
Alignement interactif d'ontologies avec ServOMap

Mahamadi Savadogo * — **Borlli Michel Jonas Some *** — **Gayo Diallo ****

** Université Polytechnique de Bobo Dioulasso/ Ecole Supérieure d'Informatique / Burkina Faso*

sawmahamadi@gmail.com, borlli.some@tic.gov.bf

*** Université de Bordeaux, Centre INSERM U897*

F-33000, Bordeaux, France

gayo.diallo@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ. La construction d'ontologies ne repose pas sur une technique universelle puisqu'il existe une certaine d'hétérogénéité liée à la syntaxe, à la terminologie utilisée et à la conception. Pour des besoins d'intégration et d'interopérabilité entre les systèmes manipulant ces ontologies, des algorithmes d'identification de correspondances appelées alignement se sont avérés nécessaires. Ces algorithmes pour la plus part ne prennent pas en compte l'intervention d'un utilisateur expert du domaine dans leur processus.

Nous présentons dans cet article une approche qui fait intervenir l'interaction avec l'utilisateur afin de produire un alignement aussi précis que possible et de très bonne qualité. Cette approche a été implémentée dans ServOMap, système d'alignement qui permet de traiter de larges ontologies.

ABSTRACT. Ontology building is not based on a universal technique since there is a certain heterogeneity related to the syntax, terminology and the design. In order to integrate and ensure interoperability between systems based on these ontologies, we need algorithms for the identification of correspondences called alignment. Most of the proposed approaches do not take into account the involvement of domain expert users.

We present in this article an approach which includes an interaction of the user in order to provide high precise and accurate alignment. This approach has been implemented within the ServOMap matching system, which allows processing larges ontologies.

MOTS-CLÉS: ontologie, alignement d'ontologies, alignement interactif d'ontologies.

KEYWORDS: ontology, ontology alignment, interactive ontology alignment.

1. Introduction

La popularisation du Web Sémantique a rendu prégnant les ontologies dans de nombreuses applications. Ces ontologies deviennent de plus en plus larges et complexes, développées par des communautés différentes. C'est notamment le cas dans le domaine biomédical où certaines ontologies peuvent avoir des centaines de milliers d'entités. Dans le souci de faciliter l'interopérabilité au niveau sémantique entre les applications basées sur ces ontologies hétérogènes, plusieurs recherches se sont orientées vers la proposition de méthodes et outils qui permettent d'aligner de manière automatique ces ontologies. Toutefois, les évaluations menées dans le cadre du challenge international Ontology Alignment Evaluation Initiative¹ (OAEI) (Euzenat et al. 2011) montrent que les systèmes entièrement automatisés atteignent une certaine limite en termes de performance, mesurée avec la précision, le rappel et la F-mesure. C'est ainsi que les approches semi-automatiques sont proposées comme une alternative. Elles prennent en compte l'enjeu de l'introduction de l'utilisateur dans le processus d'alignement. Cet aspect est identifié comme un des challenges actuels à relever dans le cadre de l'alignement d'ontologies (Shvaiko and Euzenat 2013). Les résultats obtenus par les systèmes qui ont participé à la nouvelle tâche de OAEI consacrée à l'évaluation de systèmes interactifs d'alignement montrent une amélioration des performances des systèmes participants par rapport aux mêmes systèmes sans interactivité (Cuenca Grau et al. 2013).

Nous proposons dans cet article une approche d'alignement interactif d'ontologies qui prends en compte l'utilisateur dans le déroulement du processus. L'approche a été implémentée sur le système ServOMap, qui est détaillé dans (Ba and Diallo 2013) et (Diallo 2014). ServOMap est un système d'alignement d'ontologies à large échelle pouvant traiter automatiquement et dans un temps réduit des ontologies contenant des centaines de milliers d'entités. Dans l'approche interactive de ServOMap que nous proposons, l'utilisateur peut intervenir dans le processus de mise en correspondances soit en suggérant des correspondances initiales, soit en choisissant des métriques de calcul de similarité et enfin en validant les correspondances candidates générées par le système.

La suite de cet article est subdivisée comme suit. Dans la section 2, nous présentons brièvement le système d'alignement ServOMap, et ce afin de mieux comprendre les améliorations introduites en termes d'interactivité. Une revue de la littérature concernant les systèmes d'alignement interactif est présentée dans la section 3. L'alignement interactif implémenté au sein de ServOMap est décrit dans la section 4. Nous discutons brièvement l'approche proposée dans la section 5 et concluons ce travail en dégageant quelques perspectives dans la section 6.

¹ <http://oaei.ontologymatching.org/>

2. Le système d'alignement ServOMap

Le système ServOMap a été conçu pour pouvoir aligner de manière automatique des ontologies de grandes tailles. Pour cela, il s'appuie sur le serveur d'ontologies ServO qui permet une gestion conjointe et dynamique de plusieurs systèmes d'organisation des connaissances (SOC) en général et des ontologies en particulier (Diallo 2011). ServO utilise un métamodèle générique et des techniques issues de la Recherche d'Information (RI) pour représenter tout SOC à intégrer. Ainsi, grâce à la technique d'indexation de SOC implémentée dans le serveur d'ontologies ServO et la réduction de l'espace de recherche que cela offre, le système ServOMap est capable de traiter de larges SOC dans un temps très limité en calculant des correspondances d'équivalence entre entités. Chaque SOC est vu comme un corpus de documents sémantiques à traiter. Le système ServOMap a participé aux éditions 2012 et 2013 du challenge international OAEI et classé parmi les meilleurs systèmes pour l'alignement de larges ontologies.

2.1. Processus d'alignement avec ServOMap

Le processus d'alignement comprend trois phases : la phase d'initialisation, la phase de calcul des candidats et la phase de post-traitement.

La phase d'initialisation consiste tout d'abord au *chargement des ontologies* à aligner selon le métamodèle de ServO. Pour chaque entité, un document virtuel est généré. Ce document virtuel correspond aux différents éléments de l'entité (uri, termes synonymes selon les différentes langues, etc.). Après le chargement des ontologies, cette phase d'initialisation consiste à la *génération des métadonnées* (comme le nombre d'entités de chaque ontologie, l'identification des différentes langues de la terminologie associée à chaque ontologie) et des différentes données statistiques et enfin l'étape d'*indexation des ontologies* qui applique un ensemble de prétraitement (suppression de mots vides, permutation de mots, etc.) sur les entités.

La seconde phase comprend trois étapes. La 1^{ère} étape consiste au *calcul de la similarité lexicale (ou terminologique)* entre les entités des ontologies à aligner. L'idée est d'exploiter les indexes construits précédemment pour calculer la similarité. Cette étape utilise le modèle vectoriel en RI. Pour établir des seuils de sélection des couples candidats, plusieurs métriques de calcul de distances entre chaînes de caractères sont implémentées (Levenshtein, Jaccard, Monge-Elkam, N-Gram et l'algorithme I-Sub spécialisé dans la comparaison de chaîne pour les ontologies (Stoilos, Stamou, and Kollias 2005)). Les expériences ont montré que cette première étape fournit des résultats très précis. La seconde étape consiste au *calcul de la similarité terminologique étendue* qui exploite des ressources externes comme des lexiques (WordNet par exemple) ou dictionnaires pour trouver des candidats additionnels non trouvés précédemment. Enfin, la dernière étape de la seconde phase consiste au *calcul de la similarité contextuelle*. L'idée est d'exploiter

les couples candidats fournis par la similarité lexicale, jugés très précis, pour trouver des candidats additionnels potentiellement présents dans le voisinage de ces couples. Pour cela, une stratégie basée sur l'apprentissage automatique utilisant les arbres de décision est exploitée (Diallo and Kammoun 2013).

La dernière phase consiste à l'*enrichissement* de l'ensemble des couples résultats, à la *vérification de la cohérence logique* de cet ensemble et enfin la *sélection des meilleurs couples* candidats.

ServOMap dispose d'une version démo Web librement accessible en ligne².

2.2. Limites du système et besoin en interactivité

Comme décrit précédemment, le fonctionnement du système ServOMap est entièrement automatique. Cependant plusieurs étapes peuvent bénéficier d'une intervention humaine afin de produire des résultats de meilleure qualité. Par exemple, si les ontologies en entrée ne présentent pas suffisamment de similarité terminologique, les résultats du système se trouvent affectés. Ainsi, à défaut d'une disponibilité d'un alignement partiel initial, une intervention humaine peut proposer un ensemble d'alignement de départ pour le calcul de la similarité contextuelle. De même, au lieu d'une sélection uniquement automatique des meilleurs couples candidats, une validation humaine sur certains couples peut améliorer la qualité des résultats en augmentant le taux de rappel sans perdre en précision. C'est le but du présent travail.

3. Alignement interactif d'ontologies

La réflexion sur l'alignement interactif a émergé après le constat que les recherches sur les outils d'alignement d'ontologies s'étaient focalisées exclusivement sur la proposition de méthodes et outils d'alignement entièrement automatiques. Une étude des résultats obtenus par les systèmes d'alignement qui ont régulièrement participé au challenge OAEI a montré qu'il existe une limite, en termes de qualité de l'alignement, difficile à dépasser par les systèmes d'alignement automatiques d'ontologies (Paulheim, Hertling, and Ritze 2013). Falconer et Noy (Falconer and Noy 2011) avaient identifié plus tôt la nécessité d'incorporer l'utilisateur dans le processus d'alignement, et ce afin d'examiner les appariements candidats proposés et de valider ceux qui sont corrects et de proposer des correspondances supplémentaires que le système n'aurait pas trouvées. L'alignement devient ainsi semi-automatique car il combine des algorithmes d'alignement automatique et l'expertise des experts du domaine étudié. L'enjeu est de fournir un alignement de qualité avec un minimum d'interaction avec l'utilisateur.

² <http://lesim.isped.u-bordeaux2.fr/ServOWeb/>

Différents mécanismes d'interaction sont proposés durant le processus d'alignement. L'interaction peut se limiter au début du processus en se limitant au choix des paramètres de configuration du système. Elle peut également concerner le choix des métriques (Ritze and Paulheim 2011)(Hamdi et al. 2010). D'autres approches préconisent que l'expert propose une première liste d'exemples de correspondances et de non correspondances (To, Ichise, and Le 2009).

A l'inverse de ces stratégies, l'interaction peut concerner la correction des correspondances candidates (Severo, Trojahn, and Vieira 2014), leur validation (Shi et al. 2009) ou l'évaluation de l'alignement créé. La validation des correspondances candidates peut se faire de manière interactive (Jiménez-Ruiz et al. 2012). Cette validation peut également se faire de manière automatique lorsqu'un alignement de référence partiel est disponible. Cette stratégie a été implémentée par les systèmes qui ont participé à la tâche dédiée à l'alignement interactif du challenge OAEI dans son édition 2013 (Faria et al. 2013).

L'approche de (Lambrix and Kaliyaperumal 2013) intègre la plupart des stratégies mentionnées ci-dessus. Elle est basée sur l'exploitation des sessions

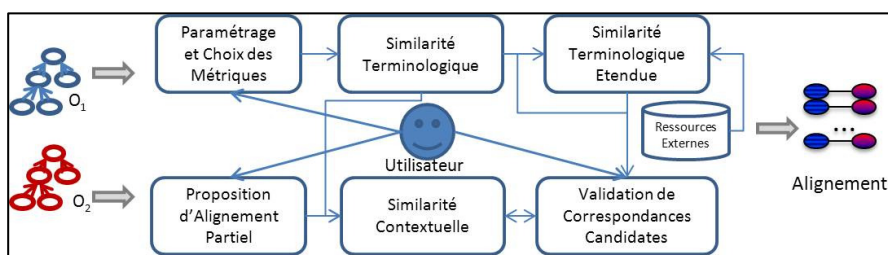


Figure 1: Alignement interactif avec ServOMap

utilisateur pour aligner des larges ontologies. Dans cette approche, qui étend celle implémentée dans le système SAMBO (Chen, Tan, and Lambrix 2006) grâce à une interface utilisateur dédiée, l'utilisateur est intégré à plusieurs niveaux du processus. Au début du processus, l'utilisateur commence par une nouvelle session ou en chargeant une précédemment stockée. Une base de données est utilisée pour gérer les informations sur les sessions. Dans cette première phase, l'utilisateur fournit les différents paramètres à utiliser pour l'alignement. Si un alignement partiel est disponible, les ontologies en entrée sont au préalable partitionnées en se basant sur cet alignement. Plusieurs algorithmes d'alignement peuvent être sélectionnés dont les résultats sont combinés par la suite selon le choix de l'utilisateur. Une phase de validation permet à l'utilisateur de valider les correspondances candidates proposées. Enfin, une phase dite de recommandation est lancée afin de proposer la meilleure configuration (stratégie de combinaison d'algorithmes, choix des seuils, etc.) à utiliser pour les deux ontologies en entrée. Les résultats sur la recommandation sont stockés dans une base dédiée.

Parmi les approches mentionnées, seule celle de (Jiménez-Ruiz et al. 2012) a été évaluée dans le cadre de l’alignement de larges ontologies.

4. Alignement interactif avec ServOMap

Dans cette section nous détaillons le processus d’alignement interactif tel que mis en œuvre au sein du système ServOMap.

4.1. Prise en compte de l’interaction avec l’utilisateur

Comme décrit en introduction, l’approche définie ici intègre l’utilisateur à plusieurs niveaux du processus d’alignement. L’approche proposée est présentée dans la Figure 1. En entrée du processus nous avons les deux ontologies à aligner. En sortie est fourni un alignement qui a été validé. L’utilisateur intervient sur le résultat de chaque étape de calcul de similarité et sur la mise à disposition des résultats intermédiaires par le système. Les étapes de calcul de similarité comprennent les trois étapes de similarité lexicale ou terminologique, de la similarité terminologique étendue et de la similarité contextuelle. Le calcul de la similarité lexicale ou terminologique permet d’obtenir des couples candidats très précis, qui sont par la suite utilisés comme base d’apprentissage pour effectuer le calcul de la similarité contextuelle. La possibilité est fournie à l’utilisateur de pouvoir proposer avant la similarité contextuelle, un alignement partiel qui peut jouer le rôle de cette base d’apprentissage. La similarité terminologique étendue utilise des ressources de connaissances externes, actuellement la base lexicale WordNet.

Nous détaillons ci-dessous les étapes dans lesquelles l’utilisateur intervient dans le processus.

4.1.1. Paramétrage du système

Lors du paramétrage du système, l’utilisateur détermine les configurations à utiliser pour le processus d’alignement en cours. Comme ServOMap utilise des techniques d’indexation pour la réduction de l’espace de recherche et le gain en temps de calcul, l’utilisateur fournit les paramètres d’indexation. Ainsi, on indique si l’alignement en cours doit inclure les concepts, propriétés ou instances de l’ontologie. Ou encore quels éléments (labels, commentaires, etc.) des entités à aligner faut-il inclure dans le calcul de similarité. De même, on fournit le seuil de sélection des couples candidats, la stratégie d’indexation des ontologies en entrée (construire un index pour chaque ontologie et effectuer des recherches croisées par la suite ou indexer la plus large ontologie et utiliser les éléments de la seconde comme critère de recherche).

Enfin, dans le souci de rendre le système flexible, la possibilité est donnée de faire un choix entre le processus interactif de validation des couples résultats et/ou le processus automatique (avec un alignement partiel de référence par exemple).

4.1.2. Choix des métriques

ServOMap implémente plusieurs mesures de similarité pour la comparaison de chaînes de caractères. L'utilisateur dispose ainsi d'un moyen pour choisir les mesures de similarité à utiliser durant le processus d'alignement. Si plusieurs mesures ont été choisies, elles seront combinées selon une stratégie prédéterminée. L'utilisateur peut également définir à ce niveau les seuils minimaux et maximaux de fiabilité (entre 0 et 1, 0 pas de correspondances et 1 pour correspondance exacte) pour la proposition des candidats à valider manuellement. Nous avons adopté le principe du double seuillage (Chen, Tan, and Lambrix 2006). Ainsi, tous les couples dont la valeur de similarité tend vers le seuil minimal seront proposés plus tard par le système à l'utilisateur pour aider le système à décider.

4.1.3. Proposition d'un alignement partiel

L'utilisateur a la possibilité de proposer un ensemble de correspondances initiales avant l'exécution du processus de calcul de similarité par le système. C'est notamment le cas avant l'étape de calcul de la similarité contextuelle où un ensemble d'apprentissage est nécessaire pour effectuer la génération de couples candidats selon le contexte. C'est également le cas lorsque les correspondances sont jugées suffisamment complexes et peu évidentes pour être identifiées de manière automatique. L'utilisateur saisit alors, lors de cette étape de proposition, un ensemble de correspondances qui seront réutilisées durant le processus.

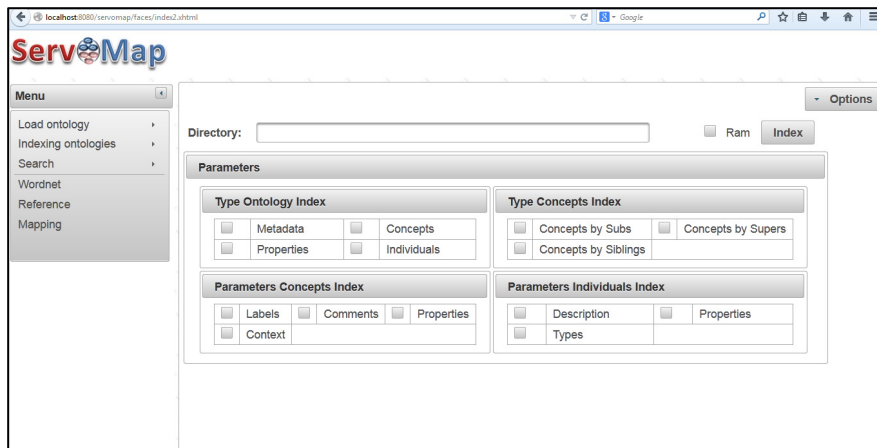


Figure 2: Paramétrage de la stratégie d'indexation

4.1.4. Validation des correspondances candidates

La validation dans notre cas est l'étape à laquelle le système est face à un ensemble de couples candidats dont il ne peut décider de leur exactitude et fait donc appel à l'utilisateur. Le système sélectionne tous les couples qu'il juge douteux selon le niveau de fiabilité défini par l'utilisateur précédemment en vue d'une validation manuelle. Comme la Figure 1 le montre, la validation peut s'effectuer après chaque étape de calcul de similarité.

Les couples jugés correctes par l'utilisateur sont réinjectés dans le processus d'alignement de manière itérative jusqu'à épuisement de couples candidats générés et qui sont potentiellement douteux.

A tout moment, l'utilisateur, après une série de validation, peut mettre fin au processus interactif et passer à l'évaluation de la qualité des résultats de l'alignement produit.

4.2. Prototype Implémenté

Nous avons implémenté un prototype qui tient compte de la description du processus ci-dessus. C'est une version Web du système ServOMap développé en JAVA et qui tourne sur un serveur d'applications Tomcat (version 8) d'Apache³.

Nous décrivons brièvement dans cette section les différents composants du prototype, qui implémente les étapes décrites précédemment.

La Figure 2 présente l'interface de paramétrage du système pour l'indexation des ontologies en entrée. L'utilisateur a la possibilité d'indiquer pour chaque ontologie en entrée le type d'indexation (métadonnées, concepts, propriétés, instances) à effectuer et les éléments à prendre en compte (labels, commentaires, etc.) selon le type d'entité. En préalable à l'indexation, lors du chargement, le système indique après chaque ontologie chargée, une synthèse des données essentielles la concernant : nombre de concepts, de propriétés, etc.

L'interface du choix des mesures de similarité et le paramétrage des seuils inférieur et supérieur est présentée par la Figure 3. Le panneau de choix est présenté à l'utilisateur lorsque ce dernier choisit l'option de l'alignement interactif.

La Figure présente l'interface pour la validation des couples candidats. Tous les couples qui sont dans l'intervalle compris entre les deux seuils de filtrage choisi par l'utilisateur sont listés afin d'une validation manuelle. Ceux qui auront été validés sont réinjectés dans le processus.

³ <http://tomcat.apache.org/>

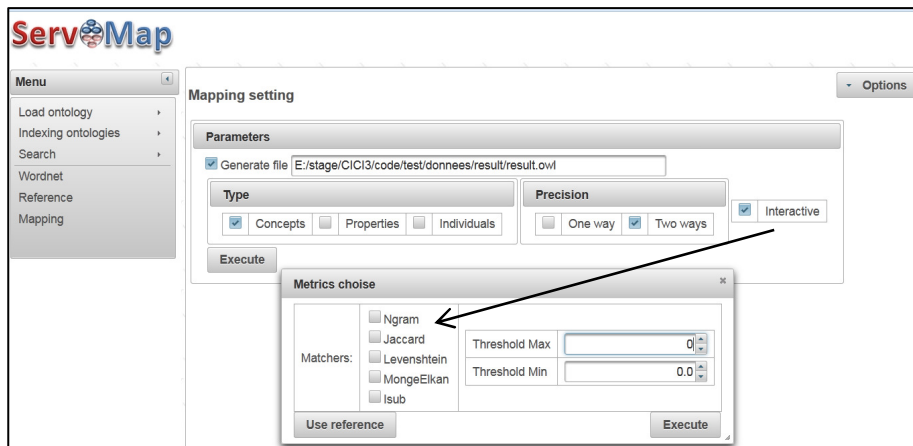


Figure 3: Choix des mesures de similarité et paramétrage du double seuillage

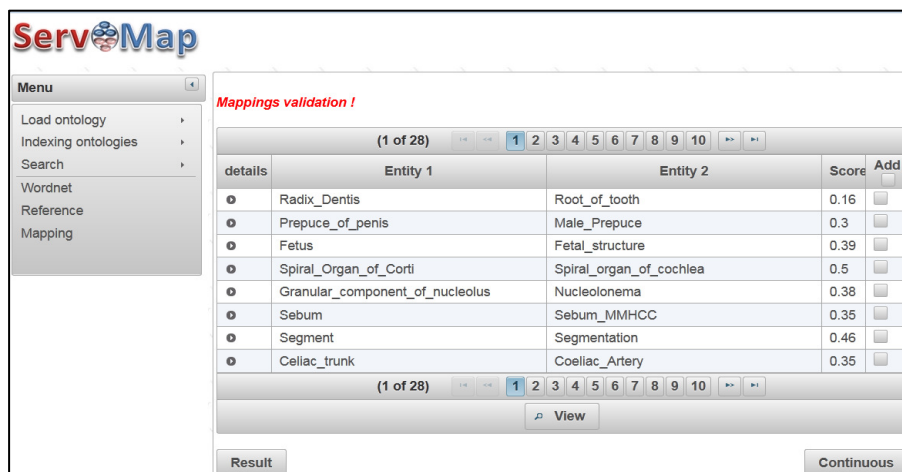


Figure 4: Présentation des couples candidat douteux, pour validation

5. Discussion

La prise en compte de l'interactivité dans le processus de mise en correspondance d'entités est identifiée comme un des challenges à relever dans le domaine de l'alignement d'ontologies. Si le domaine de l'alignement a fait l'objet de nombreux travaux (voir (Kalfoglou and Schorlemmer 2003)(Shvaiko and Euzenat 2013)(Rahm and Bernstein 2001) pour un état de l'art détaillé), l'alignement interactif est encore peu exploré, en particulier dans le cadre de systèmes

d'alignement à large échelle d'ontologies (Lambrix and Kaliyaperumal 2013) (Jiménez-Ruiz et al. 2012).

Nous avons implémenté une approche interactive d'ontologies à travers une application Web pour faire évoluer le système d'alignement à large échelle ServOMap. Cette application Web fournit une interface conviviale à l'utilisateur pour faciliter son intervention lors du processus. Le système présenté dans (Jiménez-Ruiz et al. 2012) permet de simuler l'interactivité avec l'utilisateur grâce à des heuristiques mais n'offre pas d'interface utilisateur. De ce point de vu, notre système est proche de celui décrit dans (Lambrix and Kaliyaperumal 2013) qui est basé sur les sessions utilisateur. Contrairement à cette dernière, notre système interactif a été testé avec de larges ontologies. Cependant, il ne permet pas actuellement de réutiliser les résultats d'une session interactive à une autre grâce à la sauvegarde des

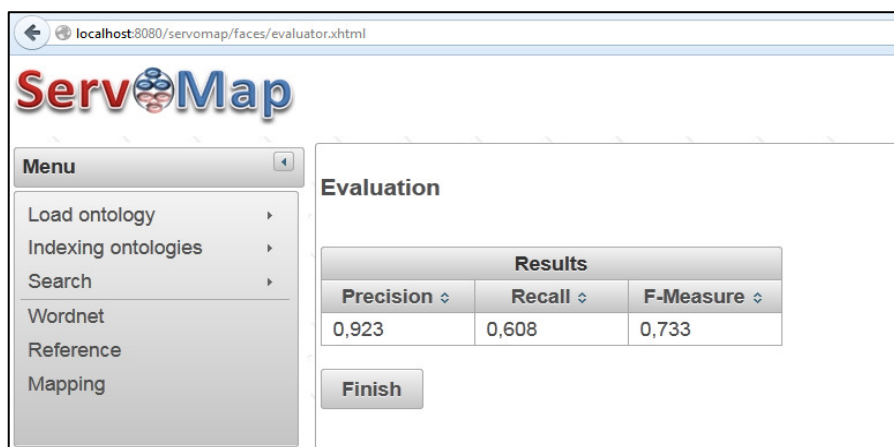


Figure 5: *Evaluation de la qualité de l'alignement*

sessions utilisateur.

Le système interactif a été testé avec des ontologies issues du benchmark fourni par le challenge OAEI 2012. Deux ontologies du track LargeBio consistant à aligner les petits fragments de la FMA (3,696 concepts) et du NCI thesaurus (6,488 concepts) ont été alignées avec un gain en rappel de 15%.

Toutefois, l'évaluation préliminaire de l'interface montre quelques limites de cette version préliminaire. C'est le cas notamment de la présentation des couples candidats pour une validation utilisateur. Le résultat actuel est fourni dans un tableau qui ne semble pas approprié dans le cas d'un nombre élevé de couples candidats.

6. Conclusion et perspectives

Nous avons introduit dans cet article la prise en compte de l'interactivité avec l'utilisateur dans le processus d'alignement tel que mise en œuvre dans le système ServOMap. L'algorithme de validation itérative et l'interface utilisateur implémentée permettent de fournir des résultats de meilleure qualité en améliorant le rappel sans perdre en précision. Une interface utilisateur, implémentant l'approche et fonctionnant sur une version Web est rendue disponible pour le système ServOMap.

Comme perspectives, nous envisageons une évaluation plus complète de l'approche implémentée sur le jeu de données dédié aux larges ontologies du benchmark OAEI. Aussi, l'interface utilisateur actuelle, pour la validation des couples candidats, permet de faire intervenir l'utilisateur. Cependant, elle mérite d'être améliorée, notamment pour une meilleure convivialité, concernant la manipulation de résultats contenant de milliers de couples candidats. Pour cela, nous comptons investiguer des techniques de visualisation innovante de larges données.

7. Bibliographie

- Ba, Mouhamadou., and Gayo Diallo. 2013. "Large-Scale Biomedical Ontology Matching with ServOMap." *IRBM* 34 (1): 56 – 59.
- Chen, Bi, He Tan, and Patrick Lambrix. 2006. "Structure-Based Filtering for Ontology Alignment." In *Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 2006. WETICE'06. 15th IEEE International Workshops on*, 364–69.
- Cuenca Grau, Bernardo, Zlatan Dragisic, Kai Eckert, Jérôme Euzenat, Alfio Ferrara, Roger Granada, Valentina Ivanova, et al. 2013. "Results of the Ontology Alignment Evaluation Initiative 2013." In *Proc. 8th ISWC workshop on ontology matching (OM)*, 61–100. Sydney, Australie:
- Diallo, Gayo. 2011. "Efficient Building of Local Repository of Distributed Ontologies." In *IEEE Proc. of SITIS'2011*, pp:159–66.
- Diallo, Gayo, and Amal Kammoun. 2013. "Towards Learning Based Strategy for Improving the Recall of the ServOMap Matching System." In *CEUR-WS Proceeding of SWAT4LS'2013*, vol- 1114.
- Diallo, Gayo 2014. "Effective Method of Large Scale Ontology Matching." *Journal. of Biomedical Semantics*. To appear.
- Euzenat, Jérôme, Christian Meilicke, Heiner Stuckenschmidt, Pavel Shvaiko, and Cássia Trojahn dos Santos. 2011. "Ontology Alignment Evaluation Initiative: Six Years of Experience." *J. Data Semantics* 15: 158–92.
- Falconer, Sean M., and Natalya Fridman Noy. 2011. "Interactive Techniques to Support Ontology Matching." In *Schema Matching and Mapping*, 29–51.
- Faria, Daniel, Catia Pesquita, Emanuel Santos, Isabel F Cruz, and Francisco M. Couto. 2013. "AgreementMakerLight Results for OAEI 2013." In *CEUR Workshop Proc. OM'2013*, vol. 1111:101–8.

- Hamdi, Fayçal, Brigitte Safar, Nobal B. Niraula, and Chantal Reynaud. 2010. "TaxoMap Alignment and Refinement Modules: Results for OAEI 2010." In *Proceedings of OM'2010*.
- Jiménez-Ruiz, Ernesto, Bernardo Cuenca Grau, Yujiao Zhou, and Ian Horrocks. 2012. "Large-Scale Interactive Ontology Matching: Algorithms and Implementation." In *Proceedings of ECAI'2012*, 444–49.
- Kalfoglou, Yannis, and Marco Schorlemmer. 2003. "Ontology Mapping: The State of the Art." *The Knowledge Engineering Review* 18 (1): 1–31.
- Lambrix, Patrick, and Rajaram Kaliyaperumal. 2013. "A Session-Based Approach for Aligning Large Ontologies." In *The Semantic Web: Semantics and Big Data*, edited by Philipp Cimiano, Oscar Corcho, Valentina Presutti, Laura Hollink, and Sebastian Rudolph, 7882:46–60. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg.
- Paulheim, Heiko, Sven Hertling, and Dominique Ritze. 2013. "Towards Evaluating Interactive Ontology Matching Tools." In *The Semantic Web: Semantics and Big Data*, edited by Philipp Cimiano, Oscar Corcho, Valentina Presutti, Laura Hollink, and Sebastian Rudolph, 7882:31–45. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg..
- Rahm, Erhard, and Philip A. Bernstein. 2001. "A Survey of Approaches to Automatic Schema Matching." *The VLDB Journal* 10 (4): 334-350.
- Ritze, Dominique, and Heiko Paulheim. 2011. "Towards an Automatic Parameterization of Ontology Matching Tools Based on Example Mappings." In Vol. 814. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org).
- Severo, Bernardo, Cassia Trojahn, and Renata Vieira. 2014. "VOAR: A Visual and Integrated Ontology Alignment Environment." In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, edited by Nicoletta Calzolari (Conference Chair), Khalid Choukri, Thierry Declerck, Hrafn Loftsson, Bente Maegaard, Joseph Mariani, Asuncion Moreno, Jan Odijk, and Stelios Piperidis. Reykjavik, Iceland: European Language Resources Association (ELRA).
- Shi, Feng, Juanzi Li, Jie Tang, Guotong Xie, and Hanyu Li. 2009. "Actively Learning Ontology Matching via User Interaction." In *The Semantic Web - ISWC 2009*, edited by Abraham Bernstein, David R. Karger, Tom Heath, Lee Feigenbaum, Diana Maynard, Enrico Motta, and Krishnaprasad Thirunarayan, 5823:585–600. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04930-9_37.
- Shvaiko, Pavel, and Jerome Euzenat. 2013. "Ontology Matching: State of the Art and Future Challenges." *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 25 (1): 158–76.
- Stoilos, Giorgos, Giorgos Stamou, and Stefanos Kollias. 2005. "A String Metric for Ontology Alignment." In *Proceedings of the Int. Semantic Web Conference (ISWC 05)*, edited by Y. Gil, 3729:624–37. LNCS. Springer-Verlag.
- To, Hoai-Viet, Ryutaro Ichise, and Hoai-Bac Le. 2009. "An Adaptive Machine Learning Framework with User Interaction for Ontology Matching." In *Proc. Workshop on Information Integration on the Web*. pp :35–40