

CONTRÔLE MANUEL AVEC RÉALITÉ AUGMENTÉE - COMARA

MANUAL SCANNING WITH INCREASED REALITY - COMARA

P. COTTEL (1) ; P. DUVAL (2)

(1) INTERCONTROLE * – 4 rue Thomas Dumorey – 71100 CHALON SUR SAONE

Tél. 01 34 96 20 26 – Fax. 01 34 96 20 39

E-Mail : philippe.cottel@areva.com

(2) ARTS ET METIERS PARISTECH – CNRS LE2I – 2 rue Thomas Dumorey – 71100
CHALON SUR SAONE

Tél. 03 85 90 98 73 – Fax. 03 85 90 98 61

E-Mail : philippe.duval@cluny.ensam.fr

Résumé

Au cours d'une opération de contrôle non destructif manuel par ultrasons, l'utilisateur doit d'une part interagir avec l'appareil de contrôle et d'autre part maîtriser le déplacement du traducteur sur la pièce. Le traducteur doit couvrir toute la zone à contrôler sur la pièce, en assurant un certain pourcentage de recouvrement sur chaque passe afin de respecter les procédures demandées. La plupart du temps, l'opérateur ne peut voir dans un même temps l'affichage de la mesure sur l'appareil et la main contrôlant le traducteur, rendant le parcours du traducteur, et donc le contrôle, peu fiable. Nous avons étudié la faisabilité d'une interface homme machine améliorée, s'appuyant sur la réalité augmentée pour le retour d'information et sur une commande mains libres pour l'entrée de données, afin de permettre à l'opérateur de voir les informations transmises par l'appareil tout en conservant sa main dans le champ de vision.

Abstract

When performing manual non-destructive testing, the operator must be able to both interact with the inspection instrument and master the probe displacement. The probe movement must cover the entire surface to be tested, with an overlap between passes in order to meet inspection requirements. Most of the time, watching both the result on the screen of the instrument and one's hand is very difficult, if not impossible. Thus, both the integrity of the tested zone and the result of the examination are uncertain. We have studied the possibility of improving the interface between the operator and the device, by using an augmented reality head-mounted display and a freehand command, thus allowing the operator to have both his hand and the instrument display in sight.

* INTERCONTROLE, filiale d'AREVA NP, une coentreprise AREVA et Siemens

INTRODUCTION

Le projet est parti du constat que la qualité, la reproductibilité et la productivité d'un contrôle manuel par ultrasons dépendent fortement de l'environnement de la pièce et du contrôleur.

Alors que le contrôle des pièces de petite taille a lieu le plus souvent à un poste organisé où les pièces sont acheminées, les situations critiques qui posent problème se retrouvent le plus souvent lors des contrôles sur des pièces de grande taille.

- Elles peuvent être engendrées par la forme de la pièce elle-même (éloignement et positionnement inconfortable de l'écran de visualisation des signaux de mesure par manque de place ou instabilité pour poser l'équipement de contrôle).
- Elles peuvent aussi dépendre de l'environnement de la pièce qui impose des contraintes d'accès à l'opérateur (position acrobatique dans une enceinte exigüe ou un espace encombré, manque de plateforme d'accès au niveau de la zone à contrôler, position tête en bas, contrôle en « rappel »).
- Elles peuvent encore être causées par l'équipement de l'opérateur lui-même qui, dans certains environnements hostiles, nécessite des tenues spéciales type heaume ventilé ou combinaison NBC.

Tout ceci se traduit au final par la difficulté d'interprétation et de positionnement des défauts.

Dans la plupart des cas, l'opérateur doit quitter la pièce des yeux pour visualiser le signal de mesure sur l'écran de l'appareil de contrôle (et inversement d'ailleurs), ou corriger un réglage du générateur. Ce dernier point impose même souvent d'interrompre le contrôle en cours pour libérer une main et effectuer cet ajustement.

COMARA est un démonstrateur qui prend en compte ces contraintes et répond aux besoins exprimés par les contrôleurs Ultrasons en méthode manuelle. Il a été développé pour la faisabilité d'un contrôle de soudure sur des pièces de Générateur de Vapeur fabriquées par AREVA NP établissement de Saint Marcel.



démonstrateur COMARA avec sac à dos

LE PROJET COMARA

Objectif

Le but de ce projet est d'étudier la viabilité d'une solution à base de réalité augmentée* pour répondre aux problèmes mentionnés ci-dessus.

Le projet porte sur la création d'un dispositif de visualisation tête haute facilitant l'opération de contrôle non destructif par ondes ultrasonores, en permettant à l'opérateur d'obtenir des informations de mesure sans détourner son attention de la manipulation de contrôle. La visualisation se fait à l'aide d'un dispositif de réalité augmentée permettant l'affichage de données par transparence tout en permettant à l'opérateur de voir à la fois sa main qui positionne le capteur sur la zone à contrôler et le résultat de son contrôle.

Le dispositif comporte également un système permettant la commande à distance (de préférence une solution « mains libres ») des différents réglages nécessaire à l'opération de contrôle.

Dans cette optique, le déroulement du projet s'est décomposé en trois temps :

Tout d'abord, l'identification de l'existant dans le domaine de la réalité augmentée appliquée à un contexte industriel,

Ensuite l'identification des points critiques que la solution doit satisfaire afin d'être considérée comme viable pour le contrôle non destructif, et qui permet de s'orienter vers des solutions techniques concrètes,

Enfin, la réalisation du démonstrateur qui met en évidence la viabilité des solutions retenues.

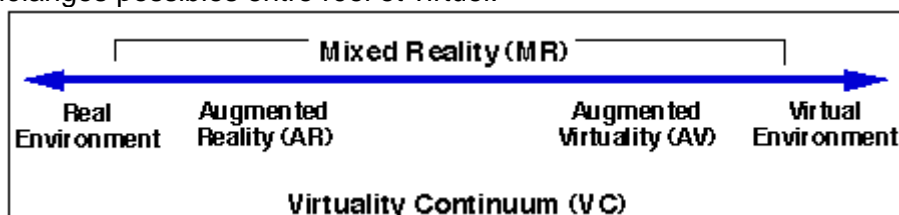
*Par un système de réalité augmentée on entend un système (au sens informatique) qui rend possible de superposer l'image d'un modèle virtuel 3D ou 2D sur une image de la réalité et ceci en temps réel.

Etat de l'art

La notion de réalité augmentée apparaît à la fin des années 60, mais les premiers travaux de recherche ne se développent réellement qu'au début des années 90 dans le cadre d'études d'ergonomie sur l'utilisation conjointe de données sur supports numériques et papier, et les difficultés qui en résultent pour l'opérateur.

Plus généralement, nous percevons la réalité avec un niveau de détails bien supérieur à celui que l'on pourrait obtenir en recréant un monde totalement virtuel. De ce postulat vient l'idée de la réalité augmentée ou le principe est de conserver le niveau de détail offert par la réalité, tout en apportant un niveau d'information supplémentaire au moyen de capteurs, afin de permettre une visualisation de données dépendant du contexte dans lequel se trouve l'utilisateur.

Paul Milgram définit en 1994 le Continuum Virtuel, qui définit sur une échelle progressive les différents mélanges possibles entre réel et virtuel.



représentation simplifiée du continuum réel/virtuel (d'après Milgram & Kishino, 1994).

Le terme Réalité Augmentée en lui-même caractérise tout système qui améliore la perception de l'opérateur vis à vis de l'environnement réel, généralement par superposition d'images de synthèse sur des images réelles ou vidéo, soit sur un système de visualisation fixe, comme un moniteur d'ordinateur, soit sur un système de visualisation portable, tel que les Head Mounted Display, ou HMD.

Notion d' « ubiquitous computing »

Comme expliqué précédemment, l'intérêt de la réalité augmentée est d'apporter un complément d'information à l'utilisateur sans dégrader la vision qu'il aurait en vision réelle. Dans les applications liées à l'industrie, la réalité augmentée est principalement utilisée afin soit de faciliter une opération normalement délicate, soit augmenter la productivité en réduisant le temps nécessaire à la collecte d'informations. Il devient alors indispensable d'assurer un gain à la fois en termes d'information et de productivité.

A l'opposé, les principes même de la réalité augmentée supposent une intrusion dans le champ visuel/auditif de l'utilisateur, avec pour conséquence indirecte une perte de focus sur la tâche effectuée dans l'environnement réel, et la nécessité pour l'opérateur de se concentrer sur deux informations a priori distinctes. Dans l'extrême, l'utilisation de la réalité augmentée peut entraîner une perte de productivité due à la perte de concentration, supérieure au gain apporté par le surplus d'information.

Outre les recherches sur l'aspect matériel, il existe donc un axe de développement lié à l'ergonomie des applications de réalité augmentée, appelé ubiquitous computing, dont le but est de s'assurer que les informations apportées à l'utilisateur s'inscrivent parfaitement dans son environnement et ne viennent pas briser sa concentration, ni sa relation au monde réel. Ce type d'études peut avoir des conséquences vastes sur la conception d'un système, depuis la structure des informations affichées à l'écran jusqu'au réglage de focale d'affichage, qui doit coïncider avec celui du regard afin d'éviter à l'utilisateur d'avoir à accommoder sa vue pour accéder aux informations.

Le point le plus critique dans l'élaboration d'un dispositif de réalité augmentée est de ne pas tomber dans le paradoxe ; en effet, à vouloir créer un dispositif proposant trop d'options en lieu et place d'un dispositif facilitant la tâche de l'utilisateur et transparent d'utilisation, on risque d'obtenir in fine un dispositif trop complexe nécessitant de la part de l'utilisateur une consultation de la documentation associée.

Champs d'applications

Si les premières apparitions médiatisées de la réalité augmentée concernaient surtout l'industrie du loisir, on retrouve des utilisations dans beaucoup de domaines industriels, où la réalité augmentée apporte potentiellement une forte valeur ajoutée. C'est ainsi que depuis l'apparition de cette technologie au début des années 90, des applications très diverses portant notamment sur la lecture et le commentaire de plans de constructions se sont développées. En parallèle des domaines industriels, les applications militaires ont été également commercialisées, notamment dans le domaine de la télémétrie.

Aujourd'hui on compte de nombreux exemples d'applications industrielles, commerciales ou de recherche, dans des domaines aussi variés que :

- ✓ HUD en automobile, permettant l'affichage de données telles que la vitesse, la consommation ou encore un itinéraire,
- ✓ HUD sur avions de chasse, hélicoptères, intégrant un suivi de cibles, et permettant également d'afficher des informations d'altitude, de cap, d'assiette,
- ✓ Tourisme, avec par exemple des visites virtuelles (projet AreaVision)
- ✓ Médecine, pour les opérations d'endochirurgie,
- ✓ Jeux Vidéo, dans le cadre de recherches (projet ARQuake, Lunettes 3D SEGA),
- ✓ Maintenance et opérations industrielles de précision.

C'est ce dernier sujet qui nous intéresse.

Cahier des charges

En plus des caractéristiques primaires de tout appareil de contrôle manuel, nous avons donc voulu équiper notre démonstrateur des fonctionnalités suivantes :

- Un ajustement « Mains Libres » des paramètres de l'équipement de mesure nécessaires à l'opérateur pendant la phase de contrôle.
- Une assurance du geste par un environnement permettant une meilleure concentration visuelle de la zone à contrôler, des paramètres de contrôle, des signaux issus du capteur.
- Une amélioration de l'autonomie et du confort du contrôleur.

Solutions retenues

Visualisation des informations augmentées

La place du dispositif de visualisation en Réalité Augmentée est centrale : c'est par ce moyen que les informations « augmentées » vont être amenées à l'utilisateur.

Dans le cas des casques qui nous intéressent pour ce projet, il existe deux approches technologiques permettant de mélanger les images réelles et augmentées pour créer une image binoculaire. L'une des deux approches consiste à composer les images avant l'interprétation faite par le cerveau (chaque image est alors projetée sur les deux yeux, la vision augmentée est binoculaire), l'autre ayant pour objectif de laisser le cerveau recomposer l'image binoculaire (les informations augmentées sont amenées sur un seul des deux yeux, la vision augmentée est alors monoculaire).

Vision augmentée binoculaire

Pour l'approche vision augmentée binoculaire, il faut composer simultanément les deux images, soit en vidéo, soit par semi transparence. C'est, par exemple, le cas des affichages tête haute des tableaux de bord dans les automobiles ou dans les cockpits d'avions de chasse. L'image composée doit être affichée à la même distance que l'image réelle, afin d'assurer à l'opérateur la vision des deux images simultanément, sans avoir à accommoder. Une bonne vision augmentée doit se faire par conséquent en 3 dimensions. Dans le cas contraire, on observe une fatigue liée aux difficultés du cerveau à accommoder correctement. Ce positionnement en profondeur n'est cependant pas systématique sur les casques binoculaires car il reste difficile à obtenir.

Vision augmentée monoculaire

L'approche vision monoculaire est techniquement plus simple. Chaque œil perçoit une des deux images à composer à 100%, le cerveau faisant ensuite l'interprétation de l'image globale comme constituée à 50% de l'information de chaque œil. Par contre, lorsque l'écran ou la zone d'affichage des informations augmentées est opaque, la composition de l'image par le cerveau soulève le problème suivant : pour que ces informations soient lisibles à l'écran, il faut qu'elles se trouvent dans la zone de la fovéa. Or la partie commune aux deux images permettant au cerveau d'apprécier la distance séparant l'objet de l'observateur se trouve elle-même dans la zone de la fovéa. Lorsque cette partie est masquée, le cerveau a plus de mal à déterminer l'intersection des deux axes optiques ; il en résulte une impression de glissement des images de chaque œil, l'une sur l'autre et une appréciation faussée des distances. Ceci est dû au fait que le cerveau reçoit des informations sous un format auquel il n'est pas habitué. Pouvoir profiter d'un tel dispositif nécessite donc un temps d'adaptation conséquent et entraîne l'apparition de pathologies.

Lorsque la zone d'affichage des informations augmentées est transparente, ce problème n'existe plus car le cerveau compose naturellement la vue réelle et y ajoute la vue

augmentée sans fatigue notable. La netteté des informations augmentées est obtenue par un simple réglage de focus sur le casque.

Le choix du casque de vision monoculaire transparent s'est vite donc imposé car ainsi le système COMARA permet à l'œil de ne plus quitter la zone à contrôler, quels que soient les besoins de l'opérateur en matière de réglages du générateur ou d'analyse du signal.

Commande déportée de l'appareil de contrôle

Le but est ici de proposer une commande déportée du clavier de l'appareil de contrôle, afin de pouvoir intervenir sur les réglages à distance. En effet, le déport de la visualisation ne se conçoit qu'avec un déport de la commande ; si l'opérateur doit sans cesse revenir sur le poste pour effectuer des réglages, l'intérêt du déport de la vision est quasiment nul. De plus, la commande doit impérativement permettre le travail dans de bonnes conditions, donc permettre à l'opérateur de travailler avec au minimum une main de libre en permanence, idéalement deux, et de ne pas induire une fatigue supplémentaire, par exemple due au poids. Enfin, la commande doit pouvoir fonctionner dans un environnement industriel.

Commande électromécanique

Les commandes mécaniques sont très développées, faciles à mettre en œuvre dans la quasi totalité des cas, et permettent éventuellement de conserver autant de souplesse que l'utilisation d'un clavier classique.

Du point de vue de l'ergonomie, ce type de commande a l'avantage de rester conceptuellement très proche d'une commande classique, ayant un recours massif aux idiomes visuels pour le repérage des commandes. Le temps d'adaptation est quasi nul pour quelqu'un qui maîtrise déjà une commande classique. En outre, le nombre de commandes souvent restreint diminue également le temps nécessaire à l'apprentissage et facilite l'usage au quotidien.

D'un point de vue technique, la taille limitée de tels dispositifs restreint d'autant le nombre de contrôles assignables. Par contre, l'ergonomie souffre du même temps d'apprentissage qu'une commande classique pour une personne novice. L'utilisation d'idiomes visuels nécessite de la part de l'utilisateur une attention vis-à-vis du dispositif de commande préjudiciable à l'aspect mains libres. On obtient donc un temps d'apprentissage supérieur pour obtenir une réelle liberté d'action de l'utilisateur. A contrario, si le dispositif est suffisamment simple pour s'affranchir d'idiomes visuels, le nombre de fonctions accessibles va s'en trouver considérablement réduit, rendant caduque l'aspect main libres et obligeant l'utilisateur à alterner entre la commande d'origine et la commande mains libres.

Commande vocale

La commande vocale repose sur une volonté d'abstraction vis-à-vis de la machine plus proche d'une forme de communication « humaine ». On peut considérer une interface homme-machine comme étant à mi-chemin entre le langage machine et le langage humain. Le but de la commande vocale est alors de ramener la position de l'interface homme machine au niveau du langage humain. L'utilisateur parle à la machine comme s'il s'adressait à une autre personne, la commande vocale se chargeant de traduire les ordres en directives compréhensibles par la machine.

La commande devient naturelle, et le temps d'apprentissage est grandement diminué. Une commande vocale évoluée n'est pas limitée dans le nombre de fonctionnalités programmables. On peut considérer qu'une commande vocale capable de reconnaître un mot associé à un contexte peut totalement remplacer la commande d'origine.

D'un point de vue technique, la partie émergée ne nécessite qu'un micro ; ce type de produit étant largement répandu grâce au développement des systèmes de téléphonie, il existe un vaste choix de dispositifs capables de travailler dans des conditions difficiles, et dont la fiabilité est éprouvée. Par contre, la partie immergée nécessite un calculateur et un logiciel de reconnaissance afin d'interpréter les ordres donnés, là où une commande tactile n'agit

qu'à l'aide de contacteurs. Il en dérive également un coût supplémentaire dû à la réalisation du logiciel.

La réalisation d'une commande simple reconnaissant quelques mots est aisée mais l'utilisateur doit prononcer le mot exact correspondant à la commande, et donc apprendre l'intégralité de la liste de commandes. Pour palier ce défaut, il est nécessaire de prévoir, lors de la phase de conception, tous les mots pouvant être utilisés par un utilisateur pour réaliser la fonction attendue. On peut procéder par exemple à une analogie par champs lexicaux. Une commande vocale réellement efficace nécessite donc un important travail préalable.

Dans le cas qui nous intéresse, la commande vocale paraît être la mieux adaptée à nos besoins.

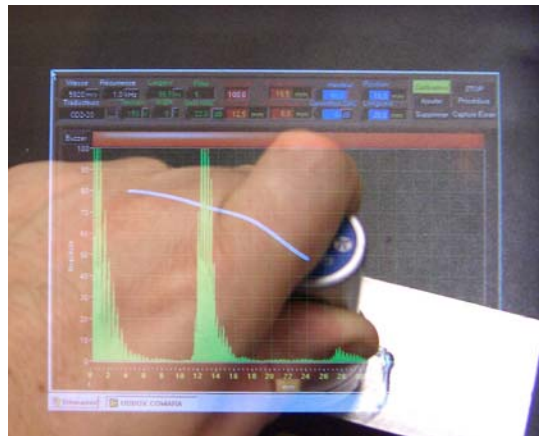
Réalisation et Produit final

Pour les essais en atelier, le démonstrateur COMARA implémente les solutions suivantes :

- Un affichage tête haute monoculaire semi-transparent ajoute à la vue réelle de la main de l'opérateur positionnant le capteur sur la pièce, l'interface homme-machine du générateur US avec le signal (A-Scan) et les alarmes visuelles de dépassement du seuil de détection.



casque de vision



vue donnée par la réalité augmentée

- Une commande vocale donne la possibilité de doubler tout ou partie des commandes du générateur US et de l'interface d'affichage. L'objectif étant l'utilisation de cette commande vocale pendant la phase de contrôle, les commandes propres à la phase d'étalonnage n'ont pas été toutes implémentées, afin d'en augmenter l'efficacité. Basé sur la reconnaissance des phonèmes, le système s'affranchit de la contraignante phase d'apprentissage de la voix de chaque opérateur et améliore ainsi la résolution en milieu bruyant industriel.

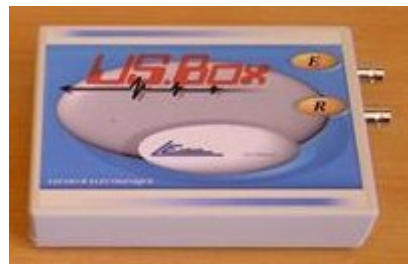
Par la voix, à l'aide d'un microphone connecté au démonstrateur l'opérateur peut :

- Ajuster les principaux paramètres US du générateur nécessaires pendant la phase de contrôle.
- Visualiser en temps réel le signal de mesure US de l'équipement de contrôle et le seuil de détection défini lors de la phase d'étalonnage.

- Obtenir une aide en ligne (visualisation des paramètres d'un traducteur, lecture de la procédure associée au contrôle).
- Enregistrer les copies d'écran correspondant aux défauts détectés sur la pièce.

Associée au microphone, une oreillette permet d'entendre l'alarme de dépassement du seuil de détection (en parallèle de l'alarme visuelle utile en milieu bruyant).

- Un boîtier générateur US connecté et alimenté par liaison USB à un ordinateur portable miniature ou standard sur lequel sont exécutées les applications de reconnaissance vocale et de mesure US.



générateur US (USBox Lecoeur Electronique)

- L'ensemble de ces systèmes peut être accroché à une ceinture (micro PC) ou, pour une moindre gêne et une meilleure productivité et autonomie, dans un petit sac à dos ventilé (ordinateur portable ou ultra portable). Dans les deux cas le système d'exploitation est Windows XP standard.

RESULTATS OBTENUS ET PERSPECTIVES

Les essais en situation réelle dans l'atelier de fabrication des Générateurs de Vapeur AREVA NP à Saint Marcel ont eu lieu fin 2007. Plusieurs personnes de l'équipe ont pu utiliser le démonstrateur COMARA pour l'inspection du revêtement de tubulure en respectant la procédure de contrôle requise. D'un avis commun, ce démonstrateur libère l'opérateur dans ses déplacements sur la zone à contrôler. La vision superposée du résultat de la mesure et du point de contact du capteur sur la pièce apporte un réel confort pour le diagnostic, en particulier pour le dimensionnement et le positionnement des défauts détectés. Aucune gêne et fatigue visuelles n'ont été relevées pendant ces essais.

Les améliorations que nous avons identifiées avec les opérateurs pour la suite sont :

- L'optimisation de la commande vocale pour la phase de contrôle uniquement afin de simplifier la grammaire,
- L'augmentation des performances de mesure en choisissant un autre appareil de contrôle pour répondre de manière exhaustive à tous les besoins industriels de l'atelier en particulier pour les fortes épaisseurs,
- L'augmentation de l'autonomie du démonstrateur qui est actuellement imposée par le PC portable et donc insuffisante pour une utilisation industrielle.

Ces essais terminent notre projet de faisabilité et valident ainsi le concept de réalité augmentée appliqué au contrôle manuel par ultrasons de pièces de grande taille.