Cartographie semi-automatisée et multisources de la couverture du sol dans le Canton de Genève

Principes et méthodes

A. Harayama, J.-M. Jaquet

Pour répondre à la fois aux exigences fédérales et aux besoins du Système d'Information du Territoire, la DCMO genevoise a entrepris une nouvelle cartographie de la couverture du sol du Canton. Celle-ci est représentée par une légende hiérarchique à 38 classes. La méthodologie choisie comprend, d'une part, la récolte d'informations sur le domaine routier par vidéo embarquée et, d'autre part, l'exploitation de l'imagerie aérienne à haute résolution. Cette dernière suit une approche orienté «objet», selon laquelle l'information sémantique nécessaire pour l'interprétation d'une image n'est pas représentée dans des pixels isolés, mais plutôt dans des objets possédant une signification particulière, ainsi que dans leurs relations mutuelles. Le logiciel utilisé, eCognition, agit donc comme la perception humaine qui interprète une image selon différents critères tels que la couleur, la forme, la taille, la texture et le contexte. Pratiquement, la procédure passe par une première phase de segmentation des images en objets vectoriels, suivie de l'étiquettage thématique de ceux-ci. Le modèle numérique de hauteur permet la discrimination des objets en fonction de leur hauteur (prairie vs. arbres par exemple). En fin de procédure, les thèmes ainsi obtenus sont fusionnés avec ceux tirés des couches vectorielles pré-existantes (domaine routier, bâtiments).

Um sowohl die Forderungen des Bundes als auch die Bedürfnisse des Geografischen Informationssystems zu befriedigen, hat die Direktion der Amtlichen Vermessung des Kantons Genf (DCMO) eine neue Kartografierung der Bodenbedeckung des Kantons durchgeführt. Diese wird durch eine hierarchische Legende mit 38 Klassen gebildet. Die gewählte Methode beinhaltet einerseits die Erfassung von Informationen im Strassenbereich mittels mobilen Videoanlagen und andererseits die Ausnutzung von Luftbildern mit hoher Auflösung. Letztere verfolgt einen Objekt-orientierten Ansatz, für den die notwendigen semantischen Informationen für die Interpretation eines Bildes nicht durch isolierte Pixel dargestellt werden, sondern als Objekte, die eine bestimmte Bedeutung besitzen und gegenseitige Beziehungen aufweisen. Die verwendete Software, eCognition, verhält sich also wie die menschliche Wahrnehmung, die ein Bild aufgrund verschiedener Kriterien wie der Farbe, der Form, der Grösse, der Textur und deren Zusammenhang interpretiert. In der Praxis verläuft das Verfahren über eine erste Phase der Gliederung der Bilder in vektorielle Objekte, gefolgt von einer thematischen Etikettierung. Das hochauflösende nummerische Modell erlaubt die Unterscheidung von Objekten aufgrund ihrer Höhe (z.B. Gras vs. Bäume). Am Ende des Prozesses werden die so gewonnenen Themen mit jenen zusammengefasst, die aus den vektoriellen, schon vorhandenen Schichten (Strassenbereich, Gebäude) gewonnen wurden.

Per soddisfare le esigenze federali e il fabbisogno del Sistema d'informazione sul territorio, la DCMU ginevrina ha ripreso una nuova cartografia della copertura del suolo del Cantone. Quest'ultima è rappresentata da una leggenda gerarchica a 38 classi. La metodologia selezionata prevede, da una parte, la raccolta delle informazioni sul campo stradale tramite video, e dall'altra, l'uso delle immagini aeree ad alta risoluzione.

Introduction

A l'instar d'autres cantons, le renouvellement de la cartographie de la couverture du sol n'a pas encore démarré de manière formelle à Genève, principalement pour des raisons financières. En premier lieu, les méthodes de levers de terrain au sol sont très coûteuses, et les frais en incombent largement au Canton. Ensuite, jusqu'à récemment, l'utilité pratique d'une carte de couverture du sol n'était pas perçue comme évidente par les autorités et l'administration cantonale.

Cette situation a changé avec la complexification croissante de l'aménagement du territoire, considérant en particulier la protection de l'environnement et la gestion des risques naturels et technologiques [11].

Par ailleurs, les exigences de l'OMO en matière de couverture du sol ont été quelque peu tempérées et, surtout, réorientées et «justifiées» par l'OFT, comme en témoigne la nouvelle stratégie de la mensuration officielle pour les années 2004 à 2007 [2, 3, 5]. La MO s'inscrit désormais dans le cadre plus large de l'Infrastructure nationale de données géographiques (NGDI). Dans ce concept, la couverture du sol est l'une des priorités, du fait de son importance essentielle pour les systèmes d'information du territoire (SIT).

Un autre développement significatif est la place toujours mieux acceptée des données sous forme d'images ou raster au sein des SIT. Leur résolution désormais sub-métrique et leur richesse informationnelle en font un complément intéressant aux couches vectorielles. En parallèle, les méthodes et logiciels d'extraction de l'information thématique des images ont aussi beaucoup progressé. Ils ont déjà conduit à la production des cartes de couverture du sol «académiques», telles que celles de l'UTED-S [8, 10, 4].

Les conditions pour l'établissement d'une couche de couverture du sol respectant les directives de la stratégie 2004–2007

Quest'ultima segue un approccio orientato «oggetto», secondo cui l'informazione semantica necessaria per l'interpretazione di un'immagine non è rappresentata in pixel isolati, ma piuttosto in oggetti che possiedono un significato particolare, come nelle loro relazioni reciproche. Il software utilizzato eCognition agisce come la percezione umana che interpreta un'immagine secondo criteri diversi come il colore, la forma, la dimensione, la struttura e il contesto. In pratica, il processo passa da una prima fase di segmentazione delle immagini in oggetti vettoriali, seguita dall'etichettatura tematica di questi ultimi. Il modello numerico di altezza permette la differenziazione degli oggetti in funzione dell'altezza (per esempio, prateria rispetto ad alberi). Alla fine del processo, i temi così ottenuti sono uniti a quelli ottenuti dagli strati vettoriali preesistenti (campo stradale, edifici).

de la MO [5] sont donc actuellement bien meilleures. Il reste à déterminer si l'approche jusqu'ici académique peut passer à un stade opérationnel. C'est ce qui fait l'objet de l'étude-pilote lancée par la DCMO sur le territoire de la commune suburbaine de Vernier [11]. Nous en présentons ici les principes et la méthodologie.

Imagerie aérienne

Le Canton de Genève bénéficie d'une couverture complète d'orthophotos, acquises sur film couleur en 1996 et 2001. Les deux séries ont été scannérisées à une résolution, respectivement, de 75 cm et 25 cm par pixel, avec un codage en 24 bits. Le rendu des couleurs est moyen, et il n'y a pas de canal proche infra-rouge.
Un second type d'imagerie est représenté par les modèle numériques de surface (MNS) et d'altitude (MNA), levés par LIDAR en 2000. La soustraction de MNS par MNA donne le modèle numérique de hauteur (MNH), qui représente une source d'information importante pour discriminer les objets de la couverture du sol selon leur hauteur [9].

Concept et méthodologie

Nous désirons élaborer, tester à l'échelle communale, puis appliquer à l'ensemble du Canton une méthodologie pour cartographier la couverture du sol répondant aux critères suivants:

- Utilisation de toutes les sources d'information disponibles: orthophotos, MNH et couches vectorielles («multi-sources»)
- Produits répondant aux exigences fédérales et aux besoins du SITG, selon une légende à 38 classes
- Coût raisonnable («semi-automatisé»)
- Traçabilité et reproductibilité maximale de la procédure cartographique
- Mise à jour facile des résultats.

Dans ce but, nous avons choisi une approche de segmentation, puis d'étiquettage thématique par classification des orthophotos et du MNH. Ces opérations

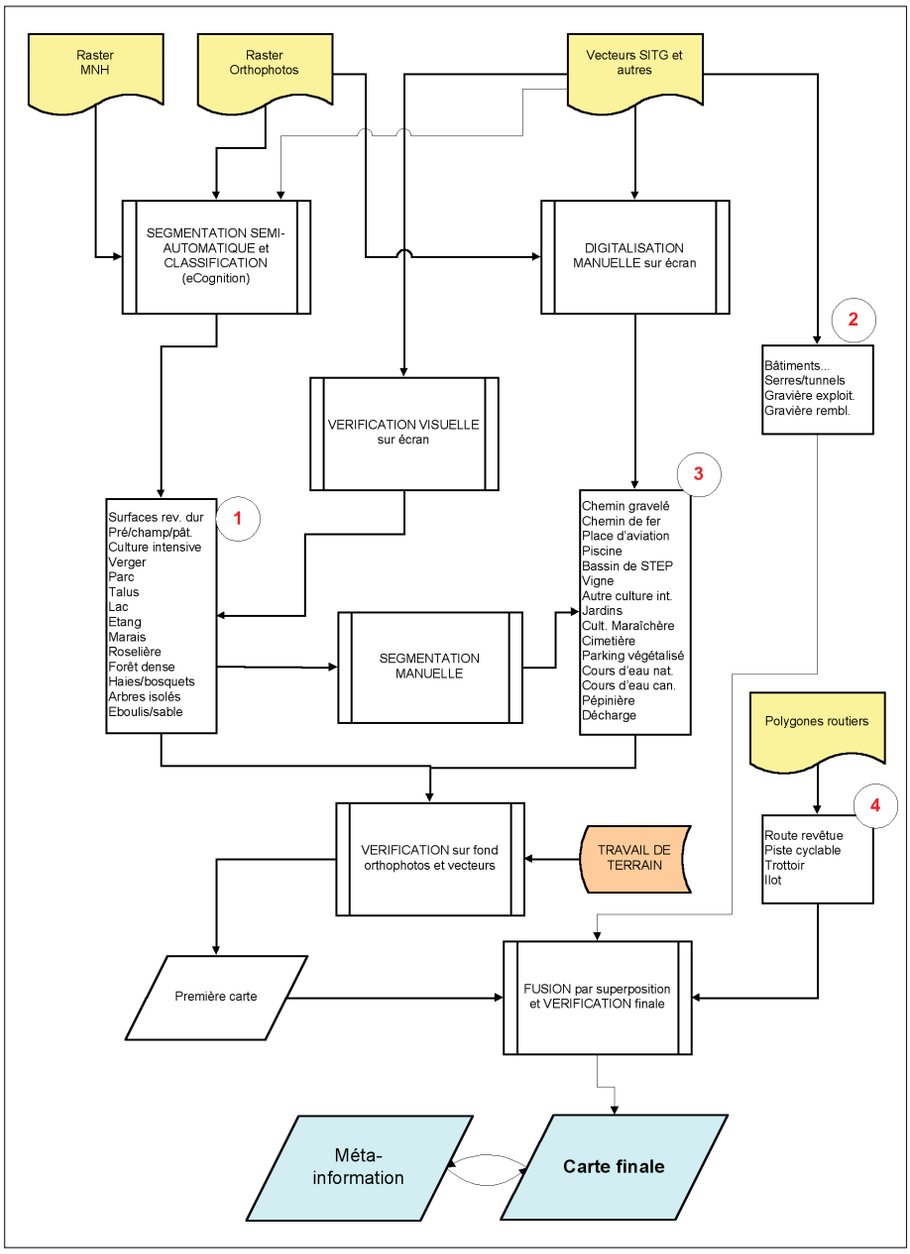

Fig. 1: Organigramme des opérations de cartographie. Jaune: données. Rose: opérations. Vert: objets ou thèmes. Blanc: résultat intermédiaire. Bleu: carte finale.

a) Image originale b) Image segmentée c) Image classifiée

Fig. 2: Segmentation d'une orthophoto couleur, suivie d'une classification par logique floue, à l'aide du logiciel eCognition. Bleu: eau; vert foncé: végétation arborée; vert clair: prairies; brun: grandes cultures; gris: routes et parkings; rouge: bâtiments. Région de Peney-Dessous, canton de Genève. Dimension horizontale de l'image: 430 m.

produisent des objets vectoriels qui sont ensuite, le cas échéant, corrigés ou regroupés par l'analyste. Pour ce faire, nous utilisons le logiciel eCognition [6], dont les performances dans l'analyse des images à haute résolution sont bien connues [1, 7].

L'organigramme de la méthodologie, telle qu'elle sera testée lors de l'étude-pilote, se trouve sur la figure 1. En bref, les opérations se déroulent ainsi:

- Les orthophotos sont segmentées et classifiées, donnant une première série d'objets vectoriels bruts «naturels» (boîte verte type 1, fig. 1; fig. 2b).
- Ces objets sont vérifiés du point de vue de leur conformité avec les couches vectorielles.
- Les couches vectorielles sont directement utilisées pour les objets de type 2, tels que bâtiments.
- Les objets de type 3 sont cartographiés par segmentation manuelle de catégories provenant de 1 (surfaces à revêtement dur, surfaces d'eau, etc) ou par numérisation manuelle à l'écran pour les objets relativement rares et de petite taille (jardins, cimetières, etc).
- Les objets de type 1 à 3 sont ensuite regroupés dans une même couche, et vérifiés ou corrigés sur la base des orthophotos et d'un travail de terrain.
- On superpose finalement à cette première carte les objets de type 4, dont le lever répond strictement aux normes MO93 (domaine routier). Une dernière vérification produit la carte finale, assortie de sa méta-information.

Nous envisageons également de tester la possibilité d'inclure d'emblée les objets de type 4 pour «guider» la segmentation.

Mise en œuvre dans le logiciel eCognition

eCognition est un logiciel qui a été créé par la société allemande Definiens (www.definiens-imaging.com), basée à Munich. Il utilise une nouvelle approche d'analyse orientée objet.

La technologie d'eCognition est basée sur le concept selon lequel l'information sémantique nécessaire pour l'interprétation d'une image n'est pas représentée dans des pixels isolés, mais plutôt dans des objets possédant une signification particulière, ainsi que dans leurs relations mutuelles [6]. eCognition agit donc comme la perception humaine qui interprète une image selon différents critères tels que la couleur, la forme, la taille, la texture et le contexte et non selon une information isolée telle qu'un pixel.

Cette méthode permet d'améliorer considérablement le résultat de la classification puisqu'en plus des valeurs spectrales, les informations contextuelles y sont intégrées. De plus, le terme «multi-sources» se justifie du fait que les données raster aussi bien que les vecteurs peuvent être utilisés, et celui de «multi-échelle» parce que la classification peut être effectuée à différents niveaux d'échelles.

Segmentation

Cette phase est très importante parce que les objets dérivés de la segmentation vont directement influencer la classification. Il est donc primordial d'y consacrer les efforts nécessaires jusqu'à l'obtention d'un résultat satisfaisant.

eCognition segmente une image en parcelles (= objets) par regroupement, à différentes échelles, des pixels ayant des couleurs et des formes homogènes. La technique de segmentation utilise une approche ascendante: elle fusionne des petits objets de l'image pour en obtenir un plus grand, l'objet originel étant représenté par un pixel. Le processus d'union s'arrête lorsqu'il a atteint un seuil défini selon une échelle spécifiée par l'utilisateur, ou lorsque la forme et la couleur des objets avoisinants ne sont plus similaires. Il est possible d'attribuer différents poids aux critères de couleur et de forme, variant par là considérablement les possibilités de la segmentation. Par exemple, si l'on attribue un poids de 1 à la couleur et 0 à la forme, eCognition va être très sensible aux valeurs spectrales. Ainsi, un toit ayant une petite variation de couleur va-t-il être segmenté en plusieurs objets. Si l'on donne un poids de 0.9 à la forme,

eCognition ne va plus différencier cette petite variation en couleur, et ne formera alors qu'un seul objet. Cependant, il ne pourra plus différencier un toit gris d'un chemin de couleur similaire. Il faut donc trouver un bon équilibre entre la couleur et la forme suivant l'image à traiter.
La segmentation peut être effectuée à différentes échelles. Par exemple, on peut aussi bien classifier la forêt dans un niveau avec des objets grossiers (petite échelle) que des arbres individuels dans un niveau avec de petits objets (grande échelle). Une structure hiérarchique est ainsi créée: les petits objets sont des sous-objets d'un objet plus grand.

Classification

Deux approches de classification sont possibles dans eCognition: la méthode classique supervisée qui classifie la scène à partir de zones d'apprentissage, et la méthode par logique floue utilisant les techniques du «plus proche voisin» ainsi que des fonctions statistiques d'appartenance. Comme exemple de cette dernière, le thème «arbre» peut être défini de la manière suivante: un objet recevra une valeur d'appartenance de 1 pour la classe «arbre» si le MNH est supérieur à 3 mètres et si l'indice de verdeur est supérieur à 0.37.

Exemple

La figure 2 montre le résultat d'une segmentation-classification expérimentale réalisée à partir d'une orthophoto et du MNH, dans la région de Peney-Dessous (Genève). La segmentation optimale a été réalisée selon des critères suivants: niveau 2; échelle 100; couleur 0,8 et forme 0,2. Six thèmes de couverture du sol ont ainsi pu être cartographiés rapidement et aisément.

Conclusion

Cette approche cartographique semi-automatisée de la couverture du sol tente de tirer parti de toutes les sources d'information disponibles, dont l'imagerie aérienne est un élément important. Elle s'appuie sur des développements scientifiques récents en analyse d'image et algorithmique, tout en gardant l'analyste-thématicien aux commandes du processus. Elle est donc prometteuse, mais devra encore, au cours de l'étude-pilote, être validée en termes opérationnels (taille des images à traiter, importance relative des procédures automatisées et des corrections manuelles, reproductibilité).

Références:

[1] Bauer T., Steinnocher K., 2001. Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique. In GeoBIT/GIS 6: 12-17: 24–27.

[2] Conseil Fédéral suisse, 2003. Ordonnance sur la mensuration officielle (OMO). Document 211.432.2, Berne, 18 p.

[3] Conseil Fédéral suisse, 2003. Ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle (OTEMO). Document 211.432.21, Berne, 39 p.

[4] Daniel Y., 2003. Contribution à la cartographie de la végétation arborée par segmentation d'orthophotos. Diplôme DESNE, Université de Genève, 104 p, un CD.

[5] DDPS, 2003. Stratégie de la mensuration officielle pour les années 2004 à 2007 et vision pour les années suivantes. OFT, Berne, 26 p.

[6] eCognition, 2003. User Guide. Definiens-Imaging: www.definiens-imaging.com/

[7] Hofmann P. & Reinhardt W. (2000): The extraction of GIS features from high resolution imagery using advanced methods based on additional contextual information – first experiences. In: ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.

[8] Jaquet J.-M., 2002. Cartographie multisources de la couverture du sol (périmètre du Plan directeur genevois). CouvSolGE, version 1.1x. Rapport final du mandat DAEL. UTED-S, UNIGE, 41 p., une base de données géoréférées.

[9] Kaeser D., 2003. Cartographie de la couverture du sol à partir d'un modèle numérique de hauteur et de l'analyse spectro-texturale d'orthophotos: application au bassin versant du Nant d'Avril. Diplôme DESNE, Université de Genève, 120 p, un CD.

[10] Silverio W. et Jaquet J.-M., 2003: Cartographie provisoire de la couverture du sol du Parc national Huascarán (Pérou), à l'aide des images TM de Landsat. Télédétection 3(1): 69–83.

[11] Wisard J.-P., 2004: La nouvelle vision de la couverture du sol à Genève. Géomatique Suisse, ce numéro.

A. Harayama
PNUE/DEWA/GRID Genève
11 chemin des Anémones
CH-1219 Châtelaine

J.-M. Jaquet
UTED-S, Sciences de la Terre
Université de Genève
13 rue des Maraîchers
CH-1205 Genève