

Ανθρωποκεντρική Πλοήγηση σε Εσωτερικούς Χώρους¹

Βασίλειος Σ. Τσέτσος

b.tsetsos@di.uoa.gr

Περίληψη. Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται μια λύση που επιτρέπει την υλοποίηση πιο ανθρωποκεντρικών υπηρεσιών πλοήγησης για εσωτερικούς χώρους. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος πλοήγησης βασίζονται στην εκμετάλλευση της σημασιολογίας που έχουν τόσο ο εκάστοτε χώρος πλοήγησης, όσο και οι χρήστες του συστήματος. Η σημασιολογία αυτή περιγράφεται με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού. Συνοπτικά, το σύστημα προτείνει σε κάθε χρήστη το συντομότερο και ταυτόχρονα καταλληλότερο μονοπάτι πλοήγησης για τον επιθυμητό προορισμό του, με βάση το προφίλ του. Η λειτουργία και οι επιδόσεις του συστήματος δοκιμάστηκαν σε επίπεδο προσομοίωσης.

1 Εισαγωγή

Η τεχνολογική πρόοδος που σημειώθηκε τα τελευταία χρόνια στο πεδίο των κινητών συσκευών, των ασύρματων δικτύων και των εφαρμογών, σε συνάρτηση με τις ανάγκες της αγοράς, οδήγησαν σε μια ραγδαία εξάπλωση των ασύρματων προσωπικών επικοινωνιών. Έτσι μπορούν να υλοποιηθούν πλέον υπηρεσίες, οι οποίες θα βοηθούν τους χρήστες στις καθημερινές τους δραστηριότητες με έναν «ευφυή» αλλά και διακριτικό τρόπο. Τέτοιες ακριβώς υπηρεσίες έχουν περιγραφεί στα πλαίσια του οράματος για Διάχυτο Υπολογισμό (ΔΥ) ή Pervasive Computing.

Όσον αφορά την επιθυμητή «ευφυία» ενός περιβάλλοντος ΔΥ, πεποίθηση δική μας, αλλά και αρκετών άλλων ερευνητικών ομάδων (π.χ. [1]), είναι ότι μπορεί να υλοποιηθεί με τον σημασιολογικό «εμπλουτισμό» των διαφόρων συστημάτων που εμπλέκονται σε αυτό. Ο κύριος τρόπος αναπαράστασης και χρήσης της σημασιολογίας σήμερα είναι η μοντελοποίηση με τη χρήση οντολογιών (ontologies). Οι οντολογίες είναι εννοιολογικά μοντέλα που μπορούν να αναπαραστήσουν με ικανή εκφραστικότητα τη γνώση ενός συγκεκριμένου πεδίου. Οι σημασιολογικές τεχνολογίες σήμερα αναπτύσσονται κυρίως από τις πρωτοβουλίες που σχεδιάζουν και υλοποιούν τον Σημασιολογικό Ιστό [6].

Η παρούσα εργασία μελετά πώς μπορούν να υλοποιηθούν πιο ανθρωποκεντρικές υπηρεσίες θέσης για τα μελλοντικά περιβάλλοντα, εστιάζοντας στην πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους. Ο χαρακτηρισμός «ανθρωποκεντρικές υπηρεσίες θέσης», στα πλαίσια αυτής της εργασίας, ερμηνεύεται σαν εξατομικευμένες, αποδοτικές, ευφυείς και φιλικές υπηρεσίες θέσης. Ο λόγος που μελετάται η πλοήγηση είναι ότι έχει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα αλλά και χρηστική αξία από τις άλλες υπηρεσίες θέσης.

¹ Επιβλέπων καθηγητής: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης

Τα βασικά συστατικά ενός συστήματος πλοήγησης είναι: διεπαφή χρήστη, διεπαφές με εξωτερικά συστήματα (π.χ. GIS), χωρικά μοντέλα, μοντέλα χρηστών, αλγόριθμοι πλοήγησης και επιλογής μονοπατιού και αλγόριθμοι επιλογής και αναπαράστασης οδηγιών πλοήγησης. Από αυτά, κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελούν οι *αλγόριθμοι πλοήγησης* και τα *χωρικά μοντέλα*. Βέβαια αυτά σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν έτσι ώστε να αποτελούν μια βασική υποδομή πάνω στην οποία θα μπορέσουν να αναπτυχθούν οποιοδήποτε αλγόριθμοι αναπαράστασης οδηγιών και να ενσωματωθούν οποιαδήποτε μοντέλα χρηστών. Τέλος, αναπτύχθηκε και ένα υποτυπώδες μοντέλο χρηστών για λόγους πληρότητας της εργασίας.

Το OntoNav είναι εντελώς χρηστο-κεντρικό υπό την έννοια ότι τόσο τα μονοπάτια πλοήγησης όσο και οι οδηγίες που καθοδηγούν τους χρήστες πάνω σε αυτά, παρέχονται σε αυτούς ανάλογα με τις φυσικές και αντιληπτικές (perceptual) τους ικανότητες, αλλά και τις ενδεχόμενες προτιμήσεις τους. Οι φυσικές ικανότητες των χρηστών αναφέρονται στην ικανότητά τους να περπατήσουν, να δουν, να ακούσουν κλπ. Ο συνυπολογισμός αυτών των ικανοτήτων κατά την διαδικασία πλοήγησης είναι πολύ σημαντικός για τα άτομα με αναπηρίες (ΑμεΑ) και είναι κάτι που λείπει από τα σημερινά συστήματα πλοήγησης. Οι αντιληπτικές ικανότητες των χρηστών έχουν σχέση με το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορεί να καθοδηγηθεί/πλοηγηθεί κάποιος μέσα σε ένα άγνωστο περιβάλλον. Αυτές οι ικανότητες μπορεί να εξαρτώνται από την ηλικία του, το μορφωτικό του επίπεδο, την γλώσσα του ή να έχουν σχέση με τα αισθητήρια όργανά του που συμμετέχουν στη διαδικασία της κατανόησης των οδηγιών ενός μονοπατιού (π.χ. ακοή, όραση). Τέλος, οι προτιμήσεις διαδρομής (routing preferences), που ενδεχομένως να έχει κάποιος χρήστης, συμπεριλαμβάνουν σημεία ενδιαφέροντος που θα ήθελε ο χρήστης να βρίσκονται στο μονοπάτι πλοήγησης και άλλες προτιμήσεις που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του μονοπατιού.

2 Σχετικές Εργασίες

Ένα από τα πρώτα συστήματα πλοήγησης για πεζούς (πιο συγκεκριμένα τουρίστες) είναι το Cyberguide [4], το οποίο εκτελεί πλοήγηση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Ο βασικός στόχος του έργου δεν ήταν η διαδικασία πλοήγησης (σαν μοντέλο και αλγόριθμοι) καθεαυτή, αλλά οι διεπαφές χρήστη και οι μέθοδοι επικοινωνίας. Το σύστημα Navio [5] είναι μια μεταγενέστερη και πιο προηγμένη λύση, που λαμβάνει υπόψη της το πώς οι άνθρωποι επιλέγουν και αναπαριστούν τις διαδρομές. Το Navio δίνει μεγαλύτερη έμφαση σε τεχνικές εντοπισμού και διεπαφές χρήστη αλλά δεν έχει μεγάλη συνεισφορά στην επιλογή του καταλληλότερου μονοπατιού για κάθε χρήστη.

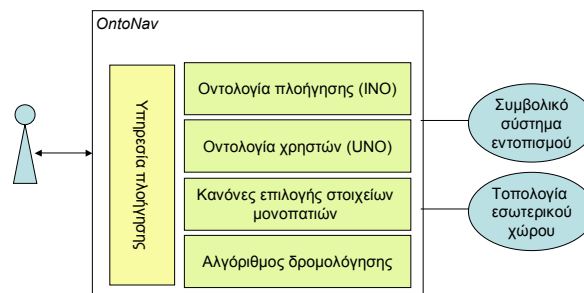
Ένα άλλο σχετικό και δύσκολο θέμα είναι η μοντελοποίηση του χώρου. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες χωρικών μοντέλων: τα συμβολικά και τα γεωμετρικά. Τα πρώτα βασίζονται σε περιγραφές των χώρων με βάση το όνομά τους, τη λειτουργικότητά τους, κλπ. Τα δεύτερα περιγράφουν τις γεωμετρικές ιδιότητες του χώρου (συντεταγμένες, σχήμα, κλπ.). Στο [10] αναλύονται τα χαρακτηριστικά κάθε τύπου μοντέλου. Μια πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση για χωρική μοντελοποίηση με έμφαση στις υπηρεσίες πλοήγησης, περιγράφεται στο [3]. Η προσέγγιση αυτή έχει σαν κύριους στόχους α) την αυτόματη δημιουργία του χωρικού μοντέλου από κατόψεις κτιρίων και β) να διευκολύνει την υλοποίηση υπηρεσιών πλοήγησης. Το προτεινόμενο μοντέλο και

οι σχετικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε δύο έννοιες-κλειδιά, το *χώρο* (location) και την *έξοδο* (exit), οι οποίες δομούνται σε αντίστοιχες ιεραρχίες. Η ιεραρχία χώρων χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τις τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των χώρων. Η ιεραρχία εξόδων αναπαριστά τις αποστάσεις μεταξύ χώρων. Και οι δύο ιεραρχίες μπορούν να δημιουργηθούν αυτόματα με κατάλληλους αλγορίθμους.

Στο κομμάτι των αλγορίθμων πλοήγησης, κάποιοι ερευνητές μελέτησαν πιο «ευφυείς» αλγορίθμους για πλοήγηση πεζών χρηστών από τους απλούς αλγορίθμους συντομότερων μονοπατιών. Μια χαρακτηριστική εργασία είναι η [2] όπου περιγράφεται ένας αλγόριθμος που υπολογίζει το «απλούστερο μονοπάτι» ανάμεσα σε δυο σημεία. Ο όρος αυτός αναφέρεται στο μονοπάτι που έχει τη μικρότερη πολυπλοκότητα όσον αφορά τις οδηγίες περιγραφής του. Μια άλλη όμοια εργασία παρουσιάζεται στο [7], όπου προτείνεται ένας αλγόριθμος για την εύρεση των μονοπατιών που απαιτούν το λιγότερο επιπλέον φόρτο που πρέπει να καταβάλλει ο χρήστης σε περίπτωση που χαθεί («less risk paths»).

3 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Τα συστατικά που συνθέτουν τη λογική αρχιτεκτονική του συστήματος πλοήγησης OntoNav απεικονίζονται στην Εικόνα 1. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται περιληπτικά η λειτουργικότητα όλων των συστατικών.



Εικόνα 1. Η γενική αρχιτεκτονική του OntoNav

Υπηρεσία πλοήγησης. Η υπηρεσία αυτή αποτελεί τη κύρια διεπαφή ανάμεσα στους χρήστες και στο υπόλοιπο σύστημα. Δέχεται τις αιτήσεις των χρηστών για πλοήγηση και τους επιστρέφει το πιο κατάλληλο μονοπάτι (αν υπάρχει κάποιο).

Οντολογία πλοήγησης. Η οντολογία αυτή (Indoor Navigation Ontology - INO) αποτελεί μια καινοτομία της εργασίας, καθώς περιγράφει τις βασικές έννοιες που συμμετέχουν στη διαδικασία πλοήγησης και τις μεταξύ τους σχέσεις (τοπολογικές και μη). Η INO σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τόσο το συμπερασμό (reasoning) που έχει σχέση με την αναζήτηση κατάλληλων μονοπατιών όσο και την παρουσίαση των αντίστοιχων οδηγιών στους χρήστες. Βασικές έννοιες της INO είναι:

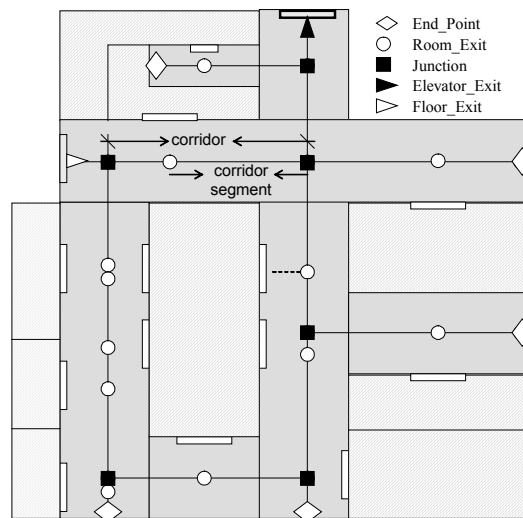
Exit: Σημείο που συνδέεται με κάποιο χώρο ή Passage. Υπάρχουν διάφορες υποκλάσεις της Exit ανάλογα με το χώρο ή το Passage.

Passage: Ένα στοιχείο μονοπατιού που έχει ορισμένο μήκος και πλάτος (π.χ. διάδρομος, σκάλα). Κάθε *Passage* έχει δύο ή περισσότερα *Exits* που μπορούν να ερμηνευθούν είτε ως τα άκρα του είτε ως οι έξοδοι/είσοδοι από/προς αυτό.

Navigational_Point: Σημείο που έχει ιδιαίτερη σημασία για την πλοήγηση του χρήστη και δεν είναι *Exit* (π.χ. στροφές, διαταυρώσεις, τερματικά σημεία διαδρόμων). Τα *Exits* και τα *Navigational_Points* είναι υποκλάσεις του *Path_Point*.

Οι παραπάνω έννοιες συσχετίζονται μεταξύ τους με διάφορες (μεταβατικές ή μη) δυαδικές σχέσεις όπως η *belongs:Exit→Passage*, *leads:Path_Point→Path_Point*, *connects:Path_Point→Passage*.

Για να γίνει πιο κατανοητή η χρήση της INO, στην Εικόνα 2 παρατίθεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της. Σε αυτό απεικονίζεται μια ενδεικτική κάτοψη ορόφου. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές είναι τα διάφορα δωμάτια ή άλλοι χώροι, ενώ με τα σύμβολα που φαίνονται πάνω αριστερά αναπαρίστανται τα διάφορα *Path_Points*.



Εικόνα 2. Παράδειγμα περιγραφής χώρου με την INO

Οντολογία χρηστών πλοήγησης. Μια ενδεικτική οντολογία (User Navigation Ontology, UNO) δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Μια καλύτερη λύση θα ήταν η υιοθέτηση ή/και επέκταση κάποιας έτοιμης οντολογίας όπως η [8]. Η UNO είναι μια οντολογία που αναπτύχθηκε για τη μοντελοποίηση των χρηστών με βάση εκείνα τα χαρακτηριστικά τους που επηρεάζουν τη πλοήγησή τους (βλ. Πίνακα 2). Τα στιγμότυπα (instances ή individuals) της UNO αποτελούν το «προφίλ πλοήγησης» ενός χρήστη. Για να διευκολυνθεί ο χρήστης του συστήματος μερικά προφίλ χρηστών έχουν οριστεί στην οντολογία με «καθορισμένες» (defined) κλάσεις. Για παράδειγμα, ο ορισμός του *HandicappedUser* είναι:

$\text{HandicappedUser} \equiv \text{User} \wedge \exists \text{canWalk.false}$

Για να βρούμε σε ποιες κλάσεις ανήκει ένας χρήστης πρέπει να κάνουμε reasoning στα στιγμότυπά του προφίλ του.

Συμβολικό σύστημα εντοπισμού. Το σύστημα αυτό βασικά υπολογίζει την τρέχουσα συμβολική θέση ενός χρήστη που αιτήθηκε την υπηρεσία πλοήγησης.

Τοπολογία Εσωτερικού Χώρου. Για τη δημιουργία των στιγμιότυπων (instances) του μοντέλου πλοήγησης (INO) είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας τοπολογικής αναπαράστασης του εσωτερικού χώρου που μελετάμε. Μια τέτοια αναπαράσταση μπορεί να είναι δεδομένα που προέρχονται από ένα GIS (κατόψεις ορόφων). Στη παρούσα εργασία θεωρούμε ότι έχουμε διαθέσιμα τα στιγμιότυπα της οντολογίας.

Αλγόριθμος δρομολόγησης. Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί κεντρικό στοιχείο του συστήματος και σε συνεργασία με το σύνολο κανόνων επιλογής στοιχείων μονοπατιών είναι αρμόδιος για τον υπολογισμό του καταλληλότερου μονοπατιού πλοήγησης ανάμεσα σε δύο θέσεις. Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε ένα τοπολογικό γράφο που δημιουργείται από τα στιγμιότυπα της INO και είναι διαφορετικός για κάθε χρήστη. Εφόσον το μήκος της διαδρομής είναι το μόνο σταθερό κριτήριο για όλους τους τύπους χρηστών, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος εύρεσης k συντομότερων μονοπατιών (k shortest paths - k SP). Με αυτό τον τρόπο, και με κατάλληλη επιλογή του k , εξασφαλίζουμε ότι αν ένα μονοπάτι είναι κατάλληλο με βαθμό καταλληλότητας A , τότε είναι και το συντομότερο με το βαθμό αυτό.

Το πρόβλημα k SP ορίζεται ως:

«ο καθορισμός ενός συνόλου μονοπατιών $\{p_1, \dots, p_k\}$ ανάμεσα σε ένα δεδομένο ζεύγος κόμβων s και t (αφετηρία και προορισμός αντίστοιχα) που να πληρούν το κριτήριο του συντομότερου μονοπατιού ως εξής:

$\text{μήκος}(p_{n-1}) \leq \text{μήκος}(p_n)$ για κάθε $n \leq k$

και p_1 είναι το συντομότερο μονοπάτι ανάμεσα στους s και t , όπως θα το υπολόγιζε ένας κλασικός αλγόριθμος συντομότερου μονοπατιού (π.χ. Dijkstra)». Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του συστήματος βασίζεται στο [9].

Κανόνες Επιλογής Στοιχείων Μονοπατιών. Η επιλογή των μονοπατιών με βάση τη σημασιολογία των στοιχείων τους γίνεται με τη βοήθεια κανόνων. Αυτοί οι κανόνες συνδυάζουν τη σημασιολογία των χωρικών στοιχείων που περιέχονται στην INO με τη σημασιολογία των χρηστών που περιέχεται στην UNO και τελικά κάνουν assert στην (INO) ποια στοιχεία μονοπατιών είναι κατάλληλα για ένα δεδομένο χρήστη. Για να υποστηριχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα του προτεινόμενου συστήματος, έχουμε ορίσει τρεις βασικές κατηγορίες κανόνων επιλογής:

Φυσικοί κανόνες πλοήγησης: αυτοί οι κανόνες ορίζουν ποια στοιχεία μονοπατιών είναι προσβάσιμα από χρήστες που αντιμετωπίζουν σωματικές αναπηρίες (π.χ. κινητικές αναπηρίες). Το σύστημα εφαρμόζει αυτούς τους κανόνες σε όλα τα πιθανά στοιχεία μονοπατιών ενός συγκεκριμένου χώρου, ώστε να αποκλειστούν τελικά τα μονοπάτια που δεν είναι προσβάσιμα για κάθε χρήστη.

Αντιληπτικοί κανόνες πλοήγησης: αυτοί οι κανόνες είναι υπεύθυνοι για την επιλογή των στοιχείων του τελικού μονοπατιού, που περιέχουν περιγραφές κατάλληλες για τις αντιληπτικές ικανότητες του χρήστη, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τις τελικές οδηγίες πλοήγησης.

Κανόνες προτιμήσεων πλοήγησης: αυτοί οι κανόνες αναπαριστούν τις διάφορες προτιμήσεις που πιθανόν να έχουν οι χρήστες. Για παράδειγμα, κάποιος χρήστης μπορεί να προτιμά μονοπάτια χωρίς σκάλες. Οι κανόνες αυτοί θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για την «επιβράβευση» κάποιων μονοπατιών.

Ενδεικτικά παρατίθενται μερικοί πιθανοί κανόνες από τις παραπάνω κατηγορίες.

Φυσικός κανόνας πλοήγησης (με λογική αποκλεισμού):

$\text{uno:HandicappedUser}(u) \wedge \text{ino:Stairway}(s) \rightarrow \text{ino:isExcludedFor}(s,u)$

Αντιληπτικός κανόνας πλοήγησης (με λογική τιμωρίας):

$\text{uno:BlindUser}(u) \wedge \text{ino:hasDescription}(\text{pass}, \text{descr}) \wedge$
 $\text{ino:Textual_Description}(\text{descr}) \rightarrow \text{ino:hasPerceptualPenaltyFor}(\text{pass}, u)$
Κανόνας προτιμήσεων πλοήγησης (με λογική επιβράβευσης):
 $\text{uno:LazyUser} \wedge \text{ino:Motor_Passage}(p) \rightarrow \text{ino:hasPreferentialBonusFor}(p, u)$

Για να μην υπάρχουν συγκρούσεις μεταξύ των διαφόρων κανόνων οι παρακάτω επιλογές κρίθηκαν αναγκαίες:

A) οι φυσικοί κανόνες είναι υποχρεωτικοί και δεν πρέπει να αναιρούνται ποτέ από άλλες κατηγορίες κανόνων. Οι κανόνες αυτοί εκτελούνται πάντα πριν από την αναζήτηση των πιθανών μονοπατιών, δηλαδή σε όλο το χώρο πλοήγησης και όχι σε στοιχεία συγκεκριμένων μονοπατιών. Τέλος, αυτοί είναι οι μόνοι κανόνες που χρησιμοποιούνται για τον αποκλεισμό των μη-προσβάσιμων στοιχείων μονοπατιών.

B) Για τον υπολογισμό των καλύτερων *προσβάσιμων* μονοπατιών χρησιμοποιείται το παρακάτω σταθμισμένο άθροισμα:

$$\text{Συνολική επιβράβευση μονοπατιού} = a_1(\text{Συνολική επιβράβευση αντιληπτικών κανόνων}) + a_2(\text{Συνολική επιβράβευση κανόνων προτιμήσεων}) + a_3(\text{Μήκος μονοπατιού})$$

Έτσι το πρόβλημα ανάγεται στην κατάλληλη επιλογή των βαρών a_i , η οποία ιδανικά θα προκύψει μετά από πειραματική μελέτη. Με τον όρο «Συνολική επιβράβευση αντιληπτικών κανόνων» (και κανόνων προτιμήσεων αντίστοιχα) εννοούμε το άθροισμα των επιβραβεύσεων των INO στιγμιότυπων που περιέχονται στο μονοπάτι.

Συνολική Λειτουργικότητα Συστήματος

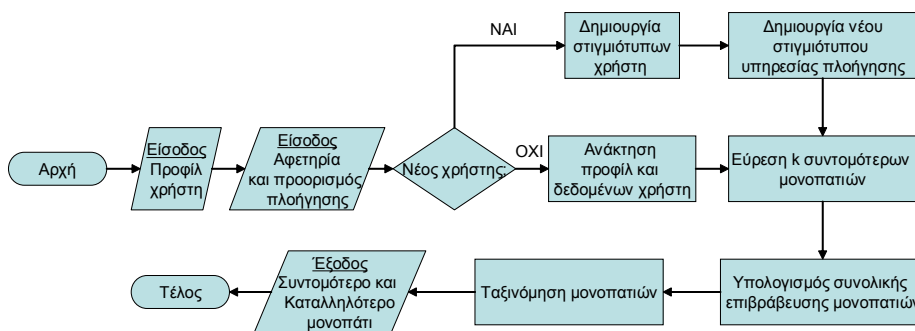
Η από άκρο-σε-άκρο λειτουργικότητα του συστήματος απεικονίζεται ως ροή εργασιών (workflow) στις εικόνες που ακολουθούν. Πρώτα γίνεται η αρχικοποίηση του συστήματος, όπου φορτώνονται στη μνήμη τα μοντέλα και τα στιγμιότυπα των οντολογιών INO και UNO. Επίσης γίνεται αρχικοποίηση της μηχανής κανόνων.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η ροή εργασιών που λαμβάνει χώρα όταν κάποιος χρήστης αιτηθεί την υπηρεσία πλοήγησης. Αρχικά, ο χρήστης καλείται να δώσει κάποια στοιχεία για το προφίλ του καθώς και τις θέσεις αφετηρίας-προορισμού (τυπικά η θέση αφετηρίας δίνεται από ένα σύστημα εντοπισμού). Αν ο χρήστης είναι νέος, πρέπει να δημιουργηθεί το προφίλ του και ένα νέο στιγμιότυπο υπηρεσίας πλοήγησης (ΥΠ). Η δημιουργία του προφίλ σημαίνει την εισαγωγή των αντίστοιχων στιγμιότυπων στην οντολογία UNO. Η δημιουργία του νέου στιγμιότυπου ΥΠ είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω (βλ. και Εικόνα 4). Από την άλλη πλευρά, αν ο χρήστης έχει ξαναχρησιμοποιήσει το σύστημα, τα δεδομένα που σχετίζονται με αυτόν (ουσιαστικά ένα στιγμιότυπο ΥΠ) μπορούν να ανακτηθούν.

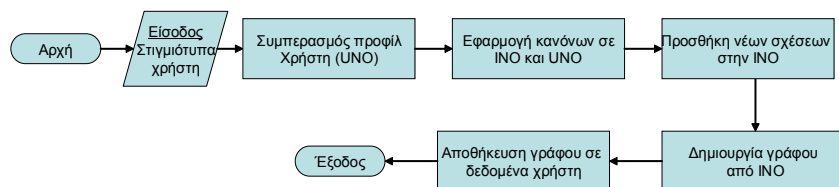
Ένα στιγμιότυπο ΥΠ αποτελείται ουσιαστικά από τον τοπολογικό γράφο ο οποίος αντιστοιχεί σε ένα χρήστη. Ο γράφος αυτός δημιουργείται αφού εκτελεστούν οι φυσικοί κανόνες πλοήγησης και περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του χώρου που είναι προσβάσιμα από το χρήστη. Αν δεν μεταβληθούν οι φυσικές ικανότητες του χρήστη ή ο χώρος πλοήγησης, ο γράφος παραμένει σταθερός. Ο γράφος αποτελεί την είσοδο στην επόμενη εργασία, όπου αναζητούνται τα k συντομότερα μονοπάτια ανάμεσα στη θέση του χρήστη και τον επιθυμητό προορισμό του. Όταν αυτά βρεθούν, υπολογίζεται η συνολική επιβράβευση για το καθένα, η οποία είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής των αντιληπτικών κανόνων και των κανόνων προτιμήσεων. Στη συνέχεια, τα k μονοπάτια ταξινομούνται με βάση αυτή την επιβράβευση και επιλέγεται αυτό με τη μεγαλύτερη.

Αυτό το μονοπάτι αποτελεί και την απάντηση του συστήματος στην αίτηση πλοήγησης του χρήστη.

Η διαδικασία δημιουργίας νέου στιγμιότυπου ΥΠ είναι βασική για το σύστημα καθώς σε αυτή λαμβάνουν χώρα τα περισσότερα αλγοριθμικά μέρη της συνολικής λειτουργικότητας. Στην Εικόνα 4 βλέπουμε ότι τα οντολογικά στιγμιότυπα του χρήστη χρησιμοποιούνται ως η κύρια είσοδος σε αυτή τη διαδικασία. Αυτά τα στιγμιότυπα της οντολογίας UNO περνούν μέσα από μια μηχανή συμπερασμού (reasoner) όπου συμπεραίνεται σε ποιες καθορισμένες (defined) κλάσεις ανήκει ο χρήστης. Κατόπιν, αφού φορτωθούν οι οντολογίες και οι κανόνες στην μηχανή κανόνων εκτέλεσης, εφαρμόζονται όλοι οι κανόνες στη συνολική βάση γνώσης (INO και UNO). Άλλοι από αυτούς τους κανόνες «μαρκάρουν» κάποια στοιχεία της INO για αποκλεισμό (με προσθήκη – assertion - στη βάση γνώσης της σχέσης isExcludeFor) και άλλοι επιβραβεύουν/τιμωρούν κάποια στοιχεία της. Στη συνέχεια, από τα μη «μαρκκαρισμένα» στοιχεία δημιουργείται ο γράφος που αντιστοιχεί στο χρήστη και κατόπιν αποθηκεύεται στα προσωπικά δεδομένα του χρήστη για να χρησιμοποιηθεί και τις επόμενες φορές που αυτός θα χρησιμοποιήσει το σύστημα.



Εικόνα 3. Η βασική ροή εργασιών κατά την εξυπηρέτηση μιας αίτησης πλοήγησης



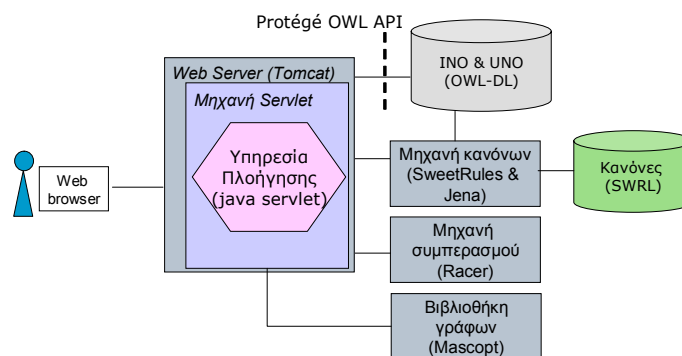
Εικόνα 4. Η ροή εργασιών για τη δημιουργία ενός νέου στιγμιότυπου υπηρεσίας θέσης

Τεχνολογίες Υλοποίησης

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα βασικά εργαλεία/τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν και μια σύντομη περιγραφή για το ρόλο του καθενός. Στην Εικόνα 5 φαίνεται η φυσική αρχιτεκτονική του συστήματος.

Πίνακας 1. Τεχνολογίες και εργαλεία υλοποίησης

Εργαλείο/ Τεχνολογία	Είδος	Χρήση στο OntoNav
Ontology Language (OWL)	Web περιγραφής οντολογιών.	Ανάπτυξη οντολογιών INO και UNO
Jena2	Μηχανή συμπερασμού	Βασικές υπηρεσίες συμπερασμού (όπως classification) στην βάση γνώσης
Semantic Web Rule Language (SWRL)	Γλώσσα κανόνων περιγραφής.	Αναπαράσταση των διαφόρων κανόνων που απαιτούνται για την επιλογή του καταλληλότερου μονοπατιού.
SweetRules	Σύστημα εκτέλεσης κανόνων	Εκτέλεση SWRL κανόνων
Racer	Μηχανή συμπερασμού	Κατηγοριοποίηση (classification) της οντολογίας χρηστών
Mascopt	Βιβλιοθήκη αναπαράστασης και αλγορίθμων δικτύων	Αναπαράσταση γράφου και αλγόριθμος k συντομότερων μονοπατιών



Εικόνα 5. Φυσική αρχιτεκτονική του OntoNav

5 Πειραματική Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ένα σενάριο, στο οποίο μόνο ένας χρήστης χρησιμοποιεί το σύστημα. Τα δεδομένα για το σενάριο αξιολόγησης είναι:

1. Ο χώρος πλοήγησης είναι τριώροφο κτίριο.
2. Το προφίλ του χρήστη περιγράφεται στον Πίνακα 2.
3. Οι κανόνες επιλογής των στοιχείων μονοπατιών περιγράφονται στον Πίνακα 3.
4. Το σύστημα υπολογίζει τα τρία συντομότερα μονοπάτια ($k=3$), αν υπάρχουν.

Πίνακας 2. Το προφίλ του χρήστη στο σενάριο αξιολόγησης

canWalk	isBlind	isPregnant	hasCardiopathy	IsLazy	age
TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	Middleaged

Πίνακας 3. Κανόνες επιλογής στοιχείων μονοπατιών

uno:HandicappedUser(u) & ino:Stairway(s) → ino:isObstacleFor(s,u)
uno:HandicappedUser(u) & ino:Escalator (e) → ino:isObstacleFor(e,u)
uno:HandicappedUser(u) & ino:Corridor Stairway(cs) → isObstacleFor(cs,u)
uno:LazyUser(u) & ino:Motor_Passage(mp) → ino:hasPreferentialBonusFor(mp,u)
uno:CardiopathicUser(u) & ino:Stairway(s) → ino:hasPreferentialPenaltyFor(s,u)
uno:CardiopathicUser(u) & ino:Elevator(e) → ino:hasPreferentialBonusFor(e,u)
uno:BlindUser(u) & ino:Junction(j) → hasPerceptualPenaltyFor(j,u)

Η αξιολόγηση χωρίζεται σε δύο μέρη: την αξιολόγηση των επιδόσεων και την ποιοτική αξιολόγηση. Το πρώτο μέρος μετρά την καθυστέρηση εκτέλεσης της εφαρμογής και για τα δυο σενάρια. Η πρώτη μετρική που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση επιδόσεων είναι ο χρόνος απόκρισης (response time - RT): η χρονική διάρκεια μεταξύ της λήψης μιας αίτησης για πλοήγηση από το σύστημα και της αποστολής της αντίστοιχης απόκρισης (πιο κατάλληλο μονοπάτι) πίσω στον αιτούντα χρήστη. Ουσιαστικά ο χρόνος απόκρισης εξαρτάται από τους χρόνους εκτέλεσης (execution time - ET) των διαφόρων διαδικασιών και συστατικών του συστήματος. Για να αποκτήσουμε μια πιο αναλυτική εικόνα για την εξάρτηση αυτή θα μετρήσουμε ξεχωριστά τους χρόνους εκτέλεσης των κύριων επιμέρους διαδικασιών:

ETR – ο χρόνος εκτέλεσης του reasoner για τα προφίλ χρηστών

ETS – ο χρόνος εκτέλεσης του συστήματος κανόνων SweetRules

ETG – ο χρόνος εκτέλεσης της μετατροπής της οντολογίας σε γράφο

ETK – ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου kSP

Άρα ισχύει ότι:

$$RT = ETR + ETS + ETG + ETK + ETOther$$

όπου ETOther είναι ο χρόνος που καταναλώνεται σε άλλες διαδικασίες του συστήματος (εγγραφές σε αρχεία, εκτυπώσεις στη οθόνη κλπ.).

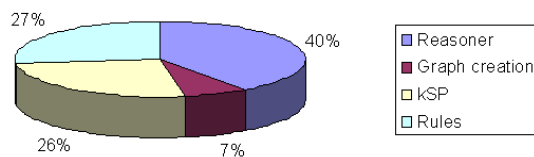
Το υπολογιστικό σύστημα στο οποίο εκτελέστηκαν τα πειράματα είναι ένας τυπικός σύγχρονος υπολογιστής με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Επεξεργαστής Intel Pentium 4.3 GHz, 1 GigaByte Μνήμη RAM, Λειτουργικό Σύστημα Windows 2000 Server, καμία ειδική ρύθμιση.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος απόκρισης και το πώς αυτός κατανέμεται στις διάφορες διαδικασίες του συστήματος. Για να υπολογιστούν οι μέσοι όροι μετρήθηκαν οι χρόνοι για 10 ίδιες αιτήσεις ενός χρήστη. Μια πιο ποιοτική άποψη για τους διάφορους χρόνους εκτέλεσης που εμπλέκονται παρουσιάζεται στην Εικόνα 6. Οι χρόνοι που μετρήθηκαν είναι πολύ ενθαρρυντικοί, ειδικά αν αναλογιστούμε τη περίπτωση που ο χρήστης είναι γνωστός στο σύστημα. Σε αυτή τη περίπτωση, και υπό τη προϋπόθεση ότι δεν έχει μεταβληθεί το προφίλ του ή η κατάσταση των χωρικών στοιχείων του κτιρίου, το σύστημα δεν χρειάζεται να κάνει σε κάθε αίτησή του συμπερασμό, να εφαρμόζει κανόνες και να δημιουργεί το γράφο. Ουσιαστικά δηλαδή το μόνο που απαιτείται είναι η εκτέλεση του kSP αλγόριθμου για τα νέα άκρα πλοήγησης.

Πίνακας 4. Μέσοι χρόνοι απόκρισης και εκτελέσεων επιμέρους διαδικασιών (σε msec)

ETR	ETG	ETK	ETS	ETOther	RT
1398.3	253.1	903.1	948.6	10.8	3513.9



Εικόνα 6. Ποσοστιαία κατανομή του μέσου χρόνου απόκρισης

6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα σύστημα για ανθρωποκεντρική πλοήγηση. Η επιστημονική συνεισφορά της εργασίας συνοψίζεται στα εξής: α) μελετήθηκαν υπηρεσίες θέσης για εσωτερικούς χώρους, β) υποστήριξη πολλαπλών κριτηρίων κατά τη διαδικασία της επιλογής μονοπατιών, γ) υλοποίηση της βασικής υποδομής του συστήματος με σύγχρονες τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού, δ) προδιαγραφή της σημασιολογίας των εσωτερικών χώρων πλοήγησης σε μορφή οντολογίας. Βέβαια παραμένουν κάποια ανοικτά θέματα όπως: η αναλυτική αξιολόγηση του συστήματος, τόσο σε ποιοτικό (με πραγματικούς χρήστες) όσο και σε ποσοτικό επίπεδο, και η βελτιστοποίηση των αλγορίθμου δρομολόγησης ώστε να λαμβάνει υπόψη του τα χαρακτηριστικά του τοπολογικού γράφου στον οποίο εφαρμόζεται.

Αναφορές

1. UMBC eBiquity Research Group, <http://ebiquity.umbc.edu/>
2. Duckham, M. and Kulik, L.: "Simplest" Paths: Automated Route Selection for Navigation, COSIT 2003, Lecture Notes in Computer Science Vol. 2825: 169–185, (2003)
3. Hu, H., Lee, D.L.: Semantic Location Modeling for Location Navigation in Mobile Environment, In: proc. IEEE MDM'04, (2004).
4. Abowd, G.D., et al. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Baltzer/ACM Wireless Networks*, 3 (5): 421-433, (1997)
5. Gartner, G., Frank, A., Retscher G.: Pedestrian Navigation System in Mixed Indoor/Outdoor Environment- The NAVIO Project, CORP 2004 and Geomultimedia04, Vienna, Austria, (2004).
6. Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O.: The semantic web. *Scientific American*, (May 2001).
7. Grum, E.: Danger of getting lost: Optimize a path to minimize risk, 10th International Conference on Urban Planning & Regional Development in the Information Society (CORP 2005), Vienna, Austria, (2005)
8. Heckmann, D., Schwartz, T., Brandherm, B., Schmitz, M., von Wilamowitz-Moellendorff, M.: Gumo - The General User Model Ontology, *User Modeling 2005 (UM2005)*, 428-432, Edinburgh, Scotland, UK, (2005)
9. Yen, J.Y.: Finding the k shortest loopless paths in a network. *Management Science*, 17:712-716, (1971)
10. Leonhardt, U.: Supporting Location-Awareness in Open Distributed Systems, Ph.D. thesis, Imperial College of Science, (1998)