

Synthèse de texture de dissimulation à deux niveaux : SCOTT.

J. Gosseume, K. Kpalma et J. Ronsin

Université Européenne de Bretagne, France
INSA, IETR, UMR 6164, F-35708 RENNES

{julien.gosseume, kidiyo.kpalma, joseph.ronsin}@insa-rennes.fr

Résumé

Il s'agit d'une méthode originale de synthèse de texture de dissimulation à deux niveaux : SCOTT pour "Synthesis of COncealment Two-level Texture". SCOTT est fondée sur le fonctionnement du processus de détection et d'identification d'un objet par le Système Visuel Humain et synthétise une texture de dissimulation à deux niveaux, en combinant une micro-texture avec une macro-texture. Les résultats de simulation montrent que SCOTT est efficace, en synthétisant à partir de deux modèles, une texture visuellement fidèle à son environnement, en termes de couleurs et de formes. SCOTT peut être utilisée dans des applications de dissimulation (pollution visuelle en milieu urbain), d'inpainting, voire dans un processus de compression d'image.

Mots clefs

Dissimulation, texture à deux niveaux, texture de dissimulation, analyse/synthèse de texture, Système Visuel Humain SVH.

1 Introduction

Nous proposons une méthode originale de synthèse de texture de dissimulation à deux niveaux : SCOTT pour "Synthesis of COncealment Two-level Texture".

A partir d'une étude du Système Visuel Humain, nous avons élaboré SCOTT pour permettre de fournir une texture fidèle à l'environnement visuel dans lequel elle doit s'insérer, tout en aboutissant à des formes simples et seulement quelques couleurs.

SCOTT repose sur un concept de "texture à deux niveaux", qui décompose une texture en une macro-texture et une micro-texture. La macro-texture est définie ici par l'aspect global d'une texture, i.e. l'ensemble de ses formes dominantes. Dans le cas d'une texture régulière, la macro-texture correspond à ses motifs de base, comme les briques d'un mur. La micro-texture, quant à elle, est définie ici par l'aspect local d'une texture, i.e. les détails à l'intérieur des formes dominantes de la texture. Dans le cas d'une texture régulière, la micro-texture correspond à la répartition, d'apparence aléatoire, des couleurs à l'intérieur des motifs de base, comme l'aspect de "grains" à la surface d'une

brique. Les notions de "macro" et "micro" sont donc relatives et dépendent de l'échelle considérée. Une macro-texture deviendra une micro-texture en s'éloignant ; inversement, une micro-texture deviendra une macro-texture en se rapprochant.

Cette dualité s'observe dans de nombreuses structures naturelles (ex. : une plage de galets) et artificielles (ex. : un mur de briques). Dans le cas d'une texture de synthèse, elle offre à la texture une richesse visuelle qui lui confère un aspect plus réaliste ; nous pouvons comparer par exemple les textures de jeux vidéos d'il y a une dizaine d'années et ceux plus récents : la richesse des textures donne une impression de "vrai". Le but de la texture de dissimulation est d'être à la fois générique pour pouvoir s'appliquer à différents endroits et être observée sous différents angles de vue dans une scène, et précise pour une efficacité à plusieurs échelles. Le besoin défini exige donc un compromis entre généricité et efficacité.

Ainsi SCOTT peut-elle servir à des applications de dissimulation de la pollution visuelle (induite par les transformateurs, armoires de répartiteurs, antennes, etc.) [1], mais son utilisation peut s'étendre à d'autres processus, comme l'inpainting [2] ou encore la compression d'image par exemples.

Les résultats de simulation montrent que SCOTT est efficace dans la synthèse d'une texture non-saillante par rapport à l'environnement visuel dans lequel elle s'insère.

2 Méthode proposée

SCOTT a été élaborée à partir du fonctionnement du processus de *détection* et d'*identification* d'un objet par le Système Visuel Humain (SVH). Ainsi SCOTT repose sur le concept de "texture à deux niveaux", qui décompose une texture en une macro-texture et une micro-texture. La fusion de ces deux niveaux offre à la texture finale un aspect réaliste, fidèle à l'environnement visuel dans lequel elle s'insère.

2.1 Système Visuel Humain

Un objet est dissimulé s'il a les mêmes couleurs dominantes *et* les mêmes formes dominantes (spectre : ampli-

tude *et* phase) que l'environnement visuel [3] dans lequel il se trouve.

Ces deux règles, "avoir les mêmes couleurs dominantes" et "avoir les mêmes formes dominantes", proviennent de l'étude du fonctionnement du processus de *détection* et d'*identification* d'un objet, par le Système Visuel Humain. Tout d'abord il faut garder à l'esprit que l'information visuelle est portée par la *couleur*, en tant que spectre fréquentiel électro-magnétique. L'interprétation subjective de la couleur dépend de la réponse fréquentielle des constituants biologiques primaires du Système Visuel Humain : les cônes et les bâtonnets.

L'information de couleurs fournie par les cônes et les bâtonnets n'est pas utilisée sous sa forme brute, mais sous forme de différences de couleurs, c'est-à-dire de *contrastes*. Ces contrastes sont exploités par l'aire corticale primaire V1 du Système Visuel Humain et permet la *détection* d'une "saillance" dans une scène. Ils sont ensuite exploités par les aires corticales supérieures du Système Visuel Humain pour extraire les contours des objets et procéder à leur *identification* [4].

Le Système Visuel Humain fonctionne donc comme un interprète, partant d'informations concrètes de très bas-niveau (couleurs) pour parvenir à une représentation sémantique abstraite de très haut-niveau (ex. : "une petite voiture bleue").

La *détection* d'un objet se fait donc par le contraste de ses couleurs avec celles de son environnement, et son *identification* se fait par la *reconnaissance* de ses contours [5, 6]. Autrement dit, pour diminuer l'impact visuel d'un objet, il ne doit pas être saillant, c'est-à-dire ne pas créer de rupture avec son environnement ; donc il doit disposer des mêmes couleurs et formes dominantes que son environnement visuel.

Bien que ce schéma du SVH reste très simpliste, son niveau de précision est suffisant dans notre démarche : il ne s'agit pas ici de modéliser de manière exhaustive le SVH pour rendre invisible des objets (dans le cas de la dissimulation d'une armoire de répartiteurs, il ne serait pas aisé d'en assurer la maintenance sans pouvoir le localiser), mais de diminuer la pollution visuelle en donnant aux objets "polluants" un rendu visuel plus discret et plus agréable. Pour plus d'informations sur le SVH, le lecteur est invité à se reporter aux références données [3, 4, 5, 6].

2.2 Synthèse de texture de dissimulation à deux-niveaux

De notre étude du fonctionnement du processus de *détection* et d'*identification* d'un objet par le Système Visuel Humain, nous avons tiré deux règles pour la dissimulation : "avoir les mêmes couleurs dominantes" et "avoir les mêmes formes dominantes".

Ces deux règles sont à la base de l'élaboration de notre méthode de synthèse de texture de dissimulation à deux-niveaux, qui repose ainsi sur un paradigme couleurs/formes. Afin d'assurer la fidélité visuelle, SCOTT suit un mo-

dèle de "texture à deux niveaux", et synthétise une macro-texture à laquelle est ajoutée une micro-texture pour obtenir la texture finale de dissimulation. La macro-texture, aspect global de la texture, rend la dissimulation efficace à une longue distance d'observation. De manière similaire, la micro-texture, aspect local de la texture, rend la dissimulation efficace à une courte distance d'observation.

Le but de la texture de dissimulation est d'être à la fois générique, pour pouvoir s'appliquer à différents endroits et être observée sous différents angles de vue dans une scène, et précise pour une efficacité à plusieurs échelles. Il s'agit d'un compromis entre généralité et efficacité.

SCOTT nécessite donc deux modèles en entrée, un pour chaque niveau de texture, et décompose son processus en trois étapes : synthèse de la macro-texture, synthèse de la micro-texture, puis fusion des deux niveaux de texture (Figure 1). Le premier modèle, associé à la macro-texture, doit représenter l'aspect global que l'utilisateur entend donner à l'objet à camoufler ; pour le moment il s'agit d'un choix manuel, donc subjectif. Le second modèle, associé à la micro-texture, doit offrir de la richesse spectrale à la macro-texture et donc doit être de type stochastique : peulouse, feuillage, sable, etc.

Synthèse de la macro-texture. La macro-texture rend la dissimulation efficace à une longue distance d'observation. Il s'agit du premier niveau de la texture de dissimulation. La synthèse de la macro-texture part du *premier* modèle d'entrée et se décompose en trois étapes, qui permettent de respecter le paradigme couleurs/formes (Figure 1) :

1. **Extraction des couleurs dominantes.** A partir de l'histogramme dans l'espace $L^*a^*b^*$ du premier modèle, les couleurs dominantes du modèle sont extraites. L'espace $L^*a^*b^*$ a été choisi puisqu'il donne un sens physique à une distance euclidienne calculée dans cet espace. Le nombre de couleurs dominantes est à ajuster en fonction de la richesse colorimétrique de l'environnement.
2. **Extraction des formes dominantes.** Les formes (régions) dominantes sont ensuite extraites du premier modèle par une segmentation de l'ensemble des pixels de l'image, avec la valeur colorimétrique des pixels pour critère de discrimination (ou d'agrégation, car la segmentation d'un ensemble de pixels peut être vue comme le regroupement des pixels entre eux). Cette segmentation est réalisée par un processus de k-means clustering [7] à partir de la représentation dans l'espace $L^*a^*b^*$ des pixels.
3. **Combinaison couleurs/formes** Chaque forme dominante se voit associer une des couleurs dominantes en fonction de la distance euclidienne entre les moyennes des couleurs contenues dans les formes et les couleurs dominantes. Ainsi chaque forme a une couleur différente telle que l'erreur quadratique de la combinaison couleurs/formes est minimisée.

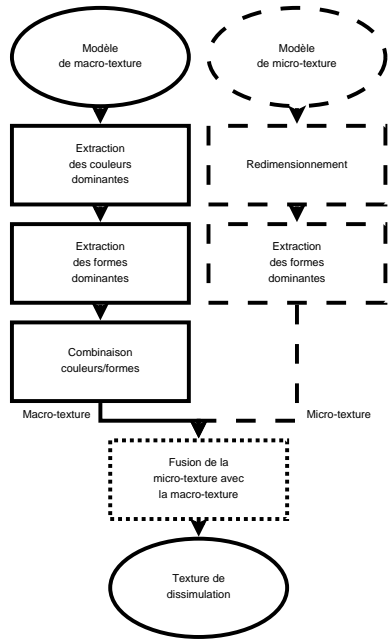


Figure 1 – SCOTT est fondée sur le concept de texture à deux niveaux et fusionne une micro-texture avec une macro-texture pour créer la texture de dissimulation, à partir de deux modèles en entrée. La synthèse de la macro-texture (chemin en traits pleins), part du premier modèle et se décompose en 3 étapes : extraction des couleurs dominantes du modèle de macro-texture, extraction des formes dominantes du modèle de macro-texture, et combinaison des couleurs avec les formes. La macro-texture ainsi obtenue est fidèle à l'environnement visuel à longue distance. La synthèse de la micro-texture (chemin en pointillés larges), part du second modèle et se décompose en 2 étapes : redimensionnement du modèle de micro-texture pour être ajusté à la taille de la macro-texture, et extraction des formes dominantes du modèle de micro-texture redimensionné. Enfin SCOTT fusionne les deux textures en combinant les formes dominantes de la micro-texture avec les formes dominantes de la macro-texture, par variation de la clarté des couleurs de la macro-texture en fonction des formes de la micro-texture.

A ce stade du processus, nous avons une macro-texture constituée de formes grossières et de quelques couleurs seulement. Cette macro-texture est efficace pour une dissimulation à longue distance.

Synthèse de la micro-texture. La synthèse de la micro-texture part du *second* modèle d'entrée (indépendant du *premier* modèle d'entrée) et se décompose en deux étapes (Figure 1) :

1. **Redimensionnement.** Le second modèle est tout d'abord redimensionné pour être ajusté à la taille du premier modèle (associé à la macro-texture). En effet, ce second modèle étant associé à la micro-texture de la texture finale, il est par définition beaucoup plus petit que le premier modèle, associé à la macro-texture.

Le redimensionnement est réalisé par une synthèse de texture basée patch [8] : le second modèle est divisé en blocs appelés "patches" et ces patches sont concaténés aléatoirement dans une nouvelle image jusqu'à l'obtention de la taille finale souhaitée.

2. **Extraction des formes dominantes.** Tout comme pour la *macro*-texture, les formes (régions) dominantes sont extraites du modèle redimensionné, par un processus de k-means clustering à partir de la représentation dans l'espace $L^*a^*b^*$ des pixels.

Cette étape du processus fournit une micro-texture constituée de formes fines. Dans l'étape suivante, ces formes sont superposées à celles de la *macro*-texture pour synthétiser une texture finale. Cette micro-texture est efficace pour une dissimulation à courte distance.

Fusion des deux niveaux. De notre étude du fonctionnement du processus de *détection* et d'*identification* d'un objet par le Système Visuel Humain (SVH), nous avons vu que des formes étaient visibles (c'est-à-dire détectées et reconnues par le SVH) si la couleur qui les constituait était en contraste avec les couleurs environnantes. Pour fusionner la micro-texture avec la macro-texture, nous utilisons ce principe dans l'autre sens. Puisque nous voulons que les formes de la micro-texture soient visibles sur celles de la macro-texture, sans perturber la perception de la macro-texture à une grande distance d'observation, nous allons faire varier les couleurs (plus précisément la clarté) des couleurs de la macro-texture, en fonction des formes de la micro-texture. La micro-texture sert ainsi de masque superposé par dessus la macro-texture. Les pixels de la macro-texture subissent une transformation sur leur composante L^* (clarté) dans l'espace $L^*a^*b^*$, en fonction de la forme de la micro-texture au-dessus.

La troisième étape permet donc de faire ressortir la micro-texture par simple variation de la clarté des pixels de la macro-texture. Le but étant simplement d'apporter de la richesse visuelle à courte distance.

Finalement, SCOTT fournit une texture visuellement riche, disposant de formes simples et de seulement quelques couleurs (Figure 2).

3 Résultats de simulation

SCOTT va ainsi permettre la synthèse d'une texture fidèle à l'environnement visuel dans lequel elle doit s'insérer, tout en disposant de formes simples et de seulement quelques couleurs. Le nombre de couleurs dominantes est à ajuster en fonction de la richesse colorimétrique de l'environnement.

Nous avons évalué la fidélité d'une texture synthétisée par SCOTT, par rapport à son environnement visuel, en remplaçant le modèle de macro-texture dans son environnement visuel par la texture finale de dissimulation synthétisée par SCOTT. Il s'agit de notre appréciation subjective, donnée purement qualitative, puisque nous ne disposons pas à l'heure actuelle d'une mesure objective, donnée

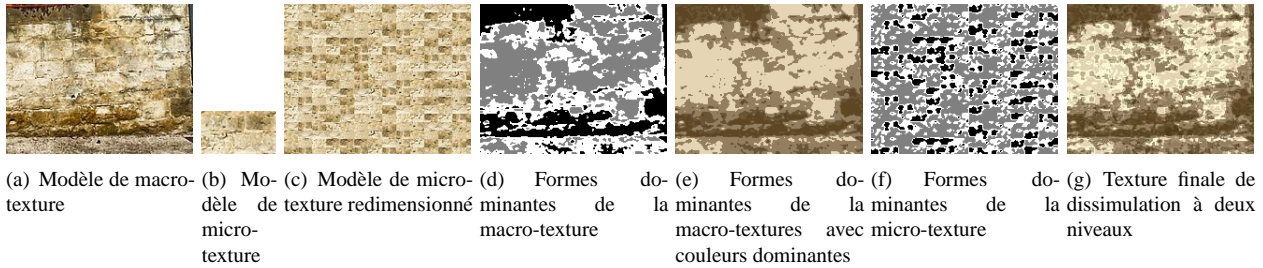


Figure 2 – SCOTT est fondée sur le concept de texture à deux niveaux : fusion d'une micro-texture avec une macro-texture. La synthèse part de deux modèles en entrée (a) et (b) : le modèle de macro-texture (a) et le modèle de micro-texture (b). La macro-texture est synthétisée à partir du premier modèle (a) et consiste en l'association des formes dominantes (d) et des couleurs dominantes (e) de ce modèle. La micro-texture est synthétisée par l'extraction des formes dominantes (f) du second modèle (b), redimensionné à la taille de la macro-texture (c). Enfin la texture finale de dissimulation est obtenue par la fusion de la micro-texture avec la macro-texture (g).

quantitative, adaptée à notre besoin (Section 5). Les résultats de simulation montrent que, dans le cas d'une substitution, l'impact visuel est faible à l'oeil nu (Figure 3). Cela vérifie les deux règles préalablement définies : la distinction entre deux textures est plus difficile si celles-ci ont les mêmes *couleurs dominantes* et les mêmes *formes dominantes* (spectre : amplitudes *et* phases). Bien sûr tout lecteur averti pourrait objecter "Quid des problèmes d'anisotropie locales ?", mais il faut garder à l'esprit qu'il ne s'agit pas ici de concevoir une texture dont le rendu visuel serait identique à celui d'une texture de référence, mais de concevoir une texture qui respecte un compromis entre genericité et fidélité, par rapport à un environnement visuel donné.

Une façon de vérifier la fidélité visuelle de la texture de dissimulation est de filter passe-bas une image originale et sa version contenant la texture de dissimulation, ce qui fait ressortir les couleurs dominantes perçues par le Système Visuel Humain. Nous observons que les couleurs dominantes sont les mêmes dans les deux images (Figure 3) ; la première règle, "avoir les mêmes couleurs dominantes", est donc vérifiée. De même, si nous extrayons de ces images (image originale et image avec la texture de dissimulation) les contours des formes, par un filtre passe-haut, nous observons les deux images avec une même richesse en termes de contours, donc des spectres similaires (Figure 3) ; la seconde règle, "avoir les mêmes formes dominantes", est donc vérifiée.

Les résultats de simulation montrent donc que SCOTT synthétise une texture de substitution peu *saillante*. Pour une application concrète de dissimulation (Section 4), les résultats de simulation montrent qu'une texture synthétisée par SCOTT, à partir de deux modèles issus d'un environnement visuel, peut se placer dans différentes positions dans cet environnement, afin de dissimuler différents objets. SCOTT offre donc un bon compromis entre genericité et efficacité.

4 Applications

Les applications de SCOTT sont variées. Une application directe, à l'origine de son élaboration, est la réduction de

la pollution visuelle [1]. SCOTT permet de synthétiser une texture de dissimulation, qui peut être peinte directement sur l'équipement à dissimuler, ou imprimée sur un matériau destiné à recouvrir l'équipement à dissimuler (vinyle adhésif par exemple). Les résultats de simulation montrent que l'objet dissimulé n'est plus saillant. De plus, même si cet objet peut être détecté dans un effort cognitif, nous remarquons que sa forme est cassée, ce qui est d'une importance puisque cet effet, issu de l'efficacité de SCOTT, inhibe le processus d'identification du Système Visuel Humain. Enfin le compromis entre genericité et efficacité offert par SCOTT permet d'utiliser la même texture pour dissimuler différents objets dans un même environnement visuel (Figure 5).

Une deuxième application est l'*inpainting* [2], qui revient à reboucher un "trou" dans une image. Le résultat revient donc à effectuer la dissimulation d'un objet.

Enfin une dernière application possible se situerait dans un processus de compression d'image. En effet, puisque SCOTT synthétise une texture avec des formes grossières et seulement quelques couleurs, pour un même rendu visuel, une application de substitution pure (Section 3) devrait permettre de réduire le volume des données des zones peu saillantes d'une image. Une étude ultérieure pourrait donner un ordre de grandeur accessible de la réduction du volume de données des zones peu saillantes d'une image.

5 Futurs travaux

Les résultats de simulation montrent, par appréciation subjective, l'efficacité de notre approche. Cependant nous ne disposons pas pour le moment de mesure objective. Le but d'un tel indicateur d'évaluation serait de reproduire automatiquement l'appréciation subjective d'un observateur devant une scène comprenant un objet dissimulé par SCOTT.

Des mesures existent pour évaluer la similarité visuelle entre 2 images (a fortiori 2 textures), comme **SSIM**, pour "Structural SIMilarity" [9], qui estime la qualité visuelle d'une image dégradée par rapport à une image originale, en



Figure 3 – SCOTT synthétise une texture fidèle à l’environnement visuel dans lequel elle doit s’insérer, tout en disposant de formes simples et de seulement quelques couleurs, à partir de deux modèles issus de cet environnement (a). Afin de tester l’efficacité de SCOTT en termes de fidélité visuelle, la texture de dissimulation est placée dans la même position que le modèle de macro-texture dans l’environnement visuel (b). L’impact visuel de la texture de dissimulation est faible, et une fois sa position révélée (c), nous observons que la forme rectangulaire de la texture de dissimulation est cassée, ce qui inhibe son identification (b). Dans le cas d’une substitution pure, la mesure SSIM sur toute l’image est un indicateur objectif de l’efficacité. Ici : $SSIM = 0,9942$.

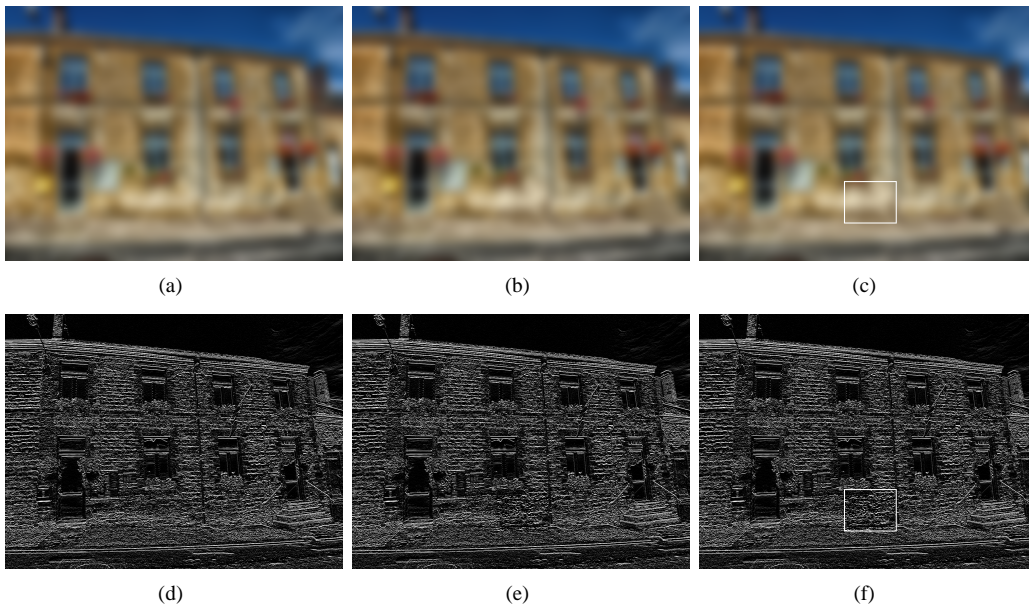


Figure 4 – SCOTT synthétise une texture de dissimulation fidèle à l’environnement visuel car elle dispose des mêmes couleurs et formes dominantes que cet environnement. Une façon d’évaluer l’efficacité de SCOTT est de filter passe-bas l’image originale (a) et sa version avec la texture de dissimulation (b), ce qui a pour effet de faire ressortir les couleurs dominantes. Il n’y a alors pas différence notable entre les deux images (c). De même, en extrayant les contours de l’image originale (d) et sa version avec la texture de dissimulation (e), obtenant ainsi une représentation de la densité spectrale des images, il n’y a pas non plus de différence notable (f). C’est le respect des deux règles de dissimulation qui fait que SCOTT synthétise une texture de dissimulation non-saillante, donc efficace : avoir les mêmes couleurs dominantes et avoir les mêmes formes dominantes (spectre : amplitude et phase).

mesurant la *similarité* de structure entre les deux images. Nous nous sommes servis de cette mesure pour évaluer la pertinence de la texture synthétisée par SCOTT lors des tests de substitution (Section 3). Bien que cette mesure soit fondée sur la sensibilité du Système Visuel Humain (SVH) aux changements dans la structure d’une image, elle ne s’applique qu’à la composante de clarté et ne modélise donc pas entièrement le fonctionnement du SVH. De

plus, une telle utilisation de cette mesure reste peu applicable pour la dissimulation, puisque celle-ci ne s’applique qu’à une partie de l’image contenant la texture, alors que SSIM est calculée sur toute l’image. La mesure SSIM varie donc suivant la taille de la texture de dissimulation. Enfin notre application principale étant la dissimulation d’objets saillants et visuellement polluants, un calcul de similarité structurelle entre une image initiale et l’image avec la tex-

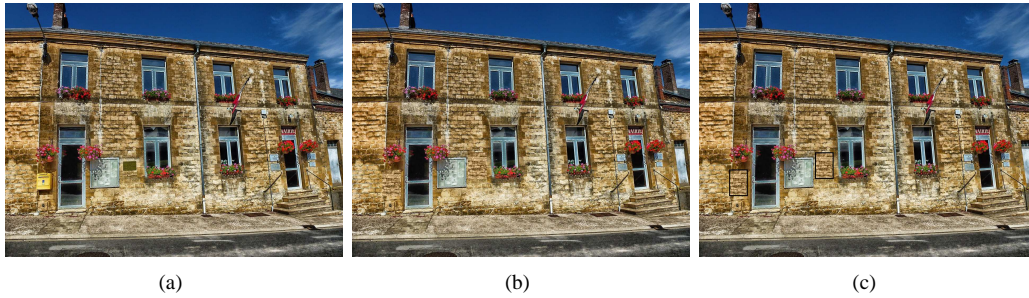


Figure 5 – L'application initiale de SCOTT est la dissimulation de la pollution visuelle. A partir de deux modèles extraits d'un environnement visuel (a), SCOTT crée une texture de dissimulation visuellement fidèle à cet environnement. En effet, ici une même texture dissimule différents objets dans le même environnement visuel (b), sans créer de saillance artificielle (c). Il s'agit donc d'un bon compromis entre généralité et efficacité.

ture de dissimulation irait à contre-sens de notre objectif, puisque celui-ci est justement de modifier l'aspect colorimétrique et structurelle des objets à dissimuler, afin de les rendre moins saillants.

Les travaux à venir porteront donc sur l'élaboration d'une mesure objective de l'efficacité de SCOTT. A court terme nous aurons recours à des indicateurs comme SSIM, en mesurant les distances entre des patches issus de la texture de l'environnement et ceux issus de la texture de dissimulation. Cela nous permettra d'évaluer la fidélité de la texture de dissimulation, vis-à-vis de son environnement visuel. Il faudra donc répondre à la problématique de la sélection des patches : leur taille et de leur position. A long terme, une piste de réflexion avancée est le recours à une *carte de saillance*, qui révélerait si la dissimulation a permis de diminuer la saillance de l'objet à dissimuler. Bien qu'un tel outil ne modélise pas le SVH de manière exhaustive, sa pertinence est suffisante pour notre application : il s'agit de déterminer si l'objectif de diminution de la pollution visuelle a été atteint.

6 Conclusion

Fondée sur le fonctionnement du processus de *détection* et d'*identification* d'un objet par le Système Visuel Humain, nous avons élaboré une méthode de synthèse de texture de dissimulation à deux niveaux : SCOTT pour "Synthesis CONcealment Two-level Texture".

SCOTT synthétise une texture de dissimulation en combinant une micro-texture avec une macro-texture, à partir de deux modèles en entrée. Les résultats de simulation montrent qu'une texture synthétisée par SCOTT peut dissimuler un objet en le rendant non-saillant dans son environnement. Le double niveau élaboré garantit à la texture de dissimulation une fidélité visuelle en termes de couleurs et formes dominantes, par rapport à l'environnement visuel, tout en conservant un bon compromis entre généralité et efficacité.

Les applications de SCOTT sont variées. Même si l'application initiale est la dissimulation de la pollution visuelle, SCOTT peut s'utiliser pour une application d'*inpainting*,

ou encore dans un processus de compression d'image.

Références

- [1] P. Dandumont. Les opérateurs vont-ils devoir camoufler les équipements pour la fibre optique ? <http://www.tomshardware.fr/articles/operateurs-shelter-armoire,1-37709.html>, May 2013.
- [2] E. Bruno, G. Sapiro, V. Caselles, et C. Ballester. Image inpainting. Dans *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 417–424, 2000.
- [3] B. Julesz. A theory of preattentive texture discrimination based on first order statistics of textons. *Biol. Cybern.*, vol. 41, no. 2, pages 131–138, Aug. 1999.
- [4] B. Buduc. The brain from top to bottom. <http://the-brain.mcgill.ca/avance.php>, Dec. 2012.
- [5] F. Landragin. Saillance physique et saillance cognitive. *CORELA*, vol. 2, no 2, Dec. 2004.
- [6] J. Baumbach. Psychophysics of human vision : the key to improved camouflage pattern design. Dans *Land Warfare Conference*, 2010.
- [7] J.B. MacQueen. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Dans *5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, pages 281–297. University of California Press, 1967.
- [8] E. Praun, A. Finkelstein, et H. Hoppe. Lapped textures. Dans *Proceedings of SIGGRAPH 2000*, pages 465–470. Citeseer, 2000.
- [9] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, et E. P. Simoncelli. Image quality assessment : From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pages 600–612, Apr. 2004.