

Κινητός και Διάχυτος Υπολογισμός (Mobile & Pervasive Computing)

Δημήτριος Κατσαρός

Διάλεξη 18η

Περιεχόμενα

- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
(Wireless Sensor Networks)**
 - **Εισαγωγικά**
 - Data-centric networking με το Directed Diffusion

Κατηγορίες δικτύων αισθητήρων

- Εφαρμογές
- Κινητά vs. στατικά
 - Υβριδικά
- Ομογενή vs. ετερογενή
 - Sensors vs. relays
- Επίπεδα vs. ιεραρχικά
- Αριθμός και θέση των sinks
- Τύπος μέσου επικοινωνίας
 - Ενσύρματα?
 - Ασύρματα RF, οπτικά, ακουστικά
 - Υβριδικά

Εφαρμογές

- **Ecological Habitat Monitoring**
 - UCB/Intel Berkeley: Great Duck Island
 - UCLA-CENS: James Reserve
 - Princeton: ZebraNet in Kenya
- **Structural Monitoring**
 - UCLA-CENS: Factor Building
 - USC: Networked SHM
 - UCB/Intel Berkeley: SF Golden Gate Bridge
- **Biomedical Applications**
 - Artificial retina
 - "Bio-monitors"
- **Industrial and Commercial Apps**
 - Ember Corp: Thermal Process Control, Shipment Tracking



ember
embedded RF



Κόμβοι δικτύων αισθητήρων



WINS (Rockwell)



MICA 2 Mote (Berkeley)

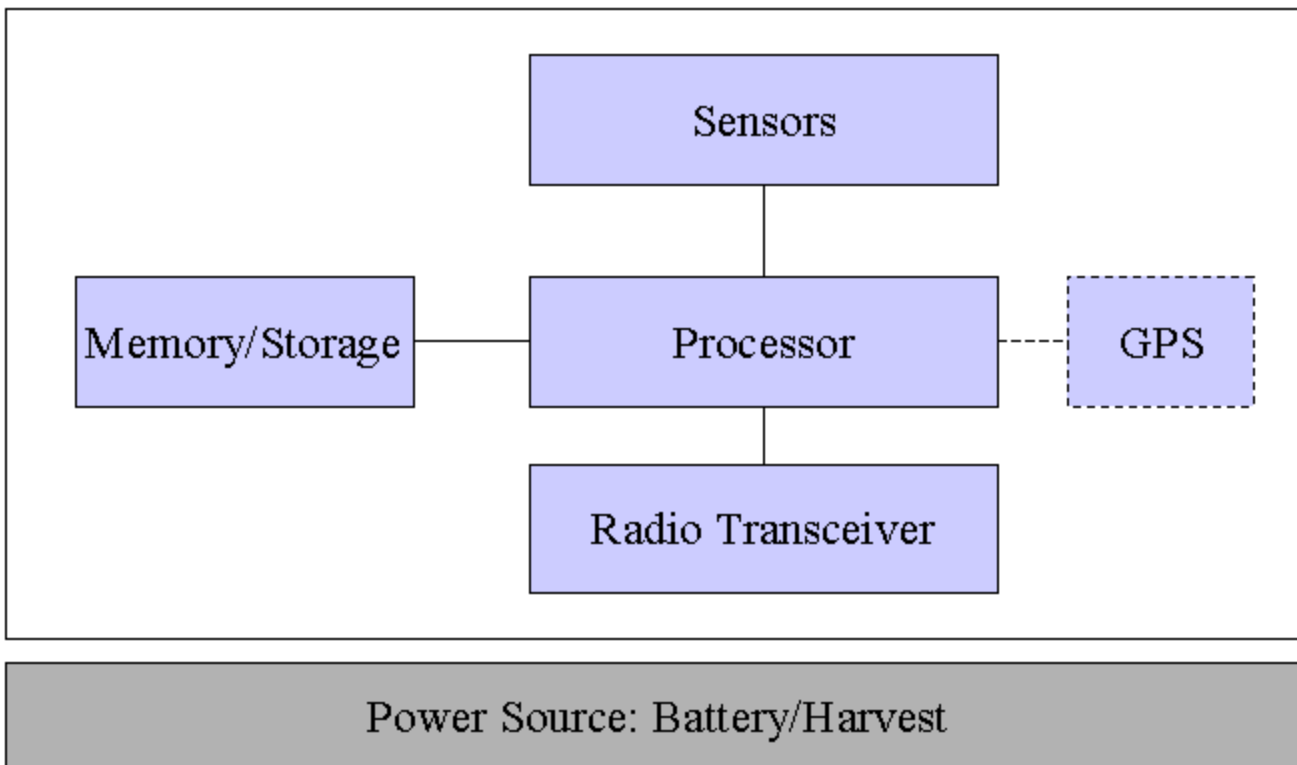


GNOMES (Rice)



MANTIS Nymph (Colorado)

Βασικό υλικό (hardware)



Berkeley Motes



- ❑ MICA 2.
- ❑ Runs TinyOS, programmed using NesC
- ❑ ATMEL Atmega 128 Processor ATmega 128L 8-bit, 8MHz, 4KB EEPROM, 4KB RAM, 128KB flash
- ❑ Chipcon CC100 multichannel radio 38.4 Kbaud, (Manchester encoding, FSK), 500-1000ft max range.
- ❑ Standalone sensor boards
- ❑ TOSSIM software to simulate a mote-based sensor network*

* Συνιστάται ανεπιφύλακτα για λεπτομερή έργα προσομοίωσης!

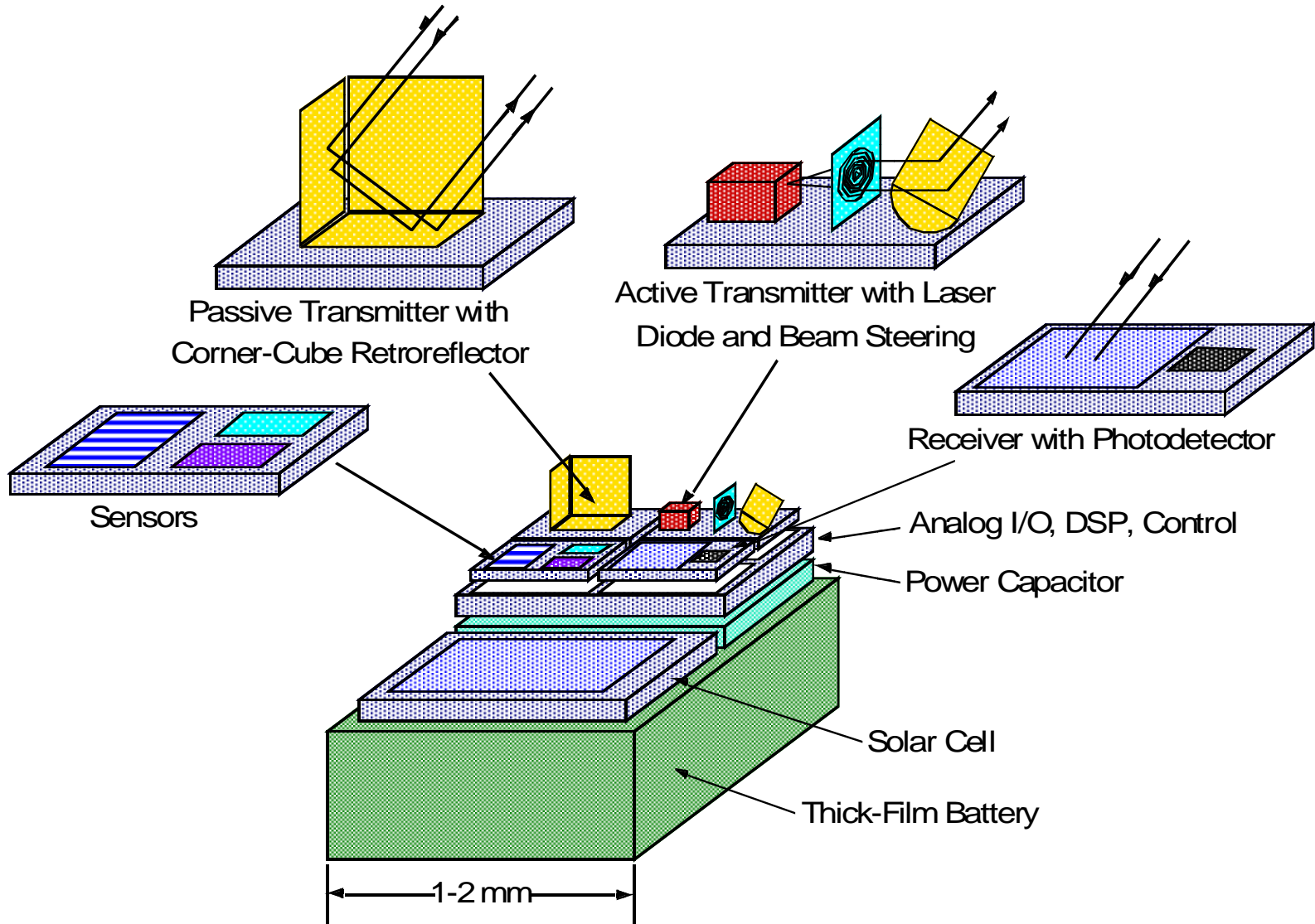
Έξυπνη σκόνη (Smart Dust)

- Σχεδιαστικοί στόχοι
 - Cubic millimeter.
 - Πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Αποτέλεσμα: το πακέτο αισθητήρα περιέχει

- Αισθητήρες
- Οπτικό αναμεταδότη (passive και active) και λήπτη (receiver)
- Επεξεργασία σήματος
- Ηλιακή πηγή ενέργειας

Συνοστώσεις της smart dust



Smart dust: προκλήσεις

- Απαίτηση LoS vs. κινητικότητα
- Κατεύθυνση σύνδεσης
- Ενέργεια, ρυθμός δεδομένων, και απόσταση trade-off
- Link unidirectionality και ασυμμετρία
- Τοπικότητα

Βιοϊατρικές εφαρμογές

- Παρατήρηση υγείας
 - Επίπεδο γλυκόζης
 - Πεπτικό σύστημα
 - Μυϊκό σύστημα
 - Καρδιαγγειακό σύστημα, κ.τ.λ.
- Τεχνητός αμφιβληστροειδής

Συνοπτικά οι προκλήσεις

- Περιορισμένες δυνατότητες: ενέργεια, επεξεργασία, αποθήκευση, και επικοινωνία
- Συνεχής λειτουργία
- Ευρωστία και fault tolerance
- Κλιμάκωση
- Αυτό-διαμόρφωση, αυτό-διαχείριση, αυτό-επιδιόρθωση
- Ζητήματα σχετικά με τα δεδομένα

Ζητήματα ανά εφαρμογή

- Περιορισμοί υλικών
 - Βιο-συμβατότητα
 - Δυσδιάκριτα
 - Μιμούμενα το περιβάλλον
 - Μη-ανιχνεύσιμα: π.χ. stealth πτήση
- Ασφάλεια
 - Ιδιωτικότητα
 - Interference
- Ζητήματα νομοθεσίας
 - Όπως απαιτήσεις της FDA

Περιορισμένη υπολογιστική και αποθηκευτική ισχύς

- Συνεργασία μεταξύ κόμβων
- Συσσώρευση δεδομένων (data aggregation)

Περιορισμένη ενέργεια

- Χαμηλής ενέργειας λειτουργικές συνιστώσες
- Διαχείριση ενέργειας
 - Διάφορες λειτουργικές καταστάσεις
 - Χαμηλό κόστος μετάβασης από-σε κατάσταση
 - Deep-sleep, Sleep, On
 - Παροχή διαφορετικής QoS
- Διαχείριση ενέργειας
 - Μέτρηση ενέργειας
 - Κατανομή του προϋπολογισμού ενέργειας
 - Μεταβάσεις μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων ενέργειας

Ασύρματη επικοινωνία

- Μέσο επικοινωνίας
 - Radio Frequency: παρακολούθηση “συνηθειών”, βιοϊατρικοί αισθητήρες, κ.τ.λ.
 - Φως (active και passive): Smart Dust.
 - **Acoustic**: υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων
- Ad hoc vs. αρχιτεκτονική με υποδομή
- Έλεγχος τοπολογίας
- Δρομολόγηση

Ad hoc vs. infrastructure επικοινωνία

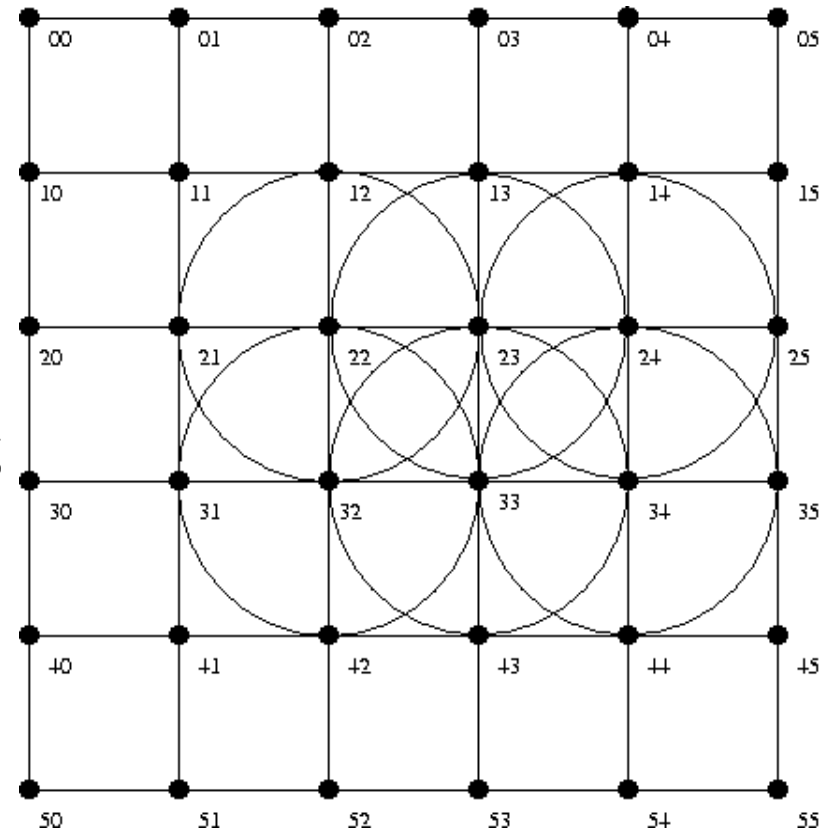
- Επικοινωνία από αισθητήρα σε αισθητήρα:
 - Μικρή απόσταση
 - Ad hoc
- Επικοινωνία από αισθητήρα με σταθμό βάσης:
 - Μακρινής απόστασης επικοινωνία από αισθητήρα προς το σταθμό βάσης
 - Υποδομή

Τοπολογία

- Σταθερή τοπολογία
 - Βασισμένη σε tree
 - Βασισμένη σε clusters
- Δυναμική τοπολογία - κινητικότητα
 - Ad hoc
 - Υποδομή
 - Μεικτή

Σταθερές τοπολογίες

- Μεταβολή # γειτόνων
- Trade-offs
 - Αριθμός των hops
 - Αριθμός των γειτόνων
- Εκτίμηση χρήσης ενέργειας
- Έλεγχος power-aware δρομολόγησης
- **Αποτελέσματα:**
 - Power-aware routing reduces power usage.
 - 3D είναι καλύτερα από 2D



Ζητήματα σχετικά με τα δεδομένα

- Trade-off μεταξύ καθυστέρησης (latency) και ενέργειας
- Αναπαράσταση δεδομένων
 - Raw/συμπιεσμένα δεδομένα
 - Τιμή δειγματοληψίας: Απόλυτη/Σχετική
- Διακρίβωση σφάλματος
 - Όχι πρόσβαση στις πραγματικές τιμές
 - Προκύπτουν από άλλους αισθητήρες

Συνεχής λειτουργία

- Συλλογή δεδομένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- Ανανεώσιμη ενέργεια
 - Ηλιακή ενέργεια
 - Μηχανικές ταλαντώσεις
 - Radio-Frequency επαγωγική αντίσταση
 - Infrared επαγωγική αντίσταση

Ευρωστία και fault tolerance

- Αυτό-προσαρμοζόμενοι αισθητήρες:
 - Προσαρμογή σε αλλαγές περιβάλλοντος
 - Προσαρμογή σε αλλαγές ενέργειας
- Κατανεμημένο δίκτυο:
 - Κάθε αισθητήρας λειτουργεί αυτόνομα από τους γείτονές του
 - Αλληλο-επικαλυπτόμενες περιοχές εξυπηρέτησης
 - Όχι μόνο σημείο αποτυχίας
- Παρακολούθηση κατάστασης “υγείας”
 - Π.χ., αναφορά ενέργειας κατά τη διάρκεια μετάδοσης δεδομένων

Επιφυλάξεις

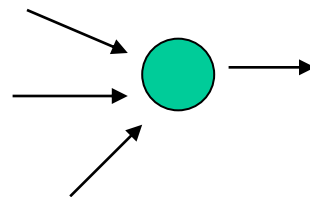
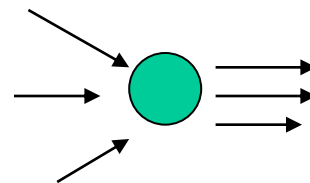
- Υπάρχει μοναδική λύση κατάλληλη για όλες τις εφαρμογές?
- Τα πιο σημαντικά ζητήματα στη σχεδίαση:
 - Κόστος?
 - Κατανομή πόρων?
 - Διαχειρισσιμότητα?
 - Εγκαιρότητα?
 - Αναπροσαρμογή λειτουργίας?
 - ...
- Κλιμάκωση?
 - Εκατομμύρια κόμβων αισθητήρων?

Περιεχόμενα

- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)**
 - Εισαγωγικά
 - **Data-centric networking με το Directed Diffusion**

Το υπολογιστικό παράδειγμα

- Δεδομενο-κεντρικό (Data Centric)
 - Το δίκτυο αισθητήρων επερωτάται για συγκεκριμένα δεδομένα
 - No sensor-specific query
 - Ταυτότητα της πηγής των δεδομένων είναι άσχετη
- Εξειδικευμένο για κάθε εφαρμογή
 - In-sensor επεξεργασία
 - In-sensor caching
- Τοπικοί (Localized) αλγόριθμοι
 - Επιτυγχάνουν τον καθολικό σκοπό μέσα από την τοπική συνεργασία και συντονισμό



Ονοματισμός δεδομένων

- Ονομασία με βάση το περιεχόμενο (Content based naming)
 - “Εργασίες” έχουν όνομα: ζεύγη από (Attribute – value)
 - Επιλογή του σχήματος ονοματισμού είναι σημαντική
 - Όχι καθολικά (μοναδικά) ID κόμβων: μόνο τοπικά μοναδικά

Request: Interest

type = four-legged animal

interval = 20 ms

duration = 10 seconds

rect = [-100,100,200,200]

Reply: Data

type = four-legged animal

interval = 1s

rect = [-100,100,200,200]

timestamp = 01:20:40

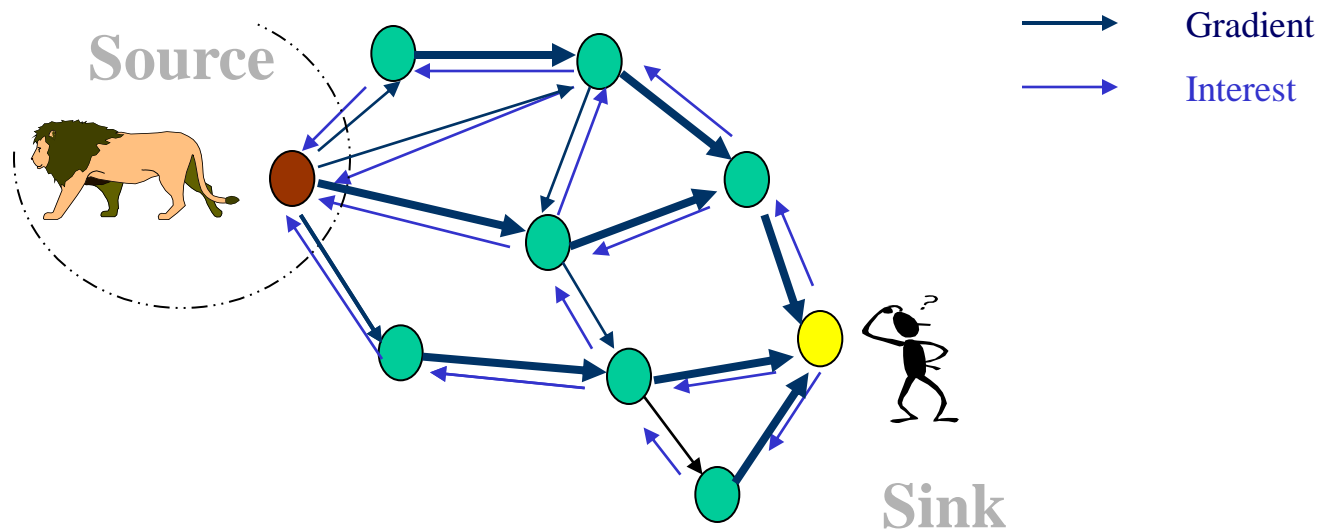
expiresAt = 01:30:40

Interest & Gradient

- **Interest** περιγράφει μια ενέργεια που πρέπει να έρθει σε πέρας από το δίκτυο αισθητήρων
 - Τα interests εγχέονται στο δίκτυο από το **sink**
 - Το sink εκπέμπει (broadcasts) ένα interest
 - Το **interval** καθορίζει ένα ρυθμό για το event data
 - Αρχικά, το αιτούμενο interval είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι χρειάζεται
 - Κάθε κόμβος διατηρεί μια “**interest cache**”
- Κάθε interest entry διατηρεί **gradients**
 - Καθορίζει το ρυθμό δεδομένων και μια **direction** (neighbor)
 - Τα δεδομένα ρέουν από την πηγή προς το sink κατά μήκος της gradient

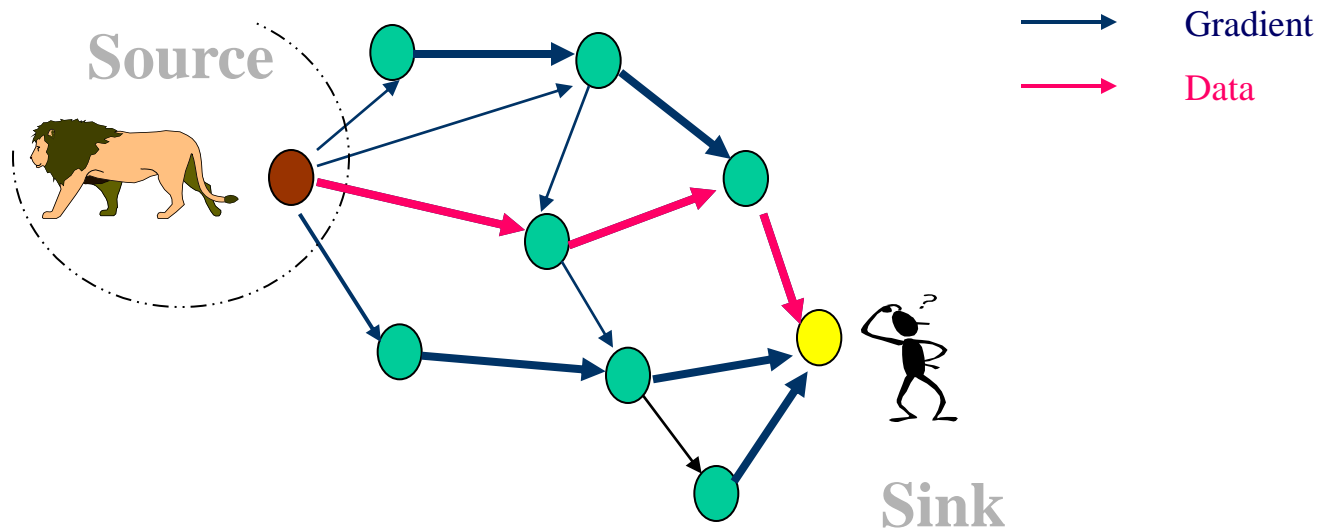
Διάδοση του interest

- Πλημμυρίδα (Flooding)
- Constrained ή Directional flooding ανάλογα με τη τοποθεσία
- Directional Propagation βασίζεται στα προηγούμενα cached data



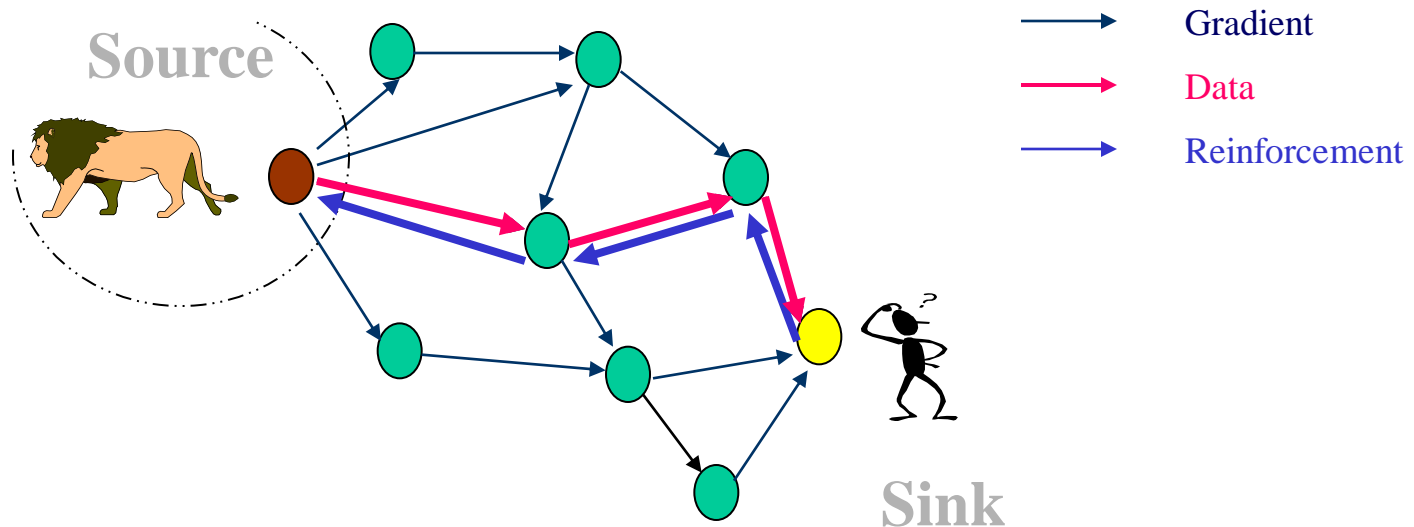
Διάδοση των δεδομένων

- Ενίσχυση, ώστε διανομή σε ένα μόνο μονοπάτι
- Διανομή από πολλαπλά μονοπάτια με πιθανοκρατική προώθηση
- Διανομή από πολλαπλά μονοπάτια με επιλεγμένη ποιότητα κατά μήκος διαφορετικών μονοπατιών



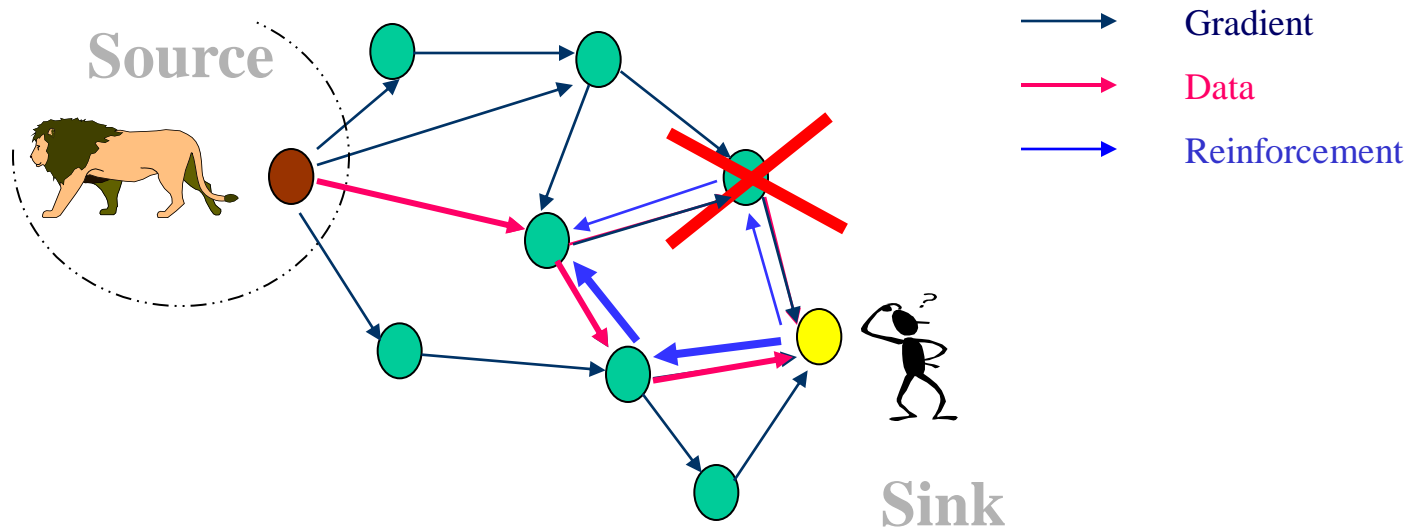
Ενίσχυση (Reinforcement)

- Ενίσχυση ενός από τους γείτονες μετά τη λήψη των αρχικών δεδομένων
 - Γείτονας/ες από τον/τους οποίο/ους ελήφθησαν νέα events
 - Γείτονας ο οποίος συστηματικά “αποδίδει” καλύτερα από τους άλλους
 - Γείτονας από τον οποίο ελήφθησαν τα περισσότερα events



Αρνητική ενίσχυση (Negative Reinforcement)

- Ρητή υποβάθμιση του μονοπατιού με αποστολή ξανά ενός *interest* με χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων (data rate)
- Time out



Σύνοψη του Directed Diffusion

- Η μετάδοση δεδομένων σε επίπεδο εφαρμογής έχει τη δυνατότητα να ελαττώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας
 - Δεδομενο-κεντρική διάχυση πληροφορίας
 - Ενίσχυση (Reinforcement) βασισμένη σε προσαρμογές των μονοπατιών
 - Εξάλειψη και συσσώρευση (suppression, aggregation) των διπλοτύπων

Περιεχόμενα

- Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)
 - **Αποθήκευση δεδομένων σε WSNs**
 - **Data-Centric Storage**

Παρατηρήσεις/Γεγονότα/Ερώτημα

- **Παρατήρηση**

- ◆ Χαμηλού επιπέδου έξοδος από τους sensors
- ◆ Π.χ., λεπτομερής μέτρηση θερμοκρασία και πίεσης

- **Γεγονός**

- ◆ Σύνολο χαμηλού-επιπέδου παρατηρήσεις
- ◆ Π.χ., φωτιά, εισβολέας

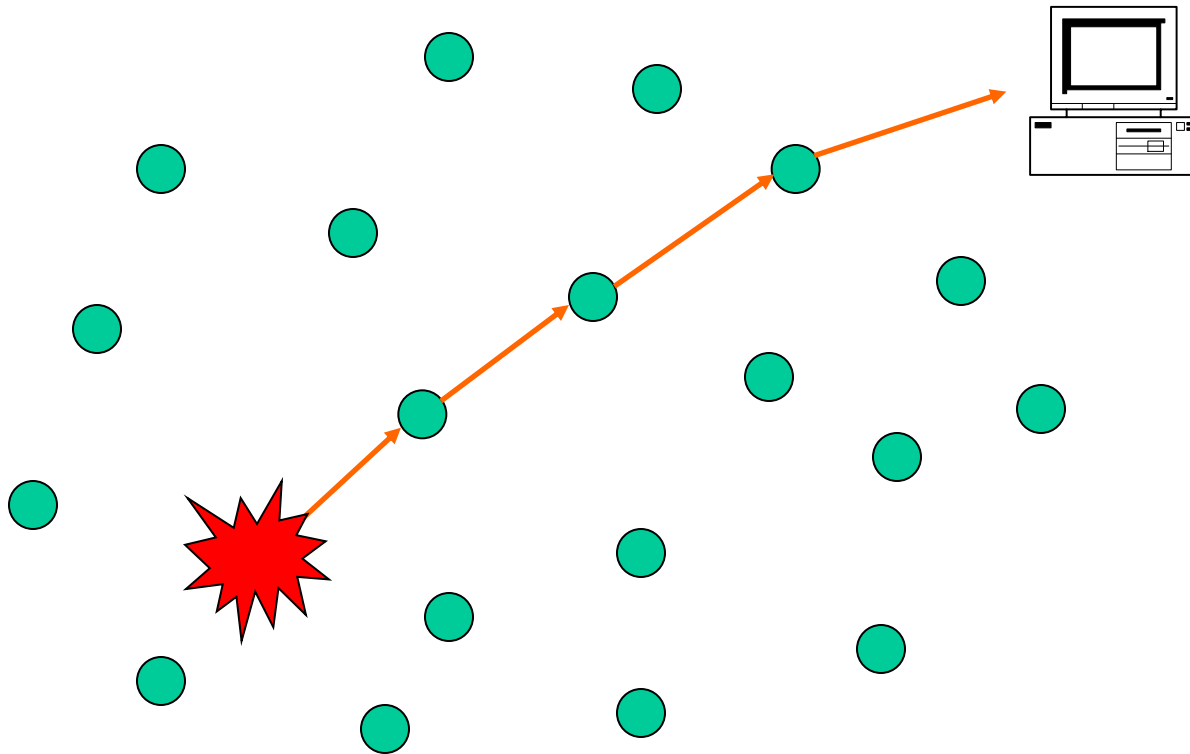
- **Ερώτημα**

- ◆ Χρησιμοποιείται για να εξάγει πληροφορία από το sensornet
- ◆ Π.χ., Εστίες της φωτιάς στο δίκτυο
Εικόνες των εισβολέων

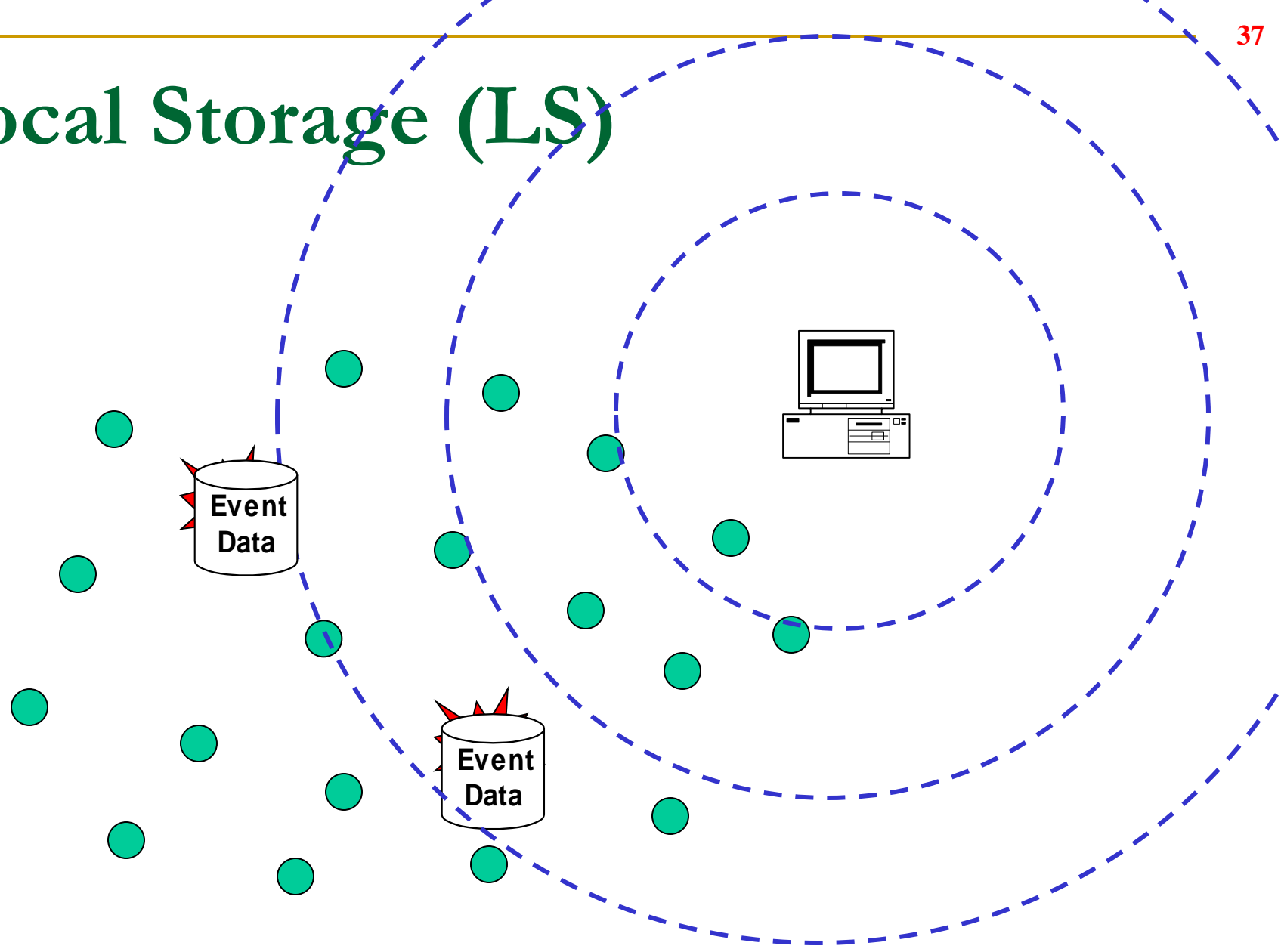
Διαδεδομένα σχήματα αποθήκευσης

- External Storage (ES)
- Local Storage (LS)
- Data-Centric Storage (DCS)

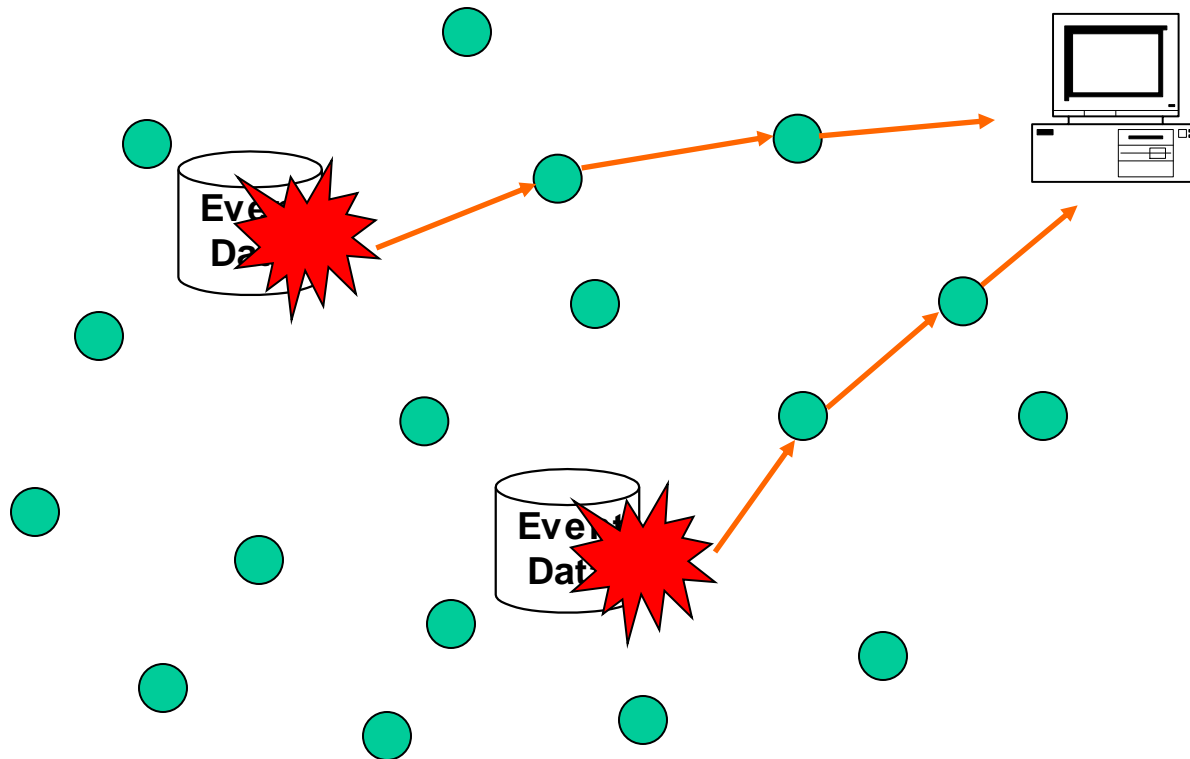
External Storage (ES)



Local Storage (LS)



Local Storage (LS)

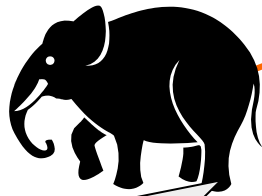


Data-Centric Storage (DCS)

- Τα γεγονότα ονοματίζονται με keys
- Το DCS παρέχει ζεύγη (*key*, *value*) pair
- Το DCS υποστηρίζει δυο λειτουργίες:
 - ◆ **Put (k, v)**: αποθηκεύει την “εγγραφή” v (τα παρατηρηθέντα δεδομένα) σύμφωνα με το key k , το όνομα των δεδομένων
 - ◆ **Get (k)**: ανακτά την αποθηκευμένη τιμή που συσχετίζεται με το key k
- Hash function
 - ◆ Hash ένα key k σε γεωγραφικές συντεταγμένες
 - ◆ Οι Put() και Get() λειτουργίες πάνω στο ίδιο key k , hash k στην ίδια θέση

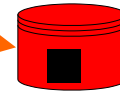
DCS – Παράδειγμα

Put("elephant", data)

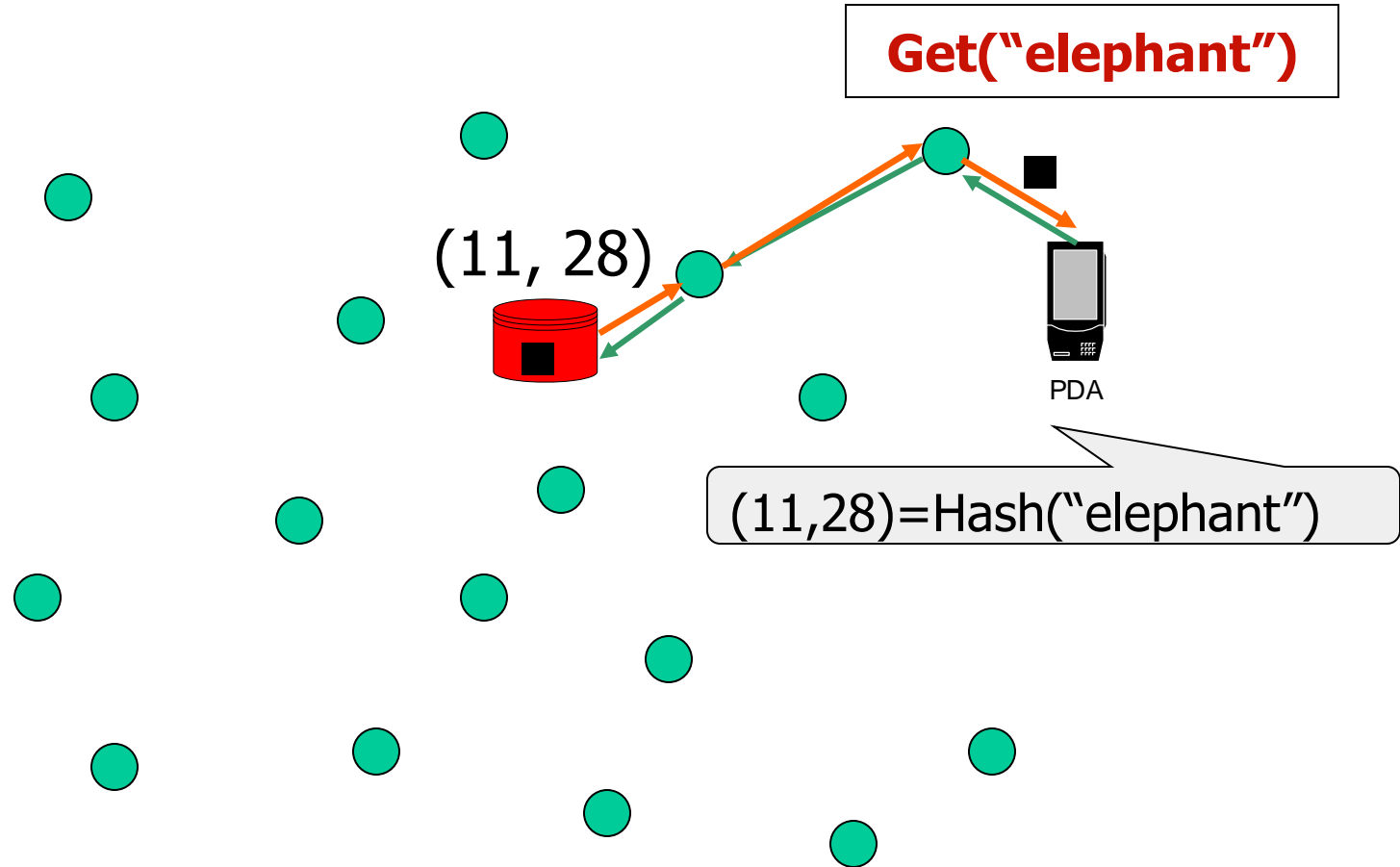


$(11, 28) = \text{Hash}(\text{"elephant"})$

$(11, 28)$

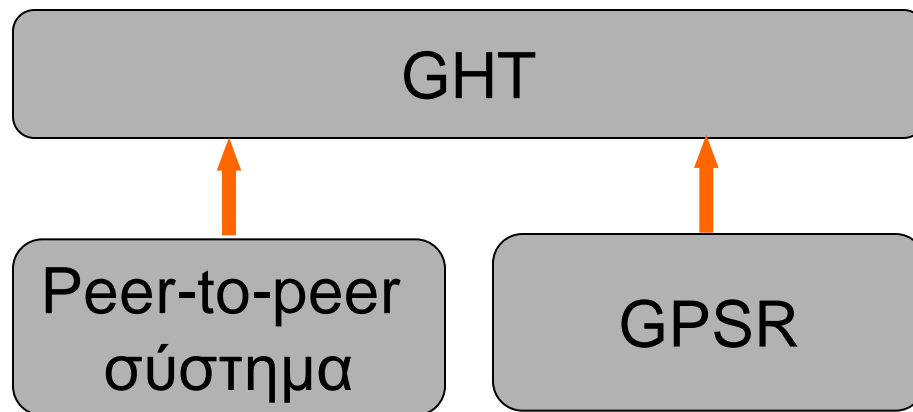


DCS – Παράδειγμα



Geographic Hash Table (GHT)

- Χτίζεται πάνω:
 - ◆ Σε συστήματα αναζήτησης τύπου peer-to-peer
 - ◆ Greedy Perimeter Stateless Routing (επόμενη διάλεξη)



Προβλήματα

- Όχι αρκετά εύρωστο
 - ◆ Οι κόμβοι κινούνται
 - ◆ Οι home nodes μπορεί να καταρρεύσουν
- Όχι κλιμακούμενο
 - ◆ Οι home nodes μπορεί να γίνουν communication bottleneck
 - ◆ Η αποθηκευτική ικανότητα των home nodes

Λύσεις

- Πρωτόκολλο ανανέωσης περιμέτρου
 - ◆ Επέκταση για επίτευξη ευρωστίας
 - ◆ Χειρίζεται κατάρρευση κόμβων και αλλαγές τοπολογίας
- Δομημένη Replication
 - ◆ Επέκταση για επίτευξη κλιμάκωσης
 - ◆ Εξισορρόπηση φόρτου

Συγκριτική μελέτη

- Μέτρα επίδοσης
 - ◆ Σύνολο μηνυμάτων
 - συνολικός αριθμός πακέτων που αποστέλλονται ενός του sensor network
 - ◆ Hotspot μηνύματα
 - μέγιστος αριθμός πακέτων που στέλνει ένας οποιοσδήποτε κόμβος

Συγκριτική μελέτη – συνέχεια

- Υποθέτοντας ♦ n είναι ο αριθμός των κόμβων
 - ♦ Ασυμπτωτικό κόστος $O(n)$ για πλημμυρίδα,
 $O(n^{1/2})$ για point-to-point δρομολόγηση
- [επειδή η διάμετρος ενός δικτύου εκτιμάται ίση με $n^{1/2}$]

	ES	LS	DCS
Κόστος αποθήκευσης	$O(n^{1/2})$	0	$O(n^{1/2})$
Κόστος για ερώτηση	0	$O(n)$	$O(n^{1/2})$
Κόστος για απάντηση	0	$O(n^{1/2})$	$O(n^{1/2})$

Συγκριτική μελέτη – συνέχεια

- D_{total} , ο συνολικός αριθμός γεγονότων που ανιχνεύθηκαν
- Q , the number of event types queries for
- D_q , the number of detected events of event types
- Όχι περισσότερο από ένα ερώτημα για κάθε τύπου γεγονός, οπότε υπάρχουν Q ερωτήματα συνολικά
- Υποθέτουμε το hotspot προκύπτει σε πακέτα που στέλνονται στο access point

Συγκριτική μελέτη – συνέχεια

	ES	LS	DCS
Total	$D_{total}\sqrt{n}$	$Qn + D_q\sqrt{n}$	$Q\sqrt{n} + D_{total}\sqrt{n} + D_q\sqrt{n}$ $Q\sqrt{n} + D_{total}\sqrt{n} + Q\sqrt{n}(\textit{summary})$
Hotspot	D_{total}	$Q + D_q$	$Q + D_q$ $2Q(\textit{summary})$

Το DCS είναι προτιμότερο εάν:

- Το sensor network είναι μεγάλο
- $D_{total} \gg \max[D_q, Q]$