

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master in Information Systems
Course: Computer Networks
Professor A.A. Economides

1

Δίκτυα Αισθητήρων στον Αθλητισμό

Real Cases of Sensor Networks for Sports

Αχιλλέας Κρόκος

Θεσσαλονίκη 2018

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Παρουσίαση Θέματος	5
Δίκτυα αισθητήρων στο ποδόσφαιρο	5
Goal Line Technology Systems	5
Cairos GLT system.....	5
Goalminder	6
GoalRef.....	7
Hawk-Eye	7
GoalControl.....	8
Παρακολούθηση και καταγραφή δεδομένων στο ποδόσφαιρο	9
Polar Shirt	9
Adidas miCoach Elite System	10
Έξυπνα Στάδια (Intelligent Stadiums)	11
Levi's Stadium (Σαν Φρανσίσκο).....	11
Ireland's Croke Park (Δουβλίνο)	12
Δίκτυα αισθητήρων στην ποδηλασία.....	13
Tour de France Broadcast Network	13
Συλλογή Δεδομένων στο Tour de France.....	15
Η ασφάλεια του Tour de Yorkshire.....	16

ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟΝ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟ	3
Συμπεράσματα	16
Πηγές.....	17
Πίνακες	19
Εικόνες.....	20

Περίληψη

Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν εισέλθει στο χώρο του αθλητισμού, προσφέροντας μια διαρκώς βελτιούμενη εμπειρία σε αθλητές και κοινό. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με το χώρο του ποδοσφαίρου και πιο συγκεκριμένα με πέντε συστήματα goal-line τεχνολογίας και κάποια συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής αγωνιστικής συμπεριφοράς σε ατομικό και ομαδικό επίπεδο. Επιπλέον, γίνεται παρουσίαση των λειτουργιών που προσφέρουν τα σύγχρονα «έξυπνα» στάδια, αναφέροντας και αναλύοντας δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις αυτών, ενώ η εργασία ολοκληρώνεται με ποδηλασία δρόμου και αναφορά σε δύο πραγματικές περιπτώσεις που τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διοργάνωσης.

Abstract

Sensor networks have entered the field of sports, offering an ever-improving experience to athletes and fans. In this contribution, we primarily deal with the field of football. We present and analyse five goal-line technology systems and activity tracking systems for teams and individuals. In addition, we will get an idea of how Internet of Things is applied on stadiums, by presenting two "smart stadiums" typical cases. We finish with a reference in cycling, giving two real cases where sensor networks are an integral part of cycling tour events.

Παρουσίαση Θέματος

Ορίζοντας ένα δίκτυο αισθητήρων, θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται ένα δίκτυο αποτελούμενο από ενεργειακά αυτόνομους κόμβους που «αισθάνονται», μετρούν μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, η κίνηση, και μεταδίδουν την πληροφορία σε έναν σταθμό βάσης. Ο χώρος του αθλητισμού αποτελεί πρόσφορο έδαφος για τα δίκτυα αισθητήρων, με πολλές εταιρείες να στοχεύουν μέσω των συστημάτων που αναπτύσσουν στη βελτίωση παραγόντων όπως η επίδοση ενός αθλητή, η εμπειρία ενός θεατή/τηλεθεατή και η λειτουργικότητα ενός σταδίου.

Δίκτυα αισθητήρων στο ποδόσφαιρο

Goal Line Technology Systems

Στο ποδόσφαιρο, για να θεωρηθεί έγκυρο ένα γκολ, πρέπει η μπάλα να περάσει ολόκληρη τη γραμμή του τέρματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις επίτευξης γκολ κάτι τέτοιο είναι ξεκάθαρο, δεδομένης και της βοήθειας που προσφέρουν τα δίχτυα της εστίας. Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες ο διαιτητής και οι βοηθοί του είναι πολύ δύσκολο να κρίνουν αν η μπάλα έχει περάσει ολόκληρη τη γραμμή του τέρματος. Η κατάσταση αυτή οδήγησε την παγκόσμια ποδοσφαιρική ομοσπονδία στην εισαγωγή της goal-line τεχνολογίας στο άθλημα. Πρόκειται για τη χρήση ηλεκτρονικής βοήθειας προκειμένου να καθοριστεί αν έχει επιτευχθεί ή όχι κάποιο γκολ. Στόχος της συγκεκριμένης τεχνολογίας δεν είναι να αντικαταστήσει τους διαιτητές, αλλά να τους υποστηρίξει στη λήψη αποφάσεων.

Εννέα ήταν τα goal-line technology συστήματα που δοκιμάστηκαν σε πρώτη φάση από την παγκόσμια ποδοσφαιρική ομοσπονδία, εκ των οποίων πέντε κρίθηκαν ως σοβαρές προτάσεις. Βάση τους ήταν είτε η παρακολούθηση μέσω καμερών είτε το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αναλύονται παρακάτω:

Cairos GLT system

Το συγκεκριμένο σύστημα [Εικόνα 1], που δημιουργήθηκε από τη Γερμανική Cairos Technologies AG, σε συνεργασία με την Adidas, χρησιμοποιεί ένα μαγνητικό πεδίο για την παρακολούθηση της μπάλας, εντός της οποίας είναι ενσωματωμένος ένας αισθητήρας. Λεπτά ηλεκτρικά καλώδια τοποθετούνται κάτω από το έδαφος στη γραμμή της μεγάλης περιοχής και πίσω από το τέρμα, στην ίδια απόσταση από τη γραμμή του τέρματος, και παράλληλα σε αυτή,

σχηματίζοντας ένα μαγνητικό πεδίο. Ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου τοποθετείται σε κοιλότητα εντός της ειδικά κατασκευασμένης από την Adidas μπάλας, και αντέχει στα δυνατά λακτίσματα χωρίς να υποστεί κάποια βλάβη. Ανά πάσα στιγμή, αλληλοεπιδρά με τα μαγνητικά πεδία των καλωδίων και στέλνει σήματα σε έναν δέκτη που είναι τοποθετημένος πίσω από την εστία, ο οποίος με τη σειρά του στέλνει κρυπτογραφημένα δεδομένα σε έναν υπολογιστή. Ο τελευταίος τα αναλύει και καθορίζει αν η μπάλα έχει περάσει τη γραμμή. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο συνέβη, στέλνει σήμα στο ειδικό ρολόι χειρός του διαιτητή. Η όλη διαδικασία διαρκεί λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο!

Στις 25 Φεβρουαρίου 2013 η παγκόσμια ομοσπονδία ποδόσφαιρου χορήγησε στην Cairos Technologies AG άδεια χρήσης της goal-line τεχνολογίας σε επίσημες διοργανώσεις, χαρακτηρίζοντας ουσιαστικά το προϊόν ως πλήρως αξιόπιστο παρά τις αρχικές αντιρρήσεις των πρώτων δοκιμών (2005). Μιλώντας για μειονεκτήματα, το Cairos GLT System, με την προσθήκη αισθητήρα εντός της μπάλας, θεωρήθηκε ότι άλλαξε τη συμπεριφορά της. Οι υπέρμαχοι του συστήματος αποδίδουν αυτή την υποψία αλλαγής συμπεριφοράς στο ότι οι πρώτες δοκιμές έγιναν πάνω σε τροποποιημένη Jabulani, που βάσει μετρήσεων θεωρείται μια από τις πιο αλλοπρόσαλλες σε συμπεριφορά μπάλες όλων των εποχών. Άλλα μειονεκτήματα του συστήματος είναι το μεγάλο κόστος, καθώς επίσης η παρέμβαση (σκάψιμο) στον αγωνιστικό χώρο του γηπέδου.

Goalminder

Το σύστημα [Εικόνα 2] δημιουργήθηκε από τους Άγγλους Harry Barnes και Dave Parden, με την έμπνευσή τους να έρχεται μετά τον υποβιβασμό της αγαπημένης τους ομάδας, Bolton Wanderers, εξαιτίας ενός κακώς ακυρωθέντος γκολ. Χρησιμοποιεί 24 κάμερες υψηλής ταχύτητας, τοποθετημένες στην εσωτερική πλευρά των δοκαριών της εστίας, οι οποίες καταγράφουν εικόνες υψηλής ευκρίνειας στα 2000 καρέ ανά δευτερόλεπτο και στέλνουν τα δεδομένα σε υπολογιστή που τα επεξεργάζεται με λογισμικό τρισδιάστατης απεικόνισης. Σε περίπτωση που η μπάλα περάσει τη γραμμή του τέρματος, στέλνεται σήμα στο ρολόι χειρός του διαιτητή. Η όλη διαδικασία διαρκεί περίπου 5 δευτερόλεπτα.

Το Goalminder είναι φθηνότερο από τα υπόλοιπα συστήματα λόγω του χαμηλού (συγκριτικά πάντα) κόστους των συγκεκριμένων καμερών, ενώ στα πλεονεκτήματά του λογίζονται η μη παρέμβαση σε στοιχεία του αθλήματος όπως η μπάλα και ο αγωνιστικός χώρος. Μειονεκτήματά του, τα οποία κρίθηκαν σημαντικά για να μην προχωρήσει ως τεχνολογία, είναι

η ταχύτητα απόφασης και η περιορισμένη ορατότητά του (μπορεί να «δει» μόνο ορατές μπάλες, δηλαδή μπάλες που δεν καλύπτονται από σώματα παικτών).

GoalRef

Το GoalRef [Εικόνα 3] χρησιμοποιεί τη βασική αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει ένα παθητικό ηλεκτρονικό κύκλωμα χάλκινων πηνίων ενσωματωμένο στην μπάλα (ανάμεσα στη δερμάτινη επιφάνεια και τον αεροθάλαμο) και ένα μαγνητικό πεδίο χαμηλής συχνότητας γύρω από το τέρμα. Οποιαδήποτε αλλαγή στο πεδίο πάνω ή πίσω από τη γραμμή τέρματος ανιχνεύεται από τις κεραίες που είναι ενσωματωμένες στα δοκάρια της εστίας, τα οποία καθορίζουν την κατακύρωση ή μη του γκολ. Με την παραγωγή χαμηλών μαγνητικών πεδίων γύρω από τα δοκάρια, το GoalRef δημιουργεί το ράδιο-ισοδύναμο μιας διάφανης κουρτίνας. Μόλις η μπάλα περάσει πλήρως τη γραμμή τέρματος, ανιχνεύεται μια αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο και αμέσως μια ειδοποίηση στέλνεται μέσω κρυπτογραφημένου ραδιοσήματος στο ειδικό ρολόι χειρός του διαιτητή. Η διαδικασία διαρκεί συνολικά μόλις μισό δευτερόλεπτο.

Το σύστημα αναπτύχθηκε από το Γερμανικό Ερευνητικό Ινστιτούτο Fraunhofer, σε συνεργασία με τη Select Sport. Πέρασε όλες τις δοκιμές της παγκόσμιας ποδοσφαιρικής ομοσπονδίας και είναι ένα από τα δύο πρώτα που πήραν πιστοποίηση (Hawk-Eye το άλλο) και εφαρμόστηκαν άμεσα σε επίσημη διοργάνωση (Παγκόσμιο Κύπελλο Συλλόγων 2012).

Hawk-Eye

Το σύστημα Hawk-Eye [Εικόνα 4] έκανε την εμφάνισή του στον αθλητισμό το μακρινό 1999. Ανήκει στη Sony και αναπτύχθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο από τον Paul Hawkins. Πριν μπει στο ποδόσφαιρο, είχε χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε αθλήματα όπως το κρίκετ, το τένις και το σνούκερ, ενώ πρέπει να τονιστεί ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε αρχικά για χειρουργικές επεμβάσεις στον εγκέφαλο.

Μιλώντας για το ποδόσφαιρο, το Hawk-Eye βασίζεται στην αρχή της τριγωνοποίησης χρησιμοποιώντας τις οπτικές εικόνες και τα χρονικά δεδομένα που παρέχονται από κάμερες υψηλής ταχύτητας σε διαφορετικές θέσεις γύρω από την περιοχή του παιχνιδιού. Το σύστημα χρησιμοποιεί κάμερες με υψηλό ρυθμό καρέ αφενός για την τριγωνοποίηση, αφετέρου για την παρακολούθηση της μπάλας καθώς κινείται. Το λογισμικό υπολογίζει τη θέση της μπάλας σε κάθε καρέ, προσδιορίζοντας τα pixels που αντιστοιχούν σε αυτή. Επιπλέον, μπορεί να

παρακολουθήσει την μπάλα και να προβλέψει τη διαδρομή της στον αέρα, ακόμα και αν μπλοκάρουν κάποιες κάμερες.

Το σύστημα καταγράφει τη διαδρομή της μπάλας και την αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της γραφικής απεικόνισης της διαδρομής. Όταν το απαιτήσει η περίσταση, η γραφική απεικόνιση προβάλλεται σε αγωνιζομένους και κοινό, δημιουργώντας μια αίσθηση διαφάνειας στο άθλημα. Τα δεδομένα από το σύστημα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή στατιστικών, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης σε ατομικό αλλά και ομαδικό επίπεδο.

Η πρόταση περιλαμβάνει την τοποθέτηση επτά καμερών για κάθε εστία, κάμερες οι οποίες τοποθετούνται στο κάτω μέρος της στέγης του γηπέδου και καταγράφουν την κίνηση της μπάλας από διαφορετικές γωνίες. Το υλικό από τις κάμερες τριγωνοποιείται και συνδυάζεται για να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη απεικόνιση της τροχιάς της μπάλας. Το σύστημα τρέχει σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και οι διαιτητές λαμβάνουν ειδοποίηση στο ειδικό ρολόι χειρός τους σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο από τη στιγμή που η μπάλα περνάει τη γραμμή.

Μεγάλοι αθλητές του τένις, όπως ο Ρότζερ Φέντερερ και ο Ράφαελ Ναδάλ, έχουν επικρίνει την ακρίβεια του συγκεκριμένου συστήματος στο άθλημά τους, ωστόσο στο ποδόσφαιρο μέχρις ώρας θεωρείται σχεδόν απόλυτα ακριβές, δεδομένου ότι το σφάλμα του είναι της τάξεως των 3.6 mm. Μέχρι το Ιούλιο του 2017 είχε εγκατασταθεί σε 96 γήπεδα ποδοσφαίρου και βάσει αυτού του αριθμού θεωρείται το πιο δημοφιλές σύστημα goal-line τεχνολογίας. Χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων στο Αγγλικό και το Γερμανικό πρωτάθλημα.

GoalControl

Ακόμη ένα βασισμένο σε κάμερες σύστημα [Εικόνα 4]. Αναπτύχθηκε από τη Γερμανική GoalControl και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στη σπουδαιότερη ποδοσφαιρική διοργάνωση, το Παγκόσμιο Κύπελλο (Βραζιλία, 2014). Η φιλοσοφία του είναι όμοια με αυτή του Hawk-Eye. Διαθέτει 14 κάμερες υψηλής ταχύτητας (7 σε κάθε εστία), εγκατεστημένες στο κάτω μέρος της οροφής του σταδίου, οι οποίες μπορούν να τραβήξουν 500 φωτογραφίες ανά δευτερόλεπτο και κατά συνέπεια να ανιχνεύσουν την κίνηση της μπάλας ανά 5 mm.

Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω οπτικής ίνας στο εντός σταδίου κέντρο επεξεργασίας εικόνας, το οποίο δημιουργεί μια εικονική αναπαράσταση της μπάλας. Σε περίπτωση που η μπάλα περάσει τη γραμμή του τέρματος, στέλνεται δονητικό και οπτικό σήμα στο ειδικό ρολόι χειρός του διαιτητή. Η όλη διαδικασία διαρκεί λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο. Παρότι, όπως

προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε στο Παγκόσμιο Κύπελλο, οι ομοσπονδίες των κορυφαίων πρωταθλημάτων το απέρριψαν επικαλούμενες το υψηλό κόστος υλοποίησης (σ. σ. το δημοφιλέστατο Hawk-Eye είναι εξίσου ακριβό αλλά μάλλον πιο «ευέλικτο» σε θέματα μάρκετινγκ).

Για τη σύγκριση των παραπάνω συστημάτων δείτε τον Πίνακα 1, στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Παρακολούθηση και καταγραφή δεδομένων στο ποδόσφαιρο

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα στα ομαδικά αθλήματα είναι να μάθουμε πώς η φυσική κατάσταση κάθε αθλητή επιδρά στην αγωνιστική συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια του αγώνα. Εν προκειμένω, ένας αγώνας ποδοσφαίρου διαρκεί 90 λεπτά και η κόπωση του κάθε παίκτη αποτελεί συνδυασμό παραγόντων, όπως για παράδειγμα ο ρυθμός του αγώνα ή τα τετραγωνικά μέτρα που βρίσκεται η μπάλα το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η γενική λογική είναι η εξής: σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για μια ομάδα ποδοσφαίρου, κάθε παίκτης έχει πάνω του έναν ασύρματο αισθητήρα σώματος που ανά πάσα στιγμή στέλνει δεδομένα σε μια πλατφόρμα, δεδομένα τα οποία λαμβάνονται υπόψη άμεσα ή μακροχρόνια.

Polar Shirt

Η Polar Electro Oy (παγκοσμίως γνωστή ως Polar) είναι κατασκευαστής συστημάτων προπόνησης που βασίζονται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι ανέπτυξε και διέθεσε στην παγκόσμια αγορά τον πρώτο ασύρματο μετρητή καρδιακών παλμών. Στο CES 2017 (Consumer Electronics Show), η Polar ακολούθησε την ανάγκη για ενσωματωμένους αισθητήρες πρώτης γενιάς στα ρούχα και παρουσίασε ένα έξυπνο μπλουζάκι για αθλητές.

Σύμφωνα με την Polar, μιλώντας κυρίως για επίπεδο πρωταθλητισμού, το σημείο του καρπού δεν είναι ιδανικό να φέρει αισθητήρες, καθώς αφενός δεν είναι βολικό για τον αθλητή, αφετέρου μπορεί να υπάρξει απώλεια ακρίβειας. Εξίσου ή ακόμη περισσότερο άβολη για τον αθλητή θεωρείται και η ζώνη στήθους που μέχρι πρότινος χρησιμοποιούταν κατά κόρον. Τις συγκεκριμένες απόψεις συμερίζονται και λοιποί κατασκευαστές του χώρου, όπως η Adidas και η Under Armour.

Ένας, λοιπόν, καλύτερος τρόπος ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στην προπόνηση, αλλά και στην καθημερινή ζωή, είναι μέσω του υφάσματος που καλύπτει το σώμα μας. Το Polar Shirt δεν διαθέτει μανίκια και είναι σχεδιασμένο με δύο αισθητήρες καρδιακού παλμού ενσωματωμένους στο ύφασμα. Κάτω από το περιλαίμιο βρίσκουμε έναν μικρό GPS αισθητήρα που μετράει ταχύτητα, απόσταση και επιτάχυνση.

Adidas miCoach Elite System

Το "Adidas miCoach Elite Team System" [Εικόνα 5] είναι πιθανώς το πιο δημοφιλές προϊόν στην αγορά της wearable τεχνολογίας στο ποδόσφαιρο, κάτι που οφείλεται και στην παγκόσμια προβολή που τυγχάνει η Adidas. Αναπτύχθηκε από το 2010 έως το 2012 κι έκτοτε εξελίσσεται, με τον άξονά του να κινείται γύρω από την παροχή στο προπονητικό τιμ δεδομένων πραγματικού χρόνου των παικτών, όπως ταχύτητα, απόσταση, καρδιακό ρυθμό, απόδοση ή επιτάχυνση. Το σύστημα αποτελείται από πέντε διαφορετικά εξαρτήματα, τα οποία είναι τα "miCoach Elite Player Cell", "Techfit Elite Shirt", "miCoach Elite Base", "miCoach Elite Dashboard" και "miCoach Elite Website".

Το "miCoach Elite Player Cell" είναι ένας wearable αισθητήρας, ο οποίος μετρά τα δεδομένα πραγματικού χρόνου και τα μεταδίδει μέσω ραδιοσυχνότητας στο "miCoach Elite Base". Ζυγίζει μόλις 52 γραμμάρια και είναι ενσωματωμένος στο πίσω μέρος του "Techfit Elite Shirt", το οποίο φοριέται από τους παίκτες. Η μπαταρία του αισθητήρα διαρκεί περίπου 8 ώρες, επομένως υπάρχει κανένα πρόβλημα συλλογής τεράστιου όγκου δεδομένων κατά τη διάρκεια πολύωρης προπόνησης. Εκτός από το ενσωματωμένο "miCoach Elite Player_Cell", το "Techfit Elite Shirt" μετρά τον καρδιακό παλμό με ενσωματωμένους αισθητήρες, ενώ είναι άκρως βολικό και δεν περιορίζει τις κινήσεις των παικτών.

Τόσο τα δεδομένα του "miCoach Elite Player_Cell", όσο και αυτά του "Techfit Elite Shirt" μεταδίδονται στο "miCoach Elite Base", που είναι ένας φορητός, ανθεκτικός και αδιάβροχος δέκτης, τοποθετημένος έξω από τον αγωνιστικό χώρο. Το "miCoach Elite Base" μεταφέρει τα δεδομένα στο "miCoach Elite Dashboard", ένα tablet για το προπονητικό προσωπικό, με το οποίο συλλέγονται και αναλύονται τα δεδομένα. Με βάση αυτά, δημιουργούνται προγράμματα προπόνησης, ομαδικά και ατομικά, και, τίθενται νέοι στόχοι. Εάν το "miCoach Elite Base" είναι συνδεδεμένο στο διαδίκτυο, τα δεδομένα αποστέλλονται σε

σέρβερ, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση τους και στον ιστότοπο "web site miCoach Elite".

Σημειωτέο, το σύστημα, πέραν των παραπάνω δυνατοτήτων που παρέχει, λειτουργεί και προβλεπτικά, καθώς συμβάλλει στην έγκαιρη πρόληψη ενός πιθανού τραυματισμού. Ένα ακόμη σχετικό προϊόν, από την ίδια κατασκευάστρια εταιρεία, συμβατό με το παραπάνω σύστημα, είναι η "Adidas miCoach Smart Ball. Πρόκειται για μια ποδοσφαιρική μπάλα μεγέθους πέντε, με ενσωματωμένο αισθητήρα που μεταδίδει δεδομένα όπως η ταχύτητα, η περιστροφή και η τροχιά της μέσω Bluetooth στην εφαρμογή "miCoach Smart Ball App". Δίνεται έτσι η δυνατότητα καταγραφής κάθε σουτ με ότι οφέλη συνεπάγεται, όπως για παράδειγμα η βελτίωση της τεχνικής.

Έξυπνα Στάδια (Intelligent Stadiums)

Το Internet of Things, μέσω λειτουργιών όπως smart athlete, smart coaching, smart referee, smart security, fan experience, έξυπνες υποδομές, έχει μπει για τα καλά στο χώρο των σταδίων. Η παρακολούθηση του γηπέδου για λόγους ασφαλείας, ο έλεγχος ποτίσματος για το γρασίδι, οι αισθητήρες στατικότητας, η υπόδειξη στον θεατή της θέσης του, είναι κομμάτια ενός έξυπνου σταδίου [Εικόνα 6]. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες πραγματικές περιπτώσεις έξυπνων σταδίων.

Levi's Stadium (Σαν Φρανσίσκο)

Το γήπεδο της Silicon Valley είναι από τα πιο εξελιγμένα τεχνολογικά γήπεδα, καθώς επιτρέπει σε τουλάχιστον 70000 θεατές να συνδεθούν ταυτόχρονα στο διαδίκτυο μέσω wifi και 4G networks. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιήθηκαν 400 χιλιόμετρα καλωδίου, 110 χιλιόμετρα εκ των οποίων είναι αφιερωμένα στη σύνδεση των 1.200 διανεμημένων κεραιών που εξυπηρετούν τους δρομολογητές Wi-Fi που τοποθετούνται κάθε 100 θέσεις σε όλο το στάδιο. Το Στάδιο Levi's διαθέτει ένα backbone δίκτυο των 40 gigabits ανά δευτερόλεπτο διαθέσιμου εύρους ζώνης, εύκολα κλιμακούμενο ανάλογα με τη προσέλευση θεατών και τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το πρότυπο για τα γήπεδα NFL.

Το στάδιο διαθέτει επίσης περίπου 1.700 αναμεταδότες Bluetooth υψηλής τεχνολογίας (Bluetooth low Energy Beacons). Χρησιμοποιώντας την πιο πρόσφατη έκδοση του προτύπου Bluetooth Low Energy, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δίνουν στους χρήστες πληροφορίες

για το που είναι η θέση τους καθώς και οποιοδήποτε άλλο μέρος του σταδίου. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να τους αποσταλούν ειδοποιήσεις σχετικά με την ασφάλεια, προσφορές από καταστήματα κλπ.

Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε ειδικά για το Levi's Stadium, περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τις παρακάτω λειτουργίες:

- οδηγεί τον επισκέπτη στο κοντινότερο πάρκινγκ σε σχέση με τη θέση του στο γήπεδο
- μεταδίδει live την αναμέτρηση, δίνοντας τη δυνατότητα προβολής replays
- παρέχει στατιστικά και άλλες σχετικές με τον αγώνα πληροφορίες
- οδηγεί τον επισκέπτη στο κοντινότερο wc
- δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης μέσω WiFi ή 4G
- δίνει στον θεατή τη δυνατότητα παραγγελίας και παραλαβής φαγητού ή ποτού στη θέση που κάθεται

Ireland's Croke Park (Δουβλίνο)

Διαθέτοντας χωρητικότητα 82.300 ατόμων, το στάδιο Croke Park είναι ένα από τα μεγαλύτερα γήπεδα της Ευρώπης. Είναι το σπίτι των Gaelic Games (η μεγαλύτερη αθλητική Ιρλανδική διοργάνωση), το κεντρικό κτίριο της Gaelic Athletic Association (GAA) και φιλοξενεί πολυάριθμες διεθνείς αθλητικές, πολιτιστικές και μουσικές εκδηλώσεις. Και τώρα πλέον μέσω του IoT είναι ένα πραγματικά "έξυπνο στάδιο".

Το πρόγραμμα Croke Park Smart Stadium είναι μια συνεργασία μεταξύ της GAA, του Πανεπιστημίου Δουβλίνου (DCU), της Intel και της Microsoft για την προώθηση της καινοτομίας γύρω από το IoT. Η Intel διαθέτει στρατηγικά τοποθετημένους αισθητήρες και πύλες σε όλο το στάδιο. Αυτές οι πύλες, σε αλληλεπίδραση με τους αισθητήρες, συλλέγουν τεράστιες ποσότητες διαφορετικών τύπων δεδομένων, τα οποία αποθηκεύονται στην cloud πλατφόρμα Microsoft Azure [Εικόνα 7].

Οι ερευνητές στο DCU χρησιμοποιούν τη σουίτα Azure IoT για να αναλύσουν αυτά τα δεδομένα, με στόχο την παραγωγή ενεργής γνώσης στο πλαίσιο της διαχείρισης του σταδίου. Αυτή η επίγνωση τους επιτρέπει να βελτιώσουν την εμπειρία των θεατών, να στήσουν μια σχέση εμπιστοσύνης με την τοπική κοινωνία, να μειώσουν αισθητά τη ρύπανση του περιβάλλοντος κλπ. Αξίζει δε να σημειωθούν κάποιες «έξυπνες» λειτουργίες του σταδίου:

- Μέτρηση των επιπέδων θορύβου. Τα επίπεδα θορύβου του σταδίου παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, ώστε να μπορεί να διασφαλιστεί η τήρηση των σχετικών νόμων της χώρας.
- Διατήρηση του αγωνιστικού χώρου σε καλή κατάσταση. Με την Azure IoT Suite, η ομάδα εισάγει δεδομένα σε αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, από τους οποίους εξάγει πρότυπα, για να προβλέπει πού να φωτίσει το γήπεδο με λαμπτήρες θερμότητας σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας για βέλτιστη ανάπτυξη και πραγματική εξοικονόμηση πόρων.
- Παρακολούθηση ανέμου. Το Skyline tour του Croke Park προσφέρει εκπληκτική θέα στην πόλη από τη στέγη του σταδίου, όπου ωστόσο υπάρχει πιθανότητα να πνέουν δυνατοί άνεμοι. Παρακολουθώντας «έξυπνα» τις ταχύτητες των ανέμων, το προσωπικό του σταδίου μπορεί να λάβει τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με το κατά πόσον είναι ασφαλές για να ξεκινήσει το επόμενο Skyline tour.
- Παρακολούθηση του κοινού. Χρησιμοποιώντας κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, το οποίο ψηφιοποιείται και αναλύεται στο cloud, παρακολουθείται η κίνηση των θεατών μέσα στο στάδιο, και όταν κρίνεται αναγκαίο για λόγους υγείας και ασφάλειας υπάρχει παρέμβαση των υπευθύνων.
- Ανίχνευση πιθανότητας πλημύρας. Οι προηγμένοι αισθητήρες στάθμης νερού στα συστήματα αποστράγγισης γύρω από το στάδιο ειδοποιούν ταχύτατα για κίνδυνο πλημύρας. Επιπλέον, τα real-time δεδομένα από τους αισθητήρες έρχονται σε διασταύρωση με τα ιστορικά επίπεδα βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε προβλέψεις πιθανότητας πλημύρας.

Δίκτυα αισθητήρων στην ποδηλασία

Tour de France Broadcast Network

Με 115 χρόνια ιστορίας, ο Ποδηλατικός Γύρος της Γαλλίας (Tour de France ή TdF) αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο σε τηλεθέαση αθλητικό γεγονός παγκοσμίως, μετά το Παγκόσμιο Κύπελλο Ποδοσφαίρου και τους Ολυμπιακούς Αγώνες. Ωστόσο, η τηλεοπτική κάλυψη του TdF απέχει παρασάγγας σε δυσκολία από τα υπόλοιπα λαμπερά αθλητικά γεγονότα. Μια αναφορά σε αριθμούς αρκεί για να γίνει αντιληπτό:

- περίπου 3.500 χλμ αγώνα

- 35 διαφορετικά σημεία εκκίνησης / τερματισμού
- μετάδοση σε 190 χώρες
- 450 δημοσιογράφοι
- κάλυψη της διοργάνωσης από 120 τηλεοπτικούς σταθμούς, 60 εκ των οποίων σε ζωντανή μετάδοση καλύπτουν την εκδήλωση, από τους οποίους 60 ζωντανά (live)
- 260 εικονολήπτες σταθεροί, αλλά και σε μοτοσυκλέτες, αυτοκίνητα, ελικόπτερα.
- 72 ραδιοφωνικοί σταθμοί
- 560 μέσα μαζικής ενημέρωσης
- 2400 οχήματα
- 4.500 συμμετέχοντες (ποδηλάτες, διοργανωτές, μέσα ενημέρωσης κλπ)
- διαφημιστικό караβάνι 12χλμ που περιλαμβάνει 180 οχήματα, 600 άτομα και που διανέμει σχεδόν 15 εκατομμύρια αντικείμενα στο κοινό

Ο πυρήνας της ζωντανής μετάδοσης περιλαμβάνει τη χρήση ασύρματων καμερών υψηλής συχνότητας (VHF- Very High Frequency wireless cameras) πάνω σε μοτοσυκλέτες, δύο δημοσιογράφους που μεταδίδουν από μοτοσυκλέτες, και, ελικόπτερα με Cineflex gyro-stabilised camera systems (κάμερες που χρησιμοποιούνται σε κινητά οχήματα, με ειδική τεχνολογία που σταθεροποιεί/ διορθώνει την εικόνα που λαμβάνει παράγοντας εικόνες υψηλής ευκρίνειας). Οι κάμερες στις μοτοσυκλέτες καταγράφουν τον αγώνα, ενώ τα ελικόπτερα καλύπτουν τον αγώνα, καθώς επίσης αποτυπώνουν μεγάλο μέρος της ομορφιάς της γαλλικής υπαίθρου. [Εικόνα 8]

Η εικόνα από τις κάμερες των μοτοσυκλετών και των ελικοπτέρων μεταδίδεται μέσω συνδέσεων VHF σε relay ελικόπτερα που πετούν σε υψόμετρο 600 μέτρων (σ. σ. τα relay αεροσκάφη περιέχουν ειδικό σύστημα αναμετάδοσης το οποίο αυξάνει το εύρος και την ασφάλεια αναμετάδοσης των δεδομένων). Στη συνέχεια, το σήμα αναμεταδίδεται σε relay αεροπλάνα που πετούν στα 3000 έως 8000 μέτρα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Αυτά τα αεροσκάφη πρέπει να κινούνται σε κύκλους πολύ αργά πάνω από την περιοχή που εκτυλίσσεται ο αγώνας. Σε περίπτωση επιδείνωσης του καιρού η πιθανότητα διακοπής κάποιων ζεύξεων αυξάνεται, οπότε το σύστημα GPS του κάθε ποδηλάτου στέλνει σήμα εντοπισμού απευθείας στα συγκεκριμένα αεροσκάφη.

Μόλις αποσταλεί το σήμα στα relay αεροσκάφη, τότε μεταδίδεται σε ενδιάμεσα σημεία που βρίσκονται κατά μήκος της διαδρομής (φορηγά που αναμεταδίδουν το σήμα). Σε μία τυπική διαδρομή υπάρχουν δύο ενδιάμεσα σημεία. Σε δύσβατα σημεία και πορείες σε ορεινούς

όγκους μπορεί να υπάρχουν και τρεις ενδιάμεσοι αναμεταδότες. Αυτά τα ενδιάμεσα σημεία χρειάζονται επειδή οι διαδρομές ενδέχεται να φτάσουν τα 225 χλμ και τα σήματα πρέπει να μεταδοθούν χωρίς διακοπή από την αρχή μέχρι το τέλος. Τα ενδιάμεσα σημεία λαμβάνει τα σήματα και τα στέλνουν στο δορυφόρο, ο οποίος τα προωθεί στη γραμμή τερματισμού όπου βρίσκεται γερανός ύψους 50 μέτρων με 4 δέκτες. Στη συνέχεια, τα σήματα αποκωδικοποιούνται σε εξωτερική μονάδα αναμετάδοσης και καταλήγουν στο συνεργείο παραγωγής της Γαλλικής τηλεόρασης.

Μια εύλογη απορία είναι το αν θα μπορούσε η αναμετάδοση να γίνει απευθείας μέσω δορυφόρου (δηλαδή να μη χρησιμοποιούνται τα relay αεροσκάφη). Η απάντηση είναι αρνητική. Οι μοτοσυκλέτες και τα ελικόπτερα κινούνται συνεχώς, όπερ σημαίνει ότι υπάρχει περίπου μέχρι και 1% πιθανότητα αποστολής σήματος απευθείας (να στοχεύσουν) στο δορυφόρο. Για αυτό χρησιμοποιούνται τα ενδιάμεσα σημεία, τα οποία είναι στατικά, και μπορούν να στείλουν το σήμα στο δορυφόρο χωρίς να έχουμε απώλειες.

Συλλογή Δεδομένων στο Tour de France

Το Tour de France συνεργάζεται με τη Dimension Data για τη συλλογή δεδομένων από τα ποδήλατα των αναβατών. Ελαφροί αισθητήρες, όπως αισθητήρας πίεσης, επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, κρύβονται κάτω από τη σέλα, μεταδίδοντας δεδομένα στα relay αεροσκάφη, τόσο για υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο αλλά και για μελλοντική χρήση.

Δεδομένου ότι ο κόσμος της επαγγελματικής ποδηλασίας, σε ατομικό και ομαδικό επίπεδο, θέλει μοναδική πρόσβαση σε κάποια δεδομένα, κι επειδή τα λογισμικά του εμπορίου δεν παρέχουν 100% ασφάλεια στη μεταφορά των δεδομένων από ένα wearable (φορητή συσκευή) στα relay αεροσκάφη, η Dimension Data παρέχει το δικό της λογισμικό και εγγυάται απόλυτη ασφάλεια. Μην ξεχνάμε ότι κατά το παρελθόν υπήρξαν διαρροές δεδομένων που προκάλεσαν σκάνδαλα, πλήττοντας το χώρο της ποδηλασίας.

Πέρα όμως από τα δεδομένα που μένουν «ιδιωτικά», η Dimension Data μέσα από τις 75 εκατομμύρια αναγνώσεις GPS ανά διαδρομή του Tour de France, προσφέρει live πληροφορία και στο φίλαθλο κοινό. Στην διαδικτυακή πλατφόρμα Tour Tracker μπορεί ο καθένας να αντλήσει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη θέση του κάθε ποδηλάτη, τους χρόνους του, τις καιρικές συνθήκες, χάρτες, στοιχεία της διαδρομής κλπ. Επιπλέον, μέσω της μηχανικής μάθησης που βασίζεται σε δεδομένα παλαιότερων αγώνων και την τρέχουσα

συμπεριφορά των αθλητών, η Dimension Data προχωρά σε live προβλέψεις σχετικά με την εξέλιξη του αγώνα.

Η ασφάλεια του Tour de Yorkshire

Στην περίπτωση του ποδηλατικού γύρου του Yorkshire η τεχνολογία του Internet of things χρησιμοποιείται από την αστυνομία για να εξασφαλίσει την ασφάλεια του κοινού και των αναβατών. Οι αισθητήρες στα ποδήλατα μεταδίδουν πληροφορίες σε εφαρμογή που δημιουργήθηκε από τη Dimension Data ειδικά για την αστυνομία, έτσι ώστε να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται το γκρουπ των ποδηλατών και να μοιράζει σωστά τις δυνάμεις της που δεν είναι αρκετές ώστε να ελέγχουν ταυτόχρονα όλη τη διαδρομή. Αισθητήρες υπάρχουν και στα αστυνομικά οχήματα για άμεσο έλεγχο της κατάστασης, ενώ παράλληλα κατασκευάστηκε εφαρμογή για τους θεατές που αγγίζουν κάθε χρόνο τα 2 εκατομμύρια. Γνωρίζοντας το πόσο μακριά βρίσκονται οι αναβάτες ή πόσο γρήγορα αναμένεται να περάσουν, κάθε θεατής έχει μια σφαιρική εικόνα του αγώνα και του τι πρόκειται να εκτυλιχθεί μπροστά του.

Συμπεράσματα

Οι προκλήσεις και οι προοπτικές χρήσης δικτύων αισθητήρων στο χώρο του αθλητισμού είναι μεγάλες. Κρίνοντας από όσα αναλύθηκαν παραπάνω, στο ποδόσφαιρο, σύντομα τα δίκτυα αισθητήρων αναμένεται να παίζουν κυρίαρχο ρόλο στον τομέα λήψης αποφάσεων που μέχρι σήμερα επηρεάζεται από το υποκειμενικό στοιχείο του ανθρώπινου παράγοντα. Αποφάσεις όπως αν η μπάλα βγήκε εκτός αγωνιστικού χώρου ή αν ο παίκτης είναι σε θέση οφσάιντ θα καθορίζονται ταχύτατα από δίκτυα αισθητήρων. Όσον αφορά τα στάδια, το IoT τα εξελίσσει μέρα με τη μέρα σε αυτοσυντηρούμενους μηχανισμούς, άκρως φιλικούς στον επισκέπτη, ενώ την ίδια ώρα εντύπωση προκαλούν τα δίκτυα αισθητήρων που έχουν στηθεί ήδη σε μεγάλες διοργανώσεις της ποδηλασίας δρόμου. Και κατά πως φαίνεται, τα καλύτερα έρχονται.

Πηγές

- Goal-line technology. (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Goal-line_technology
- Sport Innovation/Goal-line Technology/Cairos GLT System. (n.d.). Retrieved from https://en.wikibooks.org/wiki/Sport_Innovation/Goal-line_Technology/Cairos_GLT_System
- Julio Ponce. (2014). The Top 4 Goal-Line Technology Systems in Fútbol. Retrieved from <https://www.sporttechie.com/the-top-4-goal-line-technology-systems-in-futbol/>
- Akash Peshin. (2017). How Does Goal-Line Technology Work? Retrieved from <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-the-goal-line-technology-work.html>
- A comparison of 4 goal-line technologies in football. (n.d.) Retrieved from <https://medium.com/the-digital-sports-blog/technology-in-sport-834b017e20d5>
- Sport Innovation/Goal-line Technology/Goalminder (n.d.) Retrieved from https://en.wikibooks.org/wiki/Sport_Innovation/Goal-line_Technology/Goalminder
- GoalRef™ – Goal Detection System. (n.d.) Retrieved from <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/lv/net/proj/goalref.html>
- GoalControl. (n.d.). Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/GoalControl>
- Wade Wallace. (2015). How the Tour de France is Broadcast To the World. Retrieved from <https://cyclingtips.com/2015/07/how-the-tour-de-france-is-broadcast-to-the-world/>
- Jen Clark. (2017). The Internet of Sporting Things. Retrieved from <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/internet-sporting-things/>
- Peter Gray. (2017). How data analytics creates real-time race predictions. Retrieved from <https://www2.dimensiondata.com/en/tourdefrance/blog/how-data-analytics-creates-real-time-race-predictions>
- How technology expands horizons for police service. (n.d.). Retrieved from <https://www2.dimensiondata.com/en/believe-in-greatness/west-yorkshire-police>
- Levi's Stadium (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Levi%27s_Stadium
- Tim Bajarin. (2014). Meet Levi's Stadium, the Most High-Tech Sports Venue Yet. Retrieved from <http://time.com/3136272/levis-stadium-tech/>
- Niall Moran. (2017). IoT Microcosm: Ireland's Croke Park “smart stadium” paves the way for smarter cities. Retrieved from <https://customers.microsoft.com/en-us/story/gaelic-athletic-association-croke-park-it-technology-azure-cloud-windows10>

Matthew O'Connor. (2017). Revolutionising game day for sports fans and operators alike. Retrieved from <https://blog.dimensiondata.com/2017/05/revolutionising-game-day-sports-fans-operators-alike/>

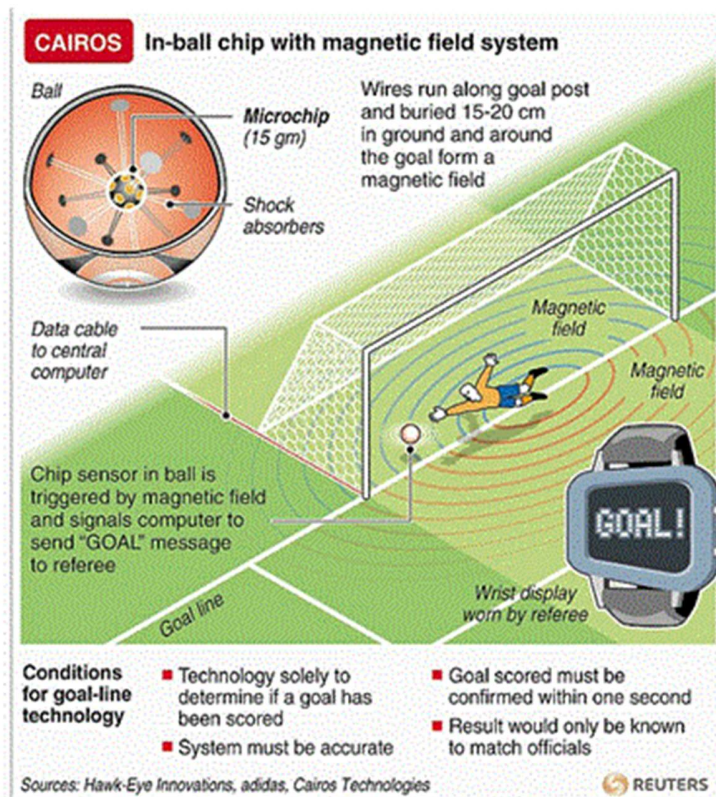
Clive Mitchell. (2017). Whitepaper: Connected Stadium Solutions. Retrieved from <https://wiprodigital.com/2017/02/23/whitepaper-connected-stadium-solutions/>

Πίνακες

Πίνακας 1. Σύγκριση Goal Line Τεχνολογιών

	Μαγνητικό Πεδίο		Κάμερα		
	Cairos	GoalRef	GoalMinder	Hawk-Eye	GoalControl
Χρόνος Απόκρισης	++	++	-	++	++
Κόστος	+	+	++	-	-
Επέμβαση στα στοιχεία του ποδοσφαίρου	-	-	+	++	++
Αποτελεσματικότητα (βάσει ορατότητας)	++	++	-	+	+
Προσαρμοστικότητα	-	++	++	+	+
Οπτικοποίηση	-	-	-	++	++

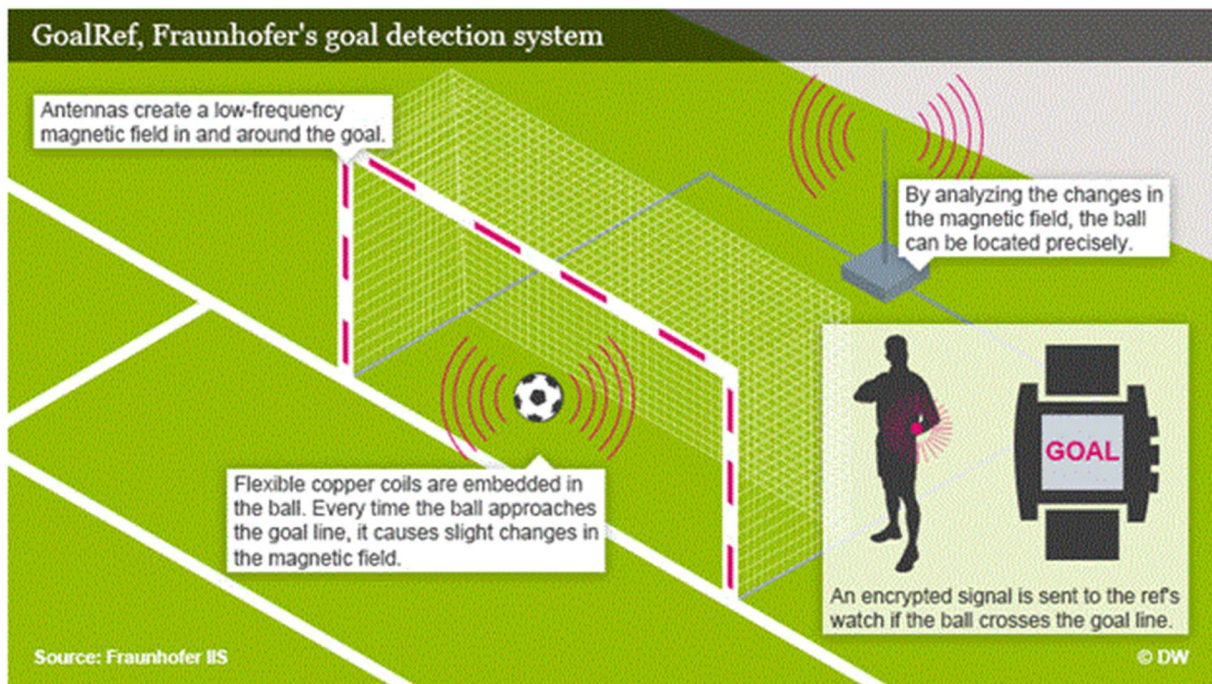
Εικόνες



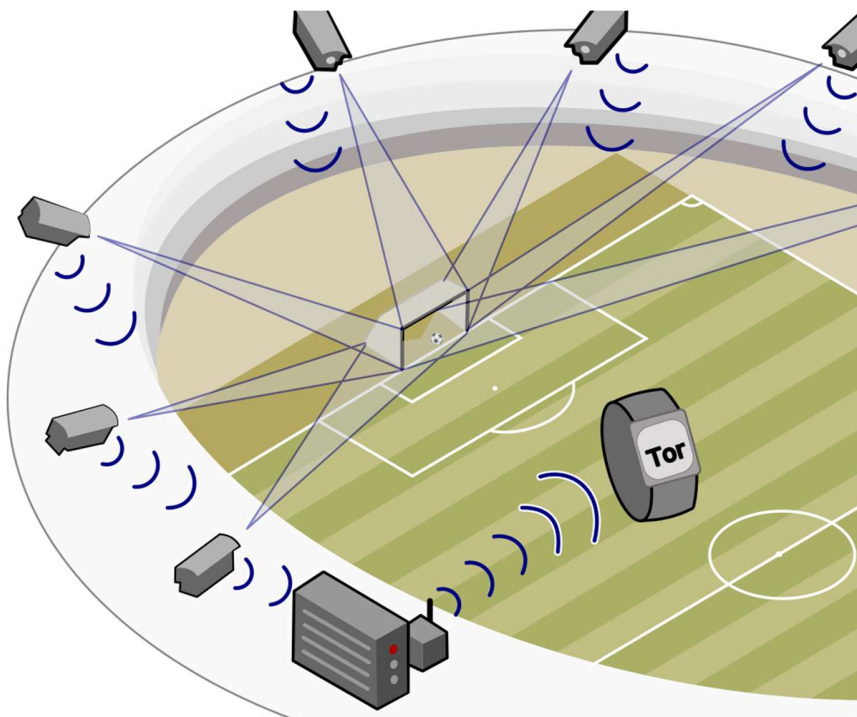
Εικόνα 1. Cairos GLT System [Πηγή: <http://www.drishtias.com/upsc-exam-gs-resources-Goal-Line-Technologies>]



Εικόνα 2. Goalminder [Πηγή: <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-the-goal-line-technology-work.html>]



Εικόνα 3. GoalRef [Πηγή: <http://www.dw.com/en/fifa-picks-goalcontrol-for-brazil-2014/a-16714271>]



Εικόνα 4. Hawk Eye / GoalControl

[Πηγή: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Goalcontrol.svg>]

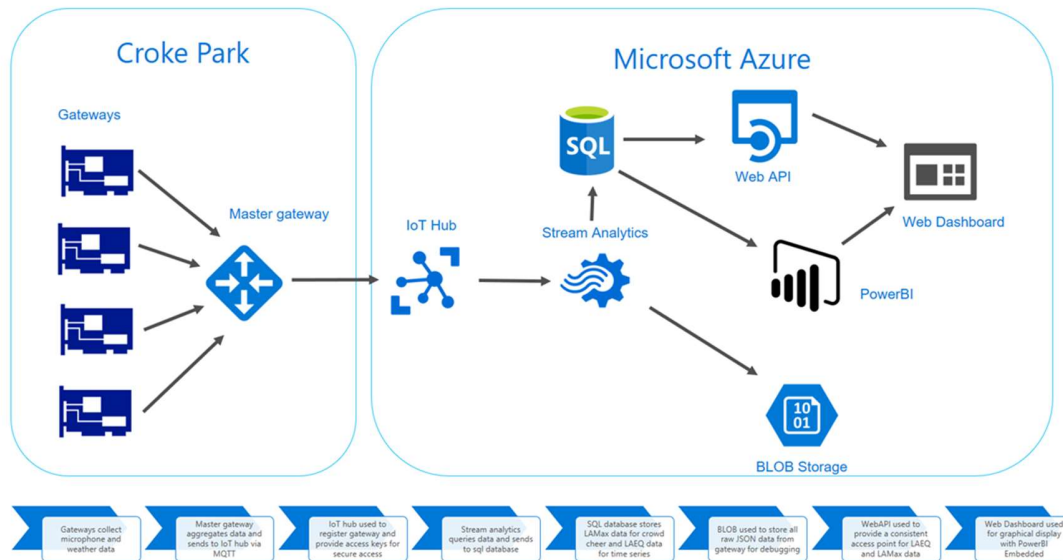


Εικόνα 5. Adidas MiCoach Elite System

[Πηγή: <https://www.theverge.com/2012/7/20/3171410/adidas-micoach-elite-system-major-league-soccer>]

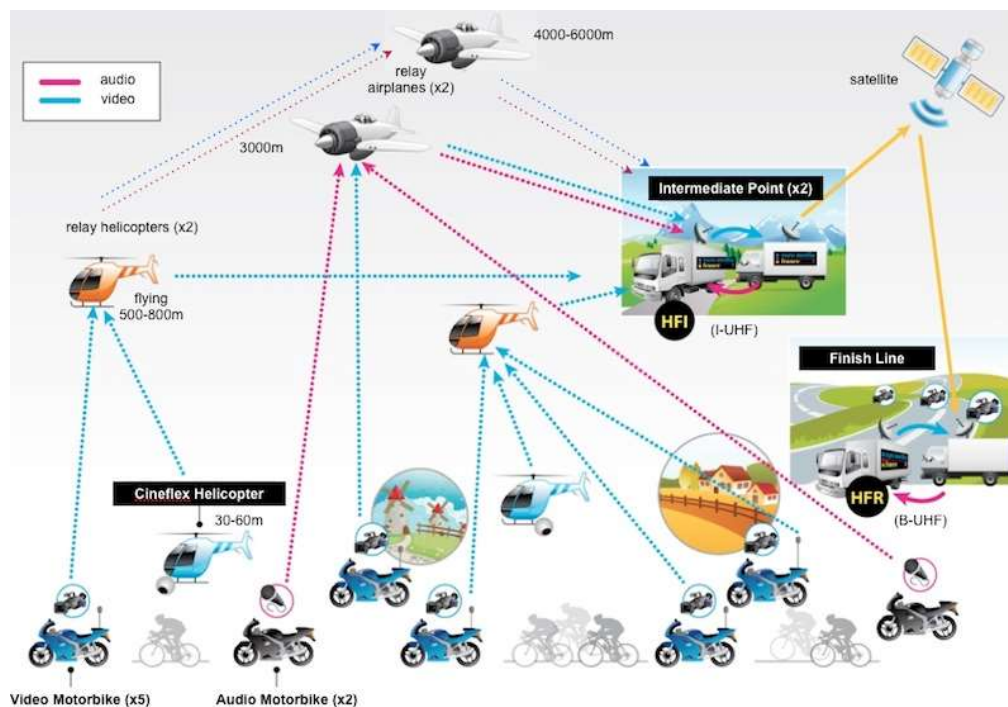


Εικόνα 6. Smart Stadium [Πηγή: <https://wiprodigital.com/2017/02/23/whitepaper-connected-stadium-solutions/>]



Εικόνα 7. Croke Park Intelligent Stadium

[Πηγή: <https://microsoft.github.io/techcasestudies/iot/2016/10/28/CrokePark.html>]



Εικόνα 8. Tdf Broadcast Network [Πηγή: <http://www.ehfv.nl/nieuws/44/helikopters-tour-de-france-2015>]