



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διαχείριση Ομόσπονδων Ερευνητικών Υποδομών με Χρήση Τεχνολογιών Σημασιολογικού Ιστού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΥΓΕΡΗ ΜΑΡΙΟΥ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διαχείριση Ομόσπονδων Ερευνητικών Υποδομών με Χρήση Τεχνολογιών Σημασιολογικού Ιστού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΥΓΕΡΗ ΜΑΡΙΟΥ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Οκτωβρίου 2016

(Υπογραφή)

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Ιωάννα Ρουσσάκη
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

(Υπογραφή)

.....

ΑΥΓΕΡΗΣ ΜΑΡΙΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αυγέρης Μάριος, Οκτώβριος 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ανάπτυξη και αξιολόγηση νέων τεχνολογιών στα πλαίσια του Μελλοντικού Διαδικτύου απαιτεί τη χρήση ετερογενών ερευνητικών υποδομών ευρείας κλίμακας. Για το σκοπό αυτό, δημιουργούνται ομοσπονδίες ερευνητικών υποδομών, με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων και διεπαφών προγραμμάτων. Διάφορα εργαλεία έχουν αναπτυχθεί για (α) τον έλεγχο/διαχείριση των πειραματικών υποδομών και (β) την τυποποίηση του τρόπου με τον οποίο οι ερευνητές αλληλεπιδρούν με υποδομές αυτές. Το cOntrol and Management Framework (OMF) είναι ένα διαδεδομένο πλαίσιο για τον έλεγχο, τη μέτρηση και τη διαχείριση των πειραματικών υποδομών. Επιπλέον η αρχιτεκτονική Slice-based Federation Architecture (SFA), αποτελεί το *de facto* πρωτόκολλο για την ομοσπονδοποίηση των υποδομών, υποστηρίζοντας τον κύκλο ζωής των ερευνητικών πειραμάτων.

Στα πλαίσια του OMF, ο Broker αποτελεί μια οντότητα η οποία εξυπηρετεί (μεταξύ άλλων) την ανάγκη ομοσπονδοποίησης των ερευνητικών υποδομών στο πεδίο εφαρμογής της SFA αρχιτεκτονικής. Με σκοπό να διευκολυνθεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ των μελών της ομοσπονδίας, μια κοινή γλώσσα έχει υιοθετηθεί από την SFA αρχιτεκτονική για την περιγραφή, την αίτηση και τη δέσμευση των πόρων· τα τυποποιημένα, εκφρασμένα σε XML δομή, Request Specification (RSpec) έγγραφα. Παρόλα αυτά, η χρήση των RSpec επιβάλλει περιορισμούς στην έκφραση της πληροφορίας καθώς και δυσχεραίνει την ερμηνεία των περιγραφών των δεδομένων. Οι παραπάνω προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπισθούν με τη χρήση του Σημασιολογικού Μοντέλου. Η λύση που προτείνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την τροποποίηση της οντότητας Broker ούτως ώστε να υποστηρίζει τις λειτουργίες που καθορίζει η SFA αρχιτεκτονική ενώ παράλληλα να αξιοποιεί σημασιολογικά μοντελοποιημένα δεδομένα.

Λέξεις Κλειδιά: ερευνητική υποδομή, ομοσπονδοποίηση, SFA αρχιτεκτονική, Broker, διαλειτουργικότητα, σημασιολογικό μοντέλο, οντολογία

Abstract

In order to evaluate new protocols, technologies etc. towards the development of the Future Internet, experimenters rely heavily on experimentation infrastructures, termed testbeds. Federations of such testbeds, usually heterogeneous, emerge to support large-scale experiments. In order to facilitate experimentation several tools have been developed for (i) the control/administration of these experimental facilities and (ii) standardizing the way experimenters interact with resources of the testbeds. The cOntrol and Management Framework (OMF) is a prevalent framework for control, measurement and management of experimental platforms. Moreover, Slice-based Federation Architecture (SFA) protocol has become the de facto standard for federating testbeds, fully supporting an experiment's lifecycle.

Within the OMF framework, the Broker is an entity that serves the role (among others) of federating OMF testbeds under the scope of SFA. In order to allow interoperability among the federated domains, a common language is currently used by SFA for describing resources, resource requests, and reservations; the standardized XML-based Request Specification (RSpec) documents. However the use of RSpecs imposes limitations on how information can be expressed, as well as leads to significant difficulties while interpreting data descriptions. These challenges can be addressed through the use of a Semantic Model. The solution proposed in the current diploma thesis involves the adaptation of the Broker entity to support SFA-based operations and testbed management while utilizing semantically modeled data.

Keywords: testbed, federation, SFA, Broker, interoperability, semantic model, ontology

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής στη διάρκεια των ακαδημαϊκών ετών 2015-2016, 2016-2017 και επισφραγίζει τις σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Θα ήθελα ιδιαίτερος να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαβασιλείου Συμεών για την καθοδήγησή του και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο αντικείμενο. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Παπαγιάννη Χρυσά, Ε.ΔΙ.Π στον τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής για τον χρόνο που μου αφιέρωσε και την αρίστη συνεργασία καθώς και τον Επιστημονικό Συνεργάτη Νίκο Καλατζή για την τεχνική υποστήριξη που προσέφερε όποτε συνάντησα εμπόδια.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, την Πέννυ που βρίσκεται δίπλα μου και με στηρίζει και τους φίλους μου για την υπομονή και κατανόηση τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Διαχείριση Ομόσπονδων Ερευνητικών Υποδομών: Επισκόπηση	1
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής	3
1.2.1 Το πρόβλημα	3
1.2.2 Συνεισφορά.....	4
1.3 Οργάνωση Κειμένου.....	5
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	6
2.1 Ερευνητικές Υποδομές και Ομοσπονδοποίηση	6
2.1.1 Περιγραφή Ερευνητικών Υποδομών.....	6
2.1.2 Ομόσπονδες Ερευνητικές Υποδομές.....	8
2.1.3 Πλαίσιο Ελέγχου και Διαχείρισης Ερευνητικών Υποδομών	10
2.2 Μοντελοποίηση Πληροφορίας	11
2.2.1 Μοντέλο Αντικειμένων και Μοντέλο Δεδομένων	11
2.2.2 Σημασιολογικό Μοντέλο.....	14
3. Σχετικές Εργασίες	17
3.1 Ανακάλυψη, Δέσμευση και Παροχή Πόρων Ερευνητικών Υποδομών	17
3.1.1 Επικοινωνία	18
3.1.2 Επαλήθευση/Εξουσιοδότηση	19
3.1.3 Χρονοδρομολογητής	19
3.1.4 Διασυνδέτης.....	20
3.2 Διαλειτουργικότητα Ερευνητικών Υποδομών σε Σημασιολογικό Επίπεδο	20
3.2.1 OMN Upper Ontology.....	22
3.2.2 OMN Federation.....	23
3.2.3 OMN Lifecycle.....	24
3.2.4 OMN Monitoring.....	25
3.2.5 OMN Resource	25
3.2.6 OMN Component	25
3.2.7 OMN Service	25
3.2.8 OMN Policy.....	26

3.2.9 OMN Domain Specific.....	26
4. Σχεδίαση Συστήματος	27
4.1 Περιγραφή Αρχιτεκτονικής.....	27
4.2 Βασική Λειτουργικότητα Συστατικών Αρχιτεκτονικής.....	28
4.3 Μοντελοποίηση Βάσης Δεδομένων	33
5. Λεπτομέρειες Υλοποίησης.....	40
5.1 Διαγράμματα Ακολουθίας Μηνυμάτων	40
5.1.1 Τρέχουσα Έκδοση	40
5.1.2 Ανακάλυψη Πόρων	41
5.1.3 Δημιουργία Τμήματος	43
5.1.4 Κατάσταση Τμήματος	44
5.1.5 Ανανέωση Τμήματος.....	46
5.1.6 Διαγραφή Τμήματος.....	47
5.1.7 Απενεργοποίηση Τμήματος.....	48
5.1.8 Προβολή Πόρων Υποδομής	48
5.1.9 Προσθήκη Πόρων.....	49
5.1.10 Ενημέρωση Πόρων.....	50
5.1.11 Διαγραφή Πόρων.....	51
5.2 Πλατφόρμες και Προγραμματιστικά Εργαλεία.....	51
5.3 Περιγραφή Rest API	52
6. Μελλοντική Εργασία	58
6.1 Ταίριασμα Πόρων	58
6.1.1 Επικύρωση Αιτήματος.....	58
6.1.2 Επέκταση Γνώσης	59
6.2 Χαρτογράφηση Πόρων	59
7. Βιβλιογραφία.....	61
Παράρτημα Α΄	66

1. Εισαγωγή

1.1 Διαχείριση Ομόσπονδων Ερευνητικών Υποδομών: Επισκόπηση

Παρ' όλη την εντυπωσιακή ανάπτυξη και κοινωνικο-οικονομική επιρροή που ασκεί το Διαδίκτυο, δεν παύει να παραμένει μία εξελισσόμενη και ημιτελής οντότητα. Ως εκ τούτου, έντονη ερευνητική δραστηριότητα αναπτύσσεται ανά την υφήλιο εστιαζόμενη στον καθορισμό και την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών για το *Μελλοντικό Διαδίκτυο* (Future Internet, FI), με σκοπό τον υπερκερασμό των περιορισμών της παρούσας μορφής του Διαδικτύου. Στα πλαίσια αυτής της πειραματικά καθοδηγούμενης έρευνας, η αρχική σχεδίαση και τα πρωταρχικά πρωτόκολλα σταδιακά επεκτείνονται για να ικανοποιήσουν τις προκύπτουσες απαιτήσεις, διατηρώντας ταυτόχρονα τη συμβατότητα με τους τρέχοντες μηχανισμούς. Όπως είναι λογικό, αρκετά προβλήματα εμφανίζονται ενώπιον των ερευνητών στην προσπάθειά τους να συνδυάσουν την ανάπτυξη καινοτομιών με τη συμβατότητα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και, ως αποτέλεσμα, η επίλυσή αυτών των προβλημάτων έρχεται στο επίκεντρο της έρευνας.

Για να αξιολογηθεί το κατά πόσο μία πιθανή λύση ικανοποιεί τις δεδομένες απαιτήσεις και επιλύει το στοχευμένο πρόβλημα, απαιτείται η διεξαγωγή αναλυτικών μοντελοποιήσεων, προσομοιώσεων, περιπτωσιολογικών και επιτόπιων μελετών ή και μετρήσεων του πραγματικού περιβάλλοντος στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Δεδομένης της κλίμακας, της πολυπλοκότητας και της ετερογένειας του Διαδικτύου οι παραπάνω αξιολογήσεις θα πρέπει να διενεργούνται σε ποικιλόμορφα συστήματα. Προς αυτό το σκοπό, δημιουργήθηκε ένα σύνολο από περιβάλλοντα που προσφέρονται για πειραματικά καθοδηγούμενη έρευνα, συγκεκριμένα στα πλαίσια των οργανισμών *FIRE* (Future Internet Research and Experimentation) [1] και *GENI* (Global Environment for Network Innovations) [2]. Αυτά τα γεωγραφικά διάσπαρτα περιβάλλοντα πειραματισμών, αποκαλούμενα «ερευνητικές υποδομές» (testbeds), συνήθως κατασκευάζονται για να καλύψουν τις συγκεκριμένες ανάγκες συγκεκριμένων σεναρίων χρήσης και επομένως περιλαμβάνουν ένα σύνολο εξειδικευμένων πόρων που απαιτούνται για την υποκείμενη ανάλυση. Για να καταστεί εφικτή, συνεπώς, η πρόσβαση στους πόρους διάφορων ερευνητικών υποδομών με σκοπό τη διενέργεια πειραματισμών ευρείας κλίμακας, η ανάπτυξη μηχανισμών οι οποίοι αποσκοπούν στην ομοσπονδοποίηση των υποδομών αυτών αποτελεί αντικείμενο ενδεδειγμένης έρευνας.

Αποτέλεσμα αυτής της πρωτοβουλίας είναι δημιουργία της *SFA* (Slice-Based Federation Architecture) αρχιτεκτονικής [3] η οποία καθορίζει το ελάχιστο σύνολο διεπαφών και τύπων δεδομένων που διευκολύνουν τη διαλειτουργικότητα των συστατικών στοιχείων μιας ομοσπονδίας ερευνητικών υποδομών. Οι πάροχοι των πόρων δηλώνουν τις επιθυμητές πολιτικές για την κατανομή των πόρων τους και τη χρήση τους στο δίκτυο που προκύπτει, ενώ από την άλλη, οι ερευνητές δεσμεύουν τους προσφερόμενους πόρους και αποκτούν πρόσβαση σε αυτούς. Θεμέλιο λίθο αυτής της αρχιτεκτονικής αποτελεί η έννοια της *φέτας πόρων* (slice) η οποία, συνοπτικά, συνίσταται από ένα σύνολο πόρων και τους ερευνητές στους οποίους έχει δοθεί πρόσβαση σε αυτούς για τη διενέργεια πειραματισμών. Καθορίζοντας λοιπόν πλήρως την λειτουργικότητα γύρω από τη φέτα πόρων, ερευνητές και πάροχοι είναι ελεύθεροι να συνεργαστούν απρόσκοπτα. Η *SFA* αρχιτεκτονική υποστηρίζει πλήρως τον κύκλο ζωής των πειραματισμών, διευκολύνοντας τις ενέργειες της *περιγραφής πόρων* (resource description), *έυρεσης πόρων* (resource discovery), *δέσμευσης πόρων* που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις (resource reservation), *παροχής πόρων* (resource provisioning), και *αποδέσμευσης πόρων* (resource release). Επίσης περιγράφει μια σειρά από μηχανισμούς που πλαισιώνουν την ομοσπονδοποίηση των ερευνητικών υποδομών όπως είναι η *επαλήθευση ταυτότητας* (authentication) η *παροχή δικαιωμάτων* (authorization) και ο *έλεγχος εμπιστοσύνης* (trust management). Τα επιμέρους λογισμικά τα οποία επιτελούν τις παραπάνω λειτουργίες είναι ο *Aggregate Manager* (διαχείριση πόρων) και το *Registry* (ταυτοποίηση/εξουσιοδότηση). Τέλος, χρησιμοποιεί μία κοινή γλώσσα για την περιγραφή των πόρων, την αίτηση και την δέσμευσή τους· πρόκειται για τα *Resource Specification (RSpec)* αρχεία, τα οποία αποτελούν XML αρχεία που ακολουθούν μια προκαθορισμένη δομή.

Επιπρόσθετα, για τον έλεγχο των πειραμάτων, την παρακολούθησή τους και την διαχείριση των μετρήσεων που προκύπτουν από αυτά, έχει αναπτυχθεί το πλαίσιο *OMF* (Control and Management Framework for Networking Testbeds) [4] το οποίο προσφέρει στους ερευνητές εργαλεία για την περιγραφή και τον εξοπλισμό ενός πειράματος καθώς και την εκτέλεση και την συλλογή των αντίστοιχων αποτελεσμάτων. Κάνει χρήση του πρωτοκόλλου *Federated Resource Control Protocol (FRCP)* [5].

Όπως έγινε αντιληπτό, κάθε ερευνητική υποδομή οφείλει να παρέχει ένα μηχανισμό ο οποίος να υποστηρίζει τις παραπάνω ενέργειες. Μια οντότητα η οποία έχει προταθεί γι' αυτό το σκοπό αποτελεί ο *Broker* [6], ο οποίος ουσιαστικά υλοποιεί έναν *Aggregate Manager* και το αντίστοιχο *Registry*. Οι αρμοδιότητές του περιλαμβάνουν την γνωστοποίηση των διαθέσιμων, από την ερευνητική υποδομή, πόρων στους ενδιαφερόμενους χρήστες αλλά και τη δέσμευση

και παροχή τους σε αυτούς. Αποτελεί έναν εύχρηστο τρόπο ομοσπονδοποίησης OMF-συμβατών ερευνητικών υποδομών σε συμφωνία με την SFA αρχιτεκτονική.

1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής

1.2.1 Το πρόβλημα

Οι Aggregate Managers, όπως αυτός του Broker, για την υποστήριξη τους κύκλου ζωής των πειραμάτων σε ομόσπονδα περιβάλλοντα βασισμένα σε SFA αρχιτεκτονική, όπως αναφέραμε κάνουν χρήση των RSpecs αρχείων. Αυτά τα αρχεία αποτελούν συμφωνηθέντα πρότυπα περιγραφής τα οποία είναι βασισμένα σε ένα σύνολο XML δομών και ένα πλήθος επεκτάσεων ορισμένων για συγκεκριμένες χρήσεις, για παράδειγμα για την περιγραφή των κρατήσεων των πόρων. Η πρωταρχική ιδέα πίσω από τη σύλληψη του RSpec προτύπου βασίστηκε στη σημασιολογία που απορρέει από τη δομή του αρχείου. Το σημείο στο οποίο εντοπίζεται κάθε στοιχείο του, εντός του DOM (Document Object Model) υπαγορεύει την ερμηνεία του. Μία, επέκταση από την άλλη, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την XML-ετικέτα `<any>`, η οποία επιτρέπει σε ένα κομμάτι XML δομής να βρεθεί πρακτικά οπουδήποτε εντός του RSpec αρχείου, αρκεί αυτό να ακολουθεί τα πρότυπα της επέκτασης. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης αποτελεί η απεριόριστη επεκτασιμότητα των RSpec αρχείων. Το μειονέκτημα, δε, εντοπίζεται στην απώλεια πια της δυνατότητας απόδοσης σημασιολογίας μέσω της δομής του αρχείου, καθώς ένα RSpec αρχείο με μια «εσφαλμένα» τοποθετημένη επέκταση παραμένει συντακτικά ορθό.

Στα πλαίσια μια ομοσπονδίας, όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό, αυτή η πρόκληση επιδεινώνεται αισθητά, καθώς κάθε ερευνητική υποδομή γνωστοποιεί τις περιγραφές των πόρων της σε ελαφρώς διαφορετικά δομημένα RSpec αρχεία («πρόβλημα διαλειτουργικότητας»). Γενικά, η συσχέτιση XML αρχείων όπως αυτά, αποτελεί μια εξαιρετικά πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία η οποία προϋποθέτει την ύπαρξη σημαντικής έκτασης λειτουργικού κώδικα προς αυτό το σκοπό. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι τα παραπάνω δυσχεραίνουν τη χρηστικότητα, προβάλλοντας στεγανά στην αμοιβαία κατανόηση και την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα των υποδομών, παρόλο που οι έννοιες αυτές αποτέλεσαν σκοπό της ανάπτυξης των εν λόγω πρωτόκολλων.

1.2.2 Συνεισφορά

Η λύση που προτείνουμε στο παραπάνω πρόβλημα έρχεται μέσα από την αξιοποίηση των τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού. Πιο συγκεκριμένα, εκμεταλλευτήκαμε τη δυνατότητα που μας δίνει η χρήση του *Σημασιολογικού Μοντέλου* να αποσαφηνίσουμε πλήρως την ερμηνεία των περιγραφών των πόρων και των μεταξύ τους σχέσεων. Μέσω αυτού του μοντέλου τα παραπάνω δεδομένα δομούνται σε μορφή αναγνώσιμη και ερμηνεύσιμη τόσο από υπολογιστικές μηχανές όσο και από ανθρώπους. Χωρίς την περαιτέρω ανάμειξη λειτουργικού κώδικα, η χρήση τους επιτρέπει τη *σημασιολογική συσχέτιση* διαφορετικών περιγραφών, τον *έλεγχο για λάθη* στη μοντελοποίηση τους σε πρώιμο στάδιο, το *συμπερασμό γνώσης* όπως καινούριων σχέσεων μεταξύ των περιγραφών, τη *συγχώνευση* περιγραφών για τις οποίες συμπεράθηκε ότι αναφέρονται στον ίδιο πόρο καθώς και τη *διενέργεια πολύπλοκων ερωτημάτων* για την ανακάλυψη πόρων που ικανοποιούν συγκεκριμένους περιορισμούς.

Το σύστημα που σχεδιάστηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί έναν Aggregate Manager βασισμένο σε αυτόν του Broker που αναφέρθηκε προηγουμένως, ο οποίος τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε η λειτουργικότητά του να υποστηρίζει τη χρήση σημασιολογικών δεδομένων εξεφρασμένων μέσω της OMN σουίτας οντολογιών. Το σύστημα αυτό προορίζεται μελλοντικά για να αξιοποιηθεί στην ερευνητική υποδομή του εργαστηρίου NETMODE [7].

Οντολογία, γενικά, ονομάζεται ο επίσημος ορισμός των τύπων, των ιδιοτήτων και των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων που αναγνωρίζονται εντός ενός συγκεκριμένου τομέα. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η OMN σουίτα οντολογιών για τη σημασιολογική μοντελοποίηση των περιγραφών των πόρων της ερευνητικής υποδομής του NETMODE, καθώς παρέχει μηχανισμούς οι οποίοι καλύπτουν το σύνολο των απαιτήσεων για την επίτευξη σημασιολογικής και συντακτικής διαλειτουργικότητας με τις υπόλοιπες ομόσπονδες, ετερογενείς υποδομές.

Τα πιο σημαντικά σημεία της συνεισφοράς μας λοιπόν, εντοπίζονται στα ακόλουθα δύο:

- Σημασιολογική μοντελοποίηση των περιγραφών των πόρων και του κύκλου ζωής των πειραμάτων της ασύρματης ερευνητικής υποδομής του εργαστηρίου NETMODE με χρήση της OMN σουίτας οντολογιών.
- Τροποποίηση και επέκταση της λειτουργικότητας του Broker για την υποστήριξη αντίστοιχων της SFA αρχιτεκτονικής λειτουργιών (αναζήτηση, δέσμευση, παροχή, αποδέσμευση πόρων), με χρήση των παραπάνω σημασιολογικά μοντελοποιημένων δεδομένων. Παράλληλα, διατήρηση της συμβατότητας με τις λειτουργίες της SFA αρχιτεκτονικής με μη σημασιολογικά μοντελοποιημένα δεδομένα.

1.3 Οργάνωση Κειμένου

Το υπόλοιπο κείμενο διαρθρώνεται ως εξής. Στην ενότητα 2 παρουσιάζουμε το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από τις ερευνητικές υποδομές, την ομοσπονδοποίησή τους καθώς και τη μοντελοποίηση της πληροφορίας, η εμπέδωση του οποίου αποτελεί προϋπόθεση από τον αναγνώστη για την ομαλή κατανόηση του περιεχομένου της εργασίας. Στην ενότητα 3 παραθέτουμε τις ομοιότητες και διαφορές με ήδη υπάρχουσες προσπάθειες για επίλυση του προβλήματος που εντοπίσαμε. Στην ενότητα 4 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του συστήματος που προτείνουμε, οι βασική λειτουργικότητα των επιμέρους υποσυστημάτων που την απαρτίζουν καθώς και αναλύεται η μοντελοποίηση που χρησιμοποιήθηκε στη βάση δεδομένων. Ακολούθως, στην ενότητα 5 παρατίθενται διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων με σκοπό την αποσαφήνιση των βασικών λειτουργιών του συστήματος, οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη του συστήματος, καθώς και αντιπροσωπευτικά παραδείγματα κλήσεων και των αποτελεσμάτων τους. Τέλος, στην ενότητα 6 συνοψίζουμε τη χρησιμότητα της προτεινόμενης λύσης και προτείνουμε κάποιες ιδέες εκτός των πλαισίων αυτής της εργασίας, προς μελλοντική θεώρηση και υλοποίηση. Την ενότητα 6 ακολουθεί η βιβλιογραφία και ένα παράρτημα με πίνακες στους οποίους περιέχονται σενάρια χρήσης του συστήματος καθώς και λειτουργικές και μη απαιτήσεις οι οποίες προκύπτουν από αυτά.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε μεθοδολογίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και δεν αποτελούν πρωτότυπη δουλειά, καθώς και σε έννοιες των οποίων η κατανόηση αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση πριν από την παρουσίαση της ανάλυσης και σχεδίασης του συστήματος

2.1 Ερευνητικές Υποδομές και Ομοσπονδοποίηση

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται συνεχής εντατικοποίηση της ανάγκης, από πλευράς ακαδημαϊκής κοινότητας αλλά και της βιομηχανίας, για γεφύρωση του κενού μεταξύ έρευνας και πειραματικών τεχνικών ευρείας κλίμακας, κυρίως μέσω της πειραματικής έρευνας για το Internet του μέλλοντος (Future Internet). Αυτού του είδους η έρευνα επιτρέπει την πρόβλεψη της πορείας της ανάπτυξης της τεχνολογίας όπως και την εκτίμηση των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων των αναπτυσσόμενων καινοτομιών, σε πρώιμο στάδιο. Σκιαγραφείται έτσι η απαίτηση για δημιουργία πειραματικών εγκαταστάσεων που υποστηρίζουν αυτή τη διαδικασία στα πλαίσια μιας ανοιχτής και συγκροτημένης ομοσπονδίας ερευνητικών υποδομών [10].

2.1.1 Περιγραφή Ερευνητικών Υποδομών

Σήμερα, η επιρροή του Internet και γενικότερα της διαδικτυακής τεχνολογίας στη βελτίωση της καθημερινότητάς μας, είναι κάτι παραπάνω από εμφανής. Η ολοένα και αυξανόμενη παρουσία των διαδικτυακών εφαρμογών στις ζωές μας, ωστόσο, αναδεικνύει συχνά τα όριά τους. Τα όρια αυτά δίνουν κίνητρο στους ερευνητές και τις βιομηχανίες να αναζητήσουν και να αναπτύξουν καινοτομίες ώστε να τα ξεπεράσουν [8]. Για οποιαδήποτε όμως νέα τεχνολογία, προτού συμπεριληφθεί σε κάποιο ολοκληρωμένο προϊόν, απαραίτητα είναι τα στάδια της αξιολόγησης και βελτιστοποίησης.

Οι προσομοιώσεις (simulations) αποτελούν ένα πολύτιμο και συνήθως οικονομικό εργαλείο προς αυτό το σκοπό, καθώς επιτρέπουν τη ταχεία εξαγωγή προσεγγίσεων συμπεριφοράς, απόδοσης και ικανότητας κλιμάκωσης των νέων αυτών τεχνολογιών. Παρ' όλα αυτά, για να επιτευχθούν τα άμεσα αυτά αποτελέσματα, χρειάζονται να γίνουν απλουστεύσεις στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται με αποτέλεσμα συχνά να αποτυγχάνει η ακριβής απόδοση της δυναμικής και της πολυπλοκότητας του πραγματικού κόσμου. Μία εναλλακτική λύση αποτελούν οι εξομοιώσεις (emulations), κατά τη διάρκεια των οποίων, υποκατάστατα

συστήματα αναπαράγουν τις συμπεριφορές των πραγματικών. Αυτή η «έκπτωση» στα χρησιμοποιούμενα μέσα όμως, συχνά οδηγεί στο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν και οι προσομοιώσεις. Σκιαγραφείται έτσι η ανάγκη διενέργειας πειραματικών μεθόδων με βάση υλοποιημένα πρωτότυπα υπό πραγματικές και ελεγχόμενες συνθήκες. Πλατφόρμες ή εγκαταστάσεις που προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα ονομάζονται *ερευνητικές υποδομές (testbeds, experimental infrastructures)* και αποδίδουν αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας.

Σύμφωνα με το [3], το *Συστατικό Μέρος (component)* αποτελεί τη βασικότερη δομή της ερευνητικής υποδομής. Εμπεριέχει ένα σύνολο από απτούς, λογικούς ή/και συνθετικούς πόρους (resources), οι οποίοι μπορεί να εσωκλείονται σε μία συσκευή ή να είναι διανεμημένοι σε περισσότερες, ανάλογα με τη φύση του.

Τα Συστατικά Μέρη ομαδοποιούνται σε *σύνολα (aggregates)* και υπόκεινται στην αντίστοιχη Διαχειριστική Αρχή η οποία διέπει το σύνολο. Κάθε σύνολο ελέγχεται μέσω ενός *Διαχειριστή Συνόλου (Aggregate Manager, AM)* ο οποίος διαθέτει (α) μία σαφώς καθορισμένη και προσβάσιμη από απόσταση διεπαφή και (β) ένα *Μητρώο (Registry)* το οποίο παρέχει τις ταυτότητες των διαχειριστών του Συστατικού Μέρους.

Όταν ένα σύνολο αποτελείται από ένα μοναδικό Συστατικό Μέρος, ο διαχειριστής συνόλου ονομάζεται *Διαχειριστής Συστατικού Μέρους (Component Manager, CM)*. Ο AM/CM περιγράφει τις διαθέσιμες σε επίπεδο χρήστη λειτουργίες για την κατανομή των πόρων, σε συμμόρφωση με τις πολιτικές που έχουν καθιερώσει οι Διαχειριστικές Αρχές.

Ένα Συστατικό Μέρος μιας ερευνητικής υποδομής, δύναται να καταταμηθεί σε επιμέρους κομμάτια και κάθε κομμάτι να δεσμευτεί και να αποδοθεί σε μία φέτα πόρων (βλ. επόμενη παράγραφο) για καθορισμένη χρονική περίοδο. Τα κομμάτια αυτά ονομάζονται *τμήματα (slivers)*. Η διαδικασία της κατάτμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της εικονοποίησης του Συστατικού Μέρους ή της διαίρεσης του σε διακριτά υποσύνολα πόρων, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν περιγραφεί μηχανισμοί (υλικού/λογισμικού) που επιτρέπουν την απομόνωση και ανεξάρτητη λειτουργία του ενός συνόλου από το άλλο.

Η *φέτα πόρων (slice)* είναι ένα δίκτυο επιπέδου υποστρώματος, το οποίο περιέχει (εικονικούς ή πραγματικούς) υπολογιστικούς και διαδικτυακούς πόρους ικανούς να υποστηρίξουν ένα πείραμα ή μια διαδικτυακή υπηρεσία ευρείας κλίμακας. Αποτελείται από ένα σύνολο τμημάτων και των συσχετιζόμενων με αυτά χρηστών.

Ο κύκλος ζωής της περιγράφεται επαρκώς από τα εξής στάδια, τα οποία ταυτόχρονα ανταποκρίνονται στις διαδικασίες που πραγματοποιούνται επί αυτού:

- *Καταχώρηση (Register)*: δεσμεύεται το όνομα της φέτας πόρων και αποδίδεται στους συσχετιζόμενους χρήστες.

- *Πραγμάτωση* (Instantiate): η φέτα πόρων αποκτά υπόσταση καθώς πόροι ανατίθενται σε αυτό.
- *Ενεργοποίηση* (Activate): η φέτα πόρων εκκινεί τη λειτουργία του, ανταποκρινόμενο στις εντολές των χρηστών.

Μία φέτα πόρων υπόκειται στη δικαιοδοσία της αντίστοιχής αρχής (*Slice Authority*). Η διάρκεια ζωής της είναι πεπερασμένη και η αρμόδια αρχή οφείλει να ανανεώνει την καταχώρηση της. Οι χρήστες που σχετίζονται με αυτή, καθώς και οι πόροι που της έχουν ανατεθεί μπορούν να μεταβάλλονται κατά τις απαιτήσεις του εκάστοτε διενεργούμενου πειράματος, χωρίς να απαιτείται εκ νέου καταχώρηση της φέτας πόρων.

2.1.2 Ομόσπονδες Ερευνητικές Υποδομές

Όπως γίνεται κατανοητό, τα testbeds αποτελούν θεμέλιο λίθο στην ανάπτυξη καινοτομιών στον τομέα του διαδικτύου, πράγμα που έχει οδηγήσει παγκόσμιους οργανισμούς ευρείας κλίμακας, να ασχοληθούν με την σχεδίαση, παροχή και διαχείριση τους. Τα περισσότερα testbeds αποτελούν εξειδικευμένα περιβάλλοντα που συντίθενται συχνά αποκλειστικά στα πλαίσια συγκεκριμένων πειραμάτων. Η διάρκεια λειτουργίας τους δεν συνηθίζει να ξεπερνά το πέρας αυτών, ενώ η διαθέσιμη τεχνολογία περιορίζεται από τις τρέχουσες ανάγκες. Αυτό αποτέλεσε κίνητρο για την δημιουργία ομοσπονδιών υπαρχόντων και επερχόμενων testbeds.

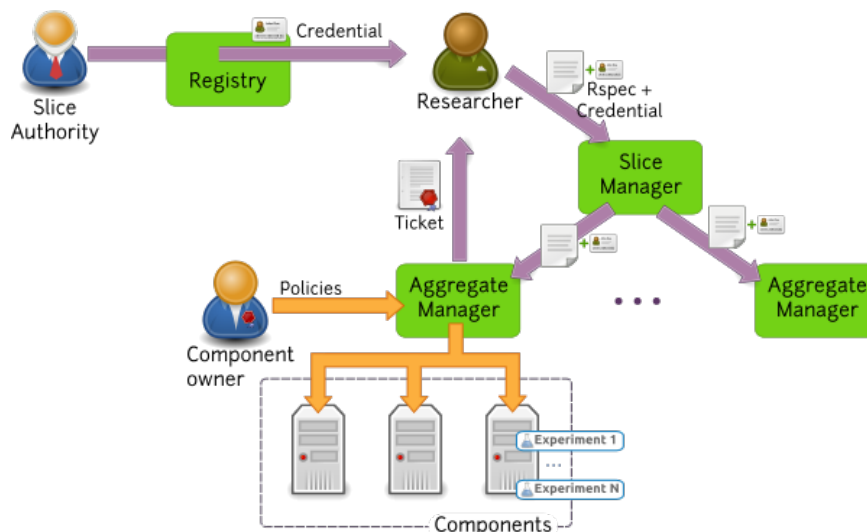
Μεταξύ των διαφορετικών προσεγγίσεων ομοσπονδοποίησης, αυτή της *ετερογενούς ομοσπονδίας* αναγνωρίζεται ως κυρίαρχη. Σύμφωνα με την εν λόγω προσέγγιση, κάθε ερευνητική υποδομή διαχειρίζεται τοπικά από το κατάλληλο λογισμικό, ενώ για να αποτελέσει μέρος μιας ομοσπονδίας οφείλει να παρέχει διεπαφή μέσω της οποίας πιστοποιείται η ιδιότητα του χρήστη που αποκτά πρόσβαση στους διαμοιραζόμενους πόρους και ταυτόχρονα να απομονώνει τα πειράματα που διενεργούνται την ίδια χρονική στιγμή. Ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε γι' αυτό το σκοπό είναι η *Αρχιτεκτονική Slice-based Federation Architecture* (SFA). Παρέχει την ελάχιστη διεπαφή που επιτρέπει την ομοσπονδία ανάμεσα σε υποδομές διαφορετικών τεχνολογιών και διαφορετικών διαχειριστών, παραχωρώντας ταυτόχρονα τον έλεγχο των πόρων στους ιδιοκτήτες τους. Δίνεται με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα στους ερευνητές να συνδυάσουν *πόρους* (resources) διαθέσιμους σε πληθώρα testbeds, βελτιώνοντας έτσι τη δυνατότητα κλιμάκωσης και την ποικιλομορφία των διεξαγόμενων πειραμάτων.

Η αρχιτεκτονική SFA είναι βασισμένη σε ένα σύνολο εννοιών υψηλού επιπέδου οι οποίες ορίζουν επαρκώς τους φορείς και τους πόρους που αλληλεπιδρούν στα πλαίσια ενός testbed, περιγράφοντας μία αρχιτεκτονική που καθιστά εφικτή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ανομοιογενών testbeds. Αναγνωρίζει, προς αυτό το σκοπό, τρεις κυρίαρχους δράστες:

- Μια *Διαχειριστική Αρχή* (Management Authority, MA), υπεύθυνη για ένα υποσύνολο πόρων, η οποία παρέχει λειτουργική ευστάθεια, συμμόρφωση στις ισχύουσες πολιτικές χρήσης και εκτελεί τις κατανομές των πόρων σύμφωνα με τις επιθυμίες των ιδιοκτητών.
- Μια *Αρχή Τεμαχίου* (Slice Authority, SA), υπεύθυνη για ένα ή περισσότερα τεμάχια, τα οποία ονοματίζει και καταχωρεί, παραχωρώντας τον έλεγχο τους στους δικαιούχους σε αυτά χρήστες. Φέρει ευθύνη για την ομαλή λειτουργία του τεμαχίου.
- Ένα *Χρήστη* (User), ο οποίος πρόκειται για φυσικό πρόσωπο που δύναται να κατέχει ένα ή περισσότερους ρόλους στις υποδομές (ερευνητής, πειραματιστής, χειριστής, ιδιοκτήτης).

Επιπρόσθετα, καλύπτει τις ελάχιστες λειτουργίες ελέγχου του ομόσπονδου περιβάλλοντος, οι οποίες είναι η *διαχείριση και επαλήθευση των λογαριασμών* (account management and authentication), η *ανακάλυψη πόρων* (resource discovery), η *δέσμευση πόρων* (resource reservation) και η *παροχή πόρων* (resource provisioning).

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν διαπιστευτήρια (credentials) για την αλληλεπίδρασή τους με ένα SFA-συμβατό σύστημα. Περιγράφουν τους πόρους στην κράτηση που αιτούνται, κάνοντας χρήση ειδικά διαμορφωμένων αρχείων (RSpec XML), ενώ λαμβάνουν ως απόκριση, υπογεγραμμένη από το διαχειριστή συνόλου, μια απόδειξη (ticket) για την παροχή των πόρων, διαδικασία που αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.1.1. Συνοπτική αναπαράσταση αλληλεπίδρασης ερευνητή με SFA-συμβατό σύστημα

Η SFA υιοθετεί μια κοινή γλώσσα για την περιγραφή των πόρων, των αιτήσεων για δέσμευση πόρων καθώς και των κρατήσεων: τα *Έγγραφα Προδιαγραφών Πόρων* (Resource Specification,

RSpec) αποτελούν ειδικά διαμορφωμένα XML αρχεία τα οποία ακολουθούν συμφωνηθείσα δομή σχετικά με τις παραπάνω ενέργειες. Έχουν καθοριστεί τρεις διαφοροποιήσεις αυτών των εγγράφων: (1) *Έγγραφο Δημοσιοποίησης* (Advertisement RSpec), (2) *Έγγραφο Αίτησης* (Request RSpec) και (3) *Έγγραφο Δήλωσης* (Manifest RSpec), κάθε μια από τις οποίες έχει προκαθορισμένη δομή που αρμόζει στη δημοσιοποίηση διαθέσιμων πόρων, αίτηση δέσμευσης πόρων και γνωστοποίηση κατάστασης πόρων αντίστοιχα.

Παράδειγμα Δομής Request RSpec:

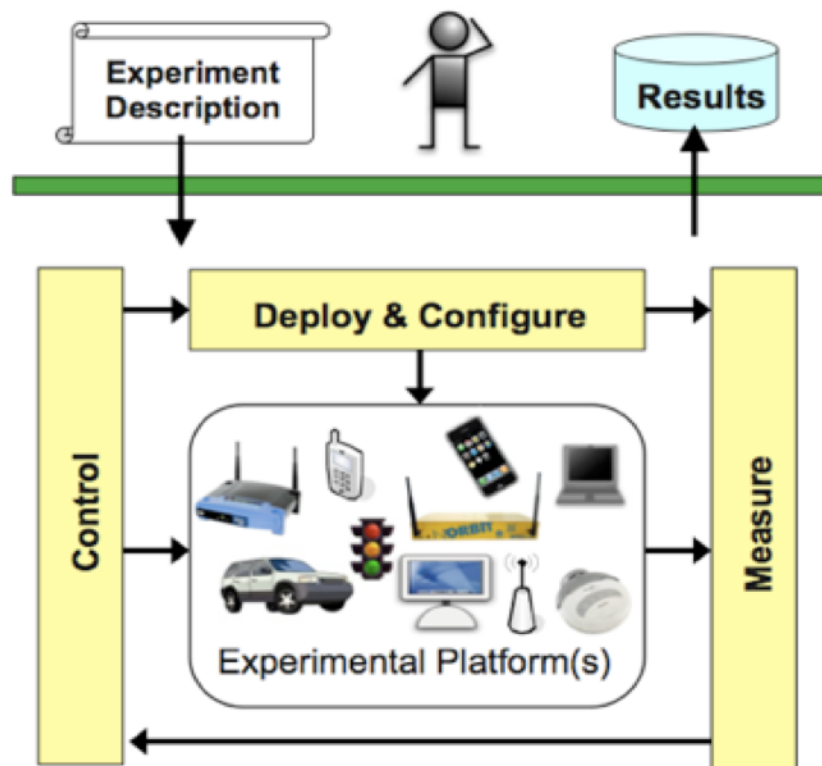
```
<?xml version="1.0"?>
<rspec type="request" xmlns="http://www.geni.net/resources/rspec/3"
xmlns:ol="http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1"
xmlns:omf="http://schema.mytestbed.net/sfa/rspec/1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.geni.net/resources/rspec/3
http://www.geni.net/resources/rspec/3/request.xsd
http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1
http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1/request-reservation.xsd">
  <ol:lease client_id="l1" valid_from="2016-01-08T19:00:00Z"
valid_until="2017-01-08T20:00:00Z"/>
  <node component_id="urn:publicid:IDN+omf:nitos.outdoor+node+node001"
component_manager_id="urn:publicid:IDN+omf:netmode+authority+cm"
component_name="node1" exclusive="true" client_id="my_node">
    <interface
component_id="urn:publicid:IDN+omf:netmode+interface+node001:if0"
component_name="node001:if0">
      <ip address="10.0.0.1"/>
    </interface>
    <ol:lease_ref id_ref="l1"/>
  </node>
</rspec>
```

2.1.3 Πλαίσιο Ελέγχου και Διαχείρισης Διαδικτυακών Ερευνητικών Υποδομών

Τα τελευταία χρόνια, τα ερευνητικά κέντρα NICTA (National Information and Communication Technology Australia) και Winlab αναπτύσσουν από κοινού ένα *πλαίσιο* (framework) ελέγχου και διοίκησης, υποβοηθώντας έτσι, σε μεγάλη κλίμακα, την ταυτόχρονη πρόσβαση σε πόρους και το συνδυασμό τους στη διενέργεια πειραμάτων, διαδικασία που περιεγράφηκε ανωτέρω. Η ονομασία του είναι *Πλαίσιο Ελέγχου και Διαχείρισης Διαδικτυακών Ερευνητικών Υποδομών* (cOntrol and Management Framework for Networking Testbeds, OMF) και παρέχει, με μια σειρά από εργαλεία, στους πειραματιστές τη δυνατότητα να περιγράψουν και να εξοπλίσουν ένα πείραμα (*Επίπεδο Ελέγχου*, Control Plane), καθώς και να το εκτελέσουν και να συλλέξουν τα αποτελέσματά του (*Επίπεδο Μετρήσεων*, Measurement Plane). Από πλευράς διαχειριστών, προσφέρει υπηρεσίες σχετικές με την αποδοτική διαχείριση και λειτουργία, την παροχή και ρύθμιση των πόρων που διατίθενται από την ερευνητική υποδομή και αξιοποιούνται από τους πειραματιστές (*Επίπεδο Διαχείρισης*, Management Plane). Άξιο αναφοράς είναι ότι τα

παρεχόμενα από το OMF εργαλεία δεν περιορίζονται από κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία, διευκολύνοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ανομοιογενών testbeds.

Μια επισκόπηση του OMF από την σκοπιά των πειραματιστών παρέχεται στην εικόνα 2.1.2. Ο χρήστης περιγράφει τις προδιαγραφές του πειράματός του σε μια υψηλού επιπέδου γλώσσα. Το framework αναλαμβάνει την ανάθεση των κατάλληλων πόρων από ένα ή περισσότερα testbeds και τον έλεγχο τους με σκοπό την περάτωσή του. Κατά την εκτέλεση, συλλέγει τα δεδομένα που ζητήθηκαν στην περιγραφή. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται και στέλνονται στον πειραματιστή ή χρησιμοποιούνται για δυναμική εκτέλεση του πειράματος μέσω ανατροφοδότησης.



Εικόνα 2.1.2 Συνοπτική επισκόπηση του OMF από την σκοπιά των πειραματιστών

2.2 Μοντελοποίηση Πληροφορίας

2.2.1 Μοντέλο Αντικειμένων και Μοντέλο Δεδομένων

Για να αποκτήσει κανείς πρόσβαση, να διαχειριστεί και να αποθηκεύσει πληροφορία στα πλαίσια ενός λογισμικού ενός υπολογιστή, τα δεδομένα συχνά προσπελαύνονται με τη χρήση λειτουργικού κώδικα. Ανάλογα με το προσδοκώμενο είδος της εισόδου με την οποία θα το

τροφοδοτήσουμε, διακρίνονται δύο κύριες προσεγγίσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει μηχανισμούς ανάλυσης οδηγούμενων από συμβάντα, οι οποίοι αναλύουν ροές δεδομένων με στόχο των εντοπισμό συγκεκριμένων στοιχείων, επιτρέποντας έτσι την επεξεργασία πολύ μεγάλων συνόλων δεδομένων. Αντιθέτως, στη δεύτερη προσέγγιση, ολόκληρη η δομή των δεδομένων αντιστοιχίζεται σε ένα *Μοντέλο Αντικειμένων Εγγράφου* (Document Object Model, DOM) [11] με στόχο να καταστεί εφικτή η κατευθυνόμενη πλοήγηση εντός της δομής αυτής.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για να προσπελάσουν και να αναλύσουν τα δεδομένα, χτίζοντας τέτοια Μοντέλα Αντικειμένων, εξειδικεύονται στη συγκεκριμένη σειριοποίηση η οποία ονομάζεται και *συντακτικό* (syntax) ή *γλώσσα* (language) και ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματά της αποτελούν τα JSON, XML και TTL [12]. Αρκετά συχνά, ένα συντακτικό ταυτίζεται με ένα συγκεκριμένο Μοντέλο κάνοντας τη διάκριση μεταξύ των δύο προβληματική.

Ένα *Μοντέλο Δεδομένων* από την άλλη, καθορίζει μέσα από προδιαγραφές την οργάνωση της πληροφορίας σε τρόπο επεξεργάσιμο από υπολογιστικές μηχανές και συνήθως εξαρτάται από κάποια σειριοποίηση. Λίστες, δέντρα και γράφοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να οριστούν οι σχέσεις μεταξύ των διάφορων στοιχείων. Στο [13], τα Μοντέλα Δεδομένων περιγράφονται επιπλέον ως «μία αντιστοίχιση των περιεχομένων ενός μοντέλου πληροφορίας, σε μία μορφή η οποία ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένο τύπο χώρου αποθήκευσης δεδομένων». Ένα Μοντέλο Δεδομένων πρακτικά, δηλαδή, αποτελεί μια απόδοση ενός μοντέλου πληροφορίας σύμφωνα με ένα ορισμένο σύνολο μηχανισμών αναπαράστασης, οργάνωσης, αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα Μοντέλων Δεδομένων αποτελούν τα CSV, XSD και RDF [14].

Σε αρκετές περιπτώσεις, ενδιάμεσα λογισμικά χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή ημι-δομημένων δέντρων Μοντέλων Δεδομένων, σειριοποιημένα συνήθως σε XML ή JSON, τα οποία ακολούθως μετατρέπονται σε, εξαρτημένα από τη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται, Μοντέλα Αντικειμένων. Αυτή η προσέγγιση εισάγει προβλήματα διαλειτουργικότητας ανάμεσα σε ομόσπονδες υποδομές, καθώς η επιλογή ενός συγκεκριμένου Μοντέλου Δεδομένων επιβάλλει περιορισμούς στους τρόπους έκφρασης της πληροφορίας. Σε ένα παράδειγμα σχετικό με τις έννοιες που συζητήσαμε προηγουμένως, οι περιγραφές των πόρων που χρησιμοποιούνται στην αναζήτηση και τη δέσμευση τους, στα πλαίσια της SFA αρχιτεκτονικής, χρησιμοποιούν όπως είδαμε σειριοποίηση τύπου XML. Αντίθετα, στη φάση ελέγχου του πειράματος στα πλαίσια του OMF, δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο XML όσο JSON σειριοποίηση. Κάθε προσέγγιση καθορίζει ένα ομοίμορφο πλαίσιο για την ανταλλαγή δεδομένων και μετα-δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών. Παρ' όλα αυτά, καμία από τις προς

επιλογή δομές δεδομένων, είτε βασισμένες σε δέντρα είτε σε λίστες, δεν καθορίζουν ένα ξεκάθαρο σημασιολογικό υπόβαθρο, ενώ υπάρχει και περιορισμένη δυνατότητα περιγραφής σχέσεων. Επιπλέον, το λεξιλόγιο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα πεδία της εκάστοτε δομής, δεν είναι σταθερό με αποτέλεσμα, για παράδειγμα, κάθε επέκταση ενός RSpec να μπορεί να ακολουθήσει ξεχωριστή, ελάχιστα διαφοροποιημένη προσέγγιση. Στην Εικόνα 2.3.1 σκιαγραφούνται χαρακτηριστικά οι περιορισμοί της σημασιολογίας που προκύπτει από τη δομή των δεδομένων· και τα δύο παραδείγματα περιέχουν την ίδια πληροφορία, όμως έχει ακολουθηθεί διαφορετικό φώλιασμα σε κάθε περίπτωση. Συνεπώς, η ορθή ερμηνεία της σειριοποιημένης πληροφορίας σε κάθε περίπτωση, έγκειται στην ευχέρεια του λειτουργικού κώδικα ο οποίος θα αναλάβει να το αναλύσει.

```
<resource name="PC-133">
  <administrator>Alexander Willner</administrator>
</resource>
<administrator name="Alexander_Willner">
  <resource>PC-133</resource>
</administrator>
```

Εικόνα 2.2.1. Ίδια πληροφορία, διαφορετική σύνταξη

Στα πλαίσια ενός ομόσπονδου περιβάλλοντος, παρόμοιο με αυτά που περιγράψαμε στις προηγούμενες υποενότητες, τέτοιες δυσκολίες επιδεινώνονται, καθώς κάθε ερευνητική υποδομή χρησιμοποιεί στις περιγραφές των πόρων της ελάχιστα διαφορετικά δομημένα έγγραφα. Ακριβώς αυτό το πρόβλημα της σύγκλισης τέτοιων συστημάτων ετερογενούς και διανεμημένης πληροφορίας ονομάζεται **Πρόβλημα Διαλειτουργικότητας** [15]. Γενικότερα, έγγραφα τα οποία χρησιμοποιούν σειριοποίηση τύπου XML, δεν μπορούν αυθαίρετα να συνδυαστούν με άλλα XML δέντρα με ευέλικτο τρόπο. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρεται στο [16], μία απλή συνένωση δύο δενδρικών δομών, παύει να αποτελεί δενδρική δομή, συνεπώς ένας συνδυασμός n περιγραφών πόρων θα απαιτούσε $O(n^2)$ μεταφράσεις. Όπως έγινε αντιληπτό και στην Εικόνα 2.2.1 ακόμα και στην περίπτωση που δύο τέτοια έγγραφα περιγράφουν τον ίδιο πόρο, είναι πιθανό αντίστοιχη πληροφορία των δύο δενδρικών δομών να συναντάται σε διαφορετικά σημεία και, ως αποτέλεσμα, επιπλέον ενέργειες να απαιτούνται για τη δημιουργία ενός ορθά διαμορφωμένου συνδυαστικού εγγράφου. Η σύνθεση τέτοιας συνδυαστικής πληροφορίας στα πλαίσια ενός ομόσπονδου περιβάλλοντος, συνιστά μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία η οποία εμπλέκει συγχρόνως σημαντική ποσότητα λειτουργικού κώδικα. Ένα παράδειγμα της χρησιμότητας τέτοιου είδους πληροφορίας αποτελεί

ο καθορισμός σχέσεων μεταξύ περιγραφών πόρων, όπως είναι η σχέση ομοιότητας (same-as) η οποία δεν δύναται να εκφραστεί μέσω του XML συντακτικού και η οποία δυνητικά θα αποτελούσε ιδιαίτερα δυνατό εργαλείο στην αναζήτηση πόρων της υποδομής από τους ερευνητές.

2.2.2 Σημασιολογικό Μοντέλο

Όπως γίνεται σαφές λοιπόν, υπάρχει επιτακτική η ανάγκη για εύρεση νέων, πληρέστερων τρόπων περιγραφής ετερογενών πόρων καθώς και για ανακάλυψη, σύνδεση και συγχώνευση συσχετιζόμενης πληροφορίας στα πλαίσια ομόσπονδων υποδομών. Μία κυρίαρχη προσέγγιση για την επίτευξη της ζητούμενης αποσαφήνισης είναι ο ορισμός *Σημασιολογικών Μοντέλων Πληροφορίας*.

Στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ICT) ως Σημασιολογικό Μοντέλο ορίζεται «κατηγορηματική ερμηνεία των εννοιών και των σχέσεων που τις χαρακτηρίζουν. Αυτή η ερμηνεία ορίζεται σε μία αναγνώσιμη από μηχανές δομή, κάνοντας τη διαθέσιμη τόσο στους ανθρώπους, όσο και στο εκάστοτε λογισμικό» [17]. Η υιοθέτηση, λοιπόν, του Σημασιολογικού Μοντέλου ως μεθόδου περιγραφής των πόρων του διαδικτύου, επιτρέπει στα διάφορα λογισμικά εργαλεία να «κατανοούν» τις εν λόγω περιγραφές. Ακόμη, καθιστά εφικτή τη χρήση αυτοματοποιημένων διαδικασιών (Reasoners) κατά τη διάρκεια των οποίων αξιολογούνται περαιτέρω τα αξιώματα δύο ή περισσότερων σημασιολογικά περιγεγραμμένων μοντέλων, συνδυάζονται, συνδέονται και επαληθεύονται οι πληροφορίες που αυτά φέρουν με σκοπό τη δημιουργία νέας πληροφορίας, το λεγόμενο *συμπερασμό γνώσης*. Αυτή η διαδικασία διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφορίας και συνεπώς τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε ομόσπονδα περιβάλλοντα όπως οι ερευνητικές υποδομές.

Σε αυτό το περιβάλλον λοιπόν ορίζεται η έννοια της *οντολογίας*: πρόκειται για μια «μερική σύλληψη ενός γνωσιακού τομέα, κοινή ανάμεσα σε μια κοινότητα χρηστών, η οποία έχει καθοριστεί από μία τυπική και αναγνώσιμη από μηχανή, γλώσσα και δομή» [18]. Ο λόγος ύπαρξης της οντολογίας δεν είναι άλλος από την ανταλλαγή σημασιολογικής πληροφορίας μεταξύ αυτοματοποιημένων συστημάτων.

Μια οντολογία προσφέρει ένα περιεκτικό και συστηματικό τρόπο αποσαφήνισης της σημασιολογίας των πόρων του Διαδικτύου και μοντελοποίησης τους. Προσδιορίζει τις *έννοιες* (concepts) ενός τομέα, τις *ιδιότητες* (properties) που αυτές παρουσιάζουν καθώς και τις *πιθανές σχέσεις* (relations) που τις διέπουν, με στόχο να εξαλείψουν τις εννοιολογικές και ορολογικές ασυμβατότητες. Γενικά, οι οντολογίες ακολουθούν τη λεγόμενη *θεώρηση ανοικτού κόσμου* (Open World Approach, OWA) [19], στα πλαίσια τις οποίας, οποιαδήποτε δήλωση δεν δύναται

να επαληθευθεί από το περιεχόμενο μία οντολογίας, δεν νοείται απαραίτητα ως λανθασμένη, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την επέκταση της από άλλες οντολογίες..

Καθώς το Διαδίκτυο, επί του παρόντος, είναι δομημένο με κύριο δράστη τον ανθρώπινο παράγοντα, τα δεδομένα που φιλοξενούνται σε αυτό είναι άνευ χρηστικής σημασίας για τους υπολογιστές και τις διαδικτυακές εφαρμογές. Οι γλώσσες και τα μεταδεδομένα που χρησιμοποιούνται για να περιγραφούν αυτά τα δεδομένα (XML, HTML κλπ.) εστιάζουν κυρίως στον καθορισμό της δομής τους, με συνέπεια να στερούνται της δυνατότητας σαφούς σημασιολογικής μοντελοποίησης που θα καθιστούσε εφικτή την ερμηνεία τους από υπολογιστές.

Αυτό το κενό καλείται να καλύψει ο *Σημασιολογικός Ιστός*. Στα πλαίσια του *Σημασιολογικού Ιστού*, επιθυμητό στόχο αποτελεί η δυνατότητα των διαδικτυακών συστημάτων να κατανοούν το περιεχόμενο μιας διαδικτυακής πηγής, συνδυάζοντάς το παράλληλα με το περιεχόμενο άλλων πηγών, οδηγούμενα μάλιστα σε λογικά συμπεράσματα και παραγωγή νέας γνώσης με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

Το δόμημα του Σημασιολογικού Ιστού έχει βασιστεί στο *Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων* (Resource Description Framework, RDF) το οποίο χρησιμοποιεί τριπλέτες αποτελούμενες από υποκείμενο, κατηγορημα και αντικείμενο, για να δημιουργήσει ένα μοντέλο δεδομένων βασισμένο σε γράφο. Το υποκείμενο αντιπροσωπεύεται από ένα μοναδικό *Ενιαίο Αναγνωριστικό Πόρων* (Uniform Resource Identifier, URI), ενώ το αντικείμενο δύναται να αντιπροσωπεύεται τόσο από ένα URI όσο από ένα λέκτιμα. Το μοντέλο αυτό είναι ανεξάρτητο του τρόπου σειριοποίησης των δεδομένων (RDF/XML, N-Triples, TTL, JSON-LD κλπ.) και αποτελεί ουσιαστικά ένα μέσο περιγραφής οντολογιών.



Εικόνα 2.2.2. Μορφές RDF Τριπλέτας

Ενώ το απλό RDF πλαίσιο συναντάται στην περιγραφή απλών οντολογιών, για πιο σύνθετες δομές συστάθηκε το πλαίσιο RDFS (Resource Description Framework Schema) [20] στο οποίο εισάγονται έννοιες της κλάσης (class), του εύρους (range) και του τομέα (domain) ταυτόχρονα με κατηγορήματα ορισμού υποκλάσεων και κανόνες συνεπαγόμενης κληροδότησης. Με αυτά

τα μέσα καθίσταται εφικτή η ομαδοποίηση των πόρων καθώς και η επαλήθευση της καταλληλότητας των υποκειμένων και αντικειμένων που συνδέει κάθε κατηγορία.

Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα παραπάνω λεξιλόγια εμφανίζονται ανεπαρκή όπως στην περίπτωση που χρειάζεται να περιγράψουν πολυσύνθετες οντολογίες οι οποίες απαιτούν στις προδιαγραφές τους σχέσεις που δηλώνουν ισότητα, συμμετρία ή αντιστροφή. Για την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης αναπτύχθηκε η *Γλώσσα Οντολογίας Ιστού* (Web Ontology Language, OWL) [21], η οποία εισήγαγε ένα πλούσιο σύνολο σημασιολογικών όρων και κανόνων οι οποίοι επιτρέπουν τη δημιουργία πολύπλοκων εκφράσεων για την μοντελοποίηση των ανωτέρω σχέσεων.

Τέλος, αφού η πληροφορία κωδικοποιηθεί σε ένα κατευθυνόμενο γράφο όπως αυτός που περιγράφηκε, μηχανισμοί όπως οι [22] και [23] μπορούν να δράσουν επί αυτού και να αποδώσουν τεκμαιρόμενη γνώση και ακολούθως επέκταση του σημασιολογικού γράφου. Επιπροσθέτως, πολύπλοκα ερωτήματα εκφρασμένα σε γλώσσες όπως η SPARQL [24] μπορούν να υποβληθούν επί του γράφου. Το συντακτικό της είναι παρόμοιο με αυτό της SQL και βασίζεται στο ταίριασμα σειριοποιημένων μοτίβων του γράφου με εκφράσεις που περιέχουν μεταβλητές. Στην πιο πρόσφατη έκδοσή της έχει εμπλουτιστεί με δυνατότητες δημιουργίας, ενημέρωσης και επέκτασης υπογραφών.

3. Σχετικές Εργασίες

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει σχετικές εργασίες που έχουν προταθεί στις δύο βασικές θεματικές περιοχές που πραγματεύεται η διπλωματική, καταλήγοντας στις ομοιότητες αλλά και τις διαφορές με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε.

3.1 Ανακάλυψη, Δέσμευση και Παροχή Πόρων Ερευνητικών Υποδομών

Στα πλαίσια του Μελλοντικού Διαδικτύου (Future Internet, FI) οι διάφορες ερευνητικές εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο, παρέχουν ένα σύνολο πολυποίκιλων πόρων στην ερευνητική κοινότητα. Όπως γίνεται φανερό, κάθε μία από αυτές τις εγκαταστάσεις χρειάζεται ένα τρόπο να διαχειρίζεται τις υποδομές τις καθώς και να διαλειτουργεί απρόσκοπτα με τις άλλες. Προς αυτή την κατεύθυνση, έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα λογισμικών συστημάτων:

Το *SFAWrap* [25] είναι ένα πλαίσιο που δημιουργεί μια SFA διεπαφή σε μια υποδομή, εκμεταλλεύόμενο τις υπηρεσίες που έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται από αυτή, για αλληλεπίδραση με τους πόρους και τον χειρισμό τους. Παρόλα αυτά, δεν αποτελεί ένα πλήρες πλαίσιο ελέγχου και διαχείρισης.

Το *FIRMA* [26] προτείνει μια επεκτάσιμη αρχιτεκτονική για ομοσπονδοποίηση των ερευνητικών υποδομών, που βασίζεται σε σημασιολογικά πληροφοριακά μοντέλα εκφρασμένα σε *Linked Data* [29]. Βασική ομοιότητα με την αρχιτεκτονική που προτείνεται σε αυτή την εργασία είναι η προσπάθεια τυποποίησης των ανταλλασσόμενων περιγραφών πόρων, αξιοποιώντας τεχνοτροπίες του σημασιολογικού ιστού.

Το πλαίσιο ελέγχου *ORCA* [27] αποτελείται από επιμέρους λογισμικά τα οποία υποστηρίζουν τη διαχείριση προγραμματιστικά ελεγχόμενων στοιχείων (εξυπηρετητές, βάσεις δεδομένων κλπ.), απαρτίζοντας μια υπολογιστή υποδομή Νέφους (Cloud computing infrastructure).

Από την άλλη, ο *FOAM* [28] είναι ένας Διαχειριστής Συνόλου (AM), ο οποίος αποτελεί τμήμα της ερευνητικής πρωτοβουλίας *GENI* και παρέχει μία πλήρη λύση για την υποστήριξη συστημάτων κατανομής και πειραματισμού πάνω σε πόρους τύπου *OpenFlow* [30].

Οι παραπάνω προτάσεις αναπτύχθηκαν με κύριο μέλημα την εξυπηρέτηση πρωτίστως ενός υποσυνόλου παρόμοιων ερευνητικών υποδομών και δευτερευόντως να καταστούν όσο το δυνατόν περισσότερο γενικού σκοπού. Μία προσέγγιση η οποία καθιστά ευκολότερα ικανή την υιοθέτηση ενός κοινού πλαισίου διαχείρισης και ομοσπονδοποίησης από πληθώρα ετερογενών ερευνητικών υποδομών, αποτελεί ο *Broker*.

Broker (Μεσίτης)

Μια οντότητα η οποία δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει την ανάγκη ύπαρξης ενός αυτοματοποιημένου μηχανισμού για εύρεση, δέσμευση και παροχή πόρων των ερευνητικών υποδομών στους ερευνητές, αποτελεί ο *Broker*. Το κυρίαρχο πλεονέκτημά του έναντι των υπόλοιπων προσεγγίσεων που αναφέρθηκαν είναι ότι η αρχιτεκτονική του σχεδιάστηκε με κυρίαρχο τον προσανατολισμό στις υπηρεσίες που προσφέρει η εκάστοτε εγκατάσταση, διαχωρίζοντας τες από τη διαδικασία διαχείριση των πόρων της (Service Oriented Architecture, SOA).

Η αρχιτεκτονική του Broker σχεδιάστηκε με γνώμονα τα εξής τέσσερα θεμέλια δομοστοιχεία, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί μία βασική λειτουργία του:

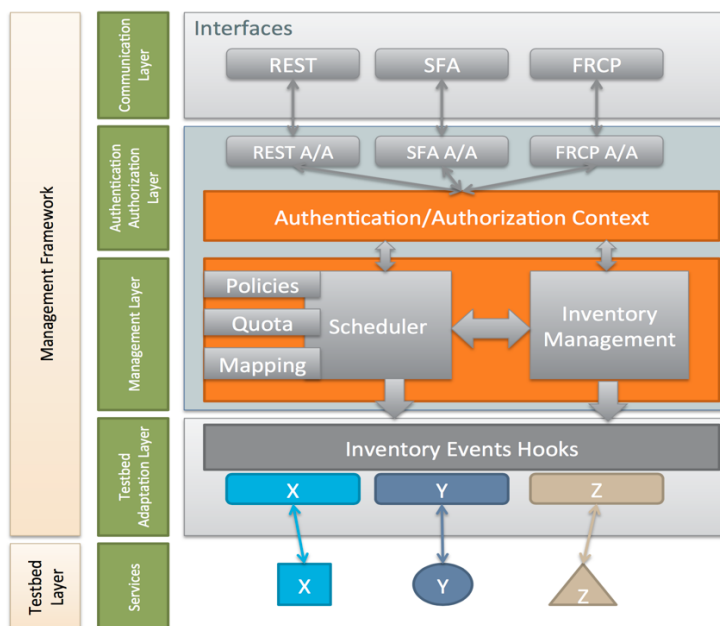
1. *Επικοινωνία*
2. *Επαλήθευση/Εξουσιοδότηση*
3. *Χρονοδρομολόγηση*
4. *Διασύνδεση*

Η επικοινωνία των παραπάνω οντοτήτων πραγματοποιείται με ασύγχρονα ανταλλασσόμενα μηνύματα.

3.1.1 Επικοινωνία (Communication)

Πρόκειται για το σύνολο των τις διαθέσιμων διεπαφών του Broker. Στην τρέχουσα υλοποίηση του εντοπίζονται οι ακόλουθες τρεις:

- *XML-RPC*: αποτελεί τον κύριο τρόπο επικοινωνίας με πελάτες SFA αρχιτεκτονικής. Απαιτεί σειριοποίηση τύπου XML-RSpec.
- *FRCP*: προσφέρεται για διαλειτουργικότητα με τους *Χειριστές Πόρων* (Resource Controllers, RCs) στοχεύοντας στην αυτοματοποίηση επιμέρους λειτουργιών των ερευνητικών υποδομών. Απαιτεί σειριοποίηση τύπου XMPP.
- *RESTful*: πρόκειται για την πιο ευέλικτη από τις διαθέσιμες διεπαφές του συστήματος με αποτέλεσμα την αξιοποίησή της στην υλοποίηση υπολειπόμενης λειτουργικότητας του συστήματος, όπως η διοίκηση. Μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα για επικοινωνία με τρίτους. Απαιτεί σειριοποίηση τύπου JSON.



Εικόνα 3.1.1. Σύνοψη της αρχιτεκτονικής του Broker όπου γίνεται διακριτή η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων των επιμέρους συστατικών στοιχείων.

3.1.2 Επαλήθευση/Εξουσιοδότηση (Authentication/Authorization, A/A)

Αποτελεί το «στρώμα προστασίας» του συστήματος, καθώς ο ρόλος της περιλαμβάνει τον έλεγχο των διαπιστευτηρίων του χρήστη που προσπαθεί να επικοινωνήσει με τα βαθύτερα υποστρώματα. Τα διαπιστευτήρια αυτά ακολουθούν το πρωτόκολλο X.509 και μπορούν να προκύψουν είτε άμεσα από υπογεγραμμένα XML αρχεία που καταθέτει ο χρήστης μαζί με την αίτησή του και περιλαμβάνουν τα προνόμια που του έχουν εξουσιοδοτηθεί (XML-RPC), είτε έμμεσα από το ρόλο/ταυτότητα του (RESTful). Με βάση αυτά λαμβάνει χώρα η ταυτοποίηση της ιδιότητας του χρήστη καθώς και οι επιτρεπόμενες αλληλεπιδράσεις του με το σύστημα. Άξιο αναφοράς είναι το ότι σε κάθε διεπαφή αντιστοιχεί ξεχωριστό υποσύστημα Επαλήθευσης/Εξουσιοδότησης.

3.1.3 Χρονοδρομολογητής (Scheduler)

Ακολουθώντας την αρχή κατά την οποία «όποιος παρουσιάζεται πρώτος, εξυπηρετείται πρώτος» (First-Come-First-Served, FCFS) ο Χρονοδρομολογητής αποφασίζει εάν θα διεκπεραιωθεί το αίτημα του χρήστη για δέσμευση πόρων τη δοθείσα χρονική στιγμή. Ελέγχοντας την διαθεσιμότητα των πόρων, αναλαμβάνει την ολοκλήρωση της κράτησης εκ μέρους του αρμόδιου τεμαχίου (slice), σε συμμόρφωση πάντα με τις συμφωνηθείσες πολιτικές διανομής. Βάσει αυτών των πολιτικών επιλύονται οι συγκρούσεις μεταξύ αιτήσεων που

αναφέρονται στην δέσμευση ίδιων πόρων, την ίδια χρονική στιγμή. Επιπρόσθετα, είναι υπεύθυνος για τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες που αφορούν τις κρατήσεις των χρηστών, όπως για παράδειγμα είναι η προγραμματισμένη δέσμευση/αποδέσμευση πόρων σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

3.1.4 Διασυνδέτης (AM Liaison)

Είναι υπεύθυνος για να διατηρεί συγχρονισμένες τις βάσεις δεδομένων των ερευνητικών εγκαταστάσεων που διαχειρίζεται το σύστημα, σχετικά με όλες τις επικείμενες δεσμεύσεις πόρων. Χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων το οποίο προέρχεται από το OMF πλαίσιο, για να ενημερώνει τους αρμόδιους Resource Controllers των testbeds, κάθε φορά που μία κράτηση εκκινεί ή περατώνεται.

Ένα τυπικό σενάριο χρήσης του Broker έχει ως αρχή το αίτημα του χρήστη για δέσμευση πόρων της ερευνητικής υποδομής μέσω μίας εκ των διαθέσιμων διεπαφών. Τα διαπιστευτήρια του ελέγχονται από το σύστημα Επαλήθευσης/Εξουσιοδότησης και στη συνέχεια ο Δρομολογητής αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει το αίτημα της δέσμευσης, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των πόρων. Τέλος, ο Διασυνδέτης αναλαμβάνει την κατανομή των πόρων στο χρήστη.

Αντίθετα με την αρχιτεκτονική που αναπτύξαμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, ο Broker δεν αξιοποιεί κάποιου είδους σημασιολογική τεχνοτροπία για την περιγραφή των πόρων που διαχειρίζεται. Η διαλειτουργικότητα επομένως των ερευνητικών υποδομών που διαχειρίζεται, υπόκειται τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στην *Περιγραφή του Προβλήματος* (Ενότητα 1.2).

3.2 Διαλειτουργικότητα Ερευνητικών Υποδομών σε Σημασιολογικό Επίπεδο

Η εφαρμογή σημασιολογικών μοντέλων για την αντιμετώπιση προβλημάτων γύρω από την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα των διαδικτυακών υποδομών στα πλαίσια ενός κοινού πλαισίου διαχείρισης τους, είναι ένα σχετικά σύγχρονο πεδίο έρευνας. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αξιοσημείωτες βήματα σε αυτή την κατεύθυνση [31].

Ένα από τα βασικότερα μοντέλα που αναπτύχθηκαν είναι το *Network Description Language* (NDL) [32] που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την απεικόνιση και δρομολόγηση της ιεραρχίας πολυστρωματικών δικτύων εντός του *GLIF* [34], καθώς και για την αφαιρετική περιγραφή των τοπολογιών του. Βασισμένο σε αυτό το μοντέλο είναι το *Network Mark-Up Language* (NML)

[33], το οποίο σχεδιάστηκε για να περιγραφούν τα δίκτυα υπολογιστών, όσο το δυνατό γενικότερα, επιτρέποντας παράλληλα την πιθανή επέκτασή του από αναδυόμενες αρχιτεκτονικές στον τομέα των δικτύων.

Δημιουργήθηκε, ως φυσικό επόμενο, η ανάγκη για σημασιολογική περιγραφή των ομόσπονδων υποδομών που συνιστούσαν τα παραπάνω δίκτυα. Για την εξυπηρέτηση αυτής της ανάγκης, αναπτύχθηκε το *Infrastructure and Network Description Language* (INDL) [35], στο οποίο περιγράφονται οι παραπάνω υποδομές, με τρόπο ανεξάρτητο της τεχνολογίας που αυτές υποστηρίζουν, ενώ ταυτόχρονα καθορίζονται οι δομές των πόρων και υπηρεσιών που αυτές παρέχουν, υποστηρίζοντας γενικότερα τις διαδικασίες της περιγραφής, αναζήτησης, μοντελοποίησης, σύνθεσης και παρακολούθησής τους.

Παράλληλα με το INDL, ορίστηκε το *Network Description Language based on the Web Ontology Language* (NDL-OWL) [36], στο οποίο προσδιορίζονται οι διαδικασίες ελέγχου και διαχείρισης πολύπλοκων διασυνδεδεμένων ερευνητικών υποδομών. Επιτρέπει τον πολυσύνθετο συμπερασμό γνώσης και παρέχει τα μέσα για καταμερισμό πόρων, υπολογισμό μονοπατιών και ενσωμάτωση τοπολογιών.

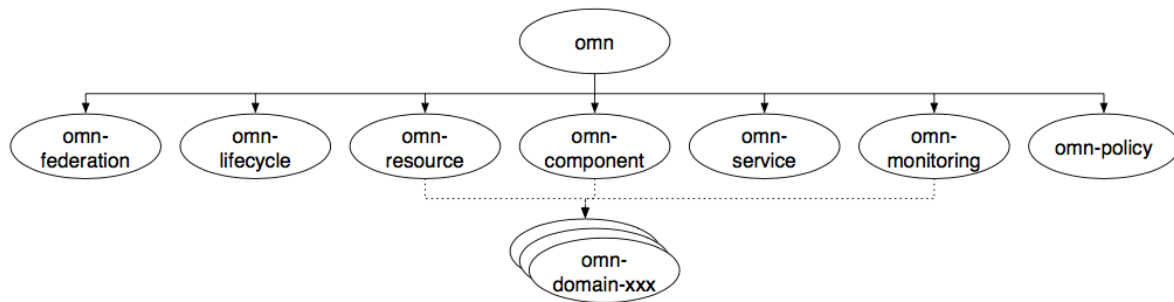
Συνέχεια της δουλειάς που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του NDL-OWL θα πρέπει να θεωρηθεί το *Testbed as a Service Ontology Repository* (TaaSOR) [37], μοντέλο το οποίο δημιουργήθηκε με στόχο να εμπλουτιστούν σημασιολογικά τα XML RSpecs, υποβοηθώντας με αυτό τον τρόπο τη διαχείριση των πόρων και τον πειραματισμό στα πλαίσια ομόσπονδων ερευνητικών υποδομών.

Όπως γίνεται εμφανές, η πρόοδος που έχει σημειωθεί από τα παραπάνω μοντέλα, αν και εξέχουσας σημασίας, εστιάζει κυρίως στη διαδικασία χαρτογράφησης των διαθέσιμων πόρων, αφήνοντας ένα κενό στην υποστήριξη του πλήρους κύκλου ζωής των πειραμάτων και την αναλυτική μοντελοποίηση των εννοιών της διαδικασίας ομοσπονδοποίησης των ερευνητικών υποδομών. Αυτό το κενό ήρθε να γεμίσει η *Οντολογία Open-Multinet* [38].

Οντολογία Open-Multinet (OMN)

Η OMN αποτελεί μια σουίτα οντολογιών που δημιουργήθηκε για τη μοντελοποίηση και την περιγραφή των συστατικών στοιχείων και των διάφορων υπηρεσιών των υποδομών. Απώτερο στόχο πίσω από την αιτία της δημιουργίας της, αποτέλεσε η υποστήριξη του κύκλου ζωής των πειραμάτων που διενεργούνται στα πλαίσια του Μελλοντικού Διαδικτύου, σε ομόσπονδα περιβάλλοντα. Απαρτίζεται από την ανώτερη οντολογία (*omn upper ontology*) και από το ακόλουθο σύνολο οκτώ παράγωγων της, οντολογιών: (1) *omn-federation*, (2) *omn-lifecycle*, (3) *omn-resource*, (4) *omn-component*, (5) *omn-service*, (6) *omn-monitoring*, (7) *omn-policy*

και (8) επεκτάσεις ειδικές για τον εκάστοτε τομέα με την ονομασία *omn-domain-xxx*. Οι οντολογίες αυτές, ακολουθούν την κάτωθι ιεραρχία.



Εικόνα 3.2.1. Η ιεραρχία της Open-Multinet Οντολογίας

3.2.1 OMN Upper Ontology

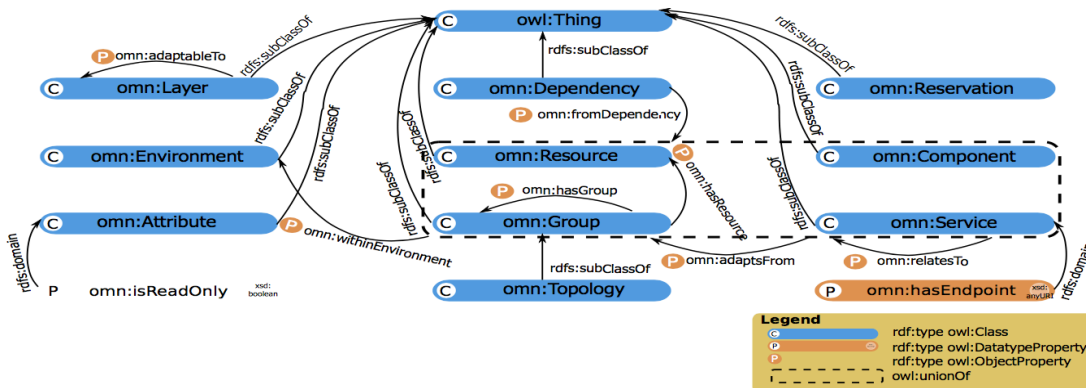
Η ανώτερη οντολογία καθορίζει τους αφηρημένους όρους που απαιτούνται για την περιγραφή ομόσπονδων υποδομών γενικότερα. Αποτελείται δε από ένα σύνολο κλάσεων που αντιπροσωπεύουν έννοιες αντίστοιχες των συστατικών στοιχείων και υπηρεσιών αυτών των υποδομών και οι οποίες απαριθμούνται στις εξής:

- *Πόρος* (Resource): ένα αυτόνομο στοιχείο της υποδομής το οποίο μπορεί να κατανεμηθεί σε ένα χρήστη, όπως για παράδειγμα ένας διαδικτυακός κόμβος.
- *Υπηρεσία* (Service): μία διαχειρίσιμη οντότητα η οποία μπορεί να ελεγχθεί και να χρησιμοποιηθεί μέσω διεπαφών, για τις δυνατότητες που προσφέρει, για παράδειγμα μια SSH σύνδεση.
- *Συστατικό μέρος* (Component): απαρτίζει ένα μέρος ενός Πόρου/Υπηρεσίας, για παράδειγμα μία θύρα ενός διαδικτυακού κόμβου.
- *Χαρακτηριστικό* (Attribute): χρησιμεύει στην περιγραφή των ιδιοτήτων ενός συγκεκριμένου Πόρου/Υπηρεσίας/Συλλογής/Συστατικού Στοιχείου, για παράδειγμα η Ποιότητα της Υπηρεσίας (Quality of Service)
- *Συλλογή* (Group): αποτελεί ένα σύνολο Πόρων και Υπηρεσιών, για παράδειγμα μια ερευνητική υποδομή ή μια ζητούμενη διαδικτυακή τοπολογία που συστάθηκε για την εκτέλεση συγκεκριμένης λειτουργίας.
- *Εξάρτηση* (Dependency): περιγράφει μια μονοκατευθυντήρια σχέση μεταξύ Πόρων/Υπηρεσιών/Συλλογών/Συστατικών Στοιχείων για παράδειγμα τη συγκεκριμένη σειρά με την οποία πρέπει να δημιουργούνται οι διάφοροι πόροι, πρώτα μία διαδικτυακή σύνδεση, έπειτα οι κόμβοι που συνάπτονται σε αυτή.

- *Στρώμα (Layer)*: περιγράφει ένα σημείο εντός μιας ιεραρχίας, στο οποίο μπορεί να προσαρμοστεί ένας συγκεκριμένος Πόρος/Υπηρεσία/Συλλογή/Συστατικό Στοιχείο. Οι πόροι μιας υποδομής, παραδείγματος χάριν, εμπίπτουν στην κατηγορία των στρωμάτων, καθώς πόροι που βρίσκονται υψηλότερα στην ιεραρχία απαιτούν την παρουσία πόρων σε χαμηλότερα στρώματα για να λειτουργήσουν.
- *Περιβάλλον (Environment)*: οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες ένας Πόρος/Υπηρεσία/Συλλογή εκτελεί τη λειτουργία του, για παράδειγμα ένα εικονικό μηχάνημα ή ένα λειτουργικό σύστημα που απαιτεί έναν πόρο για τη λειτουργία του.
- *Δέσμευση (Reservation)*: προδιαγράφει μία εγγύηση συγκεκριμένης διάρκειας.

Επιπρόσθετα, η ανώτερη οντολογία περιγράφει 23 ιδιότητες (properties) των παραπάνω κλάσεων, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι:

- *hasAttribute*: αποδίδει ένα Attribute σε ένα Component/Resource/Service/Group, για παράδειγμα η ταχύτητα της CPU.
- *hasComponent*: συνδέει ένα Component/Resource/Service με κάποιο Component.
- *hasGroup*: συνδέει ένα Group με κάποιο Group και αποτελεί την αντίστροφη της *isGroupOf*.
- *hasReservation*: αποδίδει μία κράτηση σε ένα Resource/Service/Group.
- *hasResource*: δηλώνει ότι ένα συγκεκριμένο Group περιλαμβάνει ένα Resource.
- *hasService*: δηλώνει ότι ένα Resource/Service/Group παρέχει ένα Service.
- *withinEnvironment*: καθορίζει το περιβάλλον μέσα στο οποίο δρα ένα Component/Resource/Service/Group



Εικόνα 3.2.1. Οι κύριες έννοιες και οι ιδιότητες της OMN Upper Ontology

3.2.2 OMN Federation

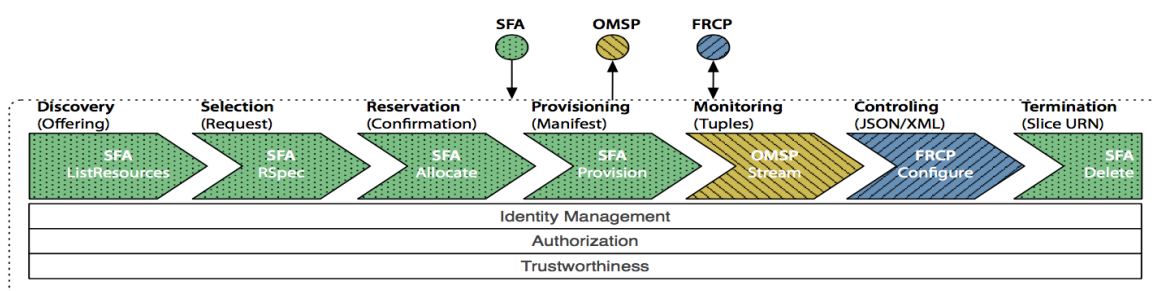
Οι πάροχοι των ομόσπονδων υποδομών διατηρούν την αυτονομία τους όσον αφορά τις αποφάσεις και πολιτικές περί καταμερισμού των πόρων, παρόλα αυτά οφείλουν να αλληλεπιδρούν με τις υπόλοιπες υποδομές μέσω συγκεκριμένων λειτουργιών. Για να μοντελοποιηθεί αυτή η αλληλεπίδραση εισάγονται κλάσεις όπως *Federation*, *FederationMember* και *Infrastructure* παράλληλα με properties όπως *hasFederationMember* και *isAdministeredBy*. Οι δύο πρώτες κλάσεις αποτελούν υποκλάσεις της *schema:Organization* πράγμα που τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν τα properties του Schema λεξιλογίου. Η τρίτη είναι όμοια της *novi:Platform* και συνδέει τις ερευνητικές υποδομές με την ομοσπονδία τους ή τα μέλη αυτής, ενώ αποτελεί υποκλάση της *Group* επιτρέποντας έτσι στις υποδομές να παρέχουν υπηρεσίες όπως ο SFA Aggregate Manager.

3.2.3 OMN Lifecycle

Πρόκειται για σημαντική οντολογία η οποία περιέχει τους όρους που περιγράφουν πλήρως τον κύκλο ζωής του πειράματος και υποστηρίζουν τη διαχείρισή του, για παράδειγμα περιγράφοντας τις διάφορες καταστάσεις του όπως *Active* (Ενεργό) και *Stopped* (Σταματημένο). Πιο συγκεκριμένα αντανακλά τις τέσσερις φάσεις που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.1:

1. η υποδομή κοινοποιεί μια Προσφορά (*Offering*) όπου περιγράφει τους διαθέσιμους πόρους.
2. ο χρήστης δημιουργεί μία Αίτηση (*Request*) στην οποία καθορίζει την ζητούμενη υποτοπολογία πόρων από κάποιο πάροχο πόρων.
3. η Επιβεβαίωση (*Confirmation*) περιέχει μια δεσμευμένη ή μη σύμβαση από μέρος του παρόχου ότι θα κατανείμει τους ζητούμενους πόρους.
4. τέλος, η Δήλωση (*Manifest*) περιγράφει τους πόρους που κατανεμήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους.

Καθένα από τα παραπάνω στάδια αναπαρίσταται σαν υποκλάση της κλάσης *Group*.



Εικόνα 3.2.2. Οι φάσεις και τα πρωτόκολλα του κύκλου ζωής του πειράματος

3.2.4 OMN Monitoring

Η συγκεκριμένη οντολογία περιγράφει τις κύριες έννοιες και σχέσεις που αφορούν τις υπηρεσίες παρακολούθησης των υποδομών. Προς αυτό το σκοπό περιλαμβάνει κλάσεις όπως οι *Metrics* που περιγράφει τις μετρήσεις, *Data* που περιγράφει τα δεδομένα τους, *Unit* για τις μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν στις εν λόγω μετρήσεις, *Tool* για τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή τους και διάφορα *Generic-Concepts*. Η Monitoring οντολογία, συνεπώς, περιγράφει κοινές και βασικές έννοιες και ιδιότητες οι οποίες επαναχρησιμοποιούνται και εξειδικεύονται σε οντολογίες χαμηλότερα στην ιεραρχία.

3.2.5 OMN Resource

Αυτή η οντολογία διαπραγματεύεται την δικτύωση της υποδομής. Περιλαμβάνει έννοιες που υποστηρίζουν τη δημιουργία πολυσύνθετων δικτύων από διασυνδεδεμένους πόρους. Επιπλέον, υποστηρίζει την περιγραφή μονής ή διπλής κατεύθυνσης συνδέσεων οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν στον καθορισμό της κατεύθυνσης των αντίστοιχων ροών φορτίων. Για τον καθορισμό των παραπάνω εννοιών ορίζει κλάσεις όπως οι *Node*, *Link* και *IPAddress*.

3.2.6 OMN Component

Αποτελείται από ένα σύνολο κλάσεων που καλύπτουν τις βασικές οντότητες οποιασδήποτε *Τεχνολογίας Πληροφορίας και Επικοινωνίας* (Information and Communication Technology, ICT) οι οποίες αποτελούν συστατικά μέρη των προσφερόμενων Πόρων (Resources) και Υπηρεσιών (Services). Οι έννοιες που περιγράφονται σε αυτήν την οντολογία, αποτελούν υποκλάσεις της κλάσης *Component* της Upper Ontology και παραδείγματά τους αποτελούν η κλάση *CPU*, η οποία περιγράφει έναν επεξεργαστή ενός πόρου και η κλάση *Memory*, που περιγράφει αντίστοιχα τη μνήμη του. Οποιαδήποτε κλάση από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εύρος της ιδιότητας *hasComponent*, η οποία ανήκει στις κλάσεις *Component/Resource/Service*.

3.2.7 OMN Service

Η οντολογία αυτή καθορίζει τις ICT υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται εντός των πλαισίων των πειραμάτων. Οποιαδήποτε οντότητα η οποία αποδίδει μια αξία στο χρήστη, αποτελεί γι' αυτή την οντολογία μια τέτοια υπηρεσία. Η τρέχουσα έκδοσή της καλύπτει ένα σύνολο υπηρεσιών οι οποίες υλοποιούνται και χρησιμοποιούνται από την OMN οντολογία για τους πειραματισμούς του Future Internet.

3.2.8 OMN Policy

Βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο υλοποίησης, όμως σχεδιάζεται για να καλύψει τις έννοιες και τις σχέσεις που διέπουν τις πολιτικές. Στοχεύει στην περιγραφή της συμπεριφοράς γύρω από τη διοίκηση των ομόσπονδων υποδομών, μέσα από ένα σύνολο πολιτικών [39] όπως είναι οι πολιτικές ταυτοποίησης, απόδοσης ελέγχου, ρόλου και αποστολής εντός της ομοσπονδίας. Λαμβάνει ως αφετηρία την οντολογία NOVI policy.

3.2.9 OMN Domain Specific

Η OMN σουίτα παρέχει τη δυνατότητα ορισμού οντολογιών εξειδικευμένων για κάποιο τομέα, με στόχο την οριοθέτηση των εννοιών και σχέσεων που τον διέπουν. Αυτές οι έννοιες και σχέσεις, μπορούν να ομαδοποιηθούν με άλλες που ανήκουν σε διαφορετικές οντολογίες της σουίτας διαμορφώνοντας έτσι την εξειδικευμένη οντολογία.

Μια τέτοια οντολογία, συγκεκριμένα η *omn-domain-wireless*, χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής και περιγράφει τη συμπεριφορά των ασύρματων δικτύων.

4. Σχεδίαση Συστήματος

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η αρχιτεκτονική του OMN-Broker, του συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Παρέχεται συνοπτικά η βασική λειτουργικότητα των υποσυστημάτων που το απαρτίζουν, καθώς και η μοντελοποίηση των δεδομένων που ακολουθείται.

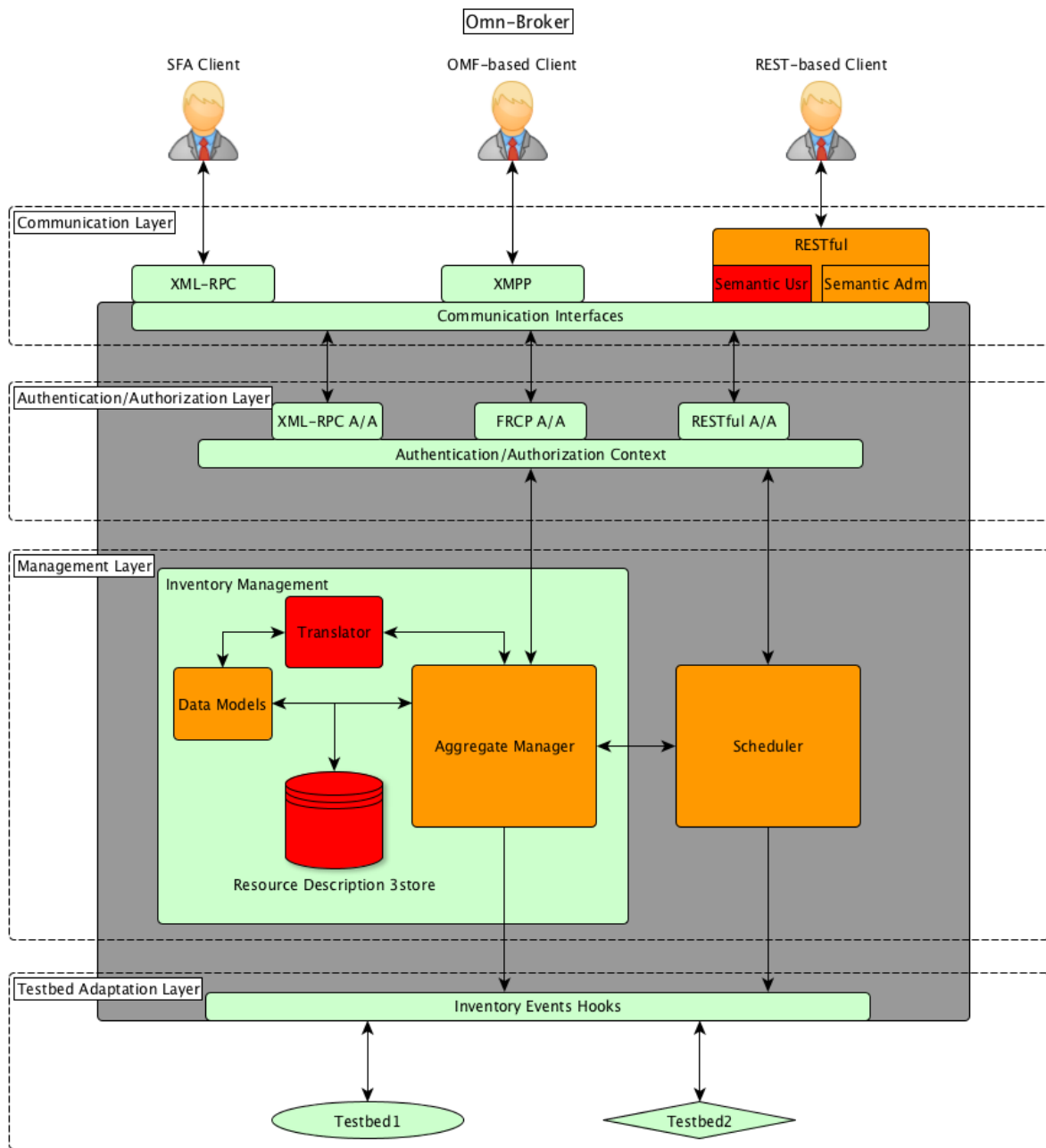
4.1 Περιγραφή Αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική του OMN-Broker βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε αυτή του προϋπάρχοντος Broker, όπως αυτή περιγράφηκε στην ενότητα 3.2, επεκτείνοντας τη και προσθέτοντας νέα υποσυστήματα ικανά να υποστηρίξουν τη λειτουργία του με χρήση οντολογιών. Έπειτα από σχετική μελέτη, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αρκετά από τα υποσυστήματα που συνθέτουν την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του Broker δεν χρειάζονται μετατροπή για να υποστηρίξουν τη νέα αυτή λειτουργικότητα. Ως εκ τούτου, προκειμένου να μην επανεφεύρουμε τον τροχό, προχωρήσαμε στην τροποποίηση του παρόντος συστήματος και όχι στην εξ ολοκλήρου ανάπτυξη ενός νέου.

Ως αποτέλεσμα αυτών των τροποποιήσεων, ένας πειραματιστής που επιθυμεί να αλληλεπιδράσει με την ερευνητική υποδομή του NETMODE αποκτά πλέον πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες, ανταλλάσσοντας σημασιολογική πληροφορία.

Το προτεινόμενο σύστημα διαθέτει διεπαφές, μέσω των οποίων γίνεται η επικοινωνία με τους εξωτερικούς δράστες (Communication Layer) ακολουθούμενο από ένα «στρώμα προστασίας» όπου επαληθεύονται οι χρήστες πριν τους επιτραπεί η αλληλεπίδραση με τα εσωτερικά στρώματα (Authentication/Authorization Layer, A/A Layer). Βαθύτερα, συναντάμε τον πυρήνα του σχεδιασμού, το Στρώμα Διαχείρισης (Management Layer), το οποίο είναι υπεύθυνο α) για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών που υποστηρίζονται, αυτοματοποιημένων ή αιτούμενων από εξωτερικό δράστη και β) για τη συνέπεια και εγκυρότητα των δεδομένων της βάσης. Τέλος, στο νοτιότερο άκρο της αρχιτεκτονικής τοποθετείται το Στρώμα Προσαρμογής (Testbed Adaptation Layer), στο οποίο λαμβάνει χώρα η επικοινωνία τους συστήματος με τους ελεγκτές της ερευνητικής υποδομής.

Στην Εικόνα 4.1.1 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του OMN-Broker· με πράσινο χρώμα επισημαίνονται τα στοιχεία που παραμένουν ως έχουν, με πορτοκαλί, στοιχεία των οποίων η λειτουργία τροποποιείται και με κόκκινο στοιχεία τα οποία προστίθενται για την υποστήριξη της επεκτεταμένης λειτουργικότητας.



Εικόνα 4.1.1. Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής του OMN-Broker

4.2 Βασική Λειτουργικότητα Συστατικών Αρχιτεκτονικής

Communication Layer

Στο στρώμα επικοινωνίας, οι αλλαγές επικεντρώθηκαν στην REST διεπαφή και αναλύονται παρακάτω, ενώ οι XML-RPC και XMPP(FRCP) διεπαφές συνεχίζουν να λειτουργούν με τον τρόπο που περιγράφηκε στην ενότητα 3, υποστηρίζοντας επικοινωνία με SFA-συμβατούς και OMF-συμβατούς πελάτες αντίστοιχα.

Rest API: Το υποσύστημα αυτό υλοποιεί τις προγραμματιστικές διεπαφές REST. Η μέχρι πρότινος λειτουργία του περιοριζόταν στη διαχείριση μη-σημασιολογικού περιεχομένου αιτημάτων και αποκρίσεων που αναφέρονταν σε λειτουργικότητα που αφορά διαχειριστή. Αποτελεί την πιο ευέλικτη και εύχρηστη από τις παρεχόμενες διεπαφές και γι' αυτό το λόγο προτιμήθηκε να είναι αυτή που θα τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να δέχεται αιτήματα και να επιστρέφει αποκρίσεις σημασιολογικού περιεχομένου. Ο μόνος περιορισμός που εισαγάγει η χρήση της είναι ότι αιτήματα και οι αποκρίσεις αυτές οφείλουν να είναι δομημένες στην υποστηριζόμενη μορφή (JSON).

Στα πλαίσια αυτής της λειτουργικότητας ελέγχει και δρομολογεί τα αιτήματα που δέχεται ανάλογα με το περιεχόμενό τους, στους δύο αρμόδιους ελεγκτές της διεπαφής:

- *User Semantic Handler* (προστέθηκε): εάν το αίτημα προέρχεται από τελικό χρήστη, επαληθεύει την ταυτότητά του, έπειτα από επικοινωνία με το *Authentication/Authorization Layer*, και αναλαμβάνει την πυροδότηση της λειτουργικότητας που αιτήθηκε και αντιστοιχεί στα δικαιώματα χρήστη, προωθώντας το περιεχόμενο του αιτήματος στο Management Layer.
- *Admin Semantic Handler* (τροποποίηση του ήδη υπάρχοντος, μη-σημασιολογικού Admin Handler): εντελώς αντίστοιχη λειτουργία με τον παραπάνω ελεγκτή, με δράση αυτή τη φορά ένα διαχειριστή και λειτουργικότητα που πυροδοτείται, αντίστοιχη των δικαιωμάτων του.

Μετά την ολοκλήρωση των διενεργειών των κατώτερων στρωμάτων, η διεπαφή Rest αναλαμβάνει να επιστρέψει την απόκριση του συστήματος στο χρήστη. Αναλυτικότερη περιγραφή των κλήσεων και των αποκρίσεων του Rest API παρατίθεται στην υποενότητα 5.3.

Authentication/Authorization Layer

Στο Στρώμα Επαλήθευσης/Εξουσιοδότησης δεν εμφανίστηκε η ανάγκη για κάποια αλλαγή ή προσθήκη. Ο ρόλος του ελέγχου των διαπιστευτηρίων και της επαλήθευσης της ταυτότητας του χρήστη παραμένει *απαράλλαχτος*, όπως αυτός περιγράφηκε στην ενότητα 3.2.2.

Management Layer

Όπως είναι αναμενόμενο, στον πυρήνα του OMN-Broker εντοπίζουμε το μεγαλύτερο μέρος των μετατροπών. Τα διάφορα υποσυστήματα αυτού του στρώματος τροποποιούνται προκειμένου να καταστούν ικανά να διαχειρίζονται σημασιολογική πληροφορία. Πιο συγκεκριμένα:

Resource Description Triplestore - Data Models: Το Triplestore έρχεται να αντικαταστήσει την σχεσιακή βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται στο Broker. Πρόκειται για την ειδικού σκοπού βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται **μόνο σημασιολογικά** δεδομένα μοντελοποιημένα σε RDF τριπλέτες. Παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας, ανάκτησης ανανέωσης και διαγραφής τριπλετών καθώς και διενέργειας ερωτημάτων πάνω σε αυτά, εκφρασμένα σε γλώσσα SPARQL.

Τα δεδομένα που βρίσκονται αποθηκευμένα στο Triplestore ακολουθούν σχηματική μοντελοποίηση η οποία καθορίζεται με τη χρήση οντολογιών, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2, μοντελοποίηση η οποία σαφώς διαφέρει από αυτή που χρησιμοποιούσε ο Broker για τα μη-σημασιολογικά δεδομένα.

Στην τρέχουσα αρχιτεκτονική, υιοθετήθηκε η προσέγγιση κατά την οποία το Triplestore υλοποιείται στα πλαίσια μίας σχεσιακής βάσης δεδομένων και συγκεκριμένα μίας SQLite3 βάσης δεδομένων. Οι RDF-τριπλέτες αποθηκεύονται απλά σε ένα πίνακα ο οποίος περιέχει τις εξής τρεις στήλες, subject («υποκείμενο»), predicate («κατηγορημα») και object («αντικείμενο»). Χρησιμοποιώντας το do_sqlite3 gem της σουίτας rdf-lib [40] ως αντάπτορα, η βάση δεδομένων που προκύπτει αποτελεί ένα πλήρως λειτουργικό RDF-Triplestore [41].

Αναλυτικότερη περιγραφή των οντολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω μοντελοποίηση, ακολουθεί στην υποενότητα 4.3.

Translator: Το υποσύστημα αυτό αναλαμβάνει την αυτοματοποιημένη μετάφραση αρχείων που περιέχουν RDF-τριπλέτες σειριοποιημένες σε TTL δομή, σε αρχεία GENI XML-RSpec και το αντίστροφο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα wrapper του μεταφραστή που έχει προτείνει ο Alexander Willner και συμπεριλαμβάνεται στο πακέτο Java omnlib [38] της OMN σουίτας. Εφαρμόζει μηχανισμούς συμπερασμού για την επαλήθευση και την έγχυση γνώσης ενώ υποστηρίζει επιπλέον μοντέλα δεδομένων όπως είναι το TOSCA [42] και το YANG [43]. Χρησιμοποιούμενος είτε ως αυτόνομη διαδικτυακή υπηρεσία, βιβλιοθήκη ή εργαλείο κονσόλας εντολών, ο translator διευκολύνει την ενσωμάτωση και τη σύνδεση ασυσχέτιστων δεδομένων σε ένα καθολικό γράφο. Στην περίπτωση μας, το αρχείο που θέλουμε να μεταφραστεί αποθηκεύεται σε ένα προσωρινό αρχείο, καλείται η αντίστοιχη εντολή κονσόλας μέσα από τον κώδικα, με όρισμα το προσωρινό αρχείο και τις κατάλληλες παραμέτρους (για παράδειγμα αν θέλουμε Advertisement, Manifest ή Request RSpec στην έξοδο) και αφού λάβουμε το μεταφρασμένο αρχείο, το προσωρινό αρχείο διαγράφεται. Σε ένα τυπικό παράδειγμα της λειτουργίας του, το ακόλουθο μη σημασιολογικό RSpec-XML,

```
<?xml version="1.0"?>
```

```

<rspec type="request" xmlns="http://www.geni.net/resources/rspec/3"
xmlns:ol="http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1"
xmlns:omf="http://schema.mytestbed.net/sfa/rspec/1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.geni.net/resources/rspec/3
http://www.geni.net/resources/rspec/3/request.xsd
http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1
http://nitlab.inf.uth.gr/schema/sfa/rspec/1/request-reservation.xsd">
  <ol:lease client_id="avgrm" valid_from="2016-10-10T19:00:00Z"
valid_until="2016-10-11T20:00:00Z"/>
  <node component_id="urn:publicid:IDN+omf:nitos.outdoor+node+node0012"
component_manager_id="urn:publicid:IDN+omf:nitos+authority+cm"
component_name="node0012" exclusive="true" client_id="avgrm">
    <ol:lease_ref id_ref="avgrm"/>
  </node>
</rspec>

```

μεταφράζεται στο αντίστοιχο RDF-TTL αρχείο

```

<urn:uuid:fe603127-6445-4120-aae8-1cf8bcba3e07>
  a      <http://open-multinet.info/ontology/omn#Topology> ,
<http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#Request> ;
  <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label>
    "Request" ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn#hasResource>
    <http://open-multinet.info/example#avgrm> ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#hasLease>
    <urn:uuid:2241fb1d-87a7-44b6-acf8-381f78549153> .

<urn:publicid:IDN+omf:nitos.outdoor+node+node0012>
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#hasComponentName>
    "node0012" .

<urn:uuid:2241fb1d-87a7-44b6-acf8-381f78549153>
  a      <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#Lease> ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#expirationTime>
    "2016-10-
11T20:00:00Z"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#dateTime> ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#startTime>
    "2016-10-
10T19:00:00Z"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#dateTime> .

<http://open-multinet.info/example#avgrm>
  a      <http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Node> ;
  <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label>
    "avgrm" ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn#isResourceOf>
    <urn:uuid:fe603127-6445-4120-aae8-1cf8bcba3e07> ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#hasComponentID>
    "urn:publicid:IDN+omf:nitos.outdoor+node+node0012"^^<http://www.w3.org/2001
/XMLSchema#anyURI> ;
  <http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#hasID>

```



```
"avgrm" ;
<http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#implementedBy>
  <urn:publicid:IDN+omf:nitos.outdoor+node+node0012> ;
<http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#managedBy>
  <urn:publicid:IDN+omf:nitos+authority+cm> ;
<http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#isExclusive>
  true .
```

Εντελώς αντίστοιχα, η αντίστροφη διαδικασία παράγει από το δεύτερο αρχείο το πρώτο. Μία από τις κυριότερες αποφάσεις που κληθήκαμε να λάβουμε κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, ήταν η χρήση μίας και μοναδικής βάσης δεδομένων, στην οποία αποθηκεύουμε αποκλειστικά σημασιολογική πληροφορία. Όπως όμως καθορίστηκε στις λειτουργικές απαιτήσεις στο Παράρτημα Α, το σύστημα οφείλει να υποστηρίζει περιγραφές και αποκρίσεις μορφής RSpec XML για τις διάφορες λειτουργίες που παρέχει. Κρίθηκε λοιπόν αναγκαία η χρήση του υποσυστήματος του μεταφραστή με στόχο τη διατήρηση της SFA-συμβατότητας του OMN Broker.

Aggregate Manager: Πρόκειται για το νευραλγικό τμήμα της αρχιτεκτονικής. Στο εν λόγω υποσύστημα υλοποιούνται όλες οι μέθοδοι οι οποίες είναι σχετικές με τη διαχείριση της βάσης σημασιολογικών δεδομένων και περιλαμβάνουν προσθήκη, ανάκτηση, ενημέρωση και διαγραφή των περιγραφών των πόρων. Αιτήματα δρομολογούνται στον Aggregate Manager μέσω του στρώματος επικοινωνίας και αυτός αποκρίνεται με τα αποτελέσματα των λειτουργιών που αιτήθηκαν, αφού τις ολοκληρώσει. Βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με το Authentication/Authorization Layer, επαληθεύοντας ότι οι ενέργειες που εκτελούνται βρίσκονται εντός της δικαιοδοσίας του χρήστη. Εάν οι άνωθεν ενέργειες περιλαμβάνουν, επιπροσθέτως, χρονοδρομολόγηση γεγονότων, όπως για παράδειγμα οι λειτουργίες που αφορούν ένα sliver, τότε αναλαμβάνει την προώθηση του αιτήματος στον *Scheduler* και στη συνέχεια επιστρέφει τα αποτελέσματα στο στρώμα επικοινωνίας. Επιπλέον, εάν ο χρήστης έχει αιτηθεί μη-σημασιολογική απόκριση, τα αποτελέσματα προωθούνται ενδιάμεσα στον Translator, λαμβάνονται πίσω στην κατάλληλη μορφή και έπειτα επιστρέφονται στο στρώμα επικοινωνίας. Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται εδώ, αφορούν την τροποποίηση των μεθόδων του Aggregate Manager ώστε να υποστηρίζουν σημασιολογικά δομημένα δεδομένα.

Scheduler: Το υποσύστημα εκτελεί τις αυτοματοποιημένες λειτουργίες που αφορούν slivers κατα τον τρόπο που περιγράφηκε στην ενότητα 3.1.3. Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται στον Scheduler, αφορούν την τροποποίηση των μεθόδων του με παρόμοιο τρόπο όπως στον Aggregate Manager, ώστε να υποστηρίζουν δηλαδή σημασιολογικά δομημένα δεδομένα.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τη λειτουργία και την επικοινωνία μεταξύ των παραπάνω συστατικών στοιχείων δίνονται στην επόμενη ενότητα.

4.3 Μοντελοποίηση Βάσης Δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο OMN-Broker διαχειρίζεται σημασιολογικά δεδομένα δομημένα σε RDF τριπλέτες, τα οποία αποθηκεύονται στο αρμόδιο Triplestore. Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε δύο μεγάλες βασικές κατηγορίες, (α) τα σχετικά με τις περιγραφές των πόρων της ερευνητικής υποδομής και (β) τα σχετικά με την υποστήριξη του κύκλου ζωής του τμήματος.

Ως εκ τούτου, οι οντολογίες που επιλέχθηκαν για τη μοντελοποίηση τους είναι αντίστοιχα οι (α) *omn-domain-wireless* και (β) *omn-lifecycle*, της σουίτας OMN (βλ. υποενότητα 3.2). Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση και συνοπτική επεξήγηση της ιεραρχίας και των χαρακτηριστικών των επιλεγθέντων οντολογιών:

(a) *OMN-Domain-Wireless*

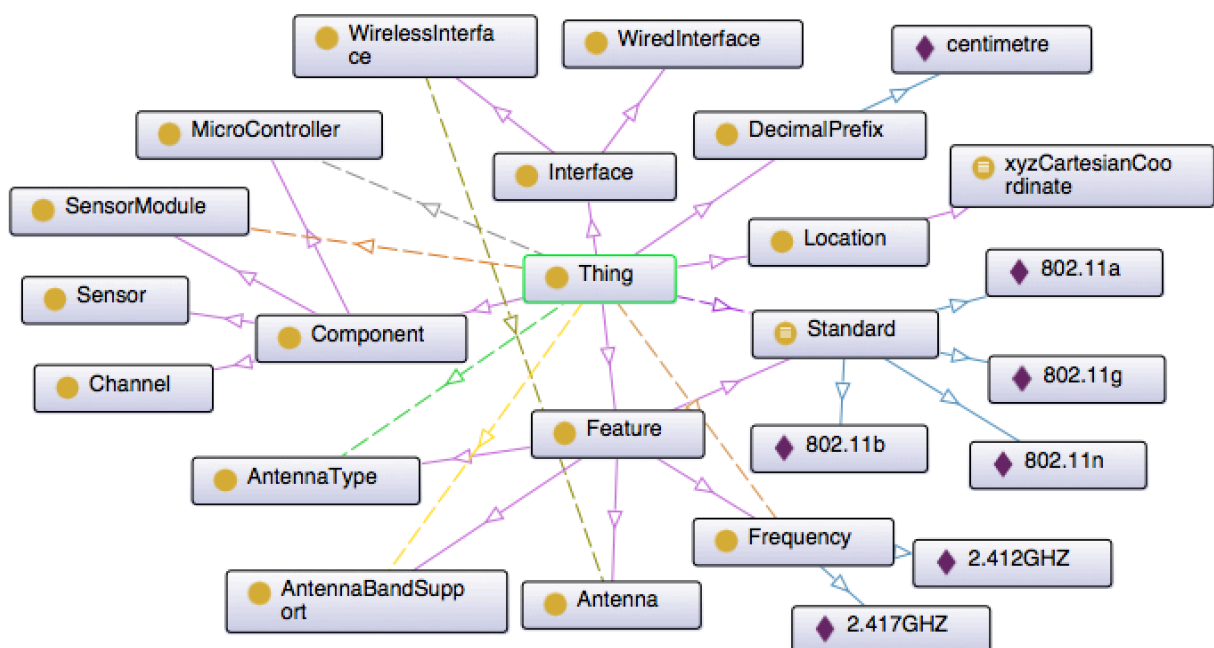
Δημιουργήθηκε ειδικά για την περιγραφή των ασύρματων πόρων της ερευνητικής υποδομής του NETMODE, συνεπώς περιέχει όλη την απαραίτητη πληροφορία για τον καθορισμό των οντοτήτων, των ιδιοτήτων τους και των σχέσεων που τις διέπουν. Λεπτομερέστερα, η προκειμένη οντολογία συνίσταται από τις ακόλουθες κλάσεις:

- **Component**: εισήχθει από την *omn* οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα που αποτελεί συστατικό μέρος ενός πόρου ή υπηρεσίας. Στα πλαίσια της *omn-domain-wireless* οντολογίας επεκτείνεται από τις εξής υποκλάσεις:
 - *Microcontroller*: αντιπροσωπεύει ένα μικροελεγκτή.
 - *Sensor*: αντιπροσωπεύει έναν αισθητήρα.
 - *Sensor Module*: αντιπροσωπεύει ένα τμήμα ενός αισθητήρα.
 - *Channel*: αντιπροσωπεύει ένα κανάλι.
- **Feature**: αντιπροσωπεύει μια οντότητα η οποία αποτελεί ένα γνώρισμα ενός πόρου ή μιας υπηρεσίας. Επεκτείνεται από τις εξής υποκλάσεις:
 - *Antenna*: αντιπροσωπεύει μια κεραία.
 - *Antenna Band Support*: αντιπροσωπεύει τη ζώνη εκπομπής που υποστηρίζεται.
 - *Antenna Type*: αντιπροσωπεύει ένα τύπο κεραίας.
 - *Frequency*: αντιπροσωπεύει μια συχνότητα.

- Standard: αντιπροσωπεύει μια οντότητα η οποία αποτελεί ένα ασύρματο πρότυπο δικτύωσης.
- Location: αντιπροσωπεύει μια οντότητα η οποία αποτελεί μία γεωγραφική περιοχή. Επεκτείνεται από την εξής υποκλάση:
 - *x y z Cartesian Coordinate*: αντιπροσωπεύει μια γεωγραφική συντεταγμένη.
- Decimal Prefix: εισήχθει από την omn-monitoring-unit οντολογία και αντιπροσωπεύει μια οντότητα η οποία αποτελεί ένα πρόθεμα μιας βασικής μονάδας μέτρησης το οποίο υποδεικνύει δεκαδικό πολλαπλάσιο/υποπολλαπλάσιο αυτή της μονάδας.
- Interface: εισήχθει από την omn-resource οντολογία και αντιπροσωπεύει μια οντότητα η οποία αποτελεί μία διεπαφή επικοινωνίας. Επεκτείνεται από τις εξής υποκλάσεις:
 - *Wireless Interface*: αντιπροσωπεύει μια ασύρματη διεπαφή.
 - *Wired Interface*: αντιπροσωπεύει μια ενσύρματη διεπαφή.

Σχηματικά η οντολογία παρουσιάζεται με τις κλάσεις τις την ιεραρχία και τις κυριότερες συσχετίσεις επιπέδου αντικειμένων (object properties) στην εικόνα 4.3.1. Οι συσχετίσεις επιπέδου δεδομένων (datatype properties) παραλήφθηκαν για λόγους αποσυμφόρησης της απεικόνισης.

— has individual
— has subclass
— hasAntenna (Domain>Range)
— hasAntennaBandSupport (Domain>Range)
— hasMicroController (Domain>Range)
— hasSensorModule (Domain>Range)
— isAntennaType (Domain>Range)
— supportsStandard (Domain>Range)
— usesFrequency (Domain>Range)



Εικόνα 4.3.1. Σχηματική απεικόνιση της OMN-Domain-Wireless οντολογίας. Δημιουργήθηκε με χρήση του εργαλείου Protégé [44]

(β) *OMN-Lifecycle*

Επιλέχθηκε λόγω του ότι περιέχει πληροφορία ικανή να καθορίσει τους όρους οι οποίοι περιγράφουν πλήρως τον κύκλο ζωής ενός πειράματος και υποστηρίζουν τη διαχείρισή του.

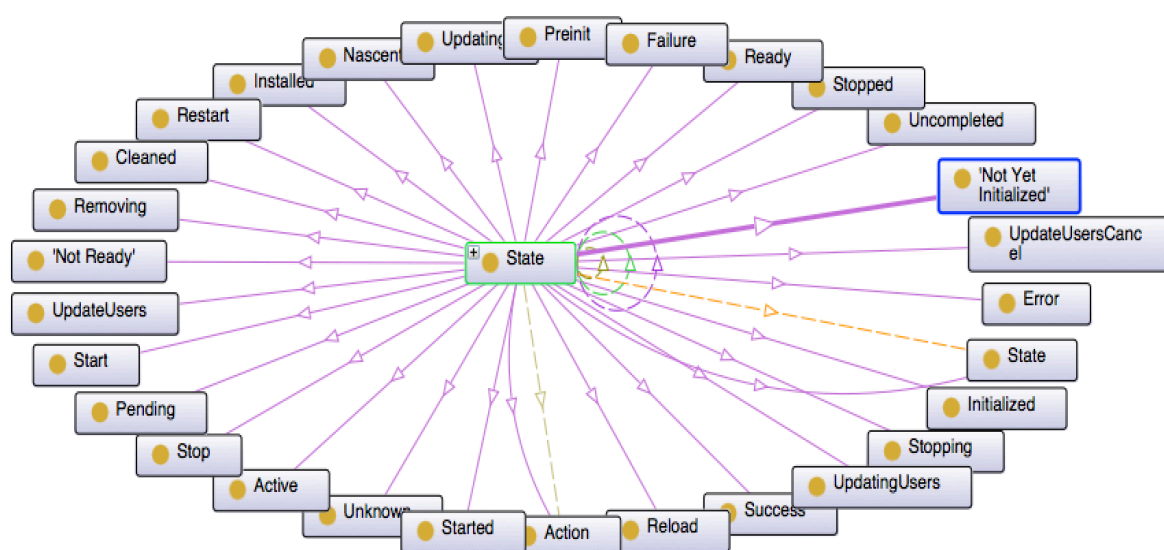
Λεπτομερέστερα, η προκείμενη οντολογία συνίσταται από τις ακόλουθες κλάσεις:

- Topology: εισήχθει από την omn οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα που αποτελεί ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών, για παράδειγμα ένα slice. Στα πλαίσια της omn-lifecycle οντολογίας επεκτείνεται από τις εξής υποκλάσεις:

- *Confirmation*: αντιπροσωπεύει ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών του οποίου η διανομή στο χρήστη έχει επιβεβαιωθεί.
- *Request*: αντιπροσωπεύει ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών του οποίου η διανομή στο χρήστη βρίσκεται στο στάδιο της αίτησης.
- *Offering*: αντιπροσωπεύει ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών το οποίο είναι διαθέσιμο από την υποδομή και το οποίο αποτελεί έκβαση της εφαρμογής των πολιτικών κατανομής.
- *Manifest*: αντιπροσωπεύει ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών του οποίου η διανομή στο χρήστη έχει ολοκληρωθεί.
- Resource: εισήχθει από την omn οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα η οποία μπορεί να κατανεμηθεί/ελεγχθεί/μετρηθεί, για παράδειγμα ένας κόμβος. Στα πλαίσια τις omn-lifecycle οντολογίας επεκτείνεται από την εξής υποκλάση:
 - *GENI Operational State Machine*: αντιπροσωπεύει μία λειτουργική μηχανή καταστάσεων προδιαγραφών GENI.
- Reservation: εισήχθει από την omn οντολογία και περιλαμβάνει τις προδιαγραφές μιας εγγύησης, για παράδειγμα μίας κράτησης. Στα πλαίσια τις omn-lifecycle οντολογίας επεκτείνεται από την εξής υποκλάση:
 - *Lease*: ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών που έχει διανεμηθεί στο χρήστη.
- Group: εισήχθει από την omn οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα που αποτελεί ένα σύνολο πόρων/υπηρεσιών.
- Service: εισήχθει από την omn οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα που διαθέτει διεπαφή επικοινωνίας προς χρήση και είναι πιθανό να εξαρτάται από κάποιο πόρο.
- Attribute: εισήχθει από την omn οντολογία και αντιπροσωπεύει μία οντότητα η οποία περιγράφει κάποιο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός πόρου/υπηρεσίας/συνόλου πόρων/υπηρεσιών όπως για παράδειγμα την κατάσταση διαθεσιμότητάς του. Στα πλαίσια τις omn-lifecycle οντολογίας επεκτείνεται από τις εξής υποκλάσεις:
 - *State*: αντιπροσωπεύει την πιθανή τρέχουσα κατάσταση ενός πόρου/υπηρεσίας συνόλου. Στην εικόνα 4.3.2 φαίνονται οι κλάσεις που την επεκτείνουν εντός της omn-lifecycle οντολογίας. Το όνομα της καθεμίας αποτελεί συνάμα και την περιγραφή της.
 - *Reservation State*: αντιπροσωπεύει την πιθανή τρέχουσα κατάσταση μίας κράτησης. Εντός της omn-lifecycle οντολογίας επεκτείνεται από τις κλάσεις

Allocated, *Unallocated* και *Provisioned* οι οποίες αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την κατάσταση κατά την οποία πόροι/υπηρεσίες/σύνολο έχουν αιτηθεί προς κράτηση από κάποιο χρήστη, την κατάσταση κατά την οποία δεν έχουν αιτηθεί από κάποιο χρήστη και την κατάσταση κατά την οποία έχουν καταναμηθεί σε κάποιο χρήστη.

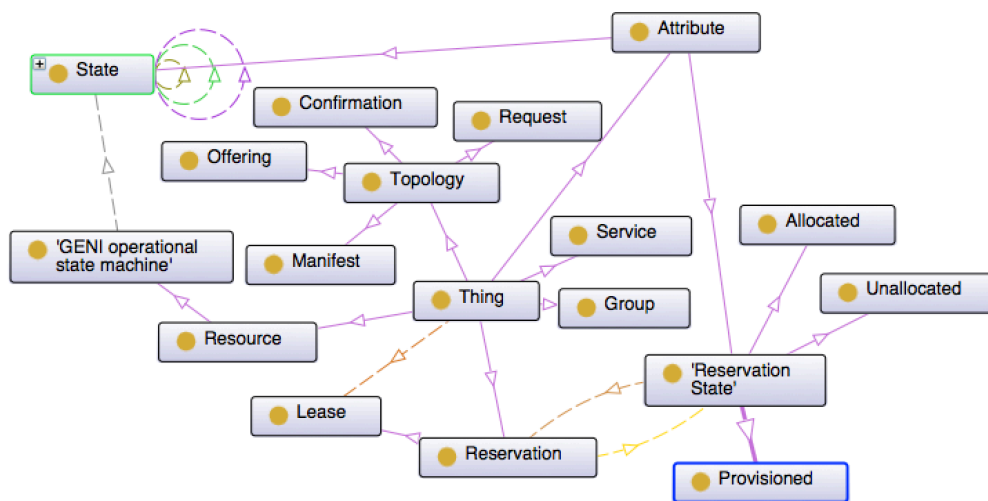
Σχηματικά η οντολογία παρουσιάζεται με τις κλάσεις τις την ιεραρχία και τις κυριότερες συσχετίσεις επιπέδου αντικειμένων (object properties) στην εικόνα 4.3.3. Οι συσχετίσεις επιπέδου δεδομένων (datatype properties) παραλήφθηκαν όπως και προηγουμένως για λόγους αποσυμφόρησης της απεικόνισης.



Εικόνα 4.3.2. Λεπτομέρεια απεικόνισης των υποκλάσεων της κλάσης *State*. Δημιουργήθηκε με χρήση του εργαλείου *Protégé*.

Με τις οντολογίες που περιγράφηκαν, ουσιαστικά, καθορίζουμε σε θεωρητικό επίπεδο τη μοντελοποίηση των σημασιολογικών δεδομένων που διαχειρίζεται το σύστημά μας. Αυτή η θεωρητική μοντελοποίηση, αποκτά *πρακτική* υπόσταση στο σύστημα του OMN-Broker με τη χρήση του πλαισίου **Spira ORM** [45]. Πρόκειται για ένα πλαίσιο το οποίο υποστηρίζει την αντιστοίχιση των κλάσεων της οντολογίας με κλάσεις δημιουργημένες σε αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού, η οποία στην περίπτωση του συστήματός μας είναι η *Ruby*. Η συγκεκριμένη διαδικασία επιτρέπει τη δημιουργία ενός αντικειμένου σε προγραμματιστικό επίπεδο, πυροδοτώντας αυτόματα τη δημιουργία της αντίστοιχης RDF Τριπλέτας, σε επίπεδο Triplestore. Η χρησιμότητα αυτής της τεχνοτροπίας, εκτός από την

—	'has action' (Domain>Range)
—	'has lease' (Domain>Range)
—	'has next state' (Domain>Range)
—	'has Reservation State' (Domain>Range)
—	'has start state' (Domain>Range)
—	'has state name' (Domain>Range)
—	'has state type' (Domain>Range)
—	'has wait' (Domain>Range)
—	'is reservation state of' (Domain>Range)
—	has individual
—	has subclass



Εικόνα 4.3.3 . Σχηματική απεικόνιση της OMN-Lifecycle οντολογίας. Δημιουργήθηκε με χρήση του εργαλείου Protégé.

ευκολία που προσφέρει στη διαχείριση (δημιουργία, αναζήτηση, ανάκτηση, ενημέρωση, διαγραφή) των RDF Τριπλετών με αντικειμενοστραφή τρόπο, έγκειται στη δυνατότητα που μας δίνει να καθορίζουμε σε προγραμματιστικό επίπεδο τους περιορισμούς που θέτει η οντολογία στα μοντελοποιημένα με αυτή δεδομένα. Για παράδειγμα, μπορούμε μέσω της εκάστοτε Spira κλάσης να περιορίσουμε τους τύπους των δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκείμενα και αντικείμενα των εκάστοτε κατηγορημάτων, ερχόμενοι έτσι σε συμμόρφωση με το domain και range του, όπως αυτά ορίζονται στην οντολογία. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η Spira κλάση ReservationState, την οποία δημιουργήσαμε,

```

class ReservationState < Attribute
  # The current state of a reservation

  configure :base_uri => OMNLifecycle.ReservationState
  type RDF::URI.new('http://open-multinet.info/ontology/omn-
lifecycle#ReservationState')

  # Object Properties

  property :isReservationStateOf, :predicate =>
OMNLifecycle.isReservationStateOf, :type => :Reservation

end

```

και η οποία αντιστοιχεί στην ακόλουθη κλάση ReservationState της omn-lifecycle οντολογίας (παρουσιάζεται μαζί και το μοναδικό object property του οποίου αποτελεί domain)

```

### http://open-multinet.info/ontology/omn-lifecycle#ReservationState

:ReservationState rdf:type owl:Class ;
  rdfs:label "Reservation State"@en ;
  rdfs:subClassOf omn:Attribute ;
  rdfs:comment "The current state of a reservation"@en .

:isReservationStateOf rdf:type owl:ObjectProperty ;
  rdfs:label "is reservation state of"@en ;
  rdfs:comment "is reservation state of"@en ;
  rdfs:range omn:Reservation ;
  rdfs:domain :ReservationState ;
  rdfs:subPropertyOf :isStateOf .

```

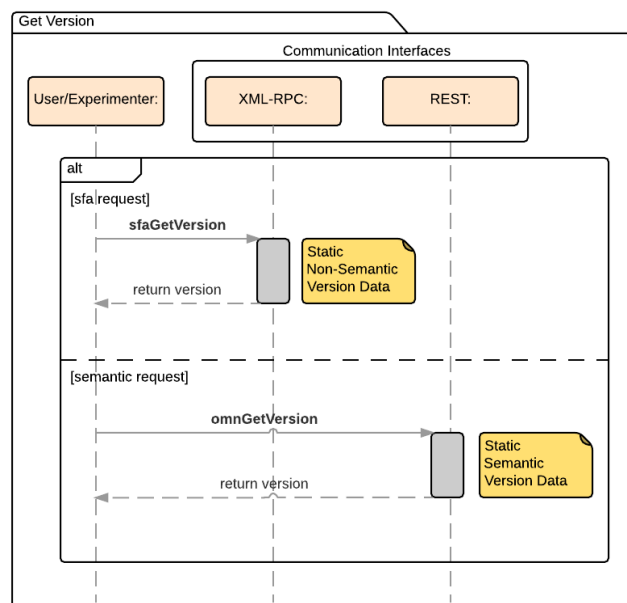
5. Λεπτομέρειες Υλοποίησης

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε λεπτομέρειες της λειτουργικότητας του συστήματος μέσα από Διαγράμματα Ακολουθίας καθώς και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση του OMN-Broker. Τέλος, ακολουθούν κάποια παραδείγματα αντιπροσωπευτικών διαχειριστικών κλήσεων της Rest διεπαφής, ως επαλήθευση της λειτουργίας του συστήματος.

5.1 Διαγράμματα Ακολουθίας Μηνυμάτων

Αρχικά, κάνοντας χρήση διαγραμμάτων ακολουθίας μηνυμάτων (message sequence diagrams) θα απεικονίσουμε τις βασικές λειτουργίες που παρέχει ο OMN-Broker και βρίσκονται σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις τους συστήματος, όπως αυτές περιγράφονται στο Παράρτημα Α. Σε αυτό περιέχονται τα σενάρια χρήσης και οι λειτουργικές και μη απαιτήσεις του συστήματος από τις οποίες προκύπτει η προσδοκώμενη λειτουργικότητα του. Τα διαγράμματα στα οποία σκιαγραφείται η διαλειτουργικότητα των υποσυστημάτων τις αρχιτεκτονικής, περιγράφουν τις ακόλουθες κύριες λειτουργίες:

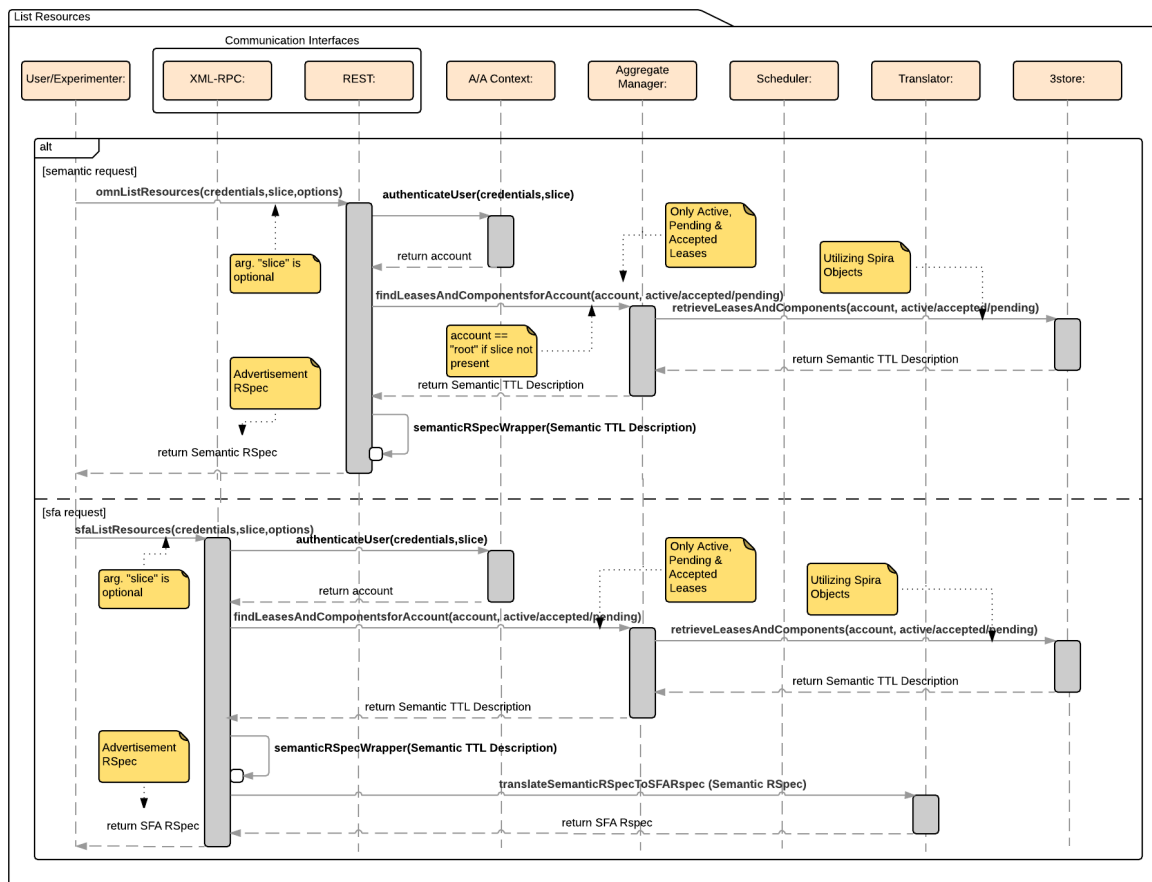
5.1.1 Τρέχουσα Έκδοση (Get Version)



Εικόνα 5.1.1. Αίτηση τρέχουσας έκδοσης SFA-API

Στην Εικόνα 5.1.1 περιγράφεται η διαδικασία γνωστοποίησης της έκδοσης του SFA-API που χρησιμοποιείται από το σύστημα. Ο τελικός χρήστης προβαίνει σε ανάλογη αίτηση είτε προς το XML-RPC API, για να λάβει απόκριση σε XML RSpec μορφή, είτε προς το Rest API, για να λάβει απόκριση σε σημασιολογική μορφή. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, η πληροφορία που επιστρέφεται σχετικά με την τρέχουσα έκδοση του SFA-API βρίσκεται ενσωματωμένη στον κώδικά της διεπαφής. Δεν απαιτείται ταυτοποίηση του χρήστη γι' αυτή την ενέργεια.

5.1.2 Ανακάλυψη Πόρων (List Resources)



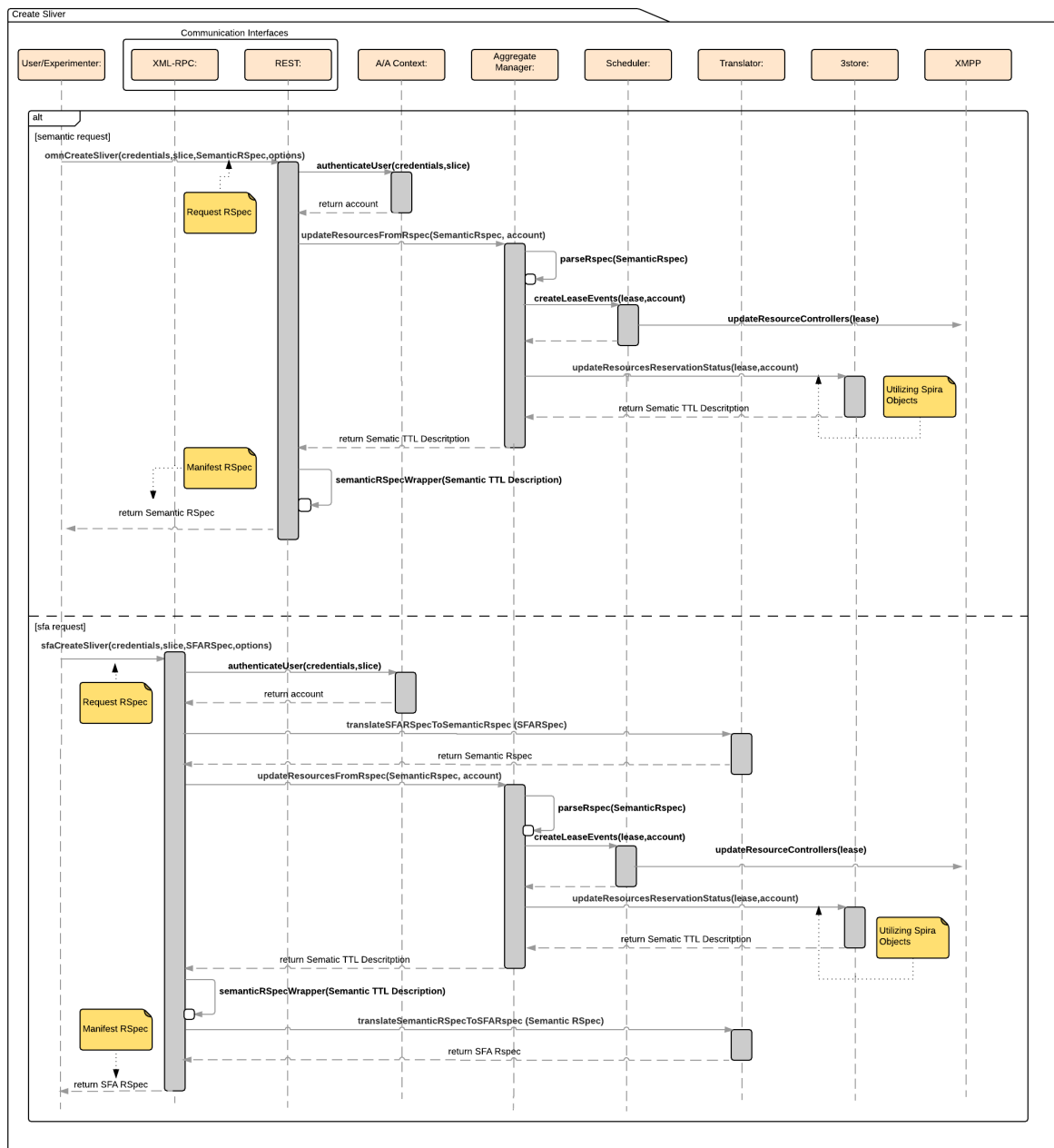
Εικόνα 5.1.2. Ανακάλυψη Πόρων

Ο τελικός χρήστης μπορεί να αιτηθεί όλους τους πόρους του συστήματος ή μόνο τους διαθέσιμους (options) καθώς και να περιορίσει την αναζήτησή του σε πόρους που αφορούν τη φέτα πόρων στην οποία υπάγεται (slice), δηλαδή πόρους που έχει δεσμεύσει στο τμήμα του. Εάν η κλήση γίνει μέσω Rest API (σημασιολογική κλήση), ακολουθεί η ταυτοποίηση του χρήστη, μέσω των πιστοποιητικών (credentials) που τη συνοδεύουν, με υπάρχοντα λογαριασμό, ή η δημιουργία νέου. Η διεπαφή προωθεί την κλήση στο Στρώμα Διαχείρισης και συγκεκριμένα στον Aggregate Manager, όπου εξακριβώνονται τα δικαιώματα που αποδόθηκαν

στο χρήστη κατά την ταυτοποίηση. Εάν η ανακάλυψη πόρων αποτελεί ένα από αυτά, τότε ο Aggregate Manager προβαίνει σε ανάκτηση των αιτούμενων προς παρουσίαση πόρων από τη σημασιολογική βάση. Οι περιγραφές των πόρων αυτών επιστρέφονται σειριοποιημένες σε RDF-TTL μορφή και στη συνέχεια περιτυλίγονται σε μια δομή σημασιολογικού RSpec-TTL αρχείου (wrapper) για να επιστραφούν στο χρήστη, μέσω του Στρώματος Επικοινωνίας. Η λειτουργία του wrapper εντοπίζεται στην προσθήκη των RDF τριπλετών εκείνων, οι οποίες περιέχουν πληροφορία σχετικά με το RSpec αρχείο που θα επιστραφεί, όπως για παράδειγμα ο τύπος του (Request, Advertisement, Manifest).

Αντιθέτως, εάν η κλίση γίνει μέσω XML-RPC (SFA κλίση), η διεπαφή προωθεί την αίτηση στην ίδια διαδρομή με προηγουμένως, με τη διαφοροποίηση πια ότι το RSpec-TTL αρχείο, προτού επιστραφεί στο χρήστη, προωθείται στον Translator, απ' όπου προκύπτει το αντίστοιχο RSpec-XML αρχείο, όπως δείχτηκε χαρακτηριστικά στο παράδειγμα της ενότητας 4.2. Η περιγραφείσα διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1.2.

5.1.3 Δημιουργία Τμήματος (Create Sliver)



Εικόνα 5.1.3. Δημιουργία Τμήματος

Κατά τη διαδικασία της δημιουργίας τμήματος, ο χρήστης επιλέγει εάν οι περιγραφές των πόρων που αιτείται να δεσμεύσει στην κλίση του θα βρίσκονται σε σημασιολογική μορφή (RSpec-TTL) ή όχι (RSpec-XML). Στην πρώτη περίπτωση, η κλίση γίνεται μέσω του Rest API, απ' όπου δρομολογείται στο Στρώμα Ταυτοποίησης και ο χρήστης ταυτοποιείται όπως περιγράφηκε και προηγουμένως. Στη συνέχεια, εάν τα δικαιώματα που του αποδόθηκαν επιτρέπουν τη δημιουργία τμήματος, ο Aggregate Manager αναλαμβάνει την ανάλυση του σημασιολογικού RSpec-TTL αρχείου που έλαβε. Η πληροφορία των πεδίων που αφορά στα

χρονικά όρια της δέσμευσης των πόρων, χρησιμοποιείται από τον Scheduler για να ελέγξει τη διαθεσιμότητά τους στο αιτούμενο διάστημα. Εάν αυτός αποφανθεί θετικά, χρονοδρομολογεί τη δέσμευσή τους για το εν λόγω διάστημα και στη συνέχεια ενημερώνει τους Resource Controllers του αντίστοιχου Testbed για τις επικείμενες κρατήσεις, μέσω της διεπαφής FRCP (XMPP). Κατόπιν, η σημασιολογική βάση δεδομένων ενημερώνεται με τις νέες αυτές κρατήσεις και επιστρέφει τις περιγραφές των αιτούμενων πόρων, οι οποίες περιέχουν πλέον στο κατάλληλο πεδίο, την κράτηση που τους έχει γίνει από το χρήστη, σειριοποιημένες σε RDF-TTL μορφή. Τέλος, οι περιγραφές αυτές περιτυλίνονται στη δομή του σημασιολογικού RSpec-TTL αρχείου (wrapper) για να επιστραφούν στο χρήστη, μέσω του Στρώματος Επικοινωνίας, όπως ακριβώς και προηγουμένως.

Στη δεύτερη περίπτωση, η κλίση γίνεται μέσω XML-RPC (SFA κλίση) και εντοπίζουμε την πρώτη διαφοροποίηση στο ότι, πριν η λειτουργία περάσει στο Στρώμα Διαχείρισης, το RSpec-XML το οποίο περιέχει τις περιγραφές των πόρων που αιτείται ο χρήστης, μεταφράζεται στο αντίστοιχο RSpec-TTL αρχείο, με χρήση του Translator, για να ακολουθήσει η διαδικασία που περιγράφηκε. Η δεύτερη ειδοποιός διαφορά έγκειται στο σημείο της επιστροφής της κλίσης στο χρήστη, πριν από την οποία το RSpec-TTL με το οποίο αποκρίνεται το σύστημα προωθείται στον Translator, απ' όπου προκύπτει το αντίστοιχο RSpec-XML αρχείο για να επιστραφεί τελικά στο χρήστη, μέσω του Στρώματος Επικοινωνίας. Η περιγραφείσα διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1.3.

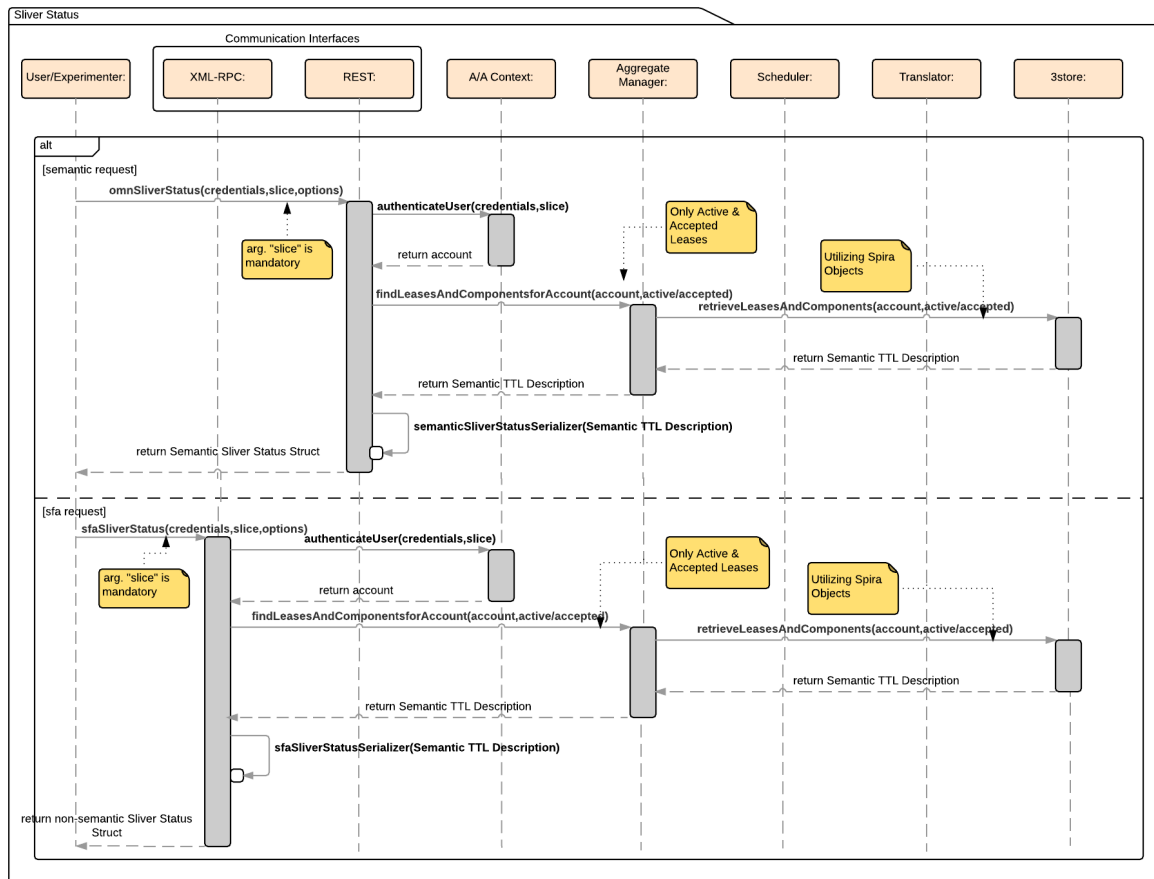
5.1.4 Κατάσταση Τμήματος (Sliver Status)

Στην Εικόνα 5.1.4 παρουσιάζεται η διαδικασία γνωστοποίησης της κατάστασης του τμήματος του χρήστη σε αυτόν. Η απόκριση του συστήματος μπορεί να ακολουθεί σημασιολογική ή όχι δομή. Στην πρώτη περίπτωση, η κλίση γίνεται μέσω του Rest API, απ' όπου κατά τα γνωστά δρομολογείται στο Στρώμα Ταυτοποίησης όπου ο χρήστης ταυτοποιείται. Εν συνεχεία ο Aggregate Manager προβαίνει σε ανάκτηση των πόρων και των αντίστοιχων κρατήσεων, που απαρτίζουν το τμήμα του χρήστη, από τη σημασιολογική βάση. Οι περιγραφές των πόρων αυτών επιστρέφονται σειριοποιημένες σε RDF-TTL μορφή στο Στρώμα Επικοινωνίας. Εκεί, οι RDF-τριπλέτες που αναφέρονται στην κατάσταση των πόρων αυτών, χρησιμοποιούνται για να δομηθεί το μήνυμα απόκρισης του συστήματος.

Στη δεύτερη περίπτωση, η κλίση γίνεται μέσω XML-RPC απ' όπου ακολουθεί την ίδια ακριβώς διαδρομή με προηγουμένως μέχρι το σημείο της επιστροφής των RDF-TTL περιγραφών των πόρων στο Στρώμα Επικοινωνίας. Τώρα, οι RDF-τριπλέτες που αναφέρονται στην κατάσταση των πόρων αυτών επιλέγονται και αφαιρείται από αυτές η σημασιολογική

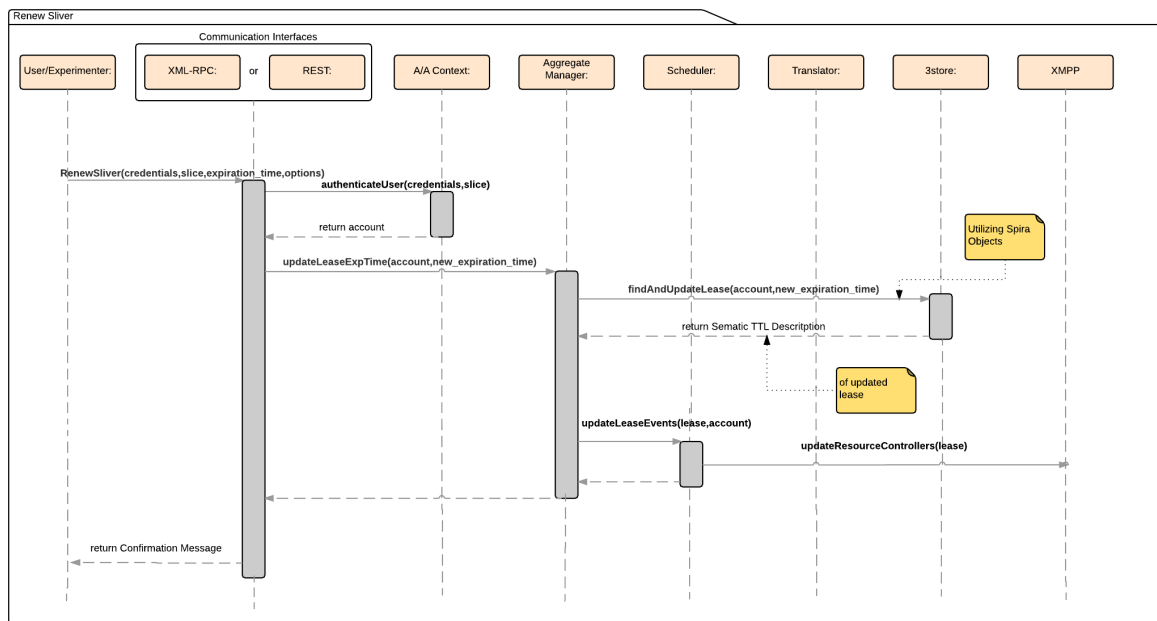
πληροφορία. Η εναπομένουσα, μη-σημασιολογική πλέον πληροφορία, δομείται σε ένα μήνυμα απάντησης, συμμορφωμένο με τα πρότυπα της SFA αρχιτεκτονικής.

Άξιο αναφοράς είναι σε καμία από τις δύο περιπτώσεις, το μήνυμα που επιστρέφεται στο χρήστη δεν ακολουθεί την RSpec δομή που χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες λειτουργίες, παρά πρόκειται για ένα αρχείο που περιέχει μία παράθεση των πεδίων ενδιαφέροντος, εμπλουτισμένο ή όχι με σημασιολογική πληροφορία αντίστοιχα.



Εικόνα 5.1.4. Κατάσταση Τμήματος

5.1.5 Ανανέωση Τμήματος (Renew Sliver)



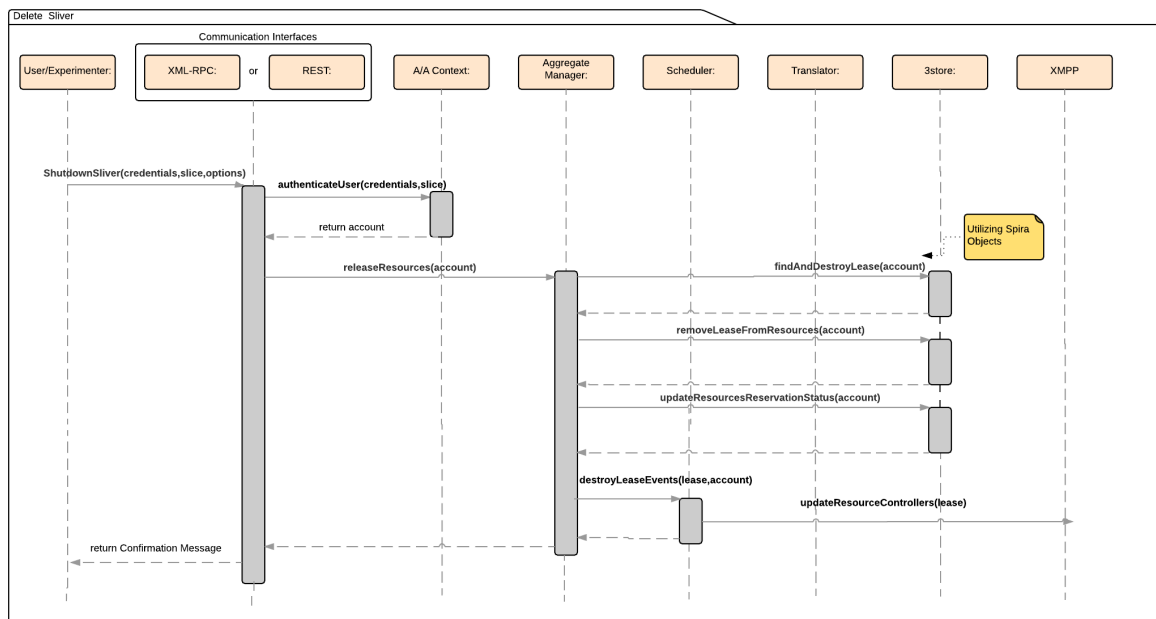
Εικόνα 5.1.5. Ανανέωση Τμήματος

Η διαδικασία της Ανανέωσης Τμήματος, επιτρέπει στο χρήστη να επεκτείνει τη διάρκεια της δέσμευσης των πόρων που απαρτίζουν το τμήμα και μπορεί να ολοκληρωθεί κατά τα γνωστά με δύο τρόπους: μέσω Rest API, ο χρήστης συνοδεύει την κλήση με την αντίστοιχη φέτα πόρων στην οποία ανήκει το τμήμα, το πιστοποιητικό του και τη νέα ακριβή χρονική στιγμή της περάτωσης του τμήματός του, εκφρασμένη σε μια RDF-τριπλέτα. Εν συνεχεία, αφού επαληθευτεί η ταυτότητά του, ο Aggregate Manager αναλαμβάνει να ενημερώσει τις κρατήσεις των πόρων του τμήματος στη βάση δεδομένων, με τη νέα στιγμή περάτωσης. Ακολούθως, ο Scheduler προχωρά στην εκ νέου χρονοδρομολόγηση της κράτησης και παράλληλα στην ενημέρωση των Resource Controllers του testbed. Τέλος, το σύστημα αποκρίνεται με ένα απλό μήνυμα επιβεβαίωσης της ολοκλήρωσης της επέκτασης.

Μέσω XML-RPC, η διαδικασία που ακολουθείται είναι ακριβώς η ίδια, με τη διαφορά ότι η νέα χρονική στιγμή περάτωσης του τμήματος, είναι εκφρασμένη σε μη-σημασιολογική μορφή (απλή συμβολοσειρά), οπότε πριν περάσει στο Στρώμα Διαχείρισης, εμπλουτίζεται στατικά με σημασιολογική πληροφορία δημιουργώντας την απαιτούμενη RDF-τριπλέτα. Το μήνυμα απόκρισης επίσης δεν εμφανίζει κάποια διαφοροποίηση.

Για λόγους απλούστευσης, στην Εικόνα 5.1.5, το Στρώμα Επικοινωνίας εμφανίζεται συγχωνευμένο, αφού η ελάχιστη διαφορά μεταξύ των δύο διαθέσιμων διεπαφών που περιγράφηκε ανωτέρω, δεν είναι άξια αναφοράς σε εναλλακτική ροή ακολουθίας μηνυμάτων.

5.1.6 Διαγραφή Τμήματος (Delete Sliver)

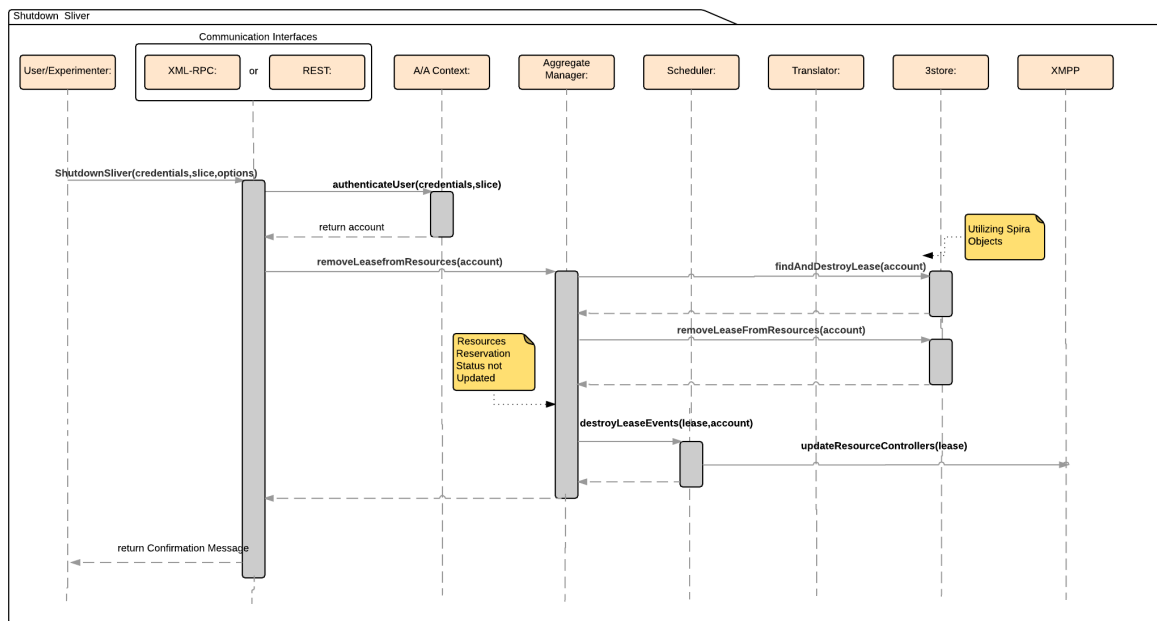


Εικόνα 5.1.6. Διαγραφή Τμήματος

Κατά τη διαγραφή τμήματος, ο χρήστης σταματά τη λειτουργία του τμήματος, ακυρώνοντας την κράτηση των πόρων του και απελευθερώνοντας τους δεσμευμένους πόρους. Ο χρήστης απαιτείται να συνοδεύει την κλήση του με το απαραίτητο πιστοποιητικό και το όνομα της φέτας πόρων στην οποία υπάγεται το τμήμα. Η ταυτότητα επαληθεύεται, κατά τα γνωστά, και ακολουθεί η προώθηση του αιτήματος στο Στρώμα Διαχείρισης και τον Aggregate Manager. Αυτός αναλαμβάνει τη διαγραφή της κράτησης από τη σημασιολογική βάση δεδομένων, καθώς και την αφαίρεσή της από τις περιγραφές των πόρων τους οποίους δέσμευε. Ακολούθως, ενημερώνει την κατάσταση δέσμευσης κάθε πόρου ξεχωριστά και η κλίση προωθείται στον Scheduler. Εκεί, η χρονοδρομολόγηση του τμήματος ακυρώνεται και ενημερώνονται αντιστοίχως οι Resource Controllers. Το σύστημα, τελικά, αποκρίνεται με ένα απλό μήνυμα επιτυχίας της διαδικασίας.

Στην εν λόγω κλήση, αν και για λόγους πληρότητας υποστηρίζεται και από τις δύο διεπαφές του Στρώματος Επικοινωνίας, δεν υπάρχει περιθώριο σημασιολογικού εμπλουτισμού των δεδομένων που ανταλλάσσονται, οπότε δύο ροές ακολουθίας μηνυμάτων είναι όμοιες και η διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1.6, με συγχωνευμένες τις 2 διεπαφές.

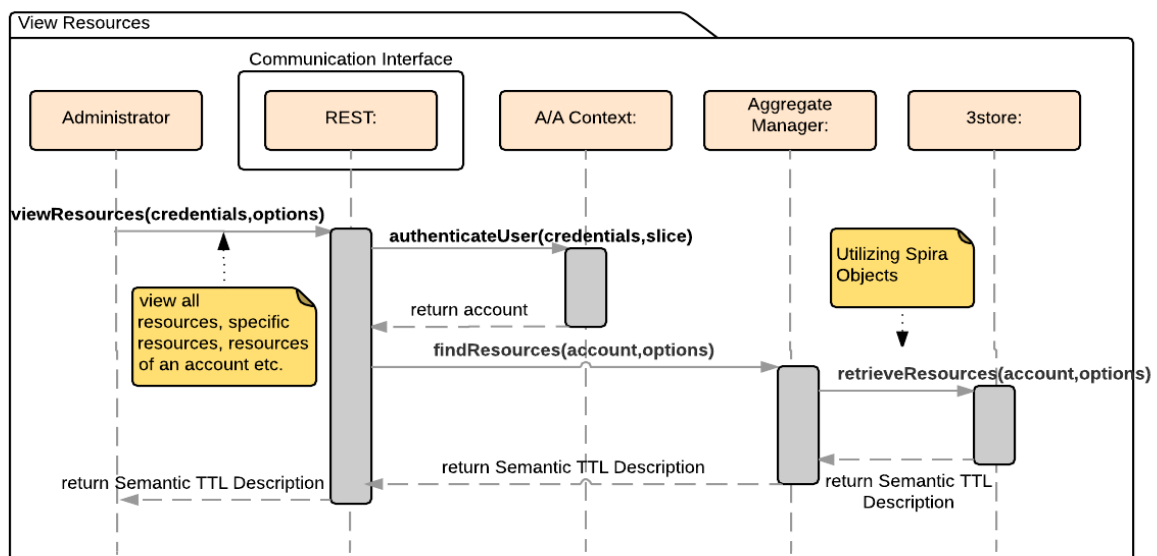
5.1.7 Απενεργοποίηση Τμήματος (Shutdown Sliver)



Εικόνα 5.1.7. Απενεργοποίηση Τμήματος

Ο χρήστης σταματά τη λειτουργία του τμήματος, χωρίς να αποδεσμεύσει τους πόρους του. Η συγκεκριμένη λειτουργία είναι εντελώς όμοια με τη διαγραφή τμήματος η οποία περιγράφηκε προηγουμένως, με μόνη διαφοροποίηση την παράληψη της αλλαγής της κατάστασης δέσμευσης των πόρων στη σημασιολογική βάση δεδομένων, αφού αυτοί θέλουμε να συνεχίζουν να είναι διαθέσιμοι στο χρήστη προς νέα κράτηση.

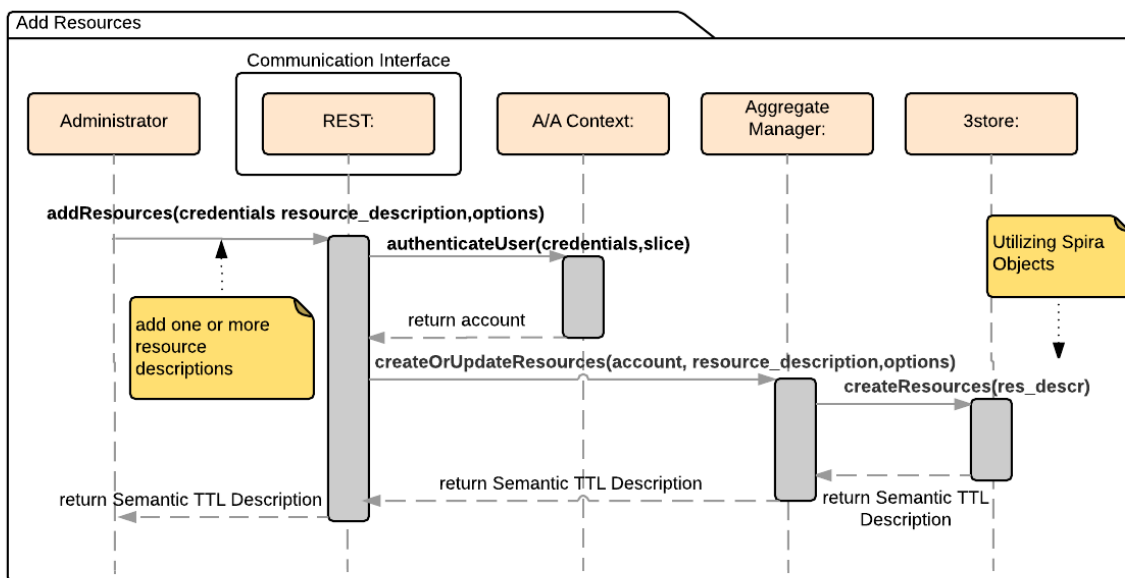
5.1.8 Προβολή Πόρων Υποδομής (View Resources)



Εικόνα 5.1.8. Προβολή Πόρων Υποδομής

Η λειτουργία αυτή προορίζεται για χρήση από κάποιο Διαχειριστή Ερευνητικής Υποδομής, οπότε τα πιστοποιητικά που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της ταυτότητάς του από το Στρώμα Επαλήθευσης/Εξουσιοδότησης πρέπει να είναι τα ανάλογα. Αφού τα δικαιώματα του επαληθευτούν, ο Aggregate Manager αναλαμβάνει την ανάκτηση των περιγραφών των πόρων της υποδομής από τη σημασιολογική βάση δεδομένων. Ο διαχειριστής, στην αίτηση του στο σύστημα μπορεί να περιορίσει τις περιγραφές τις οποίες επιθυμεί να του επιστραφούν, συνοδεύοντας την κλίση του με τα αντίστοιχα κριτήρια (options). Τα κριτήρια αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν προβολή όλων των πόρων, προβολή συγκεκριμένου τύπου πόρων, προβολή των πόρων ενός τμήματος κ.α. Η επιστρεφόμενη περιγραφή των πόρων βρίσκονται σε μορφή παράθεσης RDF-τριπλετών και όχι σε μορφή RSpec-TTL. Η λειτουργία αυτή, όπως και όλες οι διαχειριστικές λειτουργίες, ολοκληρώνονται μόνο μέσω του Rest API.

5.1.9 Προσθήκη Πόρων (Add Resources)

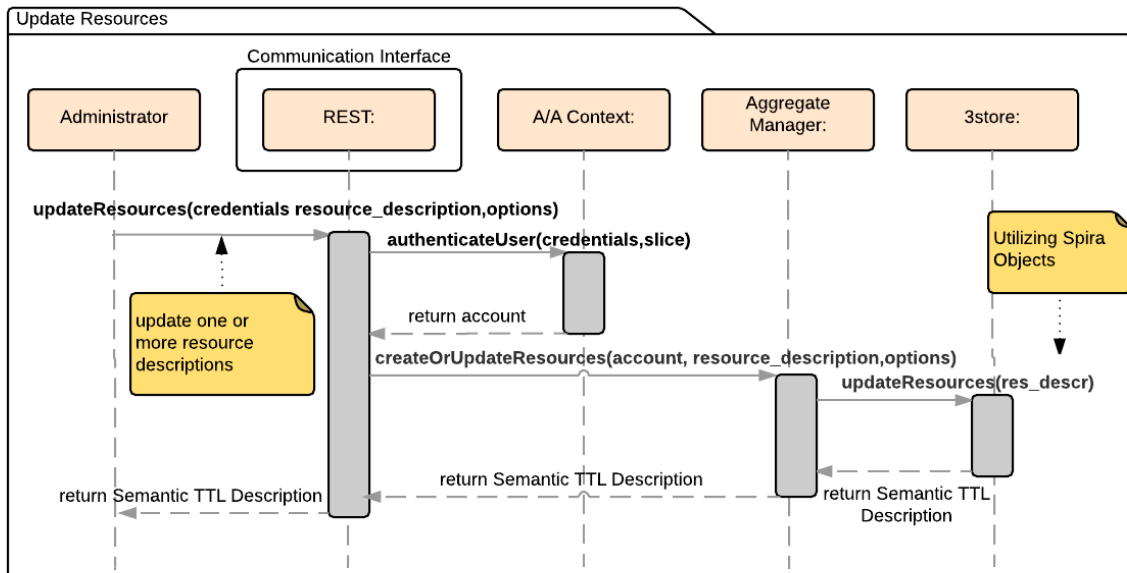


Εικόνα 5.1.9. Προσθήκη Πόρων

Ο διαχειριστής συνοδεύει την αίτηση της προσθήκης πόρων στο σύστημα με τις ανάλογες περιγραφές (`resource_description`) δομημένες σημασιολογικά σε RDF-τριπλέτες. Οι αναφερόμενοι πόροι μπορεί να υπάρχουν στη βάση (ενημέρωση), ή να δημιουργούνται με την κλίση. Αφού επαληθευτούν τα δικαιώματα επιπέδου διαχειριστή, που του επιτρέπουν την προσθήκη περιγραφών στο σύστημα, ο Aggregate Manager αναλαμβάνει την ενημέρωση της σημασιολογικής βάσης δεδομένων είτε προβαίνοντας στην δημιουργία νέων εγγραφών (οι οποίες αντιστοιχούν σε πόρους που δεν προϋπήρχαν της αίτησης) είτε αντικαθιστώντας

παλαιότερες περιγραφές με τις νέες (εάν κάποιος πόρος προϋπήρχαν αλλά περιγράφηκαν εκ νέου). Το σύστημα αποκρίνεται με ένα αρχείο που περιέχει τις νέες περιγραφές που προστέθηκαν σε μορφή RDF-τριπλετών, προς επιβεβαίωση της ολοκλήρωσης της ενέργειας.

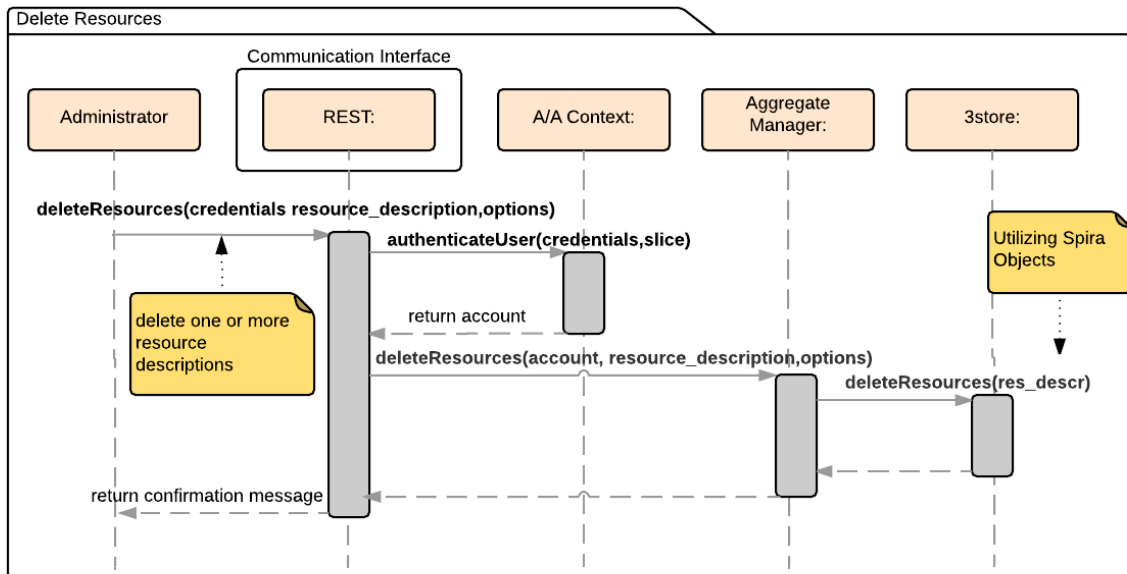
5.1.10 Ενημέρωση Πόρων (Update Resources)



Εικόνα 5.1.10. Ενημέρωση Πόρων

Η περάτωση της εν λόγω λειτουργίας ακολουθεί ακριβώς την ίδια διαδικασία με την προσθήκη περιγραφών πόρων στο σύστημα, με τη διαφοροποίηση ότι οι περιγραφές των πόρων με τις οποίες συνοδεύει ο διαχειριστής την κλίση οφείλουν να ανταποκρίνονται σε πόρους οι οποίοι προϋπάρχουν στη σημασιολογική βάση δεδομένων. Διαφορετικά, επιστρέφεται μήνυμα λάθους.

5.1.11 Διαγραφή Πόρων (Delete Resources)



Εικόνα 5.1.11. Διαγραφή Πόρων

Όπως και στις προηγούμενες λειτουργίες, ο διαχειριστής συνοδεύει την αίτηση της διαγραφής πόρων από το σύστημα με τις ανάλογες περιγραφές που ανταποκρίνονται σε αυτούς, δομημένες σημασιολογικά σε RDF-τριπλέτες. Οι αναφερόμενοι πόροι οφείλουν να προϋπάρχουν στη σημασιολογική βάση δεδομένων. Αφού επαληθευτούν τα δικαιώματα επιπέδου διαχειριστή, που του επιτρέπουν την εκτέλεση αυτής της λειτουργίας, ο Aggregate Manager αναλαμβάνει τη διαγραφή των περιγραφόμενων πόρων από τη βάση. Το σύστημα αποκρίνεται με ένα απλό μήνυμα επιβεβαίωσης ολοκλήρωσης της λειτουργίας.

5.2 Πλατφόρμες και Προγραμματιστικά Εργαλεία

Σε αυτήν την υποενότητα ακολουθεί η περιγραφή των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του OMN-Broker, σε μορφή πίνακα. Η επιλογή των τεχνολογιών έγινε με κριτήριο τη μεταξύ τους συμβατότητα και τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις που θέσαμε.

A/A	Τεχνολογίες	ΈΚΔΟΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
1	Ruby	2.0.0	OMN – Broker Framework
2	Rack-RPC Gem	1.5.2	Communication Interfaces

3	Omf-Common Gem	6.1.12	Authentication/Authorization Context, Testbed Adaptation Layer
4	Omf-RC Gem	6.1.12	Testbed Adaptation Layer
5	EventMachine Gem	1.0.3	Scheduler
6	Rufus-Scheduler Gem	3.0.9	Scheduler
7	RDF lib framework	2.0.0	Aggregate Manager
8	Spira Gem	2.0.0	Data Models, Resource Description Triplestore
9	Sparql Gem	2.0.0	Communication Interfaces
10	omnlib framework (Java)	-	Translator
11	do_sqlite3 Gem	0.10.16	Resource Description Triplestore

Πίνακας Α: Πλατφόρμες και Προγραμματιστικά Εργαλεία

5.3 Περιγραφή Rest API

GET /nodes
Name: Admin - View Resources (Nodes) Description: Retrieve testbed's nodes' descriptions.
Example request URI(s): curl -k https://localhost:8001/omn-resources/nodes
Response Representations: HTTP/1.1 200 OK Content-Type: application/json Access-Control-Allow-Origin: * Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, DELETE, OPTIONS Set-Cookie: rack.session=bb50d15481b25eb46028d2e9fef008a17827b1e08c5b1e1b379b81065562eed8; path=/; HttpOnly Connection: close Server: thin 1.6.0 codename Greek Yogurt [{

```

"http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Node/node2": {
  "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#hasLocation": [
    {
      "type": "uri",
      "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn_wireless.owl#Location/Athens"
    }
  ],
  "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#hasInterface": [
    {
      "type": "uri",
      "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Interface/interface1"
    }
  ],
  "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type": [
    {
      "type": "uri",
      "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Node"
    }
  ],
  "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#isAvailable": [
    {
      "type": "literal",
      "value": "true",
      "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
    }
  ]
},
{
  "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Node/node1": {
    "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#isExclusive": [
      {
        "type": "literal",
        "value": "true",
        "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
      }
    ],
    "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#hasLocation": [
      {
        "type": "uri",
        "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn_wireless.owl#Location/Athens"
      }
    ],
    "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#hasIPAddress": [
      {
        "type": "uri",
        "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#IPAddress/public_ip"
      }
    ]
  }
}

```

```

"http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#hasInterface": [
  {
    "type": "uri",
    "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Interface/interface2"
  },
  {
    "type": "uri",
    "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Interface/interface1"
  }
],
"http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type": [
  {
    "type": "uri",
    "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Node"
  }
],
"http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#isAvailable": [
  {
    "type": "literal",
    "value": "true",
    "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
  }
]
}
},
{
  "about": "/omn-resources/nodes"
}
]

```

POST /locations
<p>Name: Admin - Add Resources (Location)</p> <p>Description: Add a location description on the respective testbed. The description contains the following information:</p> <pre> { "name": "Ioannina", "x": 23.7827916, "y": 37.9794468 } </pre> <p>Also, ucert.p12 is a certificate signed by a root certificate, allowing admin operations</p>
<p>Example request URI(s):</p> <pre> curl --cert ucert.p12:pass -i -H "Accept: application/json" -H "Content-Type: application/json" -X POST -d location_description.json -k https://localhost:8001/omn-resources/locations </pre>

Response Representations:

HTTP/1.1 200 OK

Content-Type: application/json

Access-Control-Allow-Origin: *

Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, DELETE, OPTIONS

Set-Cookie:

rack.session=bb50d15481b25eb46028d2e9fef008a17827b1e08c5b1e1b379b81065562eed8;

path=/; HttpOnly

Connection: close

Server: thin 1.6.0 codename Greek Yogurt

```
[
  {
    "http://open-multinet.info/ontology/omn_wireless.owl#Location/Ioannina": {
      "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#y": [
        {
          "type": "literal",
          "value": "37.9794468",
          "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"
        }
      ],
      "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#x": [
        {
          "type": "literal",
          "value": "23.7827916",
          "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"
        }
      ],
      "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type": [
        {
          "type": "uri",
          "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-monitoring-unit#Location"
        },
        {
          "type": "uri",
          "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Location"
        }
      ]
    }
  },
  {
    "about": "/omn-resources/locations"
  }
]
```


PUT /locations

Name: Admin - Update Resources (Location)

Description: Update an existing location description on the respective testbed. The updated description contains the following information:

```
{
  "name": "Ioannina",
  "x": 68.7827916,
  "y": 49.9794468
}
```

Again, ucert.p12 is a certificate signed by a root certificate, allowing admin operations

Example request URI(s):

```
curl --cert ucert.p12:pass -i -H "Accept: application/json" -H "Content-Type: application/json" -X PUT -d location_description.json -k https://localhost:8001/omn-resources/locations
```

Response Representations:

HTTP/1.1 200 OK

Content-Type: application/json

Access-Control-Allow-Origin: *

Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, DELETE, OPTIONS

Set-Cookie:

rack.session=d55c5d61fef75a7818bb04b0e046b0dc2d589baf5457edde22ff208fc1684d4f;

path=/; HttpOnly

Connection: close

Server: thin 1.6.0 codename Greek Yogurt

```
[
  {
    "http://open-multinet.info/ontology/omn_wireless.owl#Location/Ioannina": {
      "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#y": [
        {
          "type": "literal",
          "value": "49.9794468",
          "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"
        }
      ],
      "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#x": [
        {
          "type": "literal",
          "value": "68.7827916",
          "datatype": "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"
        }
      ],
      "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type": [
        {
```

```

    "type": "uri",
    "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-monitoring-unit#Location"
  },
  {
    "type": "uri",
    "value": "http://open-multinet.info/ontology/omn-resource#Location"
  }
]
}
},
{
  "about": "/omn-resources/locations"
}
]

```

DELETE /nodes

Name: Admin - Delete Resources (Nodes)

Description: Delete an existing node description on the respective testbed. The node description contains the following information:

```

{
  "name": "node2",
}

```

Again, ucert.p12 is a certificate signed by a root certificate, allowing admin operations

Example request URI(s):

```

curl --cert ucert.p12:pass -i -H "Accept: application/json" -H "Content-Type: application/json" -X DELETE -d node_description.json -k https://localhost:8001/omn-resources/nodes

```

Response Representations:

```

HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/json
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, DELETE, OPTIONS
Set-Cookie: rack.session=158dc8a00d20386414ffd7ac66e615494125e941ede60445c02d9c66fd5638bf; path=/; HttpOnly
Connection: close
Server: thin 1.6.0 codename Greek Yogurt

```

```

{
  "response": "OK",
  "about": "/omn-resources/nodes"
}

```

6. Μελλοντική Εργασία

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται κάποιες ιδέες για μελλοντική επέκταση των δυνατοτήτων του συστήματος με σκοπό την περαιτέρω αξιοποίηση του εμπλουτισμού της λειτουργίας του με σημασιολογικά δεδομένα.

6.1 Ταίριασμα Πόρων

Προτού ένα σύνολο πόρων κατανεμηθεί σε μία φέτα πόρων, πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα ώστε να ταιριάζει στις προδιαγραφές που υποβλήθηκαν από τον ερευνητή (π.χ. τύπος πόρου, περιοχή κλπ.) καθώς και να βρίσκεται σε συμμόρφωση με τις προδιαγραφές με τις πολιτικές κατανομής πόρων που έχουν ορίσει οι πάροχοι τις υποδομής (resource matching). Μέχρι στιγμής, στα πλαίσια των ερευνητικών υποδομών του FI, το ταίριασμα πόρων βασίζεται στην αντιστοίχιση γνωρισμάτων του πόρου, για παράδειγμα OpSys = “Linux” για τις διάφορες παραλλαγές του λειτουργικού συστήματος Linux, απαιτώντας αυξημένο επίπεδο συντονισμού ανάμεσα στους ερευνητές και τους παρόχους, εντός του ομόσπονδου περιβάλλοντος.

Παρόλα αυτά, με την υιοθέτηση της σημασιολογικής μοντελοποίησης, παρέχεται η απαραίτητη ευελιξία έκφρασης και με κατάλληλα εργαλεία για διενέργεια ερωτημάτων και συμπερασμό γνώσης τα συνήθη προβλήματα της διαδικασίας του ταιριάσματος πόρων μπορούν να εξομαλυνθούν. Με άλλα λόγια, *συμπερασματολογικοί κανόνες μπορούν να προστεθούν στη σημασιολογική βάση δεδομένων με σκοπό το συμπερασμό προδιαγραφών των πόρων ή την προσθήκη επιπλέον γνώσης, όπως για παράδειγμα ότι «τα λειτουργικά συστήματα Fedora και Ubuntu αποτελούν παραλλαγές του Linux».* Επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της εγκυρότητας της μοντελοποίησης που ακολουθεί το αίτημα του εκάστοτε ερευνητή [46].

6.1.1 Επικύρωση Αιτήματος

Όπως αναφέρθηκε, μία πιθανά χρήσιμη εφαρμογή της συλλογιστικής (reasoning) που περιγράφηκε παραπάνω, είναι η σημασιολογική επικύρωση των αιτημάτων που καταθέτουν οι ερευνητές. Στο περιβάλλον μας, ένα αίτημα σειριοποιημένο σε RDF-τριπλέτες, μπορεί να παραχθεί από πληθώρα εργαλείων αγνώστου προελεύσεως, πράγμα που δεν μας επιτρέπει να εγγυηθούμε ότι το αίτημα «βγάζει νόημα» όταν λαμβάνεται από τον Aggregate Manager της ερευνητικής υποδομής. Είναι, δηλαδή, χρήσιμο να βεβαιωθούμε ότι στέκει σημασιολογικά, προτού προχωρήσουμε στην επεξεργασία του. Για το σκοπό αυτό, μπορεί να αξιοποιηθεί ένα

σύνολο σημασιολογικών κανόνων, οι οποίοι θα περιγράφουν τους απαιτούμενους περιορισμούς και να εκτελεστούν από ένα μηχανισμό συμπερασμού (inference engine). Αντίστοιχοι κανόνες μπορούν να περιγραφούν για την απόρριψη λανθασμένα διαμορφωμένων αιτημάτων ή την απλούστευση της διαδικασίας περιγραφής των τοπολογιών, για παράδειγμα «οι συνδέσεις δεν πρέπει να πρέπει να δημιουργούν βρόχο με τον εαυτό τους», «οι διεπαφές πρέπει πάντα να ανήκουν σε οντότητα που αποτελεί κόμβο ή υποκλάση του» κλπ.

6.1.2 Επέκταση Γνώσης

Η έτερη σημαντική πιθανή εφαρμογή των, συγκεκριμένων για κάθε υποδομή, κανόνων συμπερασμού εντοπίζεται στην επέκταση της γνωσιακής βάσης. Για παράδειγμα, οι πάροχοι πόρων των ομόσπονδων υποδομών δεν γνωστοποιούν αναλυτικά τις προδιαγραφές του υλικού των πόρων τους στα παρεχόμενα RSpec XML, συνεπώς αυτές δεν μεταφράζονται σε RDF-τριπλέτες στον Translator. Αντ' αυτού, αυτού του είδους η πληροφορία κωδικοποιείται μέσω του πεδίου hardware type. Παραδείγματος χάριν, ένας κόμβος με hardware type rcgen3 υπονοείται ότι περιλαμβάνει δύο Hexacore Intel E5645 (2.4GHz) επεξεργαστές, 24GB μνήμης RAM, 250GB σκληρού δίσκου και ένα έως πέντε 1Gbit προσαρμογείς δικτύου. Προσθέτοντας, επομένως, κανόνες στη σημασιολογική βάση, οι οποίοι ερμηνεύουν τον τύπο υλικού rcgen3 ως το σύνολο των παραπάνω προδιαγραφών, ένα ερευνητής δύναται να αιτηθεί πόρους του συστήματος, προδιαγράφοντας, λόγου χάριν, συγκεκριμένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα μνήμης RAM.

6.2 Χαρτογράφηση Πόρων

Το πρόβλημα της επιλογής των καταλληλότερων πόρων της ερευνητικής υποδομής που θα κατανεμηθούν στον ερευνητή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που περιέγραψε στην αίτησή του παραμένει μία από τις κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι υποδομές [47]. Στη δικιά μας περίπτωση, όπου επιτρέπεται η δέσμευση πόρων τόσο σε παρόντα αλλά και σε μελλοντικό χρόνο, το πρόβλημα αποκτά διττή φύση· από τη μία η βέλτιστη επιλογή των άμεσα διαθέσιμων πόρων και από την άλλη η βέλτιστη χρονοδρομολόγηση των μελλοντικών δεσμεύσεων [48].

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2, η δομή των αρχείων που χρησιμοποιούνται για την αίτηση δέσμευσης πόρων είναι πλήρως εξαρτημένη από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο πληροφορίας. Με την επιλογή του Σημασιολογικού Μοντέλου στην οποία προβήκαμε, αποκτάται ένα δυνατό εργαλείο για τη λύση του προβλήματος· η συλλογιστική κατά την επιλογή των πόρων που θα δεσμευτούν για το χρήστη δίνει περιθώρια αισθητής βελτίωσης της ακρίβειας και αποδοτικότητας της κατανομής των πόρων από τη μεριά της ερευνητικής υποδομής [47].

Η συνέπεια ανάμεσα στις αιτήσεις για δέσμευση πόρων και στις αποκρίσεις του συστήματος με το σύνολο των προτεινόμενων πόρων, μπορεί να προκύψει συγκρίνοντας περιγραφές πόρων, που βασίζονται στην οντολογία που χρησιμοποιήσαμε, με τις περιγραφές που κατατέθηκαν από τον ερευνητή μαζί με το αίτημα όπως περιγράφεται στο [49]. Μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμη ένα σύστημα αξιολόγησης της καταλληλότητας των διαθέσιμων πόρων, ταξινόμησής τους και επιλογής του καταλληλότερου, όπως στο [50]. Οι παραπάνω δυνατότητες πηγάζουν από τη δυνατότητα σημασιολογικής συλλογιστικής που μας προσφέρει το Σημασιολογικό Μοντέλο.

7. Βιβλιογραφία

- [1] A. Gavras, A. Karila, S. Fdida, M. May, and M. Potts. “Future internet research and experimentation”. In: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 37.3 (July 2007), p. 89. ISSN: 01464833. DOI: 10.1145/1273445.1273460 (cit. on p. 2).
- [2] M. Berman, J. S. Chase, L. Landweber, A. Nakao, M. Ott, D. Raychaudhuri, R. Ricci, and I. Seskar. “GENI: A federated testbed for innovative network experiments”. In: *Computer Networks* 61.3 (Mar. 2014), pp. 5–23. ISSN: 13891286. DOI: 10.1016/j.bjp.2013.12.037 (cit. on p. 2).
- [3] L. Peterson, S. Sevinc, J. Lepreau, and R. Ricci. *Slice-based Federation architecture*. Draft version. GENI, 2009. URL : <http://groups.geni.net/geni/wiki/SliceFedArch> (cit. on p. 3).
- [4] T. Rakotoarivelo, M. Ott, G. Jourjon, and I. Seskar. “OMF”. In: *ACM SIGOPS Operating Systems Review* 43.4 (Jan. 2010), p. 54. ISSN : 01635980. DOI: 10.1145/1713254.1713267 (cit. on p. 3).
- [5] T. Rakotoarivelo, G. Jourjon, and M. Ott. “Designing and Orchestrating Reproducible Experiments on Federated Networking Testbeds”. In: *Computer Networks, Special Issue on Future Internet Testbeds* 63.1 (2014), pp. 173–187. DOI: 10.1016/j.bjp.2013.12.033 (cit. on p. 3).
- [6] D. Stavropoulos, A. Dadoukis, T. Rakotoarivelo, M. Ott, T. Korakis and L. Tassioulas. “Design, Architecture and Implementation of a Resource Discovery, Reservation and Provisioning Framework for Testbeds” (July 2015), ISSN: 15290777. DOI: 10.1109/WIOPT.2015.7151032
- [7] NETMODE wireless testbed, [online], www.netmode.ntua.gr/testbed/
- [8] V. G. Cerf. “Unfinished Business”. In: *IEEE Internet Computing* 18.1 (Jan. 2014), pp. 88–88. I S S N : 1089-7801. D O I : 10.1109/MIC.2014.18 (cit. on p. 2).
- [9] M. Tasic and I. Seskar. “Resource specification and intelligent user interaction for federated testbeds using Semantic Web technologies”. In: *Computer Networks* 63.1 (Jan. 2014), pp. 84–100. I S S N : 13891286. D O I : 10.1016/j.comnet.2014.01.005 (cit. on pp. 17, 56).
- [10] A. Gavras. *Experimentally driven research white paper*. Tech. rep. ICT Fireworks, Apr. 2010 (cit. on p. 2).

- [11] G. Nicol, L. Wood, M. Champion, and S. Byrne. *Document Object Model (DOM) level 3 core specification*. Tech. rep. World Wide Web Consortium (W3C), 2001 (cit. on p. 47).
- [12] D. Beckett, T. Berners-Lee, and E. Prud'hommeaux. *Turtle-terse RDF triple language*. Team Submission. World Wide Web Consortium (W3C), 2008 (cit. on p. 47).
- [13] A. Westerinen, J. Schnizlein, J. Strassner, M. Scherling, B. Quinn, S. Herzog, A. Huynh, M. Carlson, J. Perry, and S. Waldbusser. *RFC 3198: Terminology for Policy-Based Management*. RFC 3198 (Informational). Internet Engineering Task Force (IETF), Nov. 2001. U R L : <http://www.ietf.org/rfc/rfc3198.txt> (cit. on pp. 47, 48).
- [14] R. Cyganiak, D. Wood, and M. Lanthaler. *Resource Description Framework (RDF) 1.1 Concepts and Abstract Syntax*. Recommendation. World Wide Web Consortium (W3C), Feb. 2014. U R L : <http://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/> (cit. on pp. 47, 51).
- [15] J. S. Hughes, D. J. Crichton, and C. a. Mattmann. “Ontology-based information model development for science information reuse and integration”. In: *International Conference on Information Reuse & Integration*. IEEE, Aug. 2009, pp. 79–84. I S B N : 978-1-4244-4114-3. D O I : 10.1109/IRI.2009.5211603 (cit. on p. 48).
- [16] P. Hitzler, M. Krotzsch, and S. Rudolph. *Foundations of semantic web technologies*. CRC Press, 2011 (cit. on p. 48).
- [17] A. Pras, J. Schonwalder, M. Burgess, O. Festor, G. Perez, R. Stadler, and B. Stiller. “Key research challenges in network management”. In: *IEEE Communications Magazine* 45.10 (Oct. 2007), pp. 104–110. I S S N : 0163- 6804. D O I : 10.1109/MCOM.2007.4342832 (cit. on pp. 4, 47, 50).
- [18] T. Gruber. “A translation approach to portable ontology specifications”. In: *Knowledge acquisition* 5.2 (1993), pp. 199–220 (cit. on p. 50).
- [19] C. M. Keet. “Open World Assumption”. In: *Encyclopedia of Systems Biology*. Ed. by W. Dubitzky, O. Wolkenhauer, K.-H. Cho, and H. Yokota. New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 1567–1567. I S B N : 978-1-4419-9862-0. D O I : 10.1007/978-1-4419-9863-7_734 (cit. on p. 50).
- [20] B. Dan and R. V. Guha. *Resource Description Framework (RDF) Schema Specification 1.1*. Recommendation. World Wide Web Consortium (W3C), Feb. 2014. U R L : <http://www.w3.org/TR/1998/WD-rdf-schema/> (cit. on p. 52).

- [21] I. Herman, I. Horrocks, and P. F. Patel-Schneider. *OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)*. Recommendation. World Wide Web Consortium (W3C), Dec. 2012. U R L : <http://www.w3.org/TR/owl-overview> (cit. on p. 52).
- [22] R. Shearer, B. Motik, and I. Horrocks. “HermiT: A Highly-Efficient OWL Reasoner.” In: *5th {OWLED} Workshop on {OWL:} Experiences and Directions*. Vol. 432. Karlsruhe: Open Access CEUR, Oct. 2008, p. 91 (cit. on p. 52).
- [23] E. Sirin, B. Parsia, B. C. Grau, A. Kalyanpur, and Y. Katz. “Pellet: A practical owl-dl reasoner”. In: *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web 5.2* (2007), pp. 51–53 (cit. on p. 52).
- [24] C. B. Aranda, O. Corby, S. Das, L. Feigenbaum, P. Gearon, B. Glimm, S. Harris, S. Hawke, I. Herman, N. Humfrey, N. Michaelis, C. Ogbuji, M. Perry, A. Passant, A. Polleres, E. Prud’hommeaux, A. Seaborne, and G. T. Williams. *SPARQL 1.1 Overview*. Recommendation. World Wide Web Consortium (W3C), Mar. 2013. U R L : <http://www.w3.org/TR/sparql11-overview> (cit. on p. 52).
- [25] Slice-based Facility Architecture wrapper. [Online]. Available: <http://sfawrap.info/>
- [26] A. Willner and T. Magedanz, “FIRMA: A Future Internet Resource Management Architecture,” *Proceedings of the 2014 26th International Teletraffic Congress (ITC)*, 2014.
- [27] ORCA Control Framework Architecture. [Online]. Available: <https://geni-orca.renci.org/trac/>
- [28] FOAM OpenFlow aggregate. [Online]. Available: <http://groups.geni.net/geni/wiki/OpenFlow/FOAM>
- [29] T. Berners-Lee. *Linked Data*. World Wide Web Design Issues. July 2006. U R L : <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> (visited on 03/17/2014) (cit. on p. 53).
- [30] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, and J. Turner. “OpenFlow”. In: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 38.2 (Mar. 2008), p. 69. I S S N : 01464833. D O I : 10.1145/1355734.1355746 (cit. on p. 76).
- [31] A. Wong, P. Ray, N. Parameswaran, and J. Strassner. “Ontology mapping for the interoperability problem in network management”. In: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 23.10 (Oct. 2005), pp. 2058–2068. I S S N : 0733-8716. D O I : 10.1109/JSAC.2005.854130 (cit.

on p. 56).

- [32] J. van der Ham. “A Semantic Model for Complex Computer Networks: The Network Description Language”. PhD thesis. Universiteit van Amsterdam, 2010, p. 164 (cit. on p. 56).
- [33] J. van der Ham, F. Dijkstra, R. Lapacz, and J. Zurawski. *GFD.206: Network Markup Language Base Schema*. Tech. rep. Open Grid Forum (OGF), 2013 (cit. on p. 56).
- [34] G. Karmous-Edwards, S. G. Polito, A. Jukan, and G. Rouskas. “A new framework for GLIF Interdomain Resource Reservation Architecture (GIRRA)”. In: *annals of telecommunications - annales des télécommunications* 65.11-12 (Dec. 2010), pp. 723–737. I S S N : 0003-4347. D O I : 10.1007/s12243-010-0186-y (cit. on p. 148).
- [35] M. Ghijssen, J. van der Ham, P. Grosso, and C. de Laat. “Towards an Infrastructure Description Language for Modeling Computing Infrastructures”. In: *10th International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*. IEEE, July 2012, pp. 207–214. I S B N : 978-1-4673-1631-6. D O I : 10.1109/ISPA.2012.35 (cit. on p. 56).
- [36] I. Baldine, Y. Xin, A. Mandal, C. H. Renci, U.-C. J. Chase, V. Marupadi, A. Yumerefendi, and D. Irwin. “Networked cloud orchestration: A GENI perspective”. In: *Globecom Workshops*. IEEE, Dec. 2010, pp. 573–578. I S B N : 978-1-4244-8863-6. D O I : 10.1109/GLOCOMW.2010.5700385 (cit. on p. 56).
- [37] M. Tomic, I. Seskar, and F. Jelenkovic. “TaaSOR – Testbed-as-a-Service Ontology Repository”. In: *Testbeds and Research Infrastructure Development of Networks and Communities (TRIDENTCOM)*. Vol. 44. 1. Springer, 2012, pp. 419–420. D O I : 10.1007/978-3-642-35576-9_49 (cit. on pp. 56, 57).
- [38] A. Willner, C. Papagianni, M. Giatili, et al., “The Open- Multinet Upper Ontology - Towards the Semantic- based Management of Federated Infrastructures,” in 10th Int. Conf. on Testbeds and Research Infrastr. for the Dev. of Netw. & Comm. (TRIDENTCOM), Vancouver, Canada: IEEE, Jun. 2015.
- [39] N. Damianou et al. “A survey of policy specification approaches”. In: Department of Computing, Imperial College of Science Technology and Medicine, London 4 (2002), pp. 1–37.
- [40] DataObjects API Implementation for Sqlite3 [Online]. Available: https://rubygems.org/gems/do_sqlite3/versions/0.10.17

- [41] Class: RDF::Repository (An RDF repository) [Online]. Available: <http://rdf.rubyforge.org/RDF/Repository.html>
- [42] D. Palma and T. Spatzier, Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications (TOSCA) Version 1, Nov. 2013.
- [43] M. Bjorklund, YANG - A Data Modeling Language for the Network Configuration Protocol (NETCONF), RFC 6020 (Proposed Standard), 2010.
- [44] Protégé, Ontology editor and a framework for building intelligent systems [Online]. Available: <http://protege.stanford.edu>
- [45] Spira, a linked-data ORM for Ruby [Online]. Available: <http://ruby-rdf.github.io/spira/>
- [46] X. Yufeng, I. Baldine, J. Chase, et al., "TR-13-02: Using Semantic Web Description Techniques for Managing Resources in a Multi-Domain Infrastructure-as-a-Service Environment," RENCIS Technical Report Series, Tech. Rep. April, 2013.
- [47] C. Pittaras et al, "Resource discovery and allocation for federated virtualized infrastructures". Future Generation Computer Systems, <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2014.01.003>.
- [48] C. Wiseman and J. Turner, "The Virtual Network Scheduling Problem for Heterogeneous Network Emulation Testbeds", Tech. Rep, Washington University in Saint Louis, 2009.
- [49] S. Castano et al., "Matching techniques for resource discovery in distributed systems using heterogeneous ontology descriptions." In *Proc of the Int. Conf. of Information Technology: Coding and Computing, IEEE*, pp. 360-366, 2004.
- [50] A. Bandara et al. "Semantic resource matching for pervasive environments: The approach and its evaluation.", Tech. Rep, University of Southampton, 2008.

Παράρτημα Α.

Ανάλυση απαιτήσεων συστήματος

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος και θα γίνει η ανάλυση απαιτήσεων για τις λειτουργίες του.

Εξωτερικές Οντότητες Συστήματος

Η αρχιτεκτονική που σχεδιάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας αναγνωρίζει τις παρακάτω οντότητες (actors) οι οποίες αλληλεπιδρούν εξωτερικά με το σύστημα.

Εξωτερική Οντότητα	Συνομογραφία	Περιγραφή
Τελικός Χρήστης/Πειραματιστής (End User/Experimenter)	TX	Ο TX αλληλεπιδρά με το σύστημα προσπαθώντας να ανακαλύψει πόρους που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του, να τους δεσμεύσει και να αποκτήσει έλεγχο επί αυτών, για το χρονικό διάστημα που διαρκεί ο πειραματισμός του.
Ερευνητική Υποδομή (Testbed)	EY	Οι πόροι που υπάγονται στην EY, μέσω των Ελεγκτών Πόρων (Resource Controllers) που φέρουν, ενημερώνονται από την κατάλληλη διεπαφή του συστήματος αυτόματα για τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελούν κάθε στιγμή.
Διαχειριστής της Ερευνητικής Υποδομής (Testbed Administrator)	Δ-EY	Ο Δ-EY είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των πόρων των ερευνητικών υποδομών (προσθήκη, διαγραφή, ενημέρωση περιγραφής) και την εφαρμογή των συμφωνηθέντων πολιτικών παροχής τους.

Πίνακας Β: Εξωτερικές Οντότητες Συστήματος

Σενάρια Χρήσης

Παρακάτω απαριθμούνται οι ενέργειες που καθορίζουν όλες τις πιθανές αλληλεπιδράσεις του συστήματός μας με τους εξωτερικούς δράστες που περιεγραφήκαν προηγουμένως, με σκοπό να αποσαφηνίσουμε τις λειτουργίες που αυτό απαιτείται να υποστηρίζει. Στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν γι' αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής πεδία:

- Το *όνομα* του σεναρίου χρήσης
- Μια *σύντομη περιγραφή* του σεναρίου χρήσης
- Οι εμπλεκόμενοι πρωταρχικοί, εξωτερικοί *δράστες*
- Οι *προϋποθέσεις* εμφάνισής του
- Η κύρια ροή του σεναρίου χρήσης, δηλαδή η αναμενόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και συστήματος, χωρίς σφάλματα.
- Πιθανές *εναλλακτικές ροές*, μέσα από τις οποίες περιγράφεται το πως θα πρέπει να αντιδρά το σύστημα σε μη αναμενόμενες ενέργειες των χρηστών.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	1
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Πιστοποίηση Χρήστη</i> (Authenticate User)
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Η ταυτότητα ενός χρήστη πιστοποιείται και επαληθεύεται από το σύστημα διαχείρισης της ερευνητικής υποδομής. Εάν αυτή αποτελεί μέλος μιας ομοσπονδίας ερευνητικών υποδομών, η πιστοποίηση επιτρέπει στο χρήστη την πρόσβαση στο σύνολο των πόρων.
Πρωταρχικός Δράστης	ΤΧ, Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none">1. Ο χρήστης καταθέτει το απαιτούμενο πιστοποιητικό.2. Το πιστοποιητικό είναι έγκυρο και υπογεγραμμένο από την αρμόζουσα <i>Βασική Αρχή</i> οπότε το σύστημα επαληθεύει το χρήστη.3. Το σύστημα προμηθεύει το χρήστη με δικαιώματα δράσης που είναι ανάλογα των πειστηρίων που κατέθεσε.

Εναλλακτική Ροή	Το πιστοποιητικό του χρήστη δεν είναι κατάλληλο με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.
------------------------	--

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	2
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Τρέχουσα Έκδοση (Get Version)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Η τρέχουσα έκδοση του SFA-API που υποστηρίζεται από το σύστημα γνωστοποιείται σε ένα καταχωρημένο χρήστη..
Πρωταρχικός Δράστης	TX, Δ-EY
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη. Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλλει αίτηση παροχής αριθμού έκδοσης. 3. Το σύστημα γνωστοποιεί στο χρήστη την τρέχουσα έκδοση του SFA-API.
Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	3
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Ανακάλυψη Πόρων (List Resources)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης υποβάλλει ερωτήματα που αφορούν στη διαθεσιμότητα των πόρων των υποδομών που διαχειρίζεται το σύστημα. Τα ερωτήματα συγκεκριμενοποιούνται με χρήση κριτηρίων. Οι αποκρίσεις του συστήματος διαφοροποιούνται ανάλογα με τα δικαιώματα που έχουν αποδοθεί στο χρήστη.
Πρωταρχικός Δράστης	TX, Δ-EY
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.

	Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλει ένα ερώτημα με σκοπό την ανακάλυψη πόρων. 3. Το ερώτημα διανέμεται στις ομόσπονδες υποδομές αν είναι απαραίτητο. 4. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα που περιλαμβάνει τα αθροιστικά αποτελέσματα.
Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	4
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Δημιουργία Τμήματος (Create Sliver)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης δημιουργεί τμήματα των διαθέσιμων πόρων του συστήματος καθώς και τα δεσμεύει για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, στο χρήστη αποδίδεται πλήρης και αποκλειστικός έλεγχος του τμήματος και μπορεί να το χρησιμοποιήσει για τη διενέργεια πειραμάτων στα πλαίσια των τεμαχίων.
Πρωταρχικός Δράστης	TX, Δ-EY, EY
Προϋποθέσεις	<p>Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.</p> <p>Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλει ένα αίτημα δημιουργίας τμήματος. 3. Το σύστημα επιβεβαιώνει τη διαθεσιμότητα των αντίστοιχων πόρων και επαληθεύει την κράτηση. 4. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα επιβεβαίωσης.

	5. Το σύστημα ενημερώνει τους υπεύθυνους Ελεγκτές Πόρων για την επικείμενη κράτηση.
Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	5
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Κατάσταση Τμήματος (Sliver Status)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης ελέγχει ανά πάσα στιγμή την κατάσταση των πόρων που έχει δεσμεύσει.
Πρωταρχικός Δράστης	ΤΧ, Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη. Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό. Ο χρήστης έχει προβεί σε δημιουργία τμήματος.
Κύρια Ροή	1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλει ένα αίτημα γνωστοποίησης κατάστασης τμήματος. 3. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα που περιλαμβάνει την κατάσταση του τμήματος.
Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	6
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Ανανέωση Τμήματος (Renew Sliver)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης επεκτείνει την κράτηση των πόρων που ανήκουν στο τμήμα.
Πρωταρχικός Δράστης	ΤΧ, Δ-ΕΥ, ΕΥ
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.

	<p>Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p> <p>Ο χρήστης έχει προβεί σε δημιουργία τμήματος.</p> <p>Ο χρήστης έχει καταθέσει ανανεωμένα διαπιστευτήρια στην αρμόδια Αρχή Τεμαχίου</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλει ένα αίτημα ανανέωσης πόρων τμήματος. 3. Το σύστημα επιβεβαιώνει τη διαθεσιμότητα των αντίστοιχων πόρων και επαληθεύει την ανανέωση. 4. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα επιβεβαίωσης. 5. Το σύστημα ενημερώνει τους υπεύθυνους Ελεγκτές Πόρων για την επικείμενη κράτηση.
Εναλλακτική Ροή	<p>Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.</p>

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	7
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Διαγραφή Τμήματος (Delete Sliver)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης παύει τη λειτουργία του τμήματος και αποδεσμεύει τους πόρους του τμήματος.
Πρωταρχικός Δράστης	ΤΧ, Δ-ΕΥ, ΕΥ
Προϋποθέσεις	<p>Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.</p> <p>Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p> <p>Ο χρήστης έχει προβεί σε δημιουργία τμήματος.</p> <p>Ο χρήστης έχει απενεργοποιήσει το τμήμα.</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλει ένα αίτημα διαγραφής τμήματος. 3. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα επιβεβαίωσης. 4. Το σύστημα ενημερώνει τους υπεύθυνους Ελεγκτές Πόρων για την ακύρωση της κράτησης.

Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.
------------------------	---

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	8
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Απενεργοποίηση Τμήματος (Shutdown Sliver)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας καταχωρημένος χρήστης παύει τη λειτουργία του τμήματος, χωρίς να αποδεσμεύσει τους πόρους του.
Πρωταρχικός Δράστης	TX, Δ-ΕΥ, ΕΥ
Προϋποθέσεις	Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη. Ο χρήστης έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό. Ο χρήστης έχει προβεί σε δημιουργία τμήματος.
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του χρήστη επαληθεύονται. 2. Ο χρήστης υποβάλλει ένα αίτημα απενεργοποίησης τμήματος. 3. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα επιβεβαίωσης. 4. Το σύστημα ενημερώνει τους υπεύθυνους Ελεγκτές Πόρων για την παύση λειτουργίας των πόρων.
Εναλλακτική Ροή	Τα δικαιώματα του χρήστη δεν περιλαμβάνουν πρόσβαση στη συγκεκριμένη λειτουργία, με συνέπεια να του απαγορεύεται η αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	9
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Προβολή Πόρων Υποδομής (View Resources)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας διαχειριστής ερευνητικής υποδομής επιθεωρεί τους πόρους που ανήκουν σε αυτή.
Πρωταρχικός Δράστης	Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	Ο Μεσίτης είναι εγκατεστημένος και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.

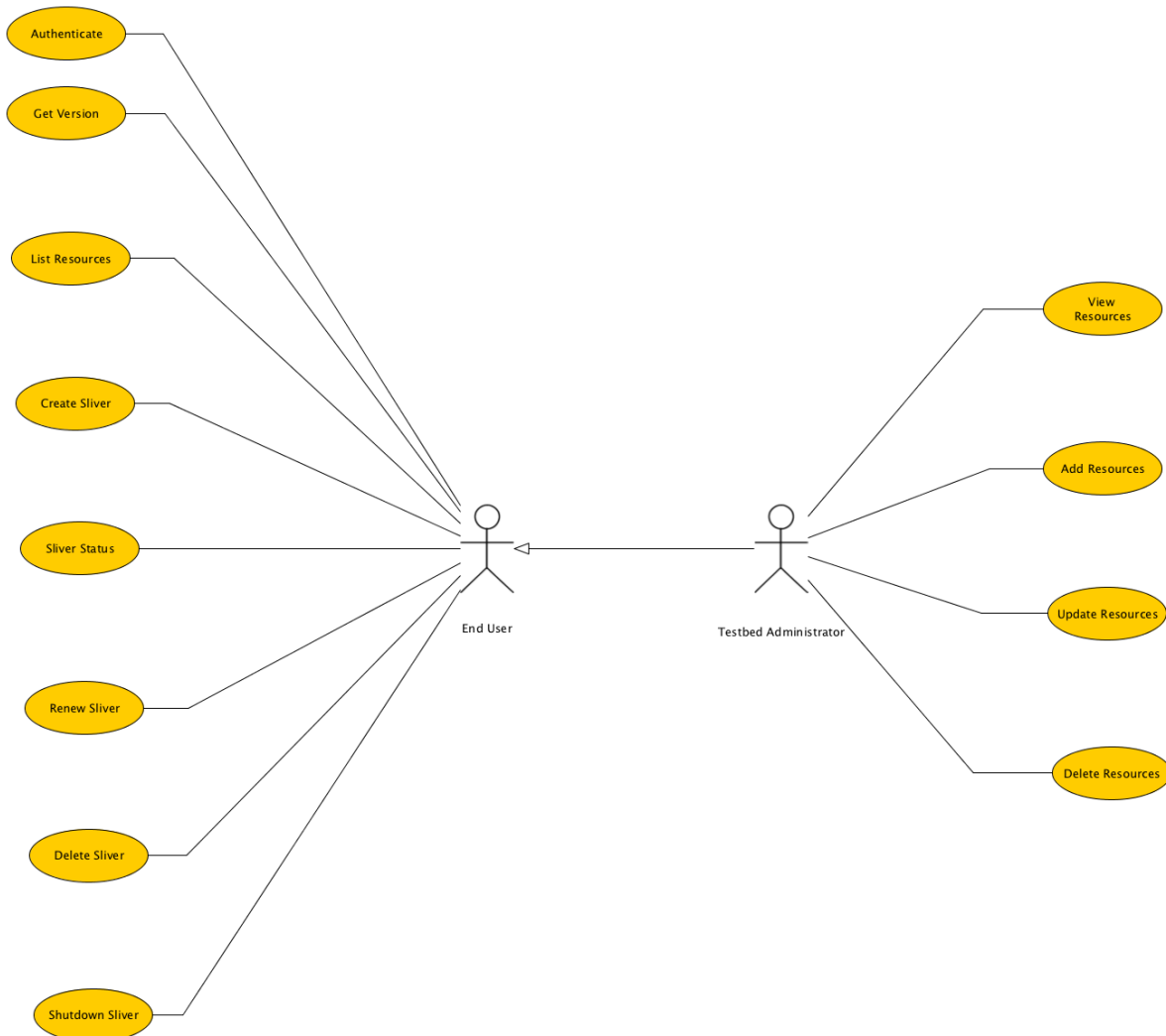
	Ο διαχειριστής έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του διαχειριστή επαληθεύονται. 2. Ο διαχειριστής υποβάλει ένα αίτημα προβολής πόρων. 3. Το σύστημα αποκρίνεται τις περιγραφές των πόρων του συστήματος στην απαιτούμενη μορφή.
Εναλλακτική Ροή	-

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	10
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Προσθήκη Πόρων (Add Resources)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας διαχειριστής ερευνητικής υποδομής προσθέτει περιγραφές πόρων στο σύστημα, οι οποίοι ανήκουν στην ερευνητική υποδομή την οποία διαχειρίζεται.
Πρωταρχικός Δράστης	Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	<p>Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.</p> <p>Ο διαχειριστής έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p> <p>Οι περιγραφές των πόρων είναι έγκυρες.</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του διαχειριστή επαληθεύονται. 2. Ο διαχειριστής υποβάλει ένα αίτημα προσθήκης πόρων, συνοδευόμενο από τις αντίστοιχες περιγραφές. 3. Το σύστημα επιβεβαιώνει την προσθήκη και αποκρίνεται με τις περιγραφές των πόρων που προστέθηκαν επιτυχώς, στην απαιτούμενη μορφή.
Εναλλακτική Ροή	-

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	11
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Ενημέρωση Πόρων (Update Resources)</i>
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας διαχειριστής ερευνητικής υποδομής ενημερώνει τις περιγραφές πόρων στο σύστημα, οι οποίοι ανήκουν στην ερευνητική υποδομή την οποία διαχειρίζεται.

Πρωταρχικός Δράστης	Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	<p>Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.</p> <p>Ο διαχειριστής έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p> <p>Οι περιγραφές των πόρων είναι έγκυρες και αντιστοιχούν σε πόρους καταχωρημένους στο σύστημα.</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του διαχειριστή επαληθεύονται. 2. Ο διαχειριστής υποβάλει ένα αίτημα ενημέρωσης περιγραφών πόρων, συνοδευόμενο από τις αντίστοιχες περιγραφές. 3. Το σύστημα επιβεβαιώνει την ενημέρωση και αποκρίνεται με τις περιγραφές των πόρων που ενημερώθηκαν επιτυχώς, στην απαιτούμενη μορφή.
Εναλλακτική Ροή	-

Αριθμός Σεναρίου Χρήσης	12
Όνομα Σεναρίου Χρήσης	<i>Διαγραφή Πόρων</i> (Delete Resources)
Περιγραφή Σεναρίου Χρήσης	Ένας διαχειριστής ερευνητικής υποδομής διαγράφει περιγραφές πόρων από σύστημα, οι οποίοι ανήκουν στην ερευνητική υποδομή την οποία διαχειρίζεται.
Πρωταρχικός Δράστης	Δ-ΕΥ
Προϋποθέσεις	<p>Το σύστημα είναι εγκατεστημένο και σε πλήρη λειτουργία και η Βάση Δεδομένων είναι έγκυρη.</p> <p>Ο διαχειριστής έχει εισέλθει στο σύστημα καταθέτοντας το απαιτούμενο πιστοποιητικό.</p> <p>Οι περιγραφές των πόρων είναι έγκυρες και αντιστοιχούν σε πόρους καταχωρημένους στο σύστημα.</p>
Κύρια Ροή	<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα δικαιώματα του διαχειριστή επαληθεύονται. 2. Ο διαχειριστής υποβάλει ένα αίτημα διαγραφής πόρων, συνοδευόμενο από τις αντίστοιχες περιγραφές. 3. Το σύστημα αποκρίνεται με μήνυμα επιβεβαίωσης της διαγραφής των πόρων.



Εικόνα Π.1. Πιθανές αλληλεπιδράσεις Τελικού Χρήστη και Διαχειριστή με το Σύστημα

Απαιτήσεις

Οι απαιτήσεις που προκύπτουν από τα περιγραφέντα σενάρια χρήσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, λειτουργικές (functional) και μη λειτουργικές (non-functional) και καταγράφονται σύμφωνα με το πρότυπο VOLERE.

Το πρότυπο VOLERE ορίζει την περιγραφή της κάθε απαίτησης με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αρίθμηση απαιτήσεων. Αποδίδεται σε κάθε απαίτηση μία μοναδική ταυτότητα.:
- Ο τύπος της απαίτησης προκύπτει από τον κάτωθι αναφερόμενο πίνακα.

Functional	Functional	FUNC
	Data	DATA
Non-functional:	Look and Feel Requirements	L&F
	Usability Requirements	USE
	Performance Requirements	PERF
	Operational - Environmental Requirements	ENV
	Maintainability and Support Requirements	SUP

- Η προτεραιότητα είναι η μέτρηση της σημασίας για κάθε απαίτηση.
- Η έκδοση υπάρχει για να ελέγχεται τυχόν ενημέρωση της απαίτησης.

Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι λειτουργικές απαιτήσεις συλλαμβάνουν την επιδιωκόμενη συμπεριφορά του συστήματος. Αυτή η συμπεριφορά εκφράζεται μέσα από υπηρεσίες, διαδικασίες και λειτουργίες τις οποίες το σύστημα οφείλει να εκτελεί.

Id:	1	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Υποστήριξη αρχείου καταγραφών.						
Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να ενημερώνει το αρχείο καταγραφών με τις νέες εγγραφές χρηστών καθώς και να επαληθεύει τις ταυτότητες εγγεγραμμένων χρηστών χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες καταγραφές.						

Επιπλέον πληροφορίες:	Το σύστημα θα πρέπει να εξουσιοδοτεί τους χρήστες με το ρόλο και τα δικαιώματα που τους αντιστοιχούν σύμφωνα με το πιστοποιητικό που καταθέτουν κατά την εγγραφή τους.
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	1

Id:	2	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Σημαιολογική υποστήριξη διαχειριστικών λειτουργιών.						
Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστεί περιγραφές και αποκρίσεις σημαιολογικής μορφής στη διάρκεια εκτέλεσης λειτουργιών διαχειριστικού περιεχομένου.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	9, 10, 11, 12						

Id:	3	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Σημαιολογική υποστήριξη λειτουργιών τελικού χρήστη.						
Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστεί περιγραφές και αποκρίσεις σημαιολογικής μορφής στη διάρκεια εκτέλεσης των λειτουργιών που είναι διαθέσιμες στο χρήστη.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8						

Id:	4	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	SFA-συμβατή υποστήριξη λειτουργιών τελικού χρήστη.						
Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστεί περιγραφές και αποκρίσεις μορφής RSpec XML στη διάρκεια εκτέλεσης των λειτουργιών που είναι διαθέσιμες στο χρήστη.						
Επιπλέον πληροφορίες:	Η εν λόγω μορφή των περιγραφών κρίνεται απαραίτητο να συνεχίζει να υποστηρίζεται από το σύστημα με σκοπό να διατηρηθεί η συμβατότητα και διαλειτουργικότητα με τις υπάρχουσες SFA-συμβατές υποδομές.						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8						

Id:	5	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Εκτέλεση διαχειριστικών λειτουργιών						
Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη την εκτέλεση των ακόλουθων λειτουργιών: προβολή / προσθήκη / ενημέρωση / διαγραφή περιγραφών πόρων.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	9, 10, 11, 12						

Id:	6	Τύπος:	FUNC	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Εκτέλεση λειτουργιών τελικού χρήστη.						

Περιγραφή:	Το σύστημα θα πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη την εκτέλεση των ακόλουθων λειτουργιών: γνωστοποίηση τρέχουσας έκδοσης, προβολή πόρων, δημιουργία / γνωστοποίηση κατάστασης / ανανέωση / απενεργοποίηση / διαγραφή τμήματος.
Επιπλέον πληροφορίες:	Το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει ασύγχρονη επεξεργασία των αιτημάτων από τους χρήστες για την εκτέλεση των παραπάνω εντολών.
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Id:	7	Τύπος:	DATA	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Σημασιολογική περιγραφή οντοτήτων.						
Περιγραφή:	Οι οντότητες που περιγράφουν τον κύκλο ζωής των πειραμάτων, οι έννοιες που χρησιμοποιούνται στην περιγραφή των υποστηριζόμενων λειτουργιών και υπηρεσιών καθώς και οι περιγραφές που αντιπροσωπεύουν τους πόρους, θα πρέπει να ακολουθούν μοντέλα με σημασιολογικό περιεχόμενο.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12						

Id:	8	Τύπος:	FUNC & DATA	Προτεραιότητα:	Υψηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Συνέπεια δεδομένων βάσης.						

Περιγραφή:	Τα δεδομένα που περιέχονται κάθε στιγμή στη βάση δεδομένων θα πρέπει να είναι έγκυρα και να ανταποκρίνονται στην τρέχουσα κατάσταση των πόρων και των τμημάτων.
Επιπλέον πληροφορίες:	Το σύστημα οφείλει να ανανεώνει την κατάσταση διαθεσιμότητας των πόρων ανάλογα με τις επικείμενες κρατήσεις και ακυρώσεις και να ενημερώνει το σύνολο των διαθέσιμων πόρων ανάλογα με τις διάφορες διαχειριστικές λειτουργίες που εκτελούνται. Ακόμη, αυτοματοποιημένες διαδικασίες όπως η αποδέσμευση των πόρων έπειτα από το πέρας του χρονικού διαστήματος κράτησής τους θα πρέπει να επιφέρουν τις προσδοκώμενες μεταβολές στην κατάσταση των πόρων της βάσης.
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	Όλα

Μη λειτουργικές απαιτήσεις

Οι μη λειτουργικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν όλες τις υπόλοιπες απαιτήσεις που δεν καλύπτονται από τις λειτουργικές. Καθορίζουν τα «ποιοτικά χαρακτηριστικά» του συστήματος και περισσότερο κρίνουν τις λειτουργίες του, παρά τις περιγράφουν.

Id:	9	Τύπος:	L&F	Προτεραιότητα:	Χαμηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Φιλική προς το χρήστη αλληλεπίδραση.						
Περιγραφή:	Ο σχεδιασμός των παρεχόμενων διεπαφών αλληλεπίδρασης με τους χρήστες πρέπει να είναι κατανοητός και φιλικός.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	Όλα						

Id:	10	Τύπος:	PERF	Προτεραιότητα:	Χαμηλή	Εκδ.:	1
Τίτλος:	Χρονικά αποδεκτή αναμονή απόκρισης						
Περιγραφή:	Το σύστημα οφείλει να αποκρίνεται στα αιτήματα που δέχεται σε περιορισμένο χρονικό διάστημα.						
Επιπλέον πληροφορίες:	-						
Σχετιζόμενα σενάρια χρήσης:	Όλα						