Modélisation de mines avec un modèle générique d'objets

Frédéric Labrosse **Jean-Yves Hervé** **Paul Cohen**

Groupe de Recherche
en
Perception et Robotique

École Polytechnique de Montréal
GRPR - DGEGI
C.P. 6079, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) CANADA H3C 3A7
tel: (514) 340-5783, fax: (514) 340-5802

e-mail: `[labrosse,jyh,cohen]@ai.polymtl.ca`

Publié dans : *Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Calgary, AB, Canada, mai 1996.

Modélisation de mines avec un modèle générique d'objets

Frédéric Labrosse   Jean-Yves Hervé   Paul Cohen

Groupe de Recherche en Perception et Robotique
Département de génie électrique et de génie informatique
École Polytechnique, Montréal, Québec, Canada
[labrosse,jyh,cohen]@ai.polymtl.ca

Résumé

Cet article présente un modèle générique d'objets (GNOME) et son application à la modélisation des mines. GNOME est un modèle hiérarchique et se compose essentiellement de deux parties : l'une est topologique, l'autre est quantitative. Les objets sont représentés par leurs attributs (la géométrie, la couleur, la densité, etc.) qui permettent de définir des objets-attributs (des objets dans l'espace de représentation des attributs) ainsi que des relations entre ceux-ci dans un attribut donné et entre les différents attributs. Quelques résultats d'un logiciel qui utilise une représentation de mine suivant GNOME sont montrés.

1 Introduction

Les champs d'application de la robotique sont légions et impliquent l'utilisation d'objets très variés. Par exemple, dans une chaîne de montage, des pièces détachées doivent être reconnues et assemblées. Un robot mobile doit avoir une carte de son environnement pour pouvoir naviguer. Nous proposons donc un *modèle générique* d'objets (GNOME : GeNeric Object ModEl) indépendant de la tâche à accomplir et de l'agent l'exécutant. Appliquer GNOME à un objet pour une tâche et un agent donnés conduit à une *représentation* particulière. Il se peut que celle-ci devienne inadéquate, par exemple si la tâche ou l'agent change. Dans ce cas, elle peut être modifiée, tout en restant dans le cadre de GNOME, par exemple par ajout de nouvelles données ou construction de nouvelles relations. Notamment, toute l'information présente dans l'ancienne représentation peut être réutilisée dans la nouvelle.

GNOME est hiérarchique ce qui permet de séparer les informations stables, qui correspondent aux niveaux « grossiers », de celles qui le sont moins ([7]). On trouve essentiellement deux parties dans GNOME. La première est topologique et permet de représenter ou utiliser des environnements comme dans [3, 5, 4]. La seconde est quantitative et permet de spécifier des dimensions, formes, etc. Contrairement à de nombreux modèles ([7, 2, 1, 8]), GNOME n'a pas de primitive de représentation privilégiée; des primitives très différentes peuvent cohabiter. GNOME peut représenter des relations très variées et, de plus, variables (comme dans [2]).

À titre d'application à GNOME, nous proposons la représentation de mines pour la navigation. Les attributs actuellement représentés sont la géométrie, la rugosité des parois, la roche et enfin l'éclairage. Les principaux concepts et avantages de GNOME sont illustrés par les résultats d'un logiciel de simulation graphique développé pour étudier les problèmes de navigation dans les mines souterraines (d'autres attributs comme la circulation de véhicules pourraient être ajoutés si l'application en vue était, par exemple, la gestion du trafic). Ce logiciel interprète une instance de GNOME construite lors de la conception de la mine ou à partir de mesures collectées lors de déplacements dans celle-ci.

2 Le modèle

Dans GNOME, les objets sont représentés par leurs attributs qui peuvent être la géométrie, la couleur, la densité, la température, etc.

Chaque attribut est représenté dans un espace particulier : un espace physique à trois dimensions pour la géométrie, un espace RGB pour la couleur, etc. Dans ces espaces, on peut construire des amas de points qui vont former des *objets-attributs* (**A**), par exemple des sphères, des cubes ou, à plus haut niveau, des chaises ou des tables, pour la géométrie. Nous avons donc un ensemble possible d'objets-attributs pour chaque attribut.

La représentation de l'objet **O** est composée de sa sa *structure*, de sa *quantification* et d'un graphe exprimant les *relations inter-attributs* de l'objet. Notons que l'objet **O** n'est pas un objet-attribut de l'attribut géométrique mais l'objet que l'on représente avec *tous* ses attributs.

Nous allons étudier chacun des éléments de la représentation dans les sections suivantes. Plus de détails peuvent être trouvés dans [6].

2.1 La structure

Chaque attribut est représenté par un arbre de décomposition hiérarchique des objets-attributs et par un graphe représentant les relations qui existent entre les objets-attributs constituant les nœuds de l'arbre.

Soit **A** un objet-attribut de l'attribut A, faisant donc partie de l'ensemble des objets-attributs définis-

Ce travail a été financé par la chaire CRSNG-Noranda en automatisation minière.

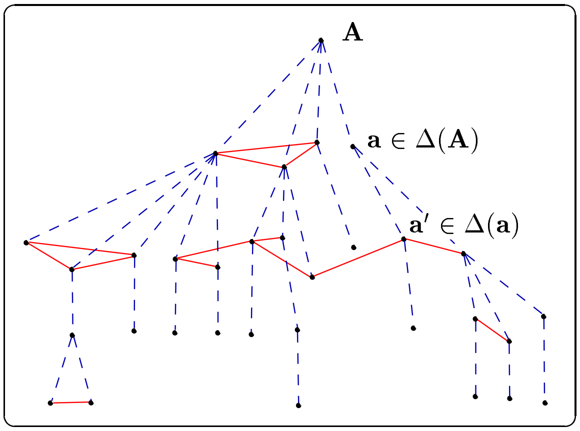

Figure 1 : Un arbre d'objets-attributs et le graphe des relations. Les traits en tirets indiquent la décomposition hiérarchique des objets-attributs tandis que les traits pleins montrent des relations entre ceux-ci.

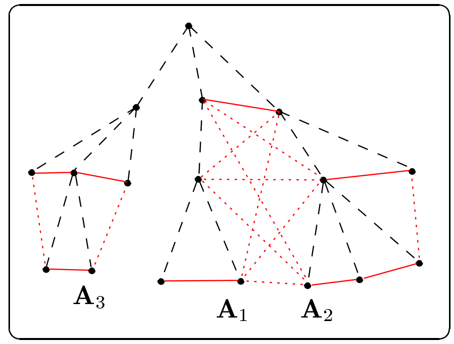

Figure 2 : La propagation (vers le bas) de la connexion. Les traits pleins indiquent les connexions établies tandis que les traits en pointillés montrent les connexions propagées. Les connexions ont été propagées jusqu'aux objets-attributs $\mathbf{A}_1$ et $\mathbf{A}_2$ car un parent de l'un est connecté à un parent de l'autre. Par contre, aucune connexion n'a été propagée entre les objets-attributs $\mathbf{A}_1$ et $\mathbf{A}_3$ car ils n'ont pas de parents connectés.

sables dans l'espace de représentation de l'attribut. On décompose (récursivement) cet objet-attribut en sous-objets-attributs de ce même ensemble. Ces sous-objets-attributs sont les descendants de $\mathbf{A}$. Leur ensemble est $\Delta(\mathbf{A})$ et ils seront notés $\mathbf{a}$.

La récursivité fait apparaître un *arbre de décomposition des objets-attributs* $\Theta(\Omega)$ dont les nœuds sont des objets-attributs et dont les arcs indiquent la décomposition. L'ensemble de tous les objets-attributs de l'arbre est Ω. La figure 1 montre un arbre de décomposition d'objets-attributs. Pour plus de clarté, les étiquettes des arcs ne sont pas montrées.

Il peut exister des relations, par exemple la connexion ou la position relative, entre les objets-attributs de Ω. Toutes les relations sont représentées par un graphe $\Gamma(\Omega)$ dont les sommets sont les objets-attributs de Ω et dont les arcs indiquent les objets-attributs en relation. On étiquette les arcs du graphe pour indiquer quelles relations ils représentent. La figure 1 montre un tel graphe des relations entre objets-attributs.

Il peut, dans certains cas, être intéressant de *propager* une relation établie entre deux objets-attributs à leurs descendants ou à leurs parents.

Explicitons ceci pour la connexion. Si deux objets-attributs sont connectés, alors leurs parents respectifs, s'ils ne sont pas un seul et même objet-attribut, sont aussi connectés. De même, si les deux objets-attributs ont des descendants, alors il y a au moins un descendant de l'un des objets-attributs qui est connecté à au moins un descendant de l'autre objet-attribut. La figure 2 montre un exemple de propagation vers le bas de la connexion.

On peut donc propager les relations, si elles s'y prêtent, vers les descendants ou les parents des objets-attributs en relation. Cela peut être utile dans de nombreux cas, par exemple quand la relation n'a pas été établie ou quand on veut limiter la quantité d'information à stocker et que l'on préfère l'extraire au besoin.

La structure de l'objet $\mathbf{O}$ est composée de l'ensemble des arbres de décomposition des objets-attributs et de l'ensemble des graphes de relations entre les objets-attributs de tous les attributs.

2.2 La quantification

Quantifier les objets-attributs et les relations entre ceux-ci pour les différents attributs permet de spécifier la forme, taille, masse, etc., de l'objet $\mathbf{O}$.

On quantifie un objet-attribut en lui adjoignant une application représentant sa « valeur ».

Dans la hiérarchie d'un attribut donné, on doit pouvoir retrouver une information quantitative similaire entre deux niveaux consécutifs. Cela veut dire que l'information représentée par la quantification d'un objet-attribut doit être contenue dans l'information représentée par les quantifications de ses descendants. Cela ne veut pas dire que l'information doit se retrouver sous la même forme aux deux niveaux, mais que l'on doit pouvoir extraire celle du niveau grossier à partir de celle du niveau fin. Autrement dit, on doit pouvoir exprimer la quantification d'un objet-attribut en fonction de celle de ses descendants.

Les relations entre objets-attributs sont quantifiables en leur adjoignant une application, mais celle-ci ne doit pas être la même pour toutes les instances de la relation. On peut, par exemple, appliquer la relation « est à x mètres de », où x est le quantificateur de la relation, à tous les objets-attributs géométriques avec une quantification différente pour chaque arc. Les arcs ont donc une étiquette supplémentaire (par rapport à celles introduites à la section 2.1) pour distinguer différentes applications pour une relation donnée.

La quantification de l'objet $\mathbf{O}$ est composée de l'ensemble des quantifications de tous les objets-attributs et de l'ensemble des quantifications des relations entre les objets-attributs de tous les attributs de **O**.

2.3 Les relations inter-attributs

Nous avons déjà défini des relations portant sur les objets-attributs d'un attribut donné. Il faut aussi définir des relations inter-attributs. En effet, jusqu'ici, les représentations des différents attributs sont indépendantes les unes des autres alors que les attributs *ne sont pas* indépendants les uns des autres.

Les relations inter-attributs sont représentées par un graphe dont les nœuds sont les objets-attributs, leurs quantifications ainsi que les valeurs prises par celles-ci pour tous les attributs. Le graphe est étiqueté de la même manière que celui des relations entre objets-attributs d'un attribut donné.

Une relation intéressante exprime des correspondances entre des objets-attributs, des applications de quantifications d'objets-attributs ou des valeurs de ces applications pour deux attributs différents. Elle sert à dire, par exemple, qu'un objet pèse x kg tandis qu'un autre pèse y kg ou que, dans une image infrarouge, la couleur rouge correspond à la température t et la couleur bleu à la température t'.

3 La modélisation d'une mine

Nous avons appliqué GNOME à la modélisation d'une mine souterraine pour la tache de navigation de véhicules autonomes (ou semi-autonomes). Les différents attributs représentés, décrits dans les sections suivantes, sont la géométrie, la rugosité des parois, la roche et l'éclairage. Un logiciel a été développé pour générer une mine virtuelle à partir d'une représentation particulière (une instance de GNOME).

3.1 Le modèle de mine

3.1.1 La géométrie

Elle se prête très bien à une décomposition hiérarchique. La mine se décompose en salles, galeries et intersections. On a une intersection quand plusieurs galeries se rencontrent ou quand (au moins) une galerie arrive à une salle. Chaque salle se décompose en sa partie libre et, éventuellement, des parties occupées incluses dans la partie libre. Les galeries se décomposent en tronçons de galeries et raccords. Ce qui caractérise un tronçon de galerie est sa hauteur, sa largeur ainsi qu'un équation décrivant son axe (droit, circulaire, clothoïdal, etc.). Le raccord indique la transformation (translation et rotation) permettant de passer d'un tronçon de galerie à un autre. Les intersections se décomposent en intersections ou en tronçons de galeries et raccords. La mine, les intersections, les salles, les galeries, les raccords, les parties libres et occupées de salles et les tronçons de galeries sont des objets-attributs de l'attribut géométrique.

Les objets-attributs sont liés par un certain nombre de relations. La première est la connexion qui s'applique aux salles, galeries et intersections à un premier niveau, aux parties libres de salles, raccords et tronçons de galeries au niveau suivant. Le premier niveau de la connexion permet de trouver un plan de route permettant d'aller d'un endroit à un autre dans la mine. Le second niveau permet de calculer le chemin (réalisable par le véhicule) suivant ce plan de route.

Pour guider la recherche du plan de route, on utilise un critère, par exemple celui du plus court chemin. On va donc représenter la relation de distance, par le plus court chemin, entre les salles.

Il faut aussi positionner les salles et parties libres de salles par rapport à la mine ainsi que les parties occupées d'une salle par rapport à la partie libre de la salle. Positionner les salles et parties libres de salles par rapport à la mine permet d'exprimer un but (supposé être dans une salle) en terme de position dans la mine. Positionner les parties occupées de salle par rapport à la partie libre les contenant est indispensable pour les éviter.

Une dernière relation, l'attachement, permet d'indiquer quelle extrémité d'un tronçon de galerie ou quel point du contour d'une partie libre de salle est connecté à un raccord.

Décrivons la quantification des objets-attributs. À la mine est associée sa « boite limitante », aux salles leur surface, aux intersections le nombre de galeries qui y sont connectées et à ces dernières leur longueur. à un niveau plus fin, les parties libres ou occupées de salles, sont quantifiées par leur contour (2D), les tronçons de galeries par leur largeur, hauteur et par des paramètres décrivant l'axe du tronçon de galerie. On peut avoir différents types de tronçons de galeries : des tronçons droits, circulaires, clothoïdaux, etc. La quantification des raccords indique la transformation (translation et rotation) qui permet de passer du point d'attache d'un des tronçons de galerie ou parties libre de salle au point d'attache de l'autre ainsi que la « colle » entre les deux tronçons de galerie ou parties libre de salles. La colle désigne le raccordement des parois des deux tronçons de galeries ou parties libres de salles, à savoir à droite, à gauche et/ou en haut et de façon droite, circulaire, angulaire ou ellipsoïdale.

3.1.2 La rugosité des parois et la roche

Ces deux attributs décrivent l'aspect et la nature des parois. La rugosité est représenté par une dimension fractale. Une valeur moyenne va se décomposer récursivement en d'autres valeurs moyennes jusqu'à un niveau suffisamment fin pour attribuer une valeur à chaque tronçons de galerie ou partie libre de salle. Chaque valeur moyenne correspond à un objet-attribut de l'attribut *rugosité*. Pour représenter la roche, des objets-attributs sont créés à partir d'une taxonomie géologique classique.

3.1.3 L'éclairage

Dans une mine, il y a divers types d'éclairage. Il y a d'abord un éclairage fourni par des ampoules aux endroits stratégiques ou dangereux (intersections, tournants, etc.) de la mine. Cet éclairage est représenté par des sources lumineuses ponctuelles. Le type suivant est un éclairage ambiant fourni par un grand nombre de sources lumineuses situées au plafond d'une salle où un travail fréquent est à réaliser, comme dans un atelier de réparation ou une salle de repos du personnel. Cet éclairage est modélisé comme un éclairage uniforme venant du plafond. Enfin, le dernier type est celui fournis par les phares des véhicules et est modélisé par des projecteurs[1]. Une décomposition hiérarchique peut être faite suivant l'intensité des sources.

3.1.4 Les relations inter-attributs

Elles vont mettre en correspondance les tronçons de galeries et parties libres de salles avec des rugosités, roches et éclairages. La position des éclairages provenant des véhicules est variable dans le temps, si les véhicules se déplacent, ce qui implique une correspondance variable aussi.

3.2 La mine virtuelle

Nous avons développé un logiciel sur station SGI à l'aide de la librairie de graphisme 3D *Open Inventor*[MD]. Il interprète une représentation données sous forme d'un fichier ASCII contenant la description des objets-attributs et des relations et crée les objets 3D correspondants. La figure 3 montre une vue d'une galerie droite éclairée par le véhicule et d'une galerie circulaire éclairée par des lampes.

4 Conclusion

Nous avons présenté un modèle générique d'objets indépendant de la tâche à accomplir avec les objets et de l'agent exécutant la tâche. Dans ce modèle, les objets sont représentés hiérarchiquement par leurs attributs.

Le modèle a été appliqué aux mines souterraines et un logiciel, écrit pour étudier les problèmes de navigations dans de tels environnements, génère des mines virtuelles 3D à partir d'instances du modèle.

Remerciements

Nous tenons à remercier Géraldine Navarre pour son implentation du logiciel de génération de mines virtuelles 3D.

[1]Notons que les véhicules ne sont pas (encore) modélisés dans la mine mais le véhicule portant la caméra est tout de même présent.

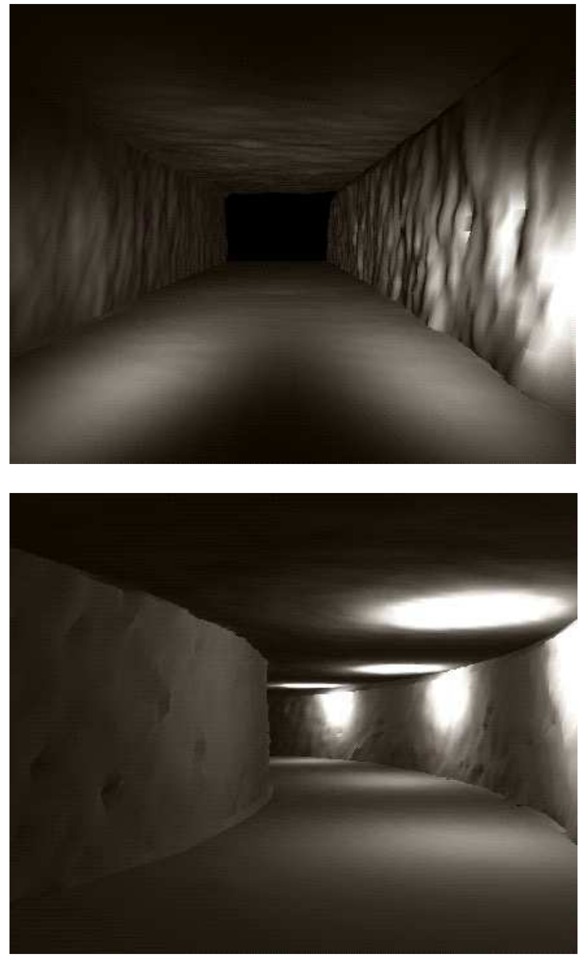

Figure 3 : Deux galeries générées par le logiciel

Références

[1] P. K. Allen. Integrating vision and touch for object recognition tasks. *IJRR*, 7(6):15–33, 1988.

[2] R. A. Brooks. Symbolic reasoning among 3-D models and 2-D images. *AI*, 17(1-3):285–348, 1981.

[3] R. Chatila et J.-P. Laumond. Position referencing and consistent world modeling for mobile robots. Dans *Proc. IEEE ICRA*, pages 138–145, 1985.

[4] G. Dudek, M. Jenkin, E. Milios et D. Wilkes. Robotic exploration as graph construction. *IEEE TRA*, 7(6):859–865, 1991.

[5] B. J. Kuipers et Y. Byun. A qualitative approach to robot exploration and map-learning. Dans *Proceedings of the 1987 Workshop on Spatial Reasoning and Multi-sensor Fusion*, pages 390–404, 1987.

[6] F. Labrosse, J.-Y. Hervé et P. Cohen. GNOME : un modèle générique d'objets. Raport technique GRPR-RT-9608, Groupe de Recherche en Perception et Robotique, École Polytechnique, Montréal, QC, Canada, Feb. 1996.

[7] D. Marr. *Vision*. W. H. Freeman and Company, 1982.

[8] P. Whaite et F. P. Ferrie. From uncertainty to visual exploration. *IEEE TPAMI*, 13(10):1038–1049, 1991.