



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διαδίκτυο των Ραντάρ – Internet of radars (IoR)

Ανίχνευση έναντι αποστολής με κοινές επικοινωνίες Ραντάρ

Παναγιώτης Παπαδόπουλος
icsd18161@aegean.gr
321/2018161

Ιωάννης Κυριαζής
icsd18107@aegean.gr
321/2018107

Πρωτόκολλα και Αρχιτεκτονικές Διαδικτύου
Μάιος, 2022

Περίληψη

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αποτελείται από διασυνδεδεμένες συσκευές για την ανταλλαγή πληροφοριών μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών. Ένας από τους κύριους φυσικούς αισθητήρες για την κατανόηση του περιβάλλοντος πέρα από τον ορατό κόσμο είναι ένα ραντάρ. Βασικά, τα ραντάρ ήταν πάντα ένα στρατιωτικό εργαλείο για τη διερεύνηση του περιβάλλοντος. Ωστόσο, με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα ραντάρ έχουν γίνει συμβατικά και οικονομικά προσιτά για χρήση σε ένα κτίριο, σε αυτοκίνητο, σε drone ή ακόμα και σε ρολόι χειρός. Στο εγγύς μέλλον, πλατφόρμες IoT εξοπλισμένες με ραντάρ θα αρχίσουν να εμφανίζονται όλο και περισσότερο. Για κάθε πλατφόρμα IoT, απαιτείται διπλή χρήση φάσματος με διπλό διάφραγμα για την ανίχνευση και την επικοινωνία κατά τη χρήση συμβατικών προσεγγίσεων. Οι εκπομπές από το ραντάρ και τα κυκλώματα επικοινωνίας είναι οι κύριες αιτίες της αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας για οποιαδήποτε συσκευή IoT ανίχνευσης με την βοήθεια ραντάρ. Επιπλέον, ένας αυξανόμενος αριθμός ραντάρ προκαλεί συμφόρηση φάσματος και η σύγκλιση ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ ραντάρ και συστημάτων επικοινωνίας καθίσταται πιο πιθανό να εμφανιστεί. Τα τελευταία χρόνια, πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες έχουν προτείνει τη χρήση της απλής κυματομορφής για την αντίληψη του περιβάλλοντος και την αποστολή πληροφοριών. Συχνά ονομάζονται συστήματα «από κοινού επικοινωνίας με την χρήση ραντάρ» (JRC - Joint Radar-Communication). Ως αποτέλεσμα των πιο πρόσφατων εξελίξεων στους σχεδιασμούς συστημάτων του JRC, οι πλατφόρμες IoT με ραντάρ ανιχνευτές μπορούν τώρα να μετατραπούν σε «Διαδίκτυο Ραντάρ» (IoR - Internet of Radars). Αυτό το άρθρο είναι μια προσπάθεια εισαγωγής μιας προοπτικής ερευνητικής κατεύθυνσης προκειμένου να αναπτυχθούν οι αρχιτεκτονικές που είναι απαραίτητες για να καταστεί δυνατή η ιδέα του IoR. Σε αυτό το άρθρο, παρουσιάζουμε μια σύντομη έρευνα των τεχνολογιών του JRC που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές IoT με δυνατότητα ανίχνευσης χρησιμοποιώντας ραντάρ. Στη συνέχεια προτείνονται πιθανοί τομείς εφαρμογής, προκλήσεις για την ενεργοποίηση του JRC και μελλοντικές προοπτικές έρευνας.

Κατάλογος Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	4
Κεφάλαιο 2	JRC.....	5
2.1	Συνύπαρξη/Coexistence.....	5
2.2	Συν-Σχεδιασμός/Co-Design.....	5
2.3	Επικοινωνία που χρησιμοποιείται από συστήματα ραντάρ: Rad-Com.....	5
2.4	Ανίχνευση ραντάρ που χρησιμοποιείται από συστήματα επικοινωνίας: Com-Rad.....	6
Κεφάλαιο 3	Πιθανές τοπολογίες για IoR	7
Κεφάλαιο 4	Τομείς Εφαρμογής και Πιθανές Τεχνολογίες του JRC για το IoR	8
4.1	Για Άνθρωπο και Σπίτι.....	8
4.2	Ιατρική και Υγεία.....	9
4.3	Οχήματα.....	9
4.4	Drones.....	10
4.5	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων Ραντάρ.....	10
Κεφάλαιο 5	Προκλήσεις για το IoR.....	11
Κεφάλαιο 6	Μελλοντικές Προοπτικές.....	12
6.1	Αρχιτεκτονική για το IoR.....	12
6.2	Κοινωνικά Γνωστικό Ραντάρ (Socially Cognitive Radar).....	12
Κεφάλαιο 7	Συμπέρασμα.....	14
	Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης.....	15

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Οι ερευνητές στους τομείς των ραντάρ και της ασύρματης επικοινωνίας αναζητούν πάντα διαφορετικά κίνητρα. Αναπτύσσει κανείς τεχνικές για καλύτερη εκτίμηση παραμέτρων στόχου όταν αντιμετωπίζει θόρυβο, συμφόρηση ή παρεμβολές - το άλλο σχεδιάζει μηχανισμούς για την επίτευξη της μέγιστης χωρητικότητας κάτω από θορυβώδες κανάλι. Η ανάπτυξη τεχνολογίας στον τομέα του IoT οδηγεί σε σημαντική αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών. Μετά τις τελευταίες εξελίξεις στις τεχνολογίες system-on-chip (SoC), κυκλοφόρησαν όλο και μικρότερα και πιο συμβατικά ραντάρ. Με αυτήν την εξέλιξη, ένας αυξανόμενος αριθμός ραδιοσυχνοτήτων από συσκευές προκαλεί ένα συμφορημένο φάσμα. Τότε διευρύνεται η δυνατότητα σύγκλισης ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ ραντάρ και συστημάτων επικοινωνίας. Πολλές προσπάθειες για τη διαχείριση του φάσματος έναντι της συμφόρησης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων έχουν δαπανηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Ειδικά, η ανάπτυξη συμβατικών και έξυπνων προϊόντων έχει γίνει η πιο κοινή λύση σε αυτά τα προβλήματα. Η ασύρματη επικοινωνία και τα ραντάρ, καθώς και οι λύσεις συνύπαρξης/συν-σχεδιασμού ραντάρ και επικοινωνίας, είναι τα κύρια παραδείγματα για αυτόν τον σκοπό. Οι επιστήμονες διεξάγουν έρευνα σχετικά με την ευκαιριακή πρόσβαση στο φάσμα, τον μετριασμό των παρεμβολών και τους βελτιστοποιημένους σχεδιασμούς δεκτών. Πρόσφατα, αξιοσημείωτη προσοχή έχει αιχμαλωτιστεί από την ιδέα της συγχώνευσης ραντάρ και λειτουργιών επικοινωνίας μέσα στην ίδια πλατφόρμα, δηλαδή «Από κοινού επικοινωνίες με την χρήση ραντάρ» (JRC). Ένα σύστημα JRC δίνει μια σημαντική ευκαιρία για τη μείωση της χρήσης του φάσματος, την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους προϊόντος, ενώ εκτελούνται ταυτόχρονες λειτουργίες όπως η ανίχνευση στόχων μέσω επεξεργασίας και δημιουργίας συνδέσμων με την βοήθεια ραντάρ. Οι προοπτικές που βασίζονται στη θεωρία πληροφοριών έχουν υιοθετηθεί στα ραντάρ για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης ραντάρ και επικοινωνίας ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι χρονικές, φασματικές και χωρικές προσεγγίσεις επεξεργασίας διερευνώνται επί του παρόντος για διαφορετικές εφαρμογές ραντάρ. Οι νέες μέθοδοι του JRC έχουν αρχίσει να επικεντρώνονται γύρω από τις τεχνικές βελτιστοποίησης. Οι ερευνητές επικεντρώνονται στην εύρεση ενός βελτιστοποιημένου τρόπου αποστολής πληροφοριών σε έναν δέκτη κατά την ανίχνευση. Λόγω της ετερογενούς τοπολογίας του, το περιβάλλον του IoT μπορεί να παρουσιάσει προκλήσεις όσον αφορά την επιλογή προτεραιότητας για ανίχνευση έναντι αποστολής. Οι τεχνικές του JRC φαίνεται να είναι ένας βολικός τρόπος για να ξεπεραστούν προβλήματα συμφόρησης φάσματος και κατανάλωσης ενέργειας για συσκευές IoT λόγω του μηχανισμού ενιαίας εκπομπής τους. Επιπλέον, οι τρέχουσες τεχνικές, που είναι τελευταίας τεχνολογίας, θα πρέπει να αναθεωρηθούν λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους περιορισμούς για την υλοποίηση συσκευών IoT. Ορισμένες εφαρμογές, για παράδειγμα, η ανίχνευση της αναπνοής και του καρδιακού παλμού, απαιτούν ειδικές κυματομορφές ραντάρ για την αποτελεσματική λήψη ζωτικών παραμέτρων. Ως εκ τούτου, είναι μια λεπτή διαδικασία η τροποποίηση της κυματομορφής ώστε να μεταφέρει πληροφορίες χωρίς να διαταραχθεί η διαδικασία μέτρησης. Ωστόσο, ορισμένες εφαρμογές (π.χ. αυτόνομη οδήγηση και διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας) απαιτούν την ανταλλαγή τεράστιου όγκου δεδομένων σε ένα περιβάλλον υψηλής κινητικότητας. Τα τυποποιημένα ραντάρ ή κυματομορφές επικοινωνίας παρουσιάζουν περιορισμένη ικανότητα με τις σύγχρονες τεχνικές του JRC να επιτύχουν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και ικανότητες ανίχνευσης. Αυτό το νέο πρόβλημα ωθεί τη δημιουργία μιας νέας ιδέας, του Διαδικτύου των Ραντάρ (IoR). Η ιδέα του IoR οδήγησε στην ανάπτυξη ενός εντελώς νέου συμβιβαστικού περιβάλλοντος, όπου και οι δύο πλευρές θα πρέπει να αρχίσουν να συμφωνούν. Ο ρόλος του IoR προκύπτει για την εναρμόνιση αυτών των αμοιβαίων αναγκών που προέρχονται από συσκευές IoT ανίχνευσης με την βοήθεια ραντάρ. Αυτό το άρθρο οργανώνεται ως εξής. Παρουσιάζουμε μια σύντομη επισκόπηση των απαιτούμενων τεχνολογιών του JRC και πιθανών τοπολογιών για την ενεργοποίηση του IoR. Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικά οι τομείς εφαρμογής και οι προκλήσεις. Τέλος, συζητάμε τις μελλοντικές ερευνητικές προοπτικές για την έννοια του IoR.

Κεφάλαιο 2. Τεχνολογίες JRC

Ένα σύστημα JRC μπορεί να αποτελέσει οικονομικά αποδοτική λύση με ταυτόχρονη λειτουργία, όπως ανίχνευση στόχων μέσω επεξεργασίας και δημιουργίας συνδέσμων επικοινωνίας με την βοήθεια ραντάρ. Χωρίσαμε τις τεχνολογίες του JRC σε τέσσερις ομάδες όσον αφορά τους χρησιμοποιούμενους τύπους κυματομορφών, δηλαδή συνύπαρξη, συν-σχεδιασμό, Rad-Com και Com-Rad.

2.1: Συνύπαρξη/Coexistence

Οι ερευνητές προσπαθούν να βρουν νέες τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων μετριασμού παρεμβολών ραντάρ και επικοινωνιών και διαχείρισης φάσματος. Μερικές από αυτές τις τεχνικές είναι η ευκαιριακή πρόσβαση στο φάσμα, η εκτίμηση των καναλιών παρεμβολής και ο βέλτιστος σχεδιασμός δέκτη. Κυρίως οι προσπάθειες αυτές δαπανώνται για την αξιοποίηση των συστημάτων επικοινωνίας. Οι τρέχουσες περιοχές εφαρμογής IoT με δυνατότητα ανίχνευσης χρησιμοποιώντας ραντάρ δεν έχουν επικαλυπτόμενες ζώνες συχνοτήτων. Ωστόσο, μετά τις προσπάθειες τυποποίησης των ζωνών 5G New Radio (NR), οι ζώνες ραντάρ και επικοινωνίας ενδέχεται να επικαλύπτονται μεταξύ τους και οι λύσεις συνύπαρξης μπορεί να είναι εφικτές να εφαρμοστούν στο IoR.

2.2: Συν-Σχεδιασμός/Co-Design

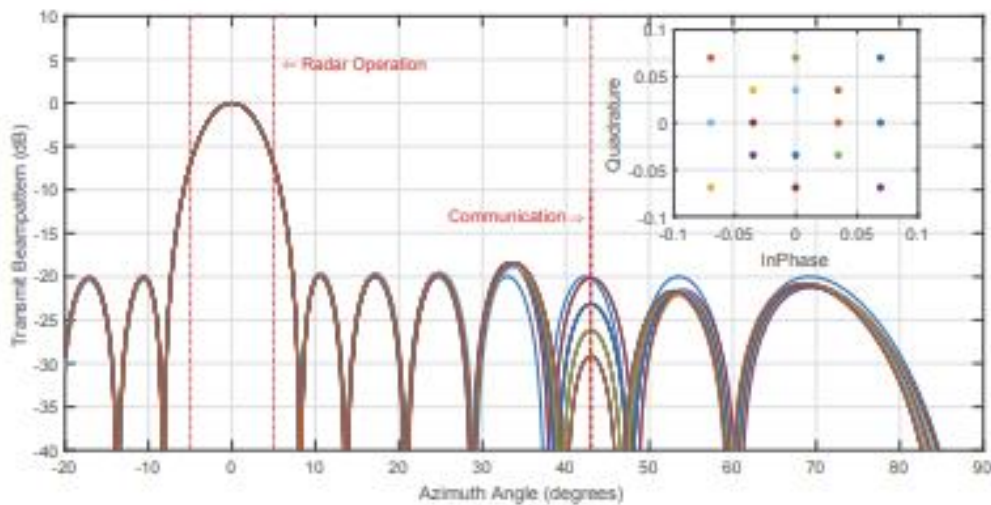
Μια σημαντική πολλά υποσχόμενη λύση συστήματος για το πρόβλημα σύγκλισης ραδιοσυχνοτήτων είναι η συγχώνευση των δυνατοτήτων ραντάρ και επικοινωνίας σε μια ενιαία κυματομορφή. Οι λύσεις συν-σχεδιασμού στοχεύουν στην εύρεση ενός κατάλληλου μοναδικού συνόλου κυματομορφών για την καλύτερη λειτουργία για συστήματα JRC χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτιστοποίησης, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες χωρικές, χρονικές ή φασματικές παραμέτρους. Η βελτιστοποίηση μπορεί να δημιουργηθεί με βάση την απόδοση επικοινωνίας και παρακολούθησης στόχου, καθώς και το επίπεδο παρεμβολών στους δέκτες.

2.3: Επικοινωνία που χρησιμοποιείται από συστήματα ραντάρ: Rad-Com

Για συστήματα rad-com, έχουν προταθεί αρκετές τεχνικές με την πάροδο των ετών για διαφορετικούς τύπους συστημάτων ραντάρ με διαφορετικές τοπολογίες. Σχεδόν όλοι οι τύποι ραντάρ και όλοι οι τύποι διαμόρφωσης υπόκεινται σε αυτόν τον ερευνητικό τομέα. Κυρίως, οι προσπάθειες επικεντρώνονται σε βελτιώσεις στον ρυθμό δεδομένων, στους τύπους διαμόρφωσης και στη διαφάνεια στη λειτουργία του ραντάρ. Βασικά, οι προτεινόμενες τεχνικές χωρίζονται σε δύο ομάδες.

Ενσωματωμένη ποικιλομορφία κυματομορφών πληροφοριών: Η παλαιότερη τεχνική είναι η ενσωμάτωση πληροφοριών σε εκπομπή ραντάρ. Σε αυτή τη μέθοδο, οι πληροφορίες μπορούν να μεταδοθούν προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος μέσω εκπομπής μιας κυματομορφής κατά τη διάρκεια κάθε παλμού ραντάρ από μια ομάδα προκαθορισμένων κυματομορφών. Παρά την απλότητα της εφαρμογής της μεθόδου, αυτό το σχήμα διαμόρφωσης υποβαθμίζει την ορατότητα του στόχου λόγω της διαμόρφωσης του εύρους του πλευρικού λοβού (RSM - Range Sidelobe Modulation) που προκαλείται από τη μεταβαλλόμενη κυματομορφή κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος συνεκτικής επεξεργασίας (CPI - Coherent Processing Interval). Για τη μείωση του RSM, αρκετές προσεγγίσεις ενσωμάτωσης πληροφοριών έχουν εισαχθεί στη βιβλιογραφία. Περαιτέρω, έχουν προταθεί διάφορα σχήματα ενδοπαλμικής διαμόρφωσης, όπως η δυαδική διαμόρφωση ολίσθησης φάσης (BPSK - Binary Phase Shift Keying) και η διαμόρφωση ελάχιστης ολίσθησης (MSK - Minimum Shift Keying), για τη μεταφορά συμβόλων πληροφοριών για κυματομορφές ραντάρ διαμορφωμένης συχνότητας. Ο κύριος στόχος αυτών των λύσεων είναι να μην διαταραχθεί η λειτουργία του ραντάρ.

Κατασκευή συμβόλων μέσω μορφοποίησης δέσμης εκπομπής: Ο αριθμός των ραντάρ συστοιχίας φάσης (PARs - Phased Array Radars) στο πεδίο λειτουργίας αυξάνεται σημαντικά λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, όπως η δυνατότητα ψηφιακής διαμόρφωσης δέσμης στον δέκτη και η ευέλικτη δέσμη της κεραίας. Ο χειρισμός των παραμέτρων κάθε κεραίας για την παροχή διακυμάνσεων στα επίπεδα του πλευρικού λοβού (SLL - Side Lobe Levels) προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος σε βάση παλμού-σε-παλμό παρουσιάζει μια σημαντική ευκαιρία για τη μετάδοση πληροφοριών. Χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης SLL, οι τεχνικές διαμόρφωσης πλάτους (AM - Amplitude Modulation), διαμόρφωσης ολίσθησης φάσης (PSK - Phase-shift Keying) και τετραγωνικής AM (QAM - Quadrature Amplitude Modulation) γίνονται εφαρμόσιμες για PAR. Ωστόσο, αυτές οι διαμορφώσεις θα δώσουν την ευκαιρία αποστολής μόνο ενός συμβόλου επικοινωνίας ανά παλμό ραντάρ. Πρόσφατα, έχουν διεξαχθεί αρκετές ερευνητικές μελέτες για την επέκταση αυτής της μεθόδου σε ραντάρ πολλαπλών εισόδων πολλαπλής εξόδου (MIMO - Multiple-Input Multiple-Output) που χρησιμοποιούν διαφοροποίηση κυματομορφής για να αυξήσουν τον ρυθμό δεδομένων. Στη συνέχεια, οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι πολλά megabit πληροφοριών μπορούν να μεταφερθούν χρησιμοποιώντας την ποικιλομορφία κυματομορφών ραντάρ MIMO. Το Σχήμα 1 δείχνει ένα παράδειγμα μοτίβου δέσμης μετάδοσης συνεκτικού ραντάρ MIMO που βασίζεται σε διαμόρφωση SLL. Τα σύμβολα 16-QAM δημιουργούνται στον πλευρικό λοβό του μοτίβου δέσμης με διάταξη μετάδοσης 16 στοιχείων.



2.4: Ανίχνευση ραντάρ που χρησιμοποιείται από συστήματα επικοινωνίας: Com-Rad

Κυρίως, τα συστήματα επικοινωνίας που βασίζονται σε ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) οδηγούν τη βασική τάση συγχώνευσης της έρευνας ανίχνευσης ραντάρ και επικοινωνίας, καθώς οι κυματομορφές OFDM μπορούν να παρέχουν αξιοσημείωτη απόδοση στην ανίχνευση και την απεικόνιση ραντάρ ως αποτέλεσμα της χρήσης κυματομορφών πολλαπλών φορέων. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν κυματομορφές OFDM ως σήμα ευκαιρίας για λειτουργία ανίχνευσης. Για να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση ραντάρ με τις κυματομορφές OFDM, οι ερευνητές προσπαθούν να αναπτύξουν νέες μεθόδους για να ξεπεράσουν τα μεγάλα μειονεκτήματα που εισάγονται από τις πληροφορίες που μεταφέρονται στις κυματομορφές OFDM. Πρώτον, η αξιόπιστη ανίχνευση ραντάρ δεν μπορεί να είναι δεδομένη καθώς οι ιδιότητες συσχέτισης της κυματομορφής OFDM εξαρτώνται πλήρως από τις πληροφορίες. Ένα άλλο μειονέκτημα προέρχεται από τους υψηλούς πλευρικούς λοβούς στο προφίλ εμβέλειας λόγω της Auto-Correlation Function (ACF - συνάρτηση αυτό-συσχέτισης) η οποία ορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα σημεία δεδομένων σε μια χρονοσειρά σχετίζονται, κατά μέσο όρο, με τα προηγούμενα σημεία δεδομένων. Για να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα, προτείνονται διάφορες τεχνικές επεξεργασίας ραντάρ OFDM. Αν και η δίκαιη απόδοση του ραντάρ μπορεί να επιτευχθεί με τις κυματομορφές OFDM, μπορούν να παρέχουν τεράστιο εύρος ζώνης δεδομένων. Ως εκ τούτου, ορισμένοι ερευνητές εστιάζουν επίσης σε κυματομορφές τύπου OFDM με ταυτόχρονη λειτουργία.

Κεφάλαιο 3. Πιθανές τοπολογίες για IoR

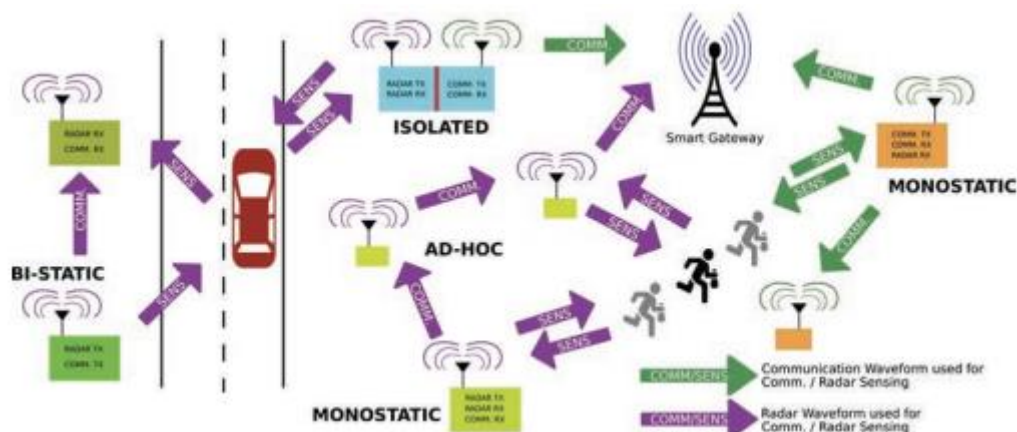
Στην αγορά μπορούν να βρεθούν διάφοροι τύποι, μεγέθη και συσκευές IoT ανίχνευσης χρησιμοποιώντας ραντάρ για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι περισσότερες συσκευές εξοπλισμένες με ραντάρ απαιτούν από το Διαδίκτυο να προσεγγίζει βάσεις δεδομένων για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες. Για τη δημιουργία σύνδεσης στο Διαδίκτυο, οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν με πύλες ή μεταξύ τους σε διαφορετικές τοπολογίες. Αυτές οι τοπολογίες συζητούνται λεπτομερώς παρακάτω.

Isolated: Οι πρόσφατες λύσεις περιλαμβάνουν ξεχωριστά κυκλώματα επικοινωνίας και ραντάρ που χρησιμοποιούν τον τρόπο απομόνωσης του φάσματος μέσω της επίλυσης ζητημάτων μετριάσμου παρεμβολών. Τα ραντάρ είναι εντελώς αποκομμένα από την επικοινωνιακή υποδομή. Οι υπηρεσίες Bluetooth, RFID, WiFi και τηλεφωνικών δεδομένων είναι οι πιο κοινές ασύρματες τεχνολογίες που είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά δεδομένων που σχετίζονται με το ραντάρ σε υπηρεσίες cloud.

Monostatic: Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες του JRC προτείνονται για περιπτώσεις όπου τα κυκλώματα πομπού και δέκτη βρίσκονται στην ίδια συσκευή (δηλαδή μονοστατική αρχιτεκτονική). Η συνεκτική επεξεργασία ραντάρ μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα λόγω της έλλειψης συγχρονισμού. Αυτό κάνει το monostatic την πιο εύκολη τοπολογία για εφαρμογή στο IoR.

Bistatic: Η τοπολογία IoR μπορεί να μετρηθεί ως διστατική όταν ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται χωριστά ο ένας από τον άλλο σε σημαντική απόσταση. Η διστατική τοπολογία μπορεί να απαιτείται για σκοπούς εκπομπής για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αξιοποιώντας τα κυκλώματα πομπού και δέκτη ως ξεχωριστές συσκευές. Επιπλέον, η διστατική τοπολογία μπορεί να προσφέρει πληροφορίες πολλαπλών προοπτικών από τον στόχο. Ωστόσο, απαιτείται συγχρονισμός υψηλής ταχύτητας για διστατική λειτουργία. Αν και υπάρχουν αρκετές δυσκολίες, όπως ο συγχρονισμός, το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι το διστατικό ραντάρ μπορεί εγγενώς να ανιχνεύσει το κανάλι χωρίς να χρειάζεται κανένας άλλος μηχανισμός. Επομένως, αυτή η εγγενής διαδικασία εκτίμησης σίγουρα μπορεί να υποστηρίξει τα προβλήματα εξισορρόπησης της επικοινωνίας.

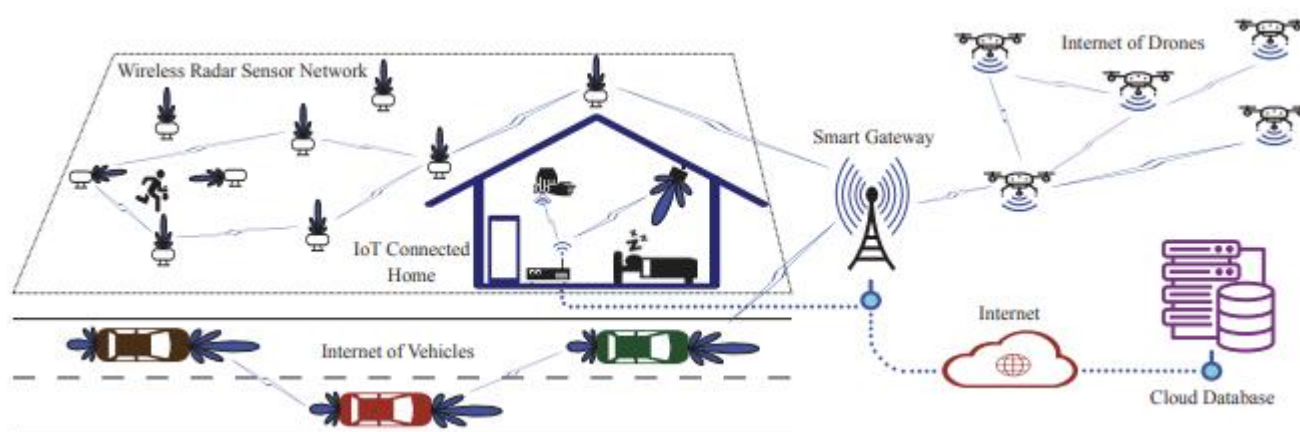
Ad Hoc: Αυτή η τοπολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι συσκευές έχουν περιορισμένη εμβέλεια επικοινωνίας ή όταν μια έξυπνη πύλη βρίσκεται σε σχετικά μακρινή απόσταση. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ραντάρ (WRSN - Wireless Radar Sensor Network) μπορεί να μετρηθεί ως κύρια περίπτωση της ad hoc τοπολογίας. Οι κόμβοι ραντάρ λειτουργούν με συλλογικό τρόπο για να ενισχύσουν τις δικές τους δυνατότητες ανίχνευσης ραντάρ. Κάθε κόμβος πρέπει να συμμορφώνεται με το σχήμα δρομολόγησης του για να προσεγγίσει αποτελεσματικά το Διαδίκτυο μέσω ενός κόμβου.



Κεφάλαιο 4. Τομείς Εφαρμογής και Πιθανές Τεχνολογίες του JRC για το IoR

4.1: Για Άνθρωπο και Σπίτι

Μεγάλο ποσό ιατρικών δαπανών έχει δαπανηθεί όλα αυτά τα χρόνια λόγω μη θανατηφόρων τραυματισμών στο οικιακό περιβάλλον. Οι περισσότεροι τραυματισμοί συμβαίνουν στα μπάνια των ηλικιωμένων. Για να διατηρηθούν ασφαλείς, μπορεί να απαιτείται παρακολούθηση στο μπάνιο. Ωστόσο, η τοποθέτηση καμερών δεν αποτελεί επιλογή λόγω προβλημάτων απορρήτου. Ως εκ τούτου, τα ραντάρ μπορούν να είναι ένας καλός υποψήφιος για την παρακολούθηση ατόμων στα σπίτια τους ή σχολεία χωρίς παραβίαση του δικαιώματος στην ιδιωτική ζωή. Το ραντάρ μπορεί να εξαλείψει τα προβλήματα απορρήτου που προκαλεί η κάμερα. Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες τσιπ καθιστούν δυνατή τη χρήση ραντάρ στα σπίτια μας ως αισθητήρες επιτήρησης. Αυτά τα ραντάρ μπορούν να ανιχνεύσουν ένα άτομο που αναπνέει και να αναγνωρίσουν τις χειρονομίες του ακόμα κι αν βρίσκονται πίσω από τοίχους, καπνό και ατμό. Αυτά τα συστήματα απαιτούν εκπομπή ασύρματων κυματομορφών για να λειτουργήσουν. Ωστόσο, υπάρχουν και εφαρμογές παθητικού ραντάρ που λειτουργούν ως σύστημα συναγερμού σπιτιού. Αυτά τα παθητικά ραντάρ χρησιμοποιούν σήματα επικοινωνίας ως ευκαιρία ανίχνευσης κινήσεων σε ένα οικιακό περιβάλλον. Οι προσωπικές συσκευές IoR είναι μικρού μεγέθους και συμβατικά gadgets, και η εμβέλεια ανίχνευσης είναι μικρή. Αυτά τα ραντάρ βρίσκονται σε μια έξυπνη φορητή συσκευή (δηλαδή, ένα έξυπνο ρολόι). Ενδέχεται να απαιτείται υψηλός ρυθμός δεδομένων για αυτά τα wearables. Στο παράδειγμα του έξυπνου ρολογιού με έλεγχο χειρονομίας με το δάχτυλο, οι εκπομπές περιορίζονται κυρίως σε κάποιο επίπεδο. Επομένως, δεν φαίνεται εφικτή η δημιουργία σύνδεσης με υψηλά ποσοστά. Όσον αφορά τις τρέχουσες τεχνολογίες του JRC, έχουμε προτείνει τη χρήση διπλού κυκλώματος (δηλαδή απομονωμένης τοπολογίας) για αυτές τις εφαρμογές. Ωστόσο, το JRC που βασίζεται στη συνύπαρξη μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί για την επίτευξη προηγμένων κοινών αποστολών. Επιπλέον, για εφαρμογές οικιακής ανίχνευσης, έχουν ήδη προταθεί σήματα WiFi για σκοπούς παρακολούθησης, ανίχνευσης παρουσίας και ανίχνευσης πτώσης. Οι τεχνικές Com-Rad JRC μπορούν να εφαρμοστούν με ορισμένες τροποποιήσεις για τη βελτίωση της απόδοσης ανίχνευσης.



4.2: Ιατρική και Υγεία

Πρόσφατες μελέτες αποκαλύπτουν ότι οι ιατρικές συσκευές ανίχνευσης με την βοήθεια ραντάρ μπορούν να είναι χρήσιμες στην ιατρική απεικόνιση για την παρακολούθηση ενός όγκου κατά τη διάρκεια της ακτινοθεραπείας. Τα ραντάρ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση ζωτικών σημείων εξ αποστάσεως. Αυτά τα ραντάρ είναι ικανά να ανιχνεύουν τις κινήσεις του θώρακα ενός ακίνητου ατόμου που προκαλούνται από καρδιοπνευμονικές δραστηριότητες. Η αναπνοή και οι καρδιακοί παλμοί μπορούν να εκτιμηθούν χωρίς να συνδεθεί καμία συσκευή με ένα άτομο. Οι περισσότερες από τις λύσεις χρησιμοποιούν τεχνολογία υπερευρείας ζώνης (UWB - Ultra WideBand) για να επιτύχουν ανάλυση χιλιοστών. Η τεχνολογία UWB βοηθά το ραντάρ να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις χαμηλής ισχύος ως αισθητήρας IoT. Η χρήση αυτών των αισθητήρων στο σπίτι μας είναι ένα πολύ λεπτό ζήτημα. Η τεχνολογία JRC μπορεί να είναι μια εξαιρετική λύση για τη διατήρηση της ισχύος μετάδοσης χαμηλότερη από τα όρια ανθρώπινης ασφάλειας, επιτυγχάνοντας παράλληλα μετρίου επιπέδου εύρος. Οι τρέχουσες ιατρικές συσκευές IoR μπορούν να μετρήσουν πολύ μικρές κινήσεις κάτω από οποιοδήποτε ρούχο χρησιμοποιώντας τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας UWB. Αν και η κύρια αποστολή είναι η ανίχνευση χρησιμοποιώντας ραντάρ, η μεμονωμένη εκπομπή ενδέχεται να μην ισχύει λόγω της κατευθυντικότητας της κεραίας και των επιπέδων ισχύος. Επιπλέον, η κατευθυντική εκπομπή UWB μικρής εμβέλειας μπορεί να αποτρέψει τη δημιουργία οποιασδήποτε σύνδεσης επικοινωνίας. Οι τεχνικές συνύπαρξης JRC προτείνονται για ιατρικές συσκευές IoR στον Πίνακα παρακάτω.

4.3: Οχήματα

Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία IoT έχει ενσωματωθεί σε κάθε όχημα. Η τεχνολογία Vehicle-to-Vehicle (V2V) αντικαθίσταται ελαφρώς από το όχημα προς την κάθε οντότητα που μπορεί να επηρεάσει ή μπορεί να επηρεαστεί από το όχημα (V2X). Τώρα, το Διαδίκτυο των Οχημάτων (IoV) ορίζεται ως η επικοινωνία οχημάτων, υποδομών, δικτύων και φορητών συσκευών που μεταφέρονται από πεζούς χρησιμοποιώντας την τεχνολογία V2X. Μέχρι στιγμής, προτείνονται μόνο δύο πρότυπα επικοινωνίας για το V2X: IEEE-802.11p (αποκλειστικές επικοινωνίες μικρής εμβέλειας, DSRC) και 3rd Generation Partnership Project (3GPP) C-V2X. Για συνδεδεμένα και αυτοματοποιημένα οχήματα (CAV), τα LiDAR, τα ραντάρ αυτοκινήτων και οι οπτικές κάμερες είναι οι πιο σημαντικοί αισθητήρες για τη διασφάλιση της ασφάλειας. Οι οπτικές κάμερες ενδέχεται να δημιουργήσουν λανθασμένα αποτελέσματα όταν το ηλιακό φως χτυπά τον συμπληρωματικό αισθητήρα ημιαγωγού οξειδίου μετάλλου (CMOS). Ο εξοπλισμός συστημάτων με LiDAR φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση για την εξαγωγή τρισδιάστατης χαρτογράφησης για την ταξινόμηση αντικειμένων γύρω από το όχημα. Ωστόσο, τα συστήματα LiDAR δεν μπορούν να διακρίνουν αντικείμενα ή σήμανση λωρίδας κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες. Το ραντάρ θα γίνει βασικός παράγοντας για την εκπλήρωση των απαιτήσεων ασφαλείας από το ISO 26262 υπό όλες τις καιρικές συνθήκες. Στην αγορά υπάρχουν διάφοροι τύποι ραντάρ αυτοκινήτων. Τα μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας μας βοηθούν στην παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για την προσαρμογή του cruise control, του έκτακτου φρεναρίσματος και των εξαιρετικά αυτοματοποιημένων λειτουργιών που αφορούν την οδήγηση στον αυτοκινητόδρομο. Τα εξαιρετικά μικρής και μικρής εμβέλειας χρησιμοποιούνται για στάθμευση, ειδοποιήσεις cross-traffic, υποβοήθηση αλλαγής λωρίδας, ανίχνευση τυφλού σημείου και συστήματα αποφυγής σύγκρουσης. Επίσης, οι εφαρμογές ελέγχου χειρονομιών, ανίχνευσης επιβατών και παρακολούθησης οδηγού μπορούν να γίνουν από ραντάρ εγγύτητας. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν την ανταλλαγή σημαντικών ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται από ραντάρ και ποικίλλουν από kilobit έως εκατοντάδες megabit. Μέχρι τώρα, οι κυματομορφές επικοινωνίας που περιγράφονται στα πρότυπα IEEE 802.16p και IEEE 802.16ad αξιοποιούνται για σκοπούς ραντάρ. Οι ερευνητές προτείνουν νέους τρόπους χρήσης κυματομορφής V2V ως ευκαιρία ανίχνευσης και παρακολούθησης στόχων, καθώς και σχηματισμού εικόνων ραντάρ. Λόγω των προσπαθειών τυποποίησης του V2X, δεσμεύεται η ζώνη C με μέγιστο εύρος ζώνης 80 MHz. Ως εκ τούτου, όλο και περισσότεροι αισθητήρες σε ένα όχημα σημαίνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης που απαιτείται στο εγγύς μέλλον. Οι εκχωρημένες ζώνες κυμάτων χιλιοστών (mmWave) για ραντάρ αυτοκινήτων φαίνονται κατάλληλες για να παρέχουν αξιοσημείωτο εύρος ζώνης για επικοινωνία. Επί του παρόντος, οι ερευνητές καταβάλλουν περισσότερες προσπάθειες για να βρουν τεχνικές για υψηλότερες μπάντες (ζώνες συχνοτήτων) για την υποστήριξη του JRC. Λόγω του υψηλού ρυθμού δεδομένων και των απαιτήσεων κινητικότητας για το V2X, οι τεχνικές Com-Rad JRC μπορούν να επιλεγούν για τα οχήματα στο IoR. Ωστόσο, η επίτευξη της καλύτερης απόδοσης απεικόνισης και παρακολούθησης ραντάρ είναι επίσης ζωτικής σημασίας για λόγους ασφαλείας.

Επομένως, οι λύσεις συν-σχεδιασμού εμφανίζονται ως η καλύτερη επιλογή για τις εφαρμογές οχημάτων του IoR. Επιπλέον, πρέπει να αναπτυχθούν νέοι τύποι σχημάτων μεσαίας πρόσβασης για την επίτευξη της βελτιστοποίησης του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της απόδοσης ανίχνευσης.

4.4: Drones

Στις μέρες μας, τα drones έχουν προσελκύσει μεγάλη προσοχή λόγω της ικανότητάς τους να επισκέπτονται περιοχές που είναι δύσκολο να προσεγγιστούν με παραδοσιακές μεθόδους. Σύντομα, εκατομμύρια drones προβλέπεται να κατακλύσουν όλο τον κόσμο. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τις οποίες χρησιμοποιούνται drones. Η παράδοση πακέτων, η ασφάλεια των συνόρων, η επιτήρηση, η έρευνα και διάσωση, η γεωργία και η ψυχαγωγία μπορούν να αποτελέσουν μερικές από τις κύριες εφαρμογές για drone. Λόγω της παγκόσμιας χρηστικότητάς του, οι ερευνητές έχουν αρχίσει να εργάζονται για τη διαχείριση του εναέριου χώρου και τον συντονισμό των εναέριων οχημάτων μέσω τεχνολογιών όπως η επικοινωνία ADS-B και V2V. Σε αυτό το σημείο, προτείνεται η ιδέα του Διαδικτύου των Drones (IoD). Το IoD είναι μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική ελέγχου δικτύου σχεδιασμένη για τη ρύθμιση της εναέριας κυκλοφορίας παρέχοντας υπηρεσίες τοποθεσίας. Παρά όλες αυτές τις προσπάθειες, εξακολουθούν να χρειάζονται αισθητήρες αποφυγής σύγκρουσης το μη επανδρωμένο αεροσκάφος για τη διασφάλιση της ακεραιότητάς του. Λόγω της απόδοσής του κάτω από έντονες καιρικές συνθήκες, το ραντάρ χρησιμοποιείται ως αισθητήρας αποφυγής σύγκρουσης σε drones. Οι ερευνητές προσπαθούν να βρουν νέους τρόπους για την ανάπτυξη συμβατικών και ενεργειακά αποδοτικών ραντάρ για να τα αναπτύξουν ακόμη και σε ένα μικρό μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV). Ωστόσο, όχι μόνο ως αισθητήρας αποφυγής σύγκρουσης, τα ραντάρ μελετώνται επίσης για διάφορους σκοπούς, όπως η επιτήρηση, η απεικόνιση και το υψόμετρο. Η ενεργειακή απόδοση είναι μια σημαντική πτυχή για τα drones. Αντί να μεταφέρετε εξοπλισμό διπλής ραδιοσυχνότητας, ο συνδυασμός ραντάρ και επικοινωνίας σε ένα μόνο ραδιοκύκλωμα θα είναι μια εξαιρετική λύση για εξοικονόμηση περισσότερης ενέργειας. Επομένως, οι λύσεις του JRC θα πρέπει να διερευνώνται κατά τον καθορισμό προτύπων επικοινωνίας και κανονισμών για εφαρμογές IoD. Στο μέλλον, η λειτουργία αίσθησης, αποφυγής και εύρεσης υψομέτρου μπορούν να καλύπτονται από τεχνικές επικοινωνίας επόμενης γενιάς, όπως το 5G NR. Όπως και στα οχήματα, οι τεχνικές Com-Rad JRC εμφανίζονται ως η καλύτερη επιλογή για τις συσκευές IoR στα drones, λόγω του υψηλού ρυθμού δεδομένων και των απαιτήσεων κινητικότητας.

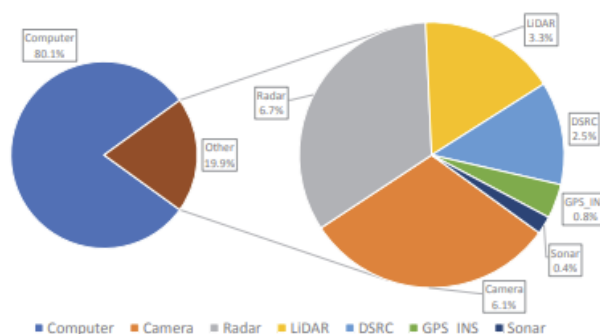
4.5: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ραντάρ

Αν και το IoT δεν αφιερώνει μια συγκεκριμένη υποδομή επικοινωνίας, οι ασύρματες τεχνολογίες αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της. Ειδικότερα, οι εξελίξεις στην τεχνολογία Bluetooth διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της αγοράς προϊόντων IoT. Το μικρό, φθηνό και χαμηλής κατανάλωσης ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) θα φέρει ένα νέο όραμα στον τομέα του IoT για την ανάπτυξη ακόμη και των μικρότερων συσκευών. Η ενσωμάτωση του WSN σε ένα cloud IoT θα είναι μια σημαντική εξέλιξη των WSN. Τα χαμηλής ισχύος και μικρά ραντάρ υπάγονται στον τομέα WSN με την υποστήριξη της τεχνολογίας UWB. Αυτός ο συγκεκριμένος τύπος αρχιτεκτονικής WSN ονομάζεται γενικά ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ραντάρ (WRSN). Χρησιμοποιώντας αυτά τα δικτυωμένα ραντάρ, μπορεί να είναι δυνατός ο ακριβής εντοπισμός, η παρακολούθηση ή ακόμα και η απεικόνιση κινούμενων αντικειμένων σε περιβάλλοντα με ακραίες θερμοκρασίες. Η ενεργειακή απόδοση παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές IoR. Οι μικροί και χαμηλής ισχύος κόμβοι WRSN δεν μπορούσαν να βρουν επαρκή ενέργεια για την πραγματοποίηση διπλού ρόλου λειτουργίας με ξεχωριστά κυκλώματα. Ως εκ τούτου, οι τεχνικές του JRC πρέπει να συνδυαστούν σε δομές WRSN. Οι συσκευές IoR στο WRSN έχουν χαμηλή υπολογιστική ισχύ και περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας. Το εύρος ανίχνευσης τους είναι πολύ μικρό και πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους κατά τρόπο ad hoc. Η εφαρμογή τεχνικών Rad-Com JRC φαίνεται να είναι η καλύτερη επιλογή για το WRSN λόγω του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, της ad hoc τοπολογίας και των περιορισμένων απαιτήσεων ανίχνευσης.

Κεφάλαιο 5. Προκλήσεις για το IoR

Τα περισσότερα προϊόντα IoT έχουν περιορισμούς λόγω της εφαρμογής τους. Αυτοί οι περιορισμοί ενδέχεται να φέρουν πολλές προκλήσεις κατά την υλοποίηση του IoR. Αυτή η ενότητα συζητά τις πιθανές προκλήσεις και τις τεχνικές αντιμετώπισης για την υλοποίηση του IoR.

- **Πολυπλοκότητα:** Οι συσκευές IoR έχουν κυρίως συμβατικό σχεδιασμό, περιορισμένη μπαταρία και χαμηλή υπολογιστική ισχύ. Η λειτουργία των προηγμένων τεχνικών του JRC είναι σχεδόν αδύνατο να εφαρμοστεί σε μια συσκευή IoR. Εξαιτίας αυτών των ανησυχιών, οι τεχνικές του JRC πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά σε σχέση με την περιοχή εφαρμογής και την πολυπλοκότητα του υλικού. Η αυξανόμενη τάση στη χρήση του φάσματος mmWave ανοίγει ένα όραμα για την ανάπτυξη προϊόντων ραντάρ-on-chip (RoC). Αυτές οι συσκευές έχουν πολύ μικρό αποθηκευτικό χώρο. Ωστόσο, έχουν αρκετό χώρο για να εφαρμόσουν εκατοντάδες εικονικά ραντάρ συστοιχίας MIMO. Επίσης, οι συσκευές RoC περιλαμβάνουν CPU και DSP ενσωματωμένα ταυτόχρονα, με ικανότητα επεξεργασίας έως και δεκάδες tera-ops. Σύντομα, ακόμη και οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι του JRC θα μπορούν να εφαρμοστούν σε λύσεις RoC ως ένα συμβατικό πακέτο.
- **Προσαρμοστικότητα:** Η παροχή δυνατότητας διπλής αποστολής σε μια συσκευή IoT ανοίγει έναν δρόμο για τη μείωση του κόστους και τη διαχείριση του φάσματος πιο αποτελεσματικά. Ωστόσο, αυτή η πρόοδος προκύπτει με το νέο πρόβλημα της εξισορρόπησης των αναγκών των δύο κλάδων χωρίς προβλήματα παρέμβασης. Η ανταλλαγή μεταξύ ανίχνευσης και αποστολής πρέπει να παραμετροποιηθεί για να αντιμετωπίσει διαφορετικά σενάρια εφαρμογής IoR. Ειδικές μεθοδολογίες καναλιών πολλαπλής πρόσβασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για IoR όπου οι ενσωματωμένοι στόχοι γίνονται δεκτοί ως εικονικοί χρήστες. Αυτές οι μεθοδολογίες πρέπει να παρουσιάζουν πιο αξιόπιστη απόδοση ραντάρ και επικοινωνίας, διατηρώντας παράλληλα περισσότερη ενέργεια.
- **Κατανάλωση Ενέργειας:** Μέσα στην επανάσταση του IoT, κάθε συσκευή μπορεί να γίνει έξυπνη και συνδεδεμένη. Ωστόσο, κάθε σύνδεση απαιτεί χρήση ενέργειας και φάσματος. Αυτό καθιστά την κατανάλωση ενέργειας το πιο κρίσιμο ζήτημα για τις συσκευές IoT. Για να ενεργοποιηθεί το IoR, οι εφαρμόσιμες τεχνικές του JRC και τα συστήματα μεσαίας πρόσβασης πρέπει να τροποποιηθούν σκόπιμα για να αντλούν λιγότερη ενέργεια. Η τεχνολογία IoT παρέχει επίσης μια υποδομή επικοινωνίας για το CAV. Το CAV (γνωστά και ως συνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα και αυτοκίνητα χωρίς οδηγό) είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που θα μπορούσε να μεταμορφώσει πλήρως το τρέχον σύστημα μεταφορών. Η πρόσφατη μελέτη παρουσιάζει την κατανάλωση ενέργειας για ένα CAV μεσαίου επιπέδου. Το μέγιστο ποσοστό της ισχύος που καταναλώνεται από τον κύριο υπολογιστή, ο οποίος εκτελεί λειτουργίες επεξεργασίας του σήματος από τον αισθητήρα. Με την όλο και αναπτυσσόμενη τεχνολογία chip, αυτή η κατανάλωση θα φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο. Ωστόσο, οι αναπτυσσόμενοι αισθητήρες είναι πάντα το πιο σημαντικό μέρος του CAV και σίγουρα, η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να περιοριστεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Τα συστήματα ραντάρ και Dedicated Short Range Communication (DSRC) καταναλώνουν σχεδόν το ήμισυ της συνολικής κατανάλωσης ισχύος των αισθητήρων. Στο μέλλον, αυτά τα συστήματα πρέπει να συγχωνευθούν σε μια ενιαία μονάδα για να αντλήσουν λιγότερη ενέργεια με τις εξελίξεις του JRC. Επιπλέον, οι τεχνολογίες του JRC επόμενης γενιάς πρέπει να διασφαλίζουν χαμηλή κατανάλωση ισχύος χωρίς προβλήματα συνδεσιμότητας και ασφάλειας για το CAV.



Κεφάλαιο 6. Μελλοντικές Προοπτικές

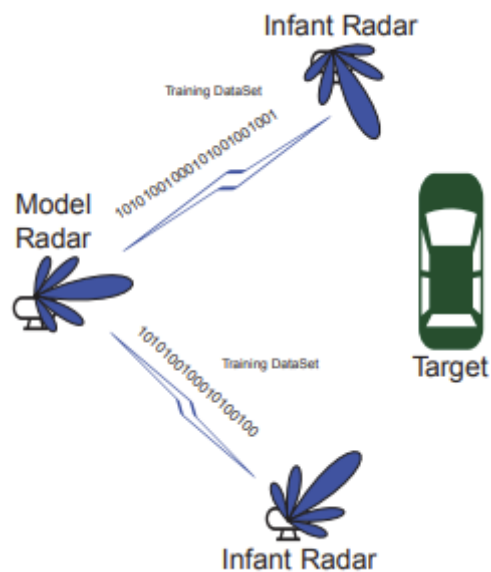
6.1: Αρχιτεκτονική για IoR

Δεν υπάρχει γενική συμφωνία για την πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική για το IoT. Η κοινή αρχιτεκτονική IoT θεωρείται ότι έχει τρία επίπεδα, τα οποία είναι το επίπεδο εφαρμογής, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο αντίληψης. Στη συνέχεια, προστέθηκαν στη λίστα και άλλα επίπεδα, με αποτέλεσμα η αρχιτεκτονική του IoT έγινε μια δομή πέντε επιπέδων. Πρόσφατα, η Cisco πρότεινε μια αρχιτεκτονική επτά επιπέδων που εκμεταλλεύεται τα στρώματα επεξεργασίας και μεταφοράς σε αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων. Εστιάζουμε κυρίως στα επίπεδα αντίληψης και μεταφοράς (ή συνδεσιμότητας) για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής IoR. Σε παραδοσιακές συσκευές IoT εξοπλισμένες με ραντάρ, η ανίχνευση του ραντάρ εμφανίζεται στο επίπεδο αντίληψης και η επικοινωνία διατηρείται στο επίπεδο μεταφοράς. Η τεχνολογία JRC επιτρέπει τις λειτουργίες αντίληψης και μεταφοράς να γίνονται με μία μόνο εκπομπή. Επομένως, όλος ο έλεγχος θα πρέπει να γίνεται σε δύο επίπεδα με περιορισμένο τρόπο. Η απόδοση της ανίχνευσης ραντάρ περιορίζεται στην απόδοση επικοινωνίας και αντίστροφα. Ως βασικό παράδειγμα, τα ραντάρ λειτουργούν με βάση την αρχή των κύκλων εκπομπής και λήψης που χαρακτηρίζονται από τη συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF). Σε ένα σύστημα JRC, το PRF οδηγεί κυρίως τον ρυθμό δεδομένων και το υψηλότερο PRF οδηγεί σε αυξημένο ρυθμό δεδομένων. Υπό καλές συνθήκες καναλιού, μπορεί να είναι επιθυμητοί οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων σε εφαρμογές IoR. Ωστόσο, η εμβέλεια του ραντάρ και η απόδοση παρακολούθησης επηρεάζονται από το PRF. Για να επιτευχθεί η καλύτερη λειτουργία, αυτή η αντιστάθμιση πρέπει να αντιμετωπιστεί από κάποιον μηχανισμό ελέγχου που έχει άμεση πρόσβαση στα επίπεδα μεταφοράς και αντίληψης. Ονομάσαμε αυτό το επίπεδο «επίπεδο διαλειτουργικότητας». Οι υπολογισμοί πρέπει να γίνονται κάτω από αυτό το επίπεδο για να βελτιστοποιηθεί πλήρως η λειτουργία ανίχνευσης ραντάρ και επικοινωνίας στο IoR.

6.2: Κοινωνικά Γνωστικό Ραντάρ (Socially Cognitive Radar)

Τα τρέχοντα ραντάρ πρόκειται να γίνουν πιο έξυπνα στο πλαίσιο των εξελίξεων στο γνωστικό ραντάρ (CR). Στο εξής, είναι πιθανό να υπάρχουν γνωστικές (cognitive) συσκευές IoR στην αγορά. Για τη γνωστική λειτουργία, η προσαρμοστικότητα πρέπει να επεκταθεί και στην πλευρά του πομπού. Τα ραντάρ θα πρέπει να χρησιμοποιούν τις γνώσεις τους για να ξεπερνούν προβλήματα που προκαλούνται από ευέλικτους στόχους. Ωστόσο, η αναβάθμιση ραντάρ με μη-κεντρική γνώση μπορεί επίσης να φέρει προβλήματα. Η γνώση παρέχει τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων από μόνη της σε ένα ραντάρ. Κάθε CR μπορεί να επιλέξει το ίδιο φάσμα ή κυματομορφή για να φτάσει στη μέγιστη απόδοση, γεγονός που οδηγεί σε συμφόρηση την αποστολή δεδομένων από το ραντάρ. Για να αποφευχθεί αυτή η συμφόρηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές του JRC. Οι κοινωνικές δεξιότητες κρατούν την κοινωνία μακριά από την αναρχία. Μπορούμε να αντλήσουμε έμπνευση από κοινωνικές συμπεριφορές εμπνέοντας την κοινωνική γνωστική θεωρία (SCT) για την πρόληψη του χάους στα δίκτυα. Η SCT είναι η άποψη ότι οι άνθρωποι μαθαίνουν παρατηρώντας τους άλλους. Αυτή η θεωρία προτείνει ότι ορισμένα από τα επιτεύγματα γνώσεων ενός ατόμου μπορούν να συσχετιστούν πλήρως με την παρακολούθηση άλλων, μέσω κοινωνικών εμπειριών και εταιρειών. Ο Albert Bandura ανέφερε ότι όταν ένα άτομο παρατηρεί ότι ένα άλλο άτομο επιβραβεύεται λόγω της συμπεριφοράς του/της, έχει την πρόθεση να συμπεριφερθεί με τον ίδιο τρόπο για να φτάσει σε ένα βραβείο. Υπάρχουν πέντε κύριες έννοιες που σχετίζονται με το πλαίσιο SCT. Αυτές οι έννοιες μπορούν να απαριθμηθούν ως μάθηση με παρατήρηση, προσδοκίες αποτελέσματος, αυτο-αποτελεσματικότητα (self-efficacy), καθορισμός στόχων και αυτορρύθμιση. Σε ένα δίκτυο CR, τα ραντάρ είναι έτοιμα να παρατηρήσουν τα δικά τους σήματα που αντανακλώνται από το περιβάλλον. Έτσι, η συγχώνευση παρατηρήσεων άλλων ραντάρ μέσω επικοινωνίας στη διαδικασία εκμάθησης CR οδηγεί το CR ένα βήμα παραπέρα για να γίνει ένα κοινωνικά γνωστικό ραντάρ (SCR). Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός ειδικού δικτύου επικοινωνίας και βελτιωμένων αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος. Η έξοδος αυτού του μηχανισμού θα πρέπει να μετατραπεί σε ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης στο ραντάρ μοντέλο και θα πρέπει επίσης να αποτελεί είσοδο στη γνωστική μνήμη του «βρεφικού» ραντάρ. Ένα εργαλείο υλοποίησης για την παρατήρηση μάθησης μεταξύ των SCR είναι η δημιουργία συνδέσμων

επικοινωνίας. Απαιτούν παγκόσμιο feedback για να κάνουν το έργο τους. Σε ένα δίκτυο, κάθε SCR χρειάζεται έναν σύνδεσμο για να δημιουργήσει αυτόν τον παγκόσμιο μηχανισμό ανάδρασης. Ειδικά για συσκευές γνωστικού IoR με κατανεμημένη γνώση, κάθε σύνδεσμος θα πρέπει να συμμορφώνεται με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη για μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου επικοινωνίας. Στη βιβλιογραφία, αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής δικτύου δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί για γνωστικές συσκευές IoR.



Κεφάλαιο 5. Συμπέρασμα

Πρόσφατα, η ανάπτυξη τεχνολογιών διπλής χρήσης μίας εκπομπής έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή λόγω της ικανότητάς τους να εξαλείφουν προβλήματα συμφόρησης φάσματος. Η τεχνολογία του JRC έχει γίνει το κύριο ερευνητικό πεδίο για το σκοπό αυτό. Η συμβατικότητα και η ενεργειακή απόδοση, κύρια χαρακτηριστικά του JRC, το καθιστούν την τεχνολογία μια πολλά υποσχόμενη λύση για πλατφόρμες IoT. Ωστόσο, η μεμονωμένη εκπομπή αναδύεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης μεταξύ της ανίχνευσης ραντάρ και της αποστολής πληροφοριών. Αυτή η προβληματική περιοχή ωθεί τη δημιουργία μιας νέας ιδέας, του Διαδικτύου των Ραντάρ. Αυτό το άρθρο είναι μια προσπάθεια να παρουσιαστεί μια μακροπρόθεσμη ερευνητική κατεύθυνση για την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών για την ενεργοποίηση του IoR. Ενώ έχει σκιαγραφηθεί ένα μερικό όραμα, ελπίζουμε ότι η συζήτησή μας θα αυξήσει το ενδιαφέρον για τη μελλοντική εξέλιξη του κλάδου του IoT.

Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης

Akan, O. B., & Arik, M. (2020). Internet of radars: Sensing versus sending with joint radar-communications. *IEEE Communications Magazine*, 58(9), 13-19.

ΠΕΡΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN
DEPARTMENT OF INFORMATION AND
COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

Papadopoulos Panagiotis | Kyriazis Ioannis

Copyright © 2022 – All Rights Reserved