

Αναγωγή Προφίλ Μεταδεδομένων Dublin Core σε Λογικές Περιγραφές

Δρ. Δημήτριος Α. Κουτσομητρόπουλος (kotsomit@hpclab.ceid.upatras.gr)

Εργαστήριο Πληροφοριακών Συστημάτων Υψηλών Επιδόσεων

Νοέμβριος 2008

Στην αναφορά αυτή εξηγείται πώς σχετίζονται τα παραδοσιακά προφίλ μεταδεδομένων εφαρμογής (metadata application profiles) με τις οντολογίες Ιστού και τις Λογικές Περιγραφές. Δείχνεται ότι τα προφίλ μεταδεδομένων μπορούν να αναχθούν σε Λογικές Περιγραφές και αποδεικνύεται παραδόξως ότι η OWL (2) με την τρέχουσα εκφραστικότητα, δεν επαρκεί για το σκοπό αυτό.

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της πρόσφατης πρότασης για αναπαράσταση προφίλ μεταδεδομένων μέσω της έννοιας των Προφίλ Συνόλων Περιγραφών (DSP) και βάσει του XML Schema, όπου τονίζεται η σκοπιμότητα μιας αντίστοιχης αναπαράστασης και με χρήση οντολογικών γλωσσών. Στη συνέχεια εισάγεται η αναγωγή των DSP σε Λογικές Περιγραφές και συζητούνται τα εκφραστικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται, καθώς και η επιβάρυνση που επιφέρουν στην πολυπλοκότητα του συλλογισμού.

1. Σκοπός και αναγκαιότητα

Η ανάγκη της ύπαρξης ενός συνεπούς πλαισίου για την ανάπτυξη προφίλ εφαρμογής έχει επίσης αναγνωριστεί και από το ίδιο το DCMI. Ύστερα από το συνέδριο DC 2007, το επονομαζόμενο «Πλαίσιο της Σιγκαπούρης» για την ανάπτυξη προφίλ μεταδεδομένων εφαρμογής που βασίζονται στο DC εισήχθη στο (Nilsson, Baker, & Johnston, 2008). Βασισμένο σε έννοιες του DCAM, το πλαίσιο της Σιγκαπούρης έχει ως κύρια προτεραιότητα την ανάπτυξη μιας γλώσσας περιορισμών, όπως ακριβώς ένα XML Schema, που θα καθορίζει και τυπικά τι είδους ιδιότητες (πιθανώς προερχόμενες από διαφορετικά πρότυπα) συμπεριλαμβάνονται στο εν λόγω προφίλ και τι είδους τιμές είναι κατάλληλες για αυτές τις ιδιότητες, που πιθανώς να περιορίζονται από συγκεκριμένα συντακτικά και λεξιλογικά σχήματα κωδικοποίησης. Ο στόχος ενός τέτοιου Προφίλ Συνόλων Περιγραφών (DSP) (Nilsson, 2008) είναι να προσδιορίζει εκείνες τις εγγραφές μεταδεδομένων που ταιριάζουν (ή συμμορφώνονται) προς το συγκεκριμένο DSP. Αυτό σημαίνει ότι η γλώσσα για την έκφραση των DSP μπορεί πρωτίστως να χρησιμοποιηθεί για την έκφραση των δομικών και συντακτικών περιορισμών που επιβάλλει ένα προφίλ εφαρμογής, αφήνοντας εκτός εμβέλειας τη σημασιακή διαλειτουργικότητα. Εξάλλου, όπως αναφέρεται στο Πλαίσιο της Σιγκαπούρης:

«Είναι σημαντικό να αντιληφθεί κανείς ότι η σημασιολογία των όρων που χρησιμοποιούνται στα προφίλ εφαρμογής φέρεται από τους ορισμούς τους, που είναι ανεξάρτητοι από το προφίλ εφαρμογής [...]. Η σημασιακή διαλειτουργικότητα παρέχεται από την ορθή χρήση των όρων που ορίζονται σε ένα ή περισσότερα λεξιλόγια και τα

προφίλ εφαρμογής υπάρχουν για να παρέχουν υψηλού επιπέδου συντακτική ή δομική διαλειτουργικότητα...»

Έχει δειχθεί αλλού (Koutsomitropoulos, Paloukis, & Papatheodorou, 2007) ότι ο παραπάνω ισχυρισμός δεν ισχύει στην περίπτωση των σημασιακών προφίλ (semantic profiles) και επίσης ότι η σημασιακή προσαρμογή (semantic profiling) εκλεπτύνει τη σημασιολογία των όρων και οδηγεί προς τη σημασιακή διαλειτουργικότητα. Περαιτέρω, και παρά την υλοποίηση της γλώσσας DSP σε ένα XML Schema (Nilsson, 2008), μπορεί να θεωρηθεί ότι η έκφρασή της σε γλώσσα συμβατή με το RDF είναι καταλληλότερη, δεδομένων και των πρόσφατων υλοποιήσεων του DC σε RDF(S), αλλά και της οντολογίας DC σε OWL (Koutsomitropoulos, Solomou, & Papatheodorou, 2008).

2. Η διαδικασία της αναγωγής

Αρχικά παρατηρούμε ότι οι δομικοί περιορισμοί, όπως οι επιτρεπόμενες τιμές και οι τύποι των πόρων, έχουν την αντιστοιχία τους στους περιορισμούς πεδίου ορισμού και πεδίου τιμών του RDFS. Επίσης η έννοια των *επιτρεπόμενων ιδιοτήτων* (allowed properties) μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:

Βασικό δομικό στοιχείο ενός DSP είναι το *πρότυπο περιγραφής* (description template). Ένα DSP μπορεί να περιλαμβάνει πολλά τέτοια πρότυπα. Ένα πρότυπο περιγραφής αντιστοιχεί στην περιγραφή πόρων ενός συγκεκριμένου τύπου (π.χ. items, persons...) και ορίζει περιορισμούς πάνω στο σύνολο των ιδιοτήτων που αφορούν το συγκεκριμένο τύπο πόρων (είναι δηλαδή στο πεδίο ορισμού τους). Οι περιορισμοί σε μια ιδιότητα εκφράζονται μέσω του *προτύπου δήλωσης* (statement template) και άρα ένα πρότυπο περιγραφής μπορεί να έχει πολλά πρότυπα δήλωσης.

Ένα πρότυπο περιγραφής μπορεί επομένως να ειπωθεί ως μία μόνο ιδιότητα, που διαμερίζεται στο σύνολο των επιτρεπόμενων ιδιοτήτων (δηλαδή μια *ν-αδική* ιδιότητα). Ένας τρόπος για τον ορισμό τέτοιων ν-αδικών ιδιοτήτων δίνεται στο (Noy & Rector, 2006). Για κάθε πρότυπο περιγραφής μπορεί να οριστεί μια κλάση *Description_ID*. Στη συνέχεια, για κάθε επιτρεπόμενη ιδιότητα P_1, \dots, P_n :

$$Description_ID \sqsubseteq \exists P_1.range_1 \sqcap \dots \sqcap \exists P_n.range_n \quad (1)$$

Το παραπάνω εκφράζει τον περιορισμό ότι κάθε στιγμιότυπο του *Description_ID* έχει τουλάχιστον μία σχέση, διαμέσου των P_1, \dots, P_n με ένα στιγμιότυπο από το κατάλληλο πεδίο τιμών (*range*). Για να εκφραστεί ο περιορισμός ότι οι P_1, \dots, P_n μπορούν να συσχετίζονται τα στιγμιότυπα του *Description_ID* μόνο με τα κατάλληλα πεδία τιμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθολική ποσοτικοποίηση:

$$Description_ID \sqsubseteq \forall P_1.range_1 \sqcap \dots \sqcap \forall P_n.range_n \quad (2)$$

Περιορισμοί που αφορούν το πλήθος των επιτρεπόμενων πληρωτών για κάθε ιδιότητα μπορούν να αναπαρασταθούν με ανάλογο τρόπο, χρησιμοποιώντας προσδιορισμένους περιορισμούς αριθμού, αντικαθιστώντας έτσι τους (πιο γενικούς) υπαρξιακούς περιορισμούς.

Για να φανεί ότι οι παραπάνω εκφράσεις είναι επίσης και ικανές (όχι μόνο αναγκαίες), έστω ότι $x \in Description_ID$ και $P_k(x, y)$, όπου $1 \leq k \leq n$ και το y δεν ανήκει στο επιτρεπόμενο

πεδίο τιμών. Τότε, λόγω (2), η οντολογία καθίσταται ασυνεπής, αφού το y πρέπει να ανήκει στο κατάλληλο για την P_k πεδίο τιμών. Επίσης, λόγω (1), το x πρέπει να έχει (αν και μπορεί να μην έχουν δηλωθεί ακόμα) άλλες $n-1$ σχέσεις, μέσα από τις επιτρεπόμενες ιδιότητες.

Η έκφραση του γεγονότος ότι οι P_1, \dots, P_n είναι οι *μόνες* ιδιότητες που επιτρέπονται είναι κάπως πιο περίτεχνη. Αυτό που χρειάζεται είναι η δυνατότητα έκφρασης του αξιώματος *τομής* και *συμπληρώματος* ρόλων. Η OWL 2 επιτρέπει ξένους ρόλους, αλλά όχι και τομές ρόλων εν γένει. Έστω U ο καθολικός ρόλος, δηλαδή ο γονέας όλων των ρόλων. Ισχύει ότι:

$$\exists P_1.range_1 \sqcup \dots \sqcup \exists P_n.range_n \sqsubseteq \exists U.T$$

Θέλουμε να εκφράσουμε ότι οι κλάσεις $\exists P_m.range_m$, για κάθε m διαφορετικό από $1 \dots n$, δεν επιτρέπονται μέσα στο *Description_ID*. Αν έχουμε στη διάθεσή μας τομή και συμπλήρωμα ρόλων, το σύνολο των μη επιτρεπόμενων ιδιοτήτων μπορεί να συμβολιστεί ως:

$$U \sqcap \neg(P_1 \sqcup \dots \sqcup P_n)$$

Το *Description_ID* θα πρέπει να μην περιλαμβάνει στιγμιότυπα τα οποία να σχετίζονται με άλλα μέσω των μη επιτρεπόμενων ιδιοτήτων. Δηλαδή:

$$Description_ID \sqcap \exists(U \sqcap \neg(P_1 \sqcup \dots \sqcup P_n)).T \equiv \emptyset$$

3. Εκφραστικά χαρακτηριστικά και πολυπλοκότητα

Καταλήγουμε λοιπόν ότι για την έκφραση των DSP απαιτείται η διαθεσιμότητα των τριών λογικών τελεστών (ένωση, τομή, συμπλήρωμα) και σε εκφράσεις ή τουλάχιστον μόνο σε ονόματα ρόλων, κανένας από τους οποίους δεν είναι διαθέσιμος στην OWL 2. Επίσης απαιτείται η ύπαρξη προσδιορισμένων περιορισμών αριθμού (το Q στην ονοματολογία) που δεν υπάρχει στην OWL DL, ενώ ο καθολικός ρόλος μπορεί και να απαλειφθεί.

Οι Lutz και Sattler (Lutz & Sattler, 2000) δείχνουν ότι η Λογική Περιγραφής *ALC* (\sqcup, \sqcap, \neg) δηλαδή η βασική λογική *ALC* με λογικούς τελεστές στους ρόλους ανήκει στην κλάση πολυπλοκότητας *NEXP*. Επίσης, στο (Tobies, 2001), δείχνεται ότι η Λογική Περιγραφής *ALCIQ* (\sqcup, \sqcap, \neg), δηλαδή η προηγούμενη λογική εκτεταμένη με προσδιορισμένους περιορισμούς αριθμού και αντίστροφους ρόλους, η οποία επαρκεί για την έκφραση DSP, αλλά δεν αντιστοιχεί σε κάποια οντολογική γλώσσα, είναι *NEXP-complete*.

Με τον περιορισμό ότι οι εκφράσεις ρόλων, αν μετασχηματιστούν σε *Διαζευγμένη Κανονική Μορφή* (Disjunctive Normal Form, DNF, δηλαδή σε ένωση τομών), θα πρέπει σε κάθε στοιχείο της διάζευξης (ένωσης) να έχουν τουλάχιστον ένα μη αρνητικό σκέλος, η λογική αυτή γίνεται *PSpace-complete*. Για παράδειγμα, η έκφραση $\neg(P_1 \sqcup \dots \sqcup P_n)$ σε DNF γράφεται $\neg P_1 \sqcap \dots \sqcap \neg P_n$ που αποτελείται από ένα μόνο στοιχείο διάζευξης το οποίο δεν έχει κανένα μη αρνητικό σκέλος, εκτός αν χρησιμοποιηθεί ο καθολικός ρόλος.

Ακόμη, οι Schmidt και Tishkovsky (Schmidt & Tishkovsky, 2007) δείχνουν ότι η Λογική Περιγραφής *ALBO*, δηλαδή η βασική λογική *ALC*, εκτεταμένη με ένωση και συμπλήρωμα ρόλων, αντίστροφους ρόλους και ονοματικά είναι *NEXP-complete* (η τομή δεν αναφέρεται γιατί $P \sqcap R \equiv \neg(\neg P \sqcup \neg R)$, όπου P, R ονόματα ρόλων) και υλοποιούν αντίστοιχο αλγόριθμο ταμπλό. Αναφέρουν επίσης ότι η εφαρμογή συμπληρώματος πάνω σε αλυσίδες ρόλων

οδηγεί σε μη αποφασισιμότητα, κάτι που ισχύει επίσης και για την εφαρμογή της τομής (Calvanese & Giacomo, 2007).

Συμπερασματικά, η σημασιολογία του RDF(S) και της OWL δεν επαρκεί για την έκφραση των δομικών και συντακτικών περιορισμών των προφίλ εφαρμογής. Επιπρόσθετα, αν και ρητός στόχος των DSP είναι η ενασχόληση με συντακτικούς μόνο περιορισμούς, αποδεικνύεται ότι έχουν σοβαρές σημασιακές προεκτάσεις.

4. Συμπεράσματα

Παραδόξως, η έκφραση κλασικών προφίλ εφαρμογής μεταδεδομένων, όπως αυτά επιχειρείται πρόσφατα να τυποποιηθούν, γύρω από το DC, με το πλαίσιο της Σιγκαπούρης, δεν μπορεί να γίνει με την τρέχουσα εκφραστικότητα της OWL. Δείξαμε ακριβώς ποια εκφραστικά χαρακτηριστικά απουσιάζουν από την τελευταία προδιαγραφή της γλώσσας και απαιτούνται για τον προσδιορισμό τέτοιων προφίλ. Αποδείξαμε παρ' όλα αυτά ότι οι συντακτικοί περιορισμοί που επιβάλλει ένα κλασσικό προφίλ μπορούν να αναχθούν σε σημασιακούς περιορισμούς μέσα σε μία οντολογία. Η δυσκολία -έως και μη αποφασισιμότητα- που θα έχει ο συλλογισμός με την προσθήκη και αυτών των χαρακτηριστικών δεν θα πρέπει όμως να ειπωθεί ως αδυναμία: Αφενός, το XML Schema μπορεί πολύ εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την επιβολή και επαλήθευση τέτοιων συντακτικών περιορισμών και, αφετέρου, το ισοδύναμό τους σε Λογικές Περιγραφής δεν υπάρχει ανάγκη να συνοδεύεται από την ταυτόχρονη ύπαρξη και των υπολοίπων εκφραστικών χαρακτηριστικών της OWL 2, εκτός μόνο από λίγων.

5. Βιβλιογραφία

- Calvanese, D., & Giacomo, G. d. (2007). Expressive Description Logics. In F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, & P. F. Patel-Schneider (Eds.), *The Description Logic Handbook* (2nd ed.). Cambridge.
- Koutsomitropoulos, D. A., Paloukis, G. E., & Papatheodorou, T. S. (2007). From Metadata Application Profiles to Semantic Profiling: Ontology Refinement and Profiling to Strengthen Inference-based Queries on the Semantic Web. *Int. J. on Metadata, Semantics and Ontologies*, 2 (4), pp. 268-280.
- Koutsomitropoulos, D. A., Solomou, G. D., & Papatheodorou, T. S. (2008). Semantic Interoperability of Dublin Core Metadata in Digital Repositories. *5th Int. Conference on Innovations in Information Technology*. IEEE.
- Lutz, C., & Sattler, U. (2000). Mary likes all Cats. *Proc. of the 2000 Int. Workshop in Description Logics (DL 2000)*, Vol 33 in CEUR-WS, pp. 213-226.
- Nilsson, M. (2008). Description Set Profiles: A constraint language for Dublin Core Application Profiles. DCMI Working Draft. Retrieved from <http://dublincore.org/documents/dc-dsp/>
- Nilsson, M., Baker, T., & Johnston, P. (2008). The Singapore Framework for Dublin Core Application Profiles. Retrieved from <http://www.dublincore.org/documents/singapore-framework/>
- Noy, N., & Rector, A. (Eds.). (2006). Defining N-ary Relations on the Semantic Web. Semantic Web Best Practices and Deployment Working Group Note. Retrieved from <http://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/>

- Schmidt, R. A., & Tishkovsky, D. (2007). Using Tableau to Decide Expressive Description Logics with Role Negation. *Proc. of the 6th Int. Semantic Web Conference (ISWC 2007)* (pp. 438-451). Springer.
- Tobies, S. (2001). *Complexity results and practical algorithms for logics in Knowledge Representation*. PhD Thesis, LuFG Theoretical Computer Science, RWTH-Aachen.