

Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

ΔΠΜΣ ΥΔΑ & ΠΠΣ ΤΜΗΥΠ
Μάθημα: Τεχνολογίες Αποκεντρωμένων Δεδομένων
Διδάσκων: Σ. Σιούτας

WiCHORD: Η προσαρμογή του Chord DHT σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs) και Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Χρήστος-Παναγιώτης Μπαλατσούρας

Υποψήφιος Διδάκτορας στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών

balatsouras@ceid.upatras.gr

Περίγραμμα Διάλεξης

- Εισαγωγή στο πλαίσιο της διάλεξης
- Σύνδεση με τα προηγούμενα:
 - Θεμελιώδεις Έννοιες
 - Το Πρωτόκολλο Chord ως Κατανεμημένος Πίνακας Κατακερματισμού (DHT)
- Το νέο Πρωτόκολλο WiCHORD ως προσαρμογή του Chord στο IoT
 - Προτεινόμενο μοντέλο ασύρματου δικτύου αισθητήρων
 - Τροποποιημένη εκδοχή του Chord για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
 - Εφαρμογή του WiCHORD σε P2P Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων με τεχνολογία LoRa
- Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εισαγωγή στο Πλαίσιο της Διάλεξης

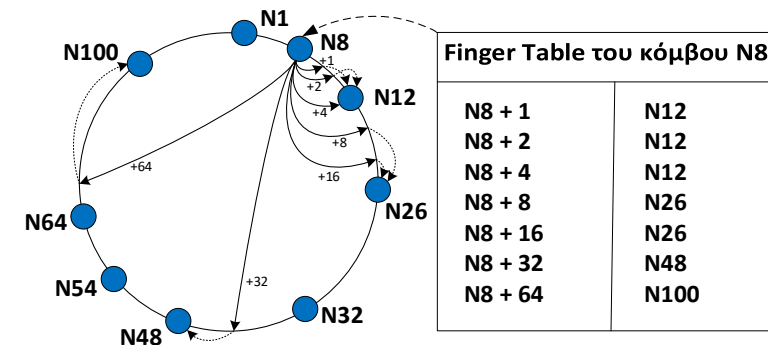
- Σύγχρονη εποχή → Ευρεία χρήση νέων τεχνολογιών και διασυνδεδεμένων συσκευών από τη βιομηχανία.
- Εφαρμογές όπως Ευφυής Γεωργία (Precision Agriculture) και Ευφυής Βιομηχανία (Smart Industry).
- Τεχνολογίες όπως Internet of Things (IoT), Cloud Computing και Μηχανική Μάθηση (Machine Learning).
- Ανάγκη χρήσης νέων τεχνολογιών για βελτίωση διαδικασιών σε εφαρμογές της καθημερινότητας για αύξηση της απόδοσης και εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας.

Θεμελιώδεις Έννοιες (1)

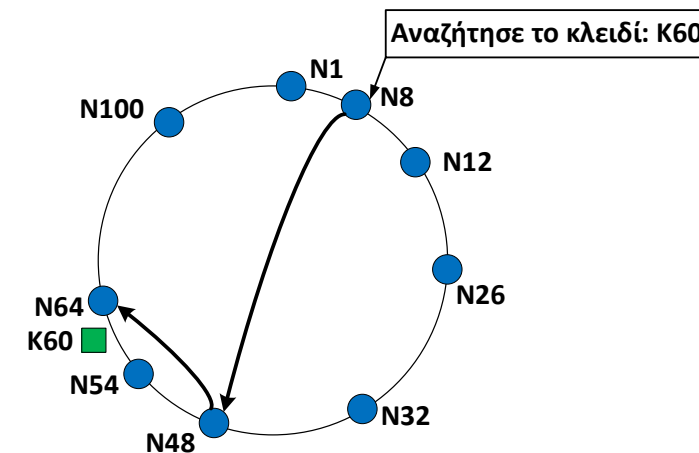
- **Τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT)**
 - Κάθε ηλεκτρονική συσκευή πλέον μπορεί να διαθέτει πρόσβαση στο διαδίκτυο και υπολογιστικές δυνατότητες.
 - Παραδείγματα εφαρμογής: Έξυπνες πόλεις, αυτόνομα οχήματα, ευφυής γεωργία και ευφυής βιομηχανία.
- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSNs)**
 - Αποτελούνται από συσκευές κόμβων αισθητήρων (sensor nodes) που περιλαμβάνουν μια μονάδα μικροελεγκτή (MCU), αισθητήρες και υποσύστημα ασύρματης δικτύωσης.
 - Οι κόμβοι είναι είτε τυχαία τοποθετημένοι στο χώρο, είτε με βάση μια προκαθορισμένη τοπολογία και λαμβάνουν μετρήσεις από τους αισθητήρες ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
 - Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους είτε απευθείας, είτε με βάση έναν αλγόριθμο δρομολόγησης, ώστε να κατευθύνουν τα δεδομένα προς τον κεντρικό σταθμό βάσης.

Θεμελιώδεις Έννοιες (2)

- **Συστήματα Peer-to-Peer (P2P)**
 - Όλοι οι κόμβοι ενός δικτύου θεωρούνται ομότιμοι (peers) μεταξύ τους και μοιράζονται υπολογιστικούς πόρους.
- **Πρωτόκολλο Chord (Distributed Hash Table)**
 - Προτάθηκε αρχικά από τον I. Stoica κ.α. το 2003.
 - Κατανεμημένος Πίνακας Κατακερματισμού (Distributed Hash Table), κάθε κλειδί αντιστοιχίζεται σε μια διεύθυνση m bits, σε έναν σταθερό χώρο κατακερματισμού σχήματος δακτυλίου.
 - Αντιστοίχιση κλειδιών σε κόμβους με κάθε κλειδί να χαρτογραφείται στον αμέσως επόμενο κόμβο στο δακτύλιο με βάση το ID.
 - Κάθε κόμβος στο δακτύλιο γνωρίζει τον άμεσο διάδοχο και προκάτοχό του ενώ διατηρεί μια λίστα επαφών προς $O(m)$ άλλους κόμβους (finger table).
 - Υποστηρίζει αποδοτική αναζήτηση κλειδιών σε λογαριθμικό χρόνο και παραμένει λειτουργικό σε διαρκείς προσθαφαιρέσεις κόμβων.



Σχήμα: Ένα παράδειγμα δικτύου Chord με διευθύνσεις των $m = 7$ bits



Σχήμα: Παράδειγμα ερωτήματος αναζήτησης στο πρωτόκολλο Chord

WiCHORD: A Chord Protocol Application on P2P LoRa Wireless Sensor Networks

- Προτάθηκε σε **δημοσίευση** στο συνέδριο IEEE IISA 2022, από τους C.P. Balatsouras, A. Karras, C. Karras, D. Tsolis & S. Sioutas
- Παραλλαγή του Chord από τα Συστήματα P2P.
- Κατάλληλο για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs) με δικτύωση LoRa.
- Κίνητρα Προσαρμογής
 - Το Chord διατηρεί τη σταθερότητα στο δίκτυο όταν κόμβοι εντάσσονται και αποχωρούν από αυτό → Χρήσιμο σε WSNs που λειτουργούν με μπαταρίες.
 - Η λειτουργία αναζήτησης κλειδιού του Chord (lookup) μπορεί να εντοπίσει αποδοτικά έναν κόμβο του δικτύου αισθητήρων.

WiCHORD: A Chord Protocol Application on P2P LoRa Wireless Sensor Networks

Christos-Panagiotis Balatsouras, Aristeidis Karras, Christos Karras, Dimitrios Tsolis, Spyros Sioutas
Decentralized Systems Computing (DSC) Group
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras, 26504 Patras, Greece
{balatsouras, akarras, c.karras, sioutas}@ceid.upatras.gr, dtsolis@upatras.gr

Abstract—On the modern era of Internet of Things (IoT) and Industry 4.0 there is a growing need for reliable wireless long range communications. LoRa is an emerging technology for effective long range communications which can be directly applied to IoT applications. Wireless sensor networks (WSNs) are by far an efficient infrastructure where sensors act as nodes and exchange information among themselves. Distributed applications such as Peer-to-Peer (P2P) networks are inextricably linked with Distributed Hash Tables (DHTs) whereabouts DHTs offer effective and speedy data indexing. A Distributed Hash Table structure known as the Chord algorithm enables the lookup operation of nodes which is a major algorithmic function of P2P networks. In the context of this paper, the inner workings of Chord protocol are highlighted along with an introduced modified version of it for WSNs. Additionally, we adapt the proposed method on LoRa networks where sensors function as nodes. The outcomes of the proposed method are encouraging as per complexity and usability and future directions of this work include the deployment of the proposed method in a large scale environment, security enhancements and distributed join, leave and lookup operations.

Index Terms—Internet of Things, Wireless Sensor Network, LPWAN, LoRa, Chord, Distributed Hash Tables, P2P

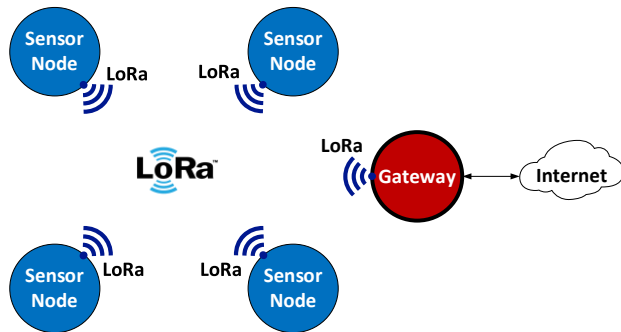
a smart city application and more [3]. These devices that support an IoT network are low-power embedded devices such as Microcontroller Units (MCUs) and also network enabled smart devices such as wearable devices, surveillance cameras, smart sensors, smart appliances and more. Some of the most notable purposes of these IoT devices and networks are data acquisition from sensors and remote device control over the internet.

The IoT application that will be discussed on this work is the usage of IoT technology on Wireless Sensor Networks (WSNs). The main purpose of Wireless Sensor Networks is the monitoring of conditions from the local environment that each node is being placed and with the IoT technology, the data from the sensors can be available to users remotely. These networks consist of nodes randomly distributed in space or placed in positions based on a predefined topology. Each node is a device mostly equipped with a Microcontroller Unit, various sensors, a transceiver module and a power source [4]. The communication between nodes on this kind of networks is either between two sensor nodes or from one sensor node

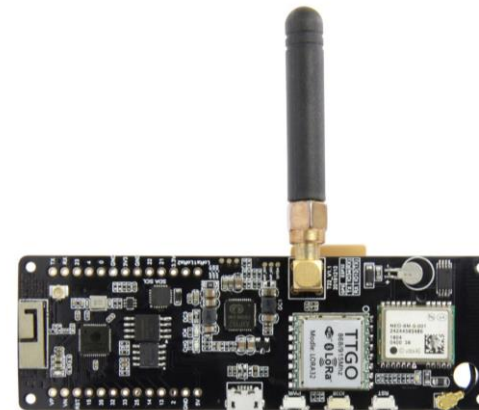
Applications (IISA) | 978-1-6654-6390-4/22/\$31.00 ©2022 IEEE | DOI: 10.1109/IISA56318.2022.9904339

WiCHORD - Προτεινόμενο μοντέλο ασύρματου δικτύου αισθητήρων (1)

- Κατηγορίες συσκευών αισθητήρων στο δίκτυο
 - **Απλός κόμβος αισθητήρων (Sensor Node):** Αποτελείται από συσκευή μικροελεγκτή, μερικούς αισθητήρες και πομποδέκτη. Λαμβάνει μετρήσεις και τις προωθεί στο σταθμό βάσης.
 - **Σταθμός Βάσης (Gateway ή Base Station):** Μια συσκευή του δικτύου με πρόσβαση στο διαδίκτυο, στην οποία καταλήγουν οι μετρήσεις των υπολοίπων κόμβων.



Σχήμα: Αρχιτεκτονική του ιδανικού μοντέλου WSN



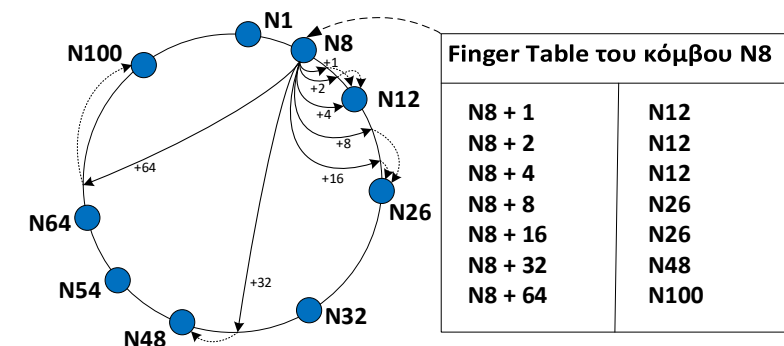
Εικόνα: Συσκευή MCU με τεχνολογία LoRa που χρησιμοποιείται στο δίκτυο αισθητήρων (Πηγή: LILYGO)

WiCHORD - Προτεινόμενο μοντέλο ασύρματου δικτύου αισθητήρων (2)

- Τυχαία τοποθετημένες συσκευές αισθητήρων στο χώρο.
- Επικοινωνία μεταξύ των συσκευών μέσω LoRa.
- Κάθε συσκευή αισθητήρων του δικτύου γνωρίζει μόνο ένα υποσύνολο των υπολοίπων συσκευών.
- Όλες οι συσκευές βρίσκονται εντός εμβέλειας LoRa του σταθμού βάσης.
- Ένας σταθμός βάσης για κάθε στιγμή, εκλέγεται τυχαία όταν ο προηγούμενος σταθμός βάσης αποσυνδεθεί.

WiCHORD - Τροποποιημένη εκδοχή του Chord για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (1)

- Δομή WiCHORD – Σύγκριση με το αρχικό
 - Σταθερός και κυκλικός χώρος κατακερματισμού που περιέχει 2^m κλειδιά των m bit έκαστο.
 - Κάθε συσκευή αισθητήρων αντιστοιχεί σε έναν κόμβο στο δακτύλιο του Chord.
 - Σε αντίθεση με το αρχικό Chord, οι κόμβοι δεν αποθηκεύουν κλειδιά.
- Κάθε συσκευή αισθητήρων λαμβάνει μοναδικό αναγνωριστικό, αποτέλεσμα κατακερματισμού της δ/νσης MAC με τη συνάρτηση SHA-1.
- Κάθε κόμβος αισθητήρων διατηρεί επαφές με τον διάδοχό/προκάτοχό του και μια λίστα άλλων κόμβων (finger table) πλήθους $O(m)$.



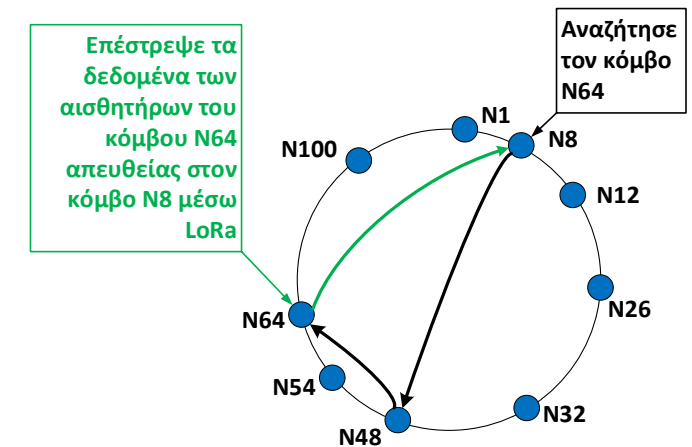
Σχήμα: Ένα παράδειγμα δικτύου Chord με διευθύνσεις των $m = 7$ bits

WiCHORD - Τροποποιημένη εκδοχή του Chord για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (2)

- Για ένταξη νέας συσκευής αισθητήρων στο δίκτυο, κλήση λειτουργίας «join» και ενημέρωση $O(\log N)$ άλλων κόμβων.
- Σε περίπτωση αποσύνδεσης συσκευής κόμβων αισθητήρων από το δίκτυο, στο WiCHORD θεωρείται ξεχωριστή λειτουργία που καλείται από τον κόμβο προς αποχώρηση ομοίως με λογαριθμικό κόστος.
- Ένα ερώτημα αναζήτησης (lookup query) στο WiCHORD στοχεύει στην εύρεση ενός κόμβου αισθητήρων στο δίκτυο σε λογαριθμικό χρόνο.
- Το lookup query λειτουργεί ως εξής:
 - Το αναγνωριστικό ενός κόμβου υπολογίζεται: $\text{Node_ID} = \text{SHA-1}(\text{MAC_Address})$.
 - Με τη χρήση της βασικής ιδιότητας του Chord όπου κάθε αναγνωριστικό ανήκει στον επόμενο κόμβο, εντοπίζεται ο ζητούμενος κόμβος έπειτα από δρομολόγηση του ερωτήματος στους κόμβους του δικτύου.
- Σε δίκτυο με N συνολικούς κόμβους, το ερώτημα αναζήτησης έχει πολυπλοκότητα $O(\log N)$.

WiCHORD - Εφαρμογή σε P2P Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων με τεχνολογία LoRa

- Το δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από συσκευές αισθητήρων και σταθμό βάσης που επικοινωνούν μέσω LoRa.
- Τυχαία τοποθέτηση στο χώρο σε ευρεία γεωγραφική περιοχή.
- Επικοινωνία μεταξύ των κόμβων με τη χρήση LoRa Packets.
- Σε ένα δίκτυο αισθητήρων τεχνολογίας LoRa που χρησιμοποιεί το WiCHORD, ένα Sensor Node Lookup Query λειτουργεί ως εξής:
 - Ο ζητούμενος κόμβος εντοπίζεται έπειτα από δρομολόγηση του ερωτήματος μέσω του WiCHORD.
 - Οι μετρήσεις αισθητήρων του ζητούμενου κόμβου επιστρέφουν στον κόμβο που εκτέλεσε το ερώτημα σε $O(1)$ μέσω LoRa.



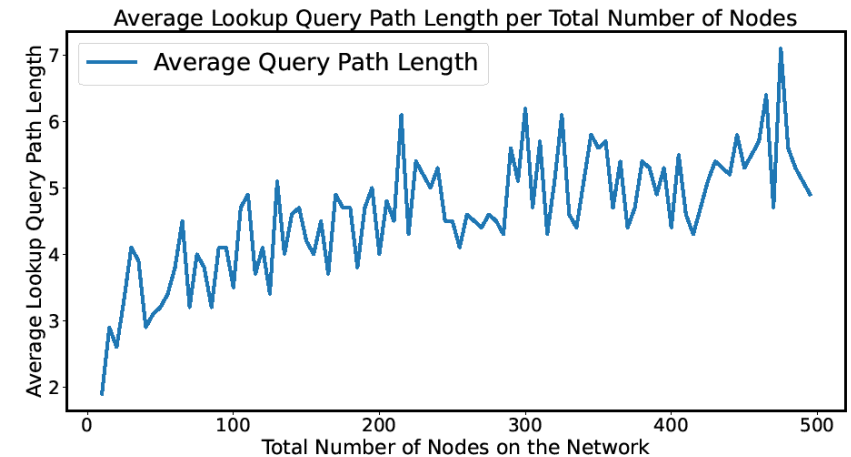
Σχήμα: Παράδειγμα ερωτήματος αναζήτησης σε δίκτυο αισθητήρων που χρησιμοποιεί το WiCHORD

Αποτελέσματα Προσομοίωσης (1)

- Υλοποίηση προσομοιωτή με Python 3.9
- Κάθε κόμβος αισθητήρων αναπαρίσταται ως μια κλάση της python με υλοποιημένες τις λειτουργίες του WiCHORD ως μεθόδους της κλάσης.
- Το ίδιο το δίκτυο αισθητήρων στον προσομοιωτή αναπαρίσταται ως μια κλάση που περιέχει τις καθολικές μεταβλητές του δικτύου.
- Για την εκτέλεση των πειραμάτων δημιουργήθηκαν τυχαίοι κόμβοι αισθητήρων με τυχαίες διευθύνσεις MAC.
- $\text{Sensor_Node_ID} = \text{SHA-1}(\text{MAC_Address})$.
- Εκτέλεση τυχαίων ερωτημάτων αναζήτησης κόμβων για τον υπολογισμό του πλήθους των κόμβων που παρεμβάλλονται στη διαδρομή μέχρι τον τελικό αποδέκτη του ερωτήματος.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης (2)

- Στα πειράματα που εκτελέστηκαν, υπολογίστηκε το routing path των ερωτημάτων αναζήτησης σε δίκτυα αισθητήρων των N κόμβων.
- Για διάφορες τιμές του N , εκτελέστηκε ένα πλήθος ερωτημάτων και υπολογίστηκε το μέσο routing path για αυτό το N .
- Από τα πειράματα αυτά προκύπτει ότι επιβεβαιώνεται η θεωρία για το λογαριθμικό κόστος του ερωτήματος αναζήτησης.
- Ουσιαστικά το WiCHORD συνεισφέρει στην αποδοτική ανάκτηση δεδομένων αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, όταν απασχολεί λιγότερες συσκευές για την εκτέλεση των ερωτημάτων.



Σχήμα: Αποτελέσματα προσομοίωσης για την πειραματική αξιολόγηση των ερωτημάτων αναζήτησης στο WiCHORD

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!