

Οφιοειδής κίνηση με χρήση πολλαπλών πρακτόρων

Γ.Η. Μπιρμπίλης, Ν.Α. Ασπράγκαθος

Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Πατρών, Πανεπιστημιούπολη Ρίου, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζουμε μια αλγοριθμική προσέγγιση ικανοποίησης γεωμετρικών περιορισμών στην κίνηση σειριακής σύνδεσης μέσω πολυπρακτορικής αρχιτεκτονικής, που επιτυγχάνει σε πραγματικό χρόνο προγραμματισμό κινήσεων για σειριακούς ρομποτικούς βραχίονες και οφιοειδείς σχηματισμούς σμηνών κινουμένων ρομπότ. Χρησιμοποιείται μια ιεραρχία σχέσεων «κυρίου - σκλάβου», με την κίνηση ενός τμήματος-πράκτορα να διαδίδεται στους δύο γειτονικούς του στην αλυσίδα. Ένας μηχανισμός διατήρησης περιορισμών επιβάλλει ελάχιστους και μέγιστους περιορισμούς απόστασης μεταξύ των ζευγαριών διαδοχικών πρακτόρων της αλυσίδας. Εάν ένα τμήμα-σκλάβος δεν μπορεί να προσαρμοστεί στην κίνηση του κυρίου του, λόγω στασιμότητας ή δυσλειτουργίας ή εμποδίων, αντιτάσσεται (βέτο) στην κίνηση αυτού.

Λέξεις κλειδιά: Αντιδραστική οφιοειδής κίνηση, Βραχίονες με πλεονάζοντες βαθμούς ελευθερίας, Σμήνη, Ικανοποίηση γεωμετρικών περιορισμών, Πολυπρακτορικά συστήματα, Σχέση κυρίου-σκλάβου με βέτο.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτή την εργασία εξετάζουμε τη χρήση μιας προσέγγισης ικανοποίησης γεωμετρικών περιορισμών για τον υπολογισμό της κίνησης μιας εικονικής σειριακής σύνδεσης (αλυσίδας), που θα μπορούσε να είναι ένας σειριακός ρομποτικός βραχίονας ή ένα οφιοειδές σμήνος κινούμενων ρομπότ. Υποθέτουμε ότι κάθε τμήμα της αλυσίδας λαμβάνει ανάδραση από αισθητήρες αναφορικά με την προσέγγιση σε εμποδία, ώστε να προσπαθήσει να τα αποφύγει αυτόνομα, συμπαρασύροντας την υπόλοιπη αλυσίδα.

Πολλές προσεγγίσεις στο πρόβλημα της σχεδίασης κίνησης σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον έχουν προταθεί, οι περισσότερες από τις οποίες εξετάζονται εκτενώς από τους Hwang (1992) και Ahuja. Η περίπτωση ύπαρξης άγνωστων κινούμενων εμποδίων στο περιβάλλον ευνοεί σαφώς της μεθόδους τοπικής αναζήτησης, αφού ο ολικός επανασχεδιασμός κίνησης θα ήταν πολύ ακριβός, ιδίως στην περίπτωση πολλών εμποδίων ή όταν πρέπει να γίνει σχεδιασμός κίνησης για ένα σύστημα με πολλούς βαθμούς ελευθερίας (υψηλώς πλεονάζον), όπως καταδεικνύεται από τους Chen (1992) και Hwang, και Challou (1998) και συνεργάτες. Όσο περισσότερους βαθμούς ελευθερίας (Degrees Of Freedom - DOFs) έχει ένα σύστημα, τόσο μεγαλύτερη η ευελιξία του, οπότε εκτιμούμε περισσότερο μια προσέγγιση που εύκολα κλιμακώνεται σε υψηλώς πλεονάζοντα συστήματα, υποστηρίζοντας συνάμα και αυτά με λιγότερους βαθμούς ελευθερίας. Μια καθοδική κεντριοποιημένη προσέγγιση θα παρουσίαζε αυξανόμενη πολυπλοκότητα και κόστος καθώς ο αριθμός των Β.Ε. αυξάνει, οπότε προτείνεται μια ανοδική, δομική προσέγγιση, μοντελοποιημένη σαν ένα

πολυπρακτορικό σύστημα, χρησιμοποιώντας τις σχεδιαστικές έννοιες των πολυπρακτορικών συστημάτων που παρουσιάζονται από τον Liu (2002).

Στο χώρο των σμηνών (Bonabeau, 1999) κινούμενων ρομπότ, οι Dorigo (2004) και συνεργάτες, κατά την εξέλιξη αυτο-οργανωτικών συμπεριφορών για το “swarm-bot” (ρομπο-σμήνος), πειραματίστηκαν με οκτώ ρομπότ συνδεδεμένα με ευέλικτους συνδέσμους για να δημιουργήσουν έναν οφιοειδή σχηματισμό και παρατήρησαν πως ήταν ικανά να διαπραγματευτούν μια μοναδική κατεύθυνση για την παραγωγή συντονισμένης κίνησης πάνω της και συνεργατικά να αποφύγουν τοίχους. Δοθείσης της χρήσης ευέλικτων συνδέσμων, το swarm-bot τείνει να αλλάζει το σχήμα του κατά τις φάσεις συντονισμού και κατά τις συγκρούσεις με εμπόδια. Επίσης, επειδή τα μέλη του σμήνους τείνουν να διατηρούν την κατεύθυνση κίνησής τους, το σύστημα παρουσιάζει την ικανότητα να διέρχεται από στενά περάσματα, παραμορφώνοντας τελικά το σχήμα του ανάλογα με την διαμόρφωση των εμποδίων.

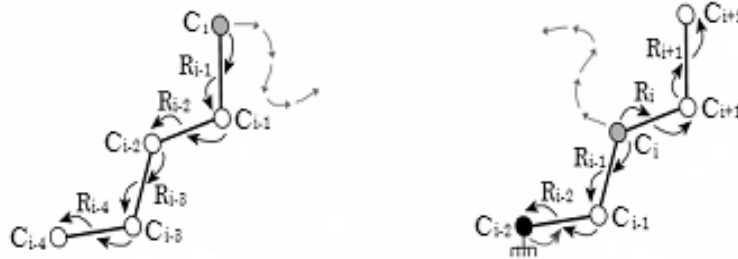
Στο χώρο των ρομποτικών βραχιόνων, σχεδόν όλες οι προσεγγίσεις οι βασισμένες σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα για το χειρισμό του προβλήματος σχεδιασμού κίνησης, εκτελούν το σχεδιασμό κίνησης σε κάθε υπομήμη της δομής του βραχίονα και συνδυάζουν τις λύσεις εκείνων των υποπροβλημάτων σε μια λύση για το ολικό πρόβλημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η σύνθεση γίνεται σε πραγματικό χρόνο, μέσω της αλληλεπίδρασης (συνεργασία ή ανταγωνισμός) των αντίστοιχων πρακτόρων που ελέγχουν τα διάφορα τμήματα του βραχίονα. Οι Overgaard (1996) και συνεργάτες πρότειναν ένα πολυπρακτορικό σύστημα συνιστάμενο από πράκτορες τόσο για τις αρθρώσεις όσο και για τους συνδέσμους, για το χειρισμό ενός οφιοειδούς ρομπότ 25 βαθμών ελευθερίας σε ένα περιβάλλον με εμπόδια που μοντελοποιούνταν με τη χρήση ενός τεχνητού δυναμικού πεδίου, όπου είχε πρωτοπορήσει ο Khatib (1986). Οι Bohner (1997) και Lürpen, εφάρμοσαν μια παρόμοια έννοια σε ένα 7-βάθμιο ρομπότ, θεωρώντας μόνο τις αρθρώσεις ως πράκτορες. Πραγματοποιούν τόσο ενσωμάτωση δεδομένων αισθητήρων όσο και σχεδιασμό κίνησης ανά πράκτορα, αποδομώντας έτσι το πρόβλημα και μειώνοντας την πολυπλοκότητα του στο άθροισμα των υποπροβλημάτων του.

2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΛΕΞΗΣ-ΩΘΗΣΗΣ ΜΕ ΒΕΤΟ

Έχουμε προτείνει ένα πολυπρακτορικό σύστημα (Birbilis & Aspragathos, 2004) όπου κάθε πράκτορας λογισμικού ελέγχει ένα συγκεκριμένο τμήμα της αλυσίδας αρθρώσεων-συνδέσμων ενός ρομποτικού βραχίονα, και οι πράκτορες αλληλεπιδρούν με κατεύθυνση την προσαρμογή της διαμόρφωσης του βραχίονα σε εξωτερικά γεγονότα και μεταβαλλόμενες καταστάσεις σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιείται μια προσέγγιση ικανοποίησης γεωμετρικών περιορισμών που μειώνει το σχεδιασμό κίνησης του βραχίονα στο σχεδιασμό κίνησης για ένα μόνο τμήμα του, για παράδειγμα το άκρο του, με τα υπόλοιπα τμήματα της αλυσίδας του βραχίονα να αντιδρούν και να προσαρμόζονται ή να αντισταθούν (εκφράζουν βέτο) στην κίνηση του εν λόγω τμήματος. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει υλοποιηθεί (Birbilis, 2006) στο δισδιάστατο και τρισδιάστατο χώρο, για φυσικές συνδεσμολογίες αλυσίδας (βραχίονες) αλλά και για εικονικές (σμήνη από κινούμενα ρομπότ).

Στο μοντέλο που προτείνουμε, κινούμε την αλυσίδα με τρόπο που μιμείται την κίνηση μιας αλυσίδας από ράβδους, διασυνδεδεμένες στα άκρα τους με συνδετήρες (περιορισμένες σφαιρικές αρθρώσεις). Τα δύο άκρα της αλυσίδας είναι συνδετήρες, ενώ

κάποιες από τις ράβδους μπορεί να είναι μεταβλητού μεγέθους, έχοντας ένα ελάχιστο και μέγιστο μήκος αντί κάποιο σταθερό. Κάθε τμήμα της αλυσίδας που κινείται «ωθεί» ή «έλκει» τα άλλα τμήματα της αλυσίδας ώστε οι περιορισμοί που ορίζουν τη δομή της αλυσίδας να τηρούνται. Δοθέντος ενός υψηλού αριθμού από ράβδους και συνδετήρες, το μοντέλο αυτό συμπεριφέρεται ως ένα σερνόμενο φίδι.



Εικόνα 1. Διάδοση γεγονότων αλλαγής κατάστασης και βέτο (C: συνδετήρας, R: ράβδος).

Στην παρούσα εργασία καταγράφουμε σε αντικειμενοστραφή αλγοριθμική μορφή την αρχιτεκτονική «έλξης-ώθησης με βέτο», όπως έχει υλοποιηθεί στο 3Δ χώρο:

Προσαρμογή (αφέντης, σκλάβος: Συνδετήρας): λογική μεταβλητές:

θέση_αφέντη, θέση_σκλάβου, διαφορά, θέση: Διάνυσμα3Δ
απόσταση: πραγματικός
ράβδος: Ράβδος

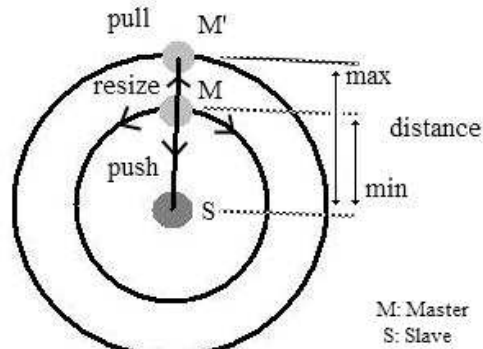
```
θέση_αφέντη := αφέντης.Θέση
θέση_σκλάβου := σκλάβος.Θέση
διαφορά := θέση_σκλάβου - θέση_αφέντη //άξονας κίνησης σκλάβου
απόσταση := διαφορά.Μήκος
ράβδος := αφέντης.Ράβδος(σκλάβος)
αποτέλεσμα := ψευδές
//ΕΛΞΗ//
Εάν (απόσταση > ράβδος.ΜέγιστοΜήκος) τότε //υπερβολική απομάκρυνση
    Εάν σκλάβος.Στάσιμος τότε έξοδος
    θέση := θέση_αφέντη + διαφορά * (ράβδος.ΜέγιστοΜήκος / απόσταση)
    Εάν όχι σκλάβος.Μετακίνηση(θέση) τότε έξοδος
//ΩΘΗΣΗ//
Αλλιώς εάν (απόσταση < ράβδος.ΕλάχιστοΜήκος) τότε //υπερβολική προσέγγιση
    Εάν σκλάβος.Στάσιμος τότε έξοδος
    θέση := θέση_αφέντη + διαφορά * (ράβδος.ΕλάχιστοΜήκος / απόσταση)
    Εάν όχι σκλάβος.Μετακίνηση(θέση) τότε έξοδος
//ΑΛΛΑΓΗ ΜΗΚΟΥΣ ΡΑΒΔΟΥ//
Αλλιώς
    ράβδος.Μήκος := απόσταση //δεν απαιτείται μετακίνηση του σκλάβου
αποτέλεσμα := αληθές
```

Διάδοση (αφέντης: Συνδετήρας, φορά: ακέραιος)
μεταβλητές:

σκλάβος: Συνδετήρας

```
σκλάβος := αφέντης.Σκλάβοι(φορά)
Εάν υπάρχει(σκλάβος)
    Εάν όχι Προσαρμογή(αφέντης, σκλάβος) τότε
        φορά := - φορά //διάδωσε βέτο ανάστροφα
    Διάδοση(σκλάβος, φορά)
```

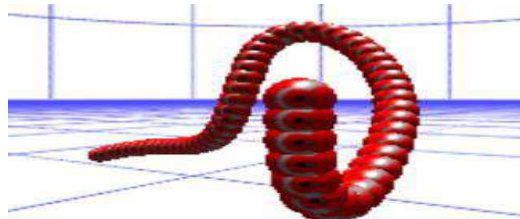
Κίνηση (αφέντης: Συνδετήρας, νέα_θέση: Διάνυσμα3Δ)
αφέντης.Θέση := νέα_θέση
Διάδοση(αφέντης, 0) //διάδοση στην αλυσίδα προς τη μία...
Διάδοση(αφέντης, 1) //...και προς την άλλη κατεύθυνση (φορά)



Εικόνα 2. Συμπεριφορά Ωθηση - Έλξη - Αλλαγή μήκους (push – pull - resize)

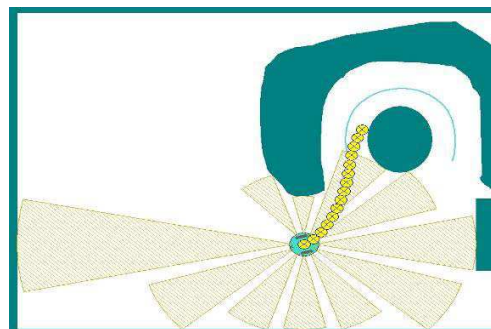
3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Έχουμε αναπτύξει (σε γλώσσα Object Pascal / Delphi) ένα περιβάλλον δοκιμών για 3Δ εξομοιώσεις, προγραμματιζόμενο μέσω PascalScript και Logo. Η προτεινόμενη πολυπρακτορική αρχιτεκτονική έχει υλοποιηθεί στο περιβάλλον αυτό, επιτυγχάνοντας οφιοειδή κίνηση σε πραγματικό χρόνο για πλήθη άνω των 450 πρακτόρων.



Εικόνα 3. Οφιοειδής κίνηση βραχίονα στον 3Δ χώρο.

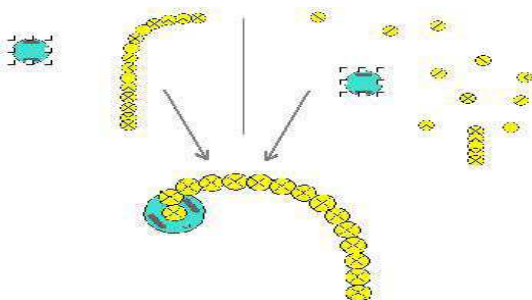
Μια 2Δ έκδοση της αρχιτεκτονικής έχει υλοποιηθεί (σε γλώσσα Basic) στον εξομοιωτή κινούμενων ρομπότ MobotSim για ένα σμήνος κινούμενων ρομπότ, όπου έχει επιτευχθεί αποφυγή εμποδίων σε στενούς κυρτούς διαδρόμους για ένα περιπλανώμενο ρομπότ οδηγό εξοπλισμένο με ένα ανιχνευτή λέιζερ και 15 ρομπότ “σκλάβους” να το ακολουθούν σε ένα οφιοειδή σχηματισμό χρησιμοποιώντας απλούστερους αισθητήρες κοντινής σύγκρουσης. Η 2Δ πλοήγηση και η συμπεριφορά αντίδρασης σε εμπόδια παρουσιάζεται σε προηγούμενη εργασία μας (Birbilis, 2006).



Εικόνα 4. Διαφυγή σμήνους από διάδρομο μεγάλης καμπυλότητας.

4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιάζουμε να υλοποιήσουμε ανίχνευση/αντίδραση σε εμπόδια πέραν του 2Δ και στον 3Δ χώρο, με ελάχιστες αλλαγές στην υλοποίηση των κανόνων διατήρησης περιορισμών και κρατώντας άθικτο το πολυπρακτορικό σύστημα και μηχανισμό διάδοσης γεγονότων. Επίσης, επιθυμούμε να μελετήσουμε και μετρήσουμε την απόδοση του συστήματος στη λήψη λύσεων για το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα σε υψηλά πλεονάζοντες βραχίονες και φυσικές ή ιδεατές (οφιοειδή σμήνη) αναδιαμορφώσιμες συνδέσεις αλυσίδας. Έχει παρατηρηθεί στην 2Δ εξομοίωση ότι παράγεται αυτόματα λύση του αντίστροφου κινηματικού και αναδόμηση αλυσίδας σπασμένης σε διασκορπισμένα ή σε λιγότερα κομμάτια σε παύση της εξομοίωσης, με την λύση να σέβεται τον σχετικό σχηματισμό των υπόλοιπων τμημάτων της αλυσίδας.



Εικόνα 5. Επίλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος.

Θα θέλαμε ακόμη να εξετάσουμε την δυνατότητα αξιοποίησης της εν λόγω αρχιτεκτονικής στην έρευνα της αναδιπλώσης των πρωτεϊνών (Snow, 2002). Οι πρωτεΐνες είναι η κινητήρια δύναμη της βιολογίας, όμως πριν μπορέσουν να πραγματοποιήσουν τις σημαντικές λειτουργίες τους, αυτοδιαμορφώνουν την 3Δ δομή τους (αναδιπλώνονται), διαδικασία ζωτική και θεμελιώδης, αλλά από πολλές πλευρές αδιευκρίνιστη. Όταν οι πρωτεΐνες δεν αναδιπλώνονται σωστά, μπορεί να υπάρξουν σοβαρές επιπτώσεις, όπως νόσοι Αλτσχάιμερ, σπογγώδης εγκεφαλοπάθεια (Κρόιτςφελντ-Γιάκομπς), πλαγία μυατροφική σκλήρυνση, Χάντιγκτον, Πάρκινσον καθώς και πολλοί καρκίνοι και σχετικά σύνδρομα.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική μειώνει το πρόβλημα του σχεδιασμού κίνησης για σχηματισμούς αλυσίδας σε αυτό του σχεδιασμού μόνο για το τμήμα αφέντη της αλυσίδας (συνήθως το άκρο εργασίας ή το προπορευόμενο κινούμενο ρομπότ). Τα υπόλοιπα τμήματα της αλυσίδας προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο στην κίνηση του αφέντη και την ίδια στιγμή αντιδρούν για ν' αποφύγουν ανιχνευμένα εμπόδια. Η καλύτερη εφαρμογή της είναι σε υψηλώς πλεονάζοντες ή αναδιαμορφώσιμους βραχίονες και σμήνη με υψηλό αριθμό ρομπότ που προσπαθούν να κινηθούν μέσα σε στενούς διαδρόμους. Σε τέτοιες καταστάσεις μπορεί να κλιμακωθεί αποδοτικά, αφού ένας πράκτορας χρειάζεται μόνο να αισθάνεται εμπόδια τοπικά και ν' αλληλεπιδρά με τους δυο γειτονικούς του πράκτορες στην αλυσίδα ελέγχου. Η αρχιτεκτονική αυτή δεν ασχολείται με την κατάσταση όπου το βέτο από ένα σκλάβο πράκτορα διαδίδεται αντίστροφα μέχρι τον πράκτορα που είχε εκκινήσει αρχικά την κίνηση. Στην περίπτωση αυτή, ο εκκινητής πρέπει να επανασχεδιάσει την κίνηση αν κινείται αυτόνομα, ή να αφήσει το βέτο να διαδοθεί περαιτέρω σε μια μονάδα σχεδιασμού ή στον άνθρωπο χειριστή, αφού η υπόλοιπη αλυσίδα δεν μπορεί ν' ακολουθήσει την κίνηση του.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσίευση σε περιοδικό:

Brooks, R. A. (1986) "A robust layered control system for a mobile robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2, April, pp. 14-23.

Dorigo, M., Trianni, V., Sahin, E., Labella, T., Grossy, R., Baldassarre, G., Nolfi, S., Deneubourg J-L., Mondada, F., Floreano D., Gambardella, L.M. (2004), "Evolving Self-Organizing Behaviours for a Swarm-bot", "Swarm Robotics special issue", Autonomous Robots journal, 17(2-3), pp. 223-245.

Hwang, Y., and Ahuja, N. (1992) "Gross Motion Planning – A Survey", ACM Computing Surveys, no 3, vol 24, pp. 219-291.

Khatib, O. (1986) "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots", International Journal of Robotic Research, no. 5, pp. 90-98.

Liu, J., Jing, H., and Tang Y. (2002) "Multi-agent oriented constraint satisfaction", Artificial Intelligence no.136, pp. 101-144.

Overgaard, L., Petersen, H., and Perram, J. (1996) "Reactive Motion Planning: A Multi-agent Approach", Applied Artificial Intelligence, no. 10, pp. 35-51.

Snow, C.D., Zagrovic, B., Pande, V.S. (2002), "The Trp Cage: Folding Kinetics and Unfolded State Topology via Molecular Dynamics Simulations", Journal of the American Chemical Society, vol. 124, no. 49.

Δημοσίευση σε Πρακτικά συνεδρίων:

Birbilis, G., Aspragathos N. (2004), "Multi-Agent Manipulator Control and Moving Obstacle Avoidance" στο: Lenarcic J. And Galletti C. (Eds.) "On Advances in Robot Kinematics" (ARK), Kluwer Academic, Netherlands, pp. 441-448.

Birbilis, G., Aspragathos N. (2006), "Multi-agent snake-like motion with reactive obstacle avoidance", I*PROMS 2006 virtual conference

Bohner, P., Lüppen, R. (1997), "Reactive Multi-Agent Based Control of Redundant Manipulators", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Albuquerque, New Mexico.

Chen, P., Hwang, Y. (1992) "Sandros, a motion planner with performance proportional to task difficulty", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation.

Βιβλία:

Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. (1999) "Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems", Oxford University Press, New York, NY.

Challou, D., Boley, D., Gini, M., Kumar, V., Olson, C. (1998) στο: Kamal Gupta and Angel P. del Pobil (Eds.) "Practical Motion Planning in Robotics: Current Approaches and Future Directions".

Liu, J. (2001) "Autonomous Agents and Multi-Agent Systems: Explorations in Learning, Self-Organization, and Adaptive Computation", World Scientific, Singapore.