

# Système de planification intelligent dédié à l'inspection 3D de pièces manufacturées

## Cognitive Planning System dedicated to 3D Inspection of Manufactured Parts

Redouane Khemmar, Alex Lallement et Ernest Hirsch

Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (UMR-ULP, CNRS 7005),  
Université Louis Pasteur

Boulevard Sébastien Brant, BP 10413  
F-67412 Illkirch-Cedex, France  
redouane.khemmar@ensps.u-strasbg.fr

### Résumé

*Le développement d'un système complet d'inspection et de contrôle qualité de pièces manufacturées nécessite de coordonner un ensemble de processus complexes permettant l'acquisition des données, leur évaluation dimensionnelle ainsi que leur comparaison avec un modèle de référence. Il est pour cela indispensable de mettre à profit certaines connaissances conceptuelles portant non seulement sur l'objet à analyser, mais également sur son environnement. Les travaux présentés dans cette contribution portent sur le développement d'un système de planification en charge de la gestion des traitements permettant une analyse dimensionnelle complète d'une pièce manufacturée. Il s'articule autour de la coopération de deux modules distincts. Le premier consiste en un graphe de contrôle synthétisant les connaissances a priori liées au modèle de l'objet ainsi qu'au système d'acquisition. La chaîne de traitement permettant une reconstruction 3D complète de l'objet ainsi que son évaluation est donc élaborée hors ligne par un opérateur. Le second exploite les graphes de situations et réalise les opérations d'acquisition et de reconstruction partielle planifiées, mais il est également capable de s'adapter dynamiquement aux conditions réelles de prise de vue et donc de modifier automatiquement les conditions effectives d'acquisition et de traitement des données.*

### Mots-clefs

Automatisation de processus, analyse de scènes 3D, reconstruction 3D, inspection d'objets.

### Abstract

*The development of a complete system of inspection and quality control of manufactured parts requires the coordination of a set of complex processes allowing data acquisition,*

*their dimensional evaluation and their comparison with a reference model. For that it is essential to make profitable some conceptual knowledge relating not only to the object to be analyzed, but also to its environment. The work reported in this contribution concerns the development of a planning system in charge of the management of the treatments allowing the whole dimensional analysis of a manufactured part. It is articulated around the cooperation of two distinct modules. The first one consists of a control graph synthesizing a priori knowledge related to the object model and to the acquisition system. The data processing sequence allowing a 3D complete reconstruction of the object and its evaluation is thus elaborate on off-line by an operator. The second module exploits the Situation Graph Trees and carries out the acquisition and 3D partial reconstruction planning operations, but it is also able to dynamically adapt its behaviour to the real conditions of view and thus to modify automatically the acquisition and data processing effective conditions.*

### Keywords

Process automatization, 3D scenes analysis, 3D reconstruction, object inspection.

## 1 Introduction

Un système de contrôle qualité doit être en mesure d'assurer une inspection métrologique automatique, fiable et flexible de pièces manufacturées. Dans le cadre d'une application de la vision par ordinateur portant sur l'inspection quantitative d'objets quasi-polyédriques pouvant inclure des surfaces gauches, nous proposons un système de planification 3D cognitif (3D Cognitive Planning System (3DCoPlaSys)) en charge de la gestion de l'ensemble des étapes d'acquisition, d'évaluation et de mesure dimen-

sionnelle. Les composants matériels ainsi que les différentes procédures de traitement ont été développés et validés avec succès sur différentes tâches d'inspection de surfaces. L'extraction des données 3D relatives à l'objet observé est notamment réalisée par le biais de deux systèmes d'acquisition complémentaires, à savoir la lumière structurée et la stéréovision. Nous disposons par conséquent de processus dédiés d'acquisition et de génération de descriptions 3D (primitives géométriques de type contours et/ou surfaces), ainsi que d'un processus d'évaluation comparant l'ensemble des données 3D acquises aux images conceptuelles issues de modèles CAO standard (tenant compte des tolérances dimensionnelles ainsi que des conditions d'acquisition des images dans l'application). L'automatisation de l'application est basée sur l'exploitation d'un graphe de situations modélisant l'ensemble des traitements d'acquisition et de reconstruction partielle (cette approche inclut une logique d'activation ou de désactivation de tâches génériques en fonction de l'évolution effective du processus), lui-même contrôlé par un plan de tâches hiérarchiques (graphe synthétisant *a priori* l'ensemble des traitements à réaliser en vue de la reconstruction complète et de l'inspection de l'objet).

Le système d'acquisition ainsi que les procédures d'évaluation sont présentés dans la section 2. Le système de planification est détaillé dans la section 3. La section 4 présente certains détails d'implémentation ainsi que des résultats préliminaires. Une conclusion ainsi que les perspectives liées à ce travail sont abordées dans la section 5.

## 2 Système d'acquisition et d'évaluation

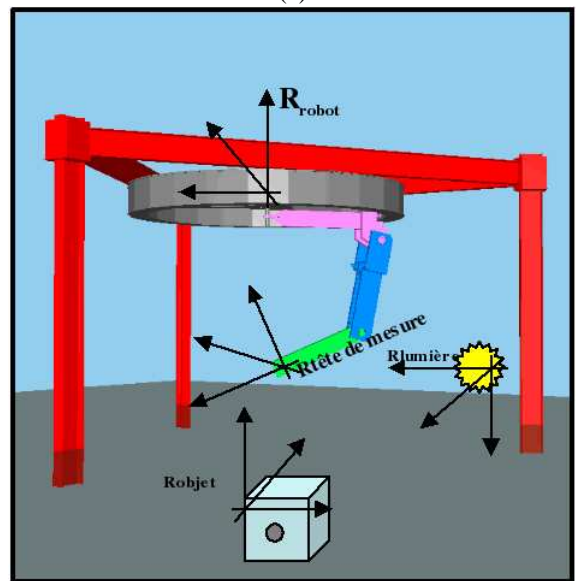
Le robot d'inspection est composé d'une structure circulaire sur laquelle peuvent se déplacer des bras articulés supportant les têtes de mesure (le volume de mesure correspond à une demi-sphère d'un rayon de 2 mètres (voir la figure 1a)). Les têtes de mesures (stéréovision et lumière structurée) sont positionnées à l'extrémité des bras et de multiples sources lumineuses contrôlées indépendamment les unes des autres sont disposées autour de l'objet à inspecter. La position et l'orientation des têtes de mesures sont exprimées dans le repère de référence global du système d'acquisition. La position et l'orientation approximatives de l'objet dans le repère global, ainsi que des sources lumineuses, sont supposées être connues (voir la figure 1b).

Les sources lumineuses sont fixes. Elles permettent non seulement de contrôler le contraste de l'image en cas de faible luminosité, mais également d'éliminer certains artefacts visuels tels que des ombres provoquées par la position relative des bras de mesure ou liés à la structure même de la pièce analysée. Chaque source est caractérisée par son modèle d'éclairage [14] et peut être contrôlée indépendamment.

La première tête de mesure est composée de deux camé-



(a)



(b)

FIG. 1 – (a) : vue générale de la plate-forme d'acquisition. (b) : les repères de référence des différents éléments de l'application.

ras CCD standard et permet d'effectuer des acquisitions de vision stéréoscopiques [11]. La détermination des coordonnées 3D des points de contours est réalisée en utilisant le couple d'images gauche et droite. Il est donc nécessaire de s'assurer de la qualité des images segmentées ; nous utilisons pour cela un système à base de connaissance reposant sur l'extraction contrôlée de contours (Knowledge-Base Edge Detection (KBED<sup>1</sup>) [6] selon leurs contextes locaux de niveaux de gris. L'étape d'appariement entre les points de contours des images droite et gauche met quant à elle à profit des images de synthèse générées à l'aide du logiciel CATIA<sup>2</sup>. Ces images sont construites à partir

<sup>1</sup>KBED. Système expert implémenté dans le système de vision artificielle développé par notre équipe. Ce système repose sur une architecture logicielle du type tableau noir exploitant une organisation hiérarchique de la connaissance.

<sup>2</sup>CATIA. Logiciel de CAO de Dassault System.

d'un modèle CAO de l'objet en tenant compte du point de vue associé à chaque caméra ainsi que de leurs paramètres d'étalonnage. Le modèle CAO joue ainsi un rôle essentiel lors de l'analyse dimensionnelle fine de l'objet puisqu'il permet une comparaison des images acquises avec leurs modèles synthétiques. Les primitives géométriques 3D générées sont du type points, segments et ellipses, pour lesquelles la précision de la reconstruction est de l'ordre de 10 à 100 micromètres.

La deuxième tête de mesure est dédiée à une approche de type lumière structurée : elle est constituée d'une caméra CCD standard couplée avec un projecteur de lumière. L'information 3D est obtenue par l'étude de la déformation de la projection d'un motif lumineux régulier (en l'occurrence des franges verticales alternativement noires et blanches) sur l'objet à analyser. La précision des coordonnées 3D des points observés est de l'ordre de 20 micromètres pour un champ de vision de 5cm x 5cm [9]. Toutefois, afin de limiter l'étape de reconstruction aux seuls points correspondant effectivement à l'objet, il est nécessaire d'exécuter une procédure de prétraitement consistant à isoler l'objet du reste de l'image. Cette opération est réalisée en appliquant sur l'image un masque binaire correspondant à la zone couverte par l'objet (deux méthodes de segmentation permettant de générer ce masque, basées respectivement sur une approche par *Mean Shift* [7, 8] et par *Level Sets* [19, 16], ont pour cela été implémentées et évaluées [15, 13]).

Compte tenu du champ de vision limité des têtes de mesure (contrainte permettant d'assurer la précision souhaitée pour une application de type métrologique), il est nécessaire de faire varier le point d'observation afin de couvrir la totalité de l'objet. La séquence spatiale d'images qui en résulte consiste en un ensemble de primitives géométriques dont les coordonnées 3D sont exprimées dans le repère de référence de la tête de mesure. Une procédure de recalage est ainsi appliquée entre chaque paire d'images afin d'exprimer l'ensemble des coordonnées dans ce repère de référence [9].

Le processus d'évaluation de l'objet consiste à comparer les données 3D observées avec les données du modèle de référence ; il peut s'agir d'une vérité terrain fournie par une machine à mesurer tridimensionnelle (ensemble de points de mesure 3D bruts), ou d'un modèle conceptuel CAO (ensemble de primitives géométriques de type contours et/ou surfaces, incluant également des informations de tolérance). Il est important d'indiquer que le processus d'évaluation implique d'exprimer toutes les données dans un repère commun ; il est donc nécessaire de déterminer un repère de référence lié à la géométrie de l'objet, puis de calculer la transformation qui sera appliquée aux coordonnées exprimées dans le repère de référence des têtes de mesures [10]. L'enchaînement des différentes procédures de traitement en vue de réaliser une reconstruction 3D complète de l'objet, ainsi que son évaluation dimensionnelle, est représenté sur la figure 2.

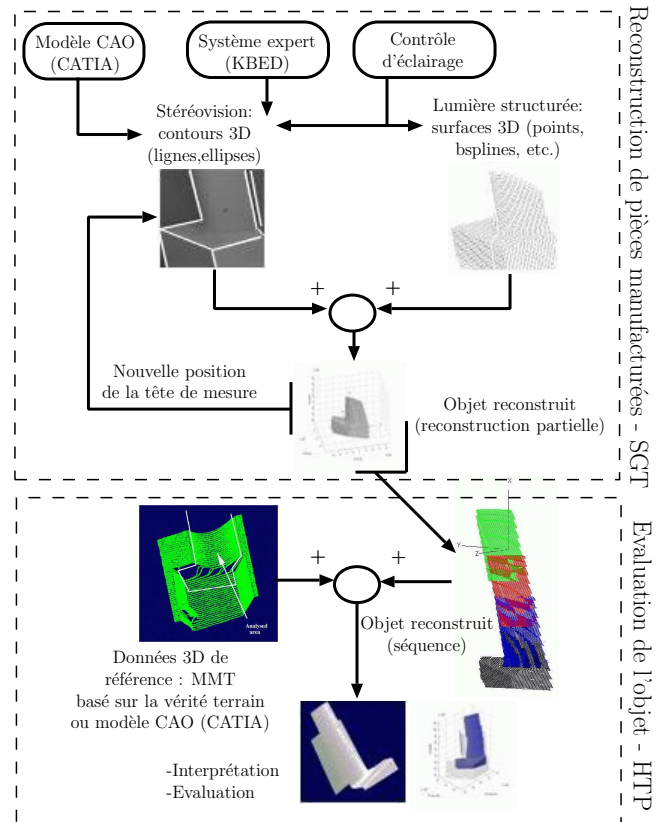


FIG. 2 – Les différentes étapes du processus de reconstruction 3D.

### 3 Planification pour la reconstruction 3D

Le système de planification proposé est constitué de deux modules ; le premier est dédié à l'acquisition des données et à la reconstruction 3D partielle de l'objet (gestion par graphe de situations (Situation Graph Tree - SGT)), et le second au contrôle de la séquence d'acquisitions ainsi qu'à la reconstruction 3D complète de l'objet et à son évaluation dimensionnelle (gestion par plan de tâches hiérarchiques (Hierarchical Task Plan - HTP)). Différentes connaissances *a priori* doivent être exploitées et intégrées au système de planification. Il s'agit d'une part de connaissances liées à l'environnement du système de mesure (paramètres d'étalonnage des têtes de mesure, modèles des sources lumineuses, etc.) et d'autre part d'informations liées à l'objet (modèle de l'objet, position de l'objet dans la scène, etc.).

L'opérateur élabore hors ligne la séquence d'acquisition en fonction des connaissances *a priori* disponibles et formalise l'ensemble des traitements à réaliser sous la forme d'un HTP. Le HTP contrôle ensuite le SGT en lui fournissant, pour chaque étape de la séquence, l'ensemble des paramètres déterminés *a priori*. Il s'agit notamment de la localisation de la tête de mesure, du type de procédure à exécuter (stéréovision et/ou lumière structurée) ainsi que des valeurs

des paramètres des procédures correspondantes. Le SGT quant à lui modélise un comportement générique qui est adapté dynamiquement en fonction des paramètres fournis par le HTP mais également du résultat des traitements réalisés par le SGT. Il exécute ainsi l'ensemble des opérations permettant d'obtenir une reconstruction partielle de l'objet correspondant au point de vue courant de la tête de mesure. Cette description est alors retournée au HTP qui va l'exploiter afin de compléter la reconstruction de l'objet (recalage des données 3D) et procéder à l'inspection dimensionnelle. Le mécanisme de coopération entre les deux modules est illustré figure 3.

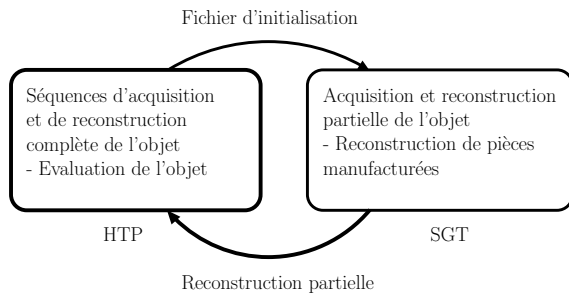


FIG. 3 – Vue d'ensemble du système de planification.

### 3.1 Plan de tâches hiérarchique - HTP

**Représentation des connaissances a priori.** La conception d'une séquence d'acquisition en vue de la reconstruction complète d'un objet et de son inspection dimensionnelle nécessite une étude détaillée et approfondie qui doit être réalisée hors ligne par un opérateur humain. Le savoir faire de l'utilisateur est ici primordial, aussi bien en ce qui concerne l'objet que le système d'acquisition, puisqu'il s'agit notamment de :

- déterminer le nombre et l'ordre des acquisitions à réaliser,
- sélectionner la tête de mesure la plus adaptée au type de primitive recherchée (stéréovision pour la mesure d'arêtes / lumière structurée pour la mesure de surfaces),
- fixer les paramètres d'éclairage de la scène,
- déterminer la localisation de la tête de mesure par rapport à l'objet,
- régler les paramètres des différentes procédures de traitement d'image,
- sélectionner la fenêtre d'intérêt correspondant à la primitive recherchée dans l'image,
- etc.

La mise au point d'une méthodologie permettant de modéliser cette expertise représente à elle seule un enjeu considérable [4] et a déjà partiellement été adressé dans le laboratoire [5].

**Contrôle de l'acquisition/reconstruction 3D partielle.**

Chaque étape de la séquence d'acquisition est donc caractérisée par un nombre défini de traitements à réaliser ainsi que par l'ensemble des primitives géométriques du modèle

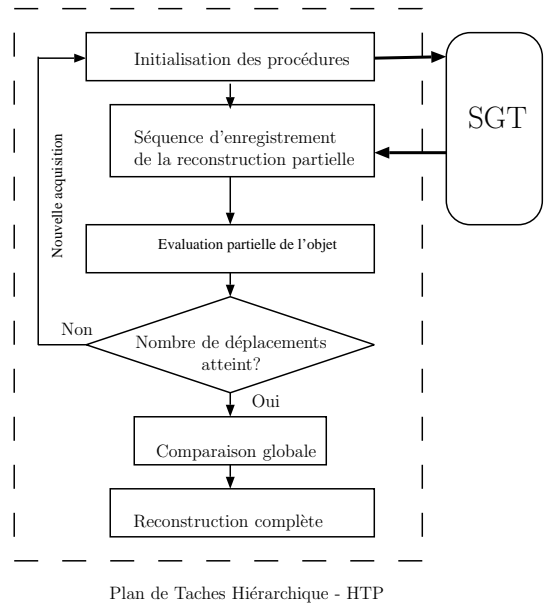


FIG. 4 – Architecture interne du plan de tâches hiérarchiques (HTP). Exploitation des modules de traitement présentés dans la section 2.

de l'objet devant être identifiées. Ces paramètres sont fournis au SGT qui se charge de réaliser les opérations spécifiées et retourne la reconstruction 3D partielle correspondante.

**Gestion de la reconstruction 3D incrémentale.** C'est le recalage successif de ces informations partielles qui permet d'obtenir à la fin de la séquence une reconstruction 3D complète de l'objet. Or, à ce niveau de traitement, deux possibilités sont envisageables, à savoir un recalage incrémental réalisé après chaque reconstruction partielle, ou un recalage global exécuté une fois que la séquence d'acquisitions est achevée. Nous avons adopté la première solution qui offre l'avantage d'une maîtrise de l'erreur de recalage commise à chaque reconstruction partielle. Il est ainsi possible d'interrompre le processus en cours d'inspection si la pièce présente un défaut trop important plutôt que de devoir mener à terme la séquence d'acquisition (ce qui conduit à une perte de temps puisque l'objet analysé diffère grandement du modèle utilisé pour générer les paramètres du plan de tâche hiérarchique). Une fois le recalage des données 3D courantes réalisé, une évaluation partielle de l'objet est menée et le processus est réitéré jusqu'à l'achèvement complet de la séquence d'acquisitions. A terme, une procédure de comparaison globale de l'objet reconstruit avec son modèle de référence est exécutée par le HTP afin de donner une évaluation dimensionnelle complète de l'objet inspecté.

La figure 4 illustre l'architecture interne du HTP ainsi que la communication bidirectionnelle avec le SGT. Ce module de contrôle est applicable quelque soit l'objet à inspecter,

à condition de prendre en compte le modèle spécifique de l'objet à inspecter lors de son élaboration.

### 3.2 Graphe de Situations - SGT

**Contrôle des têtes de mesure.** Le module de reconstruction partielle a en charge l'exécution des tâches spécifiées par le HTP en vue de générer une information 3D, mais doit également être en mesure d'adapter les traitements planifiés en fonction des conditions réelles d'acquisition [20] (ex : localisation effective de l'objet dans la scène, paramètres d'éclairage légèrement différents de ceux du modèle, etc.).

Nous utilisons les SGTs pour représenter la connaissance comportementale de notre système de vision. Chaque étape du processus est représentée par une situation (élément de base d'un SGT); ces situations sont connectées entre elles par des transitions respectant une logique déterminée, c'est-à-dire que c'est à l'action (au niveau de la situation) en cours de décider si une éventuelle tâche de traitement est à activer ou pas, et ce en fonction des résultats obtenus en ligne.

**Éléments de base constituant un SGT.** Un SGT [1][2][17] décrit le comportement d'un agent en terme de situations dans lesquelles ce dernier peut se trouver. Les transitions entre ces différentes situations décrivent un changement temporel d'une situation à l'autre.

Un schéma de situation [17] est constitué de deux éléments : un schéma d'état décrivant à l'aide de prédicats logiques l'état de l'agent ainsi que celui de son environnement, et un schéma d'action décrivant l'ensemble des actions que l'agent doit exécuter. Si l'ensemble des prédicats d'état est satisfait, l'agent instancie le schéma de situation correspondant et toutes ses actions sont exécutées.

Les schémas de situations sont reliés entre eux par des liens de prédiction orientés [1]. Un schéma de situation peut également posséder un lien d'auto-prédiction; un agent peut donc rester dans une même situation pendant plusieurs pas temporels. Un ensemble de schémas de situations connectés entre eux constitue un graphe de situations [12][3]. Ces graphes peuvent comporter des cycles entre schémas de situation. Certains schémas de situation peuvent être marqués comme étant des situations de début constituant des points d'entrée du graphe et/ou des situations de fin constituant des points de sortie du graphe. Une séquence de situations est ainsi définie par le chemin reliant une situation de début à une situation de fin; nous pouvons ainsi obtenir des séquences de situations possibles, mais pour lesquelles seul un schéma de situation est activé pour un pas temporel donné.

Afin de raffiner un schéma de situation, il est possible de le connecter à un ou plusieurs graphes de situations par le biais d'un lien de spécialisation [18]. Les spécialisations multiples d'un schéma de situation sont possibles.

**Contexte d'utilisation classique des SGTs.** L'exploitation première des SGTs a été de construire automatiquement une description textuelle du contenu d'une sé-

quence vidéo [2]; il s'agissait notamment de décrire l'ensemble des actions effectuées par un véhicule (jouant le rôle d'agent) dans une scène urbaine. L'ensemble des situations dans lesquelles l'agent est susceptible de se retrouver est ainsi décrit par plusieurs schémas de situation connectés en graphes de situations [1]. Les prédicats d'état des différents schémas de situation dépendent uniquement du contenu de l'image courante de la séquence vidéo et sont fournis par un processus de traitement d'images (ex : les coordonnées de l'agent sont  $(x_1, y_1)$ , et la seule action à exécuter consiste à afficher le nom et la description de la situation instanciée).

**Adaptation des SGTs à notre problématique.** Dans le cadre de notre application, il est nécessaire de définir un ensemble de prédicats logiques d'état liés aux paramètres des actions à réaliser (système d'acquisition à utiliser, type des sources d'éclairage à activer, paramètres des différentes procédures, etc.). Les actions devant être exécutées par les situations correspondent aux différents traitements décrits dans la section 2. Le résultat de ces actions est associé à une figure de mérite permettant la modification des prédicats logiques globaux utilisés aux niveaux des états.

Le SGT générique est composé de schémas de situations permettant de décrire toutes les situations que les têtes de mesures sont en mesure de rencontrer : déplacement - acquisition et traitement - reconstruction 3D partielle, en incluant une combinaison contours/surfaces - et la planification dynamique.

Le parcours du graphe consiste à déterminer avec un pas temporel donné, la séquence de situations qu'un agent (dans notre application, il s'agit des têtes de mesure) est amené à instancier. Pour un pas temporel donné, un schéma de situation (et un seul) peut être instancié si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

- l'ensemble de ses prédicats d'état est réalisé,
- il est connecté au schéma de situation précédemment actif,
- le schéma de situation précédemment actif a exécuté avec succès l'ensemble de ses actions.

Le parcours du SGT repose sur l'évaluation des états. En effet, c'est la valeur des prédicats logiques d'état qui détermine son évolution. La valeur de ces prédicats peut être modifiée par certaines actions d'autres schémas de situation (ex : figures de mérite issues d'un traitement d'image), mais également être dépendante de l'état d'un capteur. La structure du SGT est orientée état puisque c'est l'étude des prédicats logiques d'état qui détermine son évolution.

Afin de prendre en compte les erreurs et incertitudes introduites lors de la phase de planification hors ligne (menée sur une modélisation de l'ensemble des éléments de l'application), il est important que le SGT soit capable d'adapter automatiquement son comportement en fonction des conditions réelles d'acquisition et des résultats effectifs des différentes procédures de traitements en cours. Il peut ainsi être nécessaire de modifier la valeur de certains paramètres de traitement (ex : dimension de la fenêtre d'intérêt, valeurs

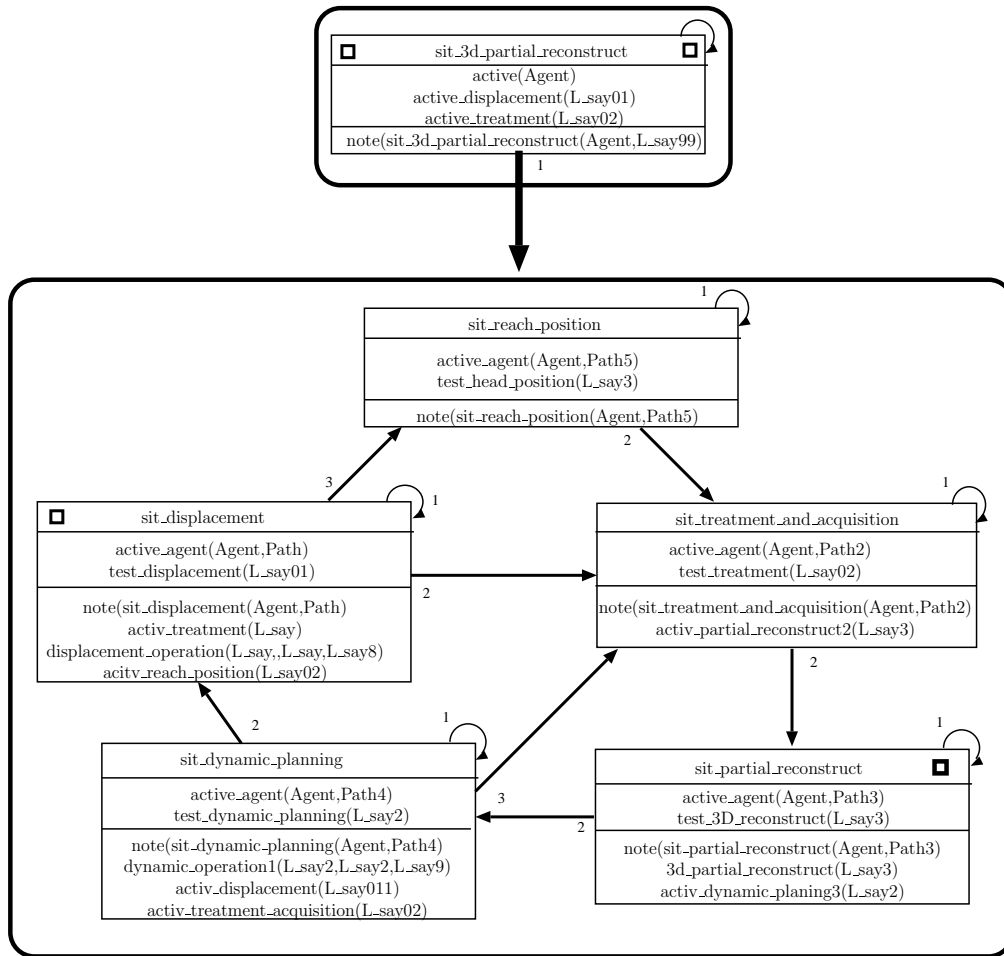


FIG. 5 – Graphe de situation décrivant le comportement des têtes de mesure. Les divers éléments de base du SGT sont représentés schématiquement comme suit :

- graphe de situation : rectangle aux bords arrondis englobant les schémas de situation lui correspondant,
- schéma de situation : rectangle composé de trois éléments distincts : l’identifiant de la situation, les prédicats logiques du schéma d’état, les actions du schéma d’action,
- lien de prédiction : flèche orientée reliant deux schémas de situation,
- lien d’auto-prédiction : demi cercle orienté sur un schéma de situation,
- situation de début et de fin : respectivement un carré à droite et à gauche du schéma de situation,
- lien de spécialisation : flèche orientée reliant un schéma de situation à un graphe de situation,
- les chiffres correspondent à l’ordre de priorité d’instanciation des schémas de situation.

de seuil) si les figures de mérite prédéfinies ne sont pas réalisées (ex : échec de la segmentation d’image). Cette correction automatique peut également amener le processus à ajuster les paramètres physiques de l’application (ex : ajustement de la position de la tête de mesure, modification des conditions d’éclairage).

## 4 Implémentation et résultats préliminaires

L’implémentation du SGT est basée sur les logiciels “SGT-Editor” et “F-limette” [22] et met en œuvre le langage FMTHL (Fuzzy Metric Temporal Horn Logic) [21]. Les

autres modules de traitement présentés dans la section 2 (reconstruction 3D, recalage d’une séquence d’acquisition, etc.) ont été développés par ailleurs dans notre laboratoire. Les premières expérimentations ont été menées sur une version prototype du robot de mesure. Il est constitué d’une table de contrôle micrométrique supportant l’objet à inspecter et de la tête de mesure mettant en œuvre la lumière structurée. Dans cette configuration, c’est l’objet qui se déplace devant le système d’acquisition.

Un plan de tâches hiérarchiques (HTP) correspondant à une séquence de trois positions de l’objet a été déterminé. Il prend notamment en compte des informations de modélisation portant sur la position et l’orientation de l’objet par

rapport à la tête de mesure, les primitives géométriques de l'objet devant être mesurées, les régions d'intérêt correspondantes dans l'image, les valeurs spécifiques des paramètres du traitement d'image dédié à la lumière structurée. Un graphe de situations simplifié a ainsi été développé afin de valider l'approche proposée. Il est constitué des schémas de situation suivants :

- déplacement (*sit\_displacement*) : assure le contrôle des mouvements de la table,
- traitement\_et\_acquisition (*sit\_treatment\_and\_acquisition*) : réalise l'acquisition d'une image 2D, gère la détermination des zones d'intérêt, réalise les traitements sur l'image,
- reconstruction\_partielle (*sit\_partial\_reconstruct*) : génère l'information 3D relative aux données mesurées et la compare avec les primitives 3D prédites à partir de la modélisation,
- planification\_dynamique (*sit\_dynamic\_planning*) : modifie les paramètres originaux des différentes procédures.

La figure 5 illustre les liens de prédiction existants entre ces schémas de situation.

La séquence de traitement déplacement > traitement\_et\_acquisition > reconstruction\_partielle correspond au cas de figure où les primitives géométriques mesurées satisfont les critères de correspondance avec les primitives prédites à partir du modèle. Dans le cas contraire, il est nécessaire de tenir compte des erreurs de modélisation et donc de changer légèrement de point de vue, ou d'appliquer d'autres algorithmes de calcul ; ce qui conduit à une séquence de traitement du type déplacement > traitement\_et\_acquisition > reconstruction\_partielle > planification\_dynamique > traitement\_et\_acquisition > reconstruction\_partielle.

Les premiers essais montrent que l'approche proposée permet effectivement au système de planification de modifier son comportement en fonction du résultat effectif des traitements spécifiés *a priori*. Un exemple de fichiers résultat correspondants est donné dans la table 1.

## 5 Conclusion

Dans cette contribution, un système de planification intelligent permettant l'inspection et l'évaluation dimensionnelle d'une pièce manufacturée a été développé.

La connaissance *a priori* mise en œuvre porte sur l'ensemble des composants de l'application, à savoir les modèles paramétrables des têtes de mesure, des sources lumineuses et de l'objet à analyser. Le plan de tâches hiérarchique contrôlant l'application est décrit en termes génériques. De même, le graphe de situation décrit la connaissance complète liée au comportement des agents (ici des capteurs).

Notre objectif d'implémentation d'un système intégré, capable de prendre en entrée plusieurs acquisitions d'images et des modèles explicites (modèle CAO pour l'objet à reconstruire) et délivrant, en sortie, les différentes recons-

TAB. 1 – (a) : séquence des schémas de situation instanciés durant le parcours du graphe. (b) : processus de reconstruction 3D réalisé à partir de trois acquisitions différentes.

```
(a)
7 : 7 ! sit_displacement(piece_3d,b).
8 : 8 ! sit_displacement(piece_3d,b).
9 : 9 ! sit_displacement(piece_3d,b).
10 : 10 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
11 : 11 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
12 : 12 ! re: 30 tkk: 62 -30.
13 : 13 ! re: 30 tkk: 62 -30.
14 : 14 ! sit_dynamic_planning(piece_3d,e,30).
15 : 15 ! sit_dynamic_planning(piece_3d,e,30).
16 : 16 ! sit_displacement(piece_3d,f).
17 : 17 ! sit_displacement(piece_3d,f).
18 : 18 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
19 : 19 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
20 : 20 ! re: 30 tkk: 62 -30.
21 : 21 ! re: 30 tkk: 62 -30.
22 : 22 ! sit_3d_partial_reconstruct(piece_3d,60,400).
23 : 23 ! sit_3d_partial_reconstruct(piece_3d,60,400).
24 : 24 ! sit_3d_partial_reconstruct(piece_3d,60,400).
25 : 25 ! sit_3d_partial_reconstruct(piece_3d,60,400).
yes
```

```
(b)
Child N°1 -----
7 : 7 ! sit_displacement(piece_3d,b).
8 : 8 ! sit_displacement(piece_3d,b).
9 : 9 ! sit_displacement(piece_3d,b).
// the rest of instantiation
yes
Child N° 2 -----
7 : 7 ! sit_displacement(piece_3d,b).
8 : 8 ! sit_displacement(piece_3d,b).
9 : 9 ! sit_displacement(piece_3d,b).
10 : 10 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
// the rest of instantiation
yes
Child N° 3 -----
7 : 7 ! sit_displacement(piece_3d,b).
8 : 8 ! sit_displacement(piece_3d,b).
10 : 10 ! sit_treatment_and_acquisition(piece_3d,c,20).
// the rest of instantiation
yes
3D Reconstruction of Object
```

tructions partielles (formant à la fin une reconstruction complète de l'objet), conduit à deux conséquences. Il requiert ainsi de :

- exploiter la puissance de représentation des connaissances des HTP et SGT, afin d'automatiser toutes les procédures d'acquisition et d'évaluation nécessaires à la reconstruction 3D,
- contrôler en boucle fermée (feed-back) toute l'expérience obtenue pendant la segmentation et l'évaluation (KBED) afin d'améliorer constamment, et en ligne, la reconstruction 3D automatique de pièces manufacturées.

Les travaux actuels portent sur l'intégration des têtes de mesures et du système d'éclairage sur le robot articulé présenté dans la section 2. Les éléments du système de planification validés sur la version prototype du robot de mesure vont être améliorés et raffinés afin notamment d'assurer le contrôle et l'exploitation des deux têtes de mesure (vision stéréoscopique et lumière structurée), ainsi que la gestion des modèles d'éclairage au niveau du schéma de situation dédié à la planification dynamique. Chaque tête de mesure est actuellement utilisée indépendamment afin de générer des données 3D spécifiques relatives aux contours (vision stéréoscopique) ou aux surfaces (lumière structurée). Toutefois, la coopération active de ces deux approches permettrait une reconstruction efficace 3D de pièces manufacturées caractérisées par de grandes surfaces plutôt uniformes et non texturées (comme pour une pale de turbine, des pièces de tôlerie d'automobiles, etc..). Les indices

d'images extraits par vision stéréoscopique peuvent ainsi être traités afin d'établir des indices de régions "fermées". Ces régions "fermées" délimitent des surfaces, dans lesquelles l'approche lumière structurée peut être appliquée, afin de récupérer les descriptions de formes 3D désirées.

## Références

- [1] M. Arens et H.-H. Nagel, "Representation of Behavioral Knowledge for Planning and Plan-recognition in a Cognitive Vision System", M. Jarke, J. Koehler et G. Lakemeyer (Eds.), in 25th German Conference on Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2479, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 268-282, 2002.
- [2] M. Arens et H.-H. Nagel, "Behavioral knowledge representation for the understanding and creation of video sequences", in 26th German Conference on Artificial Intelligence, A. Gunther, R. Kruse et B. Neumann (Eds.), Lecture Notes in Artificial Intelligence 2821, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 149-163, 2003.
- [3] M. Arens, A. Ottlik et H.-H. Nagel, "Natural Language Texts for a Cognitive Vision System", in : F. van Harmelen (Ed.) : Proc. of the 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2002), IOS Press : Amsterdam, Lyon, France, pp. 455-459, 2002.
- [4] K. B. Atkinson, "*Close Range Photogrammetry and Machine Vision*", Whittless Publishing, 1996.
- [5] C. Boucher, "*Système à base de connaissances pour la détection contrôlée des contours dans des images à niveaux de gris*", Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1996.
- [6] C. Boucher, C. Daul, P. Graebing et E. Hirsch, "KBED, A knowledge-based Edge Detection System in Database and Expert System Applications", N. Revell et A.M. Tjoa (Eds.), Lecture Notes in Computer Sciences 978, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 344-354, 1995.
- [7] E. Choi et P. Hall, "Data sharpening as a prelude to density estimation", *Biometrika* 86, pp. 941-947, 1999.
- [8] D. Comaniciu et P. Meer, "Mean shift : a robust approach toward feature space analysis", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* Vol. 24(5), pp. 603-619, 2002.
- [9] P. Graebing, A. Lallement, D. -Y. Zhou et E. Hirsch, "Optical high precision three dimensional Vision Based Quality Control of Manufactured Parts Using Synthetic and Knowledge for Image Data Evaluation and Interpretation", *Applied Optics : Information Processing*, Vol. 41(14), pp. 2627-2643, 2002.
- [10] P. Graebing, A. Lallement et E. Hirsch, "Three dimensional vision based quality control of free form surface. Application to the inspection of turbine blades", *Quality Control by Artificial Vision, QCAV* 2001, Le Creusot (France), Proc. Vol. 1, pp. 84-89, 2001.
- [11] R. Hartley et A. Zisserman, "*Multiple View Geometry in Computer Vision*", Cambridge University Press, 2000.
- [12] M. Haag et H.-H. Nagel, "Incremental recognition of traffic situations from video image sequences", *Image and Vision Computing*, Vol. 18(2), pp. 137-153, 2000.
- [13] R. Khemmar, A. Lallement et E. Hirsch, "Parameter setting through design of experiments for the automated delineation of regions of interest", XII. European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2004, Vienne (Autriche), pp. 1135-1138, 2004.
- [14] S. Kohler et E. Hirsch, "Cognitive intelligent sensory system for vision-based quality control", *Quality Control by Artificial Vision, QCAV 2003*, Gatlinburg (USA), Proc of SPIE. Vol. 5132, pp. 331-341, 2003.
- [15] A. Lallement, R. Khemmar et E. Hirsch, "Automated delineation of regions of interest through adaptive segmentation and interpretation of images in view of dimensional evaluation of manufactured parts", *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13(3), pp. 462-473, 2004.
- [16] R. Malladi, J. Sethian et B. Vemuri, "Shape Modeling with Front Propagation : A level set approach", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* Vol. 17, pp. 158-175, 1995.
- [17] H.-H. Nagel, "From Image Sequences towards Conceptual Descriptions", *Image and Vision Computing*, Vol. 6(2), pp. 59-74, 1988.
- [18] H.-H. Nagel, "Natural Language Description of Image Sequences as a Form of Knowledge Representation", in : W. Burgard, T. Christaller et A. B. Cremers (Eds.) : Proc. of the 23rd Annual German Conference on Artificial Intelligence (KI-99), Bonn, Germany, LNCS 1701, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 45-60, 1999.
- [19] A. Osher et J. Sethian, "Fronts propagating with curvature dependent speed : Algorithms based on hamilton-jacobi formulation", *Journal of Computational Physics*, Vol. 79(1), pp. 12-49, 1988.
- [20] M. Saadatseresht, C. S. Fraser, F. Samadzadegan et A. Azizi, "Visibility Analysis in Vision Metrology Network Design", *The photogrammetric Record*, Vol. 19(107), pp. 219-236, 2004.
- [21] K. Schafer, "Unschärfe zeitlogische Modellierung von Situation und Handlungen in Bildfolgenauswertung und Robotik, Dissertation", Institut d'Informatique de l'université de Karlsruhe (TH), Juli 1996. Publié dans : Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz (DISKI), Band 135, infix Verlag, St. Augustin, German, 1996.
- [22] [http://covisys.iaks.univ-karlsruhe.de/Vid-Text/f\\_limette](http://covisys.iaks.univ-karlsruhe.de/Vid-Text/f_limette).