

MODÈLE DE VUE RELATIVE ET SPATIO-TEMPORELLE DE TRAJECTOIRES GÉOGRAPHIQUES D'OBJETS MOBILES : APPLICATION AU CONTEXTE MARITIME

par Valérie Mallé-Noyon

École navale, IRENAV
Lanvéoc Poulmic BP 600
29 240 Brest Armées
E-mail : noyon@ecole-navale.fr

Ma thèse a été dirigée par Christophe Claramunt, professeur à l'École navale (Brest), et encadrée par Thomas Devogele, maître de conférences à l'École navale (Brest). Elle a été soutenue le 3 octobre 2007 à l'École doctorale de l'École nationale supérieure des arts et métiers (ENSAM) de Paris. Mes travaux de thèse s'intègrent dans la thématique nommée « développement de modèles de représentation et de traitement de données maritimes dans le domaine du transport et de la sécurité maritime » du groupe SIG de l'École navale. Un modèle de vue spatio-temporelle et relative de trajectoires d'objets mobiles avec une application dans le domaine maritime a été développé. Les trajectoires d'objets mobiles sont modélisées dans une vue relative et "égocentrique" d'une mesure s'appuyant sur la distance entre deux objets mobiles et d'une mesure utilisant la vitesse relative de ces objets mobiles. Un prototype a été développé en s'appuyant sur le contexte maritime, où les trajectoires des navires sont visualisées dans la représentation absolue et cartographique (généralement utilisée) et la représentation relative développée afin de mettre en évidence la complémentarité des représentations.

1 Contexte de recherche

Les déplacements terrestres, aériens et maritimes ne cessent d'évoluer et de s'accroître en qualité et en quantité. Le trafic engendré par ces déplacements génère des encombrements de plus en plus nombreux des voies de transport, créant ainsi des problèmes nouveaux dans le domaine de la sécurité. Afin de répondre à ces nouveaux risques, de nombreuses avancées techniques ont permis de développer de nouveaux moyens de gestion et de surveillance des déplacements, liés aux moyens de transport, en particulier dans les zones à risque. L'apparition du GPS (Global Positionning System) a notamment entraîné le développement rapide de systèmes de géolocalisation qui permettent la transmission des informations liées aux déplacements, telles que les positions, les vitesses ou les directions d'un objet mobile.

Ces progrès dans la prise en compte de la connaissance en temps-réel des informations sur les déplacements de ces objets mobiles s'accompagnent du développement des systèmes

d'informations géographiques (SIG) qui favorisent, pour leur part, la gestion et la manipulation de ces données pour, notamment, faciliter la surveillance des zones à risque. Les recherches en cours dans ce domaine se concentrent sur trois aspects : la modélisation conceptuelle avec le développement de nouvelles représentations de données spatio-temporelles, la modélisation logique avec l'utilisation de langages de requêtes de manipulation de ces données, et la modélisation physique avec le développement de structures de stockage et d'accès aux données spatio-temporelles. L'objectif de ces différents modèles consiste à prendre en compte les informations relatives aux déplacements des objets, et notamment les trajectoires afin de potentiellement les traiter et les analyser.

En retenant les fondements issus de la cognition spatiale et de la géographie naïve, l'utilisation de plusieurs représentations spatiales et de modes de visualisation de données spatio-temporelles apparaît comme une solution préférable à une représentation unique et cartographique des informations de trajectoires. Ces différents points de vue permettent en

effet de mieux comprendre et appréhender ces informations sémantiquement complexes, facilitant ainsi leur perception et leur analyse. Dans le cas des trajectoires des objets mobiles, si différentes représentations cartographiques sont actuellement utilisées, elles sont essentiellement basées sur une vision absolue, ou partiellement relative, qui ne permet pas une compréhension fine des processus induits par la dynamique du système étudié. Avec une représentation absolue, l'environnement géographique de la situation représentée est statique, ou partiellement dynamique, et peu adapté à une compréhension des processus de trajectoires. Avec une représentation relative des données, les interactions entre les objets sont mieux mises en évidence, et cette représentation complète ainsi la vision conventionnelle et statique d'un système géographique.

2 Contexte de l'étude

Dans le domaine de la navigation maritime, il existe principalement deux situations significatives de visualisation de trajectoires des navires : les centres de surveillance observant une zone donnée de trafic maritime (de type capitainerie dans un port) et celui du point de vue d'un navire considéré comme un acteur interagissant dans son environnement. Dans ces deux cas, les progrès liés aux cartes numériques couplées aux systèmes de géolocalisation permettent actuellement de visualiser en temps réel les positions des navires dans une large zone d'environ 30km de rayon, qui correspond au rayon de transmission des antennes Very High Frequency (VHF). Dans le cas des navires, ces progrès entraînent une visualisation de successions de positions qui renseignent sur la position du navire, ainsi que des navires à proximité, et sur l'environnement maritime géographique. Ces représentations ne permettent pas cependant d'analyser les situations en exploitant toutes les informations fournies par les systèmes de géolocalisation, et d'anticiper les déplacements des navires à proximité. Les cartes numériques actuelles offrent la visualisation de la succession de positions des navires, et la visualisation d'un état instantané des autres données transmises par l'Automatic Identification System (AIS) (cap et vitesse par exemple). Il apparaît cependant que la visualisation de la succession des données qualitatives et quantitatives liées aux trajectoires de ces navires améliorerait la compréhension des comportements grâce à l'intégration de la dimension temporelle. En particulier, la visualisation de la continuité des changements de position sur un intervalle de temps donné, et donc d'une trajectoire, et de la continuité des changements des autres données, démultiplierait les possibilités de

visualisation et de simulation de ces déplacements. Ces visualisations permettraient ainsi l'analyse des tendances et des événements principaux. De tels besoins nous amènent à proposer une étude des modèles et des outils de traitement les plus adaptés à la visualisation et la compréhension de la dynamique des données de navigation.

3 Contribution

3.1 Modélisation

Cette thèse introduit un modèle de trajectoires dont l'objectif est de compléter les représentations absolues et relatives existantes, en intégrant une représentation plus ciblée de trajectoires perçues à partir d'un point de vue égocentrique. Le choix des informations de référence se base sur la perception que les êtres humains ont de la distance et de la vitesse lors de leurs déplacements. Le modèle proposé représente les objets mobiles à partir des primitives géométriques utilisées pour leur modélisation au sein des SIG, c'est-à-dire des points, des polygones et des lignes qui peuvent être convexes ou concaves. Chacun de ces objets est défini, comme dans la topologie usuelle, par un extérieur, une frontière et dans le cas du polygone par un intérieur. La représentation étant relative, un objet référent est identifié comme l'origine de la représentation, et les données modélisées de l'objet cible en relation avec l'objet référent sont définies. Le modèle distingue si un objet cible est tout ou partie à l'intérieur de l'objet référent, tout ou partie à la frontière (et en partie à l'extérieur) de l'objet référent ou complètement à l'extérieur de l'objet référent. Les relations spatiales entre un objet cible et l'objet référent sont représentées par trois relations topologiques : la disjonction, le toucher et l'intersection entre les objets. L'intersection est de fait définie seulement lorsqu'au moins l'un des objets est représenté par un polygone.

À partir de ces principes, nous introduisons une mesure de position relative qui représente la distance entre deux objets en distinguant ces trois relations topologiques. Elle correspond à la distance minimale entre les deux objets lorsqu'ils sont disjoints, et elle est nulle lorsque les deux objets se touchent. Lorsque les deux objets s'intersectent, elle est négative et représente la distance minimale entre l'extérieur de l'objet référent et le point appartenant à l'intersection des deux objets, le plus éloigné de l'extérieur de l'objet référent. De son côté, la vitesse relativisée est calculée par le produit de la vitesse relative de l'objet cible dans le référentiel de l'objet référent et la différence entre les vitesses des deux objets. Elle est positive, lorsque l'objet référent est

plus rapide que l'objet cible, elle est nulle lorsque les valeurs absolues des vecteurs vitesse des deux objets sont identiques. La vitesse relativisée est négative lorsque l'objet référent est moins rapide que l'objet cible.

3.2 Raisonnement spatio-temporel

Ces deux mesures sont représentées dans un espace en deux dimensions afin de faire émerger des trajectoires géographiques définissant les processus couramment perçus par les êtres humains. Des états spatio-temporels sont définis à partir de chacune des mesures afin de caractériser ces états par des expressions du langage naturel (Noyon, Devogele et Claramunt 2005, p. 208-217 ; Noyon, Devogele et Claramunt 2005a, p.139-143). Pour la position relative, les expressions se basent sur les relations topologiques entre l'objet référent et l'objet cible. Dans le cas de la vitesse relativisée, les expressions sont liées au phénomène de rapidité entre les objets. À partir de la définition des états spatio-temporels dans le langage naturel, les trajectoires peuvent être définies par une caractérisation qualitative (et quantitative) des changements continus d'états (avec la définition de transitions continues s'appuyant sur la théorie de la dominance de Galton). Ces processus de trajectoires sont caractérisés en langage naturel en utilisant les notions d'accélération et de décélération, tout en distinguant les objets cibles plus rapides des objets cibles moins rapides que l'objet référent. Leur combinaison avec les notions de rapprochement et d'éloignement de la frontière des objets, tout en distinguant les relations topologiques entre les objets, apporte une complémentarité à la description des trajectoires géographiques.

Dans un souci d'une plus grande complémentarité, des tables de composition des états existants ont été décrites afin d'aider à la détermination de l'ensemble des états possibles entre un objet cible et un objet référent par l'intermédiaire d'un objet (Noyon, Claramunt et Devogele 2007,). Via un raisonnement diagrammatique, dans le cas où les trois objets pris en compte peuvent être des points, des polygones ou des polygones, vingt-sept tables décrivent les relations entre deux objets qui ne se voient pas directement et permettent de définir la position relative et la vitesse relativisée, ou la position relative ou la vitesse relativisée, ou aucune contrainte sur les relations.

3.3 Implémentation et tests

Un prototype informatique a été développé dans le langage java avec pour objectif de visualiser la représentation développée et de la tester auprès d'un

panel représentatif d'utilisateurs. Ce prototype permet de visualiser les trajectoires d'objets mobiles avec une représentation absolue cartographique, et simultanément et dynamiquement avec la représentation relative proposée. Le prototype ne prend actuellement en compte que les objets mobiles pouvant être représentés par des points. Ainsi, ce prototype se place dans un contexte de déplacements de navires. Les données maritimes reçues via l'utilisation des AIS sont stockées dans une base de données qui est accessible par le prototype. Ce dernier permet de visualiser les données de l'ensemble de la base de données de manière différée avec une possibilité de lecture dynamique des positions au cours du temps (fig. 1).

Dans cette interface, la fenêtre de gauche présente la visualisation absolue et cartographique des trajectoires, et la fenêtre de droite présente un graphique orthogonal dans lequel la représentation de la position relative et la vitesse relativisée sont visualisées lorsqu'un objet mobile de référence est choisi. Dans la représentation absolue, les traces, c'est-à-dire les données précédant l'instant de lecture, sont visualisées par une polyligne et un ensemble de points qui représentent les instants existants dans la base de données. La visualisation relative donne une lecture implicite des différents processus définis par le raisonnement spatio-temporel. Leur visualisation graphique s'appuie sur les trajectoires relatives utilisant des couleurs communément utilisées pour signifier un danger : rouge pour très dangereux, orange pour dangereux et vert pour pas dangereux. La vitesse relativisée est visualisée par les deux symboles lignes sur l'extérieur de la trajectoire relative et la position relative est visualisée par le symbole ligne sur l'intérieur de la trajectoire relative.

Une expérimentation auprès d'utilisateurs a été effectuée par l'intermédiaire de comparaisons de situations plus ou moins dangereuses dans la représentation absolue et dans la représentation relative. Les utilisateurs devaient comparer sept situations deux à deux, ce qui permettait d'établir la situation perçue comme la plus dangereuse respectivement dans la représentation absolue et dans la représentation relative et les indécisions et erreurs éventuelles. Trois groupes d'utilisateurs de différents types ont effectué le test. Cette confrontation avec différents types d'utilisateurs montre que les informations de la représentation relative complètent bien les informations de la représentation absolue, dans la mesure où les situations conflictuelles et dangereuses sont mieux identifiées par notre approche. Les résultats de cette expérience montrent aussi que les processus de trajectoires présentés sont relative-

ment bien perçus et compris par les utilisateurs dans leur ensemble.

4 Perspectives

Le modèle actuellement développé est extensible du point de vue des primitives géométriques utilisées, du nombre de ses dimensions spatiales, et des contraintes inhérentes à l'environnement représenté. Il est possible de prendre en compte ces contraintes dans le modèle :

- actuellement, les polygones et les polygones ont un vecteur vitesse identique en chaque point ; pour que ces objets puissent effectuer des rotations et des changements de forme, il faut définir un vecteur vitesse différent en chaque point ;
- avec l'objectif de développer le modèle dans le contexte aérien, la 3^e dimension peut être ajoutée au calcul de la position relative et de la vitesse relativisée ;
- avec l'objectif d'une application dans le contexte des déplacements dans un réseau routier par exemple, les obstacles doivent être pris en compte.

Une étude sur différentes visualisations de la représentation relative avec une exploration de nou-

veaux référentiels sémiologiques, une étude de la visualisation des dangers (couleurs, zones), et le problème de la visualisation d'un grand nombre de trajectoires pour garder une possibilité de prise de décision, doit être effectuée.

Enfin, du point de vue du prototype, plusieurs améliorations sont envisagées :

- visualisation en temps-réel des trajectoires ;
- application des principes des tables de composition développées afin de prendre en compte un plus grand nombre de trajectoires dans la prise de décision ;
- intégration de la représentation dans l'ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), actuellement utilisé sur les navires ;
- intégration des représentations de polygones et de polygones ;
- validations complémentaires notamment du point de vue de la sémiologie par l'intermédiaire de tests auprès des utilisateurs ;
- élargissement du panel et test en configuration réelle entre deux navires.

Bibliographie

Noyon V., Devogele Th. et Claramunt Chr., 2005, « A formal model for representing point trajectories in two-dimensional spaces », *Proceedings of the 24th International Conference on Conceptual Modelling ER'05 Conference*, Klagenfurt, Austria, Octobre, Springer-Verlag LNCS, p. 208-217.

Noyon V., Devogele Th. et Claramunt Chr., 2005a, « A relative modelling approach for spatial trajectories », *Proceedings of the 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS*, Archives of ISPRS, Université de Glamorgan, 5-8 septembre, p. 139-143.

Noyon V., Claramunt Chr. et Devogele Th., 2007, « A relative representation of trajectories in geographical spaces », *Geoinformatica*, Kluwer Academic, 11(4), p. 479-496.

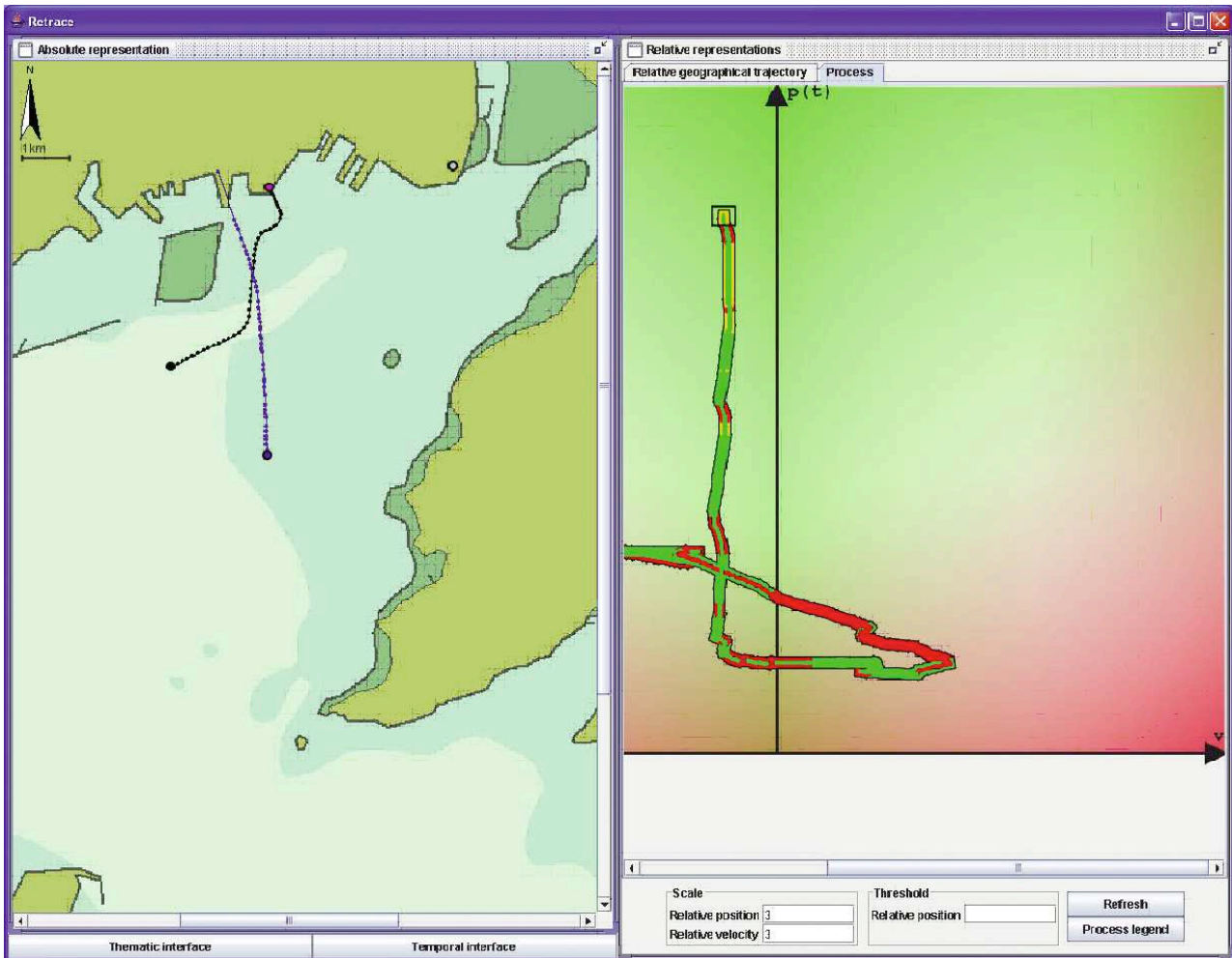


Figure 1 : Interface graphique des visualisations absolues et relatives