

Use of an automatic tracker as a function of its reliability

McFadden, S. M., Giesbrecht, B. L., & Gula, C. A.

Ergonomics, 1998, Vol. 41, No. 4, pp. 512-536

Introduction

- 自動追従システム (Automated tracker: AT)
 - テクノロジーの進歩により、オペレータは、戦略ディスプレイ上で、ターゲットの追従を行いやすくなった
 - ターゲットの数が増えるほど、オペレータのモニタリングは困難になる
 - 作業負担を軽減する方法として、ATの使用があげられる
 - ATは、オペレータの代わりに、ターゲットの追従を行う
 - ◇ 受信されるシグナルの情報監視を行い、どのシグナルがターゲットの現在位置を示すものか識別を行う

- 自動化システムの使用
 - 自動化システム使用の目的
 - ◇ ヒューマンエラーや作業負担を削減させ、パフォーマンスを改善させること
 - 近年の研究は、この目的が達成されていないことを示している
 - Lee & Moray (1992), Muir & Moray (1989)
 - ◇ 自動化システムの使用は、自動化システムへの信用に依存する
 - ◇ 信用できないと認識されれば、良いパフォーマンスを示す自動化システムでも使用されない
 - 人間は、長時間のモニタリングが不得意で、自動化システムのエラーに気づかない傾向にある

- ATの使用
 - ATが100%正確にターゲットを追従することは不可能
 - ◇ ATは、定められた範囲で、ターゲットの現在位置を示す可能性が最も高いシグナルを選択する
 - ATの管理範囲が小さい場合
 - ◇ ATがターゲットを追従できない
 - ATのエラーを認識することで、オペレータは、AT不信に陥る可能性
 - ATの管理範囲が大きい場合
 - ◇ ATがターゲットと誤ったシグナルとを一致させる
 - ATのエラーにオペレータが気づかない可能性

- 研究の目的
 - AT を有効なシステムにするためには、人間がどのように性能の異なる AT を使用し、その使用がどのようにパフォーマンスに影響するのか理解する必要がある
 - AT の性能とその機能に伴う人間の AT 使用とパフォーマンスへの影響について検討を行う

Automatic Tracking System (ATS)

- ATS 課題は、ターゲットを追従し、ターゲットの位置情報を更新するシミュレーション課題
- ATS 課題における AT
 - AT は、シグナルの情報が更新されるたびに、ターゲットの位置情報を更新する
- Figure 1. は、ATS 課題のスクリーン

Tracking display (Figure 1. 左)

- この画面を使用して、ターゲットを追従
- 画面に表示される情報
 - ○ : ユーザが追従しているターゲット
 - ⊗ : 手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

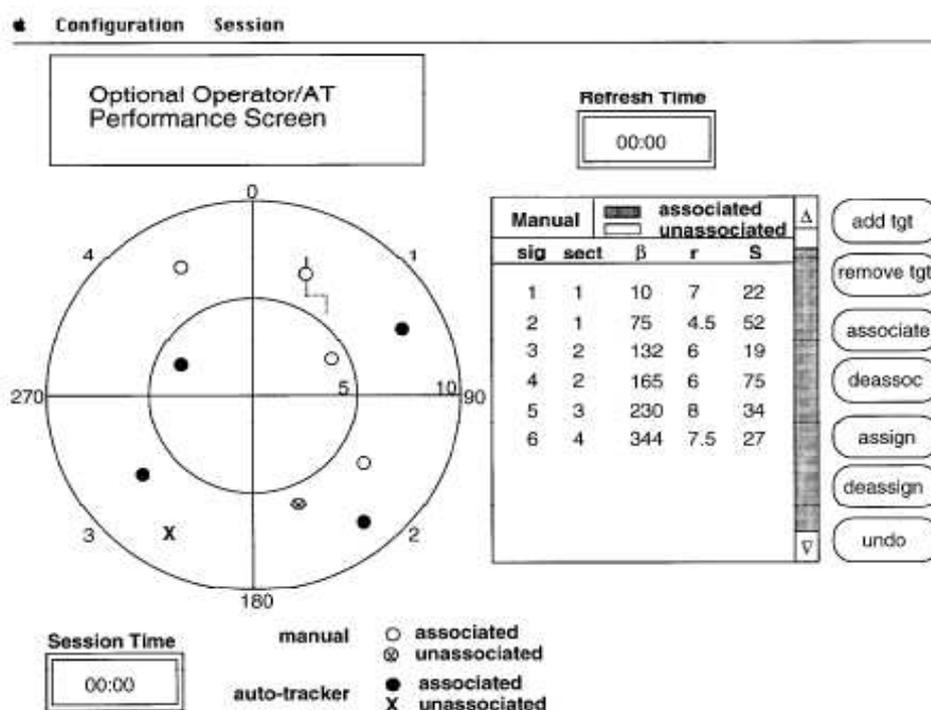


Figure 1. A schematic of the display for the Automatic Tracking System (ATS). The 'X' for the unassociated-AT marker appears as a white X in a black circle on the actual screen.

Signal table (Figure 1. 右)

- シグナルの情報を提示
 - sig : シグナルの番号 (1~n)
 - sect : どの区分にいるか (1~4)
 - β : 北(0度)からの角度 (0~360度)
 - r : オペレータからの距離 (1~10), オペレータは中央に位置している
 - S : シグナルの強度 (1~10)
- シグナルの情報は, 数秒毎に更新される
- ノイズシグナルも含まれている, ノイズシグナルの強度は低い
- ノイズシグナルは, 1, 2回の更新で消える

Function button (Table 1.)

Timers

- Session timer (Figure 1. 左下) : セッションの残り時間を表示
- Update timer (Figure 1. 右下) : シグナル情報が更新されるまでの時間を表示

Feedback window (Figure 1. 左上)

- パフォーマンスのフィードバックを表示
 - 手動操作または AT で, ターゲット情報を正確に取得した割合, ターゲットとノイズシグナルを一致させた割合
 - 最近の 10 更新中の手動操作と AT のスコアをグラフで表示

Targets

- Table 2.はターゲットの設定

Table 2. Range of values of target parameters.

Parameter	Values
Target type	Surface non-military, surface military, subsurface nonmilitary, subsurface military
Initial radius	0 to 10
Initial angle	0 to 360°
Initial direction	North, NW, West, SW, South, SE, East, NE
Speed	> 10
Type of path	Point, line, circle, zigzag, experimenter-defined

- ターゲットの 6 つのパラメーターを使用し, 3 つのシナリオを作成
 - ターゲットの特徴の違いによる AT 使用への影響をみる
- ターゲットが, Target display から外れた場合, 新しいターゲットが Target display に加えられる

Task

- 最初, **Signal table** にシグナルだけが表示されている
- オペレータは, シグナルを選択し, ターゲットを **Tracking display** に表示する
(「Add」ボタンでターゲット表示)
- この時点で **AT** に切り替えることが可能
(「Assign」ボタンで **AT** に切り替え, 「Deassign」ボタンで手動に切り替え)
- オペレータは, シグナルの情報が更新されるたびに, どのシグナルがターゲットのシグナルかを見分け, 一致させる
(ターゲットとシグナルをクリックして「Associate」ボタンで一致させる)
- **AT** が誤ってターゲットとシグナルを一致させた場合, オペレータは, 手動に切り替え, **AT** の間違いを修正できる
(ターゲットとシグナルをクリックして「Deassociate」ボタンで一致を解除)

Automatic Tracker (AT)

- **AT** は, 全てのターゲットとシグナルを正しく一致することはない
 - ターゲットの数が多い場合, 誤った一致を行いやすい
 - 速い速度で移動するターゲットは見失いやすい
 - 変わった動き(円を描いて回る, ジグザグに移動)は見失いやすい

Experiment 1

- **AT** の性能とその機能に伴う人間の **AT** 使用とパフォーマンスへの影響について検討を行う

Method

Participants

- 参加者 8 名, 5 名は軍隊に所属, 3 名は民間人または大学生

Conditions

- 3(シナリオ)×5(**AT** の性能)×15(試行数)の参加者内要因計画
- **AT** の性能
 - **AT** の管理範囲 : nil, low, moderate, high
 - + 更新時間 50 秒, **AT** の性能 : nil で実施 (統制条件)

Procedure

- トレーニングセッションを 3 セッション実施
 - 1 セッションあたり 4 または 5 試行

- シグナル更新時間は 30 または 40 秒毎
- 参加者が課題に慣れるまで行った
 - 全参加者, 最低 4 セッション行った
- テストセッションを 5 試行×3 セッション実施
 - 3(シナリオ)×5(AT の性能)をランダムな順序
 - シグナル更新時間は 40 秒毎
 - 40 秒の間に 8 つのターゲットとシグナルを一致させる
 - 内 1 試行は, 更新時間 50 秒, AT の性能 : nil で実施 (統制条件)

Results

AT reliability

- 各 AT の性能における AT 使用率は異なる
 - 各 AT の性能の実測パフォーマンスを算出
 - 各 AT の性能で, 全てのターゲット追従を AT で行った場合に, ターゲット追従成功率を算出
 - ◇ low : 53%, moderate : 70%, high : 78%
- 更に, 参加者は AT のエラーに気づかない可能性がある
- 参加者が認識する AT の追従成功率を踏まえた(?)結果
 - low : 55%, moderate : 76%, high : 85%

AT use

- Figure 2.は AT の性能ごとでみた参加者の AT 使用率
- AT 使用率について 3(シナリオ)×4(AT の性能)の分散分析
 - 交互作用あり ($F(6, 42)=4.61, p<.05$)
 - シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=5.01, p<.05$)
 - AT の性能の主効果あり ($F(3, 21)=99.62, p<.01$)
 - ◇ AT の性能が上がるに従って, AT 使用率は増加
- AT 使用率の平均は, AT の追従成功率に非常に近い

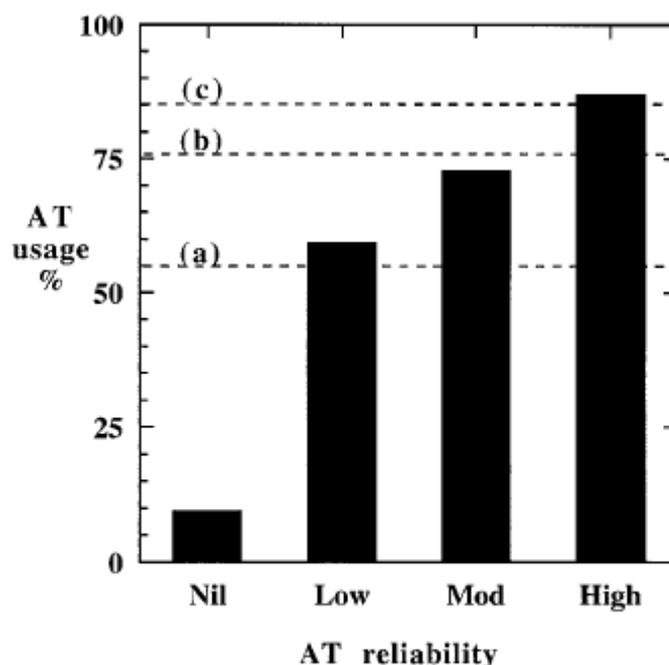


Figure 2. Percentage of targets assigned to and tracked by the AT under each level of AT reliability. The dashed lines show the percentage of targets that the AT would be expected to track in the (a) low, (b) moderate, and (c) high reliability conditions.

- Figure 3.は個人別でみた参加者の(AT使用率-ATの追従成功率)の差分

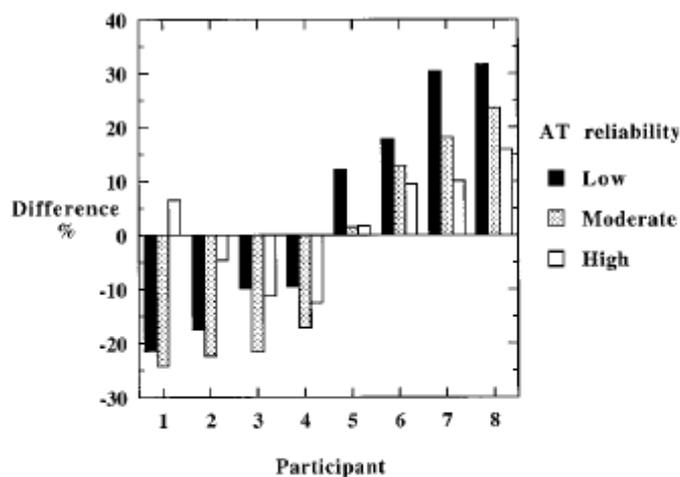


Figure 3. Difference between the percentage of targets assigned to and tracked by the AT and the percentage of targets the AT would be expected to track as a function of AT reliability and participant. The results for each condition have been subtracted from the percentage of targets the AT would have been expected to track in that condition (the dashed lines in figure 2).

- Lower use group
 - 参加者 1~4 は, AT の追従成功率よりも, 少ない割合で AT を使用した参加者
- Higher use group
 - 参加者 5~8 は, AT の追従成功率よりも, 多い割合で AT を使用した参加者

- AT 使用率について 2(Lower/Higher use group)×4(AT の性能)の分散分析
 - Lower/Higher use group の主効果あり ($F(1, 6)=65.73, p<.01$)
 - ◇ Lower よりも Higher use group の方が AT 使用率は高い
- Figure 4.は個人別でみた参加者の AT 使用率
- Lower use group
 - AT 使用率は, 最初は高いが, 試行が増すにつれて減少
- Higher use group
 - AT 使用率は, AT の性能に依存して異なるが, 全体的に高い

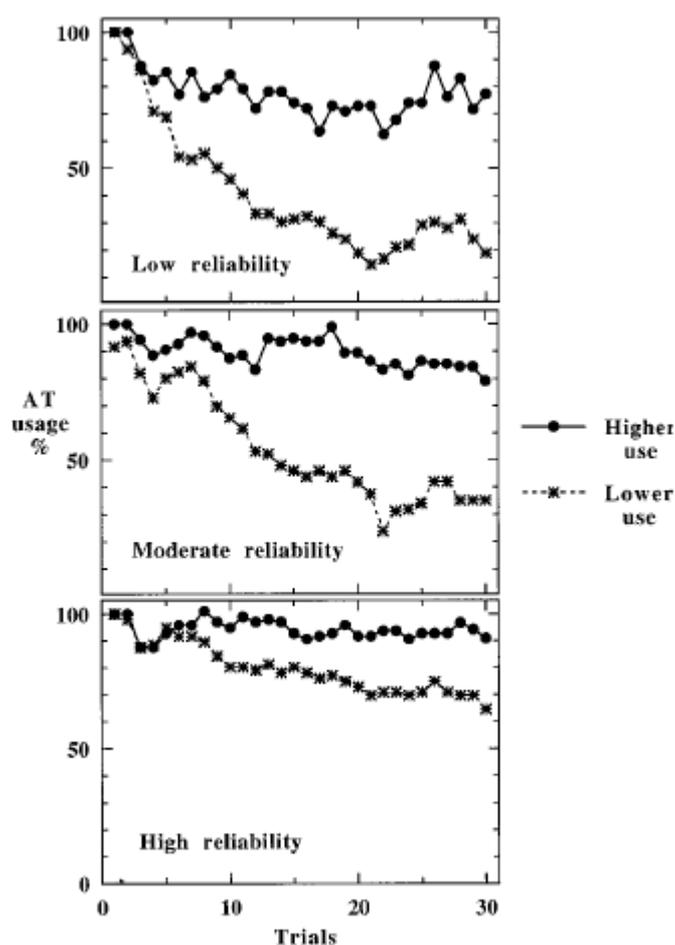


Figure 4. AT usage across trials averaged over participants using AT more than expected and participants using AT less than expected for three levels of AT reliability.

Percentage of targets tracked

- ターゲットの追従成功率について 3(シナリオ)×4(AT の性能)の分散分析
 - 交互作用なし($F(6, 42)=1.76, p<.20$)
 - AT 性能の主効果あり($F(3, 21)=29.50, p<.01$)

- シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=29.40, p<.01$)
- AT 性能について多重比較
 - ◇ low < moderate < high ($p<.05$)
 - ◇ AT の性能が high のとき、追従成功率が最も高い

- Figure 5.は、Lower と Higher use group の追従成功率
 - Lower と Higher use group の nil 以外のパフォーマンスは同程度
 - 追従成功率について 2(Lower/Higher use group) × 4(AT 性能)の分散分析
 - 交互作用あり ($F(3, 18)=9.58, p<.01$)

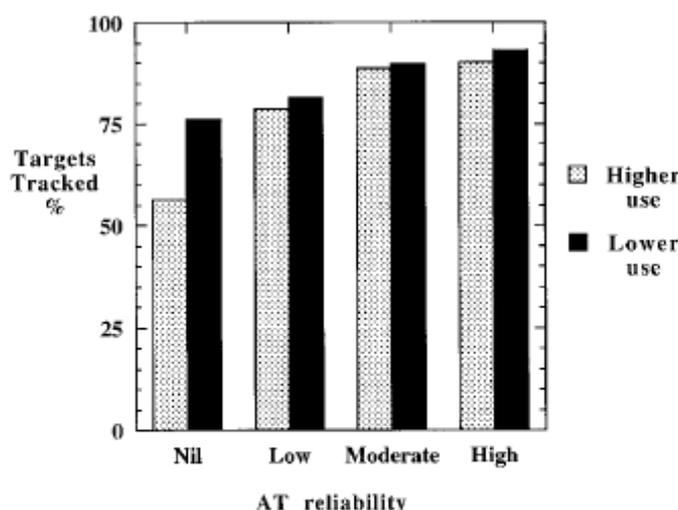


Figure 5. Percentage of targets tracked successfully as a function of AT reliability and use of AT. Includes targets tracked manually and by AT.

Response time

- 反応時間は、各試行で最後の操作が行われた時間
- 反応時間について 3(シナリオ) × 4(AT 性能)の分散分析
 - 交互作用あり ($F(6, 42)=10.28, p<.01$)
 - AT 性能の主効果あり ($F(3, 21)=121.79, p<.01$)
 - シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=73.71, p<.01$)
 - ◇ 交互作用に関して
 - AT 性能が低い場合、反応時間に差はない
 - シナリオ 3 の場合、他の動きよりも反応時間が速かった
- Figure 6.は、各 AT 性能における Lower と Higher use group の平均反応時間
 - AT 性能が高い場合、Higher use group は反応時間が速いが、有意差はない
 - 反応時間について 2(Lower/Higher use group) × 4(AT 性能)の分散分析
 - Lower/Higher use group の反応時間に主効果なし ($F(1, 6)=1.31, p<.30$)

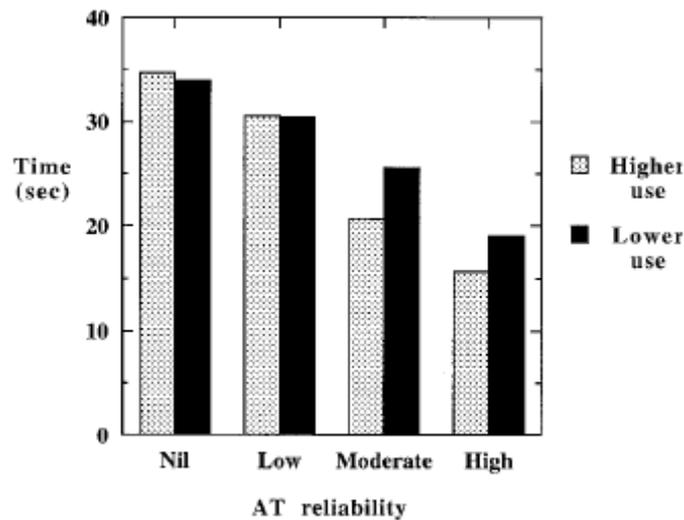


Figure 6. Time taken per trial as a function of AT reliability and use of AT.

Errors

- エラー率は, miss, lost, misassociation, false alarm
- Figure 7.は, 各 AT 性能における各エラー率
- 各エラー率について 3(シナリオ)×4(AT 性能)の分散分析
 - miss (ターゲットを選択し, シグナルと一致できない)
 - ◇ 交互作用あり ($F(6, 42)=3.44, p<.05$)
 - ◇ AT 性能の主効果あり ($F(3, 21)=10.28, p<.01$)
 - AT の性能が上がると miss が少ない
 - ◇ シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=67.0, p<.01$)
 - lost (シグナルを選択し, ターゲットと一致できない)
 - ◇ AT 性能の主効果あり ($F(3, 21)=12.6, p<.01$)
 - AT の性能が上がると lost が少ない
 - misassociation (誤ったターゲットと正しいシグナルを一致)
 - ◇ シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=9.81, p<.01$)
 - ◇ シナリオ 2 で misassociation が多い (Table. 3)
 - false alarm (正しいターゲットと誤ったシグナルを一致)
 - ◇ AT 性能の主効果あり ($F(3, 21)=3.85, p<.05$)
 - moderate で false alarm が少ない
 - ◇ シナリオの主効果あり ($F(2, 14)=43.29, p<.01$)
 - シナリオ 3 の場合, false alarm が少ない ($p<.05$)

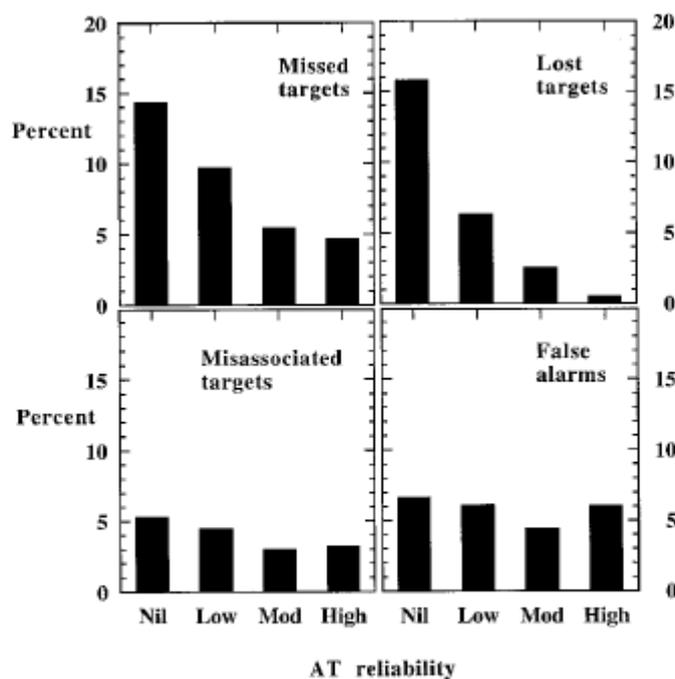


Figure 7. Percentage of missed, lost, and misassociated targets, and false alarms averaged over all participants and scenarios.

Table 3. Percentage of manual and AT misassociations in the high use and low use group as a function of AT reliability averaged across all scenarios and for scenario 2 only.

Scenario	Usage	Source	Nil	Low	Moderate	High
All	High	Manual	4.8	3.0	0.7	0.2
		AT	0.0	1.8	3.4	4.3
	Low	Manual	5.7	3.8	1.5	0.6
		AT	0.0	0.4	0.3	1.2
2	High	Manual	2.9	5.1	1.6	0.6
		AT	0.0	1.3	7.6	10.9
	Low	Manual	6.0	5.1	1.7	0.8
		AT	0.0	0.2	1.1	2.3

Effect of length of update period

- 更新時間が 40 秒の場合，参加者は，1 試行につき，約 5.3 ターゲットの追従に成功
- 更新時間が 50 秒の統制条件では，約 5.6 ターゲットの追従を成功するにとどまった

Discussion

- AT の性能が上がるに従って，AT 使用率は増加した
- 参加者 1 (Figure 1.) 以外の全員が，一貫して，AT を過剰使用または使用しなかった
 - Lee & Moray (1992)
 - ◇ 自動化システムの使用には，自動化システムへの信用だけでなく，手動操作の自信が影響する

- 今回の実験
 - ✧ AT の性能が nil では, Lower use group のパフォーマンスが高かった
 - ✧ 彼らは, 手動で課題を上手く行い, AT 使用の必要がなかった可能性
- AT の misassociation は, 性能が上がるに従って増加した
 - 特に Higher use group のシナリオ 2 (Table 3. Usage: High, Senario:2)
 - ✧ シナリオ 2 では, ターゲットは, 他のターゲットとすれ違って移動
 - ✧ AT は誤ったターゲットをシグナルと一致させた
 - ✧ オペレータは, AT のモニタリングエラーにより, それに気づけなかった
- Rouse & Morris (1986)の結果と一致
 - 自動化システムが信用できると認識された場合, 自動化システムのモニタリングエラーが生じる

AT use

- Higher と Lower use group の違い
 - 参加者が少ないので, パフォーマンスの有意差が出にくかった
 - Lower use group は, AT の性能が nil でパフォーマンスが高かった
 - ✧ AT は手動操作の能力を補うために使用された可能性

Performance across the different scenarios

- シナリオ 3 は, 他のシナリオよりも, パフォーマンスが高かった
 - エラーも少なく, AT 使用率も高かった
- シナリオ 3 では, ターゲットシグナルの強度が高く設定されていた
 - ノイズシグナルと間違えにくい

Increase in update period

- 更新時間が, 40 から 50 秒に増加した影響はなかった
 - 参加者が, シグナルの強度が高いものからターゲットと一致させた場合, 残るシグナルはノイズである可能性が高まる
 - 時間の経過に従って, シグナルとノイズシグナルの見分けがより困難になる

Experiment 2

- 実験 1 の結果として, 何人かの参加者は, 性能の低い AT を使用する傾向にあった
 - Lee & Moray (1992), Muir & Moray (1989)
 - ✧ 信用できないと認識されれば, 良いパフォーマンスを示す自動化システムでも, 使用されない

- 先行研究の結果と相違
 - ◇ 40秒間で8ターゲット追従することは困難であった
 - ◇ 信用できないATでも使用した可能性
 - 実験2では、6ターゲットに変更

 - ◇ 実験1では、ATの性能は、管理範囲に基づいて変化した
 - ◇ 参加者は、ATがターゲットを一貫して追従しなくなった個所から、手動に切り替える方略をとることが可能であった
 - 実験2では、ATのシグナルへの反応を変化させ、ATの性能を操作する

Method

Participants

- 参加者20名、2名は軍隊に所属、その他は民間人

Conditions

- 2(ターゲット数：6/8－参加者間)×2(ATの性能：高/低－参加者内)×12(試行数－参加者内)
- ATが反応できるシグナルの強度
 - 高：0.1～10，低：0.6～0.9
- ATの管理範囲は、実験1のHighと同様

Procedure

- トレーニングセッションを4セッション実施
- テストセッションを3試行×4セッション実施
 - ATの性能の順序は、2セッションごとにカウンターバランス
 - 各試行を40秒に設定
 - パフォーマンスのフィードバックは、参加者に与えなかった

Results

- ATの実測パフォーマンス
 - 高：89%，低：60%
- Table 4.は、各条件におけるパフォーマンスの結果

Table 4. AT use, targets tracked, misses, lost targets, and time taken as a function of number of targets tracked, order in which AT reliability varied, and reliability of AT.

Targets tracked	Reliable AT	Association threshold	AT use (%)	Targets tracked (%)	Misses (%)	Lost targets (%)	Time (s)
6	First	0.1	94.0	91.9	4.5	0.3	14.9
		0.6	79.7	87.5	6.8	3.1	24.7
	Second	0.1	80.0	96.2	2.0	0.5	16.0
		0.6	77.6	91.9	3.7	3.0	25.1
8	First	0.1	97.5	92.4	3.2	0.3	13.0
		0.6	83.2	82.1	7.9	6.5	28.4
	Second	0.1	95.2	91.2	3.6	0.3	11.3
		0.6	83.8	80.3	11.6	3.8	29.0

- AT の性能の順序に関する有意差はみられなかった ($F_s < 1$)
 - ターゲットの追従成功率について 2(ターゲット数) × 2(AT の性能) の分散分析
 - ターゲット数の主効果あり ($F(1, 32) = 7.41, p < .05$)
 - ◇ ターゲット数 : 6 > 8
 - AT の性能の主効果あり ($F(1, 32) = 14.57, p < .01$)
 - ◇ AT の性能 : 高 > 低
 - Time(反応時間?) について 2(ターゲット数) × 2(AT の性能) の分散分析
 - AT の性能の主効果あり ($F(1, 32) = 101.38, p < .01$)
 - ◇ AT の性能 : 高 < 低
 - 最も顕著なエラーは, miss であった
 - misassociation の割合は低かった
 - AT 使用率について 2(ターゲット数) × 2(AT の性能) の分散分析
 - ターゲット数の主効果なし ($F(1, 32) = 1.73, p < .20$)
 - AT の性能の主効果なし ($F(1, 32) = 3.87, p < .06$)
 - Auto 使用率は, 条件間よりも, 個人間で異なったため (Figure 8.)
 - ある参加者は, AT 性能が低から高に変化するに伴い, AT を大きく上げた
 - ターゲット数が 8 のとき, AT 使用率とターゲット追従成功率に相関関係がみられた (AT の性能高 : $r = .80, p < .01$, AT の性能低 : $r = .87, p < .01$)
 - ターゲット数が 6 のとき, AT の性能低では, 同様に相関関係がみられた ($r = .68, p < .01$)
- 実験 1 では, Higher と Lower use group に追従成功率との関連はみられなかった

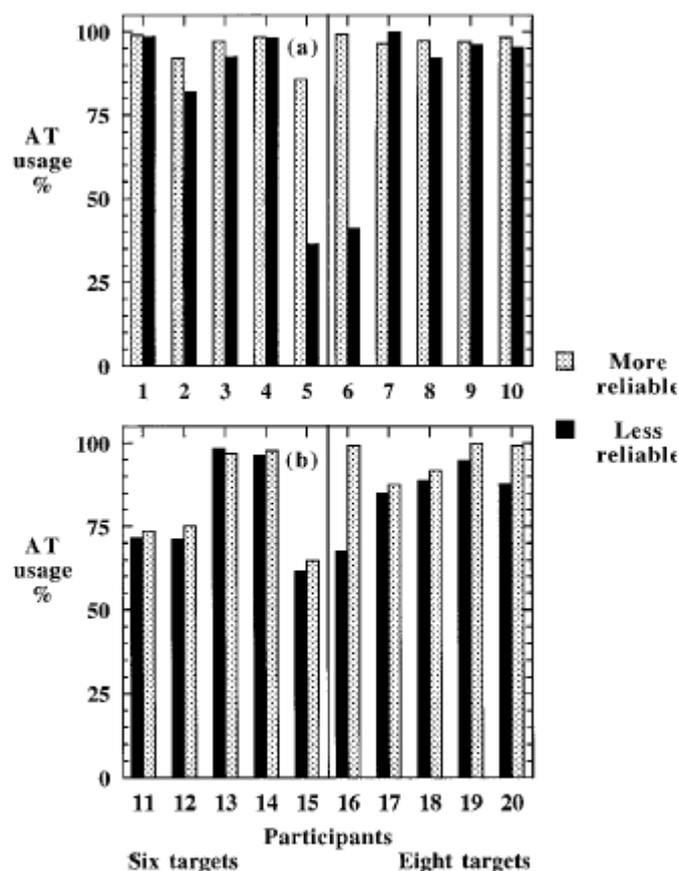


Figure 8. AT usage as a function of whether participants received more reliable AT first, reliability of AT, number of targets, and participant. Participants in (a) received the reliable AT first, and participants in (b) received the unreliable AT first.

Discussion

- AT 使用率は、AT の性能に依存すると考えられたが、課題の複雑性にも依存すると考えられる
 - ターゲット数 6 の条件では、半数の参加者は、AT の性能にかかわらず、AT を頻繁に使用した
 - AT のモニタリングが容易であると、AT の性能が低下しても、AT 使用には影響しないと考えられる

- 実験 2 では、実験 1 とは異なり、AT の性能低でも、参加者は AT を使用する傾向にあった
- Figure 9 は、各試行で、AT が追従に成功したターゲット数と AT に割り振られたターゲット数の平均
 - 実線に近いほど有効な AT 使用を示す
 - 実験 1 のドットの方が実線に近い
 - ◇ 実験 1 の方が、AT の性能の違いに気付きやすかった

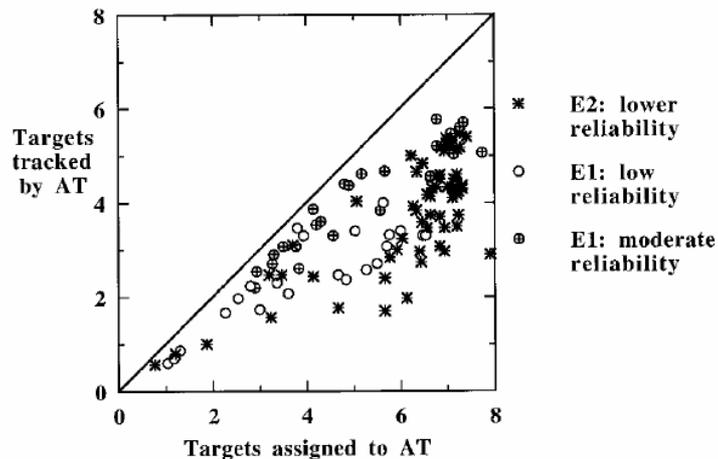


Figure 9. Number of targets tracked by the AT as a function of number of targets assigned to the AT per update for each scenario and participant. The data are from the low and moderate reliable AT in experiment 1 (E1) and the eight target condition with the less reliable AT in experiment 2 (E2).

General discussion

- 今回の実験は、自動化システムの性能が、どのように人間の自動化システム使用に影響するのか検討した最初の試みである
- 実験 2 では、AT の性能の変化は AT 使用には影響しなかった
 - 手動操作の自信が自動化システム使用に影響する(Lee & Moray, 1994)ことが本実験でも確認された
- 実験 1, 2 を通して、参加者の AT 使用率は高かった
 - 先行研究でみられた手動操作を行う傾向(Morris, Rouse, & Ward, 1988)はみられなかった
 - 参加者が、AT と手動操作の切り替えの監視役を行ったことが原因の可能性
 - ◇ AT がエラーを起こしても、自分でエラーを修正できた
- 実験 1 において、何人かの参加者は、パフォーマンスのフィードバックが与えられていても、AT のエラーに気付かなかった
 - 手動操作の訓練が足りなかったのではないだろうか

Conclusion

- 実験 1 において、AT の性能が AT 使用に影響することが確かめられた
 - 実験を通して、性能の低い AT でも使用される傾向にあった
 - 課題が容易であり、参加者は、AT のエラーを修正できたことが原因

Table 1. Prerequisites, actions, and events associated with function buttons in figure 1.

Function	Prerequisite	Action	Event
Add	Unassociated signal	Select a signal from the manual signal table; select Add button	Target marker appears on the tracking display and selected entry in signal table highlighted
Associate	Unassociated manual target marker and unassociated signal	Select an unassociated signal and unassociated target marker; select Associate button	X removed from target marker and signal table entry highlighted
Deassociate	Associated manual target marker	Select either a manually associated target marker or the associated signal entry; select Deassociate button	Entry in signal table no longer highlighted and target marker has X in it
Remove	Target marker	Select a manual or AT target marker; select Remove button	Target marker disappears from display. If it was associated with a signal, signal entry appears in manual signal table and is not highlighted
Assign	Manual target marker	Select a manual target marker from the display; select Assign button	Target marker changes from white to black; signal entry moves from manual to AT signal table
Deassign	Unassociated or associated AT target marker	Select an AT target marker; select Deassign button	Target marker changes from black to white; if marker was associated with a signal, signal entry moves from AT to manual signal table
Undo	Previous user action	Select Undo button	Results of previous action change back