

Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction

Daniel C. McFarlane

Human-Computer Interaction — INTERACT'99, Angela Sasse & Chris Johnson (Ed.), IOS Press, 295-303, 1999

1 INTRODUCTION

- コンピュータ技術の発展により、人間の介入を許容するシステムが実用的になった
 - 他方、人の認知機能は発展してきていない
 - これらの技術は人間の認知機能の限界と対立し、負の側面をもたらす可能性がある
- 電話を用いたマルチタスクは有用で自然だが、ユーザは一定の妨害を避けることができない
 - インテリジェント・システムも同様で、システムがバックグラウンドで作業を行っていても、ユーザによる妨害があれば、ユーザとのやり取りを開始しなければならない
- 妨害により認知機能が制約され、問題が発生した例：ノースウェスト航空の事故¹
 - 管制官からの地上走行についての指示が一新されたことと、風が急激に強まっているという警告に妨害され、事前のフラップ調整を忘れてしまった
 - 離陸直後に緊急警報が鳴ったが、その原因を風と誤って判断したことから事故が発生
- 人間の認知機能に合った、安全な妨害を許容するユーザインタフェースのデザインが必須

2 BACKGROUND

- Zeigarnik Effect (Van Bergen 1968)：完了していない課題は完了した課題より詳細を想起しやすい
 - 反論する研究も確かに存在するが、以下の2点は一般に認められている
 - > 人間の行動は妨害の影響を受ける
 - > 人間の妨害には複雑な処理が絡む
- 人間の妨害に関する問題について、大きく8つの要素が分類されている (McFarlane 1997, McFarlane 1998)
 - 3つめの「調整方法 (Method of Coordination)」は、いつ妨害をすべきかについて、4つの方法を挙げている
 - > (1) 即時解決 (immediate)
 - > (2) 交渉解決 (negotiated)

¹ 国家運輸安全委員会 (NTSB) 1988 年報告より

- > (3) 仲介解決 (mediated)
- > (4) 計画解決 (scheduled)
- これらの方法を個別に検討した研究はあるが、4つを比較した研究はない

3 APPROACH

- ユーザの妨害を調整する4つの方法について、一般的な文脈で強み／弱みを検討する
 - (1) 即時解決 妨害についてすぐに対応しなければならない
 - (2) 交渉解決 妨害の必要性を伝えられた上で、妨害のタイミングを自分で調整できる
 - (3) 仲介解決 現在の状況に合わせて、仲介者が妨害のタイミングを調整してくれる
 - (4) 計画解決 定期的に妨害が行われる

- 4つの調整方法について、先行研究から以下のことが明らかになっている
 - (1) 即時解決：妨害を受けた課題の再開直後に成績低下が見られる (Ballas et al. 1992)
 - > 対策として、妨害された課題の強調や注意喚起 (Davies et al. 1989)、再開を促すツールの利用 (Field 1987) が挙げられる
 - (2) 交渉解決：妨害に対する交渉には以下の4つの反応が考えうる (Clark, 1996)
 - > (2-1) 完全に従順 (take-up with full compliance)
 - * 交渉にかかる負荷が不当な場合は、妨害を受け入れる (Katz, 1995)
 - > (2-2) 代替案に擦り寄る (take-up with alternation)
 - > (2-3) 拒否 (decline)
 - > (2-4) 翻し (withdraw)
 - (3) 仲介解決：妨害問題を仲介者に委託することにより、仲介者の監視という新たな課題が生じるが (Kirlik 1993)、仲介を行うには主に5つの手段がある
 - > (3-1) 妨害可能性を予測する (Miyata & Norman 1986)
 - > (3-2) 監視課題用にインテリジェント・ユーザインタフェースを実装する
 - > (3-3) 動的な課題割り当てについて、ユーザの負荷を自動的に計算する
 - > (3-4) 監視制御用に人間の要素技術を適用する
 - > (3-5) やり取りを円滑に行うために認知モデルを用いる
 - (4) 計画解決：いつ妨害されるかの予想できるため、時間管理による対処が可能となる

- ユーザインタフェースの問題を解決するため、どの調整手段が選ばれるかは重要であると思われる
 - もし重要だとしたら、それぞれの強み／弱みを比較する意義がある
- ユーザインタフェースで妨害を調整する方法があれば、コンピュータ上のマルチタスクの成績を向上させられるかもしれない

4 METHOD

- コンピュータ上に、調整手段に基づく4つのユーザインタフェースを実装

4.1 Subjects

- 参加者 36 名
 - 事前アンケートにおいて、大半はコンピュータ上で何らかの課題を行った経験あり
 - 年齢、人種、タイピングスキル、ゲーム経験、妨害に対する脆弱性の統制は行っていない

4.2 Design

- 1 要因 参加者内実験
 - 6 条件 (4 実験条件, 2 統制条件)
 - > 実験条件 McFarlane (1997), McFarlane (1998) の4つの調整方法に基づくマルチタスク課題
 - > 統制条件 シングルタスク課題
 - 独立変数: ユーザインタフェースの種類 (妨害の調整方法)
 - 従属変数: 課題の成績
- 1 参加者は 6 条件×4 試行の全 24 試行の課題を実施 (合計で約 2 時間)
 - > 1 試行 4 分 30 秒, 試行間に最短 25 秒の休憩
 - > 最初の 12 試行が練習フェーズ, 続く 12 試行が実験フェーズ

4.3 Multi-task

- 今回の実験に向けて、妨害操作のできるマルチタスク課題をコンピュータ上に作成
 - 内的妥当性のため、完全に現実的な題材ではなく、抽象的な題材にした
 - 外的妥当性のため、極度に単純化／“殺菌”された課題ではなく、適度に複雑な課題にした
- 課題は、現実の警察の緊急派遣オペレータ、航空レーダーオペレータを参考にしている
 - 複数の課題は重なることもあり、すべての課題を継続的に見なければならぬ
 - また、リーダーからの情報提供依頼による妨害も受容しなければならない
- 実験課題は、継続的に行うゲーム課題 (被妨害課題) と断続的に行うマッチング課題 (妨害課題) で構成
- ゲーム課題では、担架を運搬するキャラクターを操作し、ビルから落ちてくるジャンパーを受け止めることが求められた (Figure 1)
 - 任天堂の Game & Watch “Fire” (1980 & 1981) を参考に
 - 3 回それぞれ位置を変えてキャッチすれば成功 (1 ジャンパーの救助: 16.9 秒)

- パイロットテストを通して、1 試行あたり 59 ゲームが適切と判断

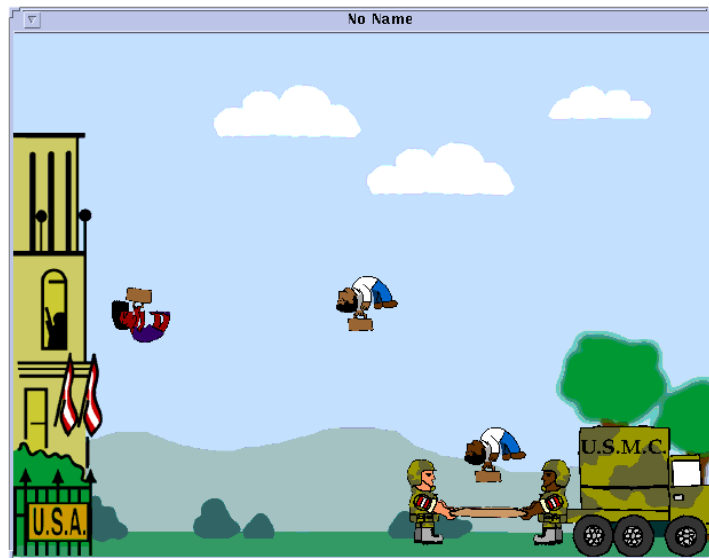


Figure 1. Game Task.



cf. Game & Watch "Fire" (<http://www.gameandwatchnow.com/mygames.php?modelno=FR-27>)

- 妨害課題のマッチング課題では、色または形が一致する図形を選択することが求められた (Figure 2)
 - ストループテストを参考に
 - 画面上部に1つの図形、下部に2つの図形、中央に教示が表示
 - "Match by color"または"Match by shape"という教示に従い、下部の図形のいずれかを選択
 - パイロットテストでは、2時間30分間の過剰学習でも自動処理に至らなかった
 - パイロットテストから、1試行あたり80問が適切と判断
- 各課題は互いに独立
 - マッチング課題は先入先出 (first-in-first-out) で行うため、妨害課題が妨害されることはない
- ゲーム課題とマッチング課題のスケジュールは、予測できないようランダムに統制

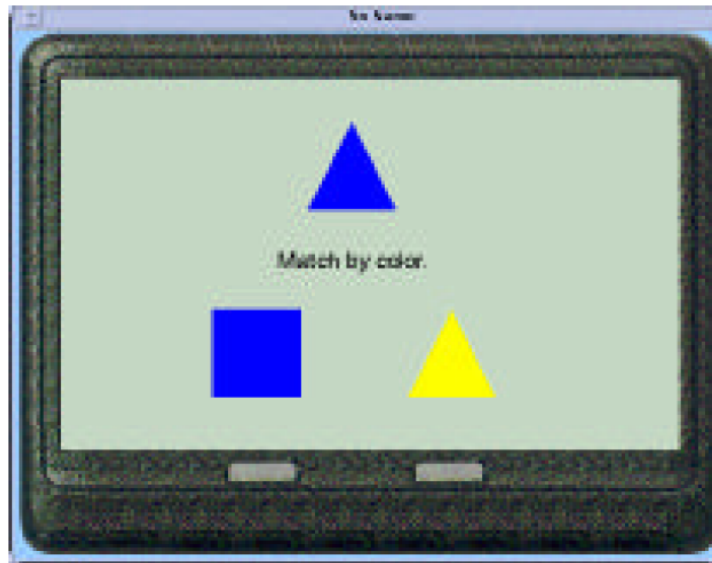


Figure 2. Matching Task.

4.4 Treatments

- 片手で操作できるキーボード上の6つのキーを使用 (Figure 3)
 - Home / End キーは交渉条件のみで使用



Figure 3. Keys used for performing the experiment.

- マッチング課題はゲーム課題よりも前面に表示
 - ゲーム課題は背面に隠れて見えなくても動作し続ける
 - マッチング課題が始まると、すべて終わるまでゲーム課題は再開できない (交渉条件を除く)
- 1参加者は下記6条件をそれぞれ4試行実施 (全24試行)
 - (1) ゲーム条件 ゲーム課題のみ実施
 - (2) マッチング条件 マッチング課題のみ実施
 - (3) 即時条件 ゲーム課題の状態に関わらず、マッチング課題が前面に提示
 - (4) 交渉条件 マッチング課題の出現を示す150ミリ秒の黒点減の後、ゲーム課題が再開
Home / End キーでマッチング課題の画面を前面 / 背面に移動できる
 - (5) 仲介条件 ゲーム画面上のジャンパーが多いときはマッチング課題が留保される
 - (6) 計画条件 25秒ごとにマッチング課題に切り替わる

4.5 Apparatus

- 640×480 ピクセルのウィンドウを画面左上に表示

4.6 Procedure

- 事前に行った色知覚テストに合格した参加者に、マルチタスクと全条件の説明の教示を行った
 - ゲーム課題とマッチング課題の重要度は同じ
 - 教示は実験中いつでも読み返すことができる
- 各試行の開始前には、次にどの条件を行うかが画面に表示された

5 RESULTS

- 課題成績の指標として、以下の6つを用いる（練習試行は対象外）
 - (1) ゲーム課題のジャンパー救出数 (jumper saved)
 - (2) ゲーム課題とマッチング課題の切替回数 (task switches)
 - (3) マッチング課題の誤答数 (matched wrong)
 - (4) マッチング課題の誤答率 (% m. wrong done)
 - (5) マッチング課題の未答数 (matches not done)
 - (6) マッチング課題の表示開始から正答／タイムアウトまでの時間 (avg. match age)
- 切替回数、未答数、正答／タイムアウト時間は、参加者が直接操作できない値であるため、従来の意味での従属変数ではない（交渉条件を除く）
 - しかしこの制約は各条件への適応と強く結びついており、4条件それぞれが参加者に対して異なる影響を与えていたことから、従属変数として捉えることは適切である
- 実験で得られた6つの指標の値を Figure 4 に示す
 - 参加者内の順序について、ノンパラメトリックな Friedman の二元順序検定を行った
 - > 条件間の変数の分散に一貫性がないため、パラメトリックな検定は不可

5.1 Overall Effects of Interruption

- 妨害の調整方法による影響を検討する前に、まずは妨害の全体的な影響について検討する
 - シングルタスクの2条件をベースとして分析
- 各指標について、ベースとその他4条件の比較を行った (Table 1)
 - 全指標でベースとの間に有意差があり、妨害による影響を受けていたことが分かった
- さらに、各条件間について Friedman の下位検定を実施した (Table 2)

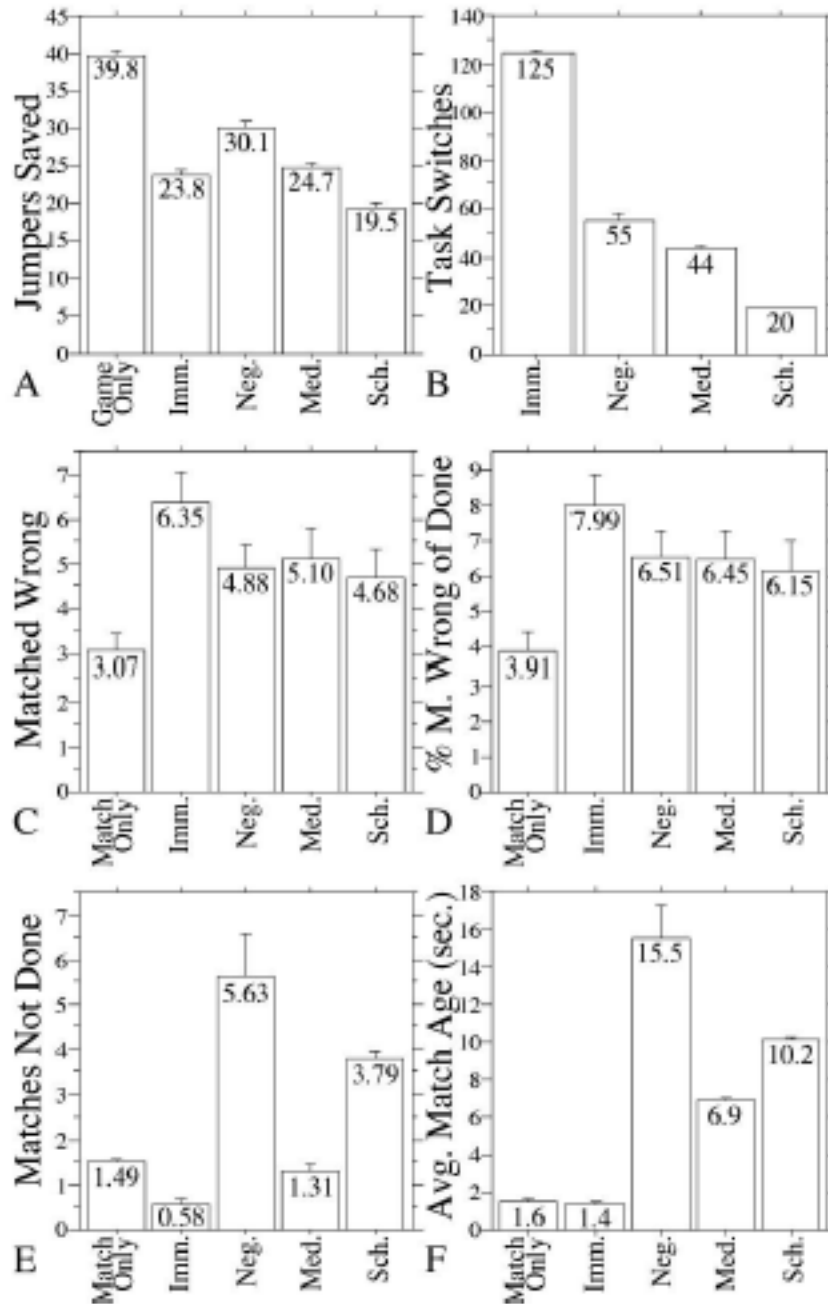


Figure 4. Average scores for 6 performance measures on experimental data. The bar charts show the mean with error bars that depict one standard error. There were 59 jumpers on the game task, and 80 matches on the matching task. Trials lasted 4.5 minutes. The abbreviations are: Imm. (immediate); Neg (negotiated); Med. (mediated); and Sch. (scheduled).

Table 1 — Comparison to Base Cases

| Performance meas. | base case | F_r | p | $p < \alpha$ |
|--------------------|----------------------------|---------|---------|--------------|
| jumpers saved | game only | 120.410 | < .0001 | YES |
| task switches | [no appropriate base case] | | | |
| matched wrong | match only | 39.627 | < .0001 | YES |
| % m. wrong of done | match only | 32.911 | < .0001 | YES |
| matches not done | match only | 65.960 | < .0001 | YES |
| avg. match age | match only | 117.956 | < .0001 | YES |

Table 2 — Post-Hoc Comparison to Base Cases

| Performance measure | Base case | base & Imm. | base & Neg. | base & Med. | base & Sch. |
|---------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| jumpers saved | game only | YES | YES | YES | YES |
| task switches | [no appropriate base case] | | | | |
| matched wrong | match only | YES | YES | YES | no |
| % m. wrong of done | match only | YES | YES | YES | YES |
| matches not done | match only | YES | no | no | YES |
| avg. match age | match only | no | YES | YES | YES |

5.2 Effects of Different Interruption Coordination Methods

- 調整方法の異なる4条件について、Friedmanの検定を行った (Table 3)
 - 全指標で有意差が見られ、調整方法の違いが成績に影響を与えていたことが分かった

Table 3 — Analysis of Experimental Conditions

| performance measure | F_r | p | $p < \alpha$ |
|---------------------|--------|---------|--------------|
| jumpers saved | 72.263 | < .0001 | YES |
| task switches | 87.000 | < .0001 | YES |
| matched wrong | 17.599 | .0005 | YES |
| % m. wrong of done | 10.267 | .0164 | YES |
| matches not done | 53.034 | < .0001 | YES |
| avg. match age | 78.100 | < .0001 | YES |

- さらに、各条件間についてFriedmanの下位検定を実施した (Table 4)
 - Figure 4で見られる傾向と方向性は概ね一致
 - ただし、未答数 (Figure 4E) と正答/タイムアウト時間 (4F) における、交渉条件-計画条件間 (Neg. & Sch.) に有意差はない
 - > 交渉解決の方法に参加者間で大きなばらつきがあったため
 - > Figure 4の値はパラメトリックデータだが、統計分析は順序データで行ったため

Table 4 — Post-Hoc Analysis of Main Effect

| Performance measure | Imm. & Neg. | Imm. & Med. | Imm. & Sch. | Neg. & Med. | Neg. & Sch. | Med. & Sch. |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| jumpers saved | YES | no | YES | YES | YES | YES |
| task switches | YES | YES | YES | no | YES | YES |
| matched wrong | YES | YES | YES | no | no | no |
| % m. wrong of done | no | no | YES | no | no | no |
| matches not done | YES | no | YES | no | no | YES |
| avg. match age | YES | YES | YES | no | no | YES |

5.3 Interpretation and Guidelines

- 妨害により影響を受けることは示せたが、どの調整方法が最も良いかを示すことはできなかった
 - 代わりに、4つの調整方法の間のトレードオフと成績への影響を以下に示す
- 交渉解決は、いくつかの点で非常にうまくいっていた
 - ジャンパー救助数が最も多く、誤答数は他と同程度で、即時解決より切替回数が少なかった
 - 一方、完全さ（未答数）と迅速さ（正答／タイムアウト時間）に資源を向けることは困難だった
- 誤答率の結果から、交渉解決は誤答の罰を受けていないことが分かる
 - 誤答率がそれほど低くないのは、単純に取り組んだ問題数が少ないため
- 交渉解決における妨害への対応の遅さは、慎重に行っていたというよりむしろ先延ばしによるもの
- 即時解決は、交渉解決とはほぼ逆の傾向を見せた
 - 未答数と正答／タイムアウト時間において、最も良い成績を取めた
 - 一方、負荷の高さから、ジャンパー救助数、誤答数、切替回数の成績は良くなかった
- 計画解決は、切替回数が最も少なかったが、他の成績は芳しくなかった
- 仲介解決は、すべてにおいて可もなく不可もなかった
- 今回の結果だけでは、ユーザインタフェースの方針策定に必要な外的妥当性は示すことができない
- しかし、以下の点については一般化できるだろう
 - (1) 交渉によりうまく立ち振る舞えるが、交渉の権限を与えてしまうと妨害を適時に対応しなくなる
 - (2) 妨害を即座にするよう強制された場合、すぐに対処はできるがミスが増え、全体の効率が下がる
- 一般化できず、推測にすぎないことを承知の上で、暫定的なユーザインタフェースの方針を以下に示す
 - (1) 連続的な課題における正確性において、交渉解決が最良で、計画解決が最悪である

- (2) 課題切替の発生頻度において、計画解決が最良で、即時解決が最悪である
- (3) 断続的な課題における正確性において、即時解決が最悪である
- (4) 断続的な課題における完全性において、即時解決と仲介解決が最良である
- (5) 断続的な課題における迅速性において、即時解決が最良である

(参考)

Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction

Daniel C. McFarlane

Human-Computer Interaction, Vol. 17, No. 1, 63-139, 2002

Figure 16. Overall best and worst: Tentative design guidelines.

| Design Goal | Best | Worst |
|---|----------------------|----------------------|
| Accuracy on continuous task | Negotiated | Scheduled |
| Efficiency on continuous task | Negotiated/Mediated | Immediate/Scheduled |
| Fewest task switches | Scheduled | Immediate |
| Accuracy on intermittent task | Not Immediate | Immediate |
| Completeness on intermittent task | Immediate/Mediated | Scheduled/Negotiated |
| Promptness on intermittent task | Immediate | Scheduled/Negotiated |
| Efficiency on intermittent task | Negotiated/Scheduled | Immediate |
| Keying accuracy | Negotiated/Scheduled | Immediate |
| User preference | Negotiated/Mediated | Immediate/Scheduled |
| User perception of their own accuracy on continuous task | Not Immediate | Not Negotiated |
| User perception of least interruptive | Negotiated/Mediated | Immediate/Scheduled |
| User perception of most predictable | Scheduled/Negotiated | Immediate/Mediated |
| User perception of complexity of continuous task when interrupted | Negotiated/Mediated | Immediate/Scheduled |