

# Fixation failure と Attention failure に関する実験的検討 Experimental investigation of Fixation failure and Attention failure

前東 晃礼<sup>†</sup>, 三輪 和久<sup>†</sup>, 寺井 仁<sup>‡</sup>, 小島 一晃<sup>††</sup>, 森田 純哉<sup>‡‡</sup>  
Akihiro Maehigashi, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai, Kazuaki Kojima, Junya Morita

<sup>†</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科, <sup>‡</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科/JST CREST

<sup>††</sup>早稲田大学人間科学学術院, <sup>‡‡</sup>北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University

<sup>‡</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University/ JST CREST

<sup>††</sup> Faculty of Human Sciences, Waseda University

<sup>‡‡</sup> School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

mhigashi@cog.human.nagoya-u.ac.jp

## Abstract

Complacency is users' not detecting or being slow to detect automation malfunctions or outright failures (Parasuraman & Manzey, 2010). In this study, we experimentally investigated the relationship between human tendency to fall into complacency and their tendency whether to use automation or conduct manual operation. Results of the experiment indicated that the participants who preferred manual operation had a tendency to fall into complacency in a situation where automation performance was always within their eyesight, called attention failure. On the other hand, the participants who tended to trust automation had a tendency to fall into complacency in a situation where automation performance was out of their eyesight, called fixation failure. These results were explained by human ability to maintain vigilance and their trust on automation.

**Keywords** — Automation system, Complacency, Tendency to Use Automation System, Trust, Vigilance

## 1. はじめに

自動化システムは、人間が行う活動を代わりに行うテクノロジーである[1]。しかし、環境の変化や、自動化システムの故障によって、自動化システムのパフォーマンスは低下することが知られている[1]。このような自動化システムを使用する際に生じる問題の一つとして **Complacency** がある。**Complacency** は、ユーザが、自動化システムの故障、異常状態、明確なエラー(システムダウン)を見逃すこと、もしくは、それらに対する対応が遅れることである[2]。自動化システムのユーザが **Complacency** に陥ることによって、命に関わる事故が引き起こされる。**Complacency** については、

これまでに多くの研究が行われている[3]~[5]。

さて、**Complacency** に関する研究とは別に、自動化システムに関する研究の多くは、ユーザの自動化システム使用と手動操作実行の選択について実験的検討を行っている[6]~[8]。ユーザが自動化システムを使用する際には、自動化システムとユーザの状態の変化を考慮して、適切に自動化システムの使用/未使用の切り替えを行い、課題パフォーマンスを向上させる必要がある。これらの研究では、ユーザの自動化システムへの過信は過度の自動化システム使用(Misuse)を招き、逆に、ユーザの自動化システムへの不信は過度の手動操作実行(Disuse)を招き、課題パフォーマンスを低下させることが示されている[6]~[8]。

しかし、これまでの自動化システムに関する先行研究では、**Complacency** と自動化システム使用/未使用の選択傾向との相互の関連性について検討が行われていない。これらの関連性については、それぞれの領域の先行研究から、二つの関連性を予測することができる。

一つ目は、自動化システムに対する信用が両者を媒介する場合の関連性である。自動化システムの使用/未使用の選択に関しては、自動化システムを信用するユーザほど、自動化システムを使用する傾向にあることが示されている[6]~[8]。一方、**Complacency** に関しては、自動化システムへの過信が **Complacency** を引き起こすことが示されている[2]。これらの研究から、自動化システムを使

用する傾向のユーザほど **Complacency** に陥る傾向を有することが考えられる(図 1(a)). 二つ目は、ビジランスが媒介する場合の関連性である。ビジランスとは、刺激に対して警戒を保ち、注意のフォーカスを維持し続ける能力である[9]. 自動化システム使用/未使用の選択に関しては、ビジランスの維持能力の低いユーザは、自動化システム監視中におけるビジランス低下を避けるために自動化システムを使用しない傾向にあることが示されている[10]. 一方、**Complacency** に関しては、ビジランスの低下は **Complacency** を招くことが示されている[11]. これらの研究から、自動化システムを使用しない傾向のユーザほど **Complacency** に陥る傾向を有することが考えられる(図 1(b)). 本研究では、これら二つの対立する関連性について実験的検討を行う。

## 2. 仮説

Parasuraman ら[2]は、二種類の **Complacency** を示している。その内の一つは、**Fixation failure** である。**Fixation failure** は、自動化システムのパフォーマンスが、ユーザの視界に入らないために生じる **Complacency** である。**Fixation failure** は、自動化システムに任せた課題とユーザが手動操作で行う課題が、異なる画面(**Separate display**)で表示される状況で生じる。このような状況では、自動化システムを信用するユーザほど、手動操作で行う課題に視線を向けて、自動化システムのパフ

ォーマンスを監視しない傾向にあり、**Complacency** に陥りやすくなることが示されている[2]. このことから、**Separate display** を使用する状況では、**Complacency** と自動化システム使用/未使用の選択傾向との間に、自動化システムへの信用を媒介した関連性がみられることが予測され、以下の仮説 1 が導出される。

仮説 1: **Separate display** を使用する状況では、自動化システムを使用する傾向にあるユーザほど **Complacency** に陥る。

もう一つの **Complacency** は、**Attention failure** である。**Attention failure** は、自動化システムのパフォーマンスが、ユーザの視界に入っているにもかかわらず、そのパフォーマンスに注意を向けていないために生じる **Complacency** である。**Attention failure** は、自動化システムに任せた課題とユーザが手動操作で行う課題が、単一の画面(**Superimposed display**)で表示される状況で生じる。このような状況では、ビジランスを高く保つことが、視界に入っている事象の変化に気づきを促進することが示されている[12]. このことから、**Superimposed display** を使用する状況では、**Complacency** と自動化システム使用/未使用の選択傾向との間に、ビジランスを媒介した関連性がみられることが予測され、以下の仮説 2 が導出される。

仮説 2: **Superimposed display** を使用する状況では、自動化システムを使用しない傾向にあるユーザほど **Complacency** に陥る。

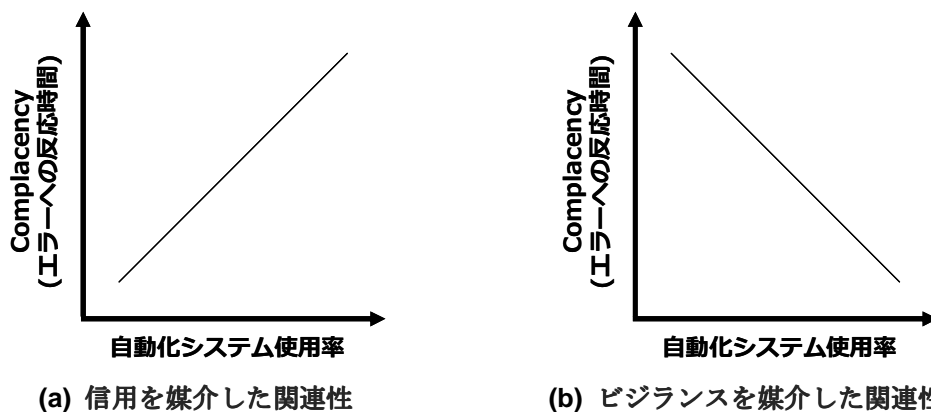


図 1 Complacency と自動化システム使用/未使用の選択傾向との二つの関連性((a)信用を媒介した関連性, (b)ビジランスを媒介した関連性). 横軸は自動化システム使用率を示し、縦軸は Complacency(自動化システムのエラーへの反応時間)を示している。

### 3. 実験課題

我々は、仮説検証を行うために、二つの実験課題を用いた。一つ目の課題は、追従課題である(図2)。この課題で、参加者は、画面の上から下へスクロールする路線をビークル(○印として表示される)で追従することが求められる。ビークルが路線から逸脱した場合に、課題の得点は減点される。この課題では、Autoモード(実験システムに実装されたシステムオペレータが路線追従を行う)と、Manualモード(参加者が左右の矢印キーを使用して操作を行う)があり、キーボードのスペースキーを押すことによって、両モードの切り替えを行うことが可能である。我々は、Autoモードにおけるシステムオペレータの操作能力とManualモードにおける参加者の手動操作の操作能力に各5水準(30, 40, 50, 60, 70)を設けた。それぞれの操作能力の値は、システムオペレータまたは参加者の操作が、実際のビークルの挙動として出力される確率を示している。それぞれの操作能力の値が大きいほど、システムオペレータまたは手動操作の指示通りにビークルは動きやすく、追従パフォーマンスは高くなる。実際の実験では、Autoモードにおけるシステムオペレータの操作能力とManualモードにおける手動操作の操作能力の全ての組み合わせ(25組)が、ランダムな順序で出現するように設定された。参加者は、二つのモードを切り替えながらビークルの挙動を監視して、追従パフォーマンスの高い方を選択する必要がある。この課題におけるAutoモードの使用率を用いて、参加者の自動化システム使用/未使用の選択傾向の評価を行う。

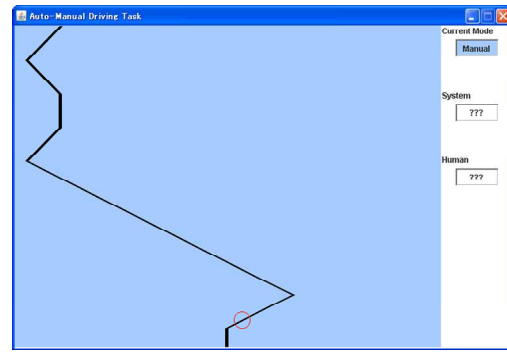


図2 追従課題

実験課題の二つ目は、二重課題である(図3)。この課題で、参加者は、二つの課題を同時に行う必要がある。第一の課題は、探索課題である。探索課題では、画面の上から下へ探索刺激が流れる。参加者は、妨害刺激(T)の中からターゲット刺激(L)を検出する必要がある。ターゲット刺激が画面下方の二重線の内側にある状態でスペースキーを押すことで、ターゲットの検出を行う。検出が成功した場合、ターゲットの文字色は赤に変化する。ターゲットの検出ミス、または、誤検出の場合、課題の得点は減点される。探索課題は手動操作のみで行う。第二の課題は、監視課題である。監視課題は、先に行われた追従課題の路線追従をAutoモードにおけるシステムオペレータに任せ、そのパフォーマンスの監視を行う。基本的に、システムオペレータは、完璧な追従パフォーマンスを示す。しかし、課題遂行中のある時点でAutoエラー(システムオペレータの操作能力の低下)が生じ、ビークルは路線を追従しなくなるように設定されている。参加者は、Autoエラーを検出した場合、左右の矢印キーを押して、ビークルを手動で操作する必要がある。監視課題では、矢印キーを押す

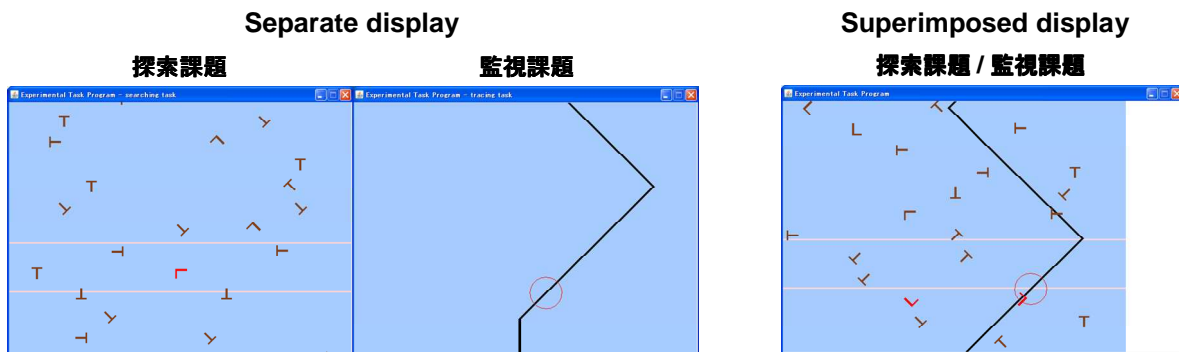


図3 二重課題。Separate display では、探索課題と追従課題は個別の画面で表示される(左)。一方、Superimposed display では、探索課題と追従課題は単一の画面に表示される(右)。

ことで **Manual** モード、矢印キーから手を離すことで **Auto** モードに切り替わる。ビークルが路線から外れた場合、課題の得点は減点される。二重課題の監視課題における **Auto** エラーへの反応を用いて参加者の **Complacency** に陥る傾向の評価を行う。

二重課題では、二種類の課題状況を設定した。一方は、**Separate display** を使用して課題を行う状況であり、もう一方は、**Superimposed display** を使用して課題を行う状況である。また、監視課題では、課題遂行中に、二種類の **Auto** エラーが生じるように設定した。一つ目の **Auto** エラーは **Gradual** エラーである。**Gradual** エラーでは、**Auto** モードにおけるシステムオペレータの操作能力は 40 秒かけて徐々に低下し、最終的に追従停止し、その状態が 10 秒間継続する。二つ目の **Auto** エラーは **Sudden** エラーである。**Sudden** エラーでは、**Auto** モードにおけるシステムオペレータの操作能力が突如喪失し、追従停止状態になり、その状態が 10 秒間継続する。

**Gradual** エラーでは、参加者は、**Auto** モードにおけるシステムオペレータの操作能力の低下（ビークルの動きの低下）を検出した直後に手動操作を行うことも、もしくはその状態をしばらく放置し、ビークルが停止する直前まで **Auto** モードに路線を任せることも可能である。このような状況では、自動化システムへの信用に基づく意図的な手動操作実行の判断が、**Auto** エラーへの反応に影響すると考えられる。つまり、**Auto** モードを信用するユーザほど、可能な限りビークルの操作を **Auto** モードに任せて、手動操作の実行が遅くなることが予測される。このことから、仮説 1 を踏まえると、**Separate display** を使用する状況で、**Gradual** エラーが生じた場合、自動化システムを使用するユーザほど **Complacency** に陥る傾向が顕著に現れることが予測される。

一方、**Sudden** エラーでは、参加者は、ビークルの異変を認識した直後に手動操作を行う必要がある。このような状況では、参加者の自動化システムのエラーに対するビジランスを維持する能力

が、**Auto** エラーへの反応に直接影響すると考えられる。つまり、ビジランスの維持能力が低い参加者ほど、**Auto** エラーの検出が遅くなることが予測される。このことから、仮説 2 を踏まえると、**Superimposed display** を使用する状況で、**Sudden** エラーが生じた場合、自動化システムを使用しないユーザほど **Complacency** に陥る傾向が顕著に現れることが予測される。

## 4. 実験

### 4.1 方法

#### 4.1.1 参加者

実験参加者は、大学生 86 名である。

#### 4.1.2 手順

全ての参加者は、追従課題を行った後に二重課題を行った。追従課題では、参加者は、まず課題の練習を行い、その後に本課題を行った。本課題では、1 試行 40 秒の試行を 25 試行行った。本課題における **Auto** モードと **Manual** モードの操作能力の各 5 水準は、無作為な順序で変化した。各試行の区切りとして、「操作能力が変更されました」と課題画面に表示した。しかし、実験中に、操作能力の値を参加者に示すことはなかった。参加者には、課題の得点ができるだけ高くなることを目指して課題を行うように教示した。

追従課題を行った後に休憩を設け、その後に二重課題を行った。参加者 86 名中 46 名は、二重課題を **Separate display** で行った。その他の 40 名は、二重課題を **Superimposed display** で行った。二重課題では、参加者は、まず課題の練習を行い、その後に本課題を行った。本課題では、1 試行 50 秒の試行を 9 試行実施した。探索課題では、課題遂行中に、妨害刺激が 400 個、ターゲット刺激が 100 個出現するように設定し、探索刺激が画面に出現するタイミングは参加者間で統制された。監視課題では、**Auto** エラーは、各ブロックで 3 回生じるように設定した。**Sudden** エラーは、2 試行目の開始から 40 秒後に生じ、**Gradual** エラーは、5 または 6 試行目と 9 試行目の開始時点から生じた。1 回目の **Gradual** エラーが生じる試行は、参

加者間でカウンターバランスをとった。参加者には、Auto エラーが生じるタイミングや回数は通知しなかった。Auto エラー終了後、Auto モードにおけるシステムオペレータの操作能力は回復し、「能力が回復しました」と課題画面に表示した。参加者には、操作能力の回復を示す表示が提示された後は、再び Auto モードに路線追従を任せるとして教示した。Auto エラーが生じる試行の路線パターンは参加者間で統制された。二重課題終了後に、参加者には、監視課題における Auto モードへの信用について7段階(1: Auto は全く信用できなかった, 2: Auto はほとんど信用できなかった, 3: Auto はあまり信用できなかった, 4: どちらでもない, 5: Auto はやや信用できた, 6: Auto はわりと信用できた, 7: Auto は非常に信用できた)の評定を行わせた。

4.2 結果

まず、二重課題の探索課題における検出ミスまたは誤検出回数が、平均から 4SD 以上離れた参加者を分析から除外した。また、二重課題の監視課題で、Auto エラーが生じる前から手動操作を行っていた参加者を分析から除外した。結果として、Separate display において 40 名、Superimposed display において 35 名の参加者のデータを分析に用いた。

二重課題の探索課題における参加者の検出ミス回数の平均は、Separate display で 0.45 回、Superimposed display で 0.28 回であった。一方、参加者の誤検出回数の平均は Separate display で 0.38 回、Superimposed display で 0.67 回であった。以上より、参加者は、適切に課題に従事していたことが確認された。

我々は、二つの仮説を検討するために、追従課題における Auto 使用率と二重課題における Auto エラーへの反応時間との相関分析を行った。各参加者の追従課題の Auto 使用率は、追従課題で Auto モードを使用していた時間を追従課題全体の時間で割って算出した。また、各参加者の二重課題における Auto エラーへの反応時間は、二重課題の監視課題において、Auto モードにおけるシ

ステムオペレータの操作能力の低下が開始してから手動操作に切り替えるまでの時間(msec)を測定した。Gradual エラーへの反応時間は、各参加者の 2 回の Gradual エラーへの反応時間の平均値を使用した。相関分析の結果を表 1 に示す。分析の結果、Superimposed display を用いた実験状況において、Auto 使用率と Sudden エラーへの反応時間との間に負の相関がみられた( $r = -.50, p < .005$ )。図 4 は、両者の関係を図に示したものである。この結果から、Superimposed display では、Auto 使用率の低い参加者ほど Sudden エラーに対する反応が遅いことが確認され、仮説 2 が支持された。

表 1 追従課題における Auto 使用率と二重課題における Auto エラーへの反応時間との相関分析の結果。数値は相関係数( $r$ )を示す。

	二重課題			
	Separate display		Superimposed display	
	Sudden エラー	Gradual エラー	Sudden エラー	Gradual エラー
追従課題 Auto 使用率	.01	-.01	-.50***	-.21

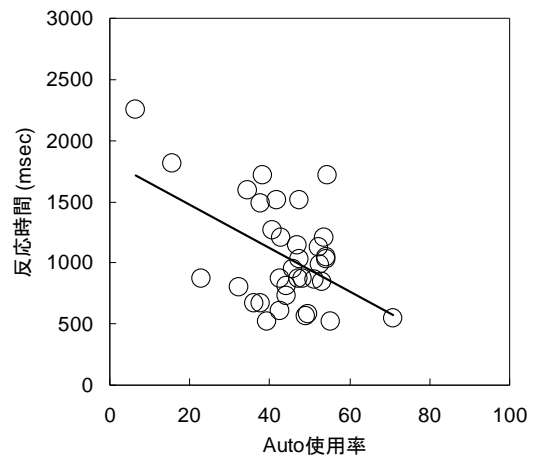


図 4 追従課題における Auto 使用率と二重課題の Superimposed display における Sudden エラーへの反応時間との相関分析の結果。横軸は追従課題における Auto 使用率を示す。縦軸は二重課題の Superimposed display における Sudden エラーへの反応時間(msec)を示す。

一方で、仮説 1 からの予測は確認されなかった。

つまり、Separate display を用いた実験状況において、Auto 使用率と Auto エラーへの反応時間との相関はみられなかった。そこで、二重課題終了後に実施した信用アンケートと Auto エラーへの反応時間との相関分析を行った。その結果、参加者の Auto モードへの信用と Separate display における Gradual エラーへの反応時間との間に正の相関がみられた( $r=.36, p<.05$ )。図 5 は、両者の関係を図にしたものである。この結果から、Separate display では、Auto モードを信用した参加者ほど、Gradual エラーへの反応が遅いことが確認された。

## 5. 考察および結論

本研究では、Complacency と自動化システム使用/未使用の選択傾向との関連について実験的検討を行った。

仮説 1 に関して、自動化システムを信用する参加者ほど Separate display で生じる Gradual エラーへの反応が遅いことが示された。この結果は、先行研究[2]で示された結果と同様の結果である。一方で、二重課題を用いて測定された Complacency と、追従課題を用いて測定された自動化システム使用/未使用の選択傾向との関連性は確認されなかった。両者の関連性が確認されなかった理由には、以下が考えられる。仮説 1 に関しては、自動化システムの使用/未使用の選択を行う追従課題と、自動化システムの監視を行う二重課題で、各参加者の自動化システムへの信用は一貫していることが前提であった。しかし、二重課題でシステムダウンが生じたことによって、追従課題と二重課題との間で、参加者の自動化システムへの信用が大きく変化した可能性が考えられる。Lee ら[6], [7]は、自動化システムにシステムダウンが生じた場合、ユーザは、自動化システムへの信用を低下させ、その程度には、大きな個人差があることを示している。以上のことから、追従課題と二重課題における自動化システムへの信用は、参加者内で一貫性が保たれなかったと考えられる。その結果、Complacency に陥る傾向と自動化シス

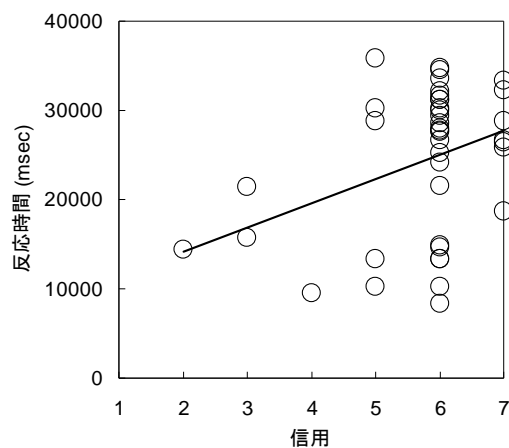


図 5 Auto モードへの信用と二重課題の Separate display における Gradual エラーへの反応時間との相関分析の結果。横軸は Auto モードに対する主観的信用度を示す。縦軸は二重課題の Separate display における Gradual エラーへの反応時間(msec)を示す。

テム使用/未使用の選択傾向との関連が検出されなかった可能性がある。

仮説 2 に関して、Superimposed display を用いた状況で、Complacency と自動化システム使用/未使用の選択傾向との関連性が確認され、仮説 2 は支持された。仮説 1 に関連して述べたように、ユーザの自動化システムへの信用は、自動化システムのシステムダウンに影響を受ける[6], [7]。その一方で、ビジランスの維持能力は個人に備わる認知的能力であるため、追従課題と二重課題の間で、参加者のビジランスの維持能力は一貫していたと考えられる。その結果、今回の実験でも、先行研究[11], [14]で示されたように、ビジランスの維持能力の低い参加者は、追従課題では、自動化システムを使用しない傾向に陥り、二重課題では、視界に入っている自動化システムのエラーの検出が遅くなったと考えられる。

本研究では、これまで検討されてこなかった Complacency と自動化システム使用/未使用の選択傾向との関連について検討を行い、対立する二つの予測を合理的に説明することができる理論的枠組みを提起した。

## 参考文献

- [1] Parasuraman, R. & Riley, V., (1997) "Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse", *Human Factors*, Vol. 39, No. 2, pp. 230-253.
- [2] Parasuraman, R., & Manzey, D. H., (2010) "Complacency and bias in human use of automation: an attentional integration", *Human Factors*, Vol. 52, No. 3, pp. 381-410.
- [3] Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L., (1993) "Performance consequences of automation-induced 'complacency'", *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-23.
- [4] Metzger, U., & Parasuraman, R., (2005) "Automation in future air traffic management: effects of decision aid reliability on controller performance and mental workload", *Human Factors*, Vol. 47, No. 1, pp. 35-49.
- [5] Singh, I. L., Molloy, R., & Parasuraman, R., (1993) "Individual differences in monitoring failures of automation", *Journal of General Psychology*, Vol. 120, No. 3, pp. 357-373.
- [6] Lee, J. D., & Moray, N., (1992) "Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems", *Ergonomics*, Vol. 35, No. 10, pp. 1243-1270.
- [7] Lee, J. D., & Moray, N., (1994) "Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 40, No. 1, pp. 153-184.
- [8] Muir, B. M., & Moray, N., (1996) "Trust in automation. part II. experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation", *Ergonomics*, Vol. 39, No. 3, pp. 429-460.
- [9] Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G., (2008) "Vigilance requires hard mental work and is stressful", *Human Factors*, Vol. 50, No. 3, pp. 433-441.
- [10] Rajaonah, B., Tricot, N, Anceaux, F., & Millot, P., (2008) "The role of intervening variables in driver-acc cooperation", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 66, No. 3, pp. 185-197.
- [11] Molloy, R., & Parasuraman, R., (1996) "Monitoring an automated system for a single failure vigilance and task complexity effects", *Human Factors*, Vol. 38, No. 2, pp. 311-322.
- [12] Simons, D. J., & Ambinder, M. S., (2005) "Change blindness: theory and consequences", *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 14, No. 1, pp. 44-48.