

ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΜΗΝΟΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ: ΜΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Ιωάννου Δημήτριος, Μουλιανίτης Βασίλειος, Παπανίκος Παρασκευάς
Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων
και Συστημάτων (DimitrisIoannou@aegean.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο άρθρο αυτό γίνεται μία διερευνητική θεωρητική προσέγγιση ρομπότ εξυπηρέτησης για το σπίτι μέσα από το πρίσμα της ρομποτικής σμηνών. Αρχικά, περιγράφονται και αναλύονται, εν συντομία, τα σημερινά ρομποτικά συστήματα εξυπηρέτησης και τα προβλήματα που καλούνται να επιλύσουν στο οικιακό περιβάλλον, καταγράφοντας τις παρατηρήσεις που έχουν προκύψει από τέτοιες εργασίες. Εν συνεχεία, γίνεται αναφορά στην ρομποτική σμηνών και στα χαρακτηριστικά της. Με την μελέτη μίας συγκεκριμένης οικιακής εργασίας, όπως το ρομποτικό σκούπισμα, γίνεται προσπάθεια προσέγγισης του θέματος σε συγκεκριμένα πλαίσια. Τέλος, γίνεται μία διερευνητική προσέγγιση μίας εναλλακτικής ρομποτικής πρότασης στο οικιακό περιβάλλον μέσα από τα σμήνη ρομπότ, προβάλλοντας τις επιθυμητές ιδιότητες του συστήματος, ως μέσο επίλυσης των προβλημάτων που καλείται να επιλύσει ένα ρομποτικό σμήνος οικιακής εξυπηρέτησης.

Λέξεις κλειδιά: Ρομπότ εξυπηρέτησης, Οικιακά ρομπότ, Σμήνη Ρομπότ.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της κοινωνίας έχει δημιουργήσει ανάγκες ενσωμάτωσης ρομποτικών συστημάτων μέσα στο οικιακό περιβάλλον (Breazeal, 2002). Από την πλευρά της επιστήμης της ρομποτικής, αυτό φαντάζει ως πρόκληση και τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν ρομποτικά συστήματα που μπορούν να εκτελέσουν εργασίες μέσα στο σπίτι ημιαυτόνομα ή πλήρως αυτόνομα (Kawamura, 1996; Minogi, 2003). Στη σύγχρονη κοινωνία, τα ρομπότ εξυπηρετητές καθίστανται απαραίτητα και αυτό οφείλεται, κυρίως, στο «γκρίζο κύμα». Οι εφαρμογές αυτές είναι σχεδιασμένες για εργασίες εξυπηρέτησης, όπως η θεραπεία και αποκατάσταση ασθενών, η συντήρηση, η οικιακή φροντίδα κ.α. Τα συστήματα αυτά, ως τώρα, αποτελούνται από ένα ρομποτικό σύστημα εξυπηρέτησης που εκτελεί μία ή περισσότερες οικιακές εργασίες. Η ασφάλεια, η αξιοπιστία, το κόστος, η εμφάνιση και η αλληλεπίδραση με τον χρήστη είναι τα σημαντικότερα θέματα στο σχεδιασμό των ρομπότ εξυπηρετητών. Συγκεντρωτικά οι βασικές προδιαγραφές για τα ρομπότ εξυπηρετητές είναι: *Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής, Ευχρηστία, Αποδοτικότητα, Ακρίβεια, Οικονομική βιωσιμότητα, Αξιοπιστία*. Η σημερινή τάση της αγοράς δείχνει ότι το προσωπικό ρομπότ υπηρεσιών, αναμένεται ότι θα ενταχθεί στην κοινωνία και θα αναπτυχθεί πλήρως στα επόμενα 10 έως 20 έτη (James K, 2005).

Οι οικιακές εργασίες είναι εργασίες ρουτίνας, απαραίτητες σε κάθε νοικοκυριό, οι οποίες πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα οικιακά ρομπότ εξυπηρέτησης σχεδιάζονται για να εκτελούν οικιακές εργασίες όπως είναι, ο χειρισμός

ή η μεταφορά αντικειμένων, το σερβίρισμα, το σκούπισμα κ.α. (You, 2003). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας, είναι τα ρομπότ ηλεκτρικές σκούπες (Erwin, 2000). Μερικά πλεονεκτήματα της χρήσης των ρομπότ αυτών είναι η δυνατότητα εκτέλεσης εργασιών που θεωρούνται κουραστικές ή ανιαρές, μειώνοντας την έκθεση του ανθρώπου σε επιβλαβή περιβάλλοντα καθώς και στην αποτροπή ορθοπεδικών προβλημάτων. Η σχεδιαστική προσέγγιση τέτοιων προσπαθειών, έχει επιμεριστεί σε δύο κατευθύνσεις, στο σχεδιασμό ενός ρομποτικού συστήματος εξυπηρέτησης που δρα για μία μόνο συγκεκριμένη εργασία (π.χ. σκούπες ρομπότ) ή ενός ρομποτικού συστήματος που παίρνει την θέση του ανθρώπου (συνήθως ανθρωπόμορφα ρομπότ) και εκτελεί περισσότερες εργασίες, μιμούμενο τις κινήσεις που θα έκανε ένας άνθρωπος (Hicks, 2003). Η ανάγκη για δημιουργία ενός ρομποτικού συστήματος εξυπηρέτησης, αυξάνεται στην περίπτωση εξυπηρέτησης Ατόμων με Ειδικές Ανάγκες (A.M.E.A.) (Fong, 2003), καθώς και ατόμων με μειωμένες ικανότητες (Gish, 1998). Το οικιακό περιβάλλον είναι κυρίως μη δομημένο. Συνήθως η κίνηση γίνεται σε ένα επίπεδο με μερικά ανοίγματα, που δημιουργούν διαδρομές μέσα σε ένα σπίτι. Το μέγεθος των ανοιγμάτων καθορίζει το μέγεθος ενός ρομπότ. Συνεπώς, προκύπτει περιορισμός στο μέγεθος του ρομπότ, σύμφωνα με τα ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού που σχεδιάζονται. Επιπλέον, ένας δομικός κορμός αλληλεπίδρασης του οικιακού περιβάλλοντος, είναι οι οικιακές συσκευές. Τέλος, η μεταβλητή θέση ορισμένων αντικειμένων είναι ένα ακόμα χαρακτηριστικό του οικιακού περιβάλλοντος (Vicki, 2006).

Μερικά από τα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι το μεγάλο κόστος για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, αλλά και το πρόβλημα της ευελιξίας σε περιορισμένους χώρους. Επιπλέον, η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει ενεργειακά προβλήματα, μιας και για οποιαδήποτε εργασία καταναλώνεται η ίδια περίπου ενέργεια. Ακόμη, ένα τέτοιο σύστημα επιλύει σειριακά τον διαχωρισμό και την εκτέλεση των εργασιών και αδυνατεί να εκτελέσει παραπάνω από μία εργασίες ταυτόχρονα, αυξάνοντας έτσι, τον χρόνο διεκπεραίωσης μίας εργασίας. Ενώ με την αστοχία ενός υποσυστήματος του ρομποτικού συνόλου μπορεί να καταρρεύσει ολόκληρο το σύστημα (Wokje, 2005). Έχοντας ως γνώμονα τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αυτά, διερευνάται η πιθανή εφαρμογή εκτέλεσης οικιακών εργασιών από ρομποτικά σμήνη. Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια να παρουσιασθούν οι βασικές ιδιότητες που πρέπει να πληροί ένα οικιακό ρομποτικό σύστημα εξυπηρέτησης και παράλληλα να μελετηθεί, αν είναι δυνατό να καλυφθούν μέσω των ιδιοτήτων που έχουν τα ρομποτικά σμήνη. Μέσω αυτού, γίνεται μια θεωρητική διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής ρομποτικών σμηνών για οικιακές εργασίες, με σκοπό την έναρξη έρευνας προς αυτόν τον τομέα.

2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΜΗΝΟΥΣ ΡΟΜΠΟΤ

Η ρομποτική σμηνών είναι ο ερευνητικός τομέας που μελετά, πώς ένας μεγάλος αριθμός, σχετικά απλών, φυσικά ενσωματωμένων πρακτόρων, μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να προκύπτει μια επιθυμητή συλλογική συμπεριφορά, από τις τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων και μεταξύ των πρακτόρων και του περιβάλλοντος (Yogeswaran, 2009).

Τα ρομπότ σμήνη είναι ένα σύστημα ρομπότ που αποτελούνται από αυτόνομες μονάδες, απλών ρομπότ τα οποία μπορούν να εκτελέσουν μια εργασία, σε συνεργασία

(Sahin, 2005). Ένα τέτοιο σύστημα έχει τρία επιθυμητά χαρακτηριστικά: *ευρωστία* (*robustness*), *ευελιξία* (*flexibility*) και *επεκτασιμότητα* (*scalability*). Ως *ευρωστία*, ορίζεται ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργήσει, ακόμα και με μερικές αποτυχίες ή άλλες ανωμαλίες. Ως *ευελιξία*, ορίζεται η ικανότητα του συστήματος να προσαρμοστεί στις νέες, διαφορετικές ή μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Και τέλος ως *επεκτασιμότητα*, ορίζεται η δυνατότητα να επεκταθεί ένα τέτοιο σύστημα για να υποστηρίξει αριθμητικά την προσπάθεια εκτέλεσης μίας εργασίας, βελτιώνοντας την απόδοση. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι απόλυτα συναφή με τις απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένα ρομποτικό σύστημα εξυπηρέτησης. Σε ερευνητικό επίπεδο, διαχωρίζονται τα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν, στα παρακάτω οκτώ επιμέρους υπο-προβλήματα: στον σχηματισμό σχεδίων (*pattern formation*), στην συνάθροιση (*aggregation*), στον σχηματισμό αλυσίδων (*chain formation*), στην συναρμολόγηση/ αποσυναρμολόγηση (*self-assembly*), στον συντονισμό μετακίνησης (*coordinated movement*), στην αποφυγή εμποδίων/ τρύπας (*hole avoidance*), στην αναζήτηση «τροφής» (*foraging*) και στην αυτό-επέκταση (*self-deployment*) (Bayindir, 2007).

Η νοημοσύνη σμηνών (Si) είναι υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης το οποίο μελετά αρχές όπως η αυτο-οργάνωση, η αποκέντρωση και η εμφάνιση των συλλογικών συμπεριφορών. Τα συστήματα νοημοσύνης σμηνών αποτελούνται από έναν πληθυσμό σχετικά απλών πρακτόρων που αλληλεπιδρούν, μόνο τοπικά, ο ένας με τον άλλον και με το περιβάλλον τους, χωρίς σφαιρική γνώση για το περιβάλλον. Η νοημοσύνη σμηνών εμπνέεται, συχνά, από τη συμπεριφορά των κοινωνικών εντόμων. Η ρομποτική σμηνών είναι μια εναλλακτική προσέγγιση στη ρομποτική, που αντιμετωπίζει μερικά ζητήματα που υπάρχουν στην κλασσική ρομποτική. Τέτοια ζητήματα περιλαμβάνουν, την αύξηση στην πολυπλοκότητα του συστήματος, καθώς ο στόχος γίνεται πιο σύνθετος και με υψηλή πιθανότητα λάθους. Άλλες ιδιότητες είναι ο πλεονασμός μερών και ο περιορισμός ελαττωμάτων (Beni, 2005).

3 ΣΜΗΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ / ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΚΟΥΠΙΣΜΑ

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ένα σμήνος ρομπότ είναι μια οντότητα που παράγεται από μια συνάθροιση ανεξάρτητων μονάδων, που προσχωρούν σε μια ομάδα και ακολουθούν έναν κοινό στόχο. Όλα τα χαρακτηριστικά ενός σμήνους-ρομπότ το καθιστούν κατάλληλο για εργασίες που απαιτούν τη συνεργασία πολλών αυτόνομων ρομπότ, περιορίζοντας παράλληλα την ανθρώπινη παρέμβαση. Η απλή δομή κάθε σμήνους και οι ιδιότητές του το καθιστούν ανθεκτικότερο στην αποτυχία, σε σχέση με τα κλασσικά ρομπότ υπηρεσιών. Έχοντας αυτό υπόψη, η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος σε τομείς εξυπηρέτησης, φαίνεται να αποτελεί μια από τις πρώτες εφαρμογές στις οποίες το σμήνος μπορεί να υιοθετηθεί επιτυχώς (Pettinaro, 2003).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται μία διερευνητική αξιολόγηση μέσα από το πρίσμα μίας ρομποτικής εφαρμογής οικιακής εξυπηρέτησης. Το σκούπισμα είναι μεταξύ των πιο δημοφιλών ρομποτικών οικιακών υπηρεσιών (Erwin et al., 2000; Wagner et al., 2008). Το ρομποτικό σκούπισμα είναι ένα πολύπλοκο έργο, όπου όλες οι ρομποτικές τεχνολογίες μπορούν ενδεχομένως να εφαρμοστούν στον τομέα αυτό. Δύο είναι οι βασικοί τομείς της τεχνολογίας που έχουν αναδειχθεί και μελετηθεί περισσότερο: η αρχιτεκτονική και η πλοήγηση. Τα κύρια εμπόδια για την ανάπτυξη του τομέα αυτού

είναι η έλλειψη κατάλληλων αισθητήρων για την ανίχνευση ρύπων και η ανικανότητα για μείωση του χρόνου εργασίας, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης με τους ανθρώπους, περιορίζοντας έτσι, τη χρήση των ρομπότ καθαρισμού (Fiorini et al., 2000).

Μορφολογικά το ρομπότ σκούπα, μπορεί να λάβει διάφορες μορφές ανάλογα με τον τομέα εργασίας του. Μια μελέτη διαφόρων σχημάτων για μια τέτοια ρομποτική εργασία παρουσιάζεται στο Ulrich et. (1997), αναφέροντας ότι ένα οικιακό ρομπότ σκούπα πρέπει να είναι μικρό, για να μπορεί να κινείται ανάμεσα σε έπιπλα και ευέλικτο για να εκτελεί κλειστές στροφές σε μικρά διαμερίσματα. Το κύριο μέλημα για τον σχεδιασμό έχει να κάνει με την αποτελεσματικότητα κατά την εκτέλεση της εργασίας καθαρισμού. Μόνο λίγα σχήματα ρομπότ επιτρέπουν αποτελεσματική κάλυψη του δαπέδου. Τα τετράγωνα και με γωνίες ρομπότ έχουν πρόβλημα σε πολύπλοκους ελιγμούς πλοήγησης για να φθάσουν στις γωνίες και γύρω από εμπόδια. Ομοίως, τα στρογγυλά ρομπότ δεν μπορούν να καθαρίσουν γωνίες, αλλά το σχήμα τους κάνει την πλοήγηση γύρω από τα εμπόδια λίγο πιο εύκολη. Η συνολική παραδοχή είναι ότι όσο μικρότερο μέγεθος έχουν τα ρομπότ σκούπες, τόσο αυξάνεται η ευελιξία τους και η αποδοτικότητά τους (Fiorini et al., 2000).

Οι Fiorini et al. (2000) για να μελετήσουν την ρομποτικής σκούπας από επιστημονικής πλευράς, όρισαν ένα σύνολο προδιαγραφών, βασιζόμενοι στον οδηγό για την ανάπτυξη αυτή την μελέτη του Jenkins (1993). Οι απαιτήσεις αυτές ομαδοποιούνται στις ακόλουθες κατηγορίες: *Περιβάλλον*: Εγκαταστάσεις που μπορούν να κατοικηθούν από τον άνθρωπο, όπως κατοικίες, γραφεία, κ.α., επιβάλλουν πολύ αυστηρούς περιορισμούς σχετικά με τη λειτουργία και τους τρόπους καθαρισμού. Τα δωμάτια είναι τυχαία στο χώρο, οι πόρτες μπορεί να οδηγούν σε ντουλάπες ή σε άλλα δωμάτια, στον τοίχο υπάρχουν ανοίγματα που μπορεί να είναι επικίνδυνα μέρη, όπως σκάλες κ.α., καθώς και τα διάφορα έπιπλα απαιτούν ειδική προσέγγιση και ελιγμούς. Επιπλέον, οι άνθρωποι και τα ζώα, που κινούνται στο χώρο εργασίας των ρομποτικών καθαριστών, αλληλεπιδρούν με το ρομπότ ως φυσικά εμπόδια του χώρου και θα πρέπει να αναγνωρίζονται από το ρομπότ. *Εμπορικές και νομικές εκτιμήσεις*: Η διαδικασία εγκατάστασης πρέπει να είναι απλή. Να γίνεται αυτόματη χαρτογράφηση του σπιτιού. Η συντήρηση θα πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο, όλες οι πιθανές δυσλειτουργίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με τη λιγότερη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση και τα ρομπότ θα πρέπει να είναι εξαιρετικά ασφαλή. Τέλος, το κόστος των ρομπότ θα πρέπει να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με μία οικιακή συσκευή καθαρισμού. *Λειτουργικές απαιτήσεις*: Αυτονομία, συμπεριλαμβανομένης της αυτόνομης χρήσης σταθμού φόρτισης. Επίσης, απλή αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Απλή ρύθμιση προγραμμάτων, βάσει των τακτικών προγραμματισμένων εργασιών καθαρισμού ή με τηλεχειρισμό. *Αισθητήρες*: Αυτόματη βαθμονόμηση (self-calibrating), χαρτογράφηση, εκτίμηση θέσης, ανίχνευση εμποδίων και αποφυγή σύγκρουσης, καθώς και δυνατότητα αντιμετώπισης ενδεχόμενων καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης.

Συλλογιστικές απαιτήσεις: Γενικός στόχος της ρομποτικής σκούπας είναι να φέρει εις πέρας τις προαναφερόμενες εργασίες με επιτυχία. Έτσι, σύμφωνα με Khatib (1999) το ρομπότ θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελεί τουλάχιστον τα ακόλουθα τέσσερα καθήκοντα: i) Να μπορεί να κάνει εξερεύνηση και χαρτογράφηση. Θα πρέπει να είναι στοιχειωδώς αυτόνομο και να μπορεί να αντιλαμβάνεται τα στατικά από τα κινητά εμπόδια και να αποφεύγει τον απαγορευμένο χώρο. ii) Να μπορεί να κάνει αυτόνομα, σχεδιασμό διαδρομής, ενεργειακή βελτιστοποίηση, ελαχιστοποίηση του

χρόνου και να είναι ευέλικτο. iii) Να μπορεί να εκτελεί επιχειρησιακά απρόβλεπτα συμβάντα, έκτακτες εργασίες εκτός χρονοδιαγράμματος, όπως για παράδειγμα εντολές από τον ιδιοκτήτη, ανεπηρεάστο από μικρές αποτυχίες με άμεση αντίδραση ιδίως όταν επηρεάζεται η ασφάλεια. iv) Να υπάρχει διεπαφή ανθρώπου μηχανής.

Συμπερασματικά, οι παραπάνω απαιτήσεις μπορούν να εκπληρωθούν με τις απαραίτητες προσαρμογές από ένα έξυπνο ρομποτικό σμήνος. Πιο συγκεκριμένα το μέγεθος, η ευελιξία, η αντιμετώπιση απρόβλεπτων συμβάντων, κ.α. είναι τα κύρια θετικά χαρακτηριστικά ενός σμήνους ρομπότ σε σχέση με ένα ενιαίο ρομπότ. Οι Wagner et al. (2008) υποστηρίζουν, ότι ένα ενιαίο ρομπότ δεν είναι πλέον η καλύτερη λύση για πολλούς τομείς εφαρμογών, ενώ οι Dias και Stentz (2001), παρουσιάζουν μια λεπτομερή περιγραφή πολλαπλών ρομπότ σε διάφορους τομείς εφαρμογών και δείχνουν, πως τα σμήνη ρομπότ μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικά σε πολλούς τομείς σε σχέση με ενιαίο ρομπότ. Ωστόσο, κατά τον σχεδιασμό αυτών των συστημάτων, σημειώνουν ότι η κατακόρυφη αύξηση του αριθμού των ρομπότ σε μια εργασία δεν βελτιώνει κατ' ανάγκη την απόδοση του συστήματος, και ότι θα πρέπει να συνεργάζονται με έξυπνο τρόπο για να αποφευχθεί η διαταραχή στην ατομική δραστηριότητα και να επιτευχθεί η αποδοτικότητα.

Οι Wagner et al. (2008) αναφέρουν τα βασικά πλεονεκτήματα από τη χρήση των ευφυών σμηνών ρομπότ σε εργασίες όπως το σκούπισμα: Πρώτον, τα συστήματα αυτά απολαμβάνουν το όφελος του παραλληλισμού. Στη διαδικασία αποσύνδεσης πεδίων εφαρμογών, μία ομάδα ρομπότ μπορεί να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο έργο πιο γρήγορα από ένα μόνο ρομπότ, με τη διαίρεση του έργου σε επιμέρους εργασίες και την εκτέλεση τους ταυτόχρονα σε πολλά πεδία. Σε ορισμένους τομείς, ένα ενιαίο ρομπότ μπορεί, απλά, να είναι ανίκανο να ολοκληρώσει το έργο (π.χ. καθαρισμό- μεταφορά ενός μεγάλου αντικείμενου). Δεύτερον, τα αποκεντρωμένα συστήματα τείνουν να είναι από τη φύση τους, πολύ πιο ισχυρά από τα κεντρικά συστήματα (μια ενιαία σύνθετη μονάδα). Σε γενικές γραμμές, μια ομάδα ρομπότ μπορεί να αποτελέσει ισχυρότερη λύση, με την δυνατότητα εξάλειψης οποιασδήποτε αποτυχίας. Κατά την εξέταση των εναλλακτικών χρήσεων ενός ενιαίου εξελιγμένου ρομπότ, το ρομπότ μπορεί να αντιμετωπίσει κάποια απρόσμενη δυσλειτουργία, η οποία θα το εμποδίζει να ολοκληρώσει το έργο του. Όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων, ακόμη και αν ένας μεγάλος αριθμός πρακτόρων σταματήσει να εργάζεται (να σκουπίζει) για κάποιο λόγο, το σύνολό του θα είναι σε θέση να ολοκληρώσει την αποστολή (σε μεγαλύτερο πιθανόν χρόνο).

Ένα άλλο πλεονέκτημα της αποκεντρωμένης προσέγγισης, είναι η δυνατότητα της δυναμικής ανακατανομής των επιμέρους εργασιών μεταξύ των μονάδων του σμήνους, με αποτέλεσμα γρήγορη προσαρμογή σε απρόβλεπτες αλλαγές του περιβάλλοντος. Καθώς το πλήθος γίνεται μεγαλύτερο, το πλεονέκτημα αυτό γίνεται όλο και πιο αισθητό. Εκτός από την ικανότητα της γρήγορης ανταπόκρισης στις αλλαγές, ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας των εν λόγω συστημάτων αυξάνει, επίσης, την επεκτασιμότητα (scalability) τους, που υποστηρίζεται από το χαμηλό κόστος που έχει ένα τέτοιο σύστημα. Καθώς τα καθήκοντα που ανατίθενται στις μέρες μας, για τους πολλαπλούς πράκτορες, είναι ολοένα και πιο πολύπλοκα, γίνεται ακόμα πιο σημαντική η δυνατότητα της υψηλής επεκτασιμότητας των συστημάτων (Yaniv, 2005).

Μια βασική αρχή της έννοιας των σμηνών καθαρισμού, είναι η απλότητα των πρακτόρων. Η έννοια της «απλότητας» σημαίνει ότι οι πράκτορες θα πρέπει να είναι

απλούστεροι από ένα ενιαίο εκλεπτυσμένο πράκτορα που μπορεί να κατασκευαστεί για τον ίδιο σκοπό. Ως αποτέλεσμα, οι πόροι των εν λόγω απλών πρακτόρων, είναι πολύ περιορισμένοι, σε σχέση με τις ακόλουθες πτυχές. Βασικός παράγοντας θα πρέπει να θεωρούνται οι σχεδόν μηδενικοί πόροι μνήμης (δηλαδή, το μέγεθος της μνήμης είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος του προβλήματος ή του αριθμού των παραγόντων). Αυτό επιβάλλει, συνήθως, πολλούς ενδιαφέροντες περιορισμούς σχετικά με τους πράκτορες. Έτσι, τα πρωτόκολλα θα πρέπει να σχεδιάζονται για πράκτορες με περιορισμένους πόρους μνήμης, που είναι συνήθως πολύ απλές. Η εργασία θα πρέπει να ολοκληρώνεται μέσω της επανάληψης των προτύπων, από ένα μεγάλο αριθμό πρακτόρων. Η ικανότητα ευαισθησίας, καθορίζεται σύμφωνα με την φύση του προβλήματος. Για παράδειγμα, για τους πράκτορες που μετακινούνται κατά μήκος: 100*100 πεδία, είναι εύλογο η ακτίνα αντίληψης να είναι 3 ή 4, πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των πρακτόρων (Wagner et al., 2008).

Μια άλλη πτυχή της απλότητας των σμηνών είναι η εξαιρετικά αραιή επικοινωνία. Οι Pagello et al. (1999) υποστηρίζουν ότι γίνονται διακρίσεις μεταξύ έμμεσων και άμεσων επικοινωνιών, επιπλέον αναφέρουν ότι η σιωπηρή επικοινωνία συμβαίνει ως παρενέργεια άλλων ενεργειών, μέσα από το περιβάλλον. Η επικοινωνία είναι μια ειδική πράξη που προορίζεται μόνον για τη μετάδοση πληροφοριών με άλλα ρομπότ της ομάδας. Η ρητή επικοινωνία μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως με μια μικρή εμβέλεια σήματος από σημείο σε σημείο, με παγκόσμια εκπομπή ή με χρήση κάποιου είδους κοινόχρηστης μνήμης. Για απόδειξη όλων των παραπάνω, έγινε από τους Wagner et al. (2008) προσομοίωση σε υπολογιστή για την εφαρμογή του πρωτόκολλου καθαρισμού με συγκεκριμένους πράκτορες δείχνοντας ότι μέσω της αύξησης του αριθμού των πρακτόρων που συμμετέχουν στην εργασία έχουμε μείωση του χρόνου και αντίστοιχα αύξηση της επιφάνειας καθαρισμού καθώς και πώς αλλάζει ο ρυθμός εργασίας, βάση του αριθμού των πρακτόρων.

Ο αλγόριθμος «καθαρισμού» που εφάρμοσαν θεωρείται ως μία περίπτωση «κοινωνικής συμπεριφοράς» κατά την έννοια των Shoham και Tennenholtz (1995), όπου προκαλεί συνεργασία πολλών πρακτόρων, αναγκάζοντας τους πράκτορες να υπακούσουν σε μερικές απλές κοινωνικές κατευθυντήριες γραμμές. Εάν ένας πράκτορας σταματήσει, οι υπόλοιποι θα αναλάβουν τις ευθύνες του. Τι γίνεται όμως αν κάποιος πράκτορας δίνει ψευδή στοιχεία; Αυτό υποστηρίζουν ότι θα έχει καταστροφικές συνέπειες, δεδομένου ότι ένας τέτοιος πράκτορας μπορεί να αποσυνδέσει από την πιθανή βρώμικη περιοχή ένα κρίσιμο σημείο που θα θεωρείτε πλέον καθαρό. Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει από αυτή την μελέτη είναι η επίλυση των συγκρούσεων μεταξύ των πρακτόρων. Μία επίλυση που εφάρμοσαν είναι, να δίνεται σε κάθε πράκτορα μέτρο προτεραιότητας, ανάλογα με την προηγούμενη θέση του. Αξιοσημείωτο είναι ότι η αύξηση του αριθμού των πρακτόρων από ένα σημείο και μετά, δεν επηρεάζει με τον ίδιο θετικό ρυθμό την μείωση του απαιτούμενου χρόνου ή την αύξηση της επιφάνειας καθαρισμού.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κεντρική ιδέα αυτής της διερευνητικής μελέτης έχει ως σημείο εκκίνησης τον καταμερισμό των εργασιών του σπιτιού, σε επιμέρους ρομποτικές ομάδες, όπως στα συστήματα που συναντάμε στην φύση, όπου θα χρησιμοποιείται ο μικρότερος δυνατός αριθμός συνεργαζόμενων πρακτόρων (αυτόνομων απλών ρομπότ) για την ολοκλήρωση

μίας εργασίας. Αυτό θα δίνει την δυνατότητα αντιμετώπισης πολλών εργασιών ταυτόχρονα, με μεγάλη ευελιξία και ταχύτητα, με κατανάλωση λιγότερης ενέργειας. Σε συνάρτηση των απαιτήσεων που πρέπει να πληροί ένα ρομποτικό σύστημα οικιακής εξυπηρέτησης και με τις ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα σμήνος ρομπότ, προκύπτει η θεωρητική τεκμηρίωση της παρούσας διερευνητικής πρότασης, για εναλλακτική επίλυση των οικιακών εργασιών, μέσω ενός ρομποτικού σμήνους οικιακής εξυπηρέτησης. Αναλυτικότερα, παρουσιάστηκαν οι ιδιότητες των ρομποτικών σμηνών, μέσα από τις οποίες δύναται να αντιμετωπιστούν προβλήματα και περιορισμοί, που προκύπτουν σε ένα ρομποτικό οικιακό σύστημα εξυπηρέτησης.

Συγκεκριμένα, μέσω των βασικών χαρακτηριστικών ενός ρομποτικού σμήνους, δύναται να αντιμετωπιστούν το πρόβλημα της αξιοπιστίας, της ευέλικτης μετακίνησης και της αντιμετώπισης του μεταβλητού περιβάλλοντος και των συνθηκών εργασίας. Το μικρό μέγεθος των ρομποτικών πρακτόρων προσδίδει επιπλέον ευελιξία. Το σύστημα είναι στιβαρό και προσαρμοστικό, όσον αφορά το απροσδόκητο γεγονός στο περιβάλλον ή το ίδιο στο σύστημα. Η δυνατότητα εκτέλεσης μίας εργασίας ακόμα και με αποτυχία ενός μέλους, προσδίδει αξιοπιστία στο σύστημα. Επιπλέον, αξιοπιστία προσδίδει η απλοϊκή δομή των πρακτόρων και κατ' επέκταση του ίδιου του συστήματος. Ο σχηματισμός διαφόρων μορφολογικών δομών μέσω της συναρμολόγησης, της αυτό-επέκτασης και του συντονισμού των κινήσεων, δίνει τη δυνατότητα αντιμετώπισης διαφορετικών οικιακών εργασιών από το ίδιο σύστημα, με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Η συνάθροιση και ο σχηματισμός αλυσίδων μπορεί να βοηθήσει στη δυνατότητα μεταφοράς ενός αντικείμενου, ενώ το πλήθος των πρακτόρων δίνει τη δυνατότητα εξάπλωσης του συστήματος στον χώρο, ερευνώντας το χώρο σε μικρότερο χρόνο, με μεγαλύτερη ευελιξία. Μέσω της αποφυγής εμποδίων μπορεί το σύστημα να καταστεί πιο αξιόπιστο. Ενώ, η ήδη υπάρχουσα επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων του συστήματος, μπορεί να επεκταθεί με σκοπό την αλληλεπίδραση με τις οικιακές συσκευές.

Το συνολικό κόστος υλοποίησης ενός τέτοιου συστήματος θα είναι μικρό σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, αφού οι ομάδες αυτές θα αποτελούνται από μικρά απλά ρομπότ, μικρής πολυπλοκότητας, που μέσα από την συνεργασία τους θα μπορούν να αποδώσουν μεγάλο έργο. Τα προβλήματα, σε επίπεδο εργασιών, που μπορεί να επιλύσει ένα τέτοιο ρομποτικό σμήνος οικιακής εξυπηρέτησης είναι αρκετά. Παραδείγματα όπως, οι εργασίες ρομποτικού καθαρισμού που ως τώρα επιλύονται μέσω ενός μεγάλου περίπλοκου ρομπότ, μπορούν να εκτελεσθούν από μικρότερα αυτόνομα ρομπότ, που μπορούν να καλύψουν μεγαλύτερη περιοχή έρευνας και καθαρισμού, με μεγαλύτερη ευελιξία, σε δυσπρόσιτα σημεία, σε μικρότερο χρόνο και με μεγαλύτερη αξιοπιστία στην περίπτωση αποτυχίας ενός μέρους του συστήματος. Ο αριθμός των πρακτόρων που θα ενεργοποιούνται θα μπορεί να επιλεγεί, μέσω του όγκου εργασίας, του πιθανού βάρους έλξης, της αντιστάθμισης χρόνου και ενεργειακού οφέλους και άλλων παραγόντων για τη βελτιστοποίηση του συστήματος. Η ίδια ομάδα ρομπότ θα μπορεί να ανιχνεύει ένα αντικείμενο στο σπίτι και να το μεταφέρει, ενώ ταυτόχρονα θα μπορεί να λειτουργεί και ως ένα σύστημα ασφάλειας και επίβλεψης οικήματος, ως ανιχνευτής διαρροών από σωλήνες, έως και ως ανιχνευτής εντοπισμού ατόμων σε περίπτωση σεισμού και κατεδάφισης ενός κτηρίου, κ.α.

Μέσω της μελέτης του ρομποτικού σκουπίσματος- καθαρισμού, επιχειρείται να αξιολογηθούν τα συμπεράσματα. Αρχικά, επιβεβαιώνονται όλες εκείνες οι απαιτήσεις που πρέπει να έχει ένα σύστημα οικιακής εξυπηρέτησης. Γίνεται μία αναφορά στους

περιορισμούς που προκύπτουν από την συγκεκριμένη εργασία και προβάλλονται όλες εκείνες οι απαιτήσεις που οδηγούν στην αποδοχή του ρομποτικού σμήνους ως πιθανό ρομποτικό σύστημα για την συγκεκριμένη εργασία. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια της βιβλιογραφίας, γίνεται μελέτη της ίδιας εργασίας υπό το πρίσμα ενός σμήνους ρομπότ, επιβεβαιώνοντας την παραδοχή ότι ένα ρομποτικό σμήνος μπορεί να εκτελέσει επιτυχώς την εργασία αυτή. Ενώ τέλος, μέσω της προσομοίωσης εκτέλεσης της εργασίας καθαρισμού των Wagner et al. (2008), τεκμηριώνονται τα όσα αναφέρονται στα παραπάνω κεφάλαια, με γνώμονα τον αριθμό των πρακτόρων, τον χρόνο περάτωσης και το εμβαδόν της επιφάνειας καθαρισμού.

Στον Πίνακα 1 φαίνεται συγκεντρωτικά, πώς τα χαρακτηριστικά του ρομποτικού σμήνους επηρεάζουν τις επιθυμητές ιδιότητες των ρομπότ εξυπηρέτησης. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι τα χαρακτηριστικά των ρομποτικών σμηνών επιδρούν θετικά σε όλες, σχεδόν, τις ιδιότητες των ρομπότ εξυπηρητητών. Παρατηρείται, βέβαια, ότι το ρομποτικό σμήνος δεν αλληλεπιδρά με τον άνθρωπο άμεσα, αλλά τον αντιλαμβάνεται ως περιβάλλον, γεγονός που έχει να κάνει με την ευχρηστία του συστήματος και θεωρείται ως ένα μειονέκτημα των ρομποτικών σμηνών σε εργασίες εξυπηρέτησης. Αυτό, πιθανόν, αποτελεί έναν τομέα που χρήζει έρευνας και βελτίωσης.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα μελέτη έγινε μία θεωρητική τεκμηρίωση της διερευνητικής πρότασης για την εναλλακτική εκτέλεση των οικιακών εργασιών, μέσω ενός ρομποτικού σμήνους οικιακής εξυπηρέτησης. Τα επόμενα βήματα της παρούσας μελέτης είναι, η συγκέντρωση και η ανάλυση των παραμέτρων που προκύπτουν κάτω από το πρίσμα μίας συγκεκριμένης οικιακής εργασίας και η μελέτη, αλλά και ο σχεδιασμός ενός σμήνους ρομπότ που θα εκτελεί την εργασία, τηρώντας τους περιορισμούς, τόσο του ίδιου του συστήματος, όσο και του περιβάλλοντός του.

	Σμήνος Ρομπότ		
Ρομπότ Εξυπηρέτησης	Ευρωστία	Ευελιξία	Επεκτασιμότητα
Διεπαφή Ανθ.-Μηχ.	Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το χρήστη, ακόμα και σε περίπτωση αστοχίας κάποιου μέρους του.	Δεν βελτιώνει.	Δεν βελτιώνει.
Ευχρηστία	Δεν βελτιώνει.	Δεν βελτιώνει.	Δεν βελτιώνει.
Αποδοτικότητα	Αυξάνει την αποδοτικότητα αφού το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει, ακόμα και με μερικές αποτυχίες ή άλλες ανωμαλίες.	Το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί στις νέες, μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του περιβάλλοντος αυξάνοντας την απόδοση.	Υποστηρίζει αριθμητικά την προσπάθεια εκτέλεσης μίας εργασίας, βελτιώνοντας την απόδοση.
Ακρίβεια	Το σύστημα παρέχει την προγραμματισμένη ακρίβεια σε οποιαδήποτε συνθήκη αποτυχίας ή άλλη ανωμαλία.	Το σύστημα παρέχει την προγραμματισμένη ακρίβεια σε οποιαδήποτε αλλαγή του περιβάλλοντος.	Η δυνατότητα επέκτασης βοηθά την ακρίβεια του συστήματος.
Οικονομική βιωσιμότητα	Το συνολικό κόστος υλοποίησης μειώνεται καθώς το σύστημα αποτελείται από ομάδες απλών ρομπότ, μικρής πολυπλοκότητας, χαμηλού κόστους και ενέργειας.		
Αξιοπιστία	Το σύστημα λειτουργεί, ακόμα και με μερικές αποτυχίες ή άλλες ανωμαλίες. Δεν καταρρέει αν κάποια υποσύστημα πάσουν να λειτουργούν.	Αναδιαμορφώνεται σύμφωνα με το περιβάλλον, επομένως αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος.	Η δυνατότητα επέκτασης επιτρέπει στο σύστημα να αλλάζει αριθμητικά, βελτιώνοντας την αξιοπιστία του.

Πίνακας 1: Επίδραση των χαρακτηριστικών του σμήνους ρομπότ σε ένα ρομπότ εξυπηρέτησης.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bayindir Levent and Sahin Erol, (2007), "A Review of Studies in Swarm Robotics", *J Elec. Engin.* Vol.15, N.2, pp.115-147.

Beni G.(2005) "From swarm intelligence to swarm robotics", *Computer Science, Springer.* Vol. 3342, pp.1-9.

Breazeal C. (2002), "Designing sociable robots". MIT Press, Cambridge, MA.

Dias M.B. and Stentz A.(2001)."A Market Approach to Multirobot Coordination", Technical Report, CMU-RI-TR-01-26, Robotics Institute, Carnegie Mellon University.

Erwin Prassler, Arno Ritter, Christoph Schaeffer, Paolo Fiorini (2000), "A Short History of Cleaning Robots", *Autonomous Robots.* vol.9 n.3, pp.211-226.

Fiorini Paolo, Erwin Prassler (2000),"Cleaning and Household Robots: A Technology Survey ", *Autonomous Robots.* vol.9, pp. 227–235.

Fong T., Nourbakhsh I., Dautenhahn K.(2003), "A survey of socially interactive robots". *Rob Aut.* vol. 42(3-4), pp.143-166.

Gish W.A.(1998), "The management of chronic pain in older persons: AGS Panel on Chronic Pain in Older Persons", *J. American Geriatrics Society*, Vol.46. pp.635-51.

Hicks R. W. and Hall E. L.(2003), "A Survey of Robot, Lawn Mowers", *SPIE, Intelligent Robots and Computer Vision*, Vol. 4197, pp.1-28.

James K. C., Chen A. J, Benjamin J. C., Yuan H. J., Liu A. (2005), "A Study of Personal Service Robot Future Marketing" *Technological Innovation.* Vol.2 pp.1-21.

Jenkins, F. (1993), "Practical requirements for a domestic vacuumcleaning robot" *Proceedings of AAAI 1993 Fall Symposium Series: Instantiating Real-World Agents*, Raleigh, NC, pp. 85-90.

Kawamura K., Pack R.T., Bishay M., Iskarous M.(1996), "Design philosophy for service robots", *Robotics and Autonomous Systems.*Vol.18 pp.109-116.

Khatib O (1999). Robots in human environments: Basic autonomous capabilities. *The International Journal of Robotics Research*, 18(7):684–696.

Minoru Asada (2003), "Review article - Robotics", *Encyclopedia of Information Systems, Elsevier Science*, vol.3.

Pagello, E., D'Angelo, A., Montesello, F., Garelli, F. and Ferrari, C. (1999). "Cooperative Behaviors in Multi-Robot Systems Through Implicit Communication", *Robotics and Autonomous Systems*, 29(1): 65–77.

Pettinaro C.Giovanni, Ivo W. Kwee, Luca M. Gambardella, Francesco Mondada, D. Floreano, S. Nolfi, J.L. Deneubourg, M. Dorigo (2002), "Swarm Robotics: A Different Approach to Service Robotics", *Proceedings of the 33rd ISR.* pp.71-76.

Sahin E., Spears W.(2005), "Swarm Robotics: State-of-the-art", *Computer Science, Springer*, Vol.3342 pp.1-9.

Shoham, Y. and Tennenholtz, M. (1995) "On Social Laws for Artificial Agent Societies: Off Line Design" *Artificial Intelligence*,73(1–2): 231–252.

Ulrich I., Mondada F., and Nicoud J. (1997). "Autonomous vacuum cleaner", *Robotics and Autonomous Systems*, 19:233–245.

Vicki Jones, Jun H. Jo, Jeonghye Han (2006), "The Future of Robot-Assisted Learning in the Home", *Intern. Journal of Pedagogies and Learning*, Vol.2 pp. 63-75.

Wagner Israel, Yaniv Altshuler, Vladimir Yanovski and Alfred M. Bruckstein (2008)," Cooperative Cleaners: A Study in Ant Robotics", *The International Journal of Robotics Research*, 27: 127.

Wokje Abrahamse, Linda Steg, Charles Vlek, Talib Rothengatter (2005), "A review of intervention studies aimed at household energy conservation", *Journal of Environmental Psychology*, Vol.25 pp.273–291.

Yaniv Altshuler, Alfred M. Bruckstein, Israel A. Wagner (2005), "Swarm Robotics for a dynamic cleaning problem", *IEEE Robotics*, pp. 7803-8916.

Yogeswaran M., S. G. Ponnambalam (2009), "An Extensive Review of Research in Swarm Robotics", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 5, pp.4244-5612.

You B. (2003), "Development of a Home Service Robot 'ISSAC'", *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas*, vol.3 pp.2630 – 2635.