Modèle d'oeil réaliste pour Agents Conversationnels Animés

G. Gibert⋆, †, ‡ C.J. Stevens‡
guillaume.gibert@inserm.fr kj.stevens@uws.edu.au

⋆INSERM U846 - Stem-Cell and Brain Research Institute
18 avenue Doyen Lépine 69500 Bron – FRANCE

†Université de Lyon, Université Lyon 1
69003 Lyon – FRANCE

‡Marcs Institute, University of Western Sydney
Penrith NSW 2751 – AUSTRALIA

Résumé :
L'oeil est un organe complexe et le regard est seulement une des ses caractéristiques. La dilatation/constriction de la pupille et le reflet cornéen sont deux phénomènes qui peuvent accroitre la présence d'un avatar. À l'aide d'une webcam montée sur un écran d'ordinateur sur lequel est affiché l'avatar et faisant face au partenaire humain, la taille de la pupille a été manipulée an calculant l'intensité moyenne des images capturées. Le reflet cornéen a également été simulé en découpant les images capturées autour du point de regard et en les appliquant sur la surface 3D de la cornée.

Mots-clés : modèle d'oeil, dilatation/constriction de la pupille, reflet cornéen

Abstract:
The eye is a complex organ and gaze is only one of its features. Pupil dilation/constriction and corneal reflection are two phenomena that can increase the sense of presence of an avatar. With a webcam mounted on top of the screen displaying the avatar and facing a human partner, we manipulate the pupil dilation by computing the average intensity of grabbed images. We also created the corneal reflection phenomenon by cropping the grabbed images around the gaze point and warping them onto the cornea surface.

Keywords: eye model, pupil dilation, corneal reflection

1 Introduction

Les yeux jouent un rôle essentiel durant la communication face à face. Ils fournissent une quantité importante d'informations sur l'attention visuelle et les tours de parole durant les interactions homme-homme et homme-avatar. L'oeil est un organe complexe et le regard est seulement un de ses comportements. Il est composé, entre autres choses, d'un globe oculaire, d'un iris, d'un cristallin et d'une cornée (voir figure 1). La pupille et la cornée présentent des phénomènes variant dans le temps qu'un modèle d'oeil réaliste devrait prendre en compte. La pupille est l'orifice par lequel la lumière entre dans l'oeil. La taille de la pupille change à cause de l'activité de deux muscles antagonistes de l'iris : le muscle dilatateur contrôlé par le système sympathique et le muscle sphincter contrôlé par le système parasympathique. Le

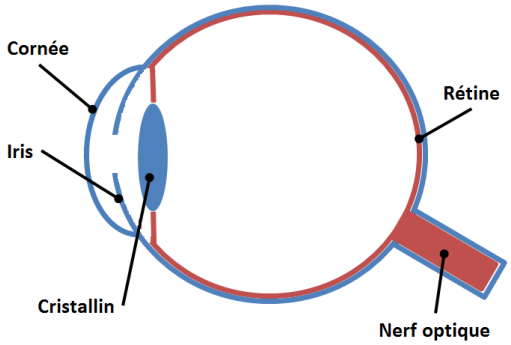

FIGURE 1 – Coupe simplifiée d'un oeil humain.

premier rôle de la pupille est de réguler la quantité de lumière entrant dans l'oeil en réponse à des changements d'illuminations environnementales. La pupille se dilate dans des conditions lumineuses faibles et se rétracte dans des conditions lumineuses élevées. Un modèle du réflexe pupillaire photomoteur inspiré de la physiologie et de données réelles a été proposé par Pamplona et collègues [8]. Il décrit ce phénomène par un ensemble d'équations aux dérivées partielles. Ce modèle ne fonctionne qu'à l'aide d'un luxmètre et n'a pas été testé dans un agent virtuel interagissant avec des humains. Un autre type de mouvements pupillaires est l'hippus. Il s'agit d'oscillations spontanées du diamètre de la pupille dans des conditions lumineuses stables. Ce phénomène est considéré comme un système chaotique avec doublement de périodes [9]. En fait, les oscillations vont de comportements chaotiques à périodiques et vice-versa. Durant ces phases, les fluctuations du diamètre sont de 1 mm (pic-à-pic) avec une fréquence égale à 0.2 Hz en moyenne.

Un autre composant de l'oeil est la cornée qui est un tissu transparent couvrant l'iris. Sur sa

surface, un reflet du monde entourant la personne apparait : cet effet est appelé le réflet cornéen. Un très grande partie de l'information environnementale peut être rétabli à partir du reflet cornéen d'un seul oeil [7]. Seulement récemment, un modèle d'oeil anatomiquement précis tenant compte de ce phénomène a été proposé [5]. Ce modèle utilise la vidéo d'un oeil humain comme entrée et réplique cet oeil. Cependant, il n'est pas capable de répliquer le phénomène de reflet cornéen à partir de la video de l'environnement. Or, ce phénomène pourrait augmenter la *présence* d'un agent conversationnel animé [2] en montrant qu'il est capable de s'adapter aux conditions du monde physique se situant en face de lui.

Le but de cette étude est de construire un modèle d'oeil 3D pour Agent Conversationnel Animé (ACA) répliquant le réflet cornéen, la variation de la pupille due à des processus 'bottom-up' et le phénomène d'hippus. Contrairement aux modèles précédents, ce modèle est intégré à un agent virtuel et est capable de s'adapter en fonction des caractéristiques lumineuses du monde réel qui se trouve face à l'ACA. Cet article décrit plus en détail le modèle proposé par les auteurs [6]. Dans la première section, la structure et l'animation du modèle d'oeil sont décrites. Ensuite, la simulation de la variation de la taille de la pupille due à des processus 'bottom-up' et à l'hippus est présentée dans la section 2. La troisième section est dédiée à la simulation du reflet cornéen. Enfin, quelques résultats sont présentés avant de conclure.

2 Modèle d'oeil 3D

2.1 Anatomie

Chaque modèle d'oeil est composé d'un globe oculaire, d'une pupille, d'un iris et d'une cornée. La structure 3D du modèle est représentée sur la Figure 2. Le globe, la pupille et l'iris sont des objets 3D avec une texture fixe. En revanche, la cornée est un objet 3D avec une texture transparente qui peut être manipulée en temps-réel (30 Hz).

2.2 Animation

Chaque oeil peut tourner autour des axes x, y et z indépendamment du second. Un paramètre d'animation contrôle la taille de l'iris. Une valeur maximale (+3) de ce paramètre correspond

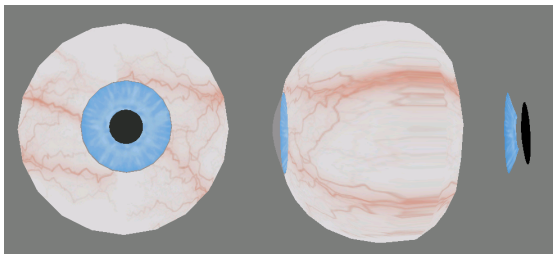

FIGURE 2 – Structure du modèle 3D d'oeil. À gauche, vue de face de l'oeil ; Au milieu, vue de côté de l'oeil, la cornée est quasi-transparente et couvre l'iris ; À droite, vue de côté de l'iris et de la pupille sans le globe oculaire.

à un iris de petite surface c'est-à-dire une dilatation de pupille extrême. Une valeur minimale (-3) de ce paramètre correspond à un iris de grande taille c'est-à-dire une constriction de pupille extrême. Un exemple de variation de ce paramètre est représenté sur la Figure 3.

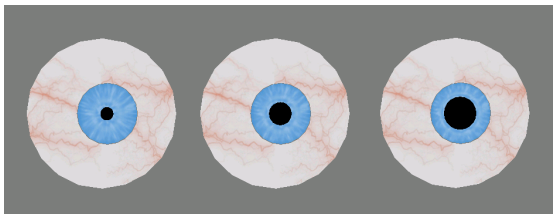

FIGURE 3 – Exemples de variation du paramètre articulatoire contrôlant la taille de l'iris. À gauche, la valeur du paramètre est mise à sa valeur minimale, ce qui correspond à une constriction maximale de la pupille. Au milieu, la valeur du paramètre est mise à la valeur moyenne. À droite, la valeur du paramètre est mise à sa valeur maximale ce qui correspond à une extrême dilatation de la pupille.

3 Variation de la taille de la pupille

3.1 Réflexe photomoteur

La taille de la pupille varie en fonction des conditions lumineuses de l'environnement. La taille de la pupille augmente lorsque l'environment est sombre et diminue lorsque l'environemment est très lumineux. Un exemple de décours temporel de ces phénomènes est représenté sur la figure 4. La constriction de la pupille est un phénomène qui est approximativement 3 fois plus rapide que la dilatation [4].

Le diamètre de la pupille peut être contrôlée

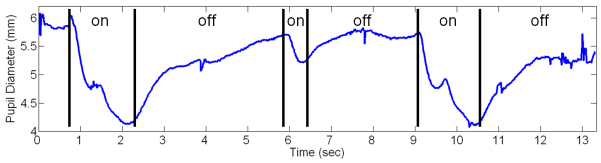

FIGURE 4 – Dilatations et constrictions de la pupille humaine pour des changements de conditions lumineuses enregistrées par un oculomètre Tobii X120. Une constriction de la pupille apparait lorsque la lumière est allumée (on) et une dilatation apparait lorsque la lumière est éteinte (off).

précisément en modifiant la valeur d'un paramètre d'animation. En utilisant un capteur capable d'estimer les conditions luminueuses du monde physique, la taille de la pupille de l'ACA peut s'adapter à ces conditions lumineuses. Une webcam est placée au dessus de l'écran affichant l'ACA. Pour chaque image capturée par la webcam, l'intensité moyenne des images (converties en niveaux de gris) est calculée. Les variations de cette valeur sont utilisées pour contrôler la taille de la pupille à partir d'un modèle de réflexe photomoteur adapté de celui proposé par Pamplona et collègues [8]. Le modèle que nous proposons est décrit par les équations 1 et 2. Le diamètre de la pupille D_{PLR} dépend de l'intensité lumineuse I_c déterminée à l'instant $t - \delta$. En effet, Le phénomène de constriction/dilatation n'est pas instantané. Le paramètre δ gère ce délai et est fixé à 200 ms. Une constriction/dilatation n'apparait que si l'intensité déterminée est supérieure à un seuil I_{thres}. Lorsque une différence significative d'illumination est calculée, la variable $t0$ prend la valeur de l'instant courant. Enfin, la variation au cours du temps de la taille de la pupille est déterminée par l'équation 1 et la variable τ correspond à la constante de temps de dilatation et constriction. Elle est égale à 200 ms pour une constriction et 600 ms pour une dilatation.

$$D_{PLR} = D_t(1 - \exp^{-\frac{t-t0}{\tau}}) \quad (1)$$

$$D_t = \frac{\pm I_c(t-\delta)}{I_{thres}} \quad (2)$$

3.2 Hippus

Les variations de taille de la pupille dues à l'hippus ont été implémentées dans notre modèle. Ce phénomène correpond à des variations de la taille de la pupille qui sont spontannées et bilatérales dans des conditions lumineuses stables. Dans notre modèle qui suit les résultats de l'étude de Rosenberg et collègues [9] , ces variations ont été implémentées comme un va-et-vient entre des périodes d'oscillations à une fréquence de 0.2 Hz et des périodes cahotiques. Ces deux périodes sont décrites par les équations 3 et 4. Les variations sont centrées sur la valeur moyenne du diamètre de la pupille D_m (égale à 5 mm). Ces variations ont une amplitude maximale égale à D_h (égale à 1 mm pic à pic). Dans le cas des périodes oscillatoires, la fréquence est définie par F_{Hippus} qui vaut 0.2 Hz.

$$D_{Hippus} = \begin{cases} D_h \sin(2\pi F_{Hippus} t) + D_m & (3) \\ rand(-D_h, D_h) + D_m & (4) \end{cases}$$

4 Reflet cornéen

4.1 Méthode

La cornée est un tissu transparent qui couvre l'iris. Il s'agit du premier élément réfractif de l'oeil et laisse passer la majorité de la lumière visible. Le taux de transmission dépend de la position sur la surface de la cornée : entre 85% at 90% au centre et entre 70% et 75% pour un déplacement de 5 mm par rapport au centre [3]. Le reflet cornéen correspond à l'apparition d'une image de l'environnement situé face à la personne sur la surface de la cornée. Dans notre modèle, la cornée est un objet 3D avec une texture modifiable en ligne. Une webcam située sur l'écran affichant l'ACA permet d'avoir une image de l'environnement face à l'ACA. Les images de la webcam sont capturées à 30 Hz. Connaissant la position du regard et le mouvement rigide de l'ACA, les images de l'environnement sont découpées autour du point de regard. Deux images légèrement différentes apparaissent sur chaque cornée ce qui correspond à la disparité binoculaire. Par conséquent, chaque oeil est traité séparément. Ces images sont ensuite appliquées sur la texture de chaque modèle 3D de cornée. Un facteur de transparence de 0.2 est appliqué à la texture afin de répliquer 80% de taux de transmission de la lumière. Toutes ces étapes sont répétées pour chaque nouvelle image à 30 Hz. La représentation schématique des étapes de la modélisation peut être vue sur la figure 5.

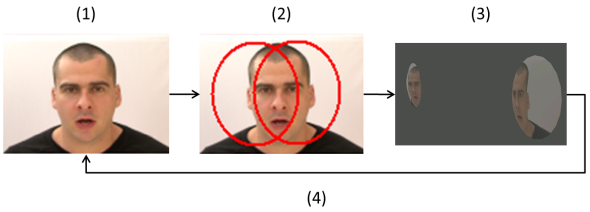

FIGURE 5 – Representation schématique des étapes nécessaires à la simulation du reflet cornée. (1) une image est capturée à partir de la webcam ; (2) la position des images à découper pour chaque cornée est déterminée ; (3) les images sont appliquées sur la surface de la cornée ; (4) les étapes (1), (2) et (3) sont répétées à 30 Hz.

4.2 Résultats

Lorsque l'ACA interagit avec un partenaire humain par exemple, une image de ce partenaire apparait sur les cornées de l'ACA. Ce phénomène est représenté sur la figure 6 sous différents angles de vue. Les images sur les cornées droite et gauche sont légèrement différentes.

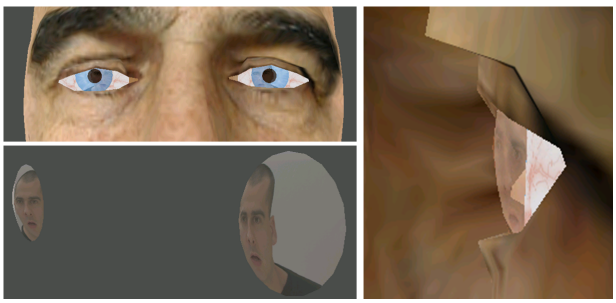

FIGURE 6 – Le reflet cornéen correspond à une image du monde en face de l'ACA ; dans cet exemple, cela correspond à l'image du partenaire humain.

5 Implémentation

5.1 Visage

L'ACA est une représentation de l'artiste australien Stelarc. Le modèle est animé par des paramètres articulatoires : un pour l'ouverture de la mâchoire, trois pour les lèvres, un pour chaque paupière et plusieurs pour des expressions faciales (sourire, surprise...). Le modèle de langue est contrôlé par cinq paramètres articulatoires comme décrit dans [1]. Six paramètres additionnels sont aussi disponibles pour contrôler le mouvement rigide de la tête (trois rotations et trois translations). L'animation est implémenté en Java avec la bibliothèque Java3D pour la gestion de l'affichage 3D.

5.2 Yeux

Chaque oeil est un ensemble d'objets 3D contrôlé séparémment de l'autre. L'animation est implémentée en Java avec les bibliothèques Java3D et Java Media Framework. Les phénomènes de dilatation/constriction de la pupille et le reflet cornéen peuvent être combinés. Par exemple, lorsque l'ACA regarde un film, ses cornées reflètent une partie du film et le diamètre de la pupille varie à cause de changements des conditions lumineuses et de l'hippus.

FIGURE 7 – Exemples d'effets combinés à différents moments de visionnage d'un film par l'ACA.

6 Conclusion et perspectives

Un nouveau modèle d'oeil pour ACA a été présenté qui tient compte de deux caractéristiques de l'oeil humain : la variation de la taille de la pupille et le reflet cornéen. Une webcam placée au dessus d'un écran d'ordinateur affichant l'ACA permet de visualiser le monde physique dans lequel le(s) partenaire(s) humain(s) évolue(nt). L'ACA utilise les images venant de la webcam pour adapter la taille de sa pupille en fonction d'une estimation des conditions lumineuses du monde physique et pour simuler le phénomène de reflet cornéen. Ces deux phénomènes pourraient augmenter la *présence* de l'ACA. En effet, l'ACA est "bloqué" dans son monde virtuel alors que son partenaire humain évolue dans le monde physique. En modélisant ces phénomènes, il se "rapproche" de son partenaire humain en simulant des conditions environnementales similaires. De plus, ces phénomènes qui varient dans le temps rendent "vivant" l'ACA. Il s'agit d'un premier pas dans la simulation du système nerveux autonome. Nous allons l'améliorer pour prendre compte également la respiration. Il reste à évaluer l'effet de ce modèle par rapport à un modèle d'oeil plus rudimentaire et plus particulèrement le rôle de la distance d'interaction et de la couleur de l'iris.

En effet, le phénomène de reflet cornéen est plus visible avec un iris de couleur claire que foncée et si le partenaire humain se situe proche de l'ACA. Dans les améliorations possibles du modèle de variation de la taille de la pupille, il faudra qu'il tienne compte des processus 'top-down' tels que la charge cognitive ou certains états émotionnels par exemple.

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet Thinking Head (ARC and NH&MRC TS0669874) et par le projet SWoOZ (ANR 11 PDOC 019 01).

Références

[1] Pierre Badin and Antoine Serrurier. Three-dimensional linear modeling of tongue : Articulatory data and models. In *7th International Seminar on Speech Production*, 2006.

[2] G Bailly. Gaze, conversational agents and face-to-face interaction. In *Speech and Face to Face Communication workshop*, 2008.

[3] James Doutch, Andrew J. Quantock, Valerie A. Smith, and Keith M. Meek. Light Transmission in the Human Cornea as a Function of Position across the Ocular Surface : Theoretical and Experimental Aspects. *BIOPHYSICAL JOURNAL*, 95(11) :5092–5099, DEC 1 2008.

[4] C. J. Ellis. The pupillary light reflex in normal subjects. *British Journal of Ophtalmology*, 65(11) :754–759, 1981.

[5] Guillaume François, Pascal Gautron, Gaspard Breton, and Kadi Bouatouch. Anatomically accurate modeling and rendering of the human eye. In *ACM SIGGRAPH 2007 sketches*, SIGGRAPH '07, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[6] G. Gibert and C. J. Stevens. Realistic eye models taking into account pupil dilation and corneal reflection. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, IVA '11, 2011.

[7] Ko Nishino and Shree K. Nayar. Corneal imaging system : Environment from eyes. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION*, 70(1) :23–40, OCT 2006. IEEE-Computer-Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, DC, JUN, 2004.

[8] V. F. Pamplona, M. M. Oliveira, and G. V. G. Baranoski. Photorealistic models for pupil light reflex and iridal pattern deformation. *ACM Transactions on Graphics*, 28(4) :23–40, 2009.

[9] M. L. Rosenberg and M. H. Kroll. Pupillary hippus : an unrecognized example of biological chaos. *Journal of Biological Systems*, 7(1) :85–94, 1999.