付くまでの時間の差 ($|(\text{気付く 1 回目の時刻} - 40) - (\text{気付く 2 回目の時刻} - 105)|$) を求めて t 検定 (対応あり) 行っ

たところ、有意差が認められた ($t = -4.488$, $df = 17$, $p < 0.01$)。PN 条件は、SI 条件よりも平均値が大きく、タスク負荷の高低に応じて柔軟に気付くまでの時間を変化できる通知手法だと考えられる。

以上の検定結果を踏まえると、提案手法は、従来手法と比較したとき、タスク負荷が高いときにはユーザに気付かれにくく、タスク負荷が低いときには気付かれやすい手法だと考えられる。また、タスク負荷が低くなるまで情報受理を遅延して、タスクへの干渉を軽減できる。さらに、タスク負荷が低いときにおいても、情報を受理するまでの時間は従来手法と比較してわずかに遅れている程度であり、実用的に問題ない範囲だと考えられる。

7. 考 察

7.1 モデル構成実験の妥当性と評価指標について

モデル構成実験において、すべての参加者で少なくとも 1 か所は表示に気付かない位置が確認されたことから、VFN の発生が観測されたと言える。しかし、各参加者の気付きのタイミングに、ばらつきがあったことは否めない。特に、中央上下方向において、その傾向が強く表れた。前に少し触れたように、これはタイピング時に手元を見てしまった場合に、上下方向の視線の動きが発生し、表示に気付いたことが原因と考えられる。

また、一回目の気付き以降は、周囲に対し注意を向ける傾向にあり、それが気付き位置のばらつきの原因の一つであると考えられる。ただし、上記の問題が発生した参加者が少数に留まっていることから、モデル構成実験は適切に実施され、求めた VFN 領域は妥当なものであると考えられる。

今回用いた気付きと受理のタイミングに基づく評価指標 (5.3 節) 以外にも、情報通知がユーザのタスク処理のパフォーマンス (タイピングの正確さや速度 [三好 06]) に与える影響を考慮することが考えられるが、今回はそのようなパフォーマンスは調査対象にしていない。その理由として、タイピングの精度や速度のパフォーマンスに影響を与える要因として考えられる、通知内容を読んで理解するタスクや受理に必要な複雑な操作が、実験 2 には含まれていないことがあげられる。また、タイピングを遅くしたり、あるいは停止して、通知を待つような行動がパフォーマンスに影響を与える可能性があるが、そのような行動をとらないようにするために、タスク処理に集中するように参加者には教示してあることも理由である。しかしながら、今後通知内容を読む設定の実験を行う場合には、通知がタイピングのパフォーマンスに影響を与える可能性があるため、調査すべきであると考えられる。

7.2 PN アイコンのデザイン

本研究では、PN アイコンを図 3 のように設計し、それを用いて、2 つの実験を行っている。よって、これらの実験の結果、およびそこから得られる知見は、今回使われた情報通知アイコンの外見と挙動に依存しており、どの程度の一般性を持つのかの議論は難しい。しかしながら、ある一つの典型的な外見と挙動をもつ PN アイコンを用いた実験により、実際に VFN 領域モデルが構成し、ペリフェラル情報通知の有効性が示した本研究の意義は大きいと考える。

ペリフェラル情報通知を効果的に実装するためには、PN アイコンの外見と挙動をどのように設計すればいいのか、また外見と挙動を変えることでどのような効果が生じるのかについて、実験的に調査することは今後の課題である。

7.3 ユーザの視点位置、頭部位置の変化への対応と本手法の適用範囲

VFN 領域はユーザのディスプレイ上での視点をパラメータとして位置が決まるので、その視点の位置が移動するに伴い、VFN 領域も移動すると考えられる。よって、VFN 領域の位置は、タスクおよびウィンドウの種類、位置の変更に直接は依存しないため、タスクやウィンドウ毎に VFN 領域のモデルを用意する必要はないと考えられる。

我々の VFN 領域モデルは、視点をパラメータとして水平方向に平行移動することを想定しており、実験では視点をディスプレイ中央の比較的狭い領域に制約しているが、もし水平方向に大きく視点が移動する場合は、カーソル位置、マウスカーソル位置、あるいは Web カメラなどにより視点位置を推定し、実験での文字入力領域から視点が水平方向にずれた分だけ VFN 領域を平行移動することで対応可能と考える。なお、この際、例えば、ディスプレイの右端に視点がある場合、その視点位置よりさらに右にある右側の VFN 領域は、ディスプレイの外になってしまうため、反対側の視点の左にある左側の VFN 領域を利用することで対処できると考えられる。なお、上下方向の視点移動については、図 6 のように VFN 領域がディスプレイ内の上下方向にはないため、考慮する必要がないと考えられる。

一方、実験では 50cm 前後にコントロールされていたユーザの頭部位置も、実環境では大きく変化することが考えられる。例えば、椅子をリクライニングにしてディスプレイを見つめるような場合は、頭部位置とディスプレイの距離は大きくなる。VFN 領域は、網膜偏心度で表現されるので (3.1 節)、ディスプレイとユーザの頭部の距離が大きくなると、VFN 領域も大きくなり左右に離れ、その距離が小さくなると逆の変化が予想される。残念ながら、現在の VFN 領域モデルは、この距離が大きく変化する場合に対応が難しい。この問題への対応は、VFN 領

域モデルをユーザ頭部とディスプレイの距離をパラメータとしてもつように改良し、Microsoft Kinect などによりユーザの姿勢を測定して対応することが考えられるが、ユーザ頭部の位置変化、回転については木村らの先駆的研究 [木村 11] により様々な知見が得られているため、それらの知見の利用も含めて、今後の課題とする。

また、ペリフェラルディスプレイと同様に、提案方法は、ユーザが PC ディスプレイを注視するタスク般に適用可能である。しかしながら、PC ディスプレイの注視を伴わないタスク（一般の物理的作業、思考のように注視自体が必要のないタスクなど）には基本的には適用が難しい。一方、VFN 領域に関しては、加齢によりユーザの周辺視野が狭くなることが知られており [三浦 05]、ユーザの年齢に対する VFN 領域の対応も合わせて今後の課題である。

8. ま と め

本論文では、人間の認知特性を利用するインタラクションデザイン方法である周辺認知テクノロジー PCT を提案し、その実装型として、ユーザの状態推定を行うことなく、作業を妨害しないように通知を行うペリフェラル情報通知を開発した。まず、モデル構成実験により VFN 領域の特定し、次に現実的な環境における従来の通知方法との比較実験による性能評価を行った。

モデル構成実験により、タイピングタスク中に VFN の発生を確認し、具体的な VFN 領域モデルを構築した。スライドインする従来の情報通知法と実際の環境においての比較実験を行い、その結果を統計的に分析したところ、提案方法は従来方法と較べて、タスク負荷が高いときにはユーザに気付かれにくく、タスク負荷が低いときには気付かれやすいというよい性質を持つことが示唆された。さらに、タスク負荷が低くなるまで情報受理を遅延して、タスクへの干渉を軽減できるメリットも示された。加えて、情報通知以外の様々な分野への PCT の適用、PN アイコンのデザインの設計指針の開発などについて考察を行った。

謝 辞

本研究の一部は、文科省科研費新学術領域研究「認知的デザイン学」(No.26118005)、JSPS 科研費挑戦的萌芽研究 (No.24650071) の助成を受けたものである。記して感謝いたします。

◇ 参 考 文 献 ◇

[Bailey 06] Bailey, B. and Konstan, J.: On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state, *Computers in Human Behavior*, Vol. 22, No. 4, pp. 685–708 (2006)

[Cavanaugh 04] Cavanaugh, J. and Wurtz, R. H.: Subcortical Modulation of Attention Counters Change Blindness, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 24, No. 50, pp. 11236–11243 (2004)

[Costanza 06] Costanza, E., Inverso, S. A., Pavlov, E., Allen, R., and Maes, P.: eye-q: eyeglass peripheral display for subtle intimate notifications, in *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Mobile HCI'06)*, pp. 211–218 (2006)

[Crundall 99] Crundall, D., Underwood, G., and Chapman, P.: Driving experience and the functional field of view, *Perception*, Vol. 28, pp. 1075–1087 (1999)

[Epp 11] Epp, C., Lippold, M., and Mandryk, R. L.: Identifying emotional states using keystroke dynamics, in *Proceedings of ACM CHI 2011 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'11)*, pp. 715–724 (2011)

[Fogarty 05] Fogarty, J., Hudson, S. E., Atkeson, C. G., Avrahami, D., Forlizzi, J., Kiesler, S., Lee, J. C., and Yang, J.: Predicting human interruptibility with sensors, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 12, No. 1, pp. 119–146 (2005)

[Iqbal 08] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Effects of intelligent notification management on users and their tasks, in *Proceedings of ACM CHI 2008 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'08)*, pp. 93–102 (2008)

[Iqbal 10] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Oasis: A framework for linking notification delivery to the perceptual structure of goal-directed tasks, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 17, pp. 15:1–15:28 (2010)

[Jaimes 06] Jaimes, A.: Posture and activity silhouettes for self-reporting, interruption management, and attentive interfaces, in *Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'06)*, pp. 24–31 (2006)

[Kim 10] Kim, T., Hong, H., and Magerko, B.: Design requirements for ambient display that supports sustainable lifestyle, in *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS'10)*, pp. 103–112 (2010)

[木村 11] 木村 和行, 田中 貴紘, 藤田 欣也: 頭部の前後・回転運動に着目したデスクワーク中の割り込み拒否度と頭部運動の関係の分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 4, pp. 1485–1494 (2011)

[Kobayashi 13] Kobayashi, K. and Yamada, S.: Shape Changing Device for Notification, in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'13)*, pp. 71–72 (2013)

[Mark 05] Mark, G., Gonzalez, V. M., and Harris, J.: No task left behind?: examining the nature of fragmented work, in *Proceedings of ACM CHI 2005 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'05)*, pp. 321–330 (2005)

[Matthews 06] Matthews, T., Czerwinski, M., Robertson, G., and Tan, D.: Clipping lists and change borders: improving multitasking efficiency with peripheral information design, in *Proceedings of ACM CHI 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06)*, pp. 989–998 (2006)

[McCrickard 01] McCrickard, D. S., Catrambone, R., and Stasko, J. T.: Evaluating Animation in the Periphery as a Mechanism for Maintaining Awareness, in *Proceedings of the IFIP TC.13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'01)*, pp. 148–156 (2001)

[McCrickard 03a] McCrickard, D. S. and Chewar, C. M.: Attuning notification design to user goals and attention costs, *Communications of the ACM*, Vol. 46, pp. 67–72 (2003)

[McCrickard 03b] McCrickard, D. S., Czerwinski, M., and Bartram, L.: Introduction: Design and Evaluation of Notification User Interfaces, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 58, No. 5, pp. 509–514 (2003)

[三浦 05] 三浦 利章, 石松 一真: 高齢者の認知機能 - 視覚的注意・有効視野を中心として -, 老年精神医学雑誌, Vol. 16, No. 7, pp. 785–791 (2005)

[三好 06] 三好 史隆, 倉本 到, 渋谷 雄, 辻野 嘉宏: タスク集中度と認知時間を指標とした周辺表示法の評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J89-A, No. 10, pp. 831–839 (2006)

[Rensink 97] Rensink, R. A., O'Regan, J. K., and Clark, J. J.: To See or not to See: The Need for Attention to Perceive Changes in Scenes, *Psychological Science September*, Vol. 8, No. 5, pp. 368–373 (1997)

[Simons 99] Simons, D. J. and Chabris, C. F.: Gorillas in our midst:

sustained inattention blindness for dynamic events, *Perception*, Vol. 28, pp. 1059–1074 (1999)

[Stafford 04] Stafford, T. and Webb, M.: *Mind Hacks -Tips & Tricks for Using Your Brain-*, O'Reilly Media (2004)

[田中 10] 田中 貴紘, 松村 京平, 藤田 欣也: 利用アプリケーション切り替え時に着目したユーザの割り込み拒否度推定法の検討, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 683–693 (2010)

[田中 12] 田中 貴紘, 藤田 欣也: 割り込み拒否度推定に基づくアンビエント情報提示による円滑なインタラクション開始支援, 日本知能情報ファジィ学会論文誌, Vol. 24, No. 5, pp. 921–932 (2012)

[谷 14] 谷 亮尚, 山田 誠二: 机上にかかる圧力を用いたユーザ状態推定, 人工知能学会論文誌, Vol. 29, No. 1, pp. 129–136 (2014)

[Vastenburg 08] Vastenburg, M. H., Keyson, D. V., and Ridder, H.: Considerate home notification systems: a field study of acceptability of notifications in the home, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 12, No. 8, pp. 555–566 (2008)

[Williams 85] Williams, L. J.: Tunnel vision induced by a foveal load manipulation, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 27, No. 2, pp. 221–227 (1985)

[Williams 95] Williams, L.: Peripheral target recognition and visual field narrowing in aviators and nonaviators, *International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 5, No. 2, pp. 215–232 (1995)

[山田 07] 山田 誠二 (監著): 人とロボットの<間>をデザインする, 東京電機大学出版局 (2007)

[山田 13a] 山田 誠二, 寺田 和憲, 小林 一樹: 人を動かす HAI デザインの認知的アプローチ, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 256–263 (2013)

[Yamada 13b] Yamada, S., Mori, N., and Kobayashi, K.: Peripheral agent: implementation of peripheral cognition technology, in *CHI'13 Extended Abstracts*, pp. 1701–1706 (2013)

[Zhang 05] Zhang, L., Tu, N., and Vronay, D.: Info-lotus: a peripheral visualization for email notification, in *CHI'05 Extended Abstracts*, pp. 1901–1904 (2005)

〔担当委員: 大澤 博隆〕

2014 年 6 月 7 日 受理

著者紹介

山田 誠二 (正会員)

1984 年大阪大学基礎工学部卒業。1989 年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。1989 年大阪大学基礎工学部助手。1991 年大阪大学産業科学研究所講師。1996 年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002 年国立情報学研究所教授、現在にいたる。HAI ヒューマンエージェントインタラクション、知的インタラクティブシステムに興味をもつ。AAAI, IEEE, ACM, 情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。

森 直樹

2011 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。2013 年東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻修了。現在、富士フイルムコンピュータシステム株式会社に勤務。

小林 一樹 (正会員)

2000 年茨城大学卒業。2002 年同大学院修了。2006 年総合研究大学院大学修了。博士 (情報学)。同年関西学院大学博士研究員。2008 年信州大学助教。2013 年より同大学准教授。ヒューマンロボットインタラクション、ヒューマンエージェントインタラクション、環境情報センシングに関する研究に従事。ACM, 電子情報通信学会、農業情報学会、ヒューマンインタフェース学会、日本ロボット学会、日本知能情報ファジィ学会各会員。