

## Factors affecting performance on a target monitoring task employing an automatic tracker

Mcfadden, S. M., Vimalachandren, A, & Blackmore, E.

Ergonomics, Vol. 47, No. 3, pp. 257 – 280. (2004)

### Introduction

- 近年の自動化システムは、人間よりも多くのデータを扱う
- 人間の役割の変化
  - 人間が課題を行う ⇒ 人間は自動化システムが処理したデータを管理
- AT(Automatic tracker)
  - センサーによってターゲット(船, 潜水艦など)を追跡するシステム
    - ◇ センサリングの範囲が狭ければターゲットを見落とす
    - ◇ センサリングの範囲が広ければ誤ったターゲットを検出する恐れ
      - オペレータが対処する必要
- 先行研究で扱われた自動化システムと AT との違い
  - これまでの研究では、飛行機の操縦やプロセス制御の自動化システムが扱われてきた
    - ◇ 完全自動か完全手動の切り替え
    - ◇ 自動化システムのエラーが稀
  - AT
    - ◇ あるターゲットは手動で追跡して、他のターゲットは自動で追跡することが可能
    - ◇ ターゲットの特徴によってセンシングや追跡の精度が変化
- 先行研究の検討内容
  - なぜオペレータは自動化システムの監視に失敗するのか  
(Norman, 1990; Parasuraman et al., 1993, 1996)
- 明らかになった理由
  - Complacency, 手動操作経験の不足, Vigilance
- Complacency
  - 不適切な自動化システムの監視
    - ◇ 自動化システムへの信用が関連しているといわれている
    - ◇ 信用と作業負荷など他の要因が組み合わさって Complacency は生じる  
(Parasuraman et al. 1993; Singh et al., 1993)
- 手動操作経験の不足
  - 自動化システムへの理解が浅くなる
    - ◇ Active operator よりも Passive monitor である場合
      - 自動化システムが今何をしているか、この先何をするかという理解が浅い  
(Kessel & Wickens, 1982; Endsley & Kiris, 1995)

- **Vigilance**
  - 時間経過に影響を受けずに検出率を一定に保つ能力
    - ◇ 古典的研究では, **vigilance** の低下は課題開始から数分で現れると示されている (Parasuraman, 1987)
- 今回の研究
  - 課題に AT を使用した場合に先行研究と同様の結果が得られるか検討
    - ◇ 実験 1 : 手動操作経験, **Complacency** について検討
    - ◇ 実験 2 : **Vigilance** について検討

## Experiment 1

- 手動操作の経験, **Complacency** について検討

## Method

### Participants

- 参加者
  - 24名(女性 14名, 男性 10名, 平均年齢 26歳)
  - ◇ 本研究の課題や AT システムを使用した経験なし

### Tasks

- AT システム(Figure 1)

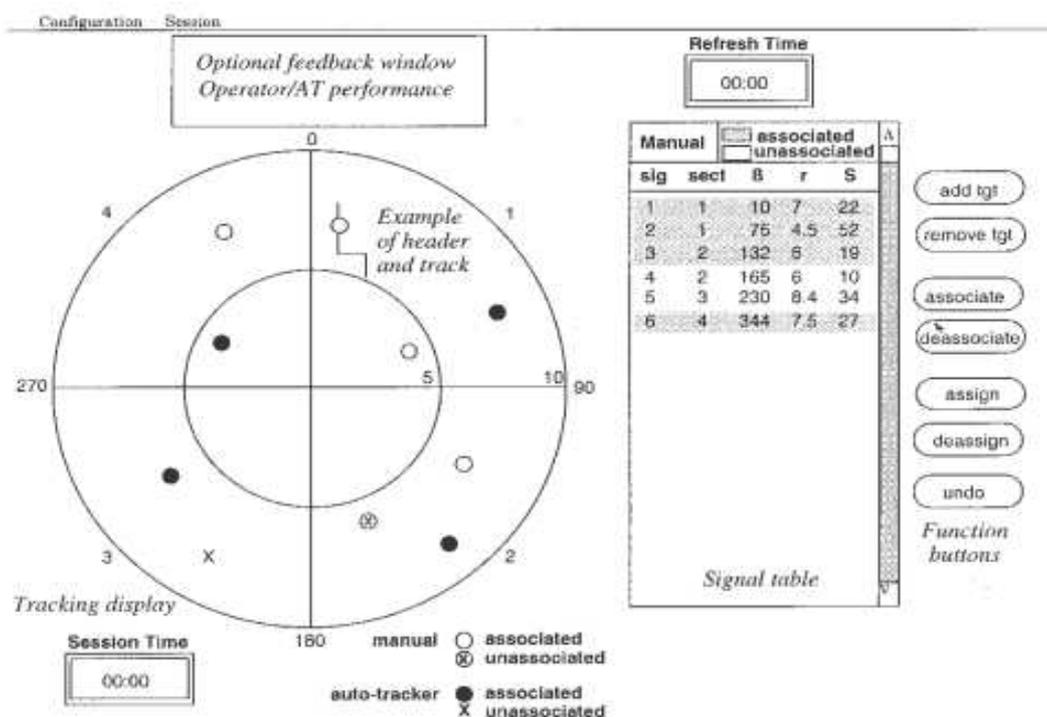


Figure 1. Schematic of the display for the Automatic Tracking Simulation (ATS) system. The 'X' for the unassociated automatic tracker marker appears as a white X in a black circle in the actual display. Sect refers to sector,  $\beta$  to bearing or direction, r to radius or distance from own ship and S to strength of the signals in the signal table. The numbers 1-4 are sector labels and the numbers 5 and 10 distance markers.

- 表示される情報に従ってターゲットとターゲットの信号とを対応づける
  - **Signal display**
    - ◇ sig : シグナルの番号(1-n)
    - ◇ Sect : ターゲットの位置. どの区分に位置しているか(1-4)
    - ◇  $\beta$  : ターゲットの位置. 角度(0-360 度)
    - ◇ r : オペレータからの距離. オペレータは中心に位置(1-10)
    - ◇ S : 信号の強度(1-10)
  - **Tracking display**
    - ◇ ○ : ユーザが追従しているターゲット
    - ◇ ⊗ : 手動でシグナルと一致させる必要のあるターゲット
    - ◇ ● : AT が追従しているターゲット
    - ◇ × : AT がシグナルと一致させる必要のあるターゲット
    - ◇ 線 : ターゲットの進む方向と移動速度を示している
- 参加者が行うこと
  - **Tracking display** に表示される⊗のマークをクリック
    - ◇ 対応する信号を **Signal display** から探して”associate”をクリック
      - ターゲットと信号とを対応づける
        - ターゲットと信号の情報は定期的に更新される
        - 更新ごとにターゲットと信号の対応づけが必要
  - **Tracking display** に表示される⊗のマークをクリックして”assign”をクリック
    - ◇ AT が信号との対応づけを行う
  - AT が×の信号を取得しない, 誤ったターゲットと信号の対応づけを行った場合
    - ◇ “deassign”ボタンを押して手動で信号を取得する必要がある
- 課題の特徴
  - ターゲットの数が多い場合, 誤った関連づけを行いやすい
  - 速い速度で移動するターゲット, 変わった動き(ジグザグ, 円形, 直進)のターゲットは見失いやすい
  - **Signal display** には 4~8 のノイズ信号が呈示されるよう設定
- その他の機能
  - **Add** : **Signal display** の信号をクリックし”Add”を押す
    - ◇ **Target display** にターゲット情報を表示(十分な信号を発している場合のみ)
  - **Remove** : **Signal display** の信号をクリックし”Remove”を押す
    - ◇ **Signal display** のノイズ信号を除去
  - **Session timer** : セッションの残り時間を表示
  - **Refresh timer** : ターゲットと信号の情報が更新されるまでの時間を表示

### *Conditions*

- 3(ターゲットの数: 10, 15, 20)-参加者内 × 2(手動操作の経験: AT group, Manual group)-参加者間の混合要因計画

### *Procedure*

- 課題の説明, 実験参加の同意
- 第1 トレーニングセッション
  - 5 シナリオ×10分
    - ◇ ターゲット数は4. 更新時間 30 秒
- 第2, 3 トレーニングセッション
  - AT group のみ AT 使用可
  - 4 シナリオ×16分
    - ◇ ターゲット数は6. 更新時間 40 秒
- 第4 トレーニングセッション
  - Manual group でも AT 使用可
  - 4 シナリオ×16分
    - ◇ ターゲット数は8. 更新時間 40 秒
- テストセッション
  - AT 使用は自由
  - 4 セッション実施
    - ◇ 第1~第3セッション: 4 ラン
    - ◇ 第4セッション: 3 ラン
    - 合計 15 ラン×16分
      - ターゲット数は各ランで変更 10, 15, 20. 順序はランダム
      - 更新時間 40 秒

### Results

#### *AT reliability*

- この実験では, AT の性能は高く設定された
  - ターゲット 10 では 95%, ターゲット 15, 20 では 94%正確に情報を取得

#### *Number of targets*

- day4(本課題)のパフォーマンス (Table 1)

Table 1. Percent targets tracked, missed, lost, and misassociated plus percent false alarms, time taken, and AT used by manual and AT training groups under the three target loads in the test sessions.

Group	Measure	10 targets		15 targets		20 targets	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Manual	Targets tracked	86.8	8.1	81.6	9.3	76.7	8.0
	Missed targets	5.8	4.6	5.7	3.4	7.7	4.3
	Loss targets	0.3	0.5	0.6	1.7	0.7	1.9
	Misassociations	7.2	7.1	12.1	6.8	14.8	5.0
	False alarms	7.5	7.4	9.3	7.9	10.6	7.0
	Time on task	35.7	18.5	43.4	18.5	52.1	19.1
	AT use	95.3	13.6	96.3	12.9	96.7	10.9
AT	Targets tracked	89.0	7.6	83.3	7.9	80.5	6.2
	Missed targets	5.6	4.1	6.1	3.7	7.5	3.5
	Loss targets	0.04	0.1	0.1	0.5	0.1	0.4
	Misassociations	5.3	6.3	10.4	7.3	11.9	5.9
	False alarms	5.4	4.6	7.4	6.0	9.9	6.9
	Time on task	29.4	15.1	36.0	15.7	44.8	15.0
	AT use	98.7	9.6	99.6	7.2	100.0	5.7

- 3(ターゲットの数:10, 15, 20)×2(手動の経験:AT group, Manual group)の分散分析
  - ターゲット追従率 (Target tracked)
    - ◇ ターゲット数が増加するほどターゲット追従率が低下 ( $F(2,44) = 96, p < 0.01$ )
      - ターゲット数 10 > 15 > 20 ( $p < 0.05$ )
  - ターゲットと信号とが不一致であった割合 (Misassociation)
    - ◇ ターゲット数が増加するほど不一致が増加 ( $F(2,44) = 86.4, p < 0.01$ )
      - ターゲット数 10 < 15 < 20 ( $p < 0.05$ )
    - ◇ 疑問点
      - ターゲット数の増加によって
        - ターゲットと信号との誤った対応づけが増加したのか?
        - 誤った対応づけを修正できなくなったのか?
    - ◇ 詳細分析
      - ターゲットが出現した直後に誤った信号と対応づけた割合 (Figure 2a)
        - ターゲット数が増加するほど増加 ( $F(2,44) = 34.9, p < 0.01$ )
        - ターゲット数 10 < 15 < 20 ( $p < 0.05$ )
      - 信号を正しく取得し直した割合 (Figure 2b)
        - ターゲット数の間に有意差なし ( $F(2,44) = 2.89, p < 0.07$ )
        - 誤った対応づけを修正した割合に差はなかった

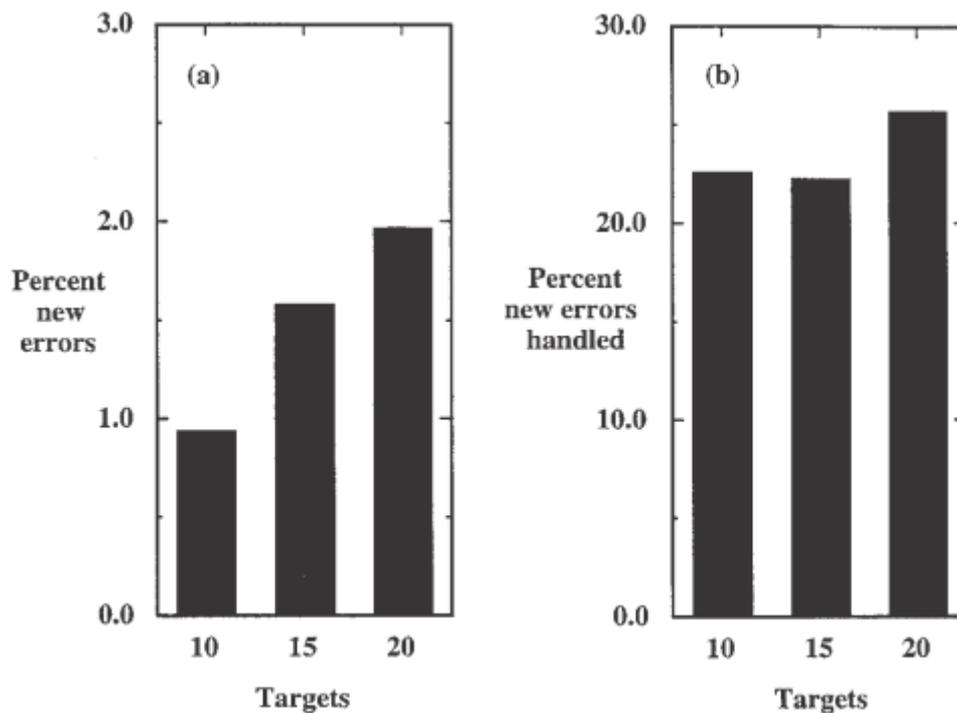


Figure 2. Percentage of targets that were new misassociations and percentage of misassociations handled as a function of number of targets to be tracked. Note that the ordinate scales are different on a and b.

- 信号の取得ミス (Miss)
  - ◇ ターゲット数が増加するほど Miss が増加 ( $F(2,44) = 86.4, p < 0.01$ )
    - ターゲット数 10 ≒ 15 < 20 ( $p < 0.05$ )

#### *Effect of experience*

- トレーニングセッションで、ターゲット数が 8 を上回ることはない
- テストセッションで、ターゲット数は最大 20 になる
  - テストセッションの間にパフォーマンスの向上がみられる可能性がある
- ターゲット追従率 (percent targets tracked) について
  - 2(手動の経験: AT, Manual) × 4(テストセッション: 1, 2, 3, 4) の分散分析
    - ◇ 交互作用あり ( $F(3, 66) = 5.09, p < 0.01$ )
      - day1 では Manual group の方が 5% ほどターゲット追従率は低い
      - day4 では AT group と Manual group のターゲット追従率は同程度
        - Manual group のパフォーマンスの改善は, Misassociation ( $F(3, 66) = 2.8, p < 0.05$ ) と Miss ( $F(3, 66) = 3.6, p < 0.02$ ) の減少が原因と考えられる

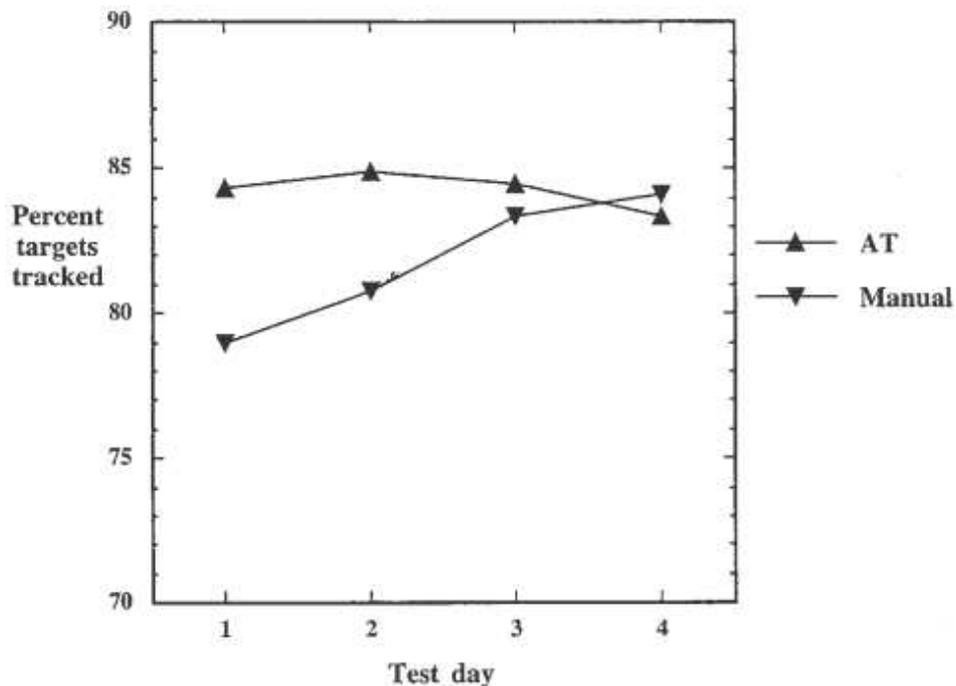


Figure 3. Percentage of targets tracked correctly as a function of test session and type of training.

## Discussion

- 今回の実験では、手動操作でトレーニングを行った効果はみられなかった
  - テストセッションでは、Manual group より AT group の方がパフォーマンスは高い
  - ◇ AT group は、トレーニングセッションで、AT の適切な使用方略を身につけたと考えられる
  - ◇ Manual group は、最後のトレーニングセッションやテストセッションの序盤で同様の方略を身につけたと考えられる
- この課題における Complacency は、AT が行った Misassociation を見逃すこと
  - この課題で Complacency の効果はみられなかった
  - ◇ 先行研究(Parasuraman et al., 1993)
    - 作業負荷が高い場合 Complacency は生じやすくなる
  - ◇ 今回の研究
    - 作業負荷の違いによる Misassociation の修正率に差はみられなかった

## Experiment 2

- 実験 2 では Vigilance の影響について検討
  - Vigilance の影響があれば
    - ◇ 時間経過に伴い AT の監視ミスが多くなりパフォーマンスは低下する可能性

## Method

- 実験 1 と同様の課題を使用

## *Participants*

- 実験 1 を行った 8 名(女性 4 名, 男性 4 名)

## *Conditions*

- 3(AT の性能: 0, 20, 60) × 2(セッションの前半, 後半)の参加者内要因計画
  - AT の性能
    - ◇ 値は AT がターゲットを検知する範囲を示している
      - ターゲット追従率
        - 性能 0(Nil) : 0%, 性能 20(Moderate) : 75%, 性能 60(High) : 95%
  - セッションの前半, 後半
    - ◇ 参加者は各 AT の性能で 2 セッションずつ(1 セッション 30 分)課題を行う
    - ◇ 分析では, セッションの前半と後半のパフォーマンスを比較

## *Procedure*

- 課題の練習とアンケート(NASA-TLX)の説明
- 本課題
  - 各 AT の性能で 2 セッションずつ(1 セッション 30 分)課題を行う
    - ◇ 順序はランダム
  - 各セッションの半分(15 分)と最後に作業負荷のアンケート(NASA-TLX)を実施

## Results

### *Changes in performance over time*

- 本課題のパフォーマンス (Table 2)

Table 2. Percent targets tracked, missed, lost, and misassociated plus percent false alarms, time taken, and AT use under the three levels of AT reliability, in the first and second parts of the run.

Run part	Measure	Nil		Moderate		High	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
First	Targets tracked	57.1	19.4	81.4	10.8	80.2	7.8
	Missed targets	17.5	5.4	8.7	5.0	4.6	1.3
	Loss targets	17.5	13.5	3.6	6.4	0.0	0.0
	Misassociations	7.9	7.4	6.3	5.0	15.2	7.6
	False alarms	0.8	1.2	5.4	3.7	6.8	4.5
	Time on task	88.6	6.4	70.6	16.5	30.0	10.1
	AT use	1.3	2.9	75.1	28.7	99.7	4.2
Second	Targets tracked	52.0	16.5	73.0	13.7	70.2	8.6
	Missed targets	21.6	8.3	11.4	4.7	5.2	2.7
	Loss targets	14.7	10.5	5.8	7.7	0.1	0.2
	Misassociations	11.7	11.4	9.8	7.2	24.4	10.1
	False alarms	0.7	1.2	3.8	4.7	6.9	4.0
	Time on task	82.7	9.8	70.9	13.9	31.0	10.1
	AT use	0.0	0.0	63.9	31.7	100.0	3.4

- ターゲット追従率
  - 3(ATの性能:0, 20, 60)×2(セッションの前半, 後半)の分散分析
    - ◇ セッションの主効果あり ( $F(1, 7) = 47.3, p < 0.01$ )
      - セッション後半の方がパフォーマンスは低い
        - 後半のパフォーマンス低下は, Misassociation( $F(1, 7) = 38.8, p < 0.01$ )と miss( $F(1, 7) = 13, p < 0.01$ )の増加が原因と考えられる
- Misassociation (Figure 4)
  - ターゲットが出現した直後に誤った信号と対応づけた割合 (New)
  - 信号を正しく取得し直した割合 (Handle)
    - ◇ ATの性能が 0(Nil)または 20(Moderate)の場合
      - Misassociationの割合は前半後半で大差はない
    - ◇ 性能 60(High)の場合
      - 前半に誤った対応づけ(New)が多発
      - 後半に正しい信号を取得し直す(Handle)頻度が増加
        - 前半の誤った対応づけを後半で修正

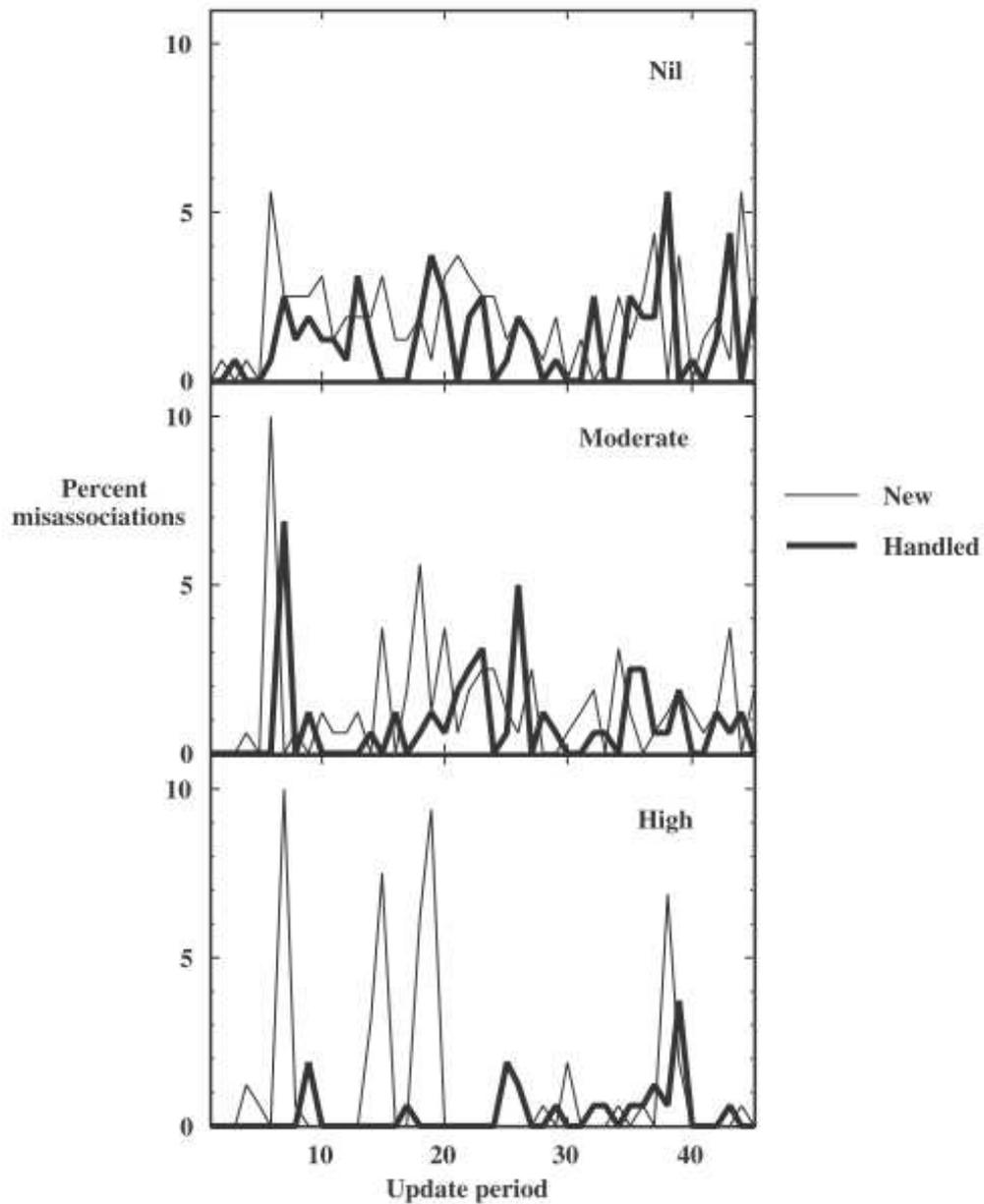


Figure 4. Percentage of new misassociations that occurred and percentage of those misassociations that were handled as a function of update period and AT reliability.

● Miss (Figure 5)

- 参加者のターゲット情報の追加(Add)が Miss に影響した可能性
    - ◇ Target display のターゲットは弱い信号から始まる
      - Target display のターゲットが提示されたりしなかったり
        - 時間経過に従って信号が強くなるのを待つ
        - ターゲットの場所が変化して信号が強くなるのを待つ
- ターゲット情報の追加(Add)が容易になる

- ◇ 斜線部：参加者が **Target display** にターゲットの情報を追加した割合
  - － 課題の後半で信号情報の追加が増加
    - 前半に対応づけできなかったターゲットと信号を対応づけしたターゲット情報の追加が **Miss** に影響した可能性
- AT の性能による **Miss** の違いが、前半でも後半でもみられる

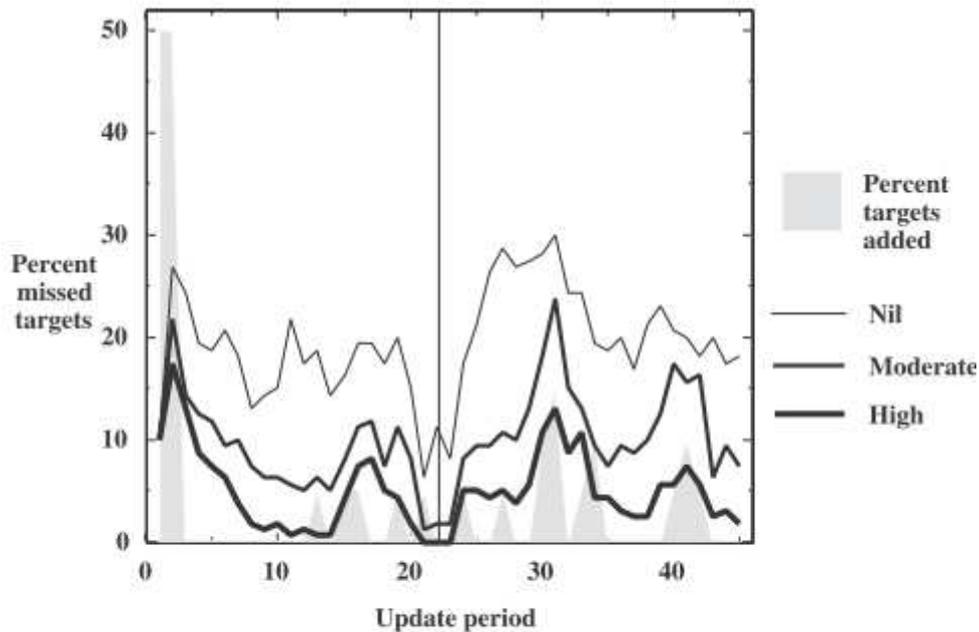


Figure 5. Percentage of missed targets as a function AT reliability and update period. The shaded area shows when new targets were added to the signal table at the start of the run and to replace targets that had moved beyond the limits of the tracking display.

### *AT reliability*

- ターゲット追従率
  - 3(AT の性能:0,20,60)×2(セッションの前半,後半)の分散分析
    - ◇ AT の性能が高いほどターゲット追従率は増加 ( $F(2, 14) = 16.5, p < 0.01$ )
      - － 性能 0(Nil) < 20(Moderate) ≒ 60(High) ( $p < .05$ )
- Misassociation
  - AT の性能が高いほど Misassociation の割合は低下 ( $F(2, 14) = 16.5, p < 0.01$ )
    - ◇ 性能 0(Nil) ≒ 20(Moderate) > 60(High) ( $p < .05$ )
- Miss
  - AT の性能が高いほど Miss の割合は低下 ( $F(2, 14) = 30.8, p < 0.01$ )
    - ◇ 性能 0(Nil) > 20(Moderate) ≒ 60(High) ( $p < .05$ )
- 作業負荷(NASA-TLX の得点)
  - 3(AT の性能:0,20,60)×2(セッションの前半,後半)の分散分析

- ◇ AT の性能が高いほど作業負荷は低下 ( $F(2, 14) = 44.19, p < 0.01$ )
- ◇ しかし、セッションの前半後半に違いはみられなかった

## Discussion

- 今回の実験では **Vigilance** の低下の影響はみられなかった
  - AT の性能が高い場合、AT 監視の **Vigilance** が低下する可能性があった
    - ◇ 時間経過に伴うパフォーマンスの低下はみられた
      - ただ **Vigilance** の低下よりも
        - ターゲット情報の追加に伴う **Miss** の増加
        - 課題の前半に生じる **Misassociation** の多発
    - このような課題の特性が影響したと考えられる
  - **Vigilance** の低下による影響がみられなかったことは驚くべきことではない
    - ◇ AT の性能が高い状況でも、AT の監視以外の作業(ターゲットの追加、信号の除去など)によって **Vigilance** が保たれた可能性
- 今回の実験では AT の性能が主観的作業負荷に影響
  - 先行研究 (Wiener, 1985)
    - ◇ 手動で行う多重タスクの一つを自動で行う
      - 自動化システムの挙動を監視する必要がある
      - 性能による作業負荷の違いはみられない
  - 今回の実験
    - ◇ AT の性能が高ければ、ターゲットや信号の探索にかかる時間を削減できる
      - 視覚探索時間の削減が、主観的作業負荷の低下として現れた

## General discussion

### 実験 1

- 手動操作の経験
  - 手動で課題を行った参加者は練習で低いパフォーマンスを示した
  - AT を使用した参加者は練習で高いパフォーマンスを示した
    - ◇ AT を使用した参加者は、AT 使用の適切な方略を身につけた
      - それによって状況認識が向上したと考えられる
        - 自動パイロットシステムを使用した実験結果と同様 (Billings, 1991)
- **Complacency**
  - 先行研究 (Parasuraman et al., 1993)
    - ◇ ターゲット数の増加によって **Complacency** は生じやすくなる
  - 今回の実験

- ◇ ターゲット数が増加しても、**Misassociation** を適切に修正
    - 今回の課題では、**Misassociation** は比較的明白であり気づきやすかった
    - 他のターゲットに集中しているような場合やターゲットがジグザグのような動きをする場合にのみ **Misassociation** の修正ミスは生じた
      - 特殊なタイプのエラーに対する可視性を高める必要
- 可視性を高めることによって AT の事故を防ぐことが可能になる

## 実験 2

### ● Vigilance

- **Vigilance** の低下に伴うパフォーマンスの低下はみられなかった
  - ◇ 高い割合で生じる **Miss** と課題前半の **Misassociation** の影響が大きい
    - この課題では、参加者はおそらく最初にターゲットと信号を対応づける
      - **Miss** の割合は 10 アップデート地点(**Figure 5**)で低下する
      - そのとき **Misassociation** は増加(**Figure 4**)
    - 課題開始後しばらくして **Misassociation** を修正
      - **Misassociation** の修正(**Handled**)が増加(**Figure 5**)
      - ターゲット情報の追加、**Misassociation** の修正に伴い **Miss** が増加(**Figure 4**)
- このような課題の特性がパフォーマンスに影響した

## まとめ

- 今回の研究では、先行研究で扱われてきた自動化システムと AT との違いを示した
  - 効率的な AT 使用には
    - ◇ AT の性能を増加させる必要
    - ◇ AT のミスの可視性を増加させることが必要