HAL
open science

Vers une automatisation du contrôle visuel des produits

Simon-Frédéric Desage, Gilles Pitard, Hugues Favrelière, Maurice Pillet, Jean Luc Maire, Fabrice Frelin, Serge Samper, Gaëtan Le Goïc

To cite this version:

Simon-Frédéric Desage, Gilles Pitard, Hugues Favrelière, Maurice Pillet, Jean Luc Maire, et al.. Vers une automatisation du contrôle visuel des produits. QUALITA' 2015, Mar 2015, Nancy, France. hal-01149769

HAL Id: hal-01149769

https://hal.science/hal-01149769v1

Submitted on 7 May 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers une automatisation du contrôle visuel des produits

Simon-Frédéric Désage[1], Gilles Pitard[1], Hugues Favrelière[1], Jean-Luc Maire[1], Maurice Pillet[1], Fabrice Frelin[1], Serge Samper[1,2], Gaëtan Le Goïc[1,3]

[1]SYMME, Laboratoire des Systèmes et Matériaux pour la Mécatronique, Université de Savoie, F-74000 Annecy
{simon-frederic.desage, gilles.pitard, maurice.pillet, hugues.favreliere, jean-luc.maire, fabrice.frelin}@univ-savoie.fr

[2]LARMAUR – ERL CNRS 6274, Laboratoire de Recherche en Mécanique Appliquée de l'Université de Rennes 1, F-35000 Rennes
serge.samper@univ-rennes1.fr

[3]LE2I, Laboratoire d'Electronique, Informatique et Image, UMR CNRS 6306, Université de Bourgogne, F-89000 Auxerre
gaetan.le-goic@u-bourgogne.fr

Abstract - *La "qualité esthétique" des produits occupe aujourd'hui une place de plus en plus importante dans la maîtrise de la qualité. Elle se pose en tout cas parfois comme un objectif supplémentaire à atteindre par l'entreprise pour améliorer et pérenniser les relations que celle-ci établit avec ses clients. Le contrôle qualité à mettre en place doit réduire autant que possible la subjectivité dans l'évaluation de ce type de qualité, cette subjectivité pouvant être à l'origine de désaccords entre l'entreprise et ses clients sur le niveau de qualité à obtenir. Nos précédents travaux ont jusqu'à présent visé à mieux formaliser les différentes étapes d'un contrôle visuel des produits lorsqu'il est réalisé par un contrôleur humain. Cette formalisation réduit significativement la variabilité des résultats de contrôle souvent observés. Nos travaux actuels, que nous résumons dans ce papier, visent désormais à étudier comment une automatisation de ce contrôle pourrait être envisagée. Nous montrons plus particulièrement comment un moyen automatisé de contrôle pourrait intégrer des facteurs liés à la perception des effets d'une anomalie détectée.*

Mots clés – Inspection visuelle – Perception humaine - Automatisation

I. INTRODUCTION

La qualité d'un produit est appréciée par le consommateur final et près de 80% de l'information sur laquelle il construit cette appréciation passe par la vue qu'il a de ce produit [1]. Cela suffit à expliquer l'importance que l'entreprise donne au contrôle et, plus particulièrement, au contrôle visuel de ses produits. Dans le cadre de cet article, les médias perceptifs, autre que la vue, bien qu'ayant un rôle pour l'appréciation, ne sont pas pris en compte dans le but de simplifier/segmenter l'analyse. L'enjeu est aujourd'hui pour l'entreprise de fiabiliser du mieux possible les résultats de ce contrôle de manière à s'assurer que les attentes de ses clients concernant le produit soient au final effectivement garanties.

Une formalisation générique du contrôle qualité a été établie suivant 3 étapes : l'Exploration, l'Evaluation et la Décision [2] [3]. Compte tenu de la complexité du contrôle visuel qui implique de détecter et d'évaluer des anomalies très variées et difficiles à décrire, ce contrôle est le plus souvent réalisé par un opérateur très spécifiquement formé.

Par rapport à un moyen automatisé, un contrôleur humain présente en effet de nombreux avantages. Il offre sans doute le meilleur compromis entre, d'une part, la complexité des tâches à réaliser et, d'autre part, le délai admissible pour réaliser ces différentes tâches. Un contrôle humain met ensuite en application des mécanismes assez proches de ceux qui seront utilisés par le client lorsqu'il se fera une perception de la qualité du produit. Enfin, un contrôleur, contrairement à un moyen automatisé, possède une capacité d'apprentissage qui lui permet d'enrichir, et au besoin d'ajuster dans le temps, ses connaissances sur les caractéristiques du produit à contrôler en fonction de l'évolution des exigences des clients. L'originalité du papier est alors de montrer que tout en corrigeant les inconvénients du contrôleur humain, un système de vision peut s'approcher du comportement perceptuel et l'automatiser. L'objectif est la démonstration de la faisabilité de l'évaluation sensorielle par un système automatisé, comme l'évaluation du « plaisir » visuel [4] d'un contrôleur humain par une machine. L'anomalie esthétique étant identifiée comme un stimulus déplaisant pour le consommateur, « comme faisant tache sur le produit ».

II. LES BESOINS DE L'AUTOMATISATION

A. La détection « standard »

A l'inverse d'un moyen automatisé « standardisé », un contrôleur (même préalablement formé) pour inspecter visuellement des produits présente quelques inconvénients. Le plus important d'entre eux résulte des différences qui apparaissent entre la perception que ce contrôleur se fait d'une anomalie et celles que d'autres contrôleurs se font de cette même anomalie. Lorsqu'un test R&R (Répétabilité et Reproductibilité) est mené, on s'aperçoit d'ailleurs très souvent du manque de reproductibilité d'un contrôle visuel et de la part très importante de subjectivité du contrôleur dans les évaluations qu'il construit. Un constat identique est généralement fait concernant la répétabilité du contrôle visuel. La complexité de ce type de contrôle implique en effet une concentration élevée et permanente que le contrôleur ne parvient pas toujours à maintenir. Cela se traduit par l'absence de détection de certaines anomalies ou par des erreurs de décision. Il est alors difficile d'évaluer des anomalies non détectées.

Idéalement, il s'agirait de parvenir à automatiser le contrôle visuel en garantissant une répétabilité et une reproductibilité des résultats. L'approche proposée est de réaliser une ***exploration*** *restreinte* ***« standard »*** afin de parcourir au moins une configuration permettant la révélation des anomalies d'aspect de surfaces. *(La restriction correspond à l'observation nécessaire et suffisante limité à un seul point de vue)*.

Le bénéfice de l'usage d'un système de vision artificielle est double. D'une part, la restitution de l'apparence d'un produit, projetée sur un écran, autorise la ***standardisation de l'observation*** des produits comme méthode générique d'acquisition de l'apparence du produit (le dispositif optique devient le garant de l'observation), D'autre part, elle permet une ***observation objective (universelle ?)***, ce qui signifie que tous les contrôleurs peuvent observer la même image (vue apparente) du produit au même moment. Elle permet surtout de faire l'hypothèse que l'ensemble de propriétés qualité **observables** et à vérifier, même en cas d'évolution des exigences clients, sont observées.

B. La perception requise

Si certains moyens proposés parviennent à détecter très efficacement certaines anomalies, ils ne permettent pas en revanche de rendre compte des effets de ces anomalies sur la perception que se fera le client de la qualité du produit. Par exemple, comme l'illustre la figure 1, une rayure de même taille et de même profondeur pourra conduire à des résultats de contrôle différents selon l'endroit où elle est localisée ou selon son environnement immédiat.

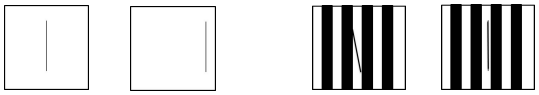


Figure 1. Même évaluation, perception différente [5]

Il semble qu'un moyen automatisé de contrôle visuel ne doive pas se limiter à un système de détection des anomalies (détecter la rayure). Il doit également inclure un système de perception de ces anomalies lorsqu'elles sont détectées (les effets de la rayure sur la perception du produit). Ce système doit alors être inspiré du système référent : le système visuel humain. Celui-ci peut être exprimé, suivant la suggestion de Lindsay MacDonald [6], en trois niveaux :

1) *La sensation visuelle :* Réponse du système visuel à la stimulation

2) *La perception visuelle :* Normalisation de la sensation visuelle dans le contexte du champ visuel global

3) *La cognition visuelle :* Interpretation de la perception visuelle.

Les paragraphes qui suivent décrivent comment cette perception pourrait être prise en compte.

III. AUTOMATISATION DE LA PERCEPTION

A. Normalisation de l'apparence

La subjectivité de l'évaluation est une caractéristique du contrôleur humain qui, contrairement au moyen automatisé de détection, inclut dans sa décision une perception de l'anomalie qu'il a détectée.

Il existe pourtant des préconisations pour réaliser correctement le contrôle visuel d'un produit. On peut citer celles proposées par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE : Organisme européen), celles proposées par l'American Society for Testing and Materials International (ASTM International : Organisme américain) ou, plus récemment, celles énoncées dans le rapport CIE 175 :2006 « A framework for the measurement of visual appearance » [7] et ASTM D523-89 « Standard Test Method for Specular Gloss » [8].

Pour autant, si ces rapports fournissent un cadre de travail théorique et technique à la mesure de l'aspect d'un produit (conditions d'éclairage, distance, …), ils ne prennent pas en compte les caractéristiques d'un jugement humain dans le contrôle visuel des produits. Le jugement humain résulte de l'ensemble des systèmes perceptif et cognitif humains.

Le comportement visuel humain a été étudié dès le début du 20ème siècle par la psychologie de Gestalt [9]. Les principales lois de Gestalt, établies sur la perception visuelle humaine, sont : Loi de bonne forme, loi de continuité, loi de proximité, loi de similitude, ~~loi de destin commun~~ et loi de familiarité.

La loi de bonne forme définit en tant que loi principale, que quels qu'ensembles aléatoires de points dessinés, la perception humaine tend (automatiquement) à (re)construire une forme, simple, symétrique et stable, en somme une bonne forme.

La loi de continuité définit la perception de formes basée sur l'assemblage de points, à condition que ces points aient une/des caractéristiques continues, telles que la forme, la direction principale, la couleur, etc. Cette loi peut être liée aux facteurs de regroupement et d'incohérence.

La loi de proximité, qui définit le regroupement des points proches en premier, est liée aux deux premiers facteurs.

La loi de similitude définit, si les points ne sont pas assez proches pour être regroupés, que l'œil humain tend à rassembler des points similaires pour dessiner/percevoir une forme. Ainsi, cette loi est liée aux facteurs d'isolement et d'incohérence.

La loi de destin commun définit des parties avec la même trajectoire perçues comme l'ensemble d'une même forme.

La loi de familiarité définit une perception plus significative pour des formes plus familières, telles que les formes primitives que sont le carré, le cercle et la ligne. Cette loi est liée aux facteurs de regroupement (par forme typique) et de saillance visuelle.

Ces lois permettent alors de construire non plus des indicateurs de détection mais des indicateurs de perception. D'autant que de nombreux algorithmes de segmentation d'images en vision par ordinateur ont été conçus suivant ces lois et permettent de s'approcher du comportement visuel humain [10].

La proposition des travaux pour l'automatisation du contrôle qualité se compose alors de 3 points interdépendants :

1) *Définition d'une défauthèque perçue*
2) *Définition d'indicateurs de détection*
3) *Définition d'indicateurs de perception*

B. Définition d'une défauthèque perçue

La conception d'une défauthèque perçue repose sur la nécessité d'adaptation de la description des défauts au système de vision artificielle. En effet, la normalisation actuelle des spécifications

géométriques des produits repose sur une description causale des anomalies. Or, le « langage » machine d'un système de vision artificielle nécessite une description effective des anomalies de surface, et en l'occurrence, de leurs impacts visuels. Cela revient à (d)écrire une « ***défauthèque objective visuelle ~~universelle~~*** (générique) ».

La « rayure » peut être prise comme exemple. D'un point de vue ***« effet visuel » pour la détection***, la « rayure » sera considérée suivant trois points [11] :

1) C'est une ligne (droite ou tortueuse)

2) Elle sera blanche (contraste local élevé)

3) Elle sera visible sous une contrainte lumineuse ; la direction prépondérante de la rayure est à 90° de la direction incidente de l'éclairage.

Suivant cette considération morphologique et lumineuse, la « rayure » peut être associée aux descriptions normalisées du « sillon », de la « strie », de la « fente » - comme « fissure », « lézarde » ou « crevasse » - tant que l'anomalie est de faible profondeur et permet une concentration locale de la réflexion de la lumière.

C. Définition d'indicateurs de détection

A partir de la défauthèque universelle, il est possible et nécessaire d'établir des indicateurs de détection. De manière analogue au contrôleur humain, ces indicateurs reposent sur les facteurs morphologiques des anomalies. Bien qu'ils n'aient pas de dimensionnement physique, ils sont conditionnés à l'échelle de l'image étudiée. Les valeurs discriminantes des facteurs sont généralement déduites par apprentissage statistique.

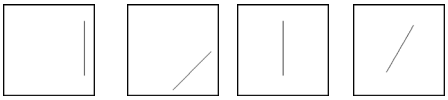
Des indicateurs de détection attribuables à l'exemple de la rayure sont typiquement construits à partir des facteurs morphologiques tels que :

- L'aire de la rayure
- Sa longueur
- Son rapport longueur/largeur
- Son excentricité
- La direction prépondérante
- Son intensité moyenne maximale
- Etc.

Il existe déjà de nombreuses solutions pour ces indicateurs à travers la résolution des nombreux problèmes de vision par ordinateur appliqués à la reconnaissance de formes.

D. Définition d'indicateurs de perception

L'innovation de nos recherches sur comment cette perception pourrait être prise en compte s'appuie principalement sur l'établissement de facteurs permettant de prendre en compte la perception humaine.



a b c d

Figure 2. Illustration des facteurs d'isolement et d'incohérence. Rayure avec une longueur 3 et gravité croissante de l'anomalie de gauche à droite.

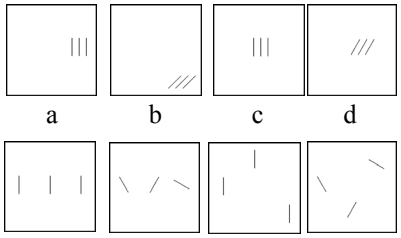
D'un point de vue ***« effet visuel » pour l'évaluation*** *(et alors comme* ***indicateur de Perception****)*, la « rayure » sera considérée suivant au moins quatre facteurs :

1) Facteur de regroupement : Indicateur de densité d'anomalies et d'aire d'influence. *(Paramètres inhérents à l'anomalie)*

2) Facteur d'isolement : Indicateur de proximité par rapport aux contours de régions normales. *(Paramètre relatif)*

3) Facteur d'incohérence : Indicateur de cohérence – continuité – homogénéité avec la texture locale, comme variation spatiale de l'apparence locale. *(Paramètre relatif local)*

4) Facteur de saillance visuelle : Indicateur de contraste et de familiarité. *(Paramètre relatif global)*



a b c d

e f g h

Figure 3. Illustration du facteur de regroupement combiné aux facteurs d'isolement et d'incohérence. Trois rayures de longueur 1. Gravité croissante de gauche à droite, puis de haut en bas.

Pour illustrer les différents facteurs, les figures 2 et 3 montrent deux cas d'anomalies de type rayure. Sur la figure 2, la rayure est unique et d'une longueur de 3 unités alors que sur la figure 3, ce sont trois rayures de longueur de 1 unité. La première ligne d'images de la figure 3 peut être directement comparée avec celle de la figure 2 pour évaluer le facteur de regroupement.

Le paragraphe suivant propose des coefficients pour identifier la gravité des images selon les différents facteurs. Les coefficients ont été déterminés par une simple corrélation de rang, et ont vocation à évoluer et être adaptés en fonction du produit étudié, que ce soit dans leur ordre d'application ou dans leur pondération. L'approche proposée est en première intention de ne pas tenir compte des a priori du produit pour fournir une démarche générique.

La densité d'anomalies sera évaluée en comptant le nombre de rayures présentes, et l'aire d'influence sera traduite par le cumul des aires de chaque rayure et l'espacement du groupe.

Dans l'exemple, l'aire d'une rayure correspond à sa longueur. De plus, l'aire globale du groupe a une influence. Entre deux groupes de rayures identiques, le groupe ayant l'aire d'influence la plus étendue sera le plus grave. Le coefficient d'espacement, qui est de 1 par défaut, sera incrémenté de 2 pour un espacement sur une direction soit horizontale ou bien verticale. Si les rayures sont seulement espacées sur l'horizontale ou sur la verticale, le coefficient d'espacement est alors de 3, alors que si elles sont espacées sur les deux directions, il sera de 5.

La formule du facteur de regroupement est alors :

$$F_{regroupement} = nombre + nombre * longueur * espacement$$

Une rayure de longueur 3 a donc un facteur de regroupement de 4 (=1 +1*3*1). Celui d'une rayure de longueur 1 est de 2 et celui d'un groupe de trois rayures de longueur 1 est de 12. D'après le facteur de regroupement, un groupe de 3 rayures de longueur 1 est donc plus grave qu'une rayure de longueur 3.

Le facteur d'isolement varie selon la proximité d'une anomalie ou d'un groupe à un contour avec un coefficient allant de 1 à 3.

La formule du facteur d'isolement est alors :

$$F_{isolement} = nombre * isolement$$

Le facteur d'incohérence est pondéré selon la similitude de l'anomalie au contour le plus proche. Son coefficient est de 1 lorsque l'anomalie est cohérente au contour, sinon il est de 2.

La formule du facteur d'incohérence est alors :

$$F_{incohérence} = nombre * incohérence$$

Le poids de gravité d'une anomalie résulte de la somme des différents facteurs. Le tableau 1 reprend les différents facteurs en fonction des figures 2 et 3. Les images sont traitées de gauche à droite et de haut en bas.

La différenciation des deux états de détection et de perception est importante, car l'anomalie peut avoir différents statuts sur ces indicateurs, et donc ceux-ci peuvent fournir une évaluation plus précise de l'impact visuel de l'anomalie. En effet, nous pouvons avoir de fortes valeurs d'indicateurs de détection et de faibles valeurs d'indicateurs de perception. La rayure est un exemple bien approprié dans le cas où elle se trouve sur le bord d'un produit. En effet, la rayure, par son comportement brillant divergeant du comportement normal du produit, peut être fortement détectée. Pour autant, se trouvant sur le bord du produit, elle sera en cohérence de forme avec le bord et moins isolée qu'au centre du produit, c'est-à-dire qu'elle a de faibles indicateurs de perception.

N° image	Facteur de regroupement	Facteur d'isolement	Facteur d'incohérence	Poids de gravité
Fig.2 – a	1+1*3*1= 4	1*1=1	1*1=1	6
Fig.2 – b	1+1*3*1=4	1*1=1	1*2=2	7
Fig.2 – c	1+1*3*1= 4	1*3=3	1*1=1	8
Fig.2 – d	1+1*3*1= 4	1*3=3	1*2=2	9
Fig.3 – a	3+3*1*1=6	3*1=3	3*1=3	12
Fig.3 – b	3+3*1*1=6	3*1=3	3*2=6	15
Fig.3 – c	3+3*1*1=6	3*3 =9	3*1=3	18
Fig.3 – d	3+3*1*1=6	3*3 =9	3*2=6	21
Fig.3 – e	3+3*1*3=12	3*3 =9	3*1=3	24
Fig.3 – f	3+3*1*3=12	3*3 =9	3*2=6	27
Fig.3 – g	3+3*1*5=18	3*3 =9	3*1=3	30
Fig.3 – h	3+3*1*5=18	3*3 =9	3*2=6	33

Tableau 1. Critères d'évaluation correspondant aux images des figures 2 et 3. Calcul des poids de gravité en fonction des facteurs de regroupement, d'isolement et d'incohérence.

Alors fortement détectée, mais faiblement perçue, elle sera plus facilement évaluée selon les poids d'importance mis sur les facteurs de détection et de perception. C'est le cas d'une grande rayure par rapport à 3 petites rayures. En effet, il sera plus facile de détecter une grande rayure que trois petites, mais comme l'illustre les figures 2 et 3 et le tableau 1, ce sont les trois petites rayures qui sont le plus gravement perçues. Dans notre cas, le facteur de saillance visuelle n'est pas pris en compte, mais il peut contrebalancer l'idée précédente en donnant plus d'importance à la perception d'une grande rayure par rapport à trois petites. Pour autant, sans ce dernier facteur, cette évaluation de gravité se justifie par le fait qu'une seule anomalie peut être perçue comme accidentelle alors que plusieurs anomalies font présumer d'un dysfonctionnement répété.

D'ailleurs, il est préférable d'accepter une anomalie, même fortement détectable, de faible impact visuel, que de laisser passer une anomalie (ou un groupe) faiblement détectable et avec un fort impact visuel.

IV. Conclusion

L'aptitude humaine à la reconnaissance visuelle d'une anomalie, quelle que soit sa description causale ou effective, permet au contrôleur humain d'être encore de nos jours pertinent et indispensable comme référence du savoir-faire. Néanmoins, il paraît possible de s'approcher de l'automatisation du contrôle qualité en construisant une combinaison d'indicateurs objectifs (de détection et de perception) sur la base d'une classification adaptée à un système de vision artificielle. Une perspective de ce travail, outre son application en domaine industriel, est l'établissement d'une classification minimale à la fois des anomalies visuelles à détecter et à percevoir mais aussi de leurs indicateurs nécessaires et suffisants à leurs jugements.

V. Remerciements

Nous remercions les partenaires du laboratoire SYMME dans le cadre du projet MESURA, ainsi que le pôle Savoie Mont-Blanc Industries et le Conseil Général 74 pour nous permettre de continuer la Recherche en nous fournissant les ressources utiles.

VI. References

[1] Kranowitz, Carol. The Out-of-Sync Child Has Fun, Revised Edition: Activities for Kids with Sensory Processing Disorder. Penguin, 2006.

[2] Baudet, Nathalie, Jean-Luc Maire, and Maurice Pillet. "The visual inspection of product surfaces." *Food Quality and Preference* 27.2 (2013): 153-160.

[3] Baudet, N., Pillet, M., Maire, J.L. : Proposition d'une approche méthodologique pour réduire la variabilité dans le contrôle visuel à but esthétique. Proceeding of the International Conference on Surface Metrology ICSM '2012 (2012)

[4] Lefebvre, Anne, and Jean-François Bassereau. "L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception: ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration." *Application aux emballages* 10 (2003): 3-11.

[5] Baudet, Nathalie, Maurice Pillet, and Jean-Luc Maire. "Visual inspection of products: a comparison of the methods used to evaluate surface anomalies." *International Journal of Metrology and Quality Engineering* 2.01 (2011): 31-38.

[6] Eugène, Christian. "Measurement of "total visual appearance": a CIE challenge of soft metrology." *12th IMEKO TC1 & TC7 Joint Symposium on Man, Science & Measurement*. 2008..

[7] CIE 175:2006 "A framework for the measurement of visual appearance", 2006.

[8] ASTM D523–89 (1989). Standard test method for specular gloss. ASTM standards on color and appearance measurement (6th ed.) West Conshohocken, PA: ASTM.

[9] Wertheimer, Max. "Laws of organization in perceptual forms." *A source book of Gestalt psychology* (1938): 71-88.

[10] Malik, Jitendra, et al. "Contour and texture analysis for image segmentation." *International journal of computer vision* 43.1 (2001): 7-27.

[11] Désage, Simon-Frédéric, et al. "Visual Quality Inspection and Fine Anomalies: Methods and Application." *Precision Assembly Technologies and Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2014. 94-106.