

Construction dynamique de plans de Traitement d'Images par utilisation de connaissances explicites

Régis CLOUARD, Christine PORQUET, Abderrahim ELMOATAZ

Laboratoire d'Algorithmique et d'Intelligence Artificielle de Caen - ISMRA
6, Boulevard du Maréchal Juin, 14050 CAEN cedex
e-mail : rclouard@I2i.ismra.fr

RÉSUMÉ

Dans le cadre des recherches sur la conception de systèmes de traitement d'images automatiques et non dédiés, nous proposons une approche basée sur la construction dynamique de plans pour guider la sélection, le paramétrage et l'enchaînement d'opérateurs classiques de traitement d'images archivés dans une bibliothèque. Le modèle de résolution repose sur une planification hiérarchique et incrémentale utilisant des connaissances explicites sur les techniques de traitement d'images et sur les opérateurs de la bibliothèque, et tenant compte des spécifications du problème et des caractéristiques des images fournies par l'utilisateur. L'implantation du système s'appuie sur l'architecture de tableau noir BB1.

ABSTRACT

Within the framework of research about the development of automatic and non-dedicated image processing systems, our approach consists in building dynamic plans of treatments in order to direct the selection, the adjustment of parameter values and the linking of image processing operators stored into a library. The model of resolution is based on a hierarchical and incremental planning process using explicit knowledge about image processing techniques and about the operators of the library, and taking into account problem specifications and image characteristics given by the user. The system is implemented thanks to the BB1 blackboard architecture.

1. INTRODUCTION

Les recherches dans le domaine du Traitement d'Images (TI) s'orientent actuellement vers la conception de systèmes généraux capables de traiter des images d'origines différentes avec les mêmes méthodes, notamment en France [Clément 90], [Théot 92]. L'enjeu est bien sûr de tendre vers des systèmes plus robustes, plus fiables et plus flexibles pouvant s'adapter aux différentes formes de tâches et de contextes. Cet objectif nécessite des architectures de résolution de problèmes autorisant l'intégration, sous diverses formes, d'informations qui sont pour la plupart incertaines et peu fiables.

Nous proposons de résoudre des problèmes classiques de TI comme l'amélioration et la restauration d'images, la détection de caractéristiques et de formes ou la segmentation, par construction dynamique de plans de traitements adaptés à la nature du problème et aux caractéristiques des images.

Ceci inclut la sélection des opérateurs appartenant à une bibliothèque donnée, la détermination des valeurs de leurs paramètres, leur exécution dans un ordre précis, ainsi que l'évaluation des résultats intermédiaires pour conduire éventuellement une correction dynamique du plan. Pour cela, le système raisonne à partir de connaissances explicites sur les techniques de TI et sur chacun des opérateurs qui composent la bibliothèque.

Les objectifs poursuivis dans ce travail sont de deux ordres : D'une part, il s'agit de spécifier l'ensemble des caractéristiques intrinsèques d'un système qui se veut automatique et non dédié à une application particulière. D'autre part, il s'agit d'extraire et de formaliser l'expertise de TI sous forme de sources de connaissances déclaratives et explicites qui pourraient faciliter l'enseignement de "l'art" et des techniques du traitement d'images.



2. DÉFINITION D'UN PROBLÈME DE TRAITEMENT D'IMAGES

Un problème de TI est présenté au système sous forme d'une requête portant sur une image. La requête est énoncée à l'aide d'un langage de description, en termes de buts à atteindre et de contraintes sur les solutions. Elle est ainsi parfaitement déterminée dans ses objectifs et dans ses exigences sur la qualité des résultats attendus. Parce que les caractéristiques de l'image présentée ne peuvent être extraites facilement de la représentation purement numérique et que ces informations sont essentielles pour orienter les traitements, il est nécessaire de compléter l'image par une description symbolique de son contenu [Clément 93]. Cette description est représentée par une liste attribut-valeur combinant des informations d'origines *physiques* (caractéristiques du capteur, conditions d'acquisition...), *perceptives* (aspects et formes des objets, présence d'un fond...) et *sémaniques* (classes d'images, relations entre les objets...) [Elmoataz 90].

Intention et contexte sont deux notions primordiales qui doivent être prises en compte à tous les niveaux du raisonnement pour orienter et contrôler la qualité des traitements. Pour respecter le caractère général de l'approche, le vocabulaire utilisé pour formuler la requête et la description de l'image, doit être strictement limité à celui du TI et des mathématiques.

3. MODÈLE DE RÉOLUTION

Le principe général de résolution consiste à rechercher dans une bibliothèque d'opérateurs donnée, la séquence optimale des opérateurs à appliquer à l'image initiale pour produire des données de sorties (images, régions, attributs...) qui satisfassent les exigences de la requête. Le choix et l'enchaînement des opérateurs sont déterminés sur la base d'un plan de traitements qui doit être construit dynamiquement en fonction des spécifications de la requête et des caractéristiques de l'image soumises.

La résolution d'un problème de TI procède en 4 étapes :

1. Construction d'un plan de traitements. Le plan permet de traduire les intentions de l'utilisateur sous la forme d'actions primitives de TI. Il est obtenu par planification hiérarchique [Sacerdoti 77] : une première version grossière de la solution est élaborée, qui est ensuite développée et détaillée. Ce modèle de planification permet de se focaliser sur les points délicats en repoussant leur réalisation plus technique aux niveaux inférieurs. Il y a ainsi plusieurs façons

de parvenir à la solution, car il y a plusieurs manières de considérer le problème.

Le domaine du TI est étudié à quatre niveaux d'abstraction :

Requête : La demande faite par l'utilisateur sous forme de buts et de contraintes sur l'image décrite.

Tâche : Les tâches élémentaires déduites de la requête par reformulation, traduction et élimination des ambiguïtés.

Fonctionnalité : Les fonctions générales de TI pour résoudre une tâche.

Procédure : Les procédures classiques de TI à mettre en oeuvre pour implanter une fonctionnalité.

Les deux premiers niveaux doivent permettre de spécifier totalement le problème sous forme de tâches élémentaires, tandis que les deux derniers niveaux détaillent les solutions préconisées par le TI pour résoudre une tâche particulière.

Le plan est représenté par un graphe de buts à quatre niveaux (Fig 1). Un but d'un niveau est décomposé au niveau inférieur en une combinaison de séquences (SEQ) et de conjonctions (ET) de sous-buts. Une séquence impose un ordre d'exécution entre les sous-buts, les images de sortie d'un sous-but sont utilisées comme images d'entrée pour le sous-but qui lui succède. Dans une conjonction, aucun ordre a priori n'est défini. Le graphe permet aussi de conserver plusieurs alternatives de décomposition (sous forme d'arcs OU), mais le plan final devra n'en retenir qu'une (la meilleure, ou la première qui satisfait les contraintes).

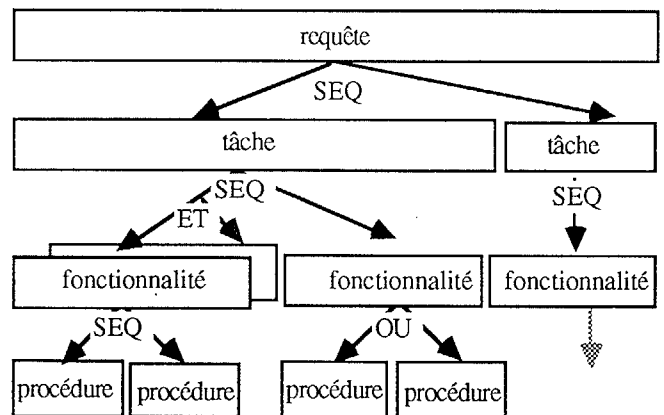


Fig. 1. Représentation d'un plan.

Le plan est construit par affinages successifs des buts d'un niveau en sous-buts au niveau inférieur. Pour cela, le système raisonne à partir de connaissances sur les techniques de décomposition d'un processus complexe de TI en actions primitives pour développer la solution pas à pas. La

planification relève d'un processus *incrémental*, qui permet d'adapter la décomposition d'un but en fonction de l'état courant de la solution et des choix faits antérieurement. Il est donc impossible de prévoir a priori le plan qui sera retenu comme solution finale.

2. Instanciation du plan avec les opérateurs de la bibliothèque. Le plan précédent est instancié avec les opérateurs de la bibliothèque (Fig 2) dans une étape de sélection des opérateurs adaptés et de détermination de la valeur de leurs paramètres. On utilise ici les connaissances *sémantiques* (liées à la sélection) et *syntaxiques* (liées à l'utilisation) de chaque opérateur de la bibliothèque et les connaissances sur la description des *procédures* de TI comme enchaînement d'opérateurs primitifs.

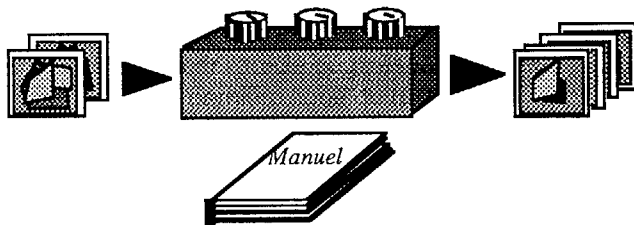


Fig. 2. Opérateur de TI.

Afin de limiter la connaissance opératoire, tant syntaxique que sémantique, notre bibliothèque d'opérateurs ne comprend que des opérateurs *atomiques*, c'est-à-dire limités à une action et une seule [Clouard 92]. Il existe en outre des opérateurs plus complexes chargés de combiner le résultat de plusieurs opérateurs atomiques (ET, OU, MIN, MAX...) [Matsuyama 89]. De plus, chaque opérateur peut agir aussi bien sur l'image entière que sur des régions déterminées de celle-ci.

3. Exécution du plan. L'exécution du plan résulte de l'exécution de chaque opérateur sélectionné, dans l'ordre déterminé. L'ajustement a priori des valeurs des paramètres est un problème très difficile. Une solution consiste à exécuter les opérateurs avec différentes valeurs des paramètres, jusqu'à optimiser une fonction d'évaluation adaptée [Matsuyama 89] [Clément 90]. La détermination du domaine de valeurs potentielles est faite par le plan : certains opérateurs (non paramétrés) doivent être utilisés au préalable pour calculer des valeurs servant de base à la définition d'un intervalle de recherche. Ainsi, on pourra prendre comme résultats de l'exécution d'un opérateur :

- soit le premier qui satisfait la fonction d'évaluation (*ex : appliquer un lissage adaptatif jusqu'à idempotence de l'image*),

- soit le dernier qui satisfait la fonction d'évaluation (*ex : éroder les régions jusqu'à ce qu'il y ait diminution du nombre de régions*),

- soit celui qui maximise la fonction d'évaluation (*ex : rendre le seuil de binarisation qui maximise la coïncidence entre les frontières des objets obtenus et les contours obtenus par ailleurs*).

4. Évaluation des résultats intermédiaires. De manière à garantir la pertinence de la solution proposée, la qualité des résultats doit être estimée à chaque étape de leur construction. Les évaluations intermédiaires permettent de corriger dynamiquement et localement les parties de plan non adaptées. Mais en TI, il est particulièrement difficile de définir des règles d'évaluation globales parce que les critères sont avant tout visuels. Nous proposons de profiter pleinement de la hiérarchisation du domaine pour délocaliser l'évaluation sur chaque décision de chaque niveau d'abstraction : aux plus bas niveaux, les règles portent sur les détails techniques, aux plus hauts sur les objectifs généraux. Il est donc nécessaire de faire suivre l'exécution des opérateurs d'une phase de "remontée" des résultats vers les niveaux hiérarchiquement supérieurs. Chaque étape de la remontée doit être soumise à une évaluation pouvant conduire à une remise en cause des choix. La correction d'un but du plan se fait par le choix d'une autre alternative de décomposition. S'il n'en existe pas, le constat d'échec de cette partie de plan est remonté au niveau supérieur pour envisager là aussi une autre alternative. L'évaluation finale incombe naturellement à l'utilisateur qui peut au besoin reformuler la requête.

L'évaluation s'effectue au moyen de règles classiques SI ALORS (SINON). Leur condition porte sur des comparaisons entre des mesures quantitatives faites sur les données de sortie à l'aide d'opérateurs non paramétrés (ou dont les valeurs de paramètres sont non ambiguës) et les objectifs courants. L'action doit permettre de formuler un jugement qualitatif d'acceptabilité ou de rejet.

4. RÉALISATION

L'architecture du système est basée sur le modèle du tableau noir et plus spécifiquement sur celui de BBI [Hayes-Roth 85]. Dans ce modèle, la connaissance du domaine est divisée en modules indépendants et autonomes (les sources de connaissances ou SCs) détenant chacun une partie de la connaissance totale. La solution est construite sur une base de données globale par application successive de SCs coopératives ou compétitives.



La base de données possède un haut degré d'organisation (Fig 3). Elle est divisée verticalement suivant les cinq niveaux d'abstraction précédents (requête, tâche, fonctionnalité, procédure et opérateur), et horizontalement suivant l'ordre d'exécution. Chaque donnée est ainsi repérée par son niveau d'abstraction, sa date de début et de fin d'exécution. Une donnée est caractérisée par des attributs tels que le but, les contraintes, les images d'entrée et de sortie, les règles d'évaluation, la décomposition en sous-buts...).

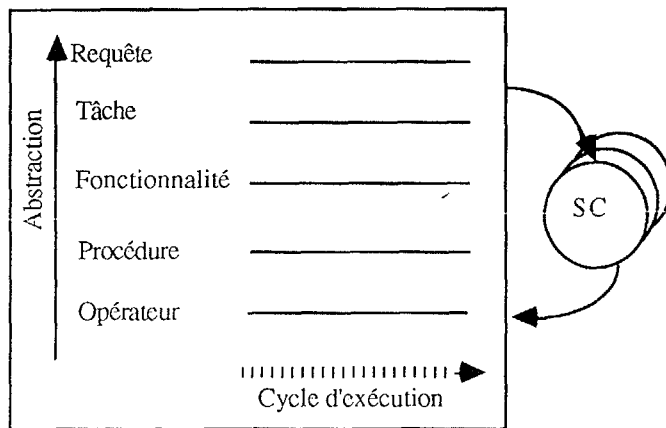


Fig 3. La base de données du domaine.

Une SC s'exprime sous le format classique condition-action. La condition définit les conditions d'application de la SC; chaque SC est responsable de ses conditions d'application. L'action produit de nouvelles données sur la base de données ou modifie des données existantes. Notre base de connaissances est composée de quatre types de SCs [Clouard 93] : celles qui construisent le plan en développant un but d'un certain niveau en plusieurs sous-buts au niveau inférieur (il existe une SC par alternative de décomposition d'un but donné), la SC qui exécute les opérateurs en mode "ajustement de paramètres", les SCs qui remontent les résultats vers les niveaux hiérarchiquement supérieurs et les SCs qui évaluent les résultats intermédiaires.

A chaque étape de la résolution, plusieurs SCs sont candidates à une exécution. Le rôle du contrôle est de déterminer la prochaine SC à exécuter. De ce choix dépend la rapidité de convergence vers la solution. L'originalité du modèle de BB1 est de considérer le contrôle comme un problème à résoudre au même titre que ceux du domaine, pour cela, un tableau noir lui est entièrement dédié. Le contrôle raisonne à partir d'heuristiques générales et de stratégies particulières pour déterminer le profil idéal de la prochaine SC à exécuter compte tenu de l'état actuel de la solution. Le choix résulte d'un compromis entre les SCs idéales et les SCs candidates.

5. CONCLUSION

Le système présenté ici n'a pas pour ambition de résoudre toutes les formes de problèmes possibles en TI. Par contre, il est un cadre général, puissant et flexible pour lequel l'application à une nouvelle classe de problèmes non encore appréhendée, doit se limiter à la mise à jour de la base de connaissances et/ou de la bibliothèque d'opérateurs par intégration de nouvelles connaissances. Ceci est facilité, d'une part par les qualités mêmes de l'architecture retenue, qui permettent entre autres la conception des SCs indépendamment les unes des autres et le raisonnement à partir d'expertises incomplètes et peu fiables [Haton 91], et d'autre part par l'intégration dans le système d'un mécanisme d'explication du raisonnement et d'une interface pour l'écriture et la correction des SCs.

L'étude de deux applications de natures différentes (imagerie biomédicale, imagerie aérienne) a permis de valider notre approche sur une première maquette s'appuyant sur une bibliothèque d'une centaine d'opérateurs et une base de connaissances d'environ 150 SCs.

BIBLIOGRAPHIE

- [Clément 90] V. Clément, «Raisonnements cognitifs appliqués au pilotage d'algorithmes de traitement d'images», *thèse de doctorat*, Nice, 1990.
- [Clément 93] V. Clément, M. Thonnat «A knowledge-based approach to integration of image processing procedures», *CVGIP image understanding*, vol 27 (2), 1993, pp 166-184.
- [Clouard 92] R. Clouard, «IRIS: manuel de référence», Caen, 1992.
- [Clouard 93] R. Clouard, C. Porquet, M. Revenu, «Resolution of image processing problems by dynamic planning within the framework of the blackboard model», *SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XII*, vol 2056, Boston, 1993.
- [Elmoataz 90] A. Elmoataz, «Mécanismes opératoires d'un segmenteur d'images non dédié: définition d'une base d'opérateurs et implantation», *Thèse de doctorat*, Caen, 1990.
- [Haton 91] J.P. Haton et al, «Le raisonnement en intelligence artificielle», *InterEditions*, Paris, 1991.
- [Hayes-Roth 85] B. Hayes-Roth, «A blackboard architecture for control», *Artificial Intelligence*, vol 26, 1985, pp 251-321.
- [Matsuyama 89] T. Matsuyama, «Expert Systems for Image Processing: Knowledge-based Composition of Image Analysis Processes», *Computer Vision, Graphics and Image Processings (48)*, Academic Press, 1989, pp 22-49.
- [Sacerdoti 77] E.D. Sacerdoti, «A structure for plans and behavior», *Elsevier*, 1977.
- [Théot 92] C. Théot, E. Gallier, D. Mischler, «VSDE, un environnement de développement automatisé de systèmes de vision», *Rev. Techn. THOMSON-CSF*, vol 24 (4), 1992, pp 867-886.