



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/21856>

To cite this version :

Bilal KOTEICH, Eric SAUX, Arnaud GRANCHER - Approche ontologique pour la modélisation de carte contextuelle - 2019

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : scienceouverte@ensam.eu



Approche ontologique pour la modélisation de carte contextuelle

Bilal Koteich¹, Eric Saux¹, Arnaud Grancher²

1. Ecole navale, Institut de Recherche de l'Ecole Navale (IRENav), BCRM
Brest, Lanvéoc-Poulmic, CC 600, 29240 BREST Cedex 9 (France)
bilal.koteich@ecole-navale.fr, eric.saux@ecole-navale.fr

2. Géomaticien, Freelance
agrancher@gmail.com

RÉSUMÉ. Cet article présente tout d'abord un état de l'art des approches permettant la modélisation du contexte dans un système d'information. Nous proposons ensuite une approche fondée sur une ontologie spatio-temporelle afin d'automatiser l'étape de la sélection des données dans le processus global de confection de cartes personnalisées. L'approche proposée visant à modéliser un contexte tient compte du profil de l'utilisateur et de ses préférences, ainsi que des événements afférents à un environnement. Nous souhaitons ensuite, par raisonnement logique, pouvoir en déduire une sélection de catégories et d'objets qui contribuera à la confection d'une carte personnalisée.

ABSTRACT. This paper first presents a state of the art of context modeling approaches in an information system. We then propose an approach based on a spatial-temporal ontology to automate the data selection step in the process of making personalized maps. The proposed approach of context modeling takes into consideration the user's profile and preferences, as well as events related to an environment. We then aim, by logical reasoning, to be able to deduce a selection of categories and objects that will contribute to the creation of a personalized map.

MOTS-CLÉS : Ontologie, Modélisation du contexte, Cartographie, Raisonnement spatio-temporel

KEYWORDS: Ontology, Context Modeling, Mapping, Spatio-Temporal Reasoning

1. Introduction

Depuis l'émergence des technologies sans fil et des appareils mobiles, une nouvelle classe d'applications appelées services sensibles au contexte a suscité un vif intérêt dans le domaine de l'informatique ubiquitaire. Ce type d'applications nécessite d'utiliser des méthodes adaptées à la modélisation du contexte afin de répondre précisément aux exigences d'un utilisateur et d'assurer un service de haute qualité tout en réduisant les coûts liés à sa production. L'utilisation de tels services dans le domaine de la cartographie numérique nous paraît cruciale. Une information peut-être utile dans un certain contexte d'utilisation et inutile dans un autre, d'où la problématique de la sélection adéquate des informations. Par ailleurs, une information ne se présente pas de la même manière selon qu'elle représente un danger ou une attractivité. Ces problématiques sont au cœur du processus de fabrication de la carte à la demande, ou carte adaptative.

Notre travail se concentre exclusivement sur le processus de sélection des informations pertinentes à cartographier, sans aborder les problématiques de généralisation cartographique et de sémiologie graphique. C'est la raison pour laquelle nous nous intéressons ici à proposer un modèle de représentation des données dont l'objectif principal sera la sélection initiale des informations cartographiques nécessaires à l'automatisation de la confection d'une carte.

Cet article est structuré en cinq parties. Après avoir introduit les objectifs de cette recherche, la deuxième partie présente la notion de contexte selon différents points de vue, les applications capables d'adapter leur comportement selon le contexte, ainsi que les différentes approches pour le modéliser. Dans une troisième partie, nous nous intéressons plus particulièrement à une modélisation du contexte fondée sur les ontologies, dont nous présentons les avantages ainsi que des travaux connexes et complémentaires à notre activité de recherche. La quatrième partie introduit ensuite notre modèle conceptuel fondé sur une ontologie. Un scénario d'exécution est alors présenté. La dernière partie conclut ce travail tout en proposant des évolutions futures.

2. Modélisation du contexte

2.1. Définition du contexte

2.1.1. En informatique

Une définition du contexte communément acceptée est proposée par Dey (Dey, 2001). Selon lui, un contexte se définit comme « toute information en mesure d'être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu ou un objet concerné dans l'interaction entre un utilisateur et une application ». En d'autres termes, un contexte est déterminé par l'état des valeurs des paramètres relatifs à la caractérisation d'une situation. C'est un ensemble d'informations qui influence une tâche effectuée par une personne, ou caractérise une situation précise dans un système informatique.

2.1.2. *En cartographie*

La notion du contexte en cartographie numérique a été reconnue par Nivala (Nivala, Sarjakoski, 2003) et Sarjakoski (Sarjakoski, Nivala, 2005) dans le cadre de leurs travaux sur les cartes numériques mobiles. Comme beaucoup, ces chercheuses se sont d'abord appuyées sur les définitions de contexte proposées par Schilit (Schilit, Theimer, 1994) et Dey (Dey, 2001). Puis, en s'appuyant sur les travaux de Chen (G. Chen, Kotz, 2000), elles ont proposé une classification du contexte, comprenant cinq catégories de haut niveau, adaptée aux cartes mobiles pour caractériser un contexte cartographique :

- Informatique : système de navigation.
- Utilisateur : tâche à effectuer, profil, préférences, etc.
- Physique : environnement, lieu, orientation.
- Temps : heure de la journée, saison, etc.
- Historique : historique de la navigation.

Cette catégorisation a été reprise plus tard par Sarjakoski (Sarjakoski, Sarjakoski, 2008) dans leurs travaux sur la définition du concept de carte adaptative. Une carte adaptative est une carte dont le contenu, la sémiotique et les fonctionnalités s'ajustent en fonction des besoins et des intérêts d'un utilisateur.

2.2. *Définition de la sensibilité au contexte*

La sensibilité au contexte est la capacité d'un système à tirer profit, interpréter et utiliser des informations issues du contexte et adapter sa réponse en fonction du contexte d'utilisation. Cette définition correspond à peu près à la première définition de la sensibilité au contexte proposée par Schilit (Schilit, Theimer, 1994). On fait maintenant la distinction entre les applications qui utilisent le contexte, comme par exemple un service de météo qui aura besoin d'informations de localisation et de température pour produire un bulletin et d'autres applications qui adaptent leur comportement en fonction du contexte. Dans le premier cas, l'utilisation simple du contexte n'implique pas une modification du comportement du système comme dans le second cas. La proposition de services personnalisés aux utilisateurs, sans intervention explicite de ces derniers, optimise l'interaction entre l'utilisateur et le système.

2.3. *Représentation du contexte*

On distingue six grandes approches pour modéliser le contexte : les modèles clés-valeurs, les modèles fondés sur des langages de balises (XML), les modèles graphiques (UML), les modèles orientés objet, les modèles logiques et les modèles reposant sur les ontologies.

Les modèles clé/valeur - représentent la structure la plus simple permettant de modéliser un contexte. L'une des premières approches dans ce domaine a été celle de Schilit (Schilit *et al.*, 1994), qui a fait appel aux paires « clé/valeur » pour associer une valeur à un type d'information contextuelle, comme par

exemple pour attribuer le nom « Dupont » à une personne : « Nom : Dupont ». Dans ce cas, la clé est « Nom » et la valeur associée est « Dupont ». Ces modèles « clé/valeur » sont simples à gérer, mais ne permettent pas de modéliser une structure sophistiquée, nécessaire à l'application d'algorithmes efficaces pour le renvoi de contexte.

Les modèles à balises - Les approches de modélisation fondées sur des langages à balises permettent de créer des structures de données hiérarchiques, le contenu d'une balise étant généralement défini récursivement par d'autres balises. Un point faible de ce modèle se situe au niveau de l'incomplétude et de l'ambiguïté des données qui doivent être gérées de manière exclusive au niveau de l'application.

Les modèles graphiques - Ce type de modélisation est rapporté dans la littérature comme particulièrement adapté pour créer des systèmes de gestion de contexte fondés sur des bases de données relationnelles. Le niveau de formalité évaluable par ordinateur est généralement faible pour tout modèle graphique. Ce modèle est plutôt utilisé afin d'avoir des structurations graphiques compréhensibles par les humains.

Les modèles orientés objet - L'idée commune à toutes les approches orientées objet de modélisation du contexte est de tirer parti des notions d'encapsulation et de réutilisabilité fournies par le paradigme orienté objet.

Les modèles logiques - De manière générale, un formalisme logique permet de définir les conditions (syntaxe et sémantique) permettant de dériver une formule logique à partir d'une autre formule logique (raisonnement). Dans ce type de formalisme, le contexte est donc défini par des faits (assertions), des expressions logiques et des règles d'inférences.

Les modèles fondés sur les ontologies - Comme le contexte peut être considéré comme un type spécifique de connaissance, il peut aussi être modélisé par des ontologies. Les ontologies sont des instruments très efficaces pour la modélisation d'informations contextuelles en raison d'une formalisation logique et d'une expressivité élevée, ce qui offre la possibilité d'appliquer des techniques de raisonnement afin d'inférer d'autres connaissances.

Afin d'évaluer les différentes approches de modélisation du contexte, Strang (Strang, Linnhoff-Popien, 2004) a évalué six approches de modélisation par rapport aux exigences des services omniprésents dans les systèmes informatiques (cf. Table 1) : composition distribuée (dc¹), validation partielle (pv²), richesse et qualité de l'information (qua³), incomplétude et ambiguïté (inc⁴), niveau de formalité (for⁵) et applicabilité aux environnements existants (app⁶).

1. Acronyme de "Distributed Composition".

2. Acronyme de "Partial Validation".

3. Acronyme de "Richness and Quality of information".

4. Acronyme de "Incompleteness and ambiguity".

5. Acronyme de "Level of formality".

6. Acronyme de "Applicability to existing environments".

Approach - Requirem.	dc	pv	qua	inc	for	app
Key-Value Models	-	-	-	-	-	+
Markup Scheme Mod.	+	++	-	-	+	++
Graphical Models	-	-	+	-	+	+
Object Oriented Mod.	++	+	+	+	+	+
Logic Based Models	++	-	-	-	++	-
Ontology Based Mod.	++	++	+	+	++	+

TABLE 1. *Comparaison des approches de modélisation du contexte (Extrait de (Strang et al., 2004)).*

En fondant leur évaluation sur des critères fondamentaux communs à tout système d'information, les auteurs en concluent que le modèle à base d'ontologie présente l'approche la plus expressive ainsi qu'une approche très prometteuse pour la modélisation du contexte dans le domaine de l'informatique.

3. Modélisation contextuelle fondée sur les ontologies

3.1. Avantages des ontologies contextuelles

Les ontologies contextuelles introduisent non seulement une représentation de connaissances partageables et réutilisables, mais permettent également l'ajout de nouvelles connaissances sur le domaine. La raison pour laquelle nous avons recours aux ontologies pour la modélisation du contexte peut être résumée, selon Wang (Wang *et al.*, 2004), par les trois avantages suivants :

- **Partage des connaissances :** L'utilisation des ontologies contextuelles permettent aux entités informatiques, telles que des agents ou des services, qui partagent et publient les mêmes ontologies, d'extraire et d'agréger des informations à partir de ces différentes sources de données.
- **Inférence logique :** Différents mécanismes de raisonnement existants peuvent être appliqués afin de déduire un contexte plus conceptuel à partir du contexte brut. Cela aide également à vérifier et à résoudre des connaissances de contexte erratiques.
- **Réutilisation des connaissances :** Il n'est pas nécessaire de partir de zéro pour développer une ontologie de contexte à grande échelle. Elle peut être développée en réutilisant différentes ontologies de domaine ou de haut niveau existantes.

3.2. Les ontologies de contexte existantes

Il existe plusieurs ontologies de haut niveau permettant la modélisation du contexte, parmi lesquelles on trouve **CONON** (Wang *et al.*, 2004), **CoBrA** (H. Chen *et al.*, 2003), **SOUPA** (Chen *et al.*, 2004), **CoDAMoS**⁷, **SmartSpace** (Qin *et al.*, 2007) et **CACOnt** (Xu *et al.*, 2013). Une comparaison dé-

7. <http://www.cs.kuleuven.be/~distrinet/projects/CoDAMoS/>

taillée a été réalisée par Malik (Malik, Jain, 2017) selon plusieurs critères de comparaison (cf. table 2). Certains critères sont en correspondance avec la classification du contexte proposée par Sarjakoski (Sarjakoski, Sarjakoski, 2008) et citée dans la section 2.1.2, à l'exception du critère de « Sécurité ». Selon la table

Comparison Parameters	Context Ontologies					
	CONON	CoBrA	SOUPA	CoDAMOS	SmartSpace	CACont
Location	✓	✓	✓	✓	✓	✓
User	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Activity	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time			✓	✓	✓	
Security		✓	✓	✓	✓	✓
Space			✓	✓	✓	✓
Environment				✓	✓	✓
Representational Framework	OWL	OWL	OWL	OWL	OWL	OWL

TABLE 2. *Comparaison des ontologies de contexte (Extrait de (Malik et al., 2017)).*

2, les ontologies CONON, CoBrA et CACont ne sont pas en mesure de modéliser la dimension temporelle, ce qui est un inconvénient majeur pour notre recherche. L'ontologie SOUPA, également connue sous le nom de modèle global, est quant à elle apte à représenter la dimension temporelle des contextes, mais n'a pas la capacité à représenter les conditions environnementales (luminosité, température, etc.) qui sont associées à une entité. Afin de pallier aux lacunes des ontologies CONON, CoBrA et SOUPA, l'ontologie SmartSpace a été introduite en tant qu'ontologie séparée et satisfait toutes les fonctionnalités requises dans la comparaison. Bien que l'ontologie ait été exploitée dans un contexte de « maison intelligente », son champ d'application reste limité à des environnements de petite taille comme le montre son cas d'utilisation. En ce qui concerne l'ontologie CoDAMoS, cette dernière nécessite l'utilisation de contextes complexes qui ne sont pas conviviaux, ce qui peut être un frein à son utilisation.

Afin de surmonter les insuffisances des ontologies existantes, nous avons introduit une modélisation du contexte complémentaire. Ce modèle doit notamment servir à modéliser une représentation cartographique adaptative d'un environnement plutôt naturel, tenant compte des cinq catégories de haut niveau proposées par Sarjakoski (Sarjakoski, Nivala, 2005) et citées dans la section 2.1.2.

3.3. *Travaux connexes à la modélisation du contexte*

Plusieurs modèles réalisés dans le cadre de recherches menées sur l'automatisation des processus de cartographie sont également fondés sur des ontologies développées en OWL (Ontology Web Language). Il nous paraît judicieux d'inclure ces travaux dans nos recherches, notamment ceux de l'Ordnance Survey (Goodwin *et al.*, 2008), (Kovacs *et al.*, 2007), (Green, 2010), (Dolbear, Goodwin, 2007) et de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) (Abadie *et al.*, 2010). Ces travaux abordent des thématiques connexes telles que la généralisation automatique pour la production de cartes topographiques (Gould, 2012), ou encore la formalisation des spécifications de bases de données géographiques (Abadie *et al.*, 2010).

4. Modélisation contextuelle : la carte à la demande

4.1. *Procédé de fabrication d'une carte personnalisée*

Les organismes de cartographie tels que l'IGN, l'Ordnance Survey ou le service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) proposent un service de confection de cartes personnalisées. Ce type de service permet de répondre précisément aux exigences d'un utilisateur et d'assurer la confection d'une carte de haute qualité. Toutefois, malgré les progrès scientifiques et techniques, il s'agit d'un service fort coûteux car la chaîne de traitement fait appel à des ressources humaines qualifiées (figure 1). Ce type de service est donc difficilement accessible par un utilisateur quelconque, qui doit se satisfaire de synthèses cartographiques prévues pour un usage général.

4.2. *Vers l'automatisation de la carte à la demande*

Afin de réduire les coûts liés à la production de cartes adaptées, une solution consiste à automatiser certains processus entrant dans la confection de ces cartes. La conception d'un dispositif de carte à la demande est un domaine de recherche pluridisciplinaire dont le but est d'élaborer des mécanismes qui soient capables, sans assistance humaine, de récolter un ensemble d'exigences utilisateur et de les interpréter pour confectionner une carte personnalisée.

Dans ce but et afin de tendre vers une automatisation du processus de « Préparation des données » (étape située en bas de la figure 1), nous souhaitons proposer un modèle ontologique intégrant la sémantique des concepts de l'environnement ainsi que les cinq catégories de haut niveau, proposées par Sarjakoski (Sarjakoski, Nivala, 2005) et citées dans la section 2.1.2, et permettant de déduire par raisonnement les concepts et individus impliqués dans la confection d'une carte à la demande.

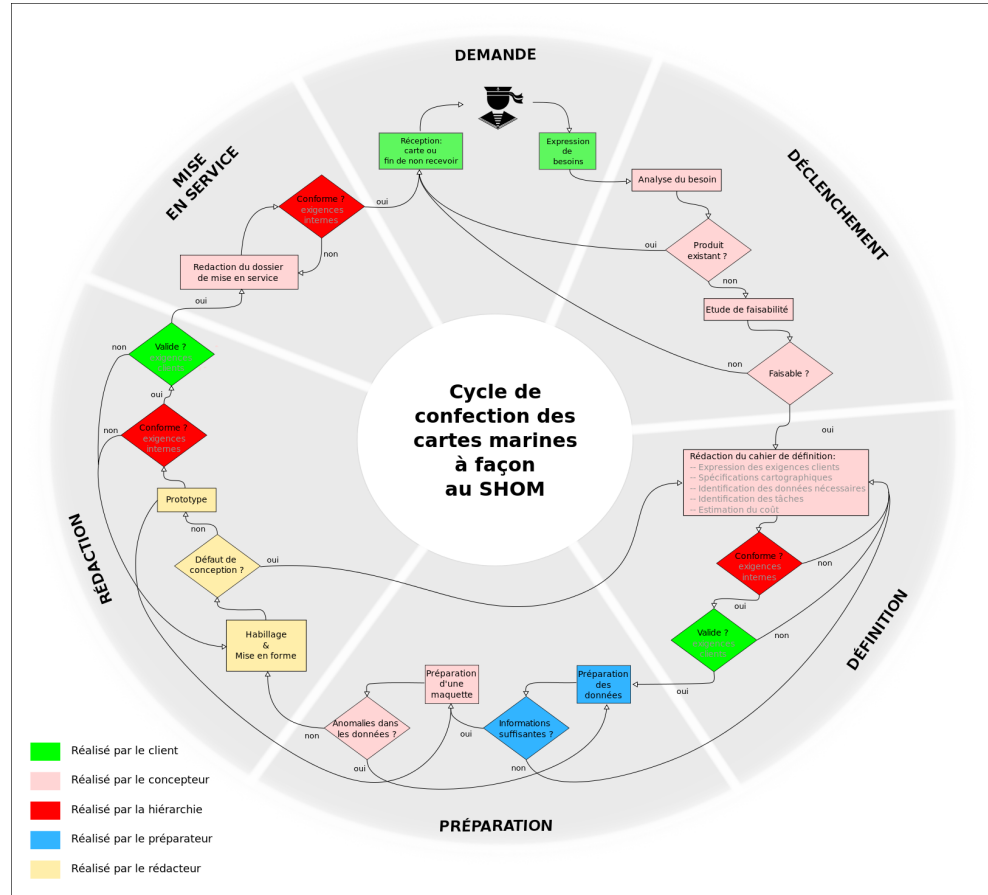


FIGURE 1: Description du procédé de fabrication d'une carte marine à façon (ou carte à la demande) au SHOM.

4.3. Approche de modélisation ontologique

Le modèle proposé est fondé sur quatre classes principales : la classe « User », la classe « Activity », la classe « Environment », et la classe « Event ». La classe « User » décrit les caractéristiques et les préférences de l'utilisateur final de la carte, c'est-à-dire la personne qui en fait la demande. Cette classe est une sous-classe de la classe « Person » de l'ontologie FOAF⁸. Pour chaque instance de la classe « User », nous sommes intéressés par ses *capacités* et ses *incapacités*, sa *profession*, la *communauté* à laquelle il appartient, son *positionnement*, l'ensemble de ses *intérêts*, son *historique de navigation* et son *activité*.

8. <http://xmlns.com/foaf/spec/>

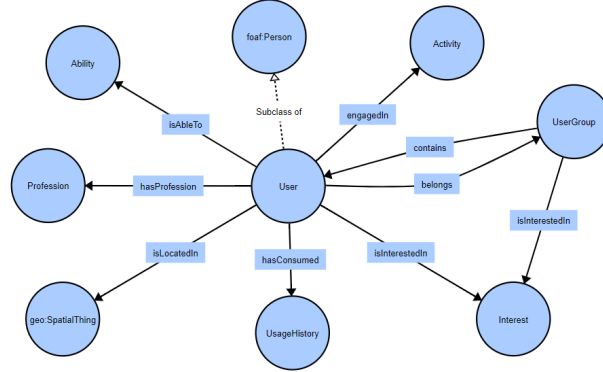


FIGURE 2: Ontologie de l'utilisateur.

La classe « Activity » a pour objectif de modéliser la tâche ou la mission de l'utilisateur. Chaque instance de cette classe est caractérisée par un *temps* de déroulement qui est une instance de la classe « TemporalEntity » de l'ontologie OWL-Time⁹, une *zone géographique* qui est une instance de la classe « SpatialThing » de l'ontologie GeoSPARQL¹⁰, le *niveau d'expertise* de l'utilisateur et un *environnement* dans lequel se déroule l'activité.

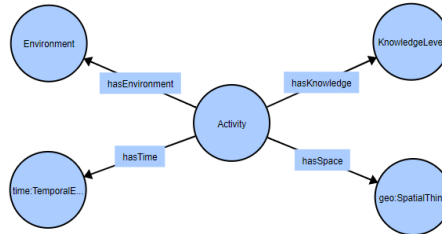


FIGURE 3: Ontologie de l'activité.

Un « Environment » se compose d'un *environnement physique*, pour représenter les conditions environnementales dites naturelles, et d'un *environnement personnel* pour décrire le *support de visualisation*, la *taille de l'écran*, etc. Il est associé à une *zone géographique*, et un *événement* auquel il peut être exposé.

9. <https://www.w3.org/TR/owl-time/>

10. <https://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>

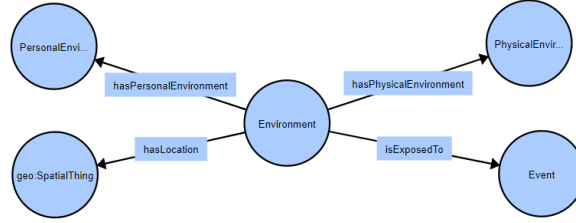


FIGURE 4: Ontologie de l'environnement.

Un « Event » peut impliquer un changement de *situation* qui, à son tour, peut conduire à un nouveau *contexte*, par exemple un nouveau contexte de navigation dans le cas de la confection d'une carte marine. Une situation peut concerner une ou plusieurs *entités*. L'événement, la situation et l'entité peuvent avoir des *états* qui peuvent être de nature *spatiale*, *temporelle* ou *sémantique*.

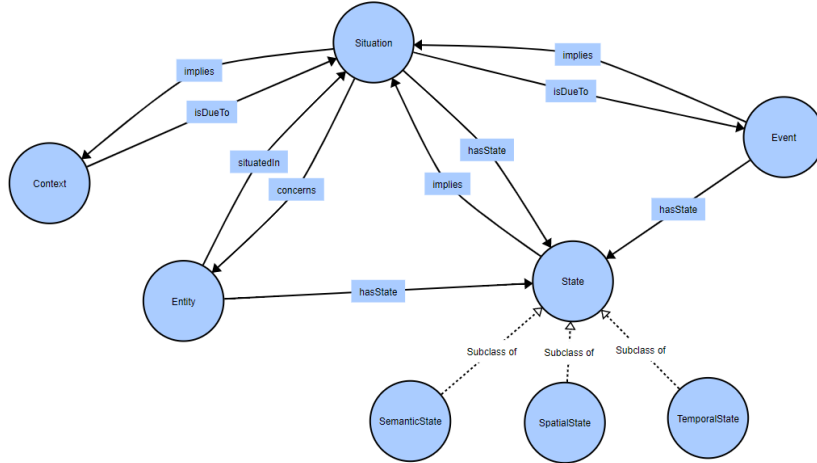


FIGURE 5: Ontologie de l'événement.

4.4. Exemple de scénario d'exécution

Dans cette section, nous présentons un scénario d'exécution afin d'illustrer l'approche de modélisation ontologique ci-avant. Un des cas d'utilisation est la confection d'une carte marine contextuelle. Ainsi, après avoir recueilli les préférences de l'utilisateur, les conditions environnementales dans lesquelles il évolue, ainsi que les informations relatives à son activité de navigation maritime côtière (plaisance, pêche, transport, militaire, etc.), l'objectif est alors de sélectionner, par raisonnement logique, les objets cartographiques entrant dans la confection d'une carte marine adaptée à son contexte d'utilisation. En se limitant à l'ontologie des événements, la *nuit* est considérée comme une instance

d'un « Event ». Cet évènement implique une situation de *faible visibilité* pour la navigation, ce qui aboutit à un contexte de *navigation nocturne*. Par inférence, l'instance *navigation nocturne* nécessite la sélection d'entités ayant un feu (ou lumière dans la terminologie classique) comme les instances de la catégorie des bouées cardinales. Ces dernières, selon leur type (Nord, Sud, Est, Ouest) ont un état temporel qui est relatif au rythme de leur feu (feu à occultations régulières, feu à deux éclats groupés, etc.), un état spatial relatif à leur positionnement géographique ainsi qu'un état sémantique qui, selon leur type, indique la zone de sécurité à emprunter pour la navigation (c.-à-d. une cardinal Nord indique que la navigation doit se faire au Nord de cette bouée, le danger se situant au Sud).

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté différents modèles de représentation du contexte permettant à un système d'information de répondre efficacement à un besoin utilisateur. Parmi ceux-ci et selon les critères de comparaison proposés par Malik (Malik, Jain, 2017), les modèles à base d'ontologie semblent les plus appropriés à répondre à la problématique de la sélection des informations pertinentes dans le processus de confection de cartes. Notre modèle est fondé sur la classification du contexte comprenant les cinq catégories de haut niveau proposées par Sarjakoski (Sarjakoski, Nivala, 2005), ainsi qu'une représentation des événements afférents à un environnement. L'approche présentée dans cet article est en cours de développement et s'appuie sur des ontologies de haut niveau telles que GeoSPARQL, OWL-Time et FOAF pour ne citer qu'elles. L'étape ultérieure consiste à enrichir les ontologies et à formaliser les concepts complexes afin de raisonner sur les axiomes de la base de connaissances. Un raisonnement axiomatique sera probablement insuffisant pour satisfaire notre besoin d'offrir un service contextuel propre à un utilisateur. C'est la raison pour laquelle, nous étudierons en complément, et alternativement au raisonnement axiomatique (pour satisfaire le principe de décidabilité) un raisonnement à base de règles.

Bibliographie

- Abadie N., Mechouche A., Mustière S. (2010). OWL based formalisation of geographic databases specifications. In *Proceedings of the the 17th international conference on knowledge engineering and knowledge management poster and demo track, Lisbon, Portugal*.
- Chen G., Kotz D. (2000). *A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research*. Rapport technique. Hanover, NH, USA.
- Chen H., Finin T. W., Joshi A. (2003). An ontology for context-aware pervasive computing environments. *Knowledge Eng. Review*, vol. 18, p. 197-207.
- Chen H., Perich F., Finin T., Joshi A. (2004, Aug). Soupa: standard ontology for ubiquitous and pervasive applications. In *The first annual international conference on mobile and ubiquitous systems: Networking and services*, p. 258-267.

- Dey A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, vol. 1, n° 5, p. 4–7.
- Dolbear C., Goodwin J. (2007, 01). Position paper on expressing relational data as rdf. *W3C Workshop on RDF Access to Relational Databases*, p. 25–26.
- Goodwin J., Dolbear C., Hart G. (2008). Geographical linked data: The administrative geography of great britain on the semantic web. *Transactions in GIS*, vol. 12, p. 19–30.
- Gould N. (2012, 09). An ontological approach to on-demand mapping. In *15th ICA generalisation workshop, Istanbul, Turkey*.
- Green D. (2010). *Coastal and marine geospatial technologies*. New York, Springer.
- Kovacs K., Dolbear C., Goodwin J. (2007, 01). Spatial concepts and OWL issues in a topographic ontology framework. *Geographical Information Science Research Conference, Maynooth, Ireland*.
- Malik S., Jain S. (2017, June). Ontology based context aware model. In *2017 international conference on computational intelligence in data science (ICCIDS)*, p. 1–6.
- Nivala A., Sarjakoski L. T. (2003). Need for context-aware topographic maps in mobile devices. In *ScanGIS'2003 - the 9th scandinavian research conference on geographical information science, 4-6 june 2003, Espoo, Finland*, p. 15–29.
- Qin W., Shi Y., Suo Y. (2007, Dec). Ontology-based context-aware middleware for smart spaces. *Tsinghua Science and Technology*, vol. 12, n° 6, p. 707–713.
- Sarjakoski L. T., Nivala A.-M. (2005). Adaptation to context — a way to improve the usability of mobile maps. In L. Meng, T. Reichenbacher, A. Zipf (Eds.), *Map-based mobile services: Theories, methods and implementations*, p. 107–123. Springer Berlin Heidelberg.
- Sarjakoski L. T., Sarjakoski T. (2008). User interfaces and adaptive maps. In S. Shekhar, H. Xiong (Eds.), *Encyclopedia of gis*, p. 1205–1212. Springer US.
- Schilit B., Adams N., Want R. (1994, Dec). Context-aware computing applications. In *1994 first workshop on mobile computing systems and applications*, p. 85–90.
- Schilit B., Theimer M. (1994). Disseminating active map informations to mobile hosts. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Networks.*, vol. 5, p. 2232–2242.
- Strang T., Linnhoff-Popien C. (2004). A context modeling survey. In *Workshop on advanced context modelling, reasoning and management, ubicomp 2004 - the sixth international conference on ubiquitous computing, Nottingham, England*.
- Wang X. H., Zhang D. Q., Gu T., Pung H. K. (2004, March). Ontology based context modeling and reasoning using OWL. In *Proceedings of the second IEEE annual conference on pervasive computing and communications workshops*, p. 18–22.
- Xu N., Zhang W. S., Yang H. D., Zhang X. G., Xing X. (2013, 10). CACOnt: A Ontology-Based Model for Context Modeling and Reasoning. In *Instruments, measurement, electronics and information engineering*, vol. 347, p. 2304–2310. Trans Tech Publications Ltd.