

Modèle analytique pour décrire l'influence des paramètres de l'éclairage sur la performance visuelle

Volume 1 : bases mécaniques et techniques

Rapport CIE 19/2.1 issu du TC 3.1 (visual performance)

Traduction H et F Legillon

Ce rapport propose un modèle général de performance visuelles pour des tâches liées à une détection. Le modèle se base sur une tâche visuelle de référence, dans un environnement lumineux de référence, pour construire un premier modèle de performance. Il est ensuite étendu à des situations plus générales en définissant des notions comme la luminance équivalente ou l'éclairement équivalent, de manière à se ramener au modèle de départ. Le modèle utilise, comme variable intermédiaire entre la luminance et la performance, la notion de « niveau de visibilité ». Ce niveau de visibilité (VL) est défini à partir de la sensibilité relative au contraste (RCS). Le lien entre performance visuelle (VP) et VL dépend de la tâche spécifique.

Partie 1

1.A.

La manip canonique utilisée dans ce rapport est la détection du trou dans un anneau de Landolt. Après correction, pour tenir compte des bonnes réponses données au hasard, on observe une probabilité de détection de 0 à un maximum ≤ 1 (qui dépend du temps d'observation) en fonction du contraste de luminance. La fonction est croissante, bien entendu, avec une asymptote en $+\infty$. c est le contraste de luminance correspondant à une probabilité de détection de 50%, et $VL=c/c$. Comme la courbe n'est linéaire qu'aux alentours de c , le lien entre VL et une probabilité de détection n'est linéaire qu'aux alentours de 1. En pratique, on représente la probabilité de détection p en fonction de VL pour différentes manips (par exemple, une tâche visuelle hors de l'axe du regard), mais en gardant la même valeur de c pour toutes les manips, ce qui fait que $VL=1$ ne signifie pas nécessairement qu'on est au seuil de visibilité. Au contraire, la probabilité de détection à $VL=1$ est considéré comme une mesure de difficulté de la tâche visuelle demandée. On note $\check{c}=VL \times c$ ce « niveau de difficulté » que l'on appelle le contraste équivalent. La sensibilité relative au contraste (RCS) est ensuite définie par $RCS=k/c$ (la constante arbitraire k est prise pour que $RCS=1$ si la luminance du fond est $L=100 \text{ cd/m}^2$).

La forme de la courbe RCS dépend de la tâche demandée : taille du détail à observer, excentricité, temps de présentation etc. Pour le RCS comme pour c , on a d'un côté une manip de référence qui conduit à c_{Ref} et RCS_{Ref} , et de l'autre diverses manips pour lesquelles on a des courbes RCS spécifiques, pour lesquelles VL est défini par $VL= c_{Ref} \cdot k \cdot RCS$.

A partir de la courbe fondamentale RCS_{Ref} donnant VL en fonction de L, on déduit des courbes correspondant à des facteur de difficultés différents (\check{c}) par translation de la courbe RCS_{Ref} le long de l'axe des VL.

1.B.

Le test de référence de performance visuelle consiste à montrer 5 anneaux de Landolt et à demander lequel est dans la même position que celui du centre (il y a 8 positions possibles) On note $\alpha=\log(VL)$ et on trace la performance normalisée (entre 0 et 1, par rapport à la performance maximale accessible pour chaque test) en fonction de α . On obtient, selon la tâche spécifique, des « ogives » (une famille de courbes mathématiques décrite par 2 paramètres α et γ). Ce qui est intéressant, c'est qu'on observe sur les données un lien (linéaire) entre α et γ , ce qui fait qu'il n'y a en réalité qu'une seule famille de courbes, selon la difficulté de la tâche. La performance maximale est également liée à α .

Concernant le test lui-même, il y a deux cas : soit un des 4 anneaux périphériques est identique à celui du centre, soit ils sont tous différents de celui du centre. C'est seulement dans ce dernier cas qu'on est assuré que les observateurs ont regardé tous les anneaux. D'autre part, il a été montré que la forme des courbes du test de référence est conservée (avec une difficulté accrue) quand on impose au regard de rester dans l'axe. C'est ce qui a conduit à définir l'excentricité. Les courbes RCS dépendent de cette excentricité (notée \mathbf{X}). Un modèle décrivant la RCS en fonction de \mathbf{X} est disponible (volume 2 du présent rapport), mais il n'est considéré comme valide que pour $\mathbf{X} \leq 3^\circ$.

1.C.

La question qui se pose ensuite, c'est de savoir si les processus visuels qui sont en œuvre dans la manip de référence sont les mêmes que dans une tâche visuelle réelle, comme la lecture d'un panneau. Ce chapitre s'intéresse au rôle des processus oculomoteurs dans la performance visuelle, pour des tâches réelles.

On distingue deux « processus » oculomoteurs : celui qui est nécessaire à la fixation (processus 2), et celui qui est nécessaire au contrôle des saccades (processus 3). Normalement il y a aussi un processus lié à l'accommodation visuelle, mais il semble qu'on manque de résultats sur le lien entre accommodation et VL.

On a observé un lien entre le VL et la précision des fixations, qui peut être modélisé par une fonction analytique. On a aussi mesuré le temps nécessaire pour passer d'une fixation sur un stimulus central à une fixation sur un stimulus périphérique qui apparaît. On connaît par ailleurs la difficulté spécifique qu'il y a à détecter un objet excentré, et on s'aperçoit que cela ne suffit pas à expliquer le temps de réaction observé. Blackwell fait l'hypothèse d'un processus supplémentaire ψ , lié à l'analyse cognitive du champ périphérique. La principale conclusion, c'est que les processus 2 et 3 ne sont pas évalués dans la manip de référence du 1.B.

1.D.

On considère qu'une tâche visuelle peut être décrite par un triplet $(\alpha\beta\gamma)$ avec $\alpha+\beta+\gamma=1$, le processus complet étant décrit par $\alpha P_1 + \beta P_2 + \gamma P_3$ (P_1 étant le processus impliqué au chapitre 1.B). Avec les données expérimentales disponibles, on arrive à relier α , β et γ à la difficulté de la tâche, et on observe que plus la tâche est difficile, plus P_2 et P_3 sont impliqués. Les courbes de références qui relient VL et la performance sont connues pour chacun des 3 processus. Elles ont la même forme, mais avec un décalage. Le problème est que pour une tâche visuelle donnée, le choix des coefficients $(\alpha\beta\gamma)$ et de la difficulté spécifiques de chacune des trois sous-tâches n'est pas possible sans arbitraire, puisqu'on ne peut pas séparer ces sous-tâches. En pratique, on est conduit à fixer ces valeurs en minimisant l'erreur par rapport au modèle de performance, en fonction du jeu des données disponible.

Il est proposé de décrire la difficulté D de la tâche visuelle uniquement à l'aide de α , c'est-à-dire à partir de la difficulté associée au processus P_1 . On constate que quand la difficulté augmente, la courbe RVP (Relative Visual Performance) se déplace, mais qu'à partir d'un certain niveau de difficulté les courbes ne se chevauchent jamais. C'est une illusion qui est due à la diminution de la performance maximale quand D augmente.

1.E.

Lors des expérimentations mettant en rapport une tâche visuelle et une performance, il y a en général des sous-tâches non visuelles, ou pour lesquelles l'aspect visuel est non critique (par exemple, mettre une croix dans une case, faire un clic de souris). Il s'agit en général de tâches motrices à guidage visuel.

Partie 2

On cherche à étendre, dans cette partie, les résultats des manips de référence à des situations d'éclairage réel. Pour cela, on part du principe qu'il est toujours possible de trouver une manip de référence « équivalente » à la situation réelle.

2.A.

La géométrie de l'éclairage, la distribution spectrale de la lumière et sa polarisation ont une incidence sur la visibilité des détails observés. Le CRF (Facteur de Rendu du Contraste) permet de faire le lien entre une situation réelle et une situation de référence, et amène à définir une « RCS efficace » : $RCS_{\text{eff}} = RCS \times CRF$. On définit aussi une luminance et un éclairage « efficaces », à manipuler avec précaution.

2.B.

La luminance de voile due à un éblouissement rend bien compte de la baisse de visibilité en présence d'une source éblouissante (Holladay, Stiles). Le calcul de cette luminance de voile a été modélisé à partir de données expérimentales. Blackwell a remarqué qu'il y a aussi un « effet bénéfique » de l'éblouissement, du fait que la luminance d'adaptation augmente (donc la sensibilité au contraste), si le temps d'exposition est assez long.

On définit un facteur d'adaptation transitoire (TAF) qui prend en compte la baisse de visibilité liée à une modification du niveau lumineux (due à une modification de l'éclairage ou à une saccade oculaire). Il n'existe pas de modèle satisfaisant permettant de décrire l'évolution du TAF dans le temps, mais il existe des données partielles, pour des situations bien précises.

Partie 3

Les manipulations de références ont été réalisées avec des WASP de 20 à 30 ayant une bonne vision. Il est nécessaire que chaque pays ait une idée des performances moyennes de sa population, par rapport à la population de référence.

3.A.

Les données expérimentales semblent montrer que le lien entre l'âge et la performance visuelle n'est pas simple, et dépend de la nature de la tâche. Ce lien est modélisé par des coefficients par la manip canonique et pour différentes perturbations (éblouissement, etc.). La RCS est modélisée en fonction de l'âge.

3.B.

Il existe des données sur les variations inter-individuelles pour la manip de référence (processus P_1), mais pas pour les autres processus ni pour l'âge. De plus, on n'est pas capable de distinguer cette variabilité du bruit de mesure.

Partie 4

4.A.

Les données expérimentales disponibles, portant sur des tâches réelles, ont été passées en revue par Blackwell. Un certain nombre de paramètres « libres » ont été fixés à cette occasion, d'une manière qui permet que les données soient compatibles avec le modèle.

4.B.

Détail de la procédure de calcul de la RTP (Relative Test Performance) en fonction de la difficulté D , de l'âge A , du diamètre d du détail, de L_{ref} , de c .

4.C.

On dispose (à la date du rapport) de 18 jeux de données relatifs à l'éclairage intérieur, et de 2 jeux relatifs à l'éclairage public. La démarche consiste, à chaque fois, à rechercher le couple (D, ω_{123}) pour lequel les données sont le mieux ajustées. ω_{123} est la proportion du processus total dépendant des processus « critiques » (P_1, P_2 et P_3). Les tâches visuelles sont les suivantes :

- correction d'épreuves, avec des anneaux de Landolt ;
- recherche d'un chiffre dans une liste ;
- recherche de carrés dans des séries de formes géométriques ;
- faire passer une sonde dans le chas d'une aiguille ;
- lecture de dates ;
- lectures de chiffres qui peut valoir 0, 4, 6 ou 9 ;
- détection d'un composant sur un schéma électronique, et tâche motrice ;
- détection de tous les composants d'un certain type sur un schéma électronique ;
- temps de réaction visuo-moteur (2) ;
- vitesse de lecture, en tenant compte de la compréhension du texte ;
- vitesse de lecture, en tenant compte des erreurs typographiques ;
- vérification de numéros de chèques ;
- comparaison de nombre à 5 chiffres (2) ;
- recherche de nombre à trois chiffres dans un tableau ;
- détection d'un obstacle conique sur autoroute, sous éclairage public ;
- détection d'une cible plate sur autoroute, sous éclairage public.

4.D.

Le modèle proposé et la meilleure description disponible des effets des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle, mais il peut encore être amélioré.

Partie 4

5.A.

On pense que le processus P_1 est composé, en réalité, de deux sous-processus ; le premier serait lié au degré de « sensibilisation » à l'emplacement, dans le champ visuel, du détail à observer. Des développements dans cette direction seraient souhaitables.

5.B.

On doit pouvoir trouver une expression analytique générale des fonctions RCS. On doit également pouvoir l'étendre aux domaines scotopique et mésopique.

5.C.

Il serait essentiel de trouver un moyen de définir la « difficulté » d'une tâche indépendamment des données expérimentales de performances visuelles.

5.D.

Le volume 2 propose de définir un « indice de performance visuelle », à partir de la distribution des disponibilités de niveau de visibilité, et de la distribution des exigences de niveau de visibilité.

5.F.

Les trois principaux manques de la théorie actuelle concernent :

- la méthode de calcul de c_{ref} ;
- la prise en compte de contrastes colorés ;
- la prise en compte des effets d'adaptation transitoires.