

# Résolution Contextuelle de Conflits entre Sources d'Informations

Dominique CASSOU-RIBEHART<sup>1</sup>, Isabelle BLOCH<sup>1</sup>, Michel ROUX<sup>1</sup>, Henri MAÎTRE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département TSI, École Nationale Supérieure des Télécommunications  
46 rue Barrault, 75634 Paris Cedex 13  
cassou@enst.fr, bloch@enst.fr, mroux@enst.fr, maitre@enst.fr

**Résumé** – L'objectif de cet article est la présentation d'un cadre de résolution de conflits entre des sources d'informations de nature symbolique et numérique. Les informations sont ici stockées sous forme de *Graphes Conceptuels*. Nous exploitons dans ce travail les défauts de la mise en correspondance de ces graphes pour définir la notion de *conflit*, ou incohérence, entre les sources d'informations. Nous définissons une topologie pour ces conflits et proposons pour chacun d'entre eux un jeu d'hypothèses de résolution. La sélection de la meilleure hypothèse s'effectue ensuite par le biais d'un processus de relaxation markovienne. Ainsi nous pouvons prendre en compte à la fois des relations contextuelles de compatibilité entre les conflits mais aussi des informations "bas-niveau" directement issues des sources d'informations.

**Abstract** – We present in this paper a method to solve conflicts between inconsistent symbolical and numerical datasources. Our knowledge and all the information extracted from the datasources are stored into *Conceptual Graphs*. We exploit in this work the defects of the matching of these graphs to define the notion of *conflict*, or inconsistency, between the datasources. A conflict topology is then defined in order to create a conflicts resolution framework. For each conflict a set of hypotheses is proposed to solve the inconsistency. The selection of the best solving hypothesis is carried out by the means of a markovian field. Thus we can take into account both contextual compatibility relations between conflicts and also "low-level" informations directly extracted from datasources.

## Introduction

Nous nous situons dans le cadre de l'interprétation automatique de paysages urbains denses. À ce jour, ce problème reste ouvert. En effet, la nature particulièrement complexe des scènes urbaines fait que les détecteurs classiques sont perdus face à la diversité des données disponibles [1, 5]. Notre but est d'aider la recherche au "bas niveau" par un apport de connaissances extérieures. Nous proposons une solution originale fondée sur une représentation judicieuse des informations sous forme de *Graphes Conceptuels* [10] et sur une coopération entre une source d'information symbolique (notée  $S_s$ ), telle qu'une carte topographique ou une base de données géographiques, et une source d'information numérique (notée  $S_n$ ), une photographie aérienne ou satellitaire, représentant la scène à analyser.

Nous nous plaçons dans une situation où un graphe conceptuel a été extrait de chaque source d'informations (resp.  $G_s$  et  $G_n$ ). Ces deux graphes ont ensuite été mis en correspondance puis fusionnés afin d'obtenir un nouveau graphe conceptuel  $G_r$ . Ce dernier peut être considéré comme la réunion de toutes les entités visibles sur la scène selon les sources d'informations  $S_s$  et  $S_n$ . Ainsi si une entité est présente à la fois dans  $G_s$  et  $G_n$ , elle n'est représentée qu'une seule fois dans  $G_r$ . Notre objectif est d'analyser et de modifier  $G_r$  afin d'obtenir une représentation de la scène conforme à la réalité.  $G_r$  est le graphe conceptuel permettant l'interprétation de la scène réelle et sera appelé par la suite *Graphe de la réalité*.

Différentes configurations sont à l'origine d'incohérences dans la structure de  $G_r$ ; cela signifie que les sources d'informations sont en désaccord sur l'existence d'une ou de plusieurs entités. De telles situations seront référencées sous le terme de *conflits*.

## 1 Contexte et Conflits

Nous présentons ici les informations et les éléments à notre disposition après la phase de mise en correspondance des graphes.

Le but de cette étude est de déterminer l'*existence* d'entités dans une scène dans le but de procéder à son interprétation. Nous avons donc doté toutes les entités du *Graphe de la réalité* d'un attribut  $\tau_e \in [0, 1]$  représentant la confiance que nous pouvons avoir en son existence réelle. Une première estimation de ce paramètre est effectuée à l'issue de l'étape de mise en correspondance. Le principe est le suivant : si une entité a été détectée dans les deux sources d'informations  $S_s$  et  $S_n$  alors son *existence* est presque sûre ( $\tau_e \simeq 1$ ), par contre si elle n'est présente que dans une seule des deux sources d'informations, alors son *existence* est fonction de la nature cette source. Nous avons donc associé à chaque source d'information une valeur d'existence par défaut ( $\tau_e^s$  pour la source symbolique et  $\tau_e^n$  pour la source numérique, avec  $\tau_e^s > \tau_e^n$  car nous faisons plus confiance à  $S_s$  qu'à  $S_n$  en ce qui concerne l'existence des entités). Nous noterons  $\mathcal{S}(e)$  l'ensemble des sources d'informations dans lesquelles une entité  $e$  est pré-

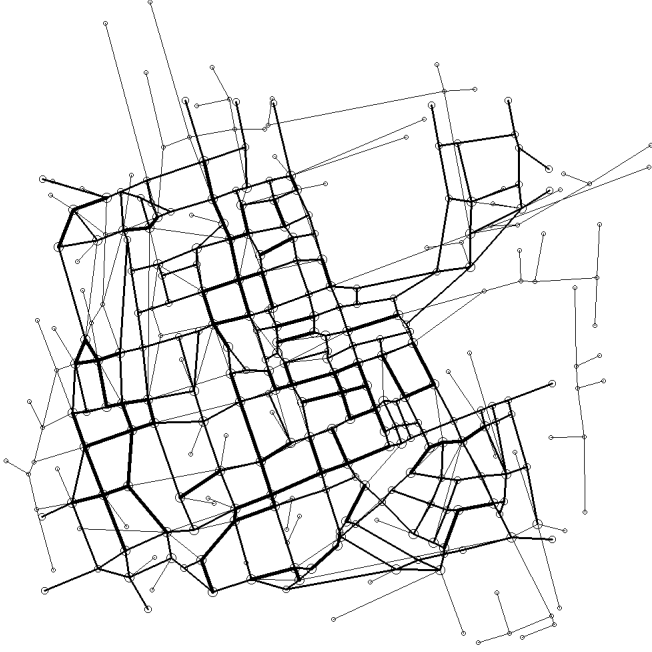


FIG. 1: Existence des entités et conflits après l'étape de mise en correspondance.

sente, alors l'*existence*  $\tau_e(e)$  de cette entité après la mise en correspondance se calcule par :

$$\tau_e(e) = \begin{cases} \tau_e^n, & \text{si } \mathcal{S}(e) = \{S_n\} \\ \tau_e^s, & \text{si } \mathcal{S}(e) = \{S_s\} \\ \tau_e^n + \tau_e^s - \tau_e^n \times \tau_e^s, & \text{si } \mathcal{S}(e) = \{S_s, S_n\} \end{cases} \quad (1)$$

D'après (1), si une entité est présente dans les deux sources d'informations alors son *existence* est effectivement supérieure à celle d'une entité présente dans une source unique. Le résultat de ce calcul est présenté sur la figure 1, l'épaisseur d'une entité étant proportionnelle à son *existence*.

De même, la non-mise en correspondance des graphes est aussi porteuse d'information sous la forme des *conflits*. Nous pouvons ainsi classer ceux-ci en quatre types élémentaires<sup>1</sup> se traduisant par les incohérences structurelles de  $G_r$  suivantes :

1. *Sous-attribution* : une entité de  $G_r$  n'est pas représentée dans une source d'informations.
2. *Sur-attribution* : une entité de  $G_r$  est représentée plusieurs fois dans la même source d'informations.
3. *Collision* : deux entités de  $G_r$  contrarient la structure interne du Graphe Conceptuel (par ex. deux routes se croisent sans que l'on trouve de carrefour à l'intersection).
4. *Duplication* : deux entités de  $G_r$  ont la même fonction (par exemple deux routes proches et au tracé parallèle).

Notre but est de résoudre ces conflits en tenant compte des informations provenant à la fois du voisinage des entités conflictuelles mais aussi des sources d'informations. Par le biais d'une phase de retour au bas niveau nous

<sup>1</sup>Les conflits plus complexes sont résolus par décomposition de ces derniers en conflits élémentaires.

pouvons associer à chaque entité une qualité de détection pouvant être vue comme une *confiance* en l'existence de cette entité selon les ou la source dont elle est issue. De plus, les informations de voisinage, de nature symbolique, permettent de statuer sur la *possibilité* d'existence d'une entité en fonction de son contexte. Un jeu d'hypothèses susceptibles de lever l'incohérence structurelle est généré pour chaque conflit. La résolution du conflit se fait alors par la sélection de l'hypothèse la plus vraisemblable compte tenu des connaissances précédemment acquises.

## 2 Concepts et Notation

Nous travaillons sur les concepts suivants :

- Conflits, nous noterons  $\mathcal{C} = \{c_i\}$ , l'ensemble des conflits,
- Entités, nous noterons  $\mathcal{E}^c = \{e_i^c\}$ , l'ensemble des entités du conflit  $c$ ,
- Hypothèses, nous noterons  $\mathcal{H}^c = \{h_i^c\}$ , l'ensemble des hypothèses de résolution du conflit  $c$ .

Nous définissons une hypothèse comme une proposition logique écrite à partir des trois prédicats suivants :

- Prédicat d'existence  $P_{\exists}(e)$  : l'entité  $e$  existe,
- Prédicat de non existence  $P_{\bar{\exists}}(e) = \neg P_{\exists}(e)$  : l'entité  $e$  n'existe pas,
- Prédicat d'exclusion  $P_{\leftrightarrow}(e, e^*)$  : une seule des deux entités  $e$  ou  $e^*$  existe. Ce prédicat peut s'écrire sous une forme développée comme une expression logique :  $P_{\leftrightarrow}(e, e^*) \equiv (P_{\exists}(e) \wedge P_{\bar{\exists}}(e^*)) \vee (P_{\bar{\exists}}(e) \wedge P_{\exists}(e^*))$ .

En fonction de la nature et du voisinage direct des entités mises en jeu, nous définissons pour chaque prédicat  $P$  un jeu de conséquences sous la forme d'une autre proposition logique  $Q_p$  (par ex. l'existence d'un carrefour implique l'existence d'au moins trois routes arrivant à ce dernier). Si  $\mathcal{P}_h$  est l'ensemble des prédicats composant une hypothèse  $h$  alors cette dernière s'écrit comme la conjonction suivante :

$$h = \bigwedge_{P \in \mathcal{P}_h} (P \wedge Q_p). \quad (2)$$

## 3 Voisinage / Compatibilité

Une entité peut participer à plusieurs conflits. Cela nous amène à définir une relation de connexité entre conflits : deux conflits  $c$  et  $c^*$  sont connexes si et seulement si il existe une entité  $e \in \mathcal{E}^c$  et une entité  $e^* \in \mathcal{E}^{c^*}$  telles que  $e$  et  $e^*$  soient connexes<sup>23</sup>. Si  $c$  et  $c^*$  sont connexes alors d'après (2), la résolution de  $c$  a des conséquences sur au moins une entité de  $\mathcal{E}^{c^*}$  et inversement. Notons  $h_0^c \in \mathcal{H}^c$  l'hypothèse choisie pour résoudre  $c$ , alors la résolution simultanée de  $c$  et  $c^*$  est acceptable si et seulement si  $h_0^c$  et  $h_0^{c^*}$  ne sont pas contradictoires, c'est à dire que  $h_0^c$  ne pose pas l'existence d'une entité alors que  $h_0^{c^*}$  affirme le

<sup>2</sup>Deux entités sont connexes si elles sont liées par un arc dans le Graphe Conceptuel

<sup>3</sup>Une entité est connexe avec elle-même.

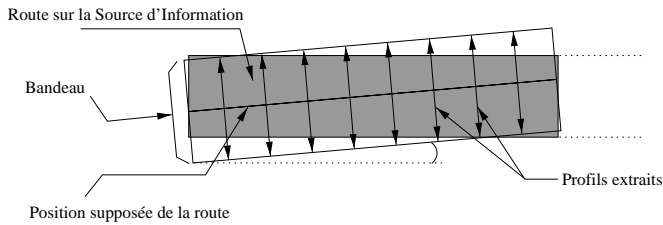


FIG. 2: Bandeau de recherche & extraction des profils radiométriques

contraire. Cela peut être vérifié en déterminant la *satisfaisabilité* de l'expression logique  $h_0^c \wedge h_0^{c*}$ . Si cette expression est satisfaisable alors les deux hypothèses seront dites *compatibles*.

## 4 Mise-à-jour des connaissances

Cette étape intermédiaire a pour objectif de réévaluer l'existence des entités (calculée dans (1)) en vue du calcul d'une confiance propre à chaque hypothèse (cf. partie 5). Nous procédons à cette mise-à-jour par un mécanisme de focalisation d'attention déjà utilisé dans les approches *top-down* de systèmes à base de connaissances [9, 3]; la localisation approximative de l'entité à vérifier permet de définir une zone de recherche dans laquelle un détecteur spécialisé est ensuite mis en œuvre.

Dans notre cas, nous nous sommes restreints à la vérification des entités représentant des tronçons de routes. Notre algorithme, inspiré de [8], est basé sur la recherche d'un profil radiométrique optimal pour la route considérée. Nous extrayons tous les profils d'un bandeau rectangulaire englobant le tracé supposé de la route à vérifier (cf. figure 2). Nous supposons que dans un cas idéal ces profils sont identiques à des fonctions portes de largeur  $W$  et de hauteur  $H$  constantes. Nous recherchons alors le couple de paramètres  $(W_0, H_0)$  minimisant une distance entre les profils réels et le profil porte défini par  $W_0$  et  $H_0$ . La transformation de cette distance en une erreur normalisée (en la divisant par exemple par la longueur du tronçon) permet de comparer les qualités de détection des différentes routes. La procédure de transformation de l'erreur (comprise en 0 et  $+\infty$ ) en une *qualité de détection* (comprise en 0 et 1) est la suivante :

- nous définissons une fonction paramétrable  $\varphi : R^+ \rightarrow [0, 1]$ ,
- la phase de mise en correspondance nous a fourni un jeu d'entités "sures". Nous paramétrons alors  $\varphi$  de telle sorte que la qualité de détection associée à ces entités soit supérieure à 1/2,
- la fonction  $\varphi$  ainsi paramétrée nous permet maintenant de calculer la qualité de détection pour toutes les autres entités. Nous noterons  $\varphi(e)$ , la qualité de détection de l'entité  $e$ .

## 5 Valuation des hypothèses

Nous désirons évaluer hors contexte quelle est l'hypothèse de résolution d'un conflit la plus vraisemblable. Grâce

à l'opérateur de bas-niveau présenté dans la partie 4, nous avons défini une *qualité de détection*  $\varphi(e)$  pour toute entité  $e$  de la scène. Nous pouvons combiner cette information avec  $\tau_e(e)$ . Nous définissons alors l'indicateur final d'*existence*  $\tau(e)$  tel que :

$$\tau(e) = \frac{2 \cdot \tau_e(e) \cdot \varphi(e)}{\tau_e(e) + \varphi(e)}. \quad (3)$$

Cette valuation est un compromis entre le résultat de la mise en correspondance des graphes  $G_n$  et  $G_s$  et la qualité de la détection de  $e$  sur nos sources d'informations. Nous avons choisi d'accorder une confiance  $\rho_P(P)$  à tout prédicat  $P$  de telle sorte qu'une forte valuation soit accordée à un prédicat donnant l'existence d'une entité ayant aussi une forte *existence* et inversement une faible valuation à un prédicat donnant l'existence d'une entité de faible *existence*. Ainsi, nous avons  $\rho_P(P_{\exists}(e)) = \tau(e)$  et  $\rho_P(P_{\bar{\exists}}(e)) = 1 - \tau(e)$ . Pour le prédicat d'exclusivité nous avons traduit en logique floue la forme développée de manière à obtenir :

$$\rho_P(P_{\leftrightarrow}(e, e^*)) = \max_{x \in \{e, e^*\}} [\min_{y \in \{e, e^*\}, y \neq x} [\tau(x), 1 - \tau(y)]]. \quad (4)$$

De même nous avons calculé une confiance a-priori en une hypothèse  $h$ . Nous avons donc considéré que la confiance portée en une hypothèse était un compromis entre les confiances de chacun des prédicats la composant, ainsi, nous donnons :

$$\rho_h(h) = \frac{\sum_{P \in \mathcal{P}_h} \rho_P(P)}{\text{card}(\mathcal{P}_h)} \quad (5)$$

## 6 Résolution

Nous avons ainsi défini des sites (les conflits), des étiquettes associées à chaque site (les hypothèses), des relations de voisinage entre sites et une notion de compatibilité entre étiquettes. Notre procédé de résolution des conflits s'est donc porté vers la relaxation d'étiquettes. Nous nous sommes placés dans un cadre Markovien ([6],[4]) qui permettait de prendre en compte à la fois l'aspect contextuel des informations, par le biais de la compatibilité entre étiquettes, mais aussi l'aspect local par l'entremise de la valuation a-priori des hypothèses, terme qui prend en compte la qualité de la détection des entités dans les sources d'informations. Le champs markovien défini est articulé autour des cliques et des énergies suivantes :

- Ordre 1 : Cliques composées d'un conflit  $c$ . Terme d'attache aux données :  $E_1 \propto -\rho_h(h_0^c)$ ,
- Ordre maximal  $n$  : Ces cliques sont prises en compte de manière à ce que tous les conflits auxquels participe une entité donnée soient simultanément résolus en accord avec la condition de satisfaisabilité énoncée précédemment. Terme d'énergie contextuelle :  $E_n \propto -n$  si les étiquettes des sites de la clique sont compatibles,  $E_n = 0$  sinon.

La convergence de ce champ markovien peut être problématique lorsque le jeu des hypothèses proposées n'est pas suffisamment riche pour offrir une solution qui résolve tous les conflits. Il peut, en effet, exister des situations où les

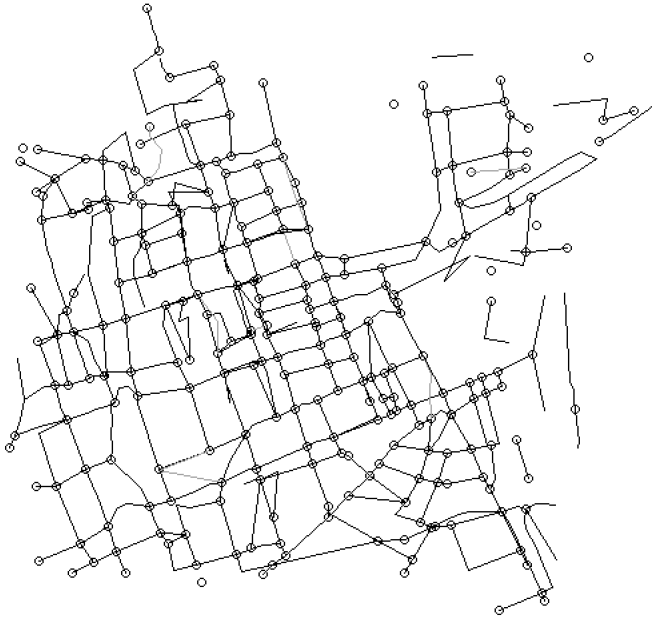


FIG. 3: Résultats (non définitifs) de la résolution des conflits

solutions de deux (ou plus de deux) conflits connexes sont mutuellement exclusives. Dans ce cas, il existe plusieurs minima énergétiques proches et le champ oscille d'un état à l'autre. Pour résoudre ce problème de convergence, nous pouvons utiliser un algorithme tel que le MPM [7]. Une autre solution consiste à détecter ces oscillations puis à forcer la convergence par une ICM [2]. Dans un cas comme dans l'autre, il restera alors des conflits non résolus.

## 7 Résultats

À ce stade, la résolution des conflits de type *sur* et *sous-attribution* ainsi que celle des conflits de *collision* est entièrement mise en œuvre et offre des résultats prometteurs. La figure 3 montre le *graphe de la réalité* après traitements. Sur cette scène, nous avons pu dénombrer 27 conflits de sur-attribution, 187 conflits de sous-attribution et 160 conflits de collision. Après résolution, il ne reste plus que 8 entités en conflit. Des conflits de duplication restent visibles sur cette scène. Il faut noter que la qualité des résultats est directement liée à la qualité des informations disponibles dans les sources d'information. Dans notre cas de figure, la zone centrale du *graphe de la réalité* est en effet de bien meilleure qualité qu'en périphérie. La principale raison de cette différence est que les deux graphes issus des sources d'informations ne correspondent pas exactement aux mêmes zones et ne se recouvrent spatialement qu'au centre de l'image.

## Conclusion

La méthode présentée dans cet article permet d'allier à la fois des informations de type numérique et symbolique afin de prendre une décision lorsque plusieurs sources sont

en désaccord. Cette méthode se caractérise par une forte souplesse. En effet, nous n'avons présenté ici que des notions facilement adaptables à des types d'environnements variés. La seule contrainte est de pouvoir décomposer le problème sous la forme d'entités, de conflits et d'hypothèses de résolution exprimables grâce à une combinaison de prédicats élémentaires. De même, un opérateur de vérification des hypothèses sur les sources d'informations est nécessaire. La qualité des solutions trouvées par notre heuristique dépend de la richesse des hypothèses proposées pour résoudre chaque conflit. En effet, si les solutions proposées pour chaque conflit sont trop restreintes, il est possible qu'il n'existe pas de solution globalement satisfiable; dans ce cas il reste des conflits non résolus. Si il n'existe qu'une unique solution globale satisfiable, alors cette solution est trouvée. Enfin, et c'est le cas le plus courant, si plusieurs solutions sont acceptables, ce sont les informations issues du bas niveau (i.e. les sources d'informations) qui permettent de prendre la décision la plus vraisemblable en fonction des données à notre disposition.

## Références

- [1] Sylvain Airault and Olivier Jamet. Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes. In *RFIA*, volume 1, pages 519–531, 1994.
- [2] J. Besag. On the statistical analysis of dirty pictures. *Journal of the Royal Statistical Society*, 48(3) :259–302, 1986.
- [3] Philippe Garnesson, Gérard Giraudon, and Philippe Montesinos. Messie : A multi expert system in computer vision application for aerial imagery interpretation. In *RFIA*, volume 2, pages 817–831, 1989.
- [4] Stuart Geman and Donald Geman. Stochastic relaxation, gibbs distributions, and the bayesian restoration of images. *PAMI*, 6(6) :721–741, November 1984.
- [5] Philippe Guérin. *Apport des cartes topographiques pour l'analyse de scènes en imagerie aérienne : application à la détection du réseau routier*. PhD thesis, Université Paris 7 - Denis Diderot, October 1996.
- [6] Stan Z. Li, H. Wang, and Maria Petrou. Relaxation labeling of markov random fields. In *ICPR*, volume 94, pages 488–492, 1994.
- [7] J. Marroquin, S. Mitter, and T. Poggio. Probabilistic solution of ill-posed problems in computational vision. *Journal of the American Statistical Association*, 82 :76–89, 1987.
- [8] David McKeown and Jerry Denlinger. Cooperative methods for road tracking in aerial imagery. In *CVPR*, pages 662–672, 1988.
- [9] David M. McKeown and Jerry L. Delinger. Map-guided feature extraction from aerial imagery. In IEEE, editor, *Workshop on Computer Vision Representation and Control*, pages 205–213, 1984.
- [10] John F. Sowa. *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Addison-Wesley, 1984.