



Μέτρηση Ρίψεων σε Αγώνες Αντισφαίρισης Ξυλορακέτας

1. Εισαγωγή

Το παρόν κείμενο περιγράφει την τεχνολογική προσέγγιση που ακολουθείται για την μέτρηση των ρίψεων και τον υπολογισμό της βαθμολογίας στα τουρνουά του Πανελληνίου Συλλόγου Αντισφαίρισης Ξυλορακέτας (ΠΣΑΞ). Επίσης περιγράφονται κάποιες εναλλακτικές λύσεις που λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος, καθώς και οι λόγοι για τους οποίους αυτές απορίφθηκαν.

2. Περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα δημιουργήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε αγώνες, είτε για απλή μέτρηση ρίψεων. Το συνολικό σύστημα αποτελείται από το *υποσύστημα μετρήσεων* με οπτικό αισθητήρα (στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτό και ως «*υποσύστημα κάμερας*») και το *υποσύστημα διαχείρισης αγώνων* που είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό, την καταγραφή και την οπτικοποίηση της βαθμολογίας των παικτών/ομάδων.



Εικόνα 1: Γήπεδο αγώνα. Διακρίνονται το σκούρο πέτασμα, το ξύλινο προστατευτικό κουτί στο οποίο τοποθετείται η κάμερα καθώς και οι υπολογιστές και τα περιφερειακά που αποτελούν το σύστημα



Εικόνα 2: Η κάμερα και ο λουπός εξοπλισμός

Η συνολική λειτουργία του συστήματος συνοψίζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Βασική ροή εργασιών συστήματος

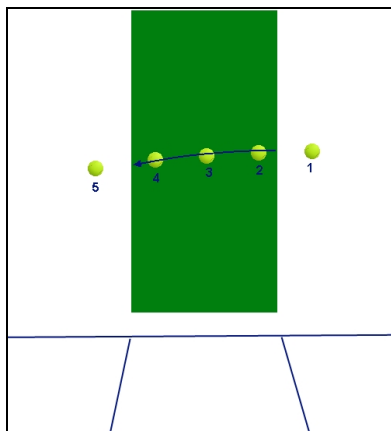
3. Τεχνολογική Προσέγγιση

Η υλοποίηση ενός συστήματος καταγραφής και μέτρησης ρίψεων επιδέχεται διάφορες τεχνολογικές προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάστηκαν ενδελεχώς πριν επιλεγεί η λύση της κάμερας ως ιδανική. Τα κριτήρια ήταν τόσο η φορητότητα και το κόστος, όσο η ακρίβεια και η ευρωστία (ανοχή σε σφάλματα). Σημαντικό ρόλο επιτέλεσε η φύση του αγωνίσματος και η μεγάλη κινητικότητα των παικτών σε όλο το χώρο ενός γηπέδου (γωνίες, όρια).



4. Μέτρηση με οπτικό αισθητήρα

Ο οπτικός αισθητήρας CCD (Charge-coupled device) λήψης πλαισίων με πολύ υψηλό ρυθμό (high frame rate), επιλέχθηκε για την υλοποίηση του συστήματος. Η βασική αρχή είναι η λήψη συνεχών πλάνων μεταξύ κάμερας και σκουρόχρωμου πετάσματος τοποθετημένου απέναντι της. Η λήψη είναι κάθετη στην κίνηση των παικτών. Λαμβάνοντας πληροφορία στο ορατό φάσμα εξασφαλίζουμε πώς αυτό που πραγματικά υπολογίζεται είναι ό,τι ακριβώς φαίνεται στο κοινό. Η κάμερα δεν μπορεί να επιδεχθεί αλλοιώσεις ούτε παρεμβολές με τεχνικά μέσα. Είναι μία ενσύρματη τεχνολογία με αισθητήρα φωτός και έτσι επιτυγχάνεται ασφάλεια και αδιαβλητότητα του συστήματος. Ένα πλήθος περιβαλλοντολογικών συνθηκών, μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της, αλλοιώνοντας την εικόνα, όπως ακριβώς συμβαίνει με το ανθρώπινο μάτι. Όλα τα ζητήματα που προκύπτουν όμως, καθώς έγκεινται στο επιστημονικό πεδίο της μηχανικής όρασης (machine vision), μπορούν να αντιμετωπιστούν άμεσα και αυτόματα. Έτσι επιτυγχάνεται η ευρωστία του συστήματος και η ανοχή του σε μεταβλητές περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Προηγμένες μέθοδοι και αλγόριθμοι υιοθετήθηκαν για να επιτευχθεί όσο δυνατόν ακριβέστερο αποτέλεσμα. Ακόμα και σε προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια ανάπτυξης, όπως η επίδραση από τυχόν εναλλαγές φωτεινότητας, αντιμετωπίστηκαν (μέσω φωτομετρικών τιμών και αυτόματη διόρθωση εικόνων).



Εικόνα 4: Πέτασμα και κίνηση μπάλας

Η κίνηση της μπάλας είναι ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη. Η απόσταση που διανύει μπαίνοντας στην περιοχή του πετάσματος και μέχρι να βγει, είναι πολύ μικρή (της τάξης του ενός μέτρου), οπότε υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα μέσα σε αυτό το μικρό διάστημα.

Στο παράδειγμα της Εικόνας 4 παρατηρούμε ότι η μπάλα πέρασε τρεις φορές μέσα από το πεδίο παρατήρησης. Αυτό μεταφράζεται σε τρία πλαίσια (frames), που περιέχουν την πληροφορία της θέσης της μπάλας καθώς και την ακριβή μετατόπισή της. Ο χρόνος που μεσολαβεί και οι θέσεις της μπάλας στα πλαίσια, είναι άμεσα συνυφασμένα με την απόσταση



της ρίψης από την κάμερα. Η απόσταση αυτή διαπιστώνεται από το μέγεθος της μπάλας. Γνωρίζοντας (με μεγάλη ακρίβεια) τον χρόνο που μεσολάβησε για να πάει η μπάλα από το σημείο 2 στο σημείο 4, την απόσταση και τη διαφορά θέσης προκύπτει η τελική τιμή της ταχύτητας, με δύο υπολογισμούς και υπολογίζοντας τη μέση τιμή τους (από το σημείο 2→3, και 3→4, στο συγκεκριμένο παράδειγμα).

Για τις ανάγκες της εφαρμογής, έπρεπε να εξασφαλίσουμε ότι θα υπάρχουν περισσότερα του ενός πλαίσια σε κάθε ρίψη (για να βρεθεί η διαφορά των σημείων γεωμετρικά), πράγμα που επιτυγχάνεται με την ειδική κάμερα υψηλής ταχύτητας (high frame rate), η οποία λαμβάνει 200 πλαίσια/λήψεις το δευτερόλεπτο, που μεταφράζεται ότι μία ρίψη των 100 km/h, αποτυπώνονται κατά μέσο όρο 10 φορές.

5. Εναλλακτικές μέθοδοι και τεχνολογίες που απορρίφθηκαν

Κάποιες από τις μεθόδους και τεχνολογίες που μελετήθηκαν κατά το σχεδιασμό του συστήματος παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους. Κάθε μια από αυτές έχει κάποια σοβαρά μειονεκτήματα ή περιορισμούς που την καθιστούν ακατάλληλη για το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής.

5.1 Ραντάρ (Doppler) & Laser Ραντάρ

Ένα ραντάρ τεχνολογίας Παλμού – Doppler, όπως χαρακτηριστικά αποκαλείται στην βιβλιογραφία, λειτουργεί με εκπομπή μικροκύματος ή με πηγή φωτός (στην περίπτωση Laser ραντάρ). Δείγματα επιτυχημένης εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας είναι τα αστυνομικά ραντάρ, τα οποία, αν τοποθετηθούν κατάλληλα (παράλληλα στην κίνηση του οχήματος), μπορούν με καλή ακρίβεια να υπολογίσουν την ταχύτητα ενός διερχόμενου οχήματος. Η ίδια τεχνολογία χρησιμοποιείται στον αθλητισμό, σε αθλήματα που περιλαμβάνουν ρίψεις προς καθορισμένη διεύθυνση (π.χ. μπίτζμπολ, τένις στην εναρκτήρια ρίψη – σερβίς), καταγράφονται δηλαδή, ρίψεις από σταθερό σημείο, όπου η γωνία ανάμεσα στη *ρίψη και το ραντάρ είναι γνωστή*. Δυστυχώς η συγκεκριμένη τεχνολογία σε περιπτώσεις όπως το άθλημα της αντισφαίρισης ξυλορακέτας δεν ενδείκνυται, για δύο πολύ σημαντικούς λόγους:

1) αν το ραντάρ δεν είναι τοποθετημένο παράλληλα προς τις ρίψεις, παρουσιάζει το λεγόμενο Σφάλμα Συνημιτόνου (Cosine Error) ¹. Η τάξη μεγέθους ενός τέτοιου σφάλματος δεν θεωρείται αποδεκτή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι μία μπαλιά με το καθόλα σύνηθες γωνιακό εύρος των 30° μοιρών με 90 km/h θα μετρηθεί ως 77.94 (=90 * cos 30°) από το ραντάρ. Ένα τέτοιο σφάλμα δεν είναι αποδεκτό ακόμα και στην περίπτωση του

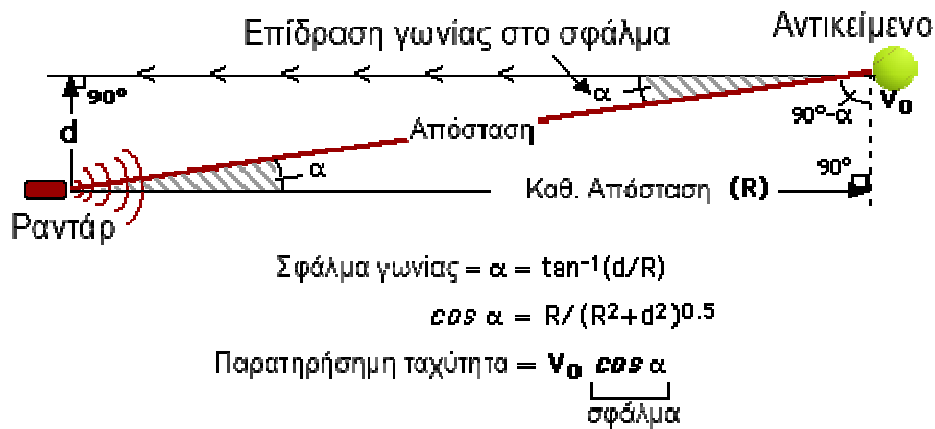
¹ “Cosine Effect: Scientific American”, n.d., <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=cosine-effect>.



tennis². Επιπροσθέτως, ισοδύναμες (σε ταχύτητα) ρίψεις και από τις δύο πλευρές του γηπέδου, λόγω διαφοράς γωνίας εμφανίζονται με διαφορετική ταχύτητα, η μία κοντά στην πραγματική και η άλλη πολύ χαμηλότερα.



Εικόνα 5: Διαβάθμιση σφάλματος



Εικόνα 6: Σφάλμα ραντάρ Doppler

² J. Kelley et al., "Validation of a live, automatic ball velocity and spin rate finder in tennis," *Procedia Engineering* 2, no. 2 (June 2010): 2967-2972.



Για την επεξήγηση της Εικόνας 6, ανατρέχουμε στη κλασική γεωμετρία. Θεωρούμε ένα ορθογώνιο τρίγωνο μεταξύ της μπάλας, του ραντάρ και του σημείου που τέμνει η κάθετος από το μπαλάκι, την διεύθυνση στόχευσης του ραντάρ. Η γωνία α θεωρείται η γωνία του ραντάρ. Θεωρώντας την κάθετο d , και την κάθετη απόσταση R (κάνοντας χρήση του Πυθαγόρειου θεωρήματος) η απόσταση ισούται με $(d^2 + R^2)^{0.5}$ μπορούμε να βρούμε το συντελεστή του διανύσματος ταχύτητας που καταγράφεται από το ραντάρ. Υπενθυμίζουμε ότι αν η κατεύθυνση της μπάλας είναι υπό γωνία, μόνο η συνιστώσα της κάθετης απόστασης λαμβάνεται υπόψη. Κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής συνάρτησης συνημίτονου, λοιπόν βρίσκουμε το συντελεστή που αποτελεί τον παράγοντα σφάλματος για τη συγκεκριμένη γωνία. Στο άθλημα της Ξυλορακέτας όμως, η γωνία ρίψης από κάθε παίκτη δεν είναι σταθερή, ούτε γνωστή οπότε ο συντελεστής δεν μπορεί να υπολογιστεί.

Ο δεύτερος λόγος ακαταλληλότητας του ραντάρ οφείλεται σε πιθανές ηλεκτρονικές παρεμβολές στην μπάλα συχνοτήτων λειτουργίας του εκάστοτε ραντάρ. Η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει στο ραντάρ τυχαιές μετρήσεις ή ακόμα και να δυσκολέψει το ραντάρ να ανιχνεύσει τον στόχο του. Επίσης υπάρχει περίπτωση λόγω παρεμβολής να μειωθεί η ευαισθησία και κατ' επέκταση η ικανότητα του ραντάρ να καταγράφει τις μπαλιές την ώρα που γίνεται η ρίψη.

Οι κύριες πηγές παρεμβολών που μπορεί να προκαλέσουν «σύγχυση» στο ραντάρ είναι:

- Ηλεκτρικές πηγές όπως οθόνες, κινητά τηλέφωνα, ηχεία και ενισχυτές ήχου
- Διατάξεις με κινούμενα μέρη όπως ανεμιστήρες, κινητήρες
- Σωματίδια μετακινούμενα από τον άνεμο, κτλ.

5.2 Τεχνολογίες Ραδιοσυχνοτήτων (RF)

Μία τεχνολογία RF θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τις μπάλες του τένις και το γήπεδο, όπου η κάθε ρίψη θα ανιχνευόταν από διάταξη που θα υπήρχε στο κέντρο του γηπέδου. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε προκατασκευασμένα μπαλάκια με ενσωματωμένη αντίστοιχη διάταξη RF. Αυτό θα αύξανε σημαντικά το κόστος, δεδομένου ότι ένα μπαλάκι καταστρέφεται γρήγορα μέσα σε ένα γεμάτο ένταση παιχνίδι. Επίσης, θα αλλοίωνε τα χαρακτηριστικά στο μπαλάκι (βάρος, ανομοιόμορφη κατανομή μάζας). Επίσης η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου που θα υποστήριζε γρήγορη ανίχνευση, δεδομένου ότι μιλάμε για υψηλές ταχύτητες ρίψεων, θα δημιουργούσε προβλήματα.



6. Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος

Το σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος ανέλαβε η MOBICS ΕΠΕ. Η εταιρία αποτελεί τεχνοβλαστό του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και στελεχώνεται από ερευνητές του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών. Για την υλοποίηση του συστήματος έγινε προσεκτική ανάλυση των απαιτήσεων και υλοποιήθηκαν ειδικοί αλγόριθμοι που να τις ικανοποιούν.

