



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Ειδικά θέματα σε κινητά και ασύρματα δίκτυα

Ενότητα 6: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων:  
συνάθροιση δεδομένων

Εύη Παπαϊωάννου

Σχολή Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων  
Τμήμα Διαχείρισης Πολιτισμικού Περιβάλλοντος και  
Νέων Τεχνολογιών

# Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση θεμάτων για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
  - Συνάθροιση δεδομένων



# Περιεχόμενα ενότητας

- Θέματα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
  - Συνάθροιση δεδομένων



# Ειδικά θέματα σε κινητά και ασύρματα δίκτυα

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: συνάθροιση  
δεδομένων

# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- Wireless Sensor Networks (WSN)
  - Ασύρματοι αισθητήρες (Wireless Sensors-WS)
  - αναπτύσσονται με μεγάλη πυκνότητα σε κάποια περιοχή και
  - επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα



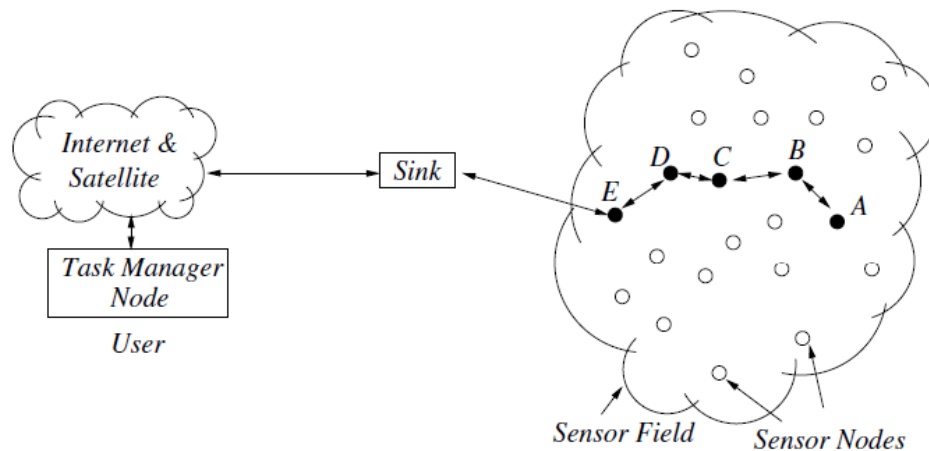
# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- Wireless Sensor Networks (WSN)
  - στόχος ενός WSN είναι η παρακολούθηση κάποιου φαινομένου σε κάποια περιοχή
  - μέσω μετρήσεων ενός η περισσότερων μεγεθών από τους WS του δικτύου
    - θερμοκρασία, ένταση φωτός, υγρασία...



# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- Καθένας από τους αισθητήρες στην περιοχή παρατήρησης συλλέγει δεδομένα και τα στέλνει (δρομολογεί) προς τον κόμβο-συλλέκτη (sink node) που πιθανώς επικοινωνεί με άλλα δίκτυα



# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- Οι αισθητήρες τοποθετούνται τυχαία  $\Rightarrow$  δεν έχουν καθορισμένη θέση
  - WSN μπορούν να εγκατασταθούν σε **δυσπρόσιτες περιοχές**
  - WSN **συνεχίζουν να λειτουργούν** ακόμα και όταν κάποιοι αισθητήρες μετακινηθούν ή τεθούν εκτός λειτουργίας
- Λειτουργία δικτύου ανεξάρτητα από τις θέσεις των κόμβων του απαιτεί κατάλληλα πρωτόκολλα και αλγόριθμους ώστε να μπορεί το **δίκτυο να οργανώνεται από μόνο του (self-organization)**
- Βασικός περιορισμός: οι αισθητήρες είναι ενεργειακά αυτόνομοι με **περιορισμένα αποθέματα ενέργειας**
  - Απαίτηση 1: Ενεργειακά αποδοτικός **σχεδιασμός** πρωτοκόλλων και αλγορίθμων
  - Απαίτηση 2: Σχήματα επικοινωνίας με πολλαπλά βήματα (multi-hop) ώστε οι **αποστάσεις μεταξύ των κόμβων να είναι μικρές** και να μην απαιτείται πολλή ενέργεια για μετάδοση



# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- **χωρική - χρονική συσχέτιση μετρήσεων**
  - μικρές αποστάσεις μεταξύ των αισθητήρων
  - ιδιότητες του φυσικού φαινομένου που παρατηρείται
  - Π.χ., η θερμοκρασία σε γειτονικές περιοχές δεν αλλάζει έντονα σε 10 λεπτά
- **συνεργασία αισθητήρων** για επίτευξη κοινών στόχων συνολικά στο δίκτυο
  - Οι αισθητήρες έχουν μικροεπεξεργαστή  $\Rightarrow$  επεξεργάζονται δεδομένα που συλλέγουν και προωθούν μόνο ένα κατάλληλο υποσύνολο

# WSN: εφαρμογές

- Περιβαλλοντικές εφαρμογές
- Εφαρμογές σχετικές με την υγεία
- Οικιακές εφαρμογές
- Βιομηχανικές εφαρμογές
- Στρατιωτικές εφαρμογές
- ...



# WSN: περιβαλλοντικές εφαρμογές

- εντοπισμός πτηνών, μικρών ζώων, εντόμων
- παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν χλωρίδα και πανίδα
- άρδευση
- απομακρυσμένη παρακολούθηση πλανητών
- ανίχνευση χημικών ουσιών
- παρακολούθηση κλιματολογικών και άλλων συνθηκών που επηρεάζουν τη γεωργία
- περιβαλλοντική και βιολογική παρακολούθηση υδάτων, εδάφους και ατμόσφαιρας
- έγκαιρη ανίχνευση δασικών πυρκαγιών
- υποβοήθηση έρευνας για Μετεωρολογία και Γεωφυσική
- έγκαιρη ανίχνευση πλημμυρών
- χαρτογράφηση βιοποικιλότητας
- μελέτη μόλυνσης



# WSN: εφαρμογές σχετικές με την υγεία

- ανάπτυξη τεχνητού αμφιβληστροειδούς
- συνεχής παρακολούθηση ασθενών
- έγκαιρη διάγνωση
- χορήγηση φαρμάκων σε νοσοκομεία
- παρακολούθηση φυσιολογικών διαδικασιών οργανισμών
- εντοπισμός και παρακολούθηση ασθενών και των ιατρών σε νοσοκομεία



# WSN: οικιακές εφαρμογές

- Ενσωμάτωση αισθητήρων σε οικιακές συσκευές όπως
  - ηλεκτρική σκούπα,
  - φούρνος μικροκυμάτων,
  - ψυγείο,
  - στερεοφωνικά συστήματα
  - συστήματα για έλεγχο κατανάλωσης νερού
- Οι αισθητήρες μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με εξωτερικά δίκτυα μέσω Internet



# WSN: βιομηχανικές εφαρμογές

- Παρακολούθηση καταπόνησης εξοπλισμού
- Διαχείριση αποθεμάτων
- Έλεγχος ποιότητας προϊόντων
- Κατασκευή ευφυών χώρων εργασίας
- Ενεργειακός έλεγχος μεγάλων κτιρίων
- Έλεγχος ρομπότ σε περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης λειτουργίας
- Έλεγχος και αυτοματισμός διαδικασίας παραγωγής
- Παρακολούθηση περιοχών όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εμφανισθούν καταστροφές
- Εντοπισμός και παρακολούθηση οχημάτων

# WSN: στρατιωτικές εφαρμογές

- η παρακολούθηση εξοπλισμού και πυρομαχικών
- επιτήρηση πεδίου μάχης
- αναγνώριση αντίπαλων δυνάμεων
- σκοποβολή
- εκτίμηση καταστροφών
- εντοπισμός και αναγνώριση πυρηνικών, βιολογικών ή χημικών επιθέσεων



# WSN: σχεδιαστικές προκλήσεις

- **Ανοχή σε σφάλματα και αξιοπιστία**
  - Το δίκτυο πρέπει να λειτουργεί κανονικά ακόμα και όταν κάποιοι αισθητήρες καταστραφούν ή ξεμείνουν από ενέργεια
- **Δυνατότητα επέκτασης**
  - Αλγόριθμοι και πρωτόκολλα πρέπει να λειτουργούν καλά και με λίγους και με πάρα πολλούς αισθητήρες δηλ., για διαφορετικές τιμές πυκνότητας του δικτύου
    - Πυκνότητα = πόσοι το πολύ αισθητήρες βρίσκονται στην εμβέλεια ενός αισθητήρα;
- **Κόστος υλοποίησης**
  - Το κόστος δημιουργίας ενός WSN πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος παρακολούθησης του φαινομένου με συμβατικές μεθόδους
- **Κατασκευαστικοί περιορισμοί**
  - Σε έναν μικροσκοπικό αισθητήρα που λειτουργεί με «μπαταρία» πρέπει να «χωρέσουν» συστήματα όπως:
    - Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Location Finding System) όταν οι διαδικασίες αίσθησης απαιτούν ακριβή γνώση της θέσης κάθε κόμβου
    - Σύστημα Κίνησης (Mobilizer) όταν για την αποτελεσματική λειτουργία οι θέσεις των WS πρέπει να είναι συγκεκριμένες



# WSN: σχεδιαστικές προκλήσεις

- **Τοπολογία**
  - Πώς «συνδέονται» οι αισθητήρες
    - Πώς γίνεται η τοποθέτηση: τυχαία, σε συγκεκριμένες θέσεις, ...
    - Ποιες συνδέσεις μένουν μετά την τοποθέτηση: κάποιοι αισθητήρες χαλάνε, κάποιοι βρίσκονται σε λάθος θέση, ...
    - Πώς μεταβάλλονται οι συνδέσεις με τοποθέτηση συμπληρωματικών αισθητήρων
- **Περιβάλλον**
  - Οι αισθητήρες πρέπει να λειτουργούν χωρίς επίβλεψη σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές διαφορετικής μορφής
    - στο εσωτερικό ενός μεγάλου μηχανήματος, στον πυθμένα της θάλασσας, σε χημικά μολυσμένη περιοχή, σε πεδίο μάχης, σε κτίρια,...
- **Μέσο μετάδοσης**
  - Ραδιοσυχνότητες
  - Υπέρυθρες ακτίνες (όχι παρεμβολές)
  - Οπτική επαφή (line of sight - smart dust)

# WSN: σχεδιαστικές προκλήσεις

- Κατανάλωση ενέργειας
  - Οι αισθητήρες έχουν μια μικρή μπαταρία
  - Ο ανεφοδιασμός συνήθως δεν είναι εφικτός
  - Εξάντληση μπαταρίας αισθητήρα  $\Rightarrow$  αλλαγή στην τοπολογία του WSN  $\Rightarrow$  επαναδρομολόγηση πακέτων ή/και αναδιοργάνωση του WSN  $\Rightarrow$
  - Ανάγκη για ενεργειακά αποδοτική επικοινωνία και επεξεργασία
    - Για επεξεργασία απαιτείται πολύ λιγότερη ενέργεια από όση απαιτείται για επικοινωνία δηλ., για **μετάδοση δεδομένων!!!!**

# Συνάθροιση Δεδομένων (Data Aggregation) σε WSN

- Συνήθως οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα και τα προωθούν σε κάποιον κεντρικό, υπολογιστικά ισχυρό κόμβο
- Οι κόμβοι **δε μεταδίδουν δεδομένα μόλις τα λαμβάνουν αλλά τα μαζεύουν σε μεγαλύτερες ομάδες και μετά τα στέλνουν** ⇒
- **ΘΕΤΙΚΟ**: Πραγματοποιούνται λιγότερες «ακριβές» μεταδόσεις δεδομένων στο WSN
  - η μέση **ενέργεια** που καταναλώνεται για την **επεξεργασία** της πληροφορίας είναι **αισθητά χαμηλότερη** από αυτήν για την ασύρματη **μετάδοση** πληροφορίας
  - η **συνάθροιση** δεδομένων κατά τη συλλογή πληροφορίας από ένα WSN μπορεί να επιφέρει **σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας**
- **(ίσως) ΑΡΝΗΤΙΚΟ**: αν και γίνεται αποδοτική χρήση των πηγών ενέργειας, ίσως δεν υπάρχει
  - έγκαιρη παράδοση των πληροφοριών στον κόμβο-συλλέκτη
  - ακρίβεια στις πληροφορίες που συλλέγονται

# Τι είναι συνάθροιση δεδομένων σε WSN;

- **Συλλογή** και **δρομολόγηση** πληροφορίας σε ένα δίκτυο με επικοινωνία πολλαπλών βημάτων (multi-hop)
- **Επεξεργασία** της πληροφορίας σε **ενδιάμεσους κόμβους** με στόχο τη **μείωση** της **κατανάλωσης** των (ενεργειακών κυρίως) αποθεμάτων και την αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου

# Πώς γίνεται συνάθροιση δεδομένων σε WSN;

- Συνάθροιση **με μείωση** του όγκου των δεδομένων
- Συνάθροιση **χωρίς μείωση** του όγκου των δεδομένων



# Συνάθροιση με μείωση όγκου δεδομένων

- διαδικασία συνάθροισης = **συνδυασμός** και ταυτόχρονα **συμπίεση** δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές με στόχο τη μείωση της πληροφορίας που εκπέμπεται συνολικά στο δίκτυο
- Παράδειγμα:
  - Ένας αισθητήρας λαμβάνει δύο πακέτα από δύο διαφορετικές πηγές που περιέχουν ως πληροφορία μετρήσεις θερμοκρασίας
  - Αντί για την προώθηση των δύο αυτών πακέτων, ο αισθητήρας μπορεί να υπολογίσει το **μέσο όρο** των δύο μετρήσεων και να τον αποστείλει σε ένα πακέτο

# Συνάθροιση χωρίς μείωση όγκου δεδομένων

- διαδικασία συνάθροισης = **συνάθροιση** πληροφορίας που προέρχεται από διαφορετικές πηγές σε ένα πακέτο χωρίς περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων
- Παράδειγμα:
  - Ένας αισθητήρας λαμβάνει δύο πακέτα που περιέχουν μετρήσεις διαφορετικών φυσικών μεγεθών, όπως **θερμοκρασία** και **υγρασία**
  - Αυτές οι δύο μετρήσεις δεν είναι δυνατό να υποστούν από κοινού επεξεργασία αλλά μπορούν να εκπεμφθούν στο ίδιο πακέτο  $\Rightarrow$  **αποφεύγεται η μετάδοση μίας επικεφαλίδας πακέτου**



# Συνάθροιση με μείωση (A) ή χωρίς μείωση (B) όγκου δεδομένων;

- (A)
  - μεγαλύτερη **μείωση της μέσης ενέργειας** που καταναλώνεται για **εκπομπές**
  - μπορεί να οδηγήσει σε **μείωση της ακρίβειας** με την οποία η πληροφορία θα αναπαραχθεί στον κόμβο-συλλέκτη
    - μετά την εφαρμογή συνάθροισης, δεν είναι δυνατό να αναπαραχθούν πλήρως τα αρχικά δεδομένα
- (B)
  - διατηρεί τα αρχικά **δεδομένα** με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η **πλήρης αναπαραγωγή** στον κόμβο-συλλέκτη
- Η επιλογή του τρόπου με τον οποίο θα υλοποιηθεί η συνάθροιση εξαρτάται από την **εφαρμογή**, το ρυθμό με τον οποίο παράγονται δεδομένα στους αισθητήρες, τα χαρακτηριστικά του δικτύου και άλλα



# Τεχνικές συνάθροισης

- Οι τεχνικές συνάθροισης απαιτούν:
  - Κατάλληλα **πρωτόκολλα** δρομολόγησης
  - Αποτελεσματικές **συναρτήσεις** συνάθροισης
  - Αποδοτικούς τρόπους για την **περιγραφή των δεδομένων**



# Τεχνικές συνάθροισης: πρωτόκολλα δρομολόγησης

- πρωτόκολλα δρομολόγησης: προωθούν τα δεδομένα μέσω της συντομότερης διαδρομής στον προορισμό
- Για συνάθροιση δεδομένων, οι **αισθητήρες** πρέπει να **προωθούν** τα **πακέτα** με βάση το **περιεχόμενό** τους (δεδομενο-κεντρική δρομολόγηση - data-centric routing)
  - κάθε αισθητήρας επιλέγει τον αισθητήρα στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο του με βάση τις θέσεις των υπολογιστικά ισχυρότερων κόμβων, τον τύπο των δεδομένων, την προτεραιότητα της πληροφορίας ...

# Τεχνικές συνάθροισης: πρωτόκολλα δρομολόγησης

- οι τεχνικές για την υλοποίηση συνάθροισης μπορεί να απαιτούν **συγχρονισμό** μεταξύ των **αισθητήρων**
  - μπορεί να μην είναι η καλύτερη επιλογή για έναν κόμβο να προωθεί αμέσως τα δεδομένα που έχει στη διάθεσή του, αλλά να περιμένει να συγκεντρώσει πληροφορία και από άλλους γειτονικούς κόμβους  $\Rightarrow$  μπορεί να επιτευχθεί συνάθροιση ακόμα περισσότερων πακέτων με αποτέλεσμα περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας
- **Στρατηγικές χρονισμού** είναι απαραίτητες ειδικά σε εφαρμογές συνεχούς παρακολούθησης, όπου οι αισθητήρες πρέπει να προωθούν **περιοδικά** τις **μετρήσεις** τους στον κόμβο-συλλέκτη
  - Οι στρατηγικές αυτές συνήθως κάνουν χρήση **δένδρων** που έχουν ως **ρίζα τον κόμβο-συλλέκτη**
  - Η **προώθηση** των πακέτων γίνεται **κατά μήκος του δένδρου** αυτού.

# Τεχνικές συνάθροισης: συναρτήσεις συνάθροισης

- Πώς συνδυάζονται δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες:
  - Με χρήση **συναρτήσεων συνάθροισης** λαμβάνοντας υπόψη τα **περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα** και τις **περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας** των αισθητήρων
- Υπάρχουν διάφορα είδη συναρτήσεων συνάθροισης:
  - Με και χωρίς απώλειες
  - Με και χωρίς ευαισθησία σε αντίγραφα ενός πακέτου

# Συναρτήσεις συνάθροισης με και χωρίς απώλειες

- **Συναρτήσεις συνάθροισης με απώλειες: μέσος όρος (average)**
  - οι αρχικές μετρήσεις των αισθητήρων δεν είναι δυνατό να αναπαραχθούν ακριβώς
  - κάθε αισθητήρας λαμβάνει μέσους όρους μετρήσεων από τους κόμβους-παιδιά του με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό ο κόμβος-συλλέκτης να ανακτήσει τη μέτρηση του κάθε αισθητήρα
- **Συναρτήσεις συνάθροισης χωρίς απώλειες: μέγιστη τιμή (max)**
  - η μέτρηση του κάθε αισθητήρα παραμένει αναλλοίωτη, απλώς ο κάθε αισθητήρας προωθεί στον κόμβο-πατέρα του τη μέγιστη τιμή των μετρήσεων που έχει λάβει

# Συναρτήσεις συνάθροισης με και χωρίς ευαισθησία σε αντίγραφα ενός πακέτου

- Σε ορισμένα δίκτυα ένας ενδιάμεσος κόμβος μπορεί να λάβει πολλά αντίγραφα της ίδιας πληροφορίας
- Στην περίπτωση αυτή η ίδια πληροφορία θα ληφθεί πολλαπλές φορές υπόψη στο αποτέλεσμα της συνάθροισης
  - Όταν η συνάρτηση συνάθροισης είναι **ευαίσθητη σε αντίγραφα** ενός πακέτου, το τελικό αποτέλεσμα της συνάθροισης θα εξαρτάται από τον αριθμό των αντιγράφων της ίδια μέτρησης που συμπεριλήφθηκαν στο τελικό αποτέλεσμα: **μέσος όρος**
  - Όταν η συνάρτηση συνάθροισης **δεν εμφανίζει ευαισθησία σε αντίγραφα** ενός πακέτου, το τελικό αποτέλεσμα της συνάθροισης δεν εξαρτάται από τον αριθμό των αντιγράφων της ίδια μέτρησης που συμπεριλήφθηκαν στο τελικό αποτέλεσμα: **ελάχιστη τιμή μετρήσεων (min)**

# Τεχνικές συνάθροισης: τρόποι περιγραφής δεδομένων

- Οι αισθητήρες σε ένα WSN έχουν περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης πληροφοριών  $\Rightarrow$  για κάθε πληροφορία πρέπει να αποφασίζεται ξεχωριστά ο τρόπος με τον οποίο αυτή θα τύχει διαχείρισης
  - θα αποθηκευθεί, συμπιεσθεί, εκπεμφθεί ή αγνοηθεί;
- Ο **τρόπος περιγραφής** δεδομένων προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την εκάστοτε εξυπηρετούμενη **εφαρμογή**
- Είναι συνήθως **κοινός** για όλους τους **κόμβους** του δικτύου

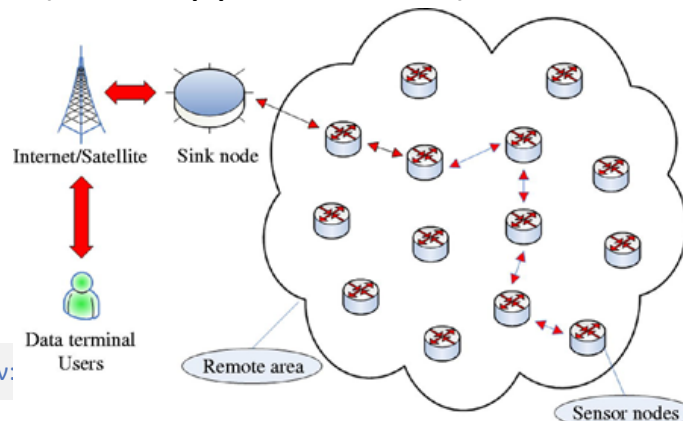
# Πώς γίνεται η Συνάθροιση Δεδομένων

- Μέσω ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων δρομολόγησης για ταυτόχρονη δρομολόγηση και συνάθροιση πληροφορίας που χρησιμοποιούν δομές **δένδρων** ή ιεραρχικές δομές (**tree-based approaches**):
  - βασίζονται σε αλγόριθμους δρομολόγησης που χρησιμοποιούν δένδρα με ρίζα τον κόμβο-συλλέκτη
  - συνήθως τα δένδρα αυτά είναι δένδρα συντομότερων διαδρομών (shortest path trees, SPTs)
  - τελευταία, έχουν χρησιμοποιηθεί και περισσότερο σύνθετοι αλγόριθμοι για την κατασκευή των δένδρων αυτών
- Μέσω αλγορίθμων που ομαδοποιούν τοπικά τους αισθητήρες σε **συμπλέγματα** (**cluster-based approaches**)
- Μέσω δρομολόγησης της ίδιας πληροφορίας μέσω **πολλαπλών διαδρομών** (**multipath routing**)
- **Υβριδικές λύσεις** (**hybrid approaches**) που συνδυάζουν τις προηγούμενες



# TAG: Tiny Aggregation Algorithm

- Δεδομενο-κεντρικός αλγόριθμος συνάθροισης σε WSN
- Βασίζεται σε **δένδρα** συνάθροισης
- Είναι σχεδιασμένος για εφαρμογές συνεχούς παρακολούθησης (**monitoring applications**)  $\Rightarrow$  όλοι οι κόμβοι παράγουν κατά **περιοδικό** τρόπο **πληροφορία**
- Λειτουργεί σε δύο κύριες φάσεις:
  - **Φάση κατανομής (distribution phase)**: τα ερωτήματα του κόμβου-συλλέκτη διασπείρονται στους αισθητήρες του δικτύου
  - **Φάση συλλογής (collection phase)**: κατά την οποία οι συναθροισμένες μετρήσεις των αισθητήρων δρομολογούνται κατά μήκος του δένδρου συνάθροισης προς τον κόμβο-συλλέκτη



# TAG: Tiny Aggregation Algorithm: φάση κατανομής

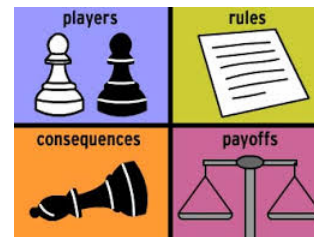
- Ο κόμβος-συλλέκτης μεταδίδει (broadcast) ένα μήνυμα με το οποίο ζητά από τους κόμβους να οργανωθούν σε ένα δένδρο συνάθροισης
- Ο κόμβος-συλλέκτης χρησιμοποιεί το δένδρο αυτό για να προωθήσει τα ερωτήματά του
- Σε κάθε μήνυμα υπάρχει ένα πεδίο που προσδιορίζει το επίπεδο, δηλαδή την απόσταση από τη ρίζα, του κόμβου που το απέστειλε
  - Όταν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα και ο ίδιος δεν ανήκει ακόμα σε κάποιο επίπεδο του δένδρου, εντάσσεται στο αμέσως επόμενο επίπεδο από αυτό που αναφερόταν στο πεδίο προσδιορισμού του επιπέδου του μηνύματος που έλαβε
    - αν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα με πεδίο επιπέδου ίσο με  $k$ , εντάσσεται στο επίπεδο  $k+1$  της δενδρικής δομής
    - ο κόμβος προσδιορίζει τον κόμβο από τον οποίο έλαβε το μήνυμα ως πατέρα του: ο πατέρας ενός κόμβου χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων προς τη ρίζα
  - Στη συνέχεια, κάθε κόμβος αναμεταδίδει το μήνυμα που έλαβε θέτοντας στα αντίστοιχα πεδία τη δική του ταυτότητα (ID) και το δικό του επίπεδο
  - Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ανατεθεί σε όλους τους κόμβους μία ταυτότητα (ID) και ένας πατέρας
  - Μετά τη δημιουργία του δένδρου, τα ερωτήματα του κόμβου-συλλέκτη αποστέλλονται κατά μήκος της δομής σε όλους τους αισθητήρες του δικτύου

# TAG: Tiny Aggregation Algorithm: φάση συλλογής

- Κάθε αισθητήρας προωθεί το αποτέλεσμα της συνάθροισης όταν έχει λάβει πακέτα από όλα τα παιδιά του (λόγω της δενδρικής δομής)
- Κάθε κόμβος γνωρίζει το πλήθος των παιδιών του
- Ορίζεται ένα μέγιστο χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να αναμένει ένας κόμβος για να λάβει πακέτα από τα παιδιά του προκειμένου να αντιμετωπισθεί το ενδεχόμενο της απώλειας ορισμένων πακέτων:
  - το διάστημα αυτό προσαρμόζεται για κάθε αισθητήρα ανάλογα με τη θέση του στο δένδρο κατά μήκος του οποίου γίνεται η συλλογή των δεδομένων
- Οι αισθητήρες μπορούν να μεταβούν σε κατάσταση sleep (κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας) μέχρι το επόμενο διάστημα κατά το οποίο θα χρειασθεί να εκπέμψουν

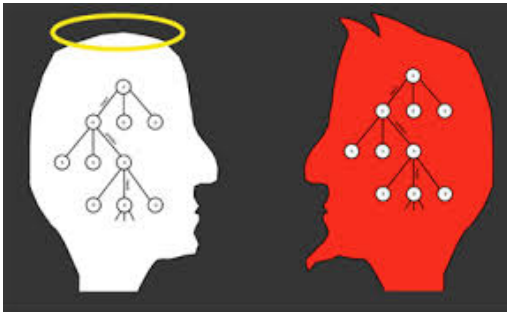
# Που υπεισέρχεται η Θεωρία Παιγνίων

- Χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος TAG για συνάθροιση δεδομένων σε ένα WSN
- Η φάση της κατανομής του αλγορίθμου TAG κατά την οποία δημιουργείται το δένδρο συνάθροισης παραμένει αναλλοίωτη
- Για τη φάση συλλογής, η **στρατηγική χρονισμού** υλοποιείται σαν ένα (στρατηγικό) **παίγνιο**:
  - Ο κάθε αισθητήρας του WSN είναι ένας παίκτης και κάθε φορά που λαμβάνει πακέτο από κάποιο κόμβο-παιδί του, πρέπει να αποφασίζει ποια είναι η συμφέρουσα στρατηγική:
    - να στείλει το συναθροισμένο πακέτο με τα πακέτα που έχει συγκεντρώσει μέχρι τη δεδομένη στιγμή ή
    - να περιμένει για να λάβει και άλλα πακέτα



# Θεωρία Παιγνίων (Game Theory-GT)

- Αφορά τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ορθολογικών οντοτήτων (παικτών) που λαμβάνουν αποφάσεις και μπορεί να έχουν κοινά ή αντικρουόμενα συμφέροντα
  - αλληλεπιδράσεις = κάθε παίκτης επηρεάζεται από τις ενέργειες των υπολοίπων
- $\Rightarrow$  το αποτέλεσμα των ενεργειών κάθε παίκτη δεν καθορίζεται μόνο από τις δικές του αποφάσεις αλλά και από αυτές των υπολοίπων παικτών



# Θεωρία Παιγνίων (Game Theory-GT)

- Σκοπός:
  - η μαθηματική περιγραφή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ παικτών και
  - ο προσδιορισμός των πιθανών εκβάσεων για την κατάσταση του παιγνίου που παρακολουθείται
- Με βάση συγκεκριμένες υποθέσεις ως προς τις γνώσεις και τη συμπεριφορά των παικτών είναι δυνατό να προβλεφθεί η λύση (ή οι λύσεις) ενός παιγνίου αλλά και να σχεδιαστούν μηχανισμοί που θα επιφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα

# Παίγνια κανονικής/στρατηγικής μορφής

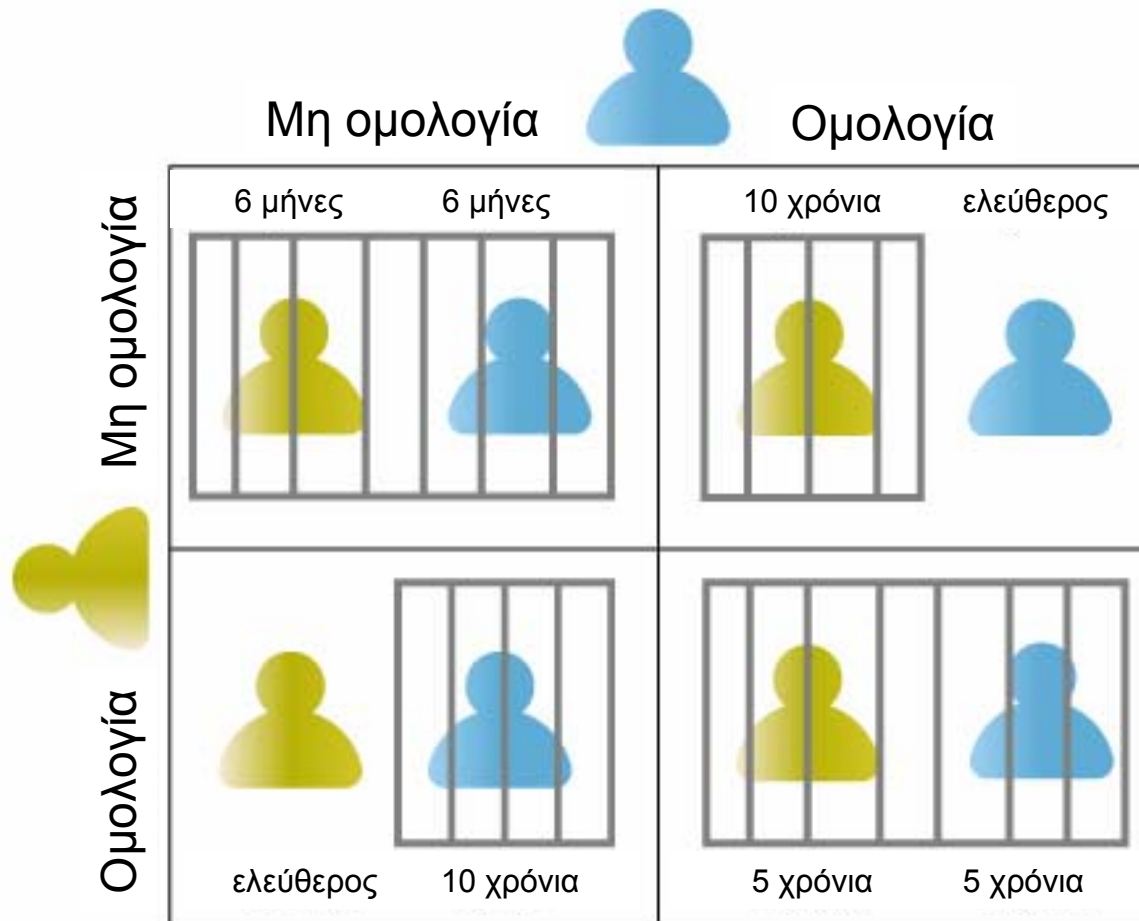
- Σύνολο παικτών,  $K$
- Σύνολο στρατηγικών κάθε παίκτη,  $A_i$
- Διάταξη των στρατηγικών κάθε παίκτη με βάση την προτίμηση του παίκτη για αυτές,  $u_i$ 
  - Συνήθως εκφράζεται μέσω κάποιας συνάρτησης που καλείται *συνάρτηση οφέλους (utility function)* με στόχο την ανάθεση μιας αριθμητικής τιμής σε κάθε πιθανή έκβαση του παιχνίσιου
    - Συχνά στις ασύρματες επικοινωνίες τα μέτρα της επίδοσης (π.χ. η ποιότητα υπηρεσίας) χρησιμοποιούνται ως συναρτήσεις οφέλους (utility functions) των παικτών
- Προφίλ ενεργειών ενός παιχνίσιου,  $\alpha=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ 
  - Ενέργεια: κάποιες στρατηγικές (γενικά: ενέργεια  $\neq$  στρατηγική)
    - Pure strategy: επιλογή μίας στρατηγικής με πιθανότητα 1: ενέργεια = στρατηγική
    - Mixed strategy: διαφορετικά

# «Δίλημμα του Φυλακισμένου» (Prisoner's Dilemma -PD)

- Δύο ύποπτοι για ένα έγκλημα συλλαμβάνονται από την αστυνομία
- Η αστυνομία δεν έχει επαρκή στοιχεία προκειμένου να αποφασίσει ποιος είναι ο ένοχος, οπότε πρέπει να εξασφαλίσει ότι οι ύποπτοι θα ομολογήσουν
- Αφού λοιπόν βάλει καθένα από τους υπόπτους σε διαφορετικό χώρο τους προτείνει την εξής συμφωνία:
  - Αν ο ένας από τους δύο ομολογήσει και ο άλλος όχι, ο πρώτος αφήνεται ελεύθερος και ο δεύτερος καταδικάζεται σε 10 χρόνια φυλακή
  - Αν και οι δύο δεν ομολογήσουν, καταδικάζεται καθένας μόνο σε 6 μήνες φυλακή
  - Αν ομολογήσουν και οι δύο, ο καθένας καταδικάζεται σε 5 χρόνια φυλακή
- Κάθε κρατούμενος πρέπει να αποφασίσει αν θα ομολογήσει ή όχι







# «Δίλημμα του Φυλακισμένου» (Prisoner's Dilemma -PD)



# «Δίλημμα του Φυλακισμένου» (Prisoner's Dilemma -PD)

- Σύνολο παικτών:  $K=\{A,B\}$
- Σύνολο στρατηγικών κάθε παίκτη:  $A_i=\{\text{Ομολογία, Μη ομολογία}\}$
- Διάταξη των στρατηγικών κάθε παίκτη με βάση την προτίμηση του παίκτη για αυτές,  $u_i$ :
  - Υπάρχουν άπειρες πιθανές συναρτήσεις οφέλους για τη μαθηματική διατύπωση αυτής της διαδικασίας αλληλεπίδρασης... μία ενδεικτική μπορεί να είναι:
    - κρατούμενος ελεύθερος: όφελος = 4 (ομολογία/μη ομολογία)
    - φυλακή για 6 μήνες: όφελος = 3 (μη ομολογία και οι 2)
    - φυλακή για 5 χρόνια: όφελος = 1 (ομολογία και οι 2)
    - φυλακή για 10 χρόνια: όφελος = 0 (ομολογία/μη ομολογία)

# «Δίλημμα του Φυλακισμένου» (Prisoner's Dilemma -PD)

		Φυλακισμένος	
		Μη ομολογία	Ομολογία
Επιθεωρητής	Μη ομολογία	3 3 	0 4 
	Ομολογία	4 0 	1 1 

# «Δίλημμα του Φυλακισμένου» (Prisoner's Dilemma -PD)

- παρουσίαση της στρατηγικής μορφής του παιχνιδιού με πίνακα:

Παίκτης B Παίκτης A	Ομολογία	Μη ομολογία
Ομολογία	<b>(1,1)</b>	<b>(4,0)</b>
Μη ομολογία	<b>(0,4)</b>	<b>(3,3)</b>

- Και τους δύο παίκτες τους συμφέρει πάντα να παίζουν «ομολογία»...

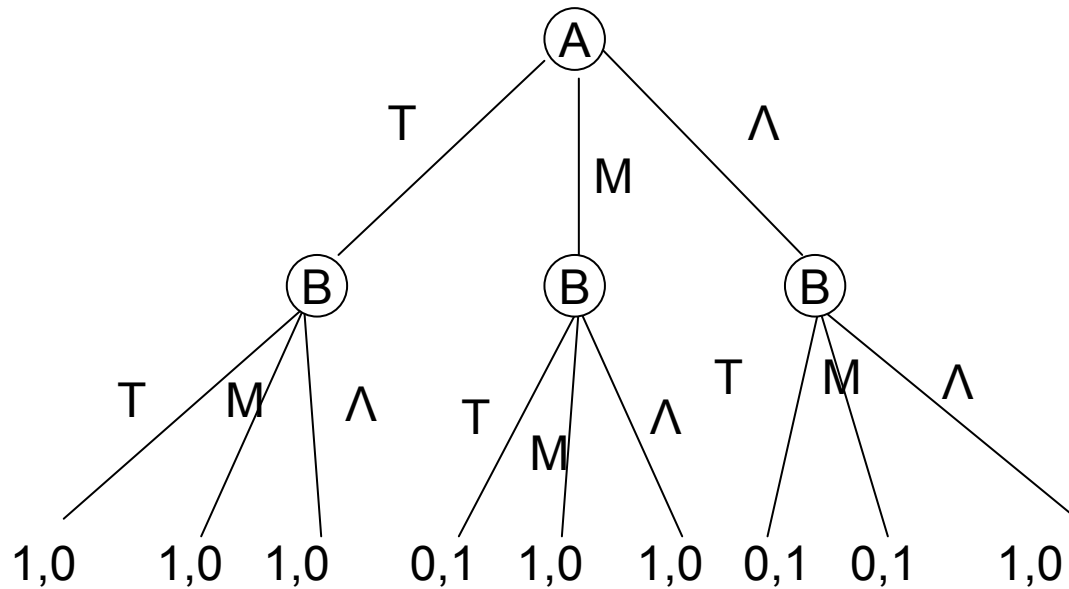
# Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

- Η μαθηματική περιγραφή των παιγνίων σε εκτεταμένη μορφή είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου οι παίκτες δεν ενεργούν ταυτόχρονα αλλά σειριακά, ο ένας μετά τον άλλο
- Στα παίγνια εκτεταμένης μορφής, το παίγνιο περιγράφεται υπό τη μορφή δένδρου:
  - Σε κάθε κόμβο του δένδρου, ο εκάστοτε παίκτης λαμβάνει μία απόφαση
  - $\Rightarrow$  Ο επόμενος κόμβος εξαρτάται από την απόφαση που λήφθηκε
- Υπάρχει ένα μοναδικό παίγνιο στρατηγικής μορφής που αντιστοιχεί σε δεδομένο παίγνιο εκτεταμένης μορφής
  - Το αντίθετο δεν ισχύει:
    - Είναι δυνατό να υπάρχουν πολλά παίγνια εκτεταμένης μορφής που σχετίζονται με δεδομένο παίγνιο στρατηγικής μορφής

# Εισιτήρια για αγώνα

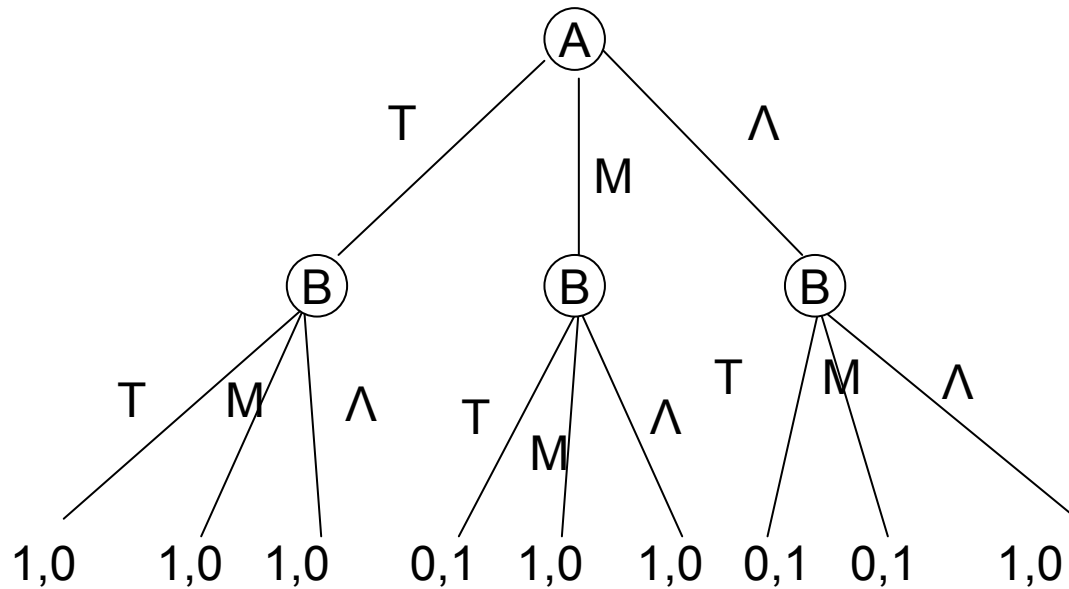
- Δύο άτομα, Α και Β, πρέπει επιλέξουν μέσο μεταφοράς για να μεταβούν στο γήπεδο:
  - Τ(αξί)
  - Μ(ετρό)
  - Λ(εωφορείο)
- Έχει μείνει μόνο ένα εισιτήριο για τον αγώνα που θα πάρει όποιος φτάσει πρώτος στο γήπεδο
- Το Ταξί είναι γρηγορότερο από το Μετρό κι αυτό είναι γρηγορότερο από το Λεωφορείο
- Ο Α ξεκινά πριν από τον Β
- Για να προλάβει να πάρει το μοναδικό εισιτήριο ο Β πρέπει να χρησιμοποιήσει γρηγορότερο μέσο μεταφοράς

# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή



# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή

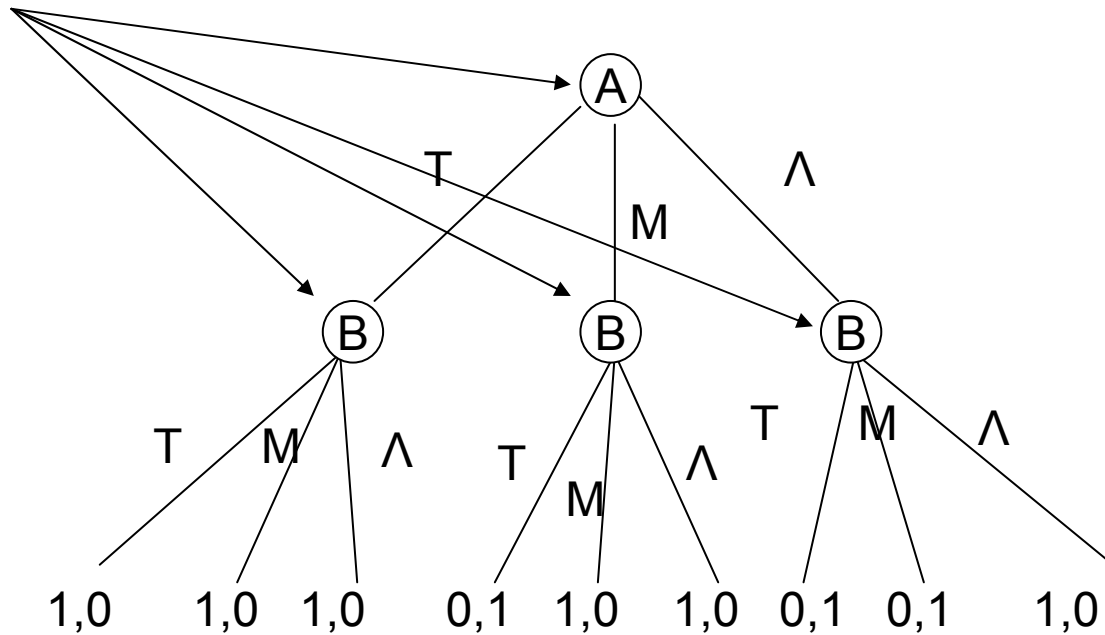
δένδρο του παιχνιδιού (game tree)





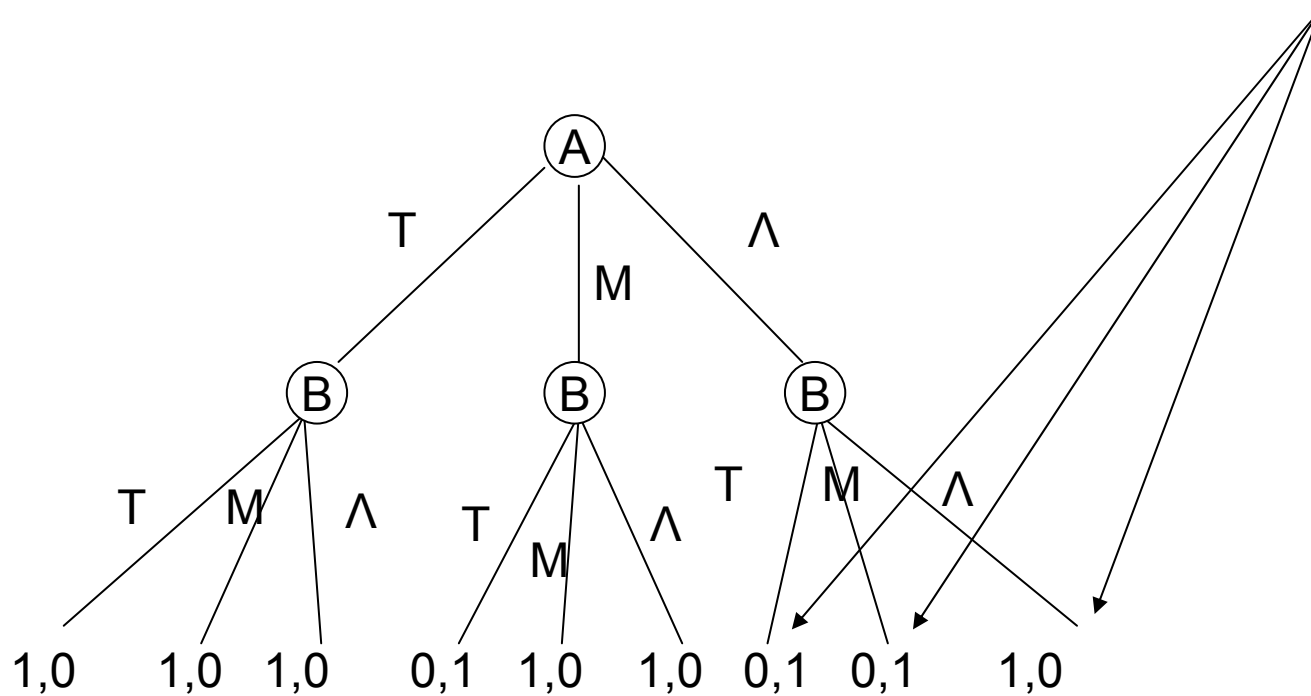
# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή

κόμβοι απόφασης

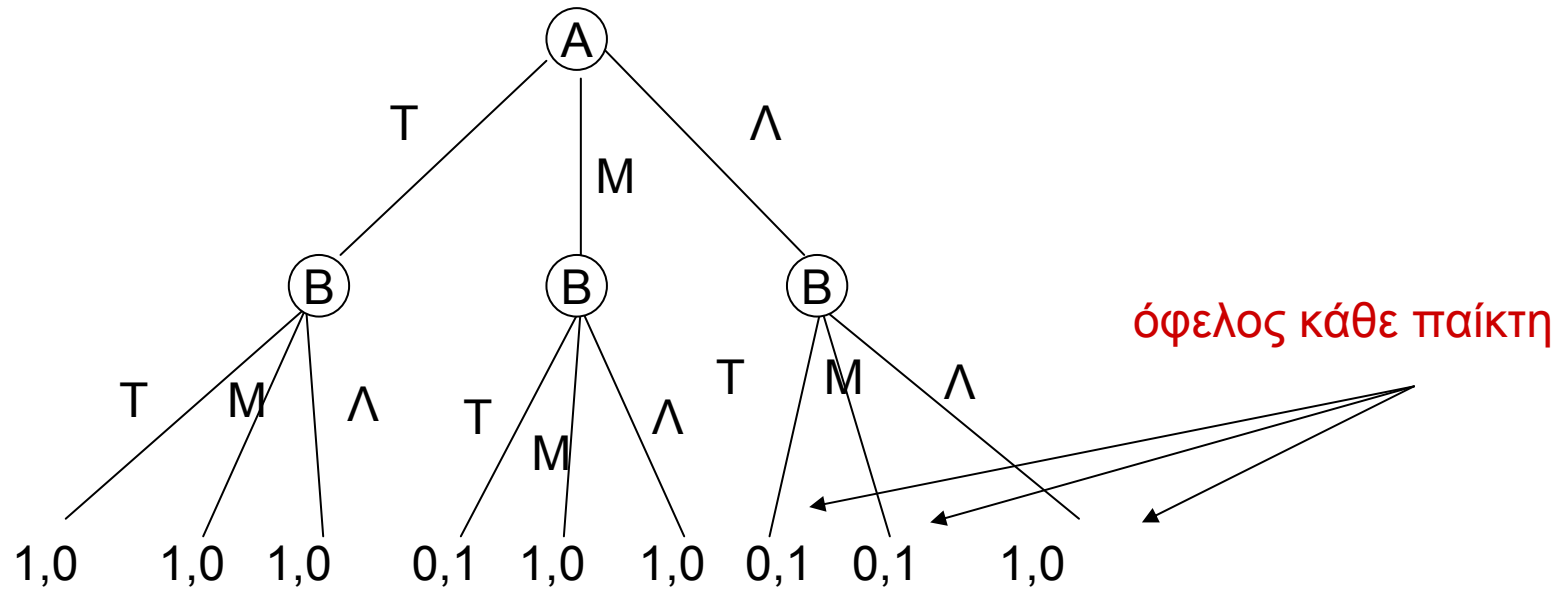


# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή

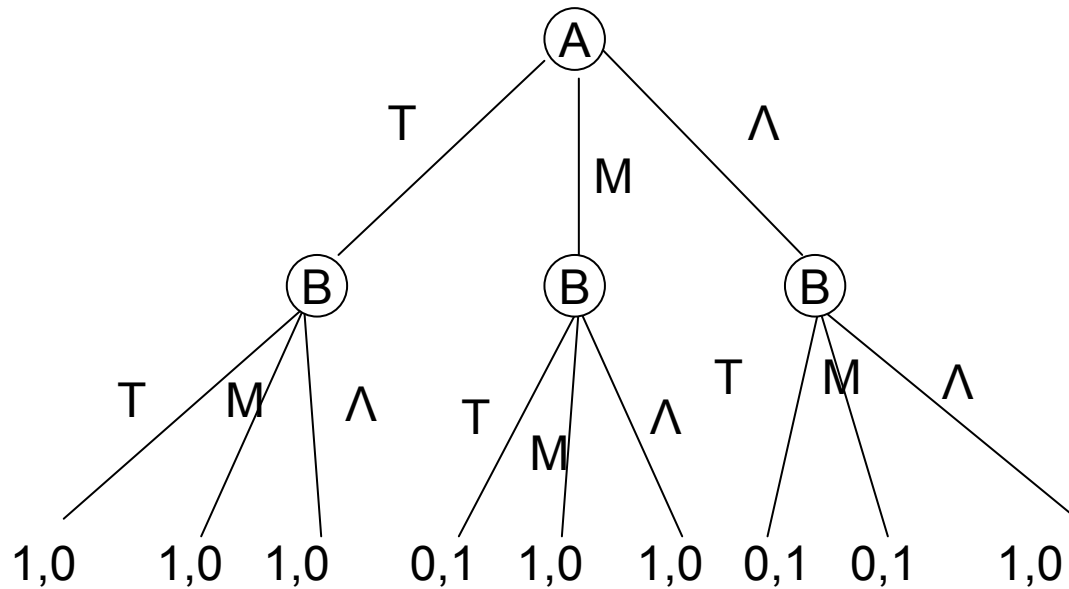
τερματικοί κόμβοι



# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή

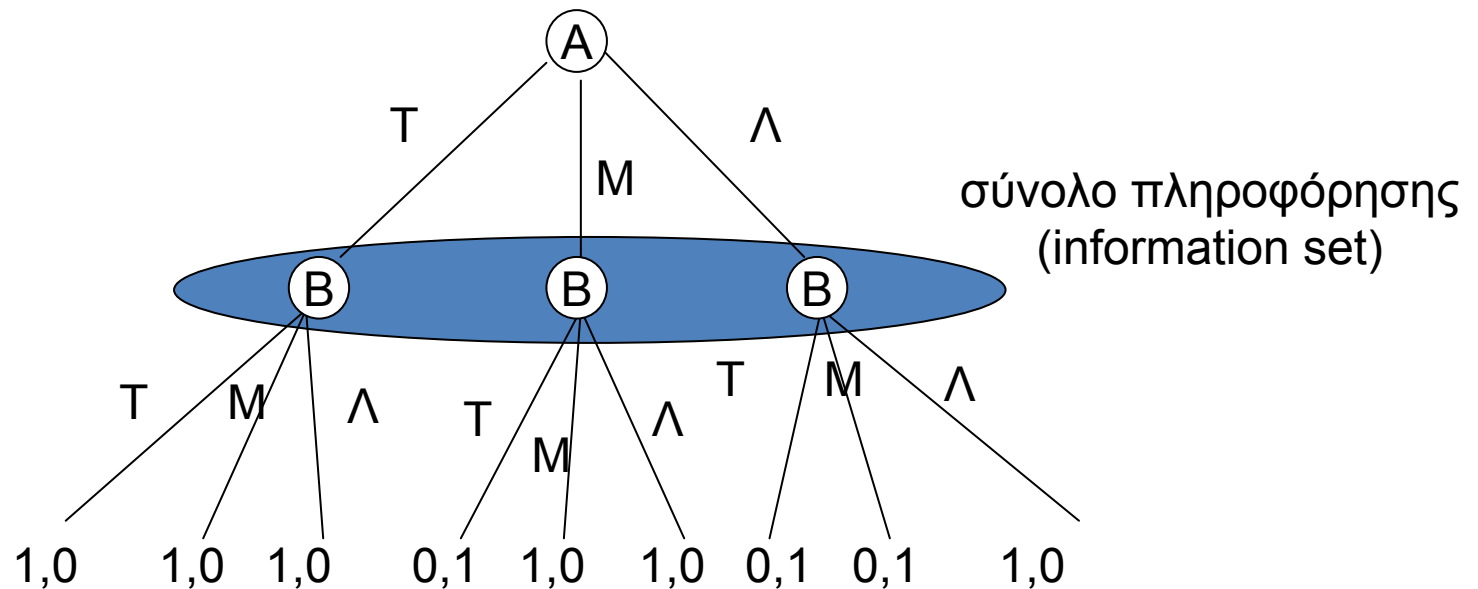


# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή



Οι A και B μπορεί να εμφανίζονται κι άλλες φορές στο δέντρο  
Μπορεί να υπάρχουν κι άλλοι παίκτες...

# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή

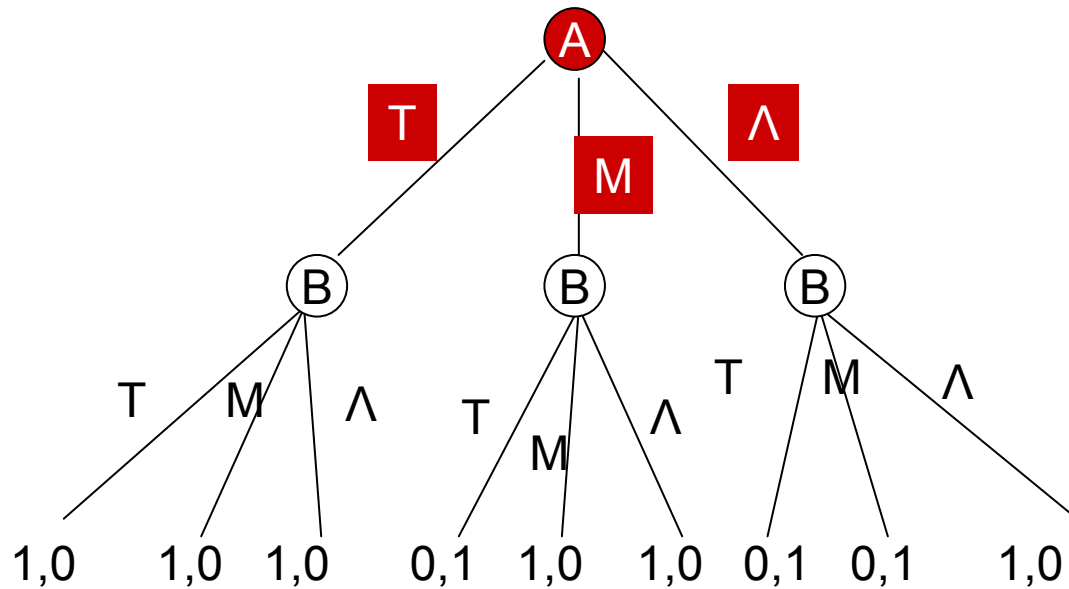


Όταν αποφασίζει ο B, γνωρίζει την απόφαση του A;

**ΝΑΙ:** παίγνιο **πλήρους** πληροφόρησης (perfect-information game)

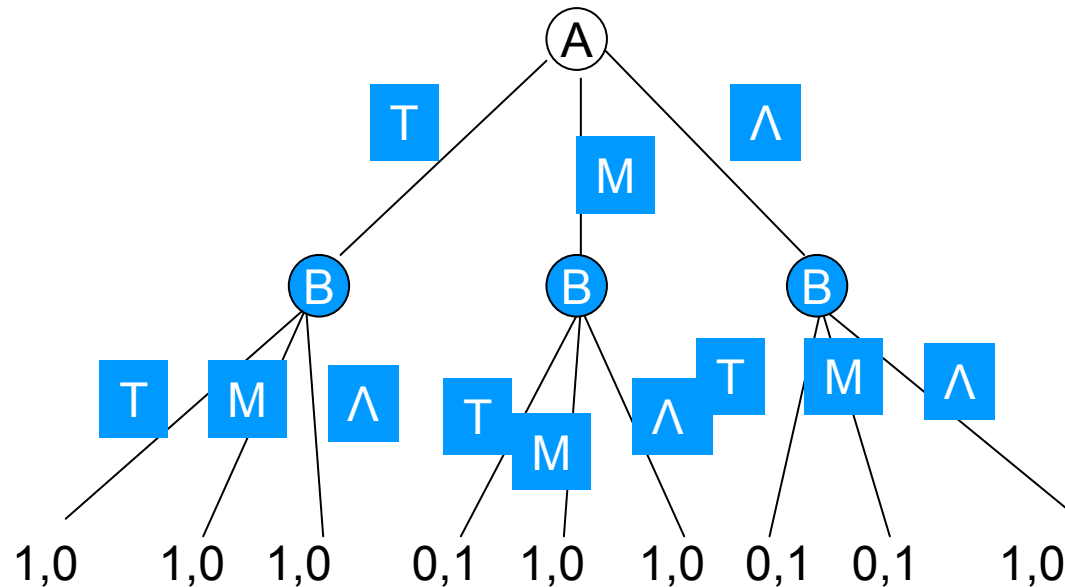
**ΟΧΙ:** παίγνιο **ατελούς** πληροφόρησης (imperfect-information game)

# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή



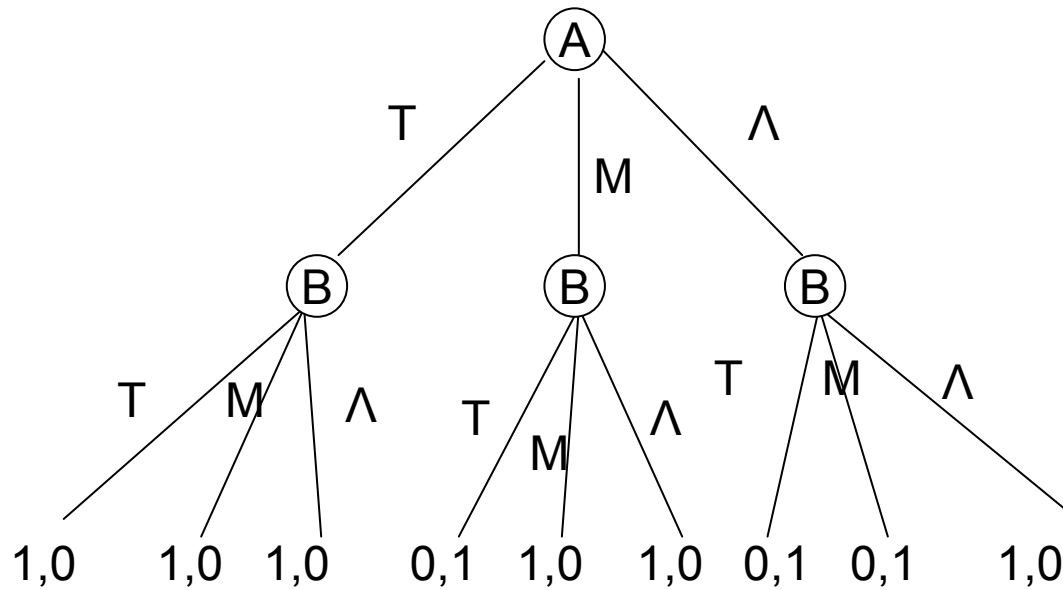
Οι A έχει 3 στρατηγικές

# Εισιτήρια για αγώνα: εκτεταμένη μορφή



Ο B έχει 9 στρατηγικές – αφού πρέπει να αποφασίσει μαντεύοντας την πιθανή απόφαση του A (την οποία ΔΕ γνωρίζει)

# Εισιτήρια για αγώνα: στρατηγική μορφή



A/B	T	M	Λ
T	(1,0)	(1,0)	(1,0)
M	(0,1)	(1,0)	(1,0)
Λ	(0,1)	(0,1)	(1,0)

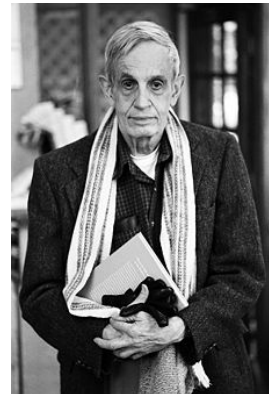


# Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

- Στα συνήθη παίγνια εκτεταμένης μορφής βασική προϋπόθεση αποτελεί οι παίκτες να έχουν πλήρη γνώση των προηγούμενων αποφάσεων που έχουν ληφθεί: οι παίκτες είναι πλήρως πληροφορημένοι (complete information games)
- Όταν οι παίκτες ενεργούν σειριακά αλλά δεν έχουν πλήρη γνώση όσων έχουν προηγηθεί ή/ και υπεισέρχεται κάποιας μορφής τυχαιότητα ορίζονται Παίγνια Εκτεταμένης Μορφής με Ατελή Πληροφόρηση
  - η Φύση θεωρείται ένας παίκτης που διαλέγει τυχαία ορισμένους κόμβους

# Ισορροπία Nash (Nash equilibrium)

- προφίλ στρατηγικών με την ιδιότητα ότι
- δεδομένου ότι οι υπόλοιποι παίκτες δεν θα μεταβάλουν τη στρατηγική τους
- κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει τη θέση του επιλέγοντας μια ενέργεια διαφορετική από αυτή στο προφίλ
- Κατάσταση του παιγνίου κατά την οποία κανένας παίκτης δεν έχει συμφέρον να αλλάξει μονομερώς τη στρατηγική του...
  - Μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία τέτοιες καταστάσεις σε παίγνια...



# Παράδειγμα

- Εγώ και ο σύντροφός μου έχουμε χάσει τα κινητά μας και δε μπορούμε να επικοινωνήσουμε...
- Θα θέλαμε και οι δυο να περάσουμε περισσότερη ώρα μαζί στο σπίτι... (όφελος=3)
- Αλλά και αν οι δυο καθόμασταν παραπάνω στη δουλειά θα παίρναμε μεγαλύτερο μισθό... (όφελος=2)
- Αν πάω σπίτι και το ίδιο κάνει και ο σύντροφός μου: ΟΚ
- Αν μείνω στη δουλειά και το ίδιο κάνει και ο σύντροφός μου: ΟΚ
- Το χειρότερο (όφελος=1) θα ήταν να πάω σπίτι και ο σύντροφός μου να μείνει στη δουλειά ή το αντίστροφο...

	Πάει σπίτι	Μένει στη δουλειά
Πάω σπίτι	(3,3)	(1,2)
Μένω στη δουλειά	(2,1)	(2,2)

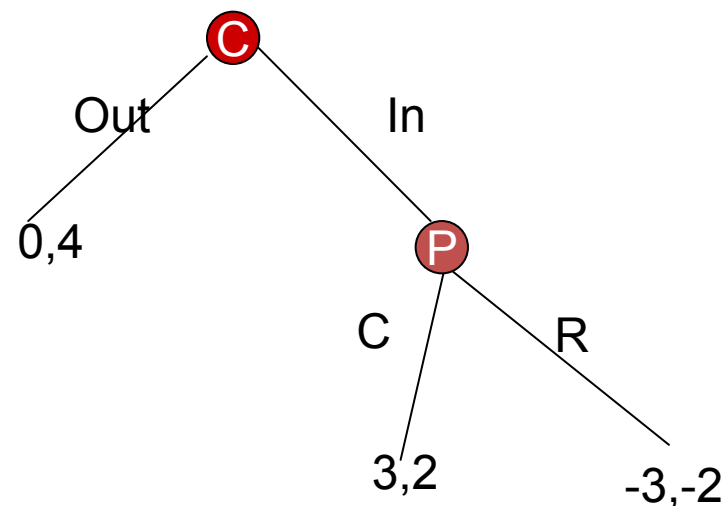
# Παράδειγμα

- Αυτό το «παιχνίδι» έχει δύο ισορροπίες Nash (Nash equilibria)
- Αν και οι δύο πάμε σπίτι, κανείς δεν το μετανιώνει: και οι δύο έχουμε το μέγιστο όφελος
- Αν και οι δυο μείνουμε στη δουλειά:
  - Με δεδομένο ότι ο σύντροφός μου έμεινα στη δουλειά, δε μετανιώνω που έμεινα και εγώ αντί να πάω σπίτι
  - Με δεδομένο ότι έμεινα στη δουλειά, ο σύντροφός μου δε μετανιώνει που έμεινε και αυτός αντί να πάει σπίτι
- Αν και οι δυο θα θέλαμε να έχουμε πάει σπίτι, κανείς δε μετανιώνει για την επιλογή του, δεδομένης της γνώσης μας για την επιλογή του άλλου ατόμου

	Πάει σπίτι	Μένει στη δουλειά
Πάω σπίτι	(3,3)	(1,2)
Μένω στη δουλειά	(2,1)	(2,2)

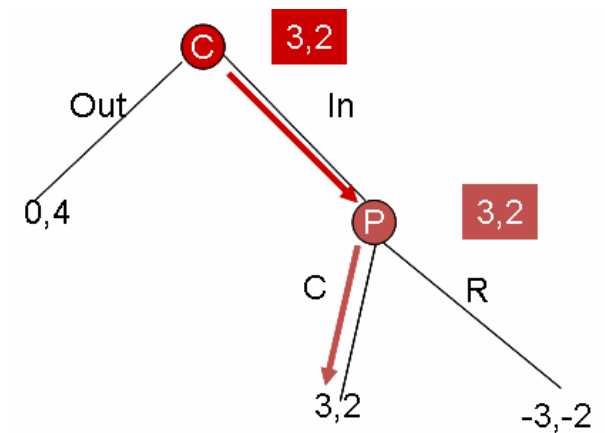


- Η Coke πρέπει να αποφασίσει αν θα εισέλθει σε μια νέα αγορά που ελέγχει η Pepsi
  - Έχει 2 επιλογές: να εισέλθει (In) ή να μείνει εκτός (Out)
- Αν η Coke εισέλθει, η Pepsi έχει 2 επιλογές: να συμβιβαστεί (C) ή να αντιδράσει (R)





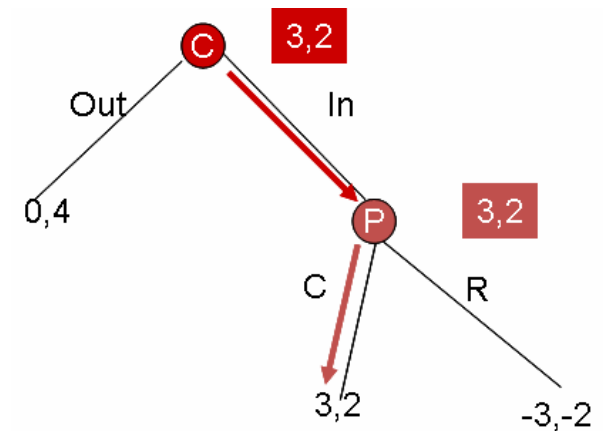
- Αναλύουμε το παίγνιο από το «τέλος» στην «αρχή»
  - Αν η Coke εισέλθει, την Pepsi τη συμφέρει να Συμβιβαστεί και να έχει όφελος = 1 αντί να αντιδράσει και να έχει όφελος = -1
  - Οπότε και την Coke τη συμφέρει να εισέλθει και να έχει όφελος = 2 αντί να μείνει εκτός και να έχει όφελος = 0





- Αναλύουμε το παίγνιο από το «τέλος» στην «αρχή»
  - Αν η Coke εισέλθει, την Pepsi τη συμφέρει να συμβιβαστεί και να έχει όφελος = 1 αντί να αντιδράσει και να έχει όφελος = -1
  - Οπότε και την Coke τη συμφέρει να εισέλθει και να έχει όφελος = 2 αντί να μείνει εκτός και να έχει όφελος = 0

Pepsi		C	R
Coke	In	(3,2)	(-3,-2)
	Out	(0,4)	(0,4)



Αφού η Coke αποφασίζει πρώτη

# Εφαρμογές Θεωρίας παιγνίων σε καθημερινές καταστάσεις...

- ... των οποίων η έκβαση δεν εξαρτάται μόνο από τις πράξεις των ίδιων των εμπλεκομένων...
  - δημοπρασίες στο Διαδίκτυο
  - βουλευτικές εκλογές
  - διαπραγμάτευση της τιμής ενός προϊόντος με ένα πωλητή σε ένα κατάστημα
  - αναζήτηση θέσης στο μετρό
  - ...





# Εφαρμογές Θεωρίας παιγνίων σε ασύρματες επικοινωνίες

- **Ad-hoc δίκτυα**: οι ίδιοι οι κόμβοι πρέπει να επιλέγουν την πολιτική δρομολόγησης
- **Γνωστικές ραδιοσυσκευές**: είναι σε θέση να ανιχνεύουν τους διαθέσιμους τηλεπικοινωνιακούς πόρους και να προσαρμόζονται αντίστοιχα, δηλ., λαμβάνουν αποφάσεις για το πώς θα χρησιμοποιήσουν το εκάστοτε διαθέσιμο φάσμα
- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**: οι κόμβοι πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τις εκτιμήσεις μεγεθών που ενδιαφέρουν και σχετικά με το ποια δεδομένα και πώς θα προωθηθούν στους γειτονικούς κόμβους
- **Χρήση μη Αδειοδοτημένων Συχνοτήτων**: δεν αποτελούν ιδιοκτησία κάποιου διαχειριστή και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα

# Συνάθροιση δεδομένων σε WSN με χρήση Θεωρίας Παιγνίων

- Χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος TAG για συνάθροιση δεδομένων σε ένα WSN
- Η φάση της κατανομής του αλγορίθμου TAG κατά την οποία δημιουργείται το δένδρο συνάθροισης παραμένει αναλλοίωτη
- Για τη φάση συλλογής, η **στρατηγική χρονισμού** υλοποιείται σαν ένα (στρατηγικό) **παίγνιο**:
  - Ο κάθε αισθητήρας του WSN είναι ένας παίκτης και κάθε φορά που λαμβάνει πακέτο από κάποιο κόμβο-παιδί του, πρέπει να αποφασίζει ποια είναι η συμφέρουσα στρατηγική:
    - να στείλει το συναθροισμένο πακέτο με τα πακέτα που έχει συγκεντρώσει μέχρι τη δεδομένη στιγμή ή
    - να περιμένει για να λάβει και άλλα πακέτα

# Υποθέσεις για WSN

- Οι αισθητήρες μετρούν περιοδικά ανά  $T$  λεπτά (minutes)
- Η συνάρτηση συνάθροισης που πραγματοποιείται στους αισθητήρες είναι μία απλή συνάρτηση συνάθροισης όπως για παράδειγμα αυτή του μέσου όρου (average), της ελάχιστης τιμής (minimum) ή της μέγιστης τιμής (maximum) των μετρήσεων
- Το δίκτυο περιορίζεται από ένα μέγιστο επιτρεπτό χρόνο απόκρισης  $T_{max}$  (maximum latency) που αποτελεί και την προδιαγραφή της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service-QoS)



# Υποθέσεις για WSN

- Όταν εκτελεσθεί η φάση κατανομής του αλγορίθμου, ο κόμβος-συλλέκτης γνωρίζει το μέγιστο πλήθος των βημάτων (hops) που απέχει από τον πλέον απομακρυσμένο κόμβο του WSN και με βάση αυτό υπολογίζει το μέγιστο χρονικό διάστημα  $\tau$  που μπορεί να περιμένει ένας αισθητήρας, αφού λάβει το πρώτο πακέτο, μέχρι να στείλει στον κόμβο-πατέρα του προκειμένου να ικανοποιείται η ποιότητα υπηρεσίας
  - $T_{max} = (\text{μέγιστο πλήθος βημάτων} - 1) * \tau$
- Στο χρονικό διάστημα  $[0, \tau]$  ο αισθητήρας συγκεντρώνει τα πακέτα που λαμβάνει από τους κόμβους-παιδιά του και από τις δικές του μετρήσεις



# Ιδέα στρατηγικής χρονισμού

- Θέλουμε ένας αισθητήρας, αφού λάβει το πρώτο του πακέτο, είτε από δική του μέτρηση είτε από κάποιο από τα παιδιά του, να μην αποστείλει αμέσως αλλά **να περιμένει** (το πολύ μέχρι τ) για να **συναθροίσει όσο το δυνατό περισσότερα πακέτα**, τα οποία, στη συνέχεια, θα στείλει ως ένα πακέτο στον κόμβο-πατέρα του – ΓΙΑΤΙ;
  - για να γίνει **εξοικονόμηση ενέργειας** αφού αποφεύγεται ένας αριθμός εκπομπών
    - εκπομπή: περισσότερο ενεργειακά δαπανηρή δραστηριότητα ενός αισθητήρα
  - όσο ταχύτερα αποστείλει ένας αισθητήρας στον κόμβο-πατέρα του το πακέτο που έχει, τόσο πιο **πρόσφατες** θα είναι, επομένως και **μεγαλύτερη αξία θα έχουν οι πληροφορίες** που θα φθάσουν στον κόμβο-συλλέκτη

# Ιδέα στρατηγικής χρονισμού

- Ζητούμενο: συμβιβασμός (trade-off) ως προς το χρονικό διάστημα αναμονής ενός αισθητήρα αφού λάβει το πρώτο πακέτο μέχρι να αποστείλει στον κόμβο-πατέρα του
- Το χρονικό αυτό διάστημα πρέπει να γίνει
  - Όσο μεγαλύτερο γίνεται για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας του αισθητήρα,
  - Όσο μικρότερο γίνεται προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ποιότητα υπηρεσίας των μετρήσεων

# Το παίγνιο

- Για την επίλυση του προβλήματος βέλτιστου συμβιβασμού των δύο απαιτήσεων περιγράφεται μαθηματικά η **αλληλεπίδραση ενός αισθητήρα με τους K κόμβους-παιδιά** του ως ένα παίγνιο
- Από τους αισθητήρες ενός WSN εξαιρούνται
  - οι κόμβοι-φύλλα του δένδρου συνάθροισης γιατί δεν έχουν κόμβους-παιδιά
    - οι κόμβοι αυτοί αποστέλλουν τα πακέτα τους αμέσως αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της αίσθησης-μέτρησης
  - ο κόμβος-συλλέκτης γιατί δεν προωθεί τα πακέτα που λαμβάνει σε κάποια άλλη οντότητα

# Συνάρτηση οφέλους (utility function)

- ποσοτικοποιεί τους δύο αντικρουόμενους στόχους του αισθητήρα και εκφράζεται ως γινόμενο δύο συνιστωσών:
  - το μέτρο της ποιότητας υπηρεσίας (QoS metric): δείχνει το πόσο καλά λειτουργεί το δίκτυο
    - Max: όταν ο αισθητήρας προωθεί αμέσως στον κόμβο-πατέρα του όποια πακέτα λαμβάνει
    - Min: όταν ο αισθητήρας προωθεί στον κόμβο-πατέρα του το συναθροισμένο πακέτο μετά από  $t$  λεπτά από την λήψη του πρώτου πακέτου
  - το μέτρο της καταναλισκόμενης ενέργειας (power metric): δείχνει το λόγω συνάθροισης όφελος ως προς την καταναλισκόμενη ενέργεια
    - Υποθέτουμε πακέτα με σταθερό μέγεθος και αισθητήρες με  $K$  παιδιά
    - Το όφελος στην καταναλισκόμενη ενέργεια από την αναμονή ενός αισθητήρα πριν μεταδώσει εξαρτάται από το πλήθος των πακέτων ( $k$ ) που θα συμπεριλάβει στο συναθροισμένο πακέτο
      - Όσο περισσότερα πακέτα περιλαμβάνονται στο συναθροισμένο πακέτο τόσο περισσότερο ενεργειακά αποδοτική είναι η συμπεριφορά του αισθητήρα
    - Το μέγιστο πλήθος των πακέτων που είναι δυνατό να συγκεντρώσει ένας αισθητήρας είναι  $K+1$ , δηλαδή ένα από τη δική του μέτρηση και  $K$  από τους  $K$  κόμβους-παιδιά του



# Συνάρτηση οφέλους (utility function)

- Κάθε αισθητήρας γνωρίζει πόσα πακέτα ( $k$ ) έχει συγκεντρώσει καθώς και το χρόνο  $t$  που έχει παρέλθει αφού έλαβε το πρώτο πακέτο
- Κάθε φορά που λαμβάνει ένα νέο πακέτο ο αισθητήρας πρέπει να αξιολογήσει αν αξίζει να περιμένει και για άλλα πακέτα ή να αποστείλει όσα έχει λάβει και συναθροίσει μέχρι εκείνη τη στιγμή
- Αν ένας αισθητήρας τη χρονική στιγμή  $t$  λαμβάνει το  $k$ -οστό πακέτο από τους κόμβους-παιδιά του πρέπει να υπολογίσει το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  για το οποίο τον συμφέρει να αναμένει ώστε να λάβει τουλάχιστον ένα ακόμα πακέτο
  - Το χρονικό αυτό διάστημα  $\Delta t$  προσδιορίζεται με χρήση της συνάρτησης οφέλους

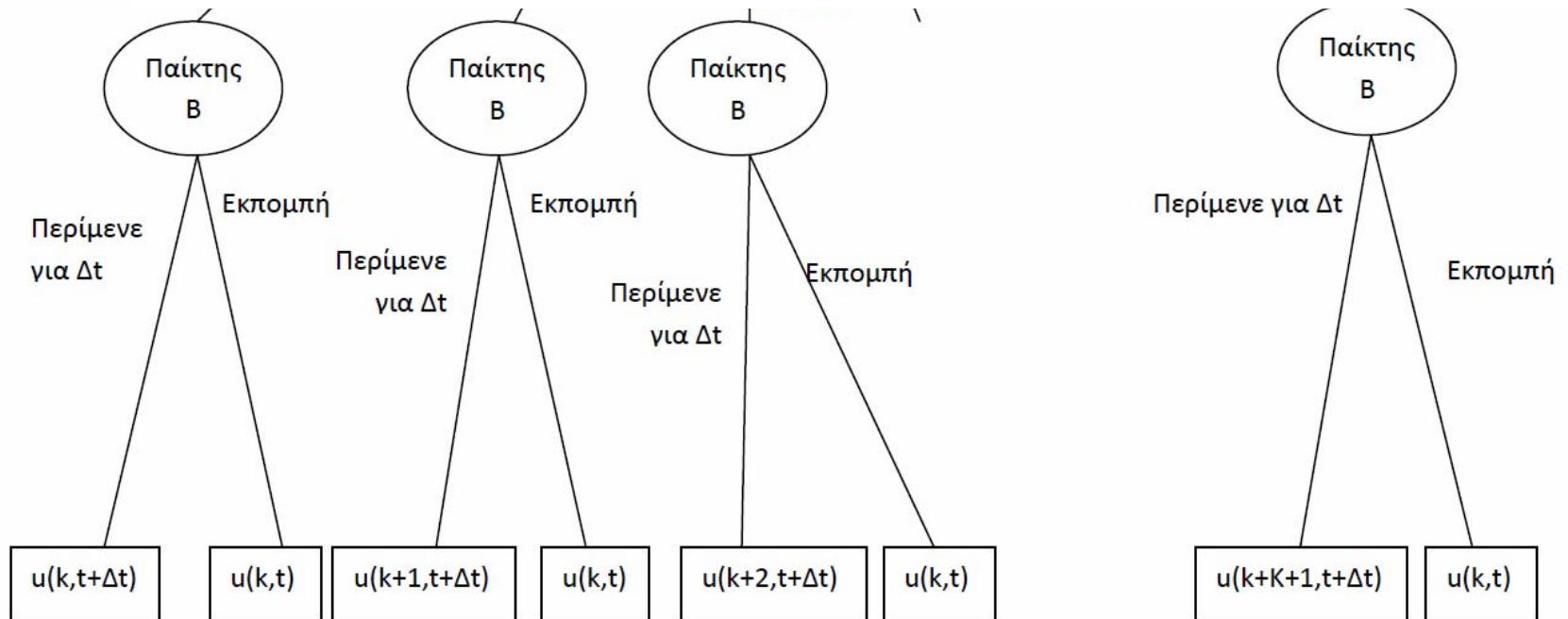
# Συνάρτηση οφέλους (utility function)

- Όσο παρέρχεται ο χρόνος αναμονής του αισθητήρα από τη λήψη του πρώτου πακέτου
- Τόσο μικραίνουν τα διαστήματα  $\Delta t$  κατά τα οποία συμφέρει τον αισθητήρα να περιμένει και για άλλα πακέτα
- Διαίσθηση:
  - Όσο αυξάνεται ο χρόνος αναμονής  $t$  του αισθητήρα τόσο περισσότερα πακέτα έχει συγκεντρώσει οπότε μειώνεται το κίνητρο που έχει για να αυξήσει την ενεργειακή του απόδοση δηλαδή για να περιμένει
  - Ταυτόχρονα, όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα αναμονής μειώνεται το μέτρο της ποιότητας υπηρεσίας

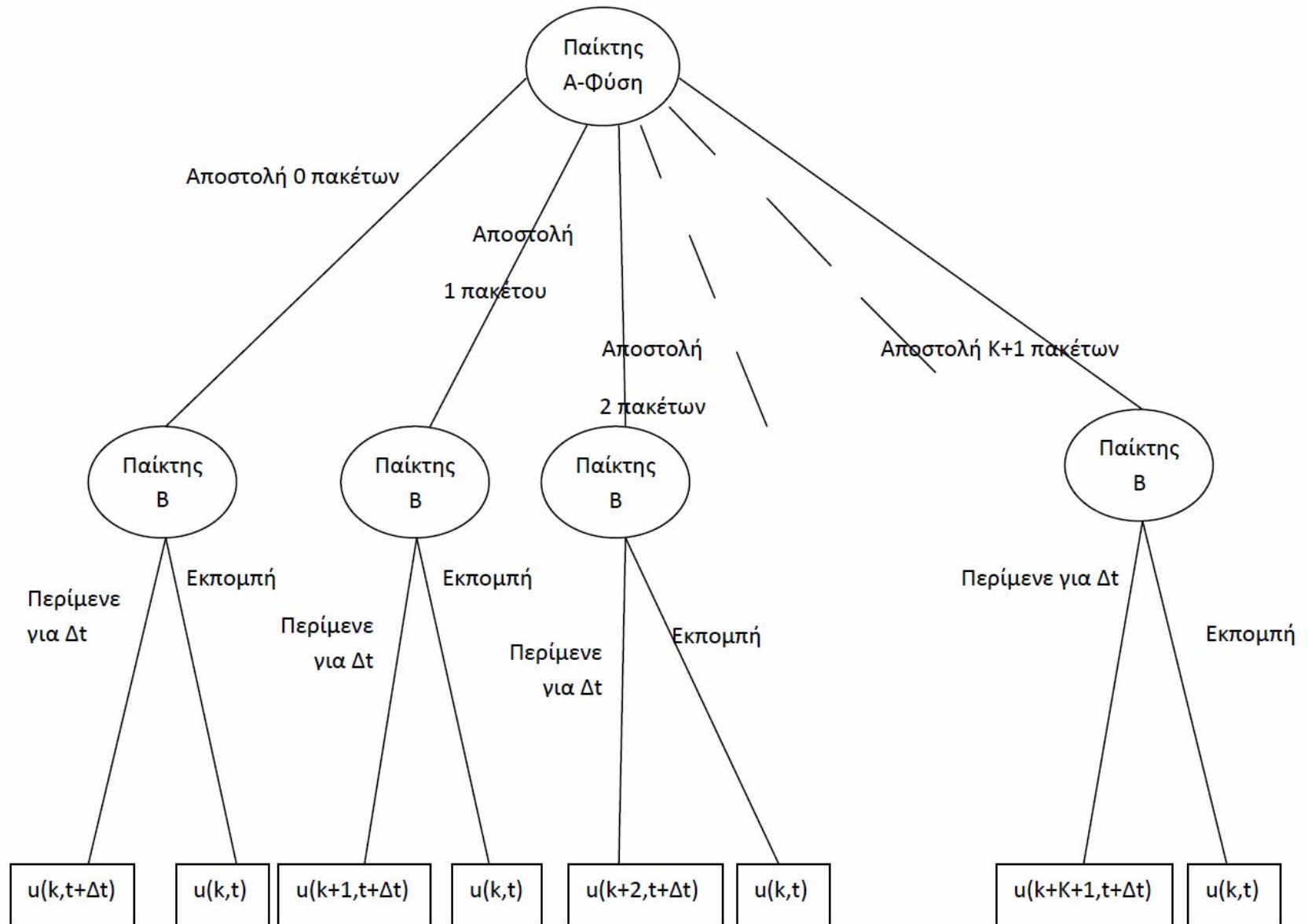
# Παίγνιο εκτεταμένης μορφής με μη πλήρη πληροφορία



κόμβος-πατέρας ο οποίος λαμβάνει τις μετρήσεις από τα παιδιά του και τον αισθητήρα του και αποφασίζει αν θα προωθήσει συναθροισμένα όσα έχει λάβει μέχρι εκείνη τη στιγμή ή αν θα περιμένει για να λάβει και άλλα πακέτα τα οποία θα συμπεριλάβει στο συναθροισμένο πακέτο



# Παίγνιο εκτεταμένης μορφής με μη πλήρη πληροφορία



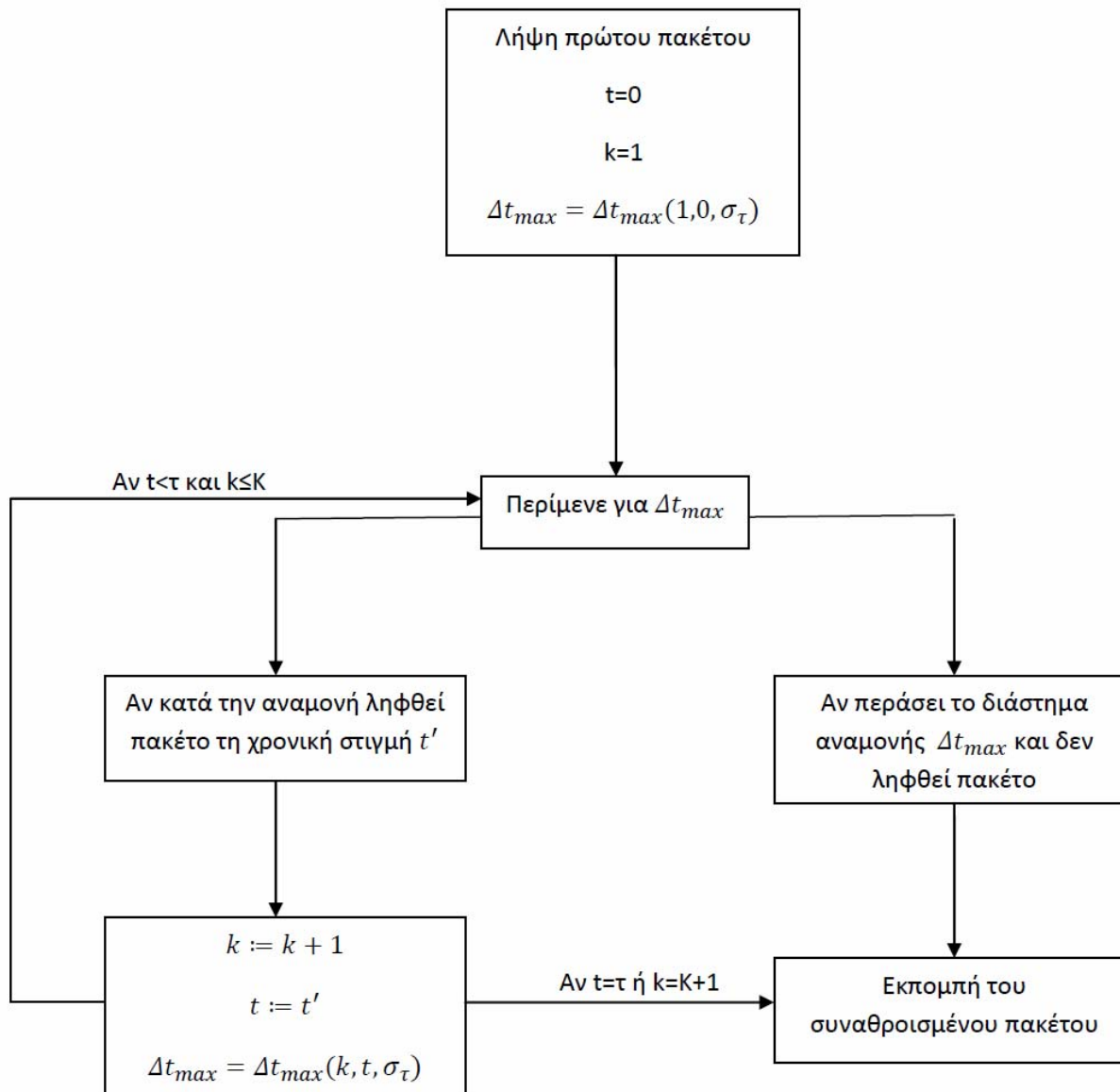
# Αντίστοιχο παίγνιο στρατηγικής μορφής

Τι «σκέφτεται» ο πατέρας

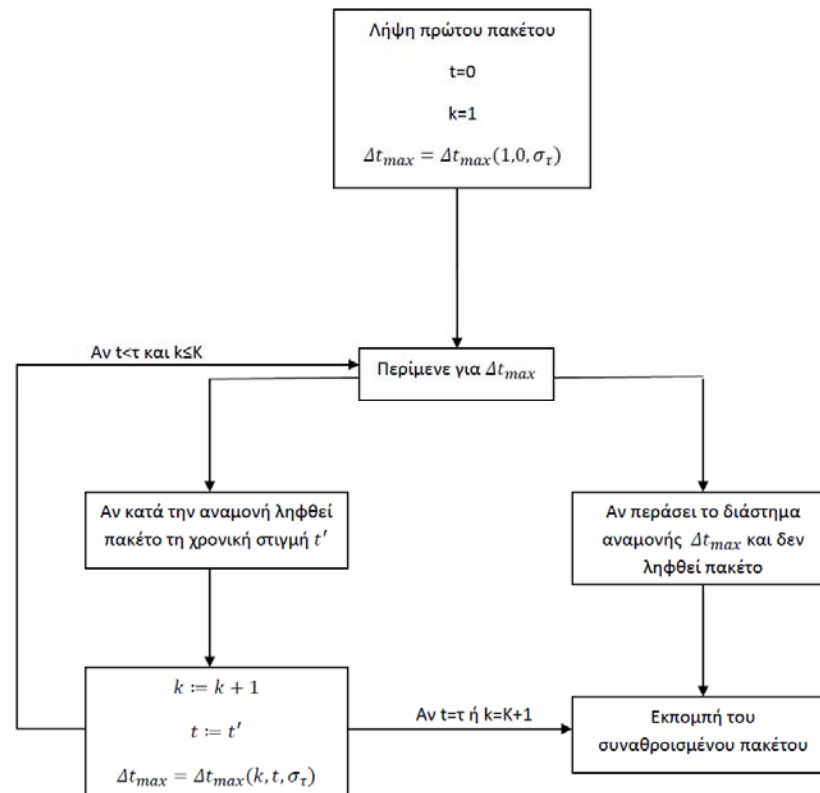
Τι «σκέφτονται» τα παιδιά

A \ B	Περίμενε για $\Delta t$	Εκπομπή
Αποστολή 0 πακέτων $p_0$	$u(k, t + \Delta t)$	$u(k, t)$
Αποστολή 1 πακέτου $p_1$	$u(k+1, t + \Delta t)$	$u(k, t)$
Αποστολή 2 πακέτων $p_2$	$u(k+2, t + \Delta t)$	$u(k, t)$
· · · ·	· · · ·	· · · ·
Αποστολή $K+1$ πακέτων $p(K+1)$	$u(k+K+1, t + \Delta t)$	$u(k, t)$

Η πρώτη φορά που παίζεται το παίγνιο είναι όταν ο B λαμβάνει το πρώτο πακέτο ( $t=0$ ). Το παίγνιο παίζεται κάθε φορά που ο A στέλνει πακέτο.



στ: συσχέτιση μετρήσεων - Για παράδειγμα, λόγω χωρικής συσχέτισης, δεδομένα από απομακρυσμένους κόμβους είναι περισσότερο χρήσιμα για τον κόμβο-συλλέκτη σε σχέση με δεδομένα από γειτονικούς κόμβους που εμφανίζουν μεγάλη συσχέτιση  $\Rightarrow$  μπορεί να μην είναι απαραίτητο κάθε αισθητήρας να προωθήσει τα δεδομένα του προς τον κόμβο-συλλέκτη: αντίθετα, ένας μικρός αριθμός μετρήσεων από απομακρυσμένους κόμβους ενδέχεται να είναι επαρκής για να αποδοθεί με αποδεκτό βαθμό αξιοπιστίας το υπό παρατήρηση φαινόμενο



# Αξιολόγηση

- Στρατηγική χρονισμού βασισμένη στη Θεωρία Παιγνίων προσδίδει **ευφυΐα** στον κάθε κόμβο
- Η βασική διαφορά σε σχέση με τη συνήθη στρατηγική χρονισμού της φάσης συλλογής του αλγορίθμου TAG είναι ότι ο **αισθητήρας** είναι ευφυής και έχει τη δυνατότητα να **ρυθμίζει τη συμπεριφορά** του με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν ως προς τη συμπεριφορά του δικτύου
  - Δηλαδή ο αισθητήρας είναι σε θέση να βρίσκει **συμβιβαστικές λύσεις** προκειμένου να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του δικτύου τόσο για την **ενεργειακή απόδοση** όσο και για την **ταχύτητα απόκρισης**



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.00**.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, **Εύη Παπαϊωάννου**. «**Ειδικά θέματα σε κινητά και ασύρματα δίκτυα. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: συνάθροιση δεδομένων.**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CULTURE160/index.php>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

**Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

[Συνάθροιση Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων Βασισμένη στη Θεωρία Παιγνίων](#). Ευφροσύνη Δ. Σίμου. Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π., 2013.

<http://www.wikipedia.org>

