

## Διάχυτος υπολογισμός

### Σκοπός

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η εισαγωγή στη βασική ιδέα του διάχυτου υπολογισμού, καθώς και η σύνδεσή του με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τις εφαρμογές τους. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε και τις βασικές έννοιες της πληροφορίας πλαισίου και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

### Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου, θα είστε σε θέση να:

- αντιλαμβάνεστε την έννοια της πληροφορίας πλαισίου.
- εξηγείτε την έννοια του διάχυτου υπολογισμού.
- περιγράφετε τη δομή των αισθητήρων σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.
- αναλύετε τον τρόπο λειτουργίας των κόμβων κατά τη διάχυση πληροφορίας σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.
- επεκτείνετε τους αλγορίθμους διάχυσης πληροφορίας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

### Έννοιες-Κλειδιά

- Πληροφορία πλαισίου (*Contextual Information· Context*)
- Διάχυτος υπολογισμός (*Pervasive Computing*)
- Κινητός υπολογισμός (*Mobile Computing*)
- Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (*Wireless Sensors Network*)
- Κόμβος-αισθητήρας (*Sensor Node*)
- Καταβόθρα (*Sink Node*)
- Διάχυση πληροφορίας (*Information Dissemination*)

- Αλγόριθμος πλημμύρας (*Flooding Algorithm*)
- Αλγόριθμος φημολογίας (*Gossip Algorithm*)
- Αλγόριθμος επιδημικής διάχυσης δεδομένων (*Epidemical Based Information Dissemination*)

### Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στην επιστήμη της Πληροφορικής διεξάγεται τεράστια έρευνα γύρω από την έννοια της **πληροφορίας πλαισίου** και τον τρόπο αξιοποίησής της στην ανάπτυξη εφαρμογών **κινητού** και **διάχυτου υπολογισμού** και στα δίκτυα του άμεσου μέλλοντος γενικότερα. Συγκεκριμένα, στην Πληροφορική η έννοια «πληροφορία πλαισίου» είναι ισοδύναμη με την έννοια πλαίσιο οντότητας, εφόσον παρουσιάζει ενδιαφέρον η πληροφορία που περιγράφει την περιορέουσα κατάσταση μιας οντότητας, π.χ., ενός χρήστη ή κινητού τετραματικού. Παράλληλα εμφανίζεται και η ανάγκη για τον κατάλληλο προσδιορισμό του πλαισίου σε σχέση με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής.

Τα συστήματα διάχυτου υπολογισμού καλούνται να διαχειριστούν την πληροφορία πλαισίου που χαρακτηρίζει την περιορέουσα κατάσταση των επενεργουσών οντοτήτων (π.χ. χρήστες, φορητοί υπολογιστές). Οι επιστημονικοί τομείς που εμπλέκονται ποικίλλουν ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία μελετώνται τα ζητήματα που ανακύπτουν. Συγκεκριμένα, οι τομείς αυτοί εξετάζουν θέματα που αφορούν τον τρόπο προσαρμογής των συστημάτων διάχυτου υπολογισμού στη συμπεριφορά των οντοτήτων αυτών βάσει της κατάστασής τους, καθώς και την ικανότητά τους να λαμβάνουν αυτόνομα αποφάσεις ελαχιστοποιώντας τη συμβολή, τη διαμεσολάβηση και την παρέμβαση των οντοτήτων. Στις μέρες μας, έμφαση δίνεται: (α) σε μοντέλα αναπαράστασης και διαχείρισης πλαισίου, καθώς και (β) σε αλγοριθμικά θέματα διάχυσης πληροφορίας πλαισίου που συνεπικουρούν την έννοια της επίγνωσης πλαισίου. Ανοιχτά προβλήματα που μελετώνται αποτελούν η αναπαράσταση, η ερμηνεία και ο συμπερασμός πληροφορίας πλαισίου, καθώς και η ικανότητα ενός συστήματος επίγνωσης πλαισίου/διάχυτου υπολογισμού να συλλογίζεται και να προσαρμόζεται βάσει της περιορέουσας κατάστασης μιας οντότητας, προκειμένου να προβαίνει σε (προ)καθορισμένες ενέργειες. Με τη βοήθεια σχημάτων προσεγγιστικού συμπερασμού γνώσης (π.χ. Θεωρία Ασαφών Συνόλων), καθώς και βιομιμητικών αλγορίθμων διά-

χυσης πληροφορίας σε δίκτυα αισθητήρων (π.χ. επιδημικοί αλγόριθμοι), κατέστη δυνατό να μοντελοποιηθούν και να επιλυθούν εν μέρει τα εξεταζόμενα προβλήματα.

Το κεφάλαιο αυτό αποτελείται από τέσσερις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα αναφέρουμε τις βασικές έννοιες της πληροφορίας πλαισίου, του διάχυτου υπολογισμού, της επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για τη μελέτη σε μεγαλύτερο βάθος των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ακολουθεί η δεύτερη ενότητα, στην οποία αναλύονται τα βασικά μέρη/συστατικά ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, οι κόμβοι-αισθητήρες και οι παράγοντες σχεδιασμού ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Η τρίτη ενότητα εστιάζεται στην αρχιτεκτονική δικτύων αισθητήρων, καθώς και στη στοίβα πρωτοκόλλων του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τέλος, η τέταρτη ενότητα αναλύει εκτενέστατα τους βασικούς αλγορίθμους διάχυσης πληροφορίας πλαισίου/δεδομένων μεταξύ κόμβων και αισθητήρων, όπως τους αλγορίθμους διάχυσης βάσει σχήματος «πλημμύρας», «φημολογίας» και «επιδημίας».

## 3.1 Εισαγωγή στην έννοια του διάχυτου υπολογισμού

### 3.1.1 Πληροφορία πλαισίου και πλαίσιο

Ο όρος **πλαίσιο** (*Context*) αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου διάφορα συμβάντα λαμβάνουν χώρα. Η έννοια αυτή σχετίζεται με την τρέχουσα/περιρρέουσα κατάσταση που γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο λόγω των συμβάντων που παρατηρεί. Προέρχεται ετυμολογικά από τη λατινική λέξη *contextus*, που σημαίνει σύνθεση-ενοποίηση συμβάντων. Συνεπώς, η σύνθεση παρατηρούμενων συμβάντων αποτελεί την έννοια του *πλαισίου κατάστασης*.

#### Ορισμός

Ως πληροφορία πλαισίου ορίζεται οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να περιγράψει την κατάσταση μιας οντότητας. Οντότητα μπορεί να αποτελεί μια συσκευή, μια εφαρμογή ή και ένας άνθρωπος (Abowd et al., 1999).

Το πλαίσιο είναι ουσιαστικά ό,τι μας περιβάλλει. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως σε σχέση με το φυσικό κόσμο που περιβάλλει μια κινητή συσκευή, μια εφαρμογή ή ένα ολόκληρο σύστημα. Η έννοια του πλαισίου αρχικά βασιζόταν σε τρία θέματα:

- πού βρίσκεται η οντότητα,
- ποιες οντότητες/αντικείμενα βρίσκονται γύρω της,
- ποιες είναι οι γειτονικές πηγές πληροφορίας της.

Αν και η πληροφορία θέσης είναι βασικό συστατικό για την περιγραφή της περιρρέουσας κατάστασης μιας οντότητας, δεν μπορεί όμως να εντοπίσει τυχόν αλλαγές του περιβάλλοντός της ή δυναμικές ανακατατάξεις των γειτονικών αντικειμένων της. Έτσι, η έννοια του πλαισίου επεκτείνεται σε μια πιο γενική θεώρηση της πληροφορίας που μπορεί να περιγράψει την κατάσταση μιας οντότητας, καθώς συμπεριλαμβάνει, εκτός από την πληροφορία θέσης, και πληροφορία όπως, για παράδειγμα, επίπεδο φωτεινότητας και θορύβου, διαθεσιμότητα πρόσβασης σε δίκτυο και κοινωνικά γεγονότα. Η περαιτέρω αυτή πληροφορία ανακτάται από συσκευές/αισθητήρες που, όπως εκτενέστατα θα αναπτύξουμε στο κεφάλαιο αυτό, αποτελούν τη βασικότερη πηγή πληροφορίας σε συστήματα διάχυτου υπολογισμού.

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.1

Να αναφέρετε τις πιθανές συνιστώσες πληροφορίας πλαισίου ενός κινητού χρήστη που βρίσκεται στην περιοχή ενός αεροδρομίου.

Βαθμός δυσκολίας: Εύκολη.

#### 3.1.2 Διάχυτος υπολογισμός

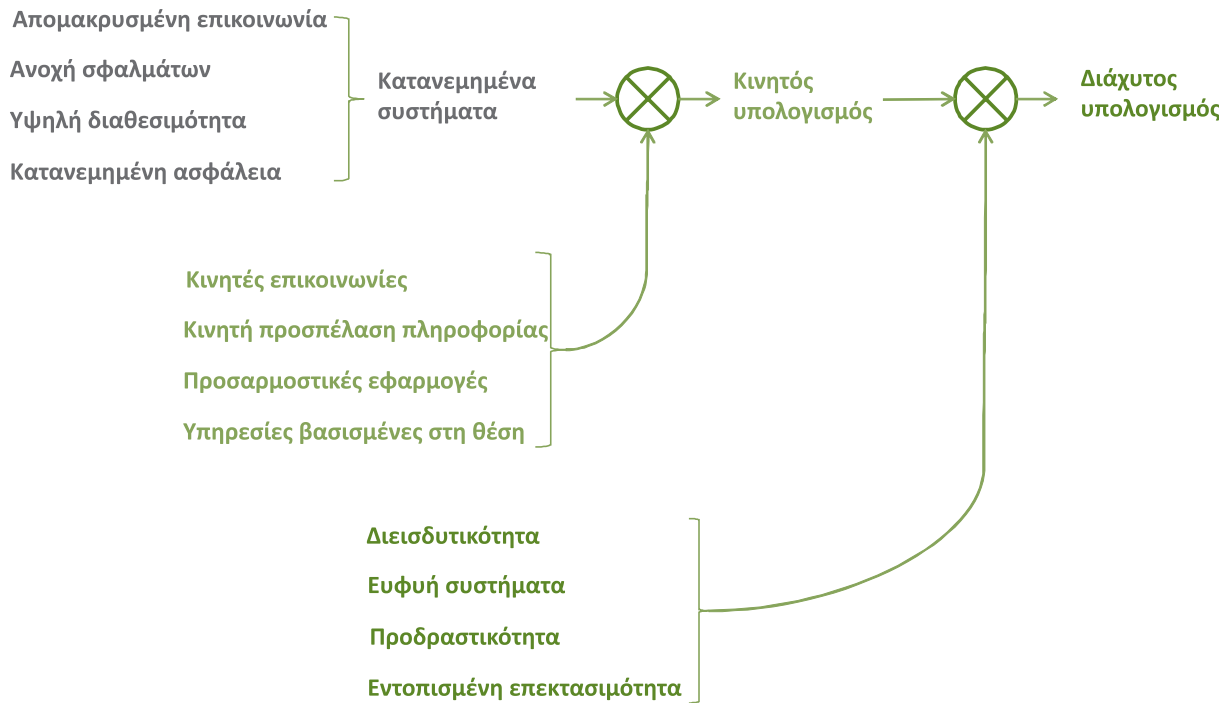
Η ανάγκη για εκμετάλλευση της πληροφορίας πλαισίου στις κινητές συσκευές ενδιαφέρει ολοένα και περισσότερα ερευνητικά πεδία, όπως αυτά του κινητού υπολογισμού (Mobile Computing), της φορητής υπολογιστικής ικανότητας (Wearable Computing), της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality), του πανταχού παρόντα υπολογισμού (Ubiquitous Computing) ή του διάχυτου υπολογισμού (Pervasive Computing) και της επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (Human-Computer Interaction). Συγκεκριμένα:

##### Ορισμός

Η έννοια του **διάχυτου υπολογισμού** (Satyanarayanan, 2001) αναφέρεται σε μια πιο γενική κλάση συστημάτων κινητού υπολογισμού τα οποία είναι ικανά να εντοπίσουν και να προσδιορίσουν το πλαίσιο των οντοτήτων που επενεργούν στο σύστημα, προκειμένου να προσαρμοστούν κατάλληλα στη συμπεριφορά αυτών των οντοτήτων.

Στο Σχήμα 3.1 της επόμενης σελίδας απεικονίζεται η ταξινόμια συστημάτων/υπολογιστικών εννοιών που εμπλέκονται άρρηκτα με την έννοια του διάχυτου υπολογισμού (Satyanarayanan, 2001).

Η έννοια του διάχυτου υπολογισμού πηγάζει από την έρευνα της ομάδας της Xerox PARC στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η έννοια αυτή ορίστηκε από τους Schilit και Theimer (1994), οι οποίοι περιγράφουν τη νέα κλάση κινητού υπολογισμού κατά την οποία: *Χρήστες αλληλεπιδρούν με πολλά διαφορετικά κινητά (ή σταθερά) τερματικά τα οποία είναι ικανά να προσαρμόζονται βάσει της τρέχουσας κατάστασης των χρηστών, της πληροφορίας που συλλέγουν από γειτονικούς χρήστες και γειτονικά αντικείμενα και βάσει των αλλαγών που εμφανίζονται σε αυτά τα αντικείμενα σε συγκεκριμένη χρονική διάρκεια.*



### Σχήμα 3.1

*Ταξινόμια εννοιών καταναμημένων συστημάτων, κινητού και διάχυτου υπολογισμού*

Το πλαίσιο είναι χρήσιμο σε διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας και αξιοποίησης μέσα σε ένα σύστημα. Σε μεγάλα καταναμημένα συστήματα μπορεί να αξιοποιηθεί στη διαχείριση ενέργειας και πόρων. Σε μια εφαρμογή κινητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσαρμοστικότητα και αυτονομία αποφάσεων σε διάφορες συνθήκες και απαιτήσεις του χρήστη. Στο επίπεδο της αλληλεπίδρασης του συστήματος με τον άνθρωπο μπορεί να διευκολύνει την εξέλιξη προς περισσότερο διαφανείς και όσο το δυνατό φυσικές διαδικασίες.

Οι αισθητήρες θέσης παρέχουν πληροφορία που σχετίζεται με την τοποθεσία ως ανεξάρτητο αλλά και ιδιαίτερα χρήσιμο δεδομένο. Συχνά, βέβαια, δε συνιστά η τοποθεσία μόνη της άμεσα αξιοποιήσιμο δεδομένο, αλλά σε συνδυασμό με επιπρόσθετη πληροφορία που μπορεί να παραχθεί (π.χ. οι πόροι που είναι διαθέσιμοι σε κάποιο σημείο). Επίσης, οι διάφορες μετρήσεις από αισθητήρες μπορούν να ορίσουν μια πιο σύνθετη πληροφορία πλαισίου (π.χ. η

κατάσταση πυρκαγιάς επάγεται από μετρήσεις αισθητήρων καπνού, θερμοκρασίας και υγρασίας). Ακόμα, οι κάμερες παρέχουν δυνητικά πολύ πλούσιο υλικό, από το οποίο είναι δυνατό να εξορυχθεί η απαραίτητη πληροφορία. Το χωρικό, το φυσικό και το οπτικό πλαίσιο μπορούν να αποδειχθούν πολύ ισχυρά στη διευκόλυνση των συσκευών όσον αφορά την *επίγνωση* του πλαισίου, καθώς βασίζονται στη δυναμική περιγραφή χώρου και χρόνου.

### 3.1.3 Επίγνωση πληροφορίας πλαισίου

Οι ευκολίες που μπορούν να παρασχεθούν σε ένα σύστημα, όταν αυτό έχει πλήρη «επίγνωση» τι συμβαίνει γύρω του, είναι τεράστιες. Η πληροφορία που το επηρεάζει είναι αχανής και εκτείνεται από χωρικές και χρονικές παραμέτρους έως και παράγοντες που δεν είναι πάντα τόσο προφανείς αλλά μπορεί να αποδειχθούν κρίσιμοι. Αν ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού μπορέσει να φτάσει στο σημείο να προσαρμόζεται κάθε φορά στο περιβάλλον του, ακόμα και στους ίδιους τους χρήστες, με αξιοπιστία και προνοητικότητα, τότε θα μπορούμε να μιλάμε για ένα πραγματικά εύχρηστο, χρήσιμο, κατά το δυνατό διαθέσιμο και ανθρωποκεντρικό προϊόν τεχνολογίας.

Μέγιστη σημασία, λοιπόν, δίνεται στην έννοια της *επίγνωσης του πλαισίου*. Αυτή μπορεί να οριστεί ως εξής:

#### Ορισμός

Η επίγνωση πλαισίου είναι «η ικανότητα ενός συστήματος να ανακαλύπτει, να ερμηνεύει, να συμπεραίνει, να αξιοποιεί και να συλλογίζεται βάσει της περιορρέουσας πληροφορίας, ώστε να λαμβάνει αποφάσεις, να προβαίνει σε προκαθορισμένες ενέργειες και να προσαρμόζεται σε διάφορες καταστάσεις» (Anagnostopoulos, Tsounis & Hadjiefthymiades, 2006).

Με μια προσεκτική και δομημένη εισαγωγή της έννοιας της επίγνωσης πλαισίου στην υπολογιστική ικανότητα που διέπει την καθημερινότητά μας, πολλές δραστηριότητες μπορούν να γίνουν αρκετά πιο απλές και αποδοτικές με ελάχιστη συμβολή και διαμεσολάβηση του χρήστη. Η δυνατότητα για επικοινωνία μπορεί όχι μόνο να διευκολυνθεί αλλά και να ενσωματωθεί με φυσικό τρόπο στη ζωή μας. Αυτά τα δύο δένονται με συνεχή τρόπο, έχοντας συνδυαστικό κρίκο το πλαίσιο, την αναπαράστασή του, την επίγνωσή του, το συμπέρασμά του, την προσαρμογή του στις καταστάσεις του χρήστη/δικτύου, καθώς και την έγκαιρη πρόβλεψή του (Anagnostopoulos & Hadjiefthymiades, 2009).

Ο όρος *υπολογιστική ικανότητα με επίγνωση του πλαισίου* είναι περισσότερο οικείος στο επιστημονικό πεδίο των «διεισδυτικών/προνοητικών» δικτύων και συστημάτων, όπου το πλαίσιο θεωρείται κρίσιμο για την προσπάθεια παροχής αξιόπιστων υπηρεσιών που θα είναι συνυφασμένες με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Πρωταρχικός στόχος είναι η πρόσληψη και εκμετάλλευση της πληροφορίας που σχετίζεται με το πλαίσιο μιας συσκευής, έτσι ώστε να παρέχονται υπηρεσίες κατάλληλες σε συγκεκριμένους χρήστες, καταστάσεις και γεγονότα. Η πληροφορία αυτή είναι αξιοποιήσιμη μόνο όταν μπορεί να ερμηνευτεί με χρήσιμο τρόπο. Επομένως, η πληθώρα πληροφορίας δεν είναι εκ των προτέρων πάντα επιθυμητή – μάλλον το αντίθετο.

Η επίγνωση πλαισίου ακούγεται άψογη στη θεωρία και είναι αντικείμενο επιστημονικής έρευνας το πώς θα μπορέσει να ενσωματωθεί πραγματικά σε μια *Εφαρμογή Επίγνωσης Πλαισίου* (ΕΕΠ) (Mantylarvi, Huuskonen & Himberg, 2002). Σημαντικά είναι, για παράδειγμα, τα προβλήματα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση ανθρώπου και υπολογιστή. Μέσω του πλαισίου, η σχέση ανθρώπου και υπολογιστή ορίζεται σχεδόν εκ νέου. Πώς θα μπορούσε ο χρήστης να αισθάνεται ασφαλής και ικανοποιημένος απέναντι στο τρέχον σύστημά του, ενώ ταυτόχρονα το τελευταίο να παίρνει όσο το δυνατό περισσότερες και πιο πρώιμες αποφάσεις;

### Παράδειγμα 3.1

Ας δούμε ένα απλό παράδειγμα, όπου διάφορες τεχνολογίες αναζήτησης και επεξεργασίας πληροφορίας θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν, για να υποβοηθήσουν τη δραστηριότητα χρηστών που έχουν ανάγκη από υπηρεσίες βασισμένες στη θέση και την κίνησή τους (location-based services). Ας φανταστούμε μία κινητή συσκευή που επιτρέπει στο χρήστη της να κινείται σε ένα συνεδριακό χώρο από αίθουσα σε αίθουσα, να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες που σχετίζονται άμεσα με το σημείο στο οποίο βρίσκεται (π.χ. θέμα συζήτησης, ροή παρουσιάσεων), να κρατά ιστορικό της διαδρομής και των θεμάτων για τα οποία ο χρήστης έδειξε το μεγαλύτερο ενδιαφέρον (επειδή ίσως στάθηκε εκεί περισσότερο χρόνο) και να ενημερώνεται για τη δραστηριότητα των συναδέλφων του (την τοποθεσία τους, τι θεώρησαν εκείνοι ενδιαφέρον και στάθηκαν να το παρατηρήσουν κ.λπ.). Γίνεται εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, ότι η επίγνωση πλαισίου αποτελεί ιδιαίτερα ευρύ θέμα και γι' αυτό έχει και ευρύ φάσμα θεωρήσεων.



Η έρευνα επικεντρώνεται στην αρχιτεκτονική των συστημάτων που βασίζονται στο πλαίσιο και εστιάζεται στην απαραίτητη υποδομή σε υλικό και στις αντίστοιχες ενδιάμεσες υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή, επεξεργασία και προώθηση της πληροφορίας, σε συνδυασμό όχι μόνο με την αλληλεπίδραση με το χρήστη αλλά και με το υπόλοιπο καταναμημένο σύστημα (Anagnostopoulos & Hadjiefthymiades, 2008).

Όμως, αντικείμενο έρευνας είναι και το ζήτημα της «αναπαράστασης» και της «ερμηνείας» της πληροφορίας πλαισίου. Η πληροφορία που συλλέγεται από πολλές (διαφορετικές) πηγές ερμηνεύεται με άλλο τρόπο από κάθε ΕΕΠ. Επομένως, αναπτύσσονται μηχανισμοί μέσω των οποίων το πλαίσιο ελέγχεται και ερμηνεύεται κατάλληλα βάσει της μελλοντικής του χρήσης και αξιοποίησης.

Επίσης, οι σημερινές φορητές συσκευές που έχουν ικανότητα επεξεργασίας γίνονται ολοένα και πιο δυνατές τεχνολογικά, διαθέτοντας ενσωματωμένη δυνατότητα αποθήκευσης, αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ, δυνατότητα επικοινωνίας και υποστήριξη πολλών και διαφορετικών εφαρμογών. Η επίγνωση πλαισίου για τέτοιου είδους συσκευές και για τα συστήματα στα οποία περιλαμβάνονται θεωρείται σημείο-κλειδί για τη μελλοντική τους εξέλιξη. Τα συστήματα που μπορούν να εκμεταλλευτούν τέτοιου είδους πληροφορία είναι είτε κινητά, όπως φορητοί υπολογιστές (laptops), υπολογιστές χειρός (palmtops), κινητά τηλέφωνα, είτε σταθερά, όπως καλωδιακές τηλεοράσεις, συστήματα οικιακής ψυχαγωγίας, ακόμα και ολόκληρα δωμάτια ή κτίρια εξοπλισμένα με διαδραστικές συσκευές και ειδικούς ανιχνευτές.

Η τεχνολογία των κινητών συσκευών με υπολογιστική ικανότητα έχει δώσει ιδιαίτερη ώθηση στη χρήση των υπολογιστών σε ποικίλα και συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Οι κινητές συσκευές μπορούν να αυξήσουν τις ικανότητές τους, αν τους δοθεί η δυνατότητα να λαμβάνουν υπόψη τους το πλαίσιο στο οποίο βρίσκονται και αλληλεπιδρούν. Για να μπορέσουν να προσλάβουν πληροφορία από το πλαίσιο όπου βρίσκονται (περιβάλλον, περιρρέουσα κατάσταση), έχουν την ανάγκη να εξοπλιστούν με ειδικούς αισθητήρες και πηγές πληροφόρησης που τους επιτρέπουν να έχουν πρόσβαση στην πληροφορία αυτή. Οι αισθητήρες είναι εξειδικευμένα εξαρτήματα τα οποία δεν έχουν πρώτιστο στόχο την υπολογιστική ικανότητα, αλλά την εκτίμηση των παραμέτρων του περιβάλλοντος στο μοντέλο του υπολογισμού.

Οι κινητές συσκευές που έχουν ενσωματωμένες δυνατότητες άμεσης επίγνωσης πλαισίου διαθέτουν πολλαπλούς αισθητήρες και αλγορίθμους για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνουν από το περιβάλλον σε δεδομένα χρήσιμα (αξιοποιήσιμα) για τις λειτουργίες τους. Η έρευνα γύρω από την έννοια του διάχυτου υπολογισμού έχει εστιαστεί στη χρήση μεμονωμένων αλλά ισχυρότατων αισθητήρων, όπως ανιχνευτές θέσης χρήστη (εσωτερικών ή εξωτερικών χώρων), τοποθεσίας της κινητής συσκευής, φυσικών ή περιβαλλοντολογικών παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία, ταχύτητα κίνησης, πίεση, φωτεινότητα, κατεύθυνση, ήχος, υγρασία, ταχύτητα ανέμου κ.λπ.) και κάμερες.

### 3.1.4 Υπολογιστική ευφυΐα και επίγνωση πληροφορίας πλαισίου

Η επίγνωση πλαισίου, ως μετρική της **υπολογιστικής ευφυΐας** συστημάτων διάχυτου υπολογισμού, επιτρέπει στα συστήματα αυτά να προσαρμόζονται στο περιβάλλον όπου βρίσκονται, κάτι το οποίο μας αφήνει να οραματιστούμε πλήθώρα από πλεονεκτήματα και δυνατότητες για νέες εφαρμογές. Συγκεκριμένα, η υπολογιστική ευφυΐα αναφέρεται στην ικανότητα ταύτισης πληροφορίας πλαισίου με καταστάσεις κάποιας εφαρμογής που οδηγεί στην πυροδότηση σχετικών ενεργειών. Οι διαστάσεις της **υπολογιστικής ευφυΐας** είναι:

- **Διεισδυτικότητα:** Ένα προσαρμοζόμενο σύστημα μπορεί να συνεργάζεται πολύ πιο αποτελεσματικά με τους χρήστες του και να δρα αυτόνομα στις απαιτούμενες ενέργειες.
- **Προδραστικότητα:** Το σύστημα μπορεί να προλάβει τις ανάγκες που θα παρουσιαστούν στο κοντινό μέλλον και κατ' επέκταση να προσαρμοστεί κατάλληλα προκειμένου να τις αντιμετωπίσει.
- **Ικανότητα συμπερασμού πλαισίου:** Ένα σύστημα που μπορεί να εξάγει συμπεράσματα από το πλαίσιο του (περαιτέρω πληροφορία και επαύξηση γνώσης) έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να συλλογιστεί για την περιορέουσα κατάσταση αλλά και να παρέχει πολύ πιο εξειδικευμένες υπηρεσίες στους χρήστες του.

Από την άλλη πλευρά, διάφορα ζητήματα αναδύονται όταν υλοποιείται η θεωρία της επίγνωσης πλαισίου. Ενδεικτικά:

- Η πληροφορία πλαισίου πρέπει να αναπαρασταθεί κατάλληλα με καθορισμένα «μοντέλα αναπαράστασης πλαισίου», ώστε το εκάστοτε μοντέλο γνώσης του πλαισίου να αντικατοπτρίζει το τρέχον πλαίσιο και να επιτυγχάνεται ο κατάλληλος συμπερασμός και συλλογισμός του.
- Οι συσκευές/συστήματα πρέπει να διαθέτουν κατάλληλους ανιχνευτές για την πρόσληψη της αναγκαίας πληροφορίας τόσο από το περιβάλλον όσο και από τους χρήστες με έξυπνο και διάχυτο τρόπο (δηλαδή με όσο το δυνατό λιγότερη επέμβαση του χρήστη).
- Η πληροφορία που συλλέγεται από το σύστημα και τους ανιχνευτές του είναι σε μεγάλο βαθμό ετερογενής και έτσι πολλές μέθοδοι και αλγόριθμοι «σύντηξης» και «συνάθροισης πλαισίου» μπορούν να αυξήσουν την αξιοπιστία του συστήματος (Anagnostopoulos, Sekkas & Hadjiefthymiades, 2007).
- Η «ταξινόμηση» και η «πρόβλεψη» του πλαισίου είναι αναγκαίες κυρίως σε συστήματα με υπολογιστικές ικανότητες, κάτι το οποίο εισάγει ένα σύνολο αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (π.χ. αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης).
- Η «εκμάθηση» και η «προσαρμογή» από την πλευρά του συστήματος πρέπει να γίνονται σε πραγματικό χρόνο και όχι να έπονται της κατάστασης την οποία καλούνται να διευκολύνουν.
- Η «αλληλεπίδραση» με το χρήστη πρέπει να παραμένει σε χαμηλό επίπεδο και οπωσδήποτε να διεκπεραιώνεται όσο το δυνατό πιο διακριτικά.

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.2

Προτείνετε ένα μοντέλο αναπαράστασης γνώσης για τις βασικές, κατά τη γνώμη σας, συνιστώσες πληροφορίας πλαισίου κάποιου κινητού χρήστη σε περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού.

*Βαθμός δυσκολίας: Δύσκολη.*

Ένα ζητούμενο είναι η εξισορρόπηση ανάμεσα στην παρεμβολή από πλευράς χρήστη και την αυτονομία και προνοητικότητα που οφείλει να δείχνει το σύστημα. Καινοτόμα συστήματα που βασίζονται στο πλαίσιο δεν μπορούν να κατασκευαστούν, αν δεν εισάγουν στην αρχιτεκτονική τους μηχανισμούς

προσαρμογής και πρόβλεψης του πλαισίου για την κατάλληλη εκμετάλλευση της παραγόμενης και επαγόμενης πληροφορίας. Επίσης, ως γνωστόν, ο άνθρωπος βασίζεται στη συνήθεια και δρα, τις περισσότερες φορές, βάσει συγκεκριμένων προτύπων συμπεριφοράς. Διάφορες μέθοδοι αναγνώρισης και προσδιορισμού καταστάσεων υιοθετούνται στην επίγνωση πλαισίου. Ένα σύστημα που εκμεταλλεύεται τέτοια πρότυπα πρέπει να μαθαίνει αυτόματα τις συνήθειες των χρηστών του και να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές τους. Πρέπει, επομένως, να στηρίζεται στη γνώση της συμπεριφοράς του παρελθόντος, για να προβλέψει και να προσαρμοστεί σε συμπεριφορές του μέλλοντος. Αν πάλι η προσπάθεια πρόβλεψης αποτύχει, η αποτυχία αυτή πρέπει να αναγνωρίζεται και να λαμβάνεται υπόψη για τις επόμενες απόπειρες πρόγνωσης και προσαρμογής.

Ας φανταστούμε ένα λογικό χώρο, όπου μπορούν να οριστούν οι συνιστώσες ενός *συστήματος επίγνωσης πλαισίου* (ΣΕΠ). Ο λογικός αυτός χώρος αποτελείται από το λογικό άξονα της *μοντελοποίησης πλαισίου*, που έχει σχέση με την αναπαράσταση και το συμπερασμό, το συλλογισμό, τη διεισδυτικότητα και την προσαρμοστική συμπεριφορά. Η μοντελοποίηση πλαισίου είναι ουσιαστικά μια μεθοδολογία βασισμένη στην αναπαράσταση πληροφορίας που σχετίζεται με ένα πεπερασμένο σύνολο αφηρημένων λογικών οντοτήτων. Οι οντότητες αυτές περιγράφουν ένα φυσικό αντικείμενο ή μια έννοια. Ο προσδιορισμός του μοντέλου του πλαισίου που πρόκειται να υιοθετηθεί από κάποια εφαρμογή ποικίλλει από αδόμητα μοντέλα δεδομένων –π.χ. θέση, περιβαλλοντολογικές μετρήσεις κ.λπ.– σε μοντέλα γνώσης βασισμένα στη λογική, όπως χωροχρονικά, αντικειμενοστραφή, σχεσιακά μοντέλα, προτασιακή λογική, ασαφής λογική, λογική δεύτερης τάξης, λογισμός καταστάσεων. Αυτά τα λογικά μοντέλα συνήθως σχετίζονται με δραστηριότητες συγκεκριμένων οντοτήτων, για παράδειγμα, ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η συνάντηση, η εργασία, η κίνηση και η συνομιλία.

Επιπρόσθετα, συστήματα που βασίζονται σε δίκτυα αισθητήρων υιοθετούν απλά μοντέλα δεδομένων, άρα και μοντέλα πλαισίου, για να αναπαραστήσουν την ανακτηθείσα πληροφορία. Συνεπώς, αφηρημένη και επαγόμενη γνώση δεν μπορεί να παραχθεί από αισθητήρες. Όσο περισσότερο ένα σύστημα καταφέρνει να επάγει γνώση και να συμπεραίνει επιπρόσθετη γνώση τόσο πιο διεισδυτικό μπορεί να είναι στις ενέργειες και στις αυτόνομες απο-

φάσεις του. Η έννοια της διείσδυσης ενός ΣΕΠ αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος:

- (1) να εκπαιδεύεται (βάσει επιβλεπόμενης ή μη επιβλεπόμενης μάθησης) για τις συνθήκες που πρέπει να ισχύουν όταν αναγνωρίζεται η κατάσταση μιας οντότητας και παράλληλα να αναγνωρίζει την κατάσταση αυτή και να λαμβάνει αποφάσεις (συλλογίζεται).
- (2) να αναγνωρίζει καταστάσεις που ήταν άγνωστες ή δεν είχε την ευκαιρία να τις μάθει και ταυτόχρονα να μαθαίνει τις αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνει για τις άγνωστες αυτές καταστάσεις.

Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από το σύστημα σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις αποσκοπούν σε ενέργειες που έχουν αντίκτυπο την εκπλήρωση των απαιτήσεων-αναγκών του χρήστη. Οι ενέργειες αυτές πρέπει να είναι όσο το δυνατό καταλληλότερες για τη συγκεκριμένη κατάσταση και τον καθορισμένο χρήστη, ώστε να οριοθετούνται από ελάχιστο, εάν όχι μηδενικό, βαθμό παρέμβασης του χρήστη.

Εφόσον το σύστημα υιοθετεί διεισδυτική συμπεριφορά, τότε καθίσταται ικανό να προσαρμόζεται και κατ' επέκταση να αντιδρά στις αναμενόμενες ή όχι δυναμικές αλλαγές των καταστάσεων των οντοτήτων γύρω του ή σε ενοχλήσεις/παρεμβολές, εφόσον πρόκειται για άνθρωπο (π.χ. από το γεγονός ότι ένας αισθητήρας είναι απενεργοποιημένος μέχρι το γεγονός ότι υπάρχουν ασυνέπειες σε μια βάση γνώσης, κατά την εκμάθηση ενός συστήματος λήψης αποφάσεων για μια ενέργεια που έχει καθοριστεί από το χρήστη). Δηλαδή, εκτός από τη διεισδυτική συμπεριφορά, το σύστημα πρέπει να προσαρμόζει τις αποφάσεις του για το ποιες ενέργειες και με ποιον τρόπο πρέπει να τις εκτελέσει.

Ένα ΣΕΠ πρέπει ταυτόχρονα:

- να υιοθετεί το κατάλληλο μοντέλο αναπαράστασης πλαισίου και συμπερασμού γνώσης, ώστε να είναι ικανό να συλλογίζεται με βάση την πληροφορία πλαισίου που έχει ανακτήσει.
- να εμφανίζει διεισδυτική συμπεριφορά στην αυτόνομη λήψη αποφάσεων και, κατ' επέκταση, ενεργειών που πρέπει να διεκπεραιώνει.

- να αναθεωρεί εσφαλμένες και αποτυχημένες ενέργειες μέσω ενός μηχανισμού προσαρμογής στον τρόπο λήψης αποφάσεων και διεκπεραίωσης ενεργειών, προκειμένου να γίνεται περισσότερο διεισδυτικό και προσιτό στον τελικό χρήστη.

### Παράδειγμα 3.2

Θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε τη συσχέτιση/σύμπλεγμα αισθητήρες-δίκτυα-υπολογιστική ευφυΐα για ένα ΣΕΠ. Φανταστείτε ένα σύνολο αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου που είναι σκορπισμένοι σε μια δασική περιοχή  $A$ . Υποθέστε ότι η κατάσταση/πληροφορία πλαισίου της περιοχής  $A$ ,  $\Pi(A)$ , αναπαρίσταται από το 3Δ διάνυσμα των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων, δηλαδή:

$$\Pi(A) = [\text{θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου}]$$

Μια κρίσιμη κατάσταση που υποδεικνύει πιθανότητα πυρκαγιάς για την περιοχή  $A$ ,  $\Sigma(A)$ , έχει οριστεί ως ένας περιορισμός τιμών/συνόλου τιμών πάνω στις παραμέτρους  $\Pi(A)$ . Ο περιορισμός αυτός εκφράζεται με τη μορφή **κανόνα συμπερασμού**, δηλαδή το «ενδεχόμενο πυρκαγιάς στην περιοχή  $A$ » αναπαρίσταται από ένα σύνολο, όπου τα στοιχεία του είναι περιορισμοί τιμών πάνω στις αντίστοιχες παραμέτρους.

$\Sigma(A) = \langle \mathbf{Αν}$  η θερμοκρασία της περιοχής  $A$  βρίσκεται στο διάστημα τιμών  $[500, 800]$  βαθμών Kelvin **και** το επίπεδο σχετικής υγρασίας της περιοχής  $A$  είναι  $[0, 2]\%$  **και** η ταχύτητα ανέμου της περιοχής  $A$  βρίσκεται μεταξύ τιμών  $[50, 60]$  mph, **τότε** η πιθανότητα εξάπλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή  $A$  είναι  $0,8$   $\rangle$ .

Έστω τώρα ότι η περιγραφή της κατάστασης αυτής αποθηκεύεται σε ένα ΣΕΠ (π.χ. σε μια βάση δεδομένων, οντολογία καταστάσεων/κανόνων). Οι αισθητήρες τη χρονική στιγμή  $t$  μετρώνε τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές τιμές των παραμέτρων αυτών και με τη βοήθεια ενός ασύρματου δικτύων αισθητήρων (θα αναφερθούμε σε αυτό εκτενέστατα παρακάτω) οι τιμές αποστέλλονται στο ΣΕΠ με τη μορφή διανύσματος  $\Pi(A)[t]$  που αναπαριστάει το πλαίσιο/κατάσταση της περιοχής  $A$  τη χρονική στιγμή  $t$ . Το σύστημα αυτό, αυτή τη χρονική στιγμή, προσπαθεί να ελέγξει (συμπεράνει) εάν το πλαίσιο  $\Pi(A)[t]$  εντάσσεται στον προκαθορισμένο κανόνα  $\Sigma(A)$  από

τη βάση δεδομένων του. Δηλαδή ενδιαφέρεται εάν οι τρέχουσες τιμές των παραμέτρων είναι στα καθορισμένα όρια τιμών που αναφέρονται στον κανόνα  $\Sigma(A)$ . Εάν αυτό αληθεύει, τότε το ΣΕΠ *πυροδοτεί* τον κανόνα  $\Sigma(A)$  με την έννοια ότι η έξοδος του αναφέρεται στο σήμα «Η περιοχή  $A$  βρίσκεται σε κρίσιμη κατάσταση».

**Συμπερασματικά:** Η πληροφορία πλαισίου και η ικανότητα ενός ΣΕΠ να υλοποιεί τις έννοιες του διάχυτου υπολογισμού απαιτούν γνώση της περιοχής των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.3

Ακολουθούν μερικές προτάσεις. Ποιες από αυτές είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

1. Η έννοια πλαίσιο σχετίζεται με την πληροφορία μιας συγκεκριμένης οντότητας σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού.
2. Η βασικότερη πληροφορία πλαισίου είναι η θέση της οντότητας σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού.
3. Η έννοια της διεισδυτικότητας είναι γνώρισμα ενός συστήματος επίγνωσης πλαισίου.
4. Ένα μοντέλο πληροφορίας πλαισίου μπορεί να αναπαρασταθεί μόνο από ένα σύνολο κανόνων συμπερασμού.
5. Η μελλοντική θέση ενός κινητού χρήστη αποτελεί χαρακτηριστικό προδραστικότητας μιας εφαρμογής πληροφορίας πλαισίου.

*Βαθμός Δυσκολίας:* Μέτρια.

#### 3.1.5 Αισθητήρες, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και ασύρματα αδόμητα δίκτυα αισθητήρων

Τον τελευταίο καιρό παρατηρούμε εντυπωσιακή πρόοδο στην τεχνολογία των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων, στην ασύρματη επικοινωνία και στα ψηφιακά ηλεκτρονικά, κάτι το οποίο δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης **κόμβων/αισθητήρων** (ή απλά *κόμβων*) χαμηλού κόστους, περιορισμένης κατανάλωσης ενέργειας και πολλαπλών λειτουργιών. Οι κόμβοι είναι μικροί σε μέγεθος και επικοινωνούν μεταξύ τους σε σχετικά κοντινές αποστάσεις χω-

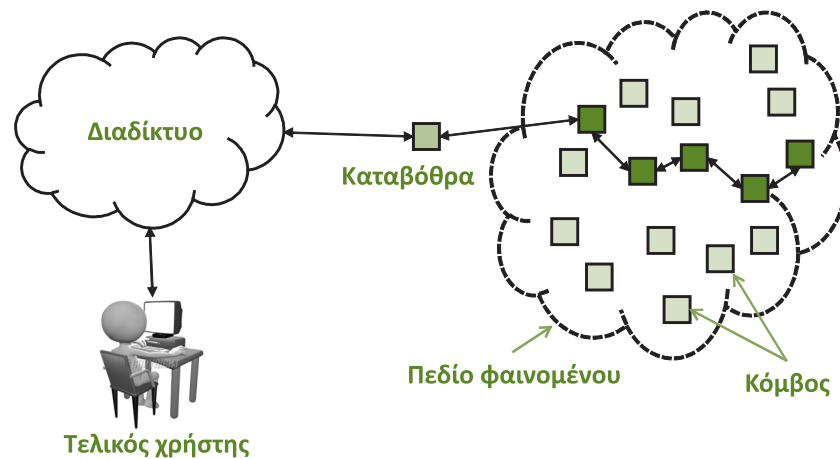
ρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή επιτήρηση. Ένας κόμβος αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- αίσθησης,
- επεξεργασίας δεδομένων,
- επικοινωνίας.

Τα στοιχεία αυτά οδηγούν στην ιδέα των *ασύρματων δικτύων αισθητήρων* (ΑΔΑ), που βασίζονται στη συνεργατική λειτουργία ενός μεγάλου συνόλου κόμβων. Συγκεκριμένα:

### Ορισμός

Ένα ΑΔΑ αποτελείται από μεγάλο αριθμό κόμβων, οι οποίοι εγκαθίστανται πυκνά είτε στην περιοχή όπου αναπτύσσεται ένα *φαινόμενο* προς παρακολούθηση είτε κοντά στην περιοχή του φαινομένου (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam & Cayirci, 2002).



**Σχήμα 3.2**

*Ένα ΑΔΑ, η καταβόθρα και ο τελικός χρήστης*

Οι κόμβοι ενός ΑΔΑ μεταδίδουν δεδομένα που προέρχονται από την παρακολούθηση του φαινομένου μέσα από ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης σε έναν ή περισσότερους κεντρικούς κόμβους (Tubaishat & Madria, 2003). Ο κεντρικός κόμβος εκτελεί διάφορους αλγορίθμους επεξεργασίας και σύντηξης δεδομένων πάνω στα εισερχόμενα δεδομένα αισθητήρων. Ο κεντρικός κόμβος συνήθως αναφέρεται και *καταβόθρα*. Στα σύγχρονα ΑΔΑ, οι κόμ-



βοι εξοπλίζονται με έναν on-board επεξεργαστή. Έτσι, οι κόμβοι αυτοί, αντί να στέλνουν ακατέργαστα τα δεδομένα στην καταβόθρα, χρησιμοποιούν τις δυνατότητες επεξεργασίας που διαθέτουν, προκειμένου να εκτελέσουν τοπικά κάποιους υπολογισμούς/αλγορίθμους και να εκπέμψουν μόνο τα τοπικά επεξεργασμένα δεδομένα. Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει ένα ΑΔΑ αποτελούμενο από ένα σύνολο κόμβων και μια καταβόθρα. Η πληροφορία που ανακτάται από τους κόμβους/αισθητήρες στο ΑΔΑ αποστέλλεται από την καταβόθρα στον τελικό χρήστη μέσω Διαδικτύου.

Η επικοινωνία δεδομένων στα ΑΔΑ απαιτεί τεχνικές *αδόμητης δικτύωσης* (Ad Hoc Networking). Οι κόμβοι εγκαθίστανται κυρίως με πυκνή διάταξη. Αυτό οδηγεί στην ιδέα της επικοινωνίας δεδομένων από έναν κόμβο μέχρι την καταβόθρα μέσα από *πολλαπλούς διαδοχικούς κόμβους*, σε αντίθεση με την απευθείας επικοινωνία του κόμβου και της καταβόθρας. Η επικοινωνία με χρήση πολλαπλών διαδοχικών κόμβων μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τη μετάδοση σήματος σε μακρινές αποστάσεις.

Η δυνατότητα της τοπικής επεξεργασίας δεδομένων και της αδόμητης δικτύωσης εξασφαλίζει πλήθος εφαρμογών που απαιτούν ΑΔΑ. Βασικές περιοχές εφαρμογής των ΑΔΑ είναι η υγεία, ο στρατός και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, μια στρατιωτική εφαρμογή των ΑΔΑ είναι η εμφύτευσή τους σε συστήματα ελέγχου, αναγνωρίσεων και σκόπευσης, τα οποία εκμεταλλεύονται ιδιότητες των ΑΔΑ, όπως η ταχεία εγκατάσταση, η αυτοοργάνωση και η ανοχή σε σφάλματα. Οι κόμβοι μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν για να εντοπίσουν ξένα χημικά στοιχεία στον αέρα και το νερό ή να ανακαλύψουν τον τύπο, τη συγκέντρωση και τη θέση μολυσματικών ουσιών. Επίσης, ΑΔΑ τοποθετούνται σε δάση και, γενικά, σε μη προσβάσιμες περιοχές με στόχο την πυροπροστασία. Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου μπορούν να ανιχνεύσουν φαινόμενα πυροκαγιάς. Η πληροφορία αυτή μπορεί να τροφοδοτήσει διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων περιβαλλοντικού κινδύνου, ώστε να προβλεφθεί η ύπαρξη και η τοποθεσία μετώπου φωτιάς, καθώς και να εκτιμηθεί η κατεύθυνσή της στο άμεσο μέλλον.

Μια γενική κατηγορία ΑΔΑ είναι τα *Αδόμητα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων* (ΑΑΔΑ), τα οποία αποτελούν συστήματα με δυνατότητα καταναμημένων υπολογισμών, όπου οι κόμβοι ανταλλάσσουν πληροφορίες και υπηρεσίες

απευθείας με τους άλλους κόμβους του δικτύου. Τα ΑΑΔΑ έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια για το μαζικό διαμοιρασμό δεδομένων. Συγκεκριμένα:

### Ορισμός

Ένα ΑΑΔΑ αποτελείται από κόμβους που μπορούν να κινούνται αυθαίρετα στο χώρο και να στέλνουν δεδομένα αυτόνομα. Κάθε κόμβος μπορεί να μεταδίδει κατά βούληση σε όσους κόμβους βρίσκονται εντός της ακτίνας μετάδοσής του, ενώ, αν ο επιθυμητός προορισμός βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από την ακτίνα αυτή, τα δεδομένα προωθούνται μέσω ενδιάμεσων κόμβων.

Το βασικό χαρακτηριστικό των ΑΑΔΑ αυτών είναι ότι δεν προϋποθέτουν υποδομή για την ανάπτυξη και τη λειτουργία τους.

Μπορούμε να ορίσουμε ένα ΑΑΔΑ ως ένα σύνολο ασύρματων κινητών κόμβων οι οποίοι συγκροτούν ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη βοήθεια κάποιων σταθερής υποδομής ή κεντρικής διαχείρισης. Τα ΑΑΔΑ είναι *αυτοοργανούμενα και αυτοδιαμορφούμενα*, ενώ η δομή του δικτύου αλλάζει δυναμικά. **Αυτό οφείλεται στην κινητικότητα των κόμβων.** Οι κόμβοι των ΑΑΔΑ αξιοποιούν το ίδιο, τυχαίας προσπέλασης, ασύρματο κανάλι και συνεργάζονται για την πολυαλματική αποστολή και προώθηση των δεδομένων, δηλαδή μέσα από πολλούς ενδιάμεσους κόμβους. Οι κόμβοι σε ένα ΑΑΔΑ δεν αποτελούν μόνο τερματικά, αλλά λειτουργούν και ως αναμεταδότες δεδομένων σε άλλους κόμβους του δικτύου.

Τα παραπάνω καθιστούν τα ΑΑΔΑ κατάλληλα για ορισμένες εφαρμογές και καταστάσεις στις οποίες οι υπόλοιπες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως τα ενσύρματα δίκτυα, οι δορυφορικές συνδέσεις κ.ά., δεν είναι διαθέσιμες ή θεωρούνται πολύ ακριβές. Ένα κατεξοχήν πεδίο εφαρμογής των ΑΑΔΑ είναι οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όταν λόγω φυσικής ή άλλης καταστροφής ή λόγω δύσβατης περιοχής η υπάρχουσα δικτυακή υποδομή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή δεν υπάρχει εξαρχής. Έτσι, η έλλειψη κάποιων σταθερής υποδομής και η εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση ενός δικτύου που παρέχουν τα ΑΑΔΑ τα καθιστούν κατάλληλα στις εξαιρετικά άμεσες και επείγουσες ανάγκες για επικοινωνία, π.χ., στις ομάδες διάσωσης.

Τα ΑΑΔΑ έχουν εφαρμογή σε περιβάλλοντα όπως πανεπιστήμια, αίθουσες συνεδριάσεων, αεροδρόμια, αλλά και νοσοκομεία, όπου, αν και η ιεράρχηση των αναγκών για ποιότητα υπηρεσιών είναι διαφορετική, η απαίτηση για ευέλικτη επικοινωνία δίχως χρονικές ή χωρικές δεσμεύσεις είναι έντονη. Οι χρήστες ενός ΑΑΔΑ αποκτούν τη δυνατότητα για επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και για πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω φορητών υπολογιστών ή άλλων συσκευών που παρέχουν τη δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης.

Άλλο πεδίο εφαρμογής των ΑΑΔΑ αποτελούν τα δίκτυα οχημάτων ή πλοίων που επικοινωνούν μεταξύ τους βασιζόμενα σε δρομολόγηση μεταξύ ομότιμων κόμβων. Πιο συγκεκριμένα, τέτοια δίκτυα μπορούν να βρουν εφαρμογή στην οδική ασφάλεια και κυκλοφορία, με κόμβους τοποθετημένους πάνω στα αυτοκίνητα και διασυνδεόμενους σε ένα κοινό δίκτυο (VANET – Vehicular Ad Hoc Networks) με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση των οδηγών που ακολουθούν σε περίπτωση ατυχήματος ή απότομου φρεναρίσματος. Αισθητήρες ενσωματωμένοι στη μηχανή του αυτοκινήτου μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη βλαβών κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Άλλες εφαρμογές των δικτύων αυτών είναι ο έλεγχος της κυκλοφοριακής κίνησης και η αναδρομολόγησή της σε πραγματικό χρόνο.

**Συμπερασματικά**, τα ΑΔΑ και τα ΑΑΔΑ αποτελούν τη βάση για ανάκτηση και διάχυση πληροφορίας πλαισίου, ώστε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού να είναι εύκολο να αναπτυχθούν και να υποστηρίξουν πολλά ΣΕΠ.

## 3.2 Στοιχεία ασύρματου δικτύου αισθητήρων

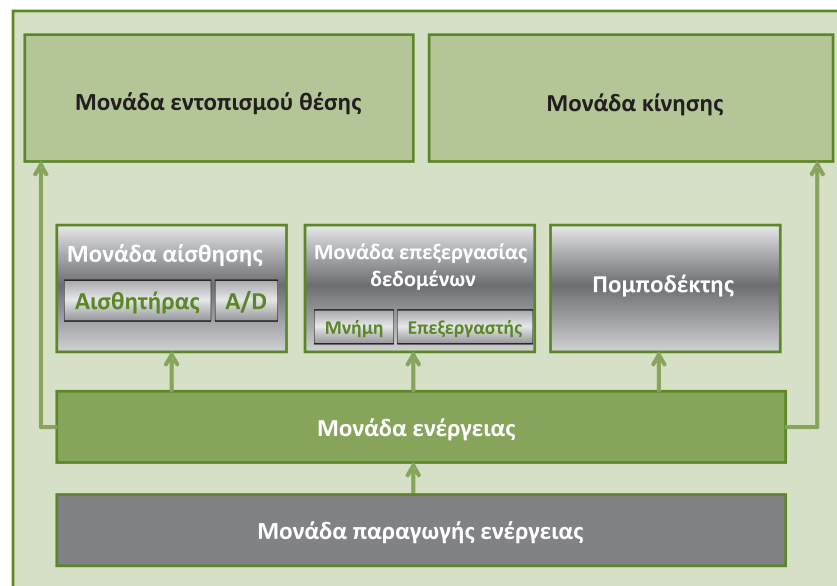
### 3.2.1 Δομή κόμβου

Ένας κόμβος ενός ΑΔΑ αποτελείται από τις ακόλουθες βασικές μονάδες:

- μονάδα αίσθησης,
- μονάδα επεξεργασίας δεδομένων,
- μονάδα πομποδέκτη και
- μονάδα ενέργειας.

Επίσης, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται, ένας κόμβος μπορεί να διαθέτει επιπλέον:

- μονάδα εντοπισμού θέσης,
- μονάδα παραγωγής ενέργειας και
- μονάδα κίνησης.



**Σχήμα 3.3**

*Βασικά στοιχεία ενός κόμβου-αισθητήρα*

Το Σχήμα 3.3 απεικονίζει τα βασικά στοιχεία ενός κόμβου σε ένα ΑΔΑ. Η μονάδα αίσθησης συνήθως αποτελείται από δύο συστήματα:

- τους αισθητήρες και
- τους αναλογικοψηφιακούς μετατροπείς.

Τα αναλογικά σήματα παράγονται από τους αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τις τιμές περιβαλλοντικών μεταβλητών, που αντιστοιχούν σε διάφορα φυσικά φαινόμενα, π.χ., θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου. Τα σήματα αυτά μετατρέπονται σε ψηφιακά από τους αναλογικοψηφιακούς μετατροπείς και, κατόπιν, μεταφέρονται στη μονάδα επεξεργασίας δεδομένων. Η τελευταία διαθέτει μια σχετικά μικρή μονάδα αποθήκευσης δεδομένων (μνήμη), ενώ διαχειρίζεται όλες τις διαδικασίες, καθιστώντας τον κόμβο ικανό να συνεργάζεται με άλλους κόμβους. Η μονάδα του πομποδέκτη συνδέει τον κόμβο στο ΑΔΑ. Είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ κόμβων και καταβοθρών. Ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα του κόμβου είναι η μονάδα ενέργειας. Οι μονάδες ενέργειας είναι δυνατό να υποστηρίζονται από μια μονάδα εξαγωγής και παραγωγής ενέργειας από το περιβάλλον, όπως οι ηλιακές κυψέλες. Υπάρχουν όμως και άλλες υπομονάδες, των οποίων η χρήση εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιούνται οι αισθητήριοι κόμβοι.

Οι πιο πολλές από τις τεχνικές δρομολόγησης και τις εφαρμογές παρακολούθησης των δικτύων αισθητήρων απαιτούν τη γνώση της θέσης συνήθως με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι είναι σύνηθες για έναν κόμβο να έχει προσαρτημένη μια μονάδα εύρεσης θέσης. Μια μονάδα κίνησης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται να κινηθούν οι κόμβοι προκειμένου να παρακολουθήσουν καλύτερα το παρατηρούμενο φαινόμενο.

Οι περισσότερες εφαρμογές για έναν κόμβο απαιτούν γνώση της θέσης. Αφού οι αισθητήριοι κόμβοι εγκαθίστανται γενικά με τυχαία διάταξη και λειτουργούν χωρίς παρακολούθηση, υπάρχει η ανάγκη να συνεργάζονται με ένα σύστημα εντοπισμού θέσης. Τα συστήματα απαιτούνται και από μερικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, προκειμένου να λειτουργήσουν. Είναι σύνηθες κάθε κόμβος να έχει και ένα σύστημα εντοπισμού θέσης (για παράδειγμα, σύστημα GPS). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όμως, ο εξοπλισμός των κόμβων με ένα σύστημα εντοπισμού θέσης δεν είναι εφικτός. Μια διαφορετική προσέγγιση είναι να έχουν μερικοί από τους κόμβους ενσωματωμένο ένα σύστημα

εντοπισμού θέσης, προκειμένου να εντοπίσουν τη θέση τους και να βοηθήσουν τους γειτονικούς κόμβους τους να εντοπίσουν τη δική τους θέση.

Όλες αυτές οι υπομονάδες πρέπει να χωρέσουν σε μια συσκευασία μεγέθους σπιρτόκουτου. Εκτός από το μέγεθος, υπάρχουν ακόμα πιο αυστηροί περιορισμοί για τους κόμβους όπως:

- Πρέπει να καταναλώνουν εξαιρετικά χαμηλή ενέργεια.
- Πρέπει να λειτουργούν ακόμα και σε πολύ πυκνή χωρική τοποθέτηση.
- Πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής και να είναι αναλώσιμοι.
- Πρέπει να είναι αυτόνομοι και να λειτουργούν χωρίς παρακολούθηση.
- Πρέπει να προσαρμόζονται στο περιβάλλον που θα λειτουργούν.

Αφού οι κόμβοι είναι συνήθως μη προσπελάσιμοι, η διάρκεια ζωής ενός ΑΔΑ εξαρτάται άμεσα από τη διάρκεια ζωής των πηγών ενέργειας των κόμβων. Η ενέργεια είναι ένας σπάνιος πόρος του συστήματος εξαιτίας των περιορισμών του μεγέθους.

### **3.2.2 Παράγοντες σχεδιασμού ασύρματου δικτύου αισθητήρων**

Στην υποενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με τους παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό ενός ΑΔΑ. Οι βασικοί παράγοντες είναι:

1. ανοχή σε αστοχίες,
2. δυνατότητα κλιμάκωσης,
3. εγκατάσταση κόμβων,
4. μέσο μετάδοσης και
5. κατανάλωση ενέργειας.

#### **Ανοχή σε αστοχίες**

Ενδέχεται κάποιοι κόμβοι να αποτύχουν λόγω έλλειψης ενέργειας ή φυσικής καταστροφής ή περιβαλλοντικών παρεμβολών. Η αποτυχία ή καταστροφή (παροδική ή μόνιμη) μερικών κόμβων δεν πρέπει να επηρεάζει τη λειτουργία του ΑΔΑ. Αυτό αναφέρεται ως *αξιοπιστία* ή *ανοχή σε αστοχίες*. Η ανοχή σε

σφάλματα είναι η δυνατότητα του ΑΔΑ να διατηρεί τη λειτουργικότητά του χωρίς διακοπές που οφείλονται σε αποτυχίες των κόμβων. Οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα που σχεδιάζονται για τη λειτουργικότητα ενός ΑΔΑ λαμβάνουν υπόψη τα απαιτούμενα επίπεδα ανοχής σε σφάλματα.

### Δυνατότητα κλιμάκωσης

Το πλήθος των κόμβων που έχουν αναπτυχθεί για τη μελέτη ενός φαινομένου μπορεί να είναι της τάξης των εκατοντάδων ή χιλιάδων ή και εκατομμυρίων, ανάλογα με την εφαρμογή. Οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα που σχεδιάζονται για ένα ΑΔΑ πρέπει να μπορούν να χειριστούν αυτό τον αριθμό των κόμβων. Αυτό επιτυγχάνεται εφόσον έχουν γνώση της *πυκνότητας* με την οποία εγκαθίστανται οι κόμβοι. Η πυκνότητα μπορεί να διαφέρει από μερικούς μέχρι εκατοντάδες κόμβους σε μια περιοχή. Συγκεκριμένα, μπορούμε να ορίσουμε την πυκνότητα  $d(R)$  σύμφωνα με τον τύπο:

$$d(R) = \frac{n\pi R^2}{E_A} \quad (3.1)$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των κόμβων σε μια περιοχή  $A$  με εμβαδόν  $E_A$  και  $R$  η εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης ενός κόμβου. Η ποσότητα  $d(R)$  αναφέρεται στον αριθμό των κόμβων που μπορούν να επικοινωνούν με εμβέλεια ασύρματης μετάδοσης  $R$  σε μια περιοχή  $A$ .

### Εγκατάσταση κόμβων

Μεγάλος αριθμός μη προσβάσιμων και χωρίς παρακολούθηση κόμβων, οι οποίοι εύκολα μπορούν να τεθούν εκτός λειτουργίας, καθιστά τη διατήρηση της τοπολογίας του δικτύου μεγάλη πρόκληση. Μπορούμε να εξετάσουμε την εξέλιξη της τοπολογίας του δικτύου αισθητήρων σε δύο φάσεις:

- **Φάση πριν από την εγκατάσταση:** Οι κόμβοι μπορούν είτε να διασπαρθούν μαζικά είτε να τοποθετηθούν ένας ένας στο χώρο παρακολούθησης. Μπορούν, για παράδειγμα, να σκορπιστούν από ένα αεροπλάνο ή να τοποθετηθούν ένας ένας από κάποιον τεχνικό ή ρομπότ.
- **Φάση μετά την εγκατάσταση:** Μετά την εξάπλωση των κόμβων στο χώρο παρακολούθησης, οι αλλαγές στην τοπολογία οφείλονται σε αλλαγές στους κόμβους, όπως, για παράδειγμα, σε αλλαγές στη θέση, τη

δυνατότητα επικοινωνίας, τη διαθεσιμότητα ενέργειας και σε δυσλειτουργία.

Οι κόμβοι εγκαθίστανται πυκνά, σε σχετικά κοντινή απόσταση με το παρατηρούμενο φαινόμενο ή και μέσα στην περιοχή όπου εξελίσσεται το φαινόμενο. Για παράδειγμα, οι κόμβοι μπορεί να βρίσκονται:

- στο εσωτερικό ενός μεγάλου μηχανήματος,
- στα βάθη του ωκεανού ή σε ένα ποτάμι,
- στην επιφάνεια ενός ωκεανού στη διάρκεια καταιγίδας,
- σε μια περιοχή μολυσμένη από ραδιενέργεια ή χημικές ουσίες,
- σε δασική περιοχή,
- σε ένα σπίτι ή σε ένα μεγάλο κτίριο,
- εμφυτευμένοι σε ζώα,
- ενσωματωμένοι σε ταχέως κινούμενα οχήματα.

Επιπλέον κόμβοι είναι δυνατό να εγκατασταθούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή, για να αντικαταστήσουν όσους παρουσιάζουν δυσλειτουργία ή αυτούς των οποίων ο αρχικός σκοπός της εγκατάστασης έχει διαφοροποιηθεί. Η προσθήκη νέων κόμβων στο δίκτυο δημιουργεί την ανάγκη για επανασυνοργάνωση. Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις συχνές αλλαγές στην τοπολογία ενός ΑΔΑ, χρειαζόμαστε ειδικά σχεδιασμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

### **Μέσο μετάδοσης**

Σε ένα ΑΔΑ, οι κόμβοι επικοινωνούν με ασύρματη ζεύξη, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί από ραδιοσυχνότητες, υπέρυθρα ή οπτικά μέσα.

Η ασύρματη επικοινωνία μέσω ραδιοσυχνοτήτων απαιτεί διαμόρφωση, φιλτράρισμα, αποδιαμόρφωση και κυκλώματα πολυπλεξίας, τα οποία την κάνουν περισσότερο πολύπλοκη και ακριβή. Επίσης, οι απώλειες του μεταδιδόμενου σήματος μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να είναι υψηλές μέχρι την τέταρτη δύναμη της απόστασης μεταξύ τους, διότι οι κόμβοι (οι κεραίες τους) είναι πολύ κοντά στο έδαφος. Παρ' όλα αυτά οι ραδιοσυχνότητες προτιμώνται στα περισσότερα συστήματα δικτύων αισθητήρων, διότι τα πακέτα που με-



ταφέρονται στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων είναι χαμηλών ρυθμών μετάδοσης (συνήθως μικρότερα του 1 Hz) και ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας είναι μεγάλος λόγω των μικρών αποστάσεων στην επικοινωνία.

Η επικοινωνία μέσω υπερύθρων είναι ανθεκτική στις παρεμβολές από ηλεκτρικές συσκευές. Οι πομποδέκτες υπερύθρων είναι φθηνότεροι και κατασκευάζονται ευκολότερα. Πολλές από τις σημερινές συσκευές, όπως οι υπολογιστές, κατασκευάζονται έχοντας ενσωματωμένο πομποδέκτη υπερύθρων. Το μόνο μειονέκτημά τους είναι η απαίτηση για οπτική επαφή μεταξύ των συσκευών που επικοινωνούν.

Ο κόμβος «έξυπνης σκόνης» είναι ένα αυτόνομο σύστημα αίσθησης και επεξεργασίας που χρησιμοποιεί οπτικό μέσο μετάδοσης. Οι δύο βασικές επιλογές για οπτική μετάδοση είναι η *παθητική* και η *ενεργητική* μετάδοση. Στην πρώτη περίπτωση δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας ενσωματωμένης πηγής φωτός. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται μια ενσωματωμένη δίοδος λέιζερ και ένα ανάλογο σύστημα επικοινωνίας, προκειμένου να αποσταλεί μια δέσμη φωτός προς τον κόμβο/δέκτη.

### Κατανάλωση ενέργειας

Ο κόμβος, αφού είναι μικροηλεκτρονική συσκευή, μπορεί να εφοδιαστεί με μια πηγή περιορισμένης ενέργειας ( $< 0,5 \text{ Ah}$ ,  $1,2 \text{ V}$ ). Η αντικατάσταση αυτής της πηγής ενέργειας συνήθως είναι αδύνατη, συνεπώς η ζωή του αισθητήρου κόμβου εξαρτάται από αυτήν. Σε ένα ΑΔΑ κάθε κόμβος διαδραματίζει το ρόλο του αποστολέα, του παραλήπτη αλλά και του δρομολογητή. Τυχόν βλάβες σε κάποιους από τους κόμβους δημιουργούν ανάγκη για αναδιοργάνωση του δικτύου και επαναδρομολόγηση των μηνυμάτων. Συνεπώς η σωστή διαχείριση της ενέργειας των κόμβων είναι πολύ σημαντική. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αποδοθεί σε τρεις λειτουργίες: στην *αίσθηση*, την *επικοινωνία* και την *επεξεργασία δεδομένων*.

- **Επικοινωνία:** Η πιο απαιτητική λειτουργία από άποψη κατανάλωσης ενέργειας είναι η επικοινωνία. Συνήθως για τις μικρές αποστάσεις όπου λειτουργούν οι κόμβοι η κατανάλωση είναι ίδια κατά την εκπομπή και τη λήψη. Βεβαίως, σημαντικό ρόλο παίζει η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του κυκλώματος του πομποδέκτη. Η κατανάλωση ενέργειας

$P_c$  κατά την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ ενός κόμβου-πομπού ( $T$ ) και ενός κόμβου-δέκτη ( $R$ ) μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση:

$$P_c = N_T \left[ P_T (T_{on} + T_{st}) + P_{out} (T_{on}) \right] + N_R \left[ P_R (R_{on} + R_{st}) \right] \quad (3.2)$$

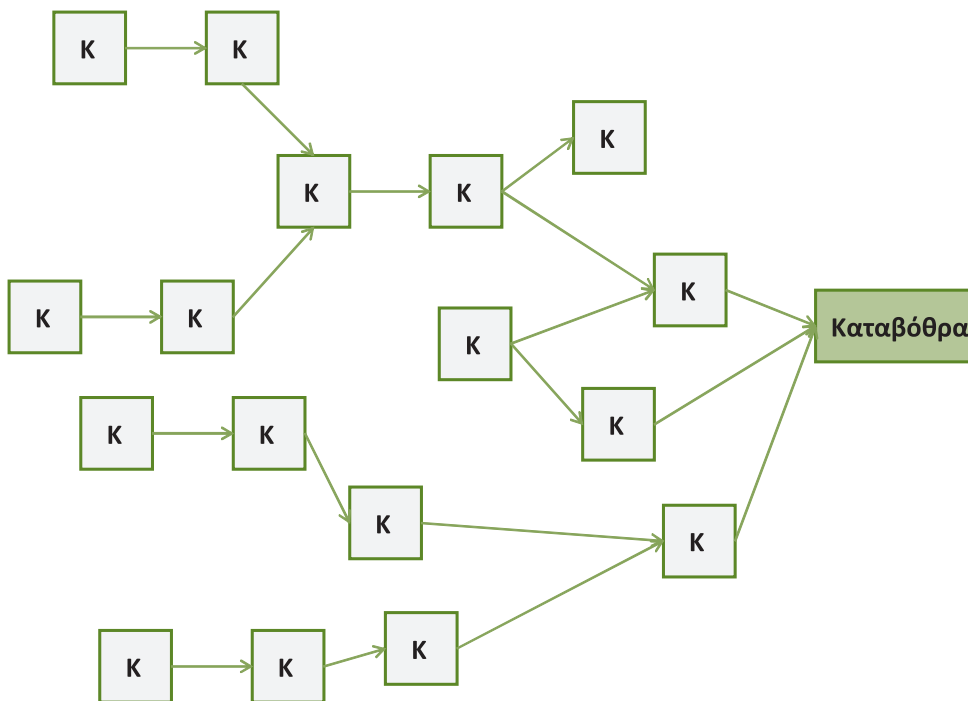
όπου  $PT/R$  είναι η ισχύς εκπομπής και λήψης αντίστοιχα,  $P_{out}$  η ισχύς εξόδου του πομπού,  $T/R_{on}$  ο χρόνος που ο πομπός και ο δέκτης είναι ενεργοί αντίστοιχα,  $T/R_{st}$  ο χρόνος έναρξης του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, και  $N_{TR}$  ο αριθμός των φορών που ο πομπός και ο δέκτης ανοίγουν στη μονάδα του χρόνου, ο οποίος εξαρτάται από τον ανατιθέμενο σκοπό αλλά και το πρωτόκολλο στο επίπεδο ζεύξης.

- Επεξεργασία δεδομένων:** Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων είναι τάξεις μεγέθους μικρότερη από την ενέργεια που απαιτείται για επικοινωνία. Συνεπώς, ο κόμβος εφοδιάζεται με κύκλωμα επεξεργασίας, προκειμένου να επεξεργάζεται τα δεδομένα, με απώτερο σκοπό να στέλνει όσο το δυνατό λιγότερα πακέτα κατά τη φάση της επικοινωνίας. Η ενέργεια που καταναλώνει ο επεξεργαστής του κόμβου εξαρτάται από την τάση και τη συχνότητα λειτουργίας. Συνεπώς, αν μειώσουμε τους δύο αυτούς παράγοντες, θα έχουμε και μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Βέβαια, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι η ικανότητα επεξεργασίας θα μειωθεί. Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι ο επεξεργαστής εργάζεται λίγες φορές στο μέγιστο της απόδοσής του και, έτσι, μπορούμε να έχουμε ένα δυναμικό τρόπο αυξομείωσης του ρεύματος και της συχνότητας λειτουργίας του.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στα άρθρα των Govil, Chan & Wasserman (1995) και Lorch & Smith (1996), όπου αναφέρονται τρόποι δυναμικής λειτουργίας του επεξεργαστή, ώστε να μειωθεί η απαιτούμενη ενέργεια.

### 3.3 Αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου αισθητήρων

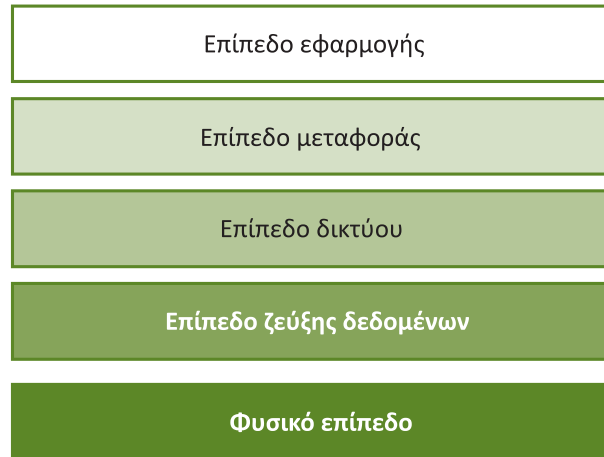
Οι κόμβοι διασπείρονται σε ένα πεδίο ανίχνευσης φαινομένων, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4. Κάθε κόμβος: (1) συλλέγει δεδομένα (διεργασία αίσθησης), (2) τα επεξεργάζεται τοπικά (τοπική επεξεργασία δεδομένων) και (3) τα εκπέμπει σε χωρικά διπλανούς κόμβους, όπου μέσω κατάλληλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης φτάνουν στην καταβόθρα του ΑΔΑ και καταλήγουν στους ενδιαφερόμενους χρήστες/εφαρμογές.



**Σχήμα 3.4**

*Ένα ΑΔΑ με κόμβους και μία καταβόθρα*

Η στοίβα πρωτοκόλλων που χρησιμοποιείται από την καταβόθρα αλλά και από όλους τους κόμβους του ΑΔΑ απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5 της επόμενης σελίδας. Η στοίβα αποτελείται από τα εξής επίπεδα: φυσικό, ζεύξης δεδομένων, δικτύου, μεταφοράς και εφαρμογής.

**Σχήμα 3.5**

Στοιβά πρωτοκόλλων για ΑΔΑ

### 3.3.1 Φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας, τη δημιουργία του φέροντος, την ανίχνευση του σήματος, τη διαμόρφωση και την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Βασικός παράγοντας στο σχεδιασμό του φυσικού επιπέδου παραμένει η ενέργεια που καταναλώνεται στην επικοινωνία. Βέβαια, εξαιτίας της πυκνής χωρικά συγκέντρωσης των κόμβων και της δυνατότητας επικοινωνίας μέσω πολλαπλών κόμβων, έχουμε σημαντική εξοικονόμηση στην ενέργεια αλλά και μικρές απώλειες στο σήμα, άρα δυνατότητα για μικρότερη ισχύ εκπομπής.

### 3.3.2 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ασχολείται με την πολυπλεξία των δεδομένων, την ανίχνευση των πλαισίων δεδομένων, την πρόσβαση στο μέσο και τον έλεγχο σφαλμάτων. Το επίπεδο αυτό εστιάζεται στην κατασκευή της δομής του ΑΔΑ προκειμένου να επιτευχθεί επικοινωνία από σημείο-προς-σημείο (από κόμβο-προς-κόμβο και από κόμβο-προς-καταβόθρα) και διαμοιρασμός του μέσου μετάδοσης ισότιμα και αποτελεσματικά μεταξύ των κόμβων.

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ζεύξης δεδομένων έχουν πρωταρχικό σκοπό την παροχή ποιότητας υπηρεσίας, χωρίς να υπολογίζουν σε μεγάλο βαθμό το θέμα της καταναλισκόμενης ενέργειας, αφού θεωρούν ότι είναι δυνατό να

αναπληρωθεί. Επίσης, ένας άλλος παράγοντας είναι ο αριθμός των κόμβων στο ΑΔΑ, καθώς και οι συχνές αλλαγές στην τοπολογία και η απουσία κάποιου κόμβου που παίζει το ρόλο του *συντονιστή*.

### **Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο**

Το πρωτόκολλο Sensor Medium Access Control Protocol (SMACS) επιτυγχάνει την έναρξη του ΑΔΑ καθώς και την οργάνωση του επιπέδου ζεύξης δεδομένων. Το SMACS είναι ένα καταναλωμένο πρωτόκολλο αρχικοποίησης της δομής ενός ΑΔΑ. Δίνει τη δυνατότητα στους κόμβους να ανακαλύψουν τους γείτονές τους και να προγραμματίσουν χρονικά την εκπομπή και τη λήψη δεδομένων χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κόμβων-συντονιστών είτε σε τοπικό είτε σε καθολικό επίπεδο. Μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη αποτελείται από ένα ζευγάρι χρονοθυρίδων που λειτουργούν με την τυχαία επιλογή συχνότητας (σταθερής ή με αναπηδήσεις). Αυτό είναι εφικτό αφού το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων είναι πολύ μεγαλύτερο από τον αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτό δεν είναι αναγκαίο να υπάρχει συγχρονισμός όλων των κόμβων του ΑΔΑ αλλά μόνο αυτών που επικοινωνούν. Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός τυχαίου προγράμματος αφύπνισης κατά τη φάση της σύνδεσης και με απενεργοποίηση του πομποδέκτη κατά τη φάση των κενών χρονοθυρίδων.

Σύμφωνα με τον υβριδικό τρόπο πρόσβασης στο μέσο κατά TDMA/FDMA ανακαλύπτεται κάθε φορά ο αριθμός των καναλιών που θα εξυπηρετηθούν από την FDMA ή TDMA τεχνική και η καταλληλότερη αναλογία εξαρτάται από το λόγο της καταναλισκόμενης ενέργειας στον πομπό και το δέκτη. Αν ο πομπός καταναλώνει περισσότερη ενέργεια, τότε προτιμάται η τεχνική TDMA, διαφορετικά επιλέγεται η τεχνική FDMA.

### **Κατάσταση λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας**

Το σύνολο των καταστάσεων λειτουργίας ενός κόμβου εξαρτάται από τις καταστάσεις του μικροεπεξεργαστή, της μνήμης, του αναλογικοψηφιακού μετατροπέα και του πομποδέκτη. Καθεμία από αυτές τις καταστάσεις χαρακτηρίζεται από την ενέργεια που καταναλώνει για να μεταβεί από μια κατάσταση σε μια άλλη. Το πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο επιβάλλεται να υποστηρίξει την *κατάσταση λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας*. Ο πιο προφανής τρόπος είναι η απενεργοποίηση του πομποδέκτη, όταν αυτός δεν είναι ανα-

γκαίος. Αυτό όμως μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα, αφού οι κόμβοι ανταλλάσσουν μικρά μηνύματα μεταξύ τους, με αποτέλεσμα, αν απενεργοποιούμε τον πομποδέκτη κάθε μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν έχουμε δραστηριότητα ανταλλαγής πακέτων, τότε ενδέχεται να καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια λόγω της ανάγκης να τον ενεργοποιήσουμε πάλι.

### Έλεγχος σφαλμάτων

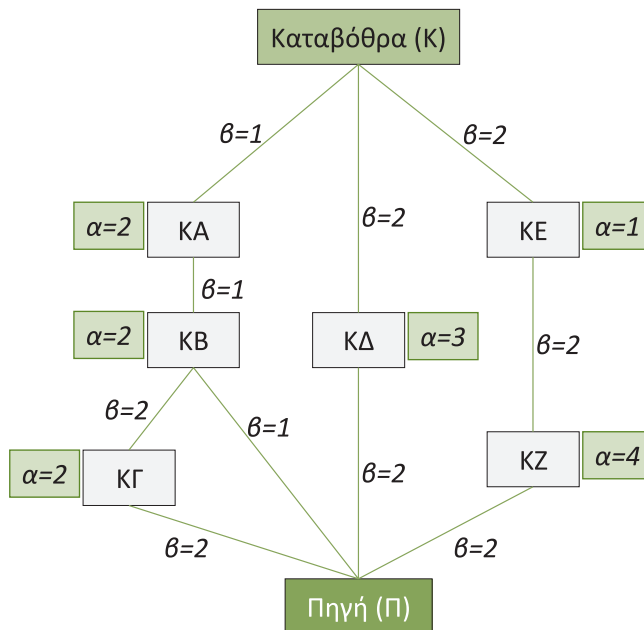
Η αξιοπιστία του καναλιού είναι αναγκαία στα ΑΔΑ. Ένας τρόπος μέτρησης της αξιοπιστίας είναι ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων στο κανάλι (Bit Error Rate – BER). Το BER μπορεί να μειωθεί με δύο τρόπους, είτε με την αύξηση της ισχύος στον πομπό είτε με τη χρήση κατάλληλου κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ελέγχου και διόρθωσης σφαλμάτων:

- (1) η αυτόματη αίτηση για επανάληψη (Automatic Repeat Request – ARQ),
- (2) η διόρθωση των σφαλμάτων στο δέκτη (Forward Error Correction – FEC).

Η χρησιμότητα της μεθόδου ARQ είναι πολύ μικρή εξαιτίας του κόστους των επανεκπομπών και της μεγάλης επικεφαλίδας των απεσταλμένων πακέτων. Συνεπώς, η χρήση της μεθόδου FEC είναι προτιμότερη, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα μηνύματα που ανταλλάσσονται είναι σχετικά μικρά σε μέγεθος και, κατ' επέκταση, η αντίστοιχη κωδικοποίηση επιτυγχάνεται με μικρό αριθμό πλεοναστικών bits. Λόγω της δυνατότητας του κόμβου να επεξεργάζεται τοπικά τα δεδομένα και εξαιτίας του γεγονότος ότι η αποκωδικοποίηση των δεδομένων επιζητά μικρότερο κόστος σε ενέργεια από ό,τι η επανεκπομπή των ίδιων δεδομένων, η FEC μέθοδος φαίνεται ιδανική για την περίπτωση των ΑΔΑ. Ως επί τον πλείστον, πρέπει να λάβουμε υπόψη την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την τοπική επεξεργασία. Εάν αυτή η ενέργεια είναι μεγαλύτερη από ό,τι απαιτείται για να στέλνονται τα δεδομένα χωρίς κωδικοποίηση, τότε η όλη διαδικασία δεν έχει νόημα.

### 3.3.3 Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο δικτύου αναφέρεται σε πρωτόκολλα δρομολόγησης, προκειμένου η ληφθείσα πληροφορία από τους κόμβους να κατευθύνεται στην καταβόθρα και στους τελικούς χρήστες. Παρακάτω αναφέρουμε τις τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να επιλεγεί η πιο αποτελεσματική διαδρομή από τους κόμβους μέχρι την καταβόθρα από άποψη οικονομίας ενέργειας.

**Σχήμα 3.6**

Εναλλακτικές διαδρομές από τον κόμβο-πηγή (Π) στην καταβόθρα (Κ)

**Παράδειγμα 3.3**

Για να περιγράψουμε καλύτερα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, θεωρήστε το ΑΔΑ στο Σχήμα 3.6. Ο κόμβος-πηγή (Π) είναι αυτός που στέλνει τα δεδομένα τα οποία κατευθύνονται προς την καταβόθρα (Κ). Κάθε κόμβος στο ΑΔΑ έχει γνώση της διαθέσιμης/εναπομείνουσας ενέργειάς του ( $\alpha$ ) και για κάθε ζεύξη μεταξύ κόμβων είναι γνωστή η ενέργεια που απαιτείται για την εκπομπή ενός πακέτου δεδομένων μεταξύ τους ( $\beta$ ). Συμβολίζουμε μια διαδρομή μεταξύ κόμβων σε ένα ΑΔΑ ως ακολουθία:

$$\Delta = (K_1, K_2, \dots, K_n)$$

όπου  $K_i$  αναφέρεται σε έναν κόμβο του ΑΔΑ και η ροή πληροφορίας έχει αφετηρία τον κόμβο  $K_1$  και προορισμό τον κόμβο  $K_n$ . Συμβολίζουμε με  $|\Delta|$  τον αριθμό των κόμβων  $n$  που αποτελούν τη διαδρομή. Επίσης, ο αριθμός αλμάτων από τον κόμβο  $K_1$  στον κόμβο  $K_n$ , είναι  $|\Delta|-1 = n-1$ .

Οι τέσσερις εναλλακτικές διαδρομές και τα κόστη σε ενέργεια είναι:

- Διαδρομή  $\Delta_1 = (\Pi, KB, KA, K)$  με συνολική ενέργεια  $\alpha = 4$  και  $\beta = 3$ .

- Διαδρομή  $\Delta_2 = (\Pi, \text{ΚΓ}, \text{ΚΒ}, \text{ΚΑ}, \text{Κ})$  με συνολική ενέργεια  $\alpha = 6$  και  $\beta = 6$ .
- Διαδρομή  $\Delta_3 = (\Pi, \text{ΚΔ}, \text{Κ})$  με συνολική ενέργεια  $\alpha = 3$  και  $\beta = 4$ .
- Διαδρομή  $\Delta_4 = (\Pi, \text{ΚΖ}, \text{ΚΕ}, \text{Κ})$  με συνολική ενέργεια  $\alpha = 5$  και  $\beta = 6$ .

Για κάθε εναλλακτική διαδρομή παρατηρούμε τα εξής:

- **Διαδρομή βάσει μέγιστης εναπομείνουσας ενέργειας.** Προτιμάται η διαδρομή με τη μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια ( $\alpha$ ). Η συνολική ενέργεια υπολογίζεται από το άθροισμα των ενεργειών  $a_i$  κάθε κόμβου  $K_i$  κατά μήκος της διαδρομής. Όταν μέρος μιας διαδρομής αποτελεί μια άλλη διαφορετική διαδρομή (π.χ., στο παράδειγμά μας, η Διαδρομή  $\Delta_2$  περιλαμβάνει τη Διαδρομή  $\Delta_1$ ), τότε αυτή απορρίπτεται και προτιμάται η αμέσως επόμενη. Συνεπώς, στο παράδειγμά μας η Διαδρομή  $\Delta_2$  (με  $\alpha = 6$ ) απορρίπτεται και επιλέγεται η Διαδρομή  $\Delta_4$  (με  $\alpha = 5$ ).
- **Διαδρομή ελάχιστης ενέργειας.** Αναφέρεται στη διαδρομή κατά την οποία απαιτείται η ελάχιστη ενέργεια αποστολής/λήψης δεδομένων μεταξύ κόμβων, προκειμένου να αποσταλούν τα δεδομένα από την πηγή στην καταβόθρα. Στο παράδειγμά μας αναφερόμαστε στη Διαδρομή  $\Delta_1$  με  $\beta = 3$ .
- **Διαδρομή των ελάχιστων αλμάτων.** Αναφέρεται στη διαδρομή με τον ελάχιστο αριθμό αλμάτων. Στο παράδειγμά μας αναφερόμαστε στη Διαδρομή  $\Delta_3$  με  $|\Delta_3| = 3$ . Δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι του ΑΔΑ εκπέμπουν με την ίδια ενέργεια, τότε η διαδρομή αυτή είναι ίδια με τη διαδρομή ελάχιστης ενέργειας.
- **Διαδρομή μέγιστης-ελάχιστης εναπομείνουσας ενέργειας.** Αναφέρεται η διαδρομή  $\Delta$  της οποίας η ελάχιστη ενέργεια  $\alpha_\Delta$  από όλους τους κόμβους της διαδρομής  $\Delta$  είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ενέργεια  $\alpha^*$  των κόμβων από όλες τις άλλες διαδρομές. Στο παράδειγμά μας,  $\alpha_{\Delta_3} = \min\{\alpha_{\text{ΚΔ}}\} = 3$ ,  $\alpha_{\Delta_1} = \min\{\alpha_{\text{ΚΑ}}, \alpha_{\text{ΚΒ}}\} = 2$ ,  $\alpha_{\Delta_2} = \min\{\alpha_{\text{ΚΑ}}, \alpha_{\text{ΚΒ}}, \alpha_{\text{ΚΓ}}\} = 2$ ,  $\alpha_{\Delta_4} = \min\{\alpha_{\text{ΚΕ}}, \alpha_{\text{ΚΖ}}\} = 1$  και  $\alpha^* = \min\{\alpha_{\Delta_1}, \alpha_{\Delta_2}, \alpha_{\Delta_4}\} = 1$ , έτσι η διαδρομή είναι η  $\Delta_3$ , αφού  $\alpha_{\Delta_3} > \alpha^*$ . Με αυτό τον τρόπο επιλογής αποκλείεται να επιλεγεί κάποια διαδρομή της οποίας οι κόμβοι μπορεί να έχουν χαμηλότερη ενέργεια  $\alpha$  από ό,τι σε άλλες διαδρομές.



Μπορούμε να ταξινομήσουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε ΑΔΑ ανάλογα με τον τύπο δρομολόγησης και το βαθμό συμμετοχής των κόμβων στη δρομολόγηση.

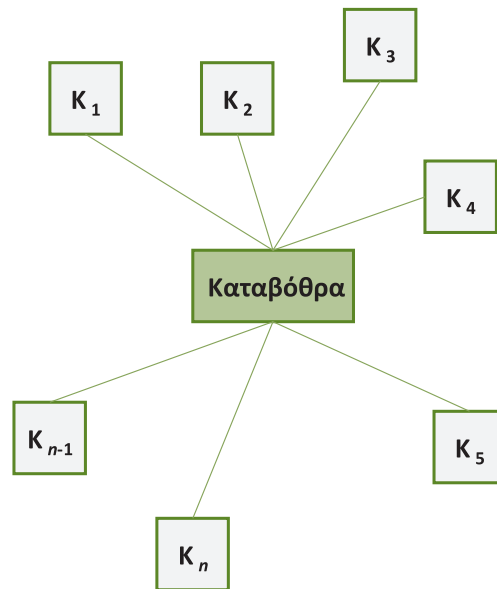
### **Ανάλογα με τον τύπο δρομολόγησης**

- *Προδραστική δρομολόγηση (Proactive Routing):* Το επίπεδο δικτύου ανανεώνει όλες τις διαδρομές περιοδικά, ώστε να παρέχεται ενημερωμένη τοπολογία του δικτύου και των καλύτερων/αποτελεσματικότερων διαδρομών.
- *Αντιδραστική δρομολόγηση (Reactive Routing):* Το ΑΔΑ ανακαλύπτει τη ζητούμενη αποτελεσματική διαδρομή μόνο όταν απαιτείται. Με τον τρόπο αυτό δε δημιουργείται επιπλέον κίνηση όταν αλλάζει το δίκτυο, π.χ., όταν εισάγονται νέοι κόμβοι στο ΑΔΑ.

Όταν έχουμε επικοινωνία μεταξύ λίγων κόμβων και σε μη τακτά διαστήματα, η αντιδραστική δρομολόγηση είναι προτιμότερη της προδραστικής. Αντίθετα, όταν έχουμε συχνή επικοινωνία με υψηλούς ρυθμούς και με όλους τους κόμβους, προτιμάται η προδραστική δρομολόγηση.

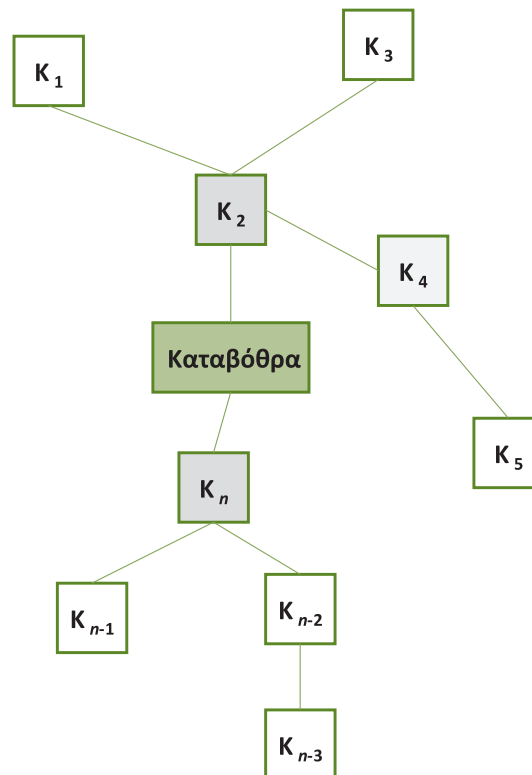
### **Ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής των κόμβων**

- *Δρομολόγηση άμεσης επικοινωνίας:* Κατά τη δρομολόγηση άμεσης επικοινωνίας, κάθε κόμβος στέλνει τα δεδομένα του κατευθείαν στην καταβόθρα. Φανταστείτε ένα δίκτυο ΑΔΑ τύπου αστέρα, όπου στο κέντρο βρίσκεται η καταβόθρα και οι κόμβοι επικοινωνούν μόνο μαζί της για αποστολή δεδομένων (βλ. Σχήμα 3.7 στην επόμενη σελίδα). Φυσικά, οι απαιτήσεις σε ενέργεια αυξάνουν με την έκταση (αριθμό κόμβων) του ΑΔΑ.
- *Επίπεδη δρομολόγηση:* Η επίπεδη δρομολόγηση απαιτείται για μετάδοση/διάχυση/εξάπλωση ληφθείσας πληροφορίας από έναν ή περισσότερους κόμβους σε πολλούς κόμβους ή σε όλο το ΑΔΑ συμπεριλαμβανομένης της καταβόθρας. Οι κόμβοι κοντά στην καταβόθρα έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε ενέργεια από τους πιο απομακρυσμένους κόμβους (από την καταβόθρα), αφού διακινούν όλη την πληροφορία μεταξύ του ΑΔΑ και της καταβόθρας (βλ. Σχήμα 3.8 στην επόμενη σελίδα).



**Σχήμα 3.7**

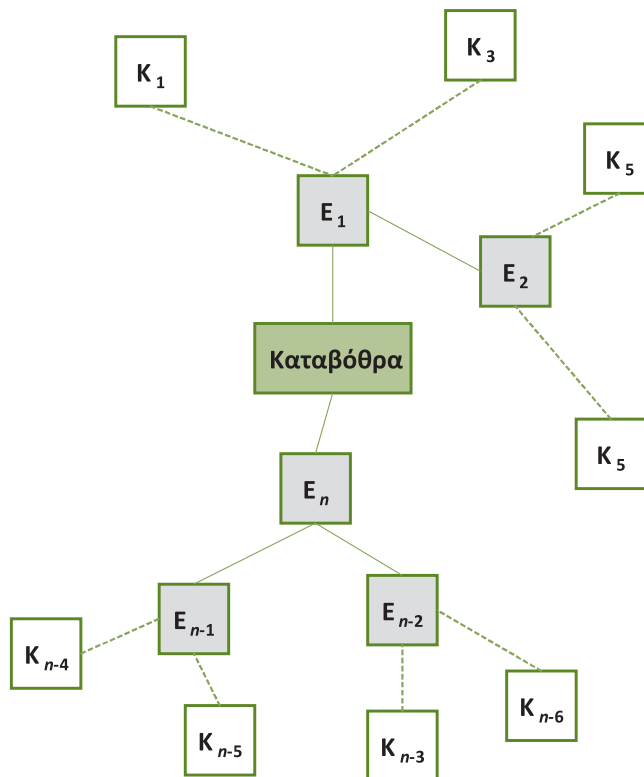
*ΑΔΑ με δρομολόγηση άμεσης επικοινωνίας*



**Σχήμα 3.8**

*ΑΔΑ επίπεδης δρομολόγησης*

- *Δρομολόγηση βάσει ομάδας:* Στη δρομολόγηση αυτή, κάποιοι κόμβοι (επικεφαλής) είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων από τους γειτονικούς τους κόμβους (μέλη), καθώς και για την τοπική επεξεργασία τους. Για παράδειγμα, ένας επικεφαλής κόμβος μπορεί να εφαρμόσει αλγορίθμους σύντηξης δεδομένων και να μειώσει το μέγεθός τους (π.χ. μέση τιμή των ληφθεισών τιμών από τους κόμβους-μέλη της ομάδας). Με τον τρόπο αυτό η δρομολόγηση των επεξεργασμένων δεδομένων γίνεται μεταξύ των επικεφαλής των ομάδων μέχρι την καταβόθρα. Οι κόμβοι-μέλη χρειάζεται να αποθηκεύουν πληροφορία μόνο για τον επικεφαλής της ομάδας στην οποία ανήκουν. Το Σχήμα 3.9 απεικονίζει ένα ΑΔΑ με δρομολόγηση βάσει ομάδας.



**Σχήμα 3.9**

*ΑΔΑ με δρομολόγηση βάσει ομάδας*

### 3.4 Διάχυση πληροφορίας σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε ΑΔΑ ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο **διάχυσης δεδομένων** (ροή δεδομένων) μεταξύ κόμβων και την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας σε:

- δεδομενοκεντρικά και
- ιεραρχικά.

Τα δεδομενοκεντρικά πρωτόκολλα βασίζονται σε ερωτήματα (παρόμοια με αυτά σε μια βάση δεδομένων) και εξαρτώνται από την ονομασία επιθυμητών δεδομένων, κάτι το οποίο βοηθά να εξαιρεθούν οι πλεονάζουσες εκπομπές. Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα στοχεύουν στην ομαδοποίηση των κόμβων, έτσι ώστε οι επικεφαλής κόμβοι των ομάδων να εκτελούν κάποιο συγκερασμό/αλγόριθμο σύντηξης και μείωση των δεδομένων προς εκπομπή με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

#### 3.4.1 Δεδομενοκεντρική δρομολόγηση

Η καταβόθρα στέλνει ερωτήματα σε συγκεκριμένες περιοχές του ΑΔΑ και περιμένει τα δεδομένα από τους κόμβους που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές. Αφού τα δεδομένα ζητούνται μέσω ερωτημάτων, είναι απαραίτητο να υπάρχει ονοματοδοσία βασισμένη σε χαρακτηριστικά, προκειμένου να καθοριστούν λεπτομερώς οι ιδιότητες των δεδομένων (Anagnostopoulos, Hadjiefthymiades & Zervas, 2011).

Αντιπροσωπευτικά πρωτόκολλα της κατηγορίας αυτής είναι:

- η διάχυση πληροφορίας βάσει **πλημμύρας** (Flooding),
- η διάχυση πληροφορίας βάσει **φημολογίας** (Gossiping),
- η διάχυση πληροφορίας βάσει **επιδημίας** (Epidemic).

#### Σχήμα διάχυσης πληροφορίας βάσει πλημμύρας

Η διάχυση πληροφορίας βάσει πλημμύρας έχει ως εξής: Ένας κόμβος Π θέλει να στείλει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ. Έστω ότι ο κόμβος αυτός ονομάζεται κόμβος-πηγή. Για να επιτευχθεί όμως αυτό, η

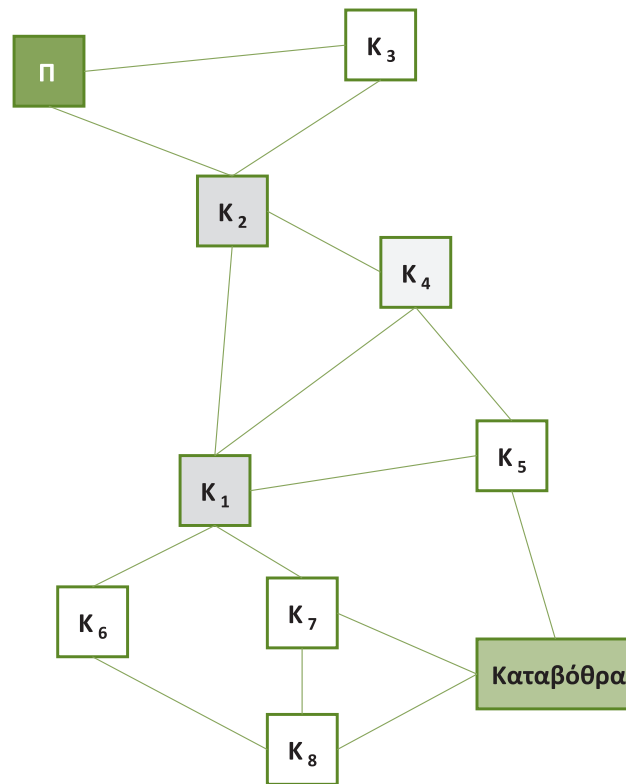
πηγή μπορεί να στείλει το μήνυμά της μόνο στους γειτονικούς της κόμβους, δηλαδή σε αυτούς που βρίσκονται στην ακτίνα εκπομπής της. Οι γειτονικοί κόμβοι με τη σειρά τους στέλνουν το αντίγραφο του μηνύματος στους δικούς τους γειτονικούς κόμβους κ.λπ. Έτσι, το μήνυμα διαχέεται σε όλο το ΑΔΑ. Το σχήμα διάχυσης πλημμύρας είναι απλό στην υλοποίησή του (κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα απλώς το προωθεί στους γείτονές του). Όμως, το βασικό μειονέκτημα είναι ότι παρατηρείται τεράστια συγκέντρωση από αντίγραφα μηνυμάτων που στέλνονται από τον ίδιο κόμβο. Επίσης, υπάρχει επικάλυψη όταν δύο ή περισσότεροι κόμβοι-πηγές που ανιχνεύουν το ίδιο γεγονός στέλνουν παρόμοια πακέτα πληροφορίας στους ίδιους γείτονες.

#### Παράδειγμα 3.4

Έστω το ΑΔΑ που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10 της επόμενης σελίδας. Η πηγή εκπέμπει ένα μήνυμα στους γειτονικούς της κόμβους  $K_2$  και  $K_3$ . Οι κόμβοι αυτοί με τη σειρά τους εκπέμπουν το ίδιο μήνυμα (αντίγραφο) στους γειτονικούς τους κόμβους: ο κόμβος  $K_3$  στους  $\Pi$  και  $K_2$ , και ο κόμβος  $K_2$  στους  $\Pi$ ,  $K_3$ ,  $K_1$ ,  $K_4$ . Εν συνεχεία, ο  $K_4$  στέλνει το ίδιο αντίγραφο στους  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ , και ο  $K_1$  στους  $K_2$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $K_6$ ,  $K_7$ . Η διαδικασία συνεχίζεται, μέχρι όλοι οι κόμβοι να λάβουν το ίδιο αντίγραφο από την πηγή.

#### Παράδειγμα 3.5

Έστω το ΑΔΑ που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10 της επόμενης σελίδας. Η πηγή θέλει να στείλει ένα μήνυμα σε όλο το ΑΔΑ. Κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα (αντίγραφο) μπορεί να το στείλει στους γείτονές του μόνο μία φορά. Αυτό σημαίνει ότι, όταν ένας κόμβος λάβει πρώτη φορά το μήνυμα, τότε στέλνει αντίγραφο του μηνύματος στους γείτονές του μόνο μία φορά. Την επόμενη φορά που ο ίδιος κόμβος θα λάβει από τους γείτονές του το ίδιο αντίγραφο, τότε δεν το στέλνει στους γείτονές του. Στο ΑΔΑ στο Σχήμα 3.10 ο κόμβος  $K_3$  θα στείλει μόνο μία φορά το μήνυμα στον κόμβο  $K_2$  και στην πηγή  $\Pi$ , την πρώτη φορά που θα λάβει το μήνυμα από την πηγή. Έπειτα, ο  $K_3$  θα λάβει το ίδιο αντίγραφο από τον κόμβο  $K_2$  αλλά και από την πηγή, όμως δε θα το εκπέμψει πάλι, μειώνοντας έτσι τα περιττά μηνύματα στη γειτονιά του.



**Σχήμα 3.10**

*Σχήμα διάχυσης πληροφορίας βάσει πλημμύρας*

Παρατηρούμε από τα Παραδείγματα 3.4 και 3.5 ότι κάθε κόμβος, είτε στέλνει ένα μήνυμα είτε όχι, μπορεί να λάβει το ίδιο μήνυμα παραπάνω από μία φορά από κάποιο γείτονά του. Αυτό έχει συνέπεια μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για τη διάχυση μόνο ενός μηνύματος λόγω των πολλαπλών αντιγράφων των μηνυμάτων που λαμβάνονται από κάθε κόμβο. Βέβαια, με βάση το σχήμα αυτό, το μήνυμα θα διαχυθεί με βεβαιότητα σε όλο το ΑΔΑ αλλά με τεράστια κατανάλωση ενέργειας. Η βεβαιότητα ότι το μήνυμα θα παραδοθεί σε όλους τους κόμβους του ΑΔΑ αναφέρεται ως αξιοπιστία του σχήματος διάχυσης. Τα πρωτόκολλα που βασίζονται σε σχήματα πλημμύρας χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας, καταναλώνοντας όμως μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να το πετύχουν.

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.4

Να καταγράψετε σε ψευδογλώσσα τον αλγόριθμο πλημμύρας που εκτελείται σε έναν κόμβο, όταν μπορεί να εκπέμψει ένα αντίγραφο μηνύματος λαμβάνοντάς το  $\nu$  φορές,  $\nu > 0$ .

*Βαθμός δυσκολίας: Δύσκολη.*

### Δραστηριότητα 3.1

Σκεφτείτε μια **παραλλαγή** του σχήματος πλημμύρας κατά το οποίο ένας κόμβος ΚΑ δεν αποστέλλει ένα μήνυμα δεδομένων μεγέθους  $M$  Kb σε ένα γείτονά του ΚΒ, όταν ο τελευταίος έχει ήδη λάβει το μήνυμα αυτό. Υποθέστε ότι οι κόμβοι μπορούν να στείλουν μικρά (σε μέγεθος  $N$  byte) μηνύματα σηματοδοσίας μεταξύ τους, ώστε να ανταλλάσσουν πληροφορία χρήσιμη για αποστολή και λήψη μηνυμάτων δεδομένων (μεγέθους  $M$  Kb). Πότε μας συμφέρει η τεχνική αυτή;

*Σημείωση:*  $N \ll M$ .

*Ενδεικτικός χρόνος εκπόνησης:* 35 λεπτά.

*Στόχος:* Θα μπορούσατε να απεικονίσετε σε ψευδογλώσσα έναν κατανεμημένο αλγόριθμο (πλημμύρας) που εστιάζεται στην παραλληλία εντολών μεταξύ κόμβων ΑΔΑ.

### Δραστηριότητα 3.2

Έστω το ΑΔΑ που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10. Υποθέστε ότι η πηγή Π θέλει να στείλει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ και υιοθετεί το σχήμα πλημμύρας. Επίσης, θεωρήστε ότι κάθε κόμβος μπορεί να στείλει το πολύ μία φορά το αντίγραφο ενός μηνύματος. Τα υπόλοιπα αντίγραφα δε λαμβάνονται υπόψη από τον κόμβο. Έστω ότι και η πηγή εκπέμπει μόνο μία φορά το αρχικό της μήνυμα. **Υπολογίστε τον αριθμό μηνυμάτων** (αντιγράφων) τα οποία εκπέμπονται από το υποδίκτυο που σχηματίζεται από τους κόμβους Π,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_1$  και  $K_5$ .

*Ενδεικτικός χρόνος εκπόνησης:* 25 λεπτά.

*Στόχος:* Θα αντιληφθείτε τη σημαντικότητα της αποστολής δεδομένων και μεταδεδομένων σε έναν κατανεμημένο αλγόριθμο (πλημμύρας κόμβου) και θα εντοπίσετε έναν τρόπο υπολογισμού δεδομένων που αποστέλλονται σε ένα ΑΔΑ μέσω του αλγορίθμου πλημμύρας.

### Σχήμα διάχυσης πληροφορίας βάσει φημολογίας

Το σχήμα διάδοσης «φημολογία» είναι μια τροποποιημένη έκδοση της πλημμύρας, όπου οι κόμβοι δεν εκπέμπουν ένα μήνυμα, αλλά το στέλνουν σε έναν τυχαία επιλεγμένο γείτονα. Έτσι, αποφεύγεται το πρόβλημα εμφάνισης πολλαπλών αντιγράφων στο ΑΔΑ, όμως ένα μήνυμα χρειάζεται πολύ χρόνο για να διαδοθεί σε όλο το δίκτυο. Αν και το σχήμα αυτό έχει αισθητά υψηλότερο ενεργειακό όφελος από την πλημμύρα, δεν υπάρχει εγγύηση ότι όλοι οι κόμβοι του ΑΔΑ θα λάβουν το μήνυμα. Βασίζεται στην τυχαία επιλογή ενός γείτονα για να διαδώσει τελικά το μήνυμα σε όλο το ΑΔΑ.

Η διάχυση πληροφορίας βάσει φημολογίας έχει ως εξής: Ένας κόμβος-πηγή  $\Pi$  θέλει να στείλει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ. Έστω το σύνολο των γειτονικών κόμβων  $\Gamma(K)$  ενός κόμβου  $K$ , δηλαδή οι κόμβοι του ΑΔΑ που βρίσκονται σε τέτοια απόσταση από τον κόμβο  $K$ , ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν και να ανταλλάξουν δεδομένα. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.9 οι γειτονικοί κόμβοι του  $K_2$  είναι  $\Gamma(K_2) = \{\Pi, K_3, K_4, K_1\}$  και του  $\Pi$  είναι  $\Gamma(\Pi) = \{K_3, K_2\}$ . Ο κόμβος  $\Pi$  μπορεί να στείλει ένα μήνυμα κάθε φορά σε ένα μόνο από τους γείτονές του. Συγκεκριμένα, ο κόμβος  $\Pi$  επιλέγει τυχαία έναν από τους γείτονές του από το  $\Gamma(\Pi)$  σύνολο και στέλνει το μήνυμά του. Ο κόμβος που έλαβε το μήνυμα, έστω κόμβος  $K$ , εκτελεί την ίδια διαδικασία με τους δικούς του γείτονες  $\Gamma(K)$ . Φυσικά κρίνεται αναγκαίο κάθε κόμβος να έχει συγκεκριμένο αριθμό μεταδόσεων μηνυμάτων. Αυτό επαφίεται στην εκάστοτε εφαρμογή. Η επιλογή ενός γειτονικού κόμβου του συνόλου  $\Gamma(\Pi)$  από τον κόμβο  $\Pi$  γίνεται με πιθανότητα  $1/|\Gamma(\Pi)|$ , όπου  $|\Gamma(\Pi)|$  είναι το πλήθος των κόμβων στο σύνολο  $\Gamma(\Pi)$ .

Η διάχυση πληροφορίας βάσει φημολογίας εστιάζεται σε μικρότερο αριθμό πολλαπλών αντιγράφων σε σχέση με τη διάχυση πληροφορίας βάσει πλημμύρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία ένα μόνο γείτονά του για να μεταδώσει το μήνυμά του και όχι όλους τους γείτονες.



Αυτό φυσικά έχει αποτέλεσμα τη μείωση της «ταχύτητας» διάδοσης του μηνύματος σε όλο το ΑΔΑ σε σχέση με την τεχνική της πλημμύρας, αλλά υπάρχουν περισσότερα ενεργειακά οφέλη.

### Παράδειγμα 3.6

Έστω το ΑΔΑ που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10. Η πηγή εκπέμπει ένα μήνυμα βάσει τεχνικής φημολογίας σε έναν από τους γειτονικούς της κόμβους  $\Gamma(\Pi)$ , έστω τον κόμβο  $K_2$ . Σημειώστε ότι οι κόμβοι  $K_2$  και  $K_3$  έχουν ίση πιθανότητα ( $= 0,5$ ) να λάβουν το μήνυμα από την πηγή  $\Pi$ . Ο κόμβος  $K_2$ , με τη σειρά του, εκπέμπει το ίδιο μήνυμα (αντίγραφο) σε έναν από τους γειτονικούς του κόμβους  $\Gamma(K_2) = \{\Pi, K_3, K_4, K_1\}$  με ίση πιθανότητα καθένας ( $= 0,25$ ). Έστω ότι επιλέγεται ο κόμβος  $K_1$ . Εν συνεχεία, ο  $K_1$  στέλνει το ίδιο αντίγραφο σε έναν από τους  $\Gamma(K_1) = \{K_2, K_4, K_5, K_6, K_7\}$ . Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι όλοι οι κόμβοι να λάβουν το ίδιο αντίγραφο από την πηγή. Φυσικά είναι πιθανόν ένας κόμβος  $K$  να λάβει πάλι το ίδιο αντίγραφο από ένα γείτονά του από το σύνολο  $\Gamma(K)$ , εφόσον ο κόμβος  $K$  επιλεγεί ως παραλήπτης.

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.5

Να καταγράψετε σε ψευδογλώσσα τον αλγόριθμο φημολογίας που εκτελείται σε έναν κόμβο, όταν μπορεί να εκπέμψει ένα αντίγραφο μηνύματος μόνο μία φορά.

*Βαθμός δυσκολίας: Μέτρια.*

### Δραστηριότητα 3.3

Ας σκεφτούμε μια **παραλλαγή** του σχήματος φημολογίας, κατά την οποία ένας κόμβος  $\Pi$  στέλνει σε έναν τυχαίο γείτονά του  $K$  από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$  το αντίγραφο ενός μηνύματος μέχρι  $\nu$  φορές, όπου  $\nu > 0$ . Όταν ο γείτονάς του  $K$  έχει λάβει το μήνυμα από τον κόμβο  $\Pi$   $\nu$  φορές, τότε ο κόμβος  $K$  δεν είναι πλέον υποψήφιος κόμβος προς αποστολή· έτσι αφαιρείται η εγγραφή του από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$ . Ο κόμβος  $\Pi$  τερματίζει την αποστολή αντιγράφων, όταν το σύνολο των γειτονικών του κόμβων  $\Gamma(\Pi)$  γίνει το κενό σύνολο. Πώς μπορούμε να σχεδιάσουμε τον αλγόριθμο αυτό; Πόσα είναι τα συνολικά μηνύματα που θα εκπέμψει ο κόμβος  $\Pi$ ;

*Ενδεικτικός χρόνος εκπόνησης: 20 λεπτά.*

*Στόχος: Θα μπορέσετε να απεικονίσετε σε ψευδογλώσσα έναν κατανεμημένο αλγόριθμο (φημολογίας κόμβου) που σχετίζεται με την παραλληλία εντολών μεταξύ κόμβων ΑΔΑ.*

### **Σχήμα διάχυσης πληροφορίας βάσει επιδημίας**

Το επιδημικό σχήμα διάχυσης πληροφορίας σε ένα ΑΔΑ αποτελεί βασικό μηχανισμό στοχαστικής μετάδοσης πληροφορίας πλαισίου. Μπορούμε να συλλογιστούμε την αναλογία μεταξύ της διάδοσης του πλαισίου και της επιδημίας ενός ιού: και οι δύο είναι διαδικασίες κατά τις οποίες μεταδίδεται «κάτι». Μπορεί να υπαινιχθεί κάποιος ότι η στοχαστική φύση του επιδημικού σχήματος δεν εγγυάται την πλήρη κάλυψη του χώρου (το ποσοστό των κόμβων) με πληροφορία πλαισίου. Παρ' όλα αυτά, η επιδημική διάδοση πληροφορίας επιτυγχάνει ικανοποιητική κάλυψη του χώρου ακόμα και με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης (δηλαδή υπάρχει πιθανότητα διάδοσης ενός μηνύματος μεταξύ δύο κόμβων).

Το επιδημικό μοντέλο υποθέτει ότι τα άτομα μεταβαίνουν σε διάφορες καταστάσεις μέσα από συγκεκριμένους ρυθμούς μετάβασης. Στο SIS (Susceptible – Infected – Susceptible) μοντέλο, κάποια άτομα έχουν μολυνθεί από μια επιδημία και μπορεί να μολύνουν τα υπόλοιπα ευπαθή άτομα μιας ομάδας. Έπειτα από τυχαίο χρονικό διάστημα, τα μολυσμένα άτομα μπορούν να επουλωθούν και να επανέλθουν στην κατάσταση Susceptible. Στην κατάσταση αυτή μπορούν να μολυνθούν ξανά· έτσι, στο διηνεκές, όλα τα άτομα μεταβαίνουν με μια δυναμική ισορροπία μεταξύ των καταστάσεων Susceptible – Infected. Το μεταδιδόμενο μήνυμα ομοιάζει με μία «επιδημία», με την έννοια ότι ένας κόμβος που κομίζει πληροφορία πλαισίου καλείται «μολυσμένος», αλλιώς καλείται «εύτρωτος» ή «επιρρεπής» κόμβος. Ένας μολυσμένος κόμβος υποδηλώνει ότι μπορεί στοχαστικά να μεταδώσει το μήνυμά του (αντίγραφο) στους γειτονικούς του κόμβους. Όταν ένας κόμβος φέρει μήνυμα το οποίο μπορεί να είναι άκυρο ή απαρχαιωμένο, τότε μεταβαίνει στην κατάσταση «εύτρωτος»· μπορεί όμως να μολυνθεί ξανά κάποια άλλη στιγμή (Boguñá, Pastor-Satorras & Vespignani, 2003· Akdere et al., 2006· Mickens & Noble, 2005· Khelil, Becker, Tian & Rothermel, 2002).

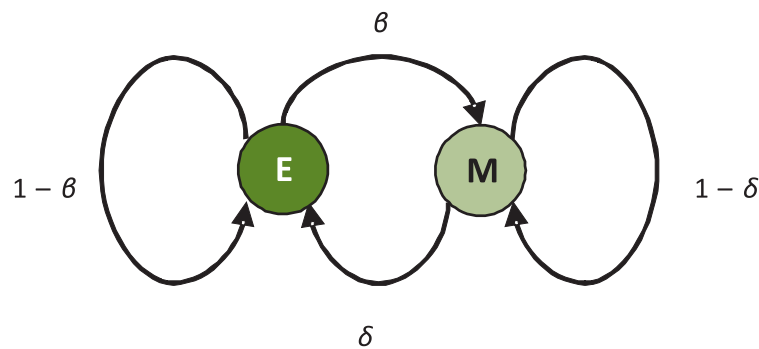
Το επιδημικό σχήμα υιοθετεί ένα απλό πλαίσιο δρομολόγησης πληροφορίας στο ΑΔΑ, όπου η διάδοση εξελίσσεται σε τοπική βάση και δεν απαιτείται συγκεκριμένος κεντρικός έλεγχος ή πολύπλοκα σχήματα διάδοσης/δρομολόγησης. Το επιδημικό μοντέλο δεν απαιτεί εγγυημένη συνεκτικότητα μεταξύ των κόμβων και, συγκρινόμενο με το σχήμα πλημμύρας, εγγυάται αποδοτικότητα και βασίζεται σε ποιοτικά κριτήρια μετάδοσης πλαισίου, όπως είναι ο χρόνος εγκυρότητας, η επιδημική επιδείνωση και η μετάλλαξη του ιού. Επίσης, το επιδημικό σχήμα είναι ευέλικτο στις ξαφνικές αποτυχίες ανίχνευσης πληροφορίας των κόμβων ή στις αποσυνδέσεις της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Η απόδοση του μοντέλου αυτού (δηλαδή ο βαθμός αξιοπιστίας) επηρεάζεται πολύ από τη συνεκτικότητα των κόμβων (τη δικτυακή τοπολογία του δικτύου, π.χ., ομογενή δίκτυα). Το επιδημικό σχήμα παρουσιάζει αξιοπιστία σε ομογενή δίκτυα. Αντίθετα σε «scale-free» δίκτυα η επιδημική διάδοση πληροφορίας παρουσιάζει περισσότερη αποδοτικότητα σε σχέση με τον παραγόμενο φόρτο δικτύου (Tennert, Hall, Brown, Chalmers & Sherwood, 2005).

Η διάχυση πληροφορίας βάσει επιδημικής διάχυσης έχει ως εξής: Ένας κόμβος  $\Pi$  θέλει να στείλει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ. Η πολιτική του κόμβου  $\Pi$  είναι να στέλνει ένα αντίγραφο του μηνύματος στους γειτονικούς του κόμβους με πιθανότητα  $\beta$ ,  $0 < \beta < 1$ , σε καθέναν. Στο επιδημικό σχήμα αυτή καλείται «πιθανότητα μόλυνσης». Εν συνεχεία, όποιος κόμβος έχει λάβει το αντίγραφο μηνύματος εκτελεί με τον ίδιο τρόπο τη διάδοσή του, δηλαδή αποστέλλει το αντίγραφο μηνύματος στους γειτονικούς κόμβους του με πιθανότητα  $\beta$ . Όταν ένας κόμβος λάβει αντίγραφο μηνύματος, τότε καλείται «**μολυσμένος**», οπότε μπορεί να μολύνει τους γείτονές του με το στοχαστικό τρόπο που αναφέρουμε. Ένας κόμβος που έχει ήδη λάβει ένα αντίγραφο μηνύματος, μολυσμένος δηλαδή, επιλέγει έναν αριθμό στο διάστημα  $[0, 1]$ . Εάν ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος του ρυθμού ίασης  $\delta$ ,  $0 < \delta < 1$ , τότε ο κόμβος αυτός «επουλώνεται» και δεν μπορεί να στείλει το αντίγραφο του μηνύματος στους γείτονές του μέχρι να λάβει κάποιο άλλο αργότερα. Αυτός ο κόμβος καλείται «**εύρωτος**». Ο αριθμός  $\delta$  αναφέρεται ως πιθανότητα ίασης. Έτσι, οι κόμβοι στο ΑΔΑ μεταβαίνουν μεταξύ δύο καταστάσεων:

1. Κατάσταση *μόλυνσης*, στην οποία μπορούν να μολύνουν/μεταδώσουν ένα αντίγραφο μηνύματος στους γείτονές τους.

2. Κατάσταση *ίασης*, στην οποία δεν μπορούν να μεταδώσουν ένα αντίγραφο μηνύματος στους γείτονές τους.

Το Σχήμα 3.11 απεικονίζει τις μεταβάσεις καταστάσεων από  $E$  (εύρωτος) σε  $M$  (μολυσμένος) με ρυθμούς μόλυνσης  $\beta$  και ίασης  $\delta$ .



**Σχήμα 3.11**

Μεταβάσεις καταστάσεων ενός κόμβου  $AΔA$ ,  $E$  (εύρωτος) και  $M$  (μολυσμένος), στο επιδημικό σχήμα διάχυσης

Αξίζει να σημειωθεί ότι, εάν η πιθανότητα μόλυνσης  $\beta$  είναι μονάδα και η πιθανότητα ίασης είναι μηδέν, δηλαδή ένας κόμβος στέλνει συνέχεια αντίγραφα μηνυμάτων στους γείτονές του, τότε το επιδημικό σχήμα εκφυλίζεται στο σχήμα πλημμύρας. Οι πιθανότητες  $\beta$  και  $\gamma$  καθορίζουν το ρυθμό με τον οποίο μολύνεται το  $AΔA$  με το αντίγραφο ενός μηνύματος. Προφανώς, εάν ο ρυθμός ίασης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό μόλυνσης, τότε το ποσοστό των κόμβων που θα λάβουν το μήνυμα στο  $AΔA$  θα είναι πολύ μικρό (Anagnostopoulos & Hadjiefthymiades, 2008· Zesheng & Chuanyi, 2005). Συγκεκριμένα:

- Στην περίπτωση που  $\beta > \delta$ , τότε ο ρυθμός μόλυνσης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό ίασης, οπότε μεγαλύτερο ποσοστό κόμβων θα είναι μολυσμένοι. Η περίπτωση αυτή, δηλαδή όταν  $\beta > \delta$ , καλείται πανδημία λόγω του σχετικά μεγάλου αριθμού μολυσμένων κόμβων με πληροφορία.
- Η περίπτωση που  $\beta \leq \delta$  καλείται ενδημία, αφού πολύ μικρό ποσοστό κόμβων, μπορεί και μηδενικό όταν  $\beta \ll \delta$ , έχει μολυνθεί κατά την κατάσταση της δυναμικής ισορροπίας.

Σημειώστε ότι ένας κόμβος που είναι ήδη μολυσμένος μπορεί να λάβει ένα αντίγραφο μηνύματος από κάποιο γείτονά του, αφού ο τελευταίος δε γνω-

ρίζει εάν ο κόμβος που θα λάβει το μήνυμα είναι μολυσμένος ή όχι. Στην περίπτωση αυτή έχουμε επιπλέον (επιβάρυνση) επικοινωνία, άρα άσκοπη κατανάλωση ενέργειας. Όμως, εφόσον η μόλυνση γίνεται με στοχαστικό τρόπο, δηλαδή με ρυθμό  $\beta < 1$ , τότε, στατιστικά, η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που καταναλώνεται στην περίπτωση της πλημμύρας.

Έστω ένα ΑΔΑ με  $N$  κόμβους, όπου  $M_t$  είναι ο αριθμός των μολυσμένων κόμβων και  $N - M_t$  ο αριθμός των εύρωτων κόμβων. Τότε η διαφορική εξίσωση που διέπει τον τρόπο μετάδοσης ενός μηνύματος με ρυθμό μόλυνσης  $\beta$  και ίασης  $\delta$  είναι η ακόλουθη:

$$\frac{d}{dt} I(t) = \beta I(t)(1 - I(t)) - \delta I(t) \quad (3.3)$$

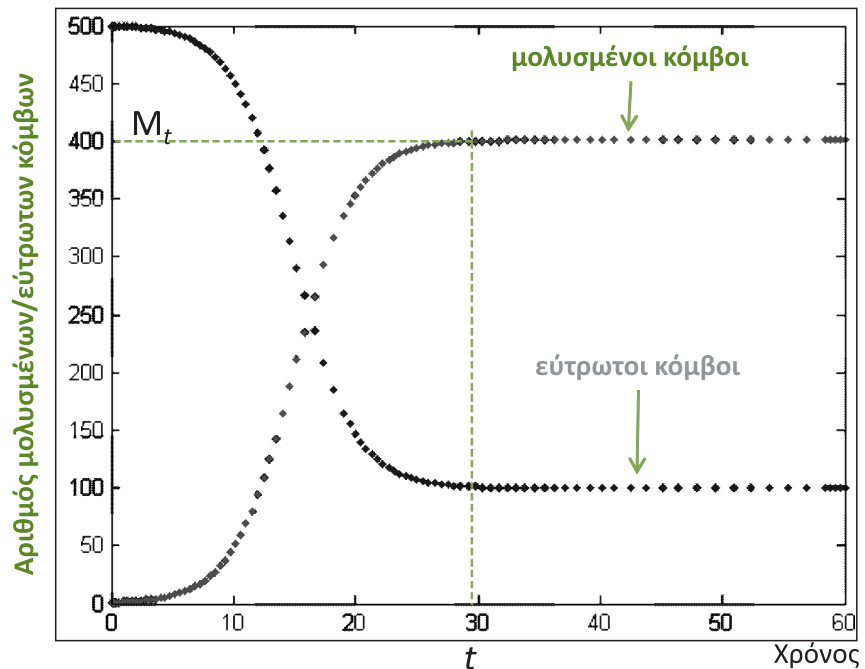
και αναφέρεται στο ποσοστό των κόμβων  $I(t) = M_t/N$  που είναι μολυσμένοι κάθε χρονική στιγμή  $t$ . Η λύση της εξίσωσης είναι:

$$I(t) = \frac{I(0) \left(1 - \frac{\delta}{\beta}\right)}{I(0) + \left(1 - \frac{\delta}{\beta} I(0)\right) e^{-(\beta - \delta)t}} \quad (3.4)$$

όπου  $I(0) = M_0/N$  και  $M_0$  είναι το αρχικό ποσό μολυσμένων κόμβων στο ΑΔΑ.

### Παράδειγμα 3.7

Έστω ένα ΑΔΑ με  $N = 500$  κόμβους, όπου αρχικά μόνο μια πηγή θέλει να εκπέμψει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ. Η γραφική παράσταση στο Σχήμα 3.12 της επόμενης σελίδας απεικονίζει τον αριθμό των μολυσμένων κόμβων σε ένα ΑΔΑ αρχίζοντας με  $M_0 = 1$  με  $\beta = 0,5$  και  $\delta = 0,1$ . Παρατηρούμε πως από ένα σημείο  $t \approx 30$  χρονικές μονάδες και έπειτα, ο αριθμός των κόμβων που είναι μολυσμένοι,  $M_t$ , σταθεροποιείται  $M_t \approx 400$  και  $I(t) = 400/500 = 0,8$ . Όταν η πιθανότητα  $\beta$  τείνει στην πιθανότητα  $\delta$ , τότε έχουμε μόλυνση του ΑΔΑ με πιο μικρή «ταχύτητα», ενώ, όταν  $\beta < \delta$ , τότε η ποσότητα  $M_t$  τείνει στο μηδέν.



**Σχήμα 3.12**

Αριθμός μολυσμένων/εύρωτων κόμβων συναρτήσει του χρόνου σε ένα επιδημικό σχήμα με  $\beta = 0,5$  και  $\delta = 0,01$

### Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.6

Να καταγράψετε σε ψευδογλώσσα τον αλγόριθμο επιδημίας που εκτελείται σε έναν κόμβο, όταν μπορεί να εκπέμψει ένα αντίγραφο μηνύματος με ρυθμό ίασης  $\delta$  και μόλυνσης  $\beta$  σε ένα ΑΔΑ.

Βαθμός δυσκολίας: Μέτρια.

### 3.4.2 Ιεραρχική δρομολόγηση

Το LEACH (Guo & Xu, 2013) είναι ένα από τα πιο διάσημα ιεραρχικά σχήματα/πρωτόκολλα δρομολόγησης σε ΑΔΑ. Η λειτουργία του LEACH στηρίζεται στη δημιουργία ομάδων κόμβων (βλ. Σχήμα 3.8), που βασίζονται στην ένταση του λαμβανόμενου σήματος και στη χρήση των επικεφαλής των ομάδων ως δρομολογητών μεταξύ των κόμβων και της καταβόθρας (βλ. κόμβους τύπου E στο Σχήμα 3.9). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, εφόσον εκπομπή μηνυμάτων προς την καταβόθρα γίνεται

μόνο από τους επικεφαλής κόμβους  $E$  και όχι από όλους τους κόμβους. Η επεξεργασία των δεδομένων (π.χ. συγκερασμός) γίνεται στους επικεφαλής κόμβους των ομάδων.

Η λειτουργία του σχήματος LEACH έχει δύο φάσεις:

- (α) τη φάση εγκατάστασης και
- (β) τη φάση σταθερής λειτουργίας.

Κατά τη φάση εγκατάστασης επιλέγονται οι επικεφαλής των κόμβων. Προκειμένου να γίνει εξισορρόπηση της απώλειας ενέργειας μεταξύ των κόμβων, οι επικεφαλής κόμβοι αλλάζουν τυχαία στο χρόνο. Ένας κόμβος  $K$  γίνεται επικεφαλής ομάδας, αν επιλέξει τυχαία έναν αριθμό στο  $[0, 1]$  μικρότερο από την ακόλουθη τιμή κατωφλιού  $\theta(K)$ :

$$\theta(K) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, & \text{αν } K \in \Gamma \\ 0, & \text{αν } K \notin \Gamma \end{cases} \quad (3.5)$$

όπου  $p$  είναι το επιθυμητό ποσοστό των επικεφαλής των ομάδων στο ΑΔΑ, π.χ.,  $p = 0,05$  αντιστοιχεί στο 5% των κόμβων στο ΑΔΑ που είναι επικεφαλής ομάδων,  $r$  είναι ο τρέχων γύρος επιλογής και  $\Gamma$  είναι το σύνολο των κόμβων που δεν υπήρξαν επικεφαλής ομάδας τους τελευταίους  $1/p$  γύρους.

Μόλις επιλεγούν οι επικεφαλής των ομάδων, στέλνουν συγκεκριμένα μηνύματα (μήνυμα επικεφαλής) προς όλους τους κόμβους του ΑΔΑ ότι πλέον είναι επικεφαλής κόμβοι. Όταν οι κόμβοι του ΑΔΑ λαμβάνουν ένα μήνυμα επικεφαλής, αποφασίζουν για την ομάδα στην οποία θέλουν να ανήκουν βασιζόμενοι στην ένταση του σήματος του μηνύματος που έλαβαν. Κατόπιν, ειδοποιούν τον αντίστοιχο επικεφαλής ότι θα ανήκουν στην ομάδα του. Τέλος, ο επικεφαλής της ομάδας ορίζει τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία οι κόμβοι-μέλη μπορούν να στέλνουν μηνύματα, βασιζόμενος σε μια προσέγγιση TDMA.

Κατά τη διάρκεια της σταθερής φάσης, οι κόμβοι-μέλη μπορούν να εκπέμπουν μηνύματα μόνο προς τους αντίστοιχους επικεφαλής των ομάδων τους. Το σχήμα LEACH επιτυγχάνει μείωση στην κατανάλωση της ενέργειας σε σχέση με την απευθείας μετάδοση (βλ. Σχήμα 3.7 και Σχήμα 3.8). Το σχήμα LEACH χρησιμοποιεί μονοαλματική δρομολόγηση, όπου κάθε κόμβος μπορεί

να εκπέμψει κατευθείαν στον επικεφαλής της ομάδας και στην καταβόθρα. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί μειονέκτημα, διότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ΑΔΑ που εγκαθίστανται σε μεγάλες περιοχές. Ένα άλλο μειονέκτημα αποτελεί η δυναμική αλλαγή των ομάδων που επιφέρει επιπλέον κατανάλωση ενέργειας λόγω αλλαγής του επικεφαλής και της διάχυσης μηνυμάτων τύπου **μήνυμα επικεφαλής**. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μηνύματα τύπου μήνυμα επικεφαλής μπορούν να διαχέονται στο ΑΔΑ στη φάση εγκατάστασης του σχήματος LEACH μέσω του σχήματος πλημμύρας, φημολογίας ή επιδημίας.



## Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν εκτενέστατα οι έννοιες της πληροφορίας πλαισίου, του διάχυτου υπολογισμού και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (ΑΔΑ). Μέσα από την ανάλυση των δομικών στοιχείων ενός ΑΔΑ, επισημάναμε τους βασικούς παράγοντες για το σχεδιασμό του. Επίσης, αναφέρθηκαν οι βασικές τεχνικές διαχείρισης ενέργειας κόμβων σε ένα ΑΔΑ και εντοπίστηκαν τεχνικές βέλτιστης δρομολόγησης βάσει ενεργειακών αποθεμάτων των κόμβων-αισθητήρων. Εστίασαμε στη σημαντικότητα των βασικότερων αλγορίθμων διάχυσης πληροφορίας σε ένα ΑΔΑ, όπως οι αλγόριθμοι διάχυσης βάσει σχήματος πλημμύρας, φημολογίας και επιδημίας.

### Λίστα Ελέγχου Γνώσεων

Έχοντας ολοκληρώσει τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου, ελέγξτε κατά πόσο είστε σε θέση να:

- αναπτύσσετε έναν αλγόριθμο διάχυσης πληροφορίας σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων βάσει ενεργειακών περιορισμών·
- περιγράψετε την περιορέουσα κατάσταση/πληροφορία των αφηρημένων και μη υπολογιστικών αντικειμένων στο χώρο εργασίας σας, που αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία για μια εφαρμογή επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου.

## Ευρετήριο Όρων

- Πληροφορία πλαισίου: 276
- Διάχυτος υπολογισμός: 277
- Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων: 287
- Κόμβος-αισθητήρας: 288
- Καταβόθρα: 288
- Διάχυση πληροφορίας: 308
- Αλγόριθμος πλημμύρας: 308
- Αλγόριθμος φημολογίας: 312
- Αλγόριθμος επιδημικής διάχυσης δεδομένων: 314

## Γλωσσάρι

**Αλγόριθμος επιδημικής διάχυσης δεδομένων (Epidemical Based Information Dissemination):** Πρόκειται για αλγόριθμο μεταφοράς δεδομένων/μηνυμάτων σε αδόμητα δίκτυα κόμβων, όπου ο τρόπος διάδοσης των μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων μιμείται τον τρόπο εξάπλωσης ενός ιού ή μιας επιδημίας σε κάποιον πληθυσμό.

**Αλγόριθμος πλημμύρας (Flooding Algorithm):** Είναι ένας αλγόριθμος μεταφοράς δεδομένων/μηνυμάτων σε αδόμητα δίκτυα κόμβων, όπου κάθε κόμβος του δικτύου μεταδίδει το μήνυμά του στους (χωρικά) γείτονές του.

**Αλγόριθμος φημολογίας (Gossip Algorithm):** Είναι ένας αλγόριθμος μεταφοράς δεδομένων/μηνυμάτων σε αδόμητα δίκτυα κόμβων, όπου κάθε κόμβος του δικτύου μεταδίδει το μήνυμά του με πιθανότητα που εξαρτάται από το πλήθος των γειτόνων του. Συγκεκριμένα, ο τρόπος διάδοσης των μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων μιμείται τον τρόπο εξάπλωσης μιας φήμης σε ένα κοινωνικό δίκτυο.

**Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensors Network):** Είναι ένα δίκτυο από αισθητήριους κόμβους που επικοινωνούν μέσω ασύρματης ζεύξης.

**Διάχυση πληροφορίας (Information Dissemination):** Είναι η μετάδοση ενός μηνύματος/πληροφορίας σε ένα δίκτυο υπολογιστών με στόχο τη λήψη του μηνύματος αυτού από μεγάλο πλήθος υπολογιστών στο δίκτυο αυτό.

**Διάχυτος υπολογισμός (Pervasive Computing):** Είναι η γενική κλάση συστημάτων κινητού υπολογισμού που είναι ικανά να εντοπίσουν και να προσδιορίσουν το πλαίσιο των οντοτήτων οι οποίες επενεργούν στο σύστημα προκειμένου να προσαρμοστούν κατάλληλα στη συμπεριφορά αυτών των οντοτήτων.

**Καταβόθρα (Sink Node):** Είναι ο ειδικός κόμβος σε ένα δίκτυο ασύρματων κόμβων ο οποίος συγκεντρώνει όλη την πληροφορία που μεταδίδεται στο δίκτυο αυτό και την προωθεί σε ένα υπολογιστικό σύστημα για περαιτέρω επεξεργασία.

**Κόμβος-αισθητήρας (Sensor Node):** Είναι το βασικό συστατικό στοιχείο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων που λαμβάνει και μεταδίδει πληροφορία

από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, π.χ., αισθητήρας θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου.

**Πληροφορία πλαισίου (Contextual Information• Context):** Είναι οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να περιγράψει την κατάσταση μιας οντότητας. Οντότητα μπορεί να αποτελεί μια συσκευή, μια εφαρμογή ή και ένας άνθρωπος.

## Βιβλιογραφία

- Abowd, G., Dey, A., Brown, P., Davies, N., Smith, M. & Steggles, P. (1999). Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In H.-W. Gellersen (Ed.), *1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC '99), 27-29 September 1999, Karlsruhe, Germany* (pp. 304-307). London: Springer.
- Akdere, M., Cagatay, C., Gerdaneri, O., Korpeoglu, I., Ulusoy, O. & Cetintemel, U. (2006). A Comparison of Epidemic Algorithms in Wireless Sensor Networks. *Computer Communications*, Vol 29 (No 13), 2450-2557.
- Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). Wireless Sensor Networks: A Survey. *Computer Networks*, Vol 38 (No 4), 393-422.
- Anagnostopoulos, C. & Hadjiefthymiades, S. (2008). Enhancing Situation Aware Systems through Imprecise Reasoning. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol 7 (No 10), 1153-1168.
- Anagnostopoulos, C. & Hadjiefthymiades, S. (2008). On the Application of Epidemical Spreading in Collaborative Context Aware Computing. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol 12 (No 4), 43-55.
- Anagnostopoulos, C. & Hadjiefthymiades, S. (2009). Advanced Inference in Situation Aware Computing. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol 39 (No 5), 1108-1116.
- Anagnostopoulos, C., Hadjiefthymiades, S. & Zervas, E. (2011). Information Dissemination Between Mobile Nodes for Collaborative Context Awareness. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol 10 (No 12), 1710-1725.
- Anagnostopoulos, C., Sekkas, O. & Hadjiefthymiades, S. (2007). Context Fusion: Dealing with Sensor Reliability. *4th IEEE Int'l Conf. Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS '07), September 2007* (pp. 1-6). Pizza: ACM.
- Anagnostopoulos, C., Tsounis, A. & Hadjiefthymiades, S. (2006). Context Awareness in Mobile Computing Environments. *Wireless Personal Communications*, Vol 42, 445-464.
- Boguñá, M., Pastor-Satorras, R. & Vespignani, A. (2003). Epidemic Spreading in Complex Networks with Degree Correlations. In R. Pastor-Satorras, M. Rubi & A.

- Diaz-Guilera (Eds), *Sitges Conf. on Statistical Mechanics of Complex Networks, January 2003* (pp. 127-147). Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag.
- Govil, K., Chan, E. & Wasserman, H. (1995). Comparing Algorithms for Dynamic Speed-Setting of a Low-Power CPU. *ACM MobiCom '95, November 1995* (pp. 13-25). New York: ACM.
- Guo, D. & Xu, L. (2013). LEACH Clustering Routing Protocol for WSN. In Z. Zhong (Ed.), *International Conference on Information Engineering and Applications (IEA). Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol 219* (pp. 153-160). London: Springer.
- Khelil, A., Becker, C., Tian, J. & Rothermel, K. (2002). An Epidemic Model for Information Diffusion in MANETs. *ACM Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, September 2002* (pp. 54-60). Atlanta: ACM.
- Lorch, J. & Smith, A. (1996). Reducing Processor Power Consumption by Improving Processor Time Management in a Single-User Operating System. *ACM MobiCom '96, September 1996* (pp. 143-154). New York: ACM.
- Mantjarvi, J., Huuskonen, P. & Himberg, J. (2002). Collaborative Context Determination to Support Mobile Terminal Applications. *IEEE Wireless Communications Magazine, Vol 9 (No 5)*, 39-45.
- Mickens, J. & Noble, B. (2005). Modeling Epidemic Spreading in Mobile Environments. *4th Workshop on Wireless Security, September 2005* (pp. 77-86). Köln: ACM.
- Satyanarayanan, M. (2001). Pervasive Computing: Vision and Challenges. *IEEE Personal Communications, Vol 8 (No 4)*, 10-17.
- Schilit, B. & Theimer, M. (1994). Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. *IEEE Network, Vol 8 (No 5)*, 22-32.
- Tennert, P., Hall, M., Brown, B., Chalmers, M. & Sherwood, S. (2005). Three Applications for Mobile Epidemic Algorithms. *ACM Int. Conf. On Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, September 2005* (pp. 223-226). Salzburg: ACM.

Tubaishat, M. & Madria, S. (2003). Sensor Networks: an Overview. *IEEE Potentials*, Vol 22 (No 2), 20-23.

Zesheng, C. & Chuanyi, J. (2005). Spatial-Temporal Modeling of Malware Propagation in Networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol 16 (No 5), 1291-1303.



## Οδηγός για Περαιτέρω Μελέτη

- **Anagnostopoulos, C. & Hadjiefthymiades, S. (2008). Enhancing Situation Aware Systems Through Imprecise Reasoning. *IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol 7 (No 10), 1153-1168.*** Σας προτείνεται η ανωτέρω δημοσίευση, διότι ασχολείται με ένα ολοκληρωμένο σύστημα επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου. Συγκεκριμένα, μέσα από το σύστημα αυτό θα διακρίνετε τη σημαντικότητα της αναπαράστασης γνώσης της πληροφορίας πλαισίου, καθώς και τον τρόπο πυροδότησης κανόνων συμπερασμού (βάσει της Θεωρίας Ασαφών Συνόλων) σε ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού.
- **Anagnostopoulos, C. & Hadjiefthymiades, S. (2008). On the Application of Epidemical Spreading in Collaborative Context Aware Computing. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol 12 (No 4), 43-55.*** Η ανωτέρω δημοσίευση σχετίζεται με ένα πολυεπιδημικό σχήμα διάχυσης πληροφορίας σε αδόμητο δίκτυο κινητών κόμβων. Μέσα από το σχήμα αυτό, θα συναντήσετε σύνθετα βιομημητικά μοντέλα επιδημικής διάχυσης πληροφορίας, καθώς και τον τρόπο διάδοσης δεδομένων, στοχεύοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας κόμβων και την επέκταση του χρόνου ζωής του δικτύου.

## Απαντήσεις σε Ασκήσεις Αυτοαξιολόγησης

### 3.1

Σε ένα αεροδρόμιο μπορούμε να διακρίνουμε ένα σύνολο από αφηρημένα και μη υπολογιστικά αντικείμενα/εφαρμογές που καθορίζουν την κατάστασή μας και, συνεπώς, την πληροφορία πλαισίου. Οι βασικές συνιστώσες της πληροφορίας πλαισίου μπορεί να είναι:

- τρέχουσα θέση του χρήστη μέσα στο χώρο του αεροδρομίου,
- εφαρμογή (Εφαρμογή Α) ενημέρωσης αφίξεων και αναχωρήσεων του αεροδρομίου,
- εφαρμογή (Εφαρμογή Β) ενημέρωσης της κατάστασης της πτήσης του χρήστη, που εκτελείται τοπικά στο τερματικό του και επικοινωνεί διαρκώς με την εφαρμογή Α,
- τρέχουσα τοπική ώρα αφετηρίας και προορισμού,
- εφαρμογή ενημέρωσης καιρικών συνθηκών στον τόπο του προορισμού, που εκτελείται τοπικά στο τερματικό του χρήστη,
- εφαρμογή κατάστασης αποσκευών του αεροδρομίου, που επικοινωνεί με την Εφαρμογή Β, ώστε ο χρήστης να γνωρίζει πού βρίσκονται οι αποσκευές του,
- εφαρμογή πλοήγησης από το χώρο αναμονής στην έξοδο που αντιστοιχεί στην πτήση του χρήστη. Η εφαρμογή αυτή ανακτά τη χωρική πληροφορία του αεροδρομίου από ένα διακομιστή ΥΕΘ του αεροδρομίου,
- εφαρμογή έκτακτης ανάγκης εκκένωσης του αεροδρομίου μέσω οδηγιών πλοήγησης.

### 3.2

Η αναπαράσταση πληροφορίας πλαισίου είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί υιοθέτηση τεχνικών αναπαράστασης γνώσης. Ας εστιάσουμε στις συνιστώσες πληροφορίας πλαισίου που αναφέρονται:

- στον τρόπο που κινείται ο χρήστης,
- στα δεδομένα ήχου και φωτός του περιβάλλοντος χώρου του χρήστη,
- στην τοποθεσία του χρήστη,
- στην τοποθεσία της συσκευής του χρήστη (PDA),
- στη χρήση της συσκευής,
- στις εφαρμογές που εκτελούνται στη συσκευή του χρήστη,
- στα άτομα που βρίσκονται στον ίδιο χώρο με το χρήστη.

Τα δεδομένα κίνησης, φωτός και ήχου μπορεί να συλλέγονται μέσω αισθητήρων, τα δεδομένα τοποθεσίας του χρήστη και της συσκευής συλλέγονται μέσω ασύρματου δικτύου, ενώ τα δεδομένα χρήσης της συσκευής και των εφαρμογών που εκτελούνται σε αυτή συλλέγονται μέσω της ίδιας της συσκευής.

Ας δούμε τώρα έναν τρόπο αναπαράστασης γνώσης βάσει της Θεωρίας Ασαφών Συνόλων (ΘΑΣ, στη βιβλιογραφία συναντάται ως Fuzzy Set Theory). Συγκεκριμένα, μια λογική βασισμένη στις διακριτές τιμές, π.χ., true και false, μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής για την περιγραφή της πληροφορίας πλαισίου. Έτσι, υιοθετούμε τη Θεωρία Ασαφών Συνόλων, η οποία είναι η συλλογιστική που χρησιμοποιεί ολόκληρο το διάστημα μεταξύ του 0 (false) και του 1 (true) για να περιγράψει μια συνιστώσα της πληροφορίας πλαισίου, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερες δυνατότητες αναπαράστασης. Η ΘΑΣ χρησιμοποιείται συνήθως σε τομείς όπως η αναπαράσταση ανθρώπινου συλλογισμού και η τεχνολογία αυτόματων συστημάτων ελέγχου.

Στην περίπτωσή μας, οι συνιστώσες πλαισίου «κίνηση χρήστη», «φως» και «ήχος» μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω ασαφών μεταβλητών (Fuzzy Variables) που λαμβάνουν ως τιμές ασαφή σύνολα (Fuzzy Sets). Για παράδειγμα, θεωρήστε τη συνιστώσα «κίνηση του χρήστη» (movement), που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο κινείται ο χρήστης. Μπορούμε να δώσουμε στη μεταβλητή αυτή τις διακριτές τιμές: walking, walking fast, running και halt, ώστε να χαρακτηρίσουμε την κίνησή της. Βάσει της ΘΑΣ, μια ασαφής τιμή για τη μεταβλητή «κίνηση» δεν είναι απαραίτητα είτε walking, είτε walking fast, είτε running, είτε halt, αφού μπορεί ο χρήστης να κινείται με ρυθμό που δεν κα-

θιστά εύκολη τη διάκριση, για παράδειγμα, ανάμεσα σε walking και walking fast. Μπορεί να είναι κατά ένα ποσοστό walking, κατά ένα άλλο walking fast, κατά ένα τρίτο running και κατά ένα τέταρτο halt, με τον περιορισμό ότι το συνολικό άθροισμα των ποσοστών αυτών είναι ίσο με τη μονάδα. Για παράδειγμα, μια τιμή της μεταβλητής «κίνηση» βάσει της ΘΑΣ είναι η ακόλουθη:

$$\text{movement}=\{0,5/\text{walking}, 0,4/\text{walking fast}, 0,1/\text{running}, 0,0/\text{halt}\}$$

όπου κάθε στοιχείο του παραπάνω συνόλου αντιστοιχεί στο ποσοστό συμμετοχής της τιμής walking, walking fast, running και halt στη μεταβλητή movement. Δηλαδή ο συμβολισμός 0,5/walking αναφέρει ότι κατά 50% η τιμή της μεταβλητής movement περιγράφεται από την τιμή walking, ενώ το 0,1/running αναφέρει ότι το 10% της μεταβλητής movement περιγράφεται από την τιμή running. Το ίδιο μπορούμε να υιοθετήσουμε για τις συνιστώσες φωτός (light) και ήχου (sound), που αναπαρίστανται από ένα συνδυασμό ποσοστών bright, normal, dark, natural και total darkness για τη συνιστώσα light, ενώ η συνιστώσα sound αποτελείται από ένα συνδυασμό ποσοστών silent, modest και loud.

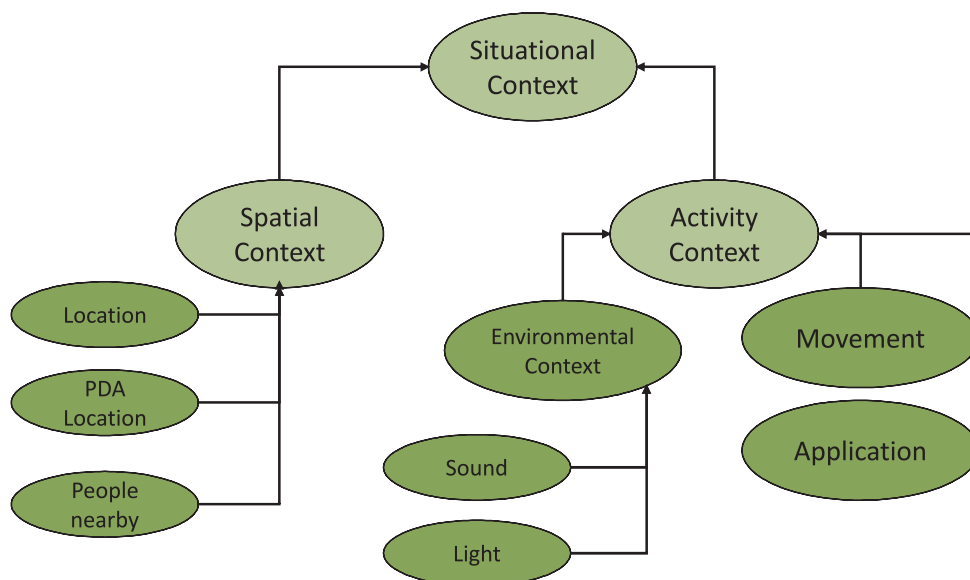
Σαφώς, υπάρχουν κάποιες συνιστώσες πλαισίου που λαμβάνουν διακριτές τιμές, όπως στην περίπτωση μας:

- η μεταβλητή «τρέχουσα εφαρμογή» (application) μπορεί να λάβει τιμές: {Web Browsing, MS Word, PDF Reader, Gmail...}
- η μεταβλητή «τρέχουσα θέση» (location) μπορεί να λάβει συμβολικές θέσεις: {office, corridor, meeting room, coffee room}
- η μεταβλητή «τρέχουσα θέση συσκευής» (PDA location) μπορεί να λάβει συμβολικές θέσεις: {office, corridor, meeting room, coffee room}
- η μεταβλητή «άτομα γύρω» (people nearby) μπορεί να λάβει τιμές {supervisor, friend, nobody}

Η πληροφορία πλαισίου μπορεί να διαιρεθεί σε πλαίσιο δραστηριότητας (Activity Context) και χωρικό πλαίσιο (Spatial Context). Στο Activity Context ανήκουν οι συνθήκες περιβάλλοντος από τις οποίες μπορεί να εξαχθεί πληροφορία σε σχέση με τις δραστηριότητες του χρήστη, είτε αυτές αφορούν τον ίδιο (κίνηση, ομιλία κ.λπ.) είτε τη συσκευή (χρήση συσκευής, εφαρμογές που τρέχουν) είτε ακόμα και το περιβάλλον του χρήστη (ένταση φωτός). Σε επίπεδο δεδομένων, στο Activity Context εντάσσονται οι τύποι δεδομένων/

μεταβλητών light, sound, movement και applications. Στο Spatial Context ανήκουν οι συνθήκες περιβάλλοντος που αφορούν τη χωροταξική τοποθέτηση του χρήστη και της συσκευής στο περιβάλλον, καθώς και τα πρόσωπα που βρίσκονται στον ίδιο χώρο με το χρήστη. Σε επίπεδο δεδομένων, στο Spatial Context εντάσσονται οι μεταβλητές location, PDA location και people nearby.

Έχοντας ορίσει τα δύο πλαίσια, πλαίσιο δραστηριότητας και χωρικό, τότε μπορούμε να ορίσουμε το πλαίσιο κατάστασης (Situational Context), δηλαδή κάθε χρονική στιγμή κάθε χρήστης χαρακτηρίζεται από την κατάσταση (ή τις καταστάσεις) στην οποία μπορεί να βρίσκεται. Το Situational Context προκύπτει από τη σύνθεση του Activity Context και του Spatial Context και αποτελεί μια προτεινόμενη προσέγγιση μοντελοποίησης της πληροφορίας πλαισίου Context με σκοπό το συμπερασμό γνώσης για τις καταστάσεις των χρηστών. Στη δική μας περίπτωση, μπορούμε να αναπαραστήσουμε όλη την πληροφορία πλαισίου όπως απεικονίζεται στην παρακάτω ταξινόμια.

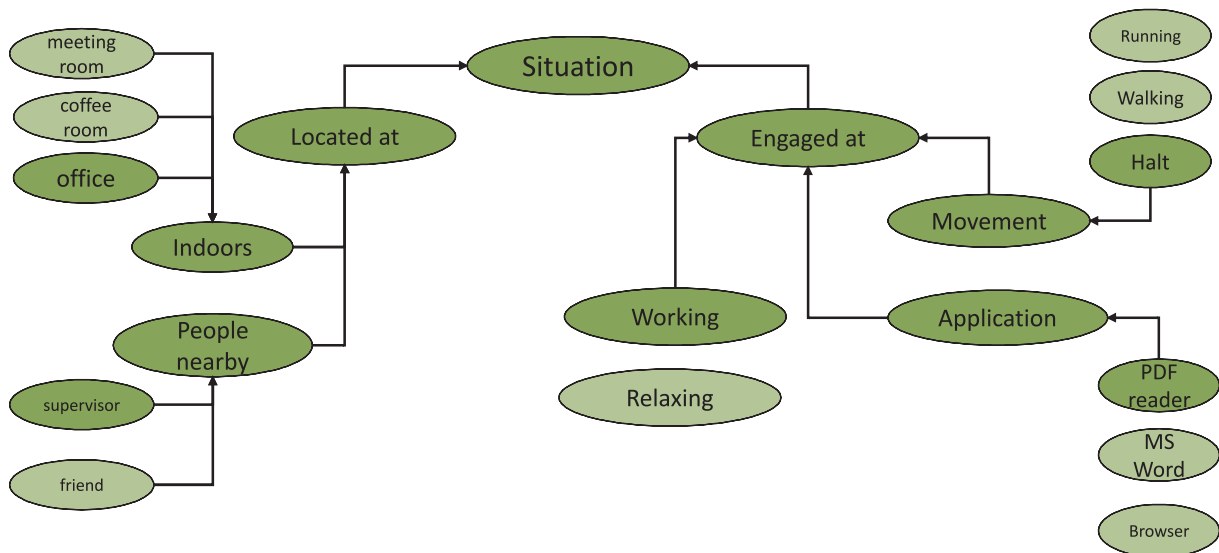


Έτσι, με βάση την ταξινόμηση των δεδομένων του Activity Context και τη σύνθεσή τους με τις πληροφορίες του Spatial Context, ένα στιγμότυπο πληροφορίας πλαισίου που μπορεί να περιγράψει την τρέχουσα κατάσταση ενός χρήστη απεικονίζεται σαν μια διαδρομή στο παρακάτω δέντρο/ιεραρχία, με ρίζα τον κόμβο «κατάσταση» (situation) και φύλλα του δέντρου τις τιμές των μεταβλητών/συνιστωσών του πλαισίου. Για παράδειγμα, η κατάσταση ενός χρήστη μπορεί να μοντελοποιηθεί από τις διαδρομές:

- situation-located at-indoors-room-office
- situation-engaged at-working
- situation-engaged at-moving-halt
- situation-located at-people nearby-supervisor
- situation-engaged at-application-PDF reader

Αυτές αντιστοιχούν στην περιγραφή κατάστασης:

«Ο χρήστης βρίσκεται στο γραφείο του ακίνητος και εργάζεται μαζί με τον επιβλέποντά του, ενώ το τερματικό του “τρέχει” την εφαρμογή PDF Reader».



### 3.3

1. Η σωστή απάντηση είναι **ΣΩΣΤΗ**. Γενικά, η έννοια πληροφορία πλαισίου αναφέρεται σε όλη τη διαθέσιμη πληροφορία που απαιτείται για να περιγραφεί η κατάσταση μιας οντότητας σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού. Το πλαίσιο αναφέρεται ρητά **μόνο** σε μια οντότητα που επενεργεί σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού.
2. Η σωστή απάντηση είναι **ΛΑΘΟΣ**. Η θέση μιας οντότητας σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού είναι απαραίτητη για να προσδιορίσει την κατάσταση μιας οντότητας, αλλά δεν είναι η βασικότερη. Γενικά, δεν υπάρχει η έννοια της βασικότερης πληροφορίας. Εάν φανταστού-

με το πλαίσιο ως ένα διάνυσμα, όπου κάθε διάσταση του διανύσματος αντιστοιχεί σε μια παράμετρο που μοντελοποιεί την κατάσταση μιας οντότητας, τότε όλες οι διαστάσεις είναι εξίσου σημαντικές για να περιγράψουν την κατάσταση. Σαφώς, η θέση μιας οντότητας είναι βασική συνιστώσα/διάσταση, αλλά σε εφαρμογές πληροφορίας πλαισίου, όπου μπορεί να μη μας ενδιαφέρει η θέση της οντότητας, όλες οι άλλες διαθέσιμες διαστάσεις δεν παύουν να είναι το ίδιο σημαντικές.

3. Η σωστή απάντηση είναι **ΣΩΣΤΗ**. Η έννοια της διεισδυτικότητας αναφέρεται στο γνώρισμα μιας εφαρμογής επίγνωσης πλαισίου που προσπαθεί να συμπεράνει και να προβλέψει τις προτιμήσεις και την κατάσταση του χρήστη με όσο το δυνατό λιγότερη **διάδραση** με αυτόν.
4. Η σωστή απάντηση είναι **ΛΑΘΟΣ**. Ένα μοντέλο πληροφορίας πλαισίου είναι μια μέθοδος αναπαράστασης γνώσης που υιοθετείται από μια εφαρμογή επίγνωσης πλαισίου. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο πλαισίου μπορεί να είναι έννοιες με χαρακτηριστικά σε μια οντολογία, ένα σύνολο κανόνων, κλάσεις από ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο, σχέσεις και εξαρτήσεις από ένα σχεσιακό μοντέλο κ.λπ.
5. Η σωστή απάντηση είναι **ΣΩΣΤΗ**. Η τεχνική πρόβλεψης της θέσης ενός κινητού χρήστη αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά προδραστικότητας μιας εφαρμογής πληροφορίας πλαισίου, ιδιαίτερα σε συστήματα κινητού και διάχυτου υπολογισμού. Η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης ενός χρήστη μπορεί να βοηθήσει το σύστημα να προδεσμεύσει πόρους στην περιοχή που προβλέπεται να βρεθεί ο χρήστης, ώστε να παρέχει καλής ποιότητας υπηρεσίες. Για παράδειγμα, σε ένα κυψελωτό σύστημα επικοινωνιών, οι πόροι που απαιτούνται για τη *συνεχή* επικοινωνία ενός χρήστη μέσω του τερματικού του μπορεί να προδεσμευτούν για τη νέα κυψέλη όπου ο χρήστης προβλέπεται να βρεθεί, ώστε να αποφευχθεί η διακοπή της τρέχουσας επικοινωνίας του (π.χ. βιντεοδιάσκεψη).

### 3.4

Ας εστιάσουμε στον αλγόριθμο ενός κόμβου που είναι ικανός να εκπέμψει το αντίγραφο ενός ληφθέντος μηνύματος, όταν αυτό ληφθεί  $n$  φορές. Οι πα-

ράμετροι στον αλγόριθμο είναι μια λίστα από κόμβους που βρίσκονται στη γειτονιά του καθώς και ο αριθμός  $v$ .

#### **Αλγόριθμος πλημμύρας κόμβου**

**Παράμετροι:** λίστα γειτονικών κόμβων  $\Lambda$ , μέγιστος αριθμός επανεκπομπών αντιγράφων  $v$ .

#### **Begin**

$\kappa = 0$  //αναφέρεται στον αριθμό των αντιγράφων που έχουν ληφθεί από τον κόμβο

**If** αντίγραφο ( $\mu$ ) έχει ληφθεί **Then** //το αντίγραφο ( $\mu$ ) είναι το μήνυμα

**If**  $\kappa < v$  **Then** //ο κόμβος μπορεί να στείλει ακόμα μια φορά το μήνυμα

εκπομπή αντιγράφου ( $\mu$ ) στη λίστα  $\Lambda$  //ο κόμβος στέλνει το μήνυμα στους γείτονές του

$\kappa = \kappa + 1$  //ενημέρωση της μεταβλητής

**End If**

**End If**

**End**

### **3.5**

Ας εστιάσουμε στον αλγόριθμο ενός κόμβου που είναι ικανός να εκπέμψει μία μόνο φορά το αντίγραφο ενός ληφθέντος μηνύματος. Οι παράμετροι στον αλγόριθμο είναι το σύνολο των γειτόνων του κόμβου.



**Αλγόριθμος φημολογίας κόμβου****Παράμετροι:** σύνολο γειτονικών κόμβων  $\Gamma$ .**Begin** $\kappa = \Psi\text{EY}\Delta\text{H}\Sigma$  //εάν ο κόμβος έχει στείλει ήδη ένα αντιγράφο**If** (αντίγραφο ( $\mu$ ) έχει ληφθεί &  $\kappa = \Psi\text{EY}\Delta\text{H}\Sigma$ ) **Then** //το αντίγραφο ( $\mu$ ) είναι το μήνυμα    επιλογή ενός γείτονα από το σύνολο  $\Gamma$  με πιθανότητα  $1/|\Gamma|$     εκπομπή αντιγράφου ( $\mu$ ) στον επιλεγμένο γείτονα     $\kappa = \text{A}\Lambda\text{H}\Theta\text{H}\Sigma$  //ενημέρωση της μεταβλητής**End If****End****3.6**

Ας εστιάσουμε στον αλγόριθμο ενός κόμβου που είναι ικανός να εκπέμψει βάσει επιδημικού σχήματος ένα αντίγραφο κάποιου ληφθέντος μηνύματος. Οι παράμετροι στον αλγόριθμο είναι το σύνολο των γειτόνων του κόμβου, πιθανότητα μόλυνσης  $\beta$ , πιθανότητα ίασης  $\delta$ , με  $0 < \delta < \beta < 1$ .

**Αλγόριθμος επιδημίας κόμβου****Παράμετροι:** σύνολο γειτονικών κόμβων  $\Gamma$ , πιθανότητα μόλυνσης  $\beta$ , πιθανότητα ίασης  $\delta$ .**Begin**

κατάσταση = εύρωτος //αρχική κατάσταση κόμβου που δεν είναι η πηγή του μηνύματος

**Repeat****If** κατάσταση = εύρωτος **Then** //ο κόμβος μπορεί να μολυνθεί    **If** αντίγραφο ( $\mu$ ) έχει ληφθεί **Then** //το αντίγραφο ( $\mu$ ) είναι το μήνυμα

κατάσταση = μολυσμένος

```
End If
End If
If κατάσταση = μολυσμένος Then //ο κόμβος είναι μολυσμένος
    //μπορεί να μολύνει κάποιους από τους γείτονές του
    For κάθε γείτονα K από το σύνολο Γ
        α = τυχαίος αριθμός στο [0, 1]
        If α < β Then //πιθανή μόλυνση του γείτονα K
            αποστολή αντιγράφου (μ) στο γείτονα K
        End If
    End For
End For
//εξέταση εάν ο κόμβος μπορεί να ιαθεί
γ = τυχαίος αριθμός στο [0, 1]
If γ < δ Then //ο κόμβος επουλώνεται
    κατάσταση = εύρωτος
End If
End If
End Repeat
End
```

## Απαντήσεις Δραστηριοτήτων

### 3.1

Μπορούμε να σκεφτούμε έναν αλγόριθμο που θα εκτελείται σε έναν κόμβο-αποστολέα και σε έναν κόμβο-παράληπτη – στην τρέχουσα δραστηριότητα ΚΑ και ΚΒ, αντίστοιχα. Ο αλγόριθμος αυτός είναι κατανεμημένος στους κόμβους ΚΑ και ΚΒ. Συγκεκριμένα, ο κόμβος ΚΑ, εάν έχει να στείλει ένα μήνυμα-δεδομένο, π.χ., Δ, στο γείτονά του ΚΒ, στέλνει πρώτα ένα **μήνυμα-ερώτηση** (μήνυμα σηματοδοσίας), εάν ο ΚΒ έχει ήδη το μήνυμα-δεδομένο Δ (π.χ. το μήνυμα-δεδομένο Δ μπορεί να χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό κλειδί-κωδικό). Εάν ο κόμβος ΚΒ το έχει, τότε αποστέλλει μήνυμα σηματοδοσίας (**μήνυμα-επιβεβαίωση**) στον κόμβο ΚΑ. Τότε, ο κόμβος ΚΑ δεν προβαίνει στην αποστολή του μηνύματος Δ. Σε άλλη περίπτωση, ο κόμβος ΚΒ στέλνει ένα μήνυμα σηματοδοσίας (**μήνυμα-αποστολή**) στον κόμβο ΚΑ. Έτσι, ο κόμβος ΚΑ στέλνει το μήνυμα Δ στον κόμβο ΚΒ.

Πρέπει να προσέξουμε ότι, στην περίπτωση που ο κόμβος ΚΒ έχει το μήνυμα Δ, τότε αποστέλλονται συνολικά δύο μηνύματα σηματοδοσίας (ένα μήνυμα-ερώτηση και ένα μήνυμα-αποστολή). Εάν ο κόμβος ΚΒ δεν έχει το μήνυμα Δ, τότε αποστέλλονται συνολικά τρία μηνύματα, δύο μηνύματα σηματοδοσίας και ένα μήνυμα δεδομένων.

Έστω τώρα ότι ο κόμβος ΚΒ με πιθανότητα  $p$  έχει το μήνυμα Δ. Τότε ο αναμενόμενος αριθμός bytes που ανταλλάσσουν οι κόμβοι ΚΑ και ΚΒ είναι:  $p(2N) + (1-p)(2N + M) = 2N + (1-p)M$ . Εάν δεν έχουμε υιοθετήσει το σχήμα αυτό, τότε, ανεξαρτήτως εάν ο κόμβος ΚΒ έχει το μήνυμα Δ ή όχι, ο αναμενόμενος αριθμός bytes που ανταλλάσσονται είναι  $M$ . Άρα, η τεχνική αυτή επιφέρει μικρότερο αριθμό bytes όταν  $2N + (1-p)M < M$  ή  $p > 2N/M$ . Αυτό σημαίνει ότι, αν η πιθανότητα ο κόμβος ΚΒ να έχει το μήνυμα Δ είναι πάνω από  $2N/M$ , τότε έχει νόημα η όλη σηματοδοσία. Εάν, για παράδειγμα,  $M = 100N$ , τότε  $p_{\text{ελαχ.}} = 0,02$ . Εάν το  $N = M/2$ , τότε η τεχνική αυτή έχει νόημα μόνο όταν ο κόμβος ΚΒ έχει σίγουρα το μήνυμα ( $p = 1$ ). Στην περίπτωση αυτή, ο ΚΑ ποτέ δεν πρόκειται να στείλει το μήνυμα Δ στον ΚΒ. Αλλά έχουμε ήδη καταναλώσει  $2N = M$  bytes μόνο για σηματοδοσία, που, εντέλει, είναι σαν να το έστειλε

χωρίς να έχει υιοθετήσει την τεχνική αυτή. Έτσι, πρέπει πάντα να ισχύει ότι  $N < M/2$ .

### 3.2

Στο πρόβλημα αυτό να έχετε υπόψη σας ότι ένας κόμβος θα στείλει ένα αντίγραφο μηνύματος μόνο μία φορά (εφόσον το έχει λάβει). Για να μπορούμε να μετρήσουμε τον αριθμό των μηνυμάτων που αποστέλλονται από τους κόμβους  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  και  $\Pi$ , πρέπει να αποθηκεύσουμε σε έναν πίνακα-διάγραμμα  $X$  (5 στήλες) για κάθε κόμβο τα εξής:

- την τιμή «ελήφθη», εάν έχει λάβει κάποιο μήνυμα από τους γείτονές του και
- την τιμή «τερματισμός», εάν έχει στείλει ακριβώς ένα αντίγραφο στους γείτονές του, οπότε μετά δεν μπορεί να ξαναστείλει.

Επίσης, θα σχηματίσουμε έναν πίνακα  $O$  με 6 γραμμές και 6 στήλες, όπου οι γραμμές και οι στήλες αναφέρονται στους κόμβους μας. Στο κελί  $O[\kappa, \lambda]$  του πίνακα  $O$  εισάγουμε έναν άσο  $I$ , εάν ο κόμβος που αντιστοιχεί στη γραμμή  $\kappa$  αποστέλλει ένα μήνυμα στον κόμβο που αντιστοιχεί στη στήλη  $\lambda$ . Τέλος, αθροίζουμε όλους τους άσους από τον πίνακα  $O$  και το αποτέλεσμα αντιστοιχεί στον αριθμό των μηνυμάτων που διαχέονται στο δίκτυό μας.

Πίνακας  $X$

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$

Πίνακας  $O$

	1	2	3	4	5	6	
	$\Pi$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
$\Pi$							1
$K_1$							2
$K_2$							3
$K_3$							4
$K_4$							5

$K_5$							<b>6</b>
-------	--	--	--	--	--	--	----------

**Βήμα 1.** Ας αρχίσουμε με το πρώτο βήμα, στο οποίο η πηγή Π στέλνει στους κόμβους  $K_2$  και  $K_3$  δύο αντίγραφα. Τότε στο  $X[K_2]$  και στο  $X[K_3]$  εισάγουμε την τιμή «ελήφθη» και στον πίνακα  $O[1, 3]$  και  $O[1, 4]$  εισάγουμε από έναν άσο I (δηλαδή η πηγή Π έστειλε ένα μήνυμα στον  $K_2$  και τον  $K_3$  κόμβο). Μετά το πρώτο βήμα, έχουμε τις εξής εγγραφές στους πίνακες X και O.

Πίνακας X μετά το πρώτο βήμα

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
	«ελήφθη»	«ελήφθη»		

Πίνακας O μετά το πρώτο βήμα

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
	Π	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
Π			<b>I</b>	<b>I</b>			<b>1</b>
$K_1$							<b>2</b>
$K_2$							<b>3</b>
$K_3$							<b>4</b>
$K_4$							<b>5</b>
$K_5$							<b>6</b>

**Βήμα 2.** Στο δεύτερο βήμα, ανατρέχουμε στον πίνακα X και παρατηρούμε ότι ο κόμβος  $K_2$  και ο  $K_3$  έχουν λάβει ένα μήνυμα, άρα μπορούν τώρα να το στείλουν (αντίγραφο) στους γείτονές τους. Έπειτα, εισάγουμε στο  $X[K_2]$  και στο  $X[K_3]$  την τιμή «τερματισμός», που σημαίνει ότι οι κόμβοι  $K_2$  και  $K_3$  δε θα ξαναστείλουν αντίγραφα. Στον πίνακα O έχουμε άσο στα κελιά:  $O[3, 1]$ ,  $O[3, 2]$ ,  $O[3, 4]$ ,  $O[3, 5]$ ,  $O[4, 1]$ ,  $O[4, 3]$ . Ενημερώνουμε τον πίνακα X, όπου οι κόμβοι  $K_1$  και  $K_4$  έχουν λάβει πρώτη φορά το μήνυμα, άρα τα  $X[K_1]$  και  $X[K_4]$  έχουν την τιμή «ελήφθη».

Πίνακας X μετά το δεύτερο βήμα

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
«ελήφθη»	«τερματισμός»	«τερματισμός»	«ελήφθη»	

Πίνακας **O** μετά το δεύτερο βήμα

	1	2	3	4	5	6	
	Π	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	
Π			I	I			1
K <sub>1</sub>							2
K <sub>2</sub>	I	I		I	I		3
K <sub>3</sub>	I		I				4
K <sub>4</sub>							5
K <sub>5</sub>							6

**Βήμα 3.** Στο βήμα αυτό οι κόμβοι K<sub>2</sub> και K<sub>3</sub> δε στέλνουν κάποιο αντίγραφο, ενώ οι κόμβοι K<sub>1</sub> και K<sub>4</sub> στέλνουν από ένα αντίγραφο. Τα X[K<sub>1</sub>], X[K<sub>4</sub>] και X[K<sub>5</sub>], έπειτα από αυτό το βήμα, έχουν τιμές «τερματισμός», «τερματισμός» και «ελήφθη», αντίστοιχα. Άσοι τίθενται στα κελιά: O[2, 3], O[2, 5], O[2, 6], O[5, 3], O[5, 2], O[5, 6]. Έτσι έχουμε:

Πίνακας **X** μετά το τρίτο βήμα

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
«τερματισμός»	«τερματισμός»	«τερματισμός»	«τερματισμός»	«ελήφθη»

Πίνακας **O** μετά το τρίτο βήμα

	1	2	3	4	5	6	
	Π	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	
Π			I	I			1
K <sub>1</sub>			I		I	I	2
K <sub>2</sub>	I	I		I	I		3
K <sub>3</sub>	I		I				4
K <sub>4</sub>		I	I			I	5
K <sub>5</sub>							6

**Βήμα 4.** Στο βήμα αυτό οι κόμβοι K<sub>1</sub> και K<sub>4</sub> δε στέλνουν κάποιο αντίγραφο, ενώ ο κόμβος K<sub>5</sub> στέλνει ένα αντίγραφο. Η τιμή X[K<sub>5</sub>], έπειτα από αυτό το βήμα, έχει τιμή «τερματισμός». Άσοι τίθενται στα κελιά: O[6, 2], O[6, 5].

Τώρα, όλοι οι κόμβοι έχουν από ένα αντίγραφο από την πηγή Π. Έτσι έχουμε:

Πίνακας **X** μετά το τέταρτο βήμα

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
«τερματισμός»	«τερματισμός»	«τερματισμός»	«τερματισμός»	«τερματισμός»

Πίνακας **O** μετά το τέταρτο βήμα

	1	2	3	4	5	6	
	Π	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
Π			I	I			1
$K_1$			I		I	I	2
$K_2$	I	I		I	I		3
$K_3$	I		I				4
$K_4$		I	I			I	5
$K_5$		I			I		6

Ο συνολικός αριθμός μηνυμάτων που απαιτήθηκε να λάβουν οι πέντε κόμβοι  $K_1$  έως και  $K_5$  από την πηγή είναι το άθροισμα όλων των άσων του πίνακα O, δηλαδή 16 μηνύματα. Παρατηρούμε ότι όλοι οι κόμβοι έχουν λάβει το ίδιο αντίγραφο τουλάχιστον δύο φορές! Έχουμε  $16/5 = 3,2$  ληφθέντα αντίγραφα ανά κόμβο! Αυτό δηλώνει ότι το σχήμα πλημμύρας συντελεί σε πλεονάζουσα πληροφορία, με αποτέλεσμα μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, το σχήμα είναι αξιόπιστο, αφού όλοι οι κόμβοι έχουν παραλάβει το μήνυμα.

### 3.3

Μπορούμε να σκεφτούμε έναν αλγόριθμο που θα εκτελείται στον κόμβο Π, ο οποίος θα διατηρεί μια λίστα Λ με εγγραφές του τύπου  $T = (\text{«γείτονας»}, \text{«μετρητής»})$ . Η εισαγωγή της χρήσης ενός τύπου δεδομένων T θεωρείται η πιο κατάλληλη προγραμματιστική μέθοδος, αφού μπορούμε να ομαδοποιήσουμε μεταπληροφορία σε μια δομή. Συγκεκριμένα, το πεδίο «T.γείτονας» αναφέρεται στο γείτονά του Π από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$ , και το πεδίο «T.μετρητής» αναφέρεται στην ποσότητα μηνυμάτων που έχει εκπέμψει ο κόμβος Π

στον αντίστοιχο γείτονά του  $T$ . γείτονας. Με αυτό τον τρόπο έχουμε όλη τη μεταπληροφορία για τον κόμβο-γείτονα. Προφανώς, όταν ο μετρητής « $T$ .μετρητής» γίνει ίσος με τον αριθμό  $\nu$ , τότε ο αντίστοιχος γείτονας αφαιρείται από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$ . Όταν το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$  γίνει κενό, τότε όλοι οι μετρητές από τη λίστα  $\Lambda$  θα έχουν τιμή  $\nu$ . Άρα ο κόμβος  $\Pi$  αποστέλλει συνολικά  $|\Gamma(\Pi)|\nu$  αντίγραφα στους γείτονές του και έπειτα τερματίζει τη μετάδοση. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι ο εξής:

### Αλγόριθμος φημολογίας κόμβου πεπερασμένου αριθμού αντιγράφων

**Παράμετροι:** σύνολο γειτόνων  $\Gamma(\Pi)$ , λίστα  $\Lambda$  με εγγραφές  $T = (\text{γείτονας}, \text{μετρητής})$ , αριθμός  $\nu$  ανά κόμβο.

#### Begin

//αρχικοποίηση λίστας  $\Lambda$  με μηδενικές τιμές στα πεδία  $T$ .μετρητής για όλους τους γείτονες

**For** κόμβο  $K$  από το  $\Gamma(\Pi)$

$\Lambda.T.\text{γείτονας} = K$

$\Lambda.T.\text{μετρητής} = 0$

**End For**

**If** (αντίγραφο ( $\mu$ ) έχει ληφθεί) **Then** //το αντίγραφο ( $\mu$ ) είναι το μήνυμα

**If**  $\Gamma(\Pi) = \text{κενό}$  **Then** //ο κόμβος  $\Pi$  τερματίζει τη μετάδοση

**Else**

επιλογή ενός γείτονα  $K$  από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$  με πιθανότητα  $1/|\Gamma(\Pi)|$

εκπομπή αντιγράφου ( $\mu$ ) στον επιλεγθέντα γείτονα  $K$

$\Lambda.T.\text{μετρητής} = \Lambda.T.\text{μετρητής} + 1$  //ενημέρωση του αντίστοιχου μετρητή

//έλεγχος εάν έχουμε ήδη στείλει  $\nu$  αντίγραφα στον κόμβο  $K$

**If** ( $\Lambda.T.\text{μετρητής} = \nu$ ) **Then**

$\Gamma(\Pi) = \Gamma(\Pi) \setminus \{K\}$  //αφαίρεση του κόμβου  $K$  από το σύνολο  $\Gamma(\Pi)$



**End If**

**End If**

**End If**

**End**

## Κατάλογος σχημάτων

- Σχήμα 3.1** Ταξινομία εννοιών κατανεμημένων συστημάτων, κινητού και διάχυτου υπολογισμού
- Σχήμα 3.2** Ένα ΑΔΑ, η καταβόθρα και ο τελικός χρήστης
- Σχήμα 3.3** Βασικά στοιχεία ενός κόμβου-αισθητήρα
- Σχήμα 3.4** Ένα ΑΔΑ με κόμβους και μία καταβόθρα
- Σχήμα 3.5** Στοιβά πρωτοκόλλων για ΑΔΑ
- Σχήμα 3.6** Εναλλακτικές διαδρομές από τον κόμβο-πηγή (Π) στην καταβόθρα (Κ)
- Σχήμα 3.7** ΑΔΑ με δρομολόγηση άμεσης επικοινωνίας
- Σχήμα 3.8** ΑΔΑ επίπεδης δρομολόγησης
- Σχήμα 3.9** ΑΔΑ με δρομολόγηση βάσει ομάδας
- Σχήμα 3.10** Σχήμα διάχυσης πληροφορίας βάσει πλημμύρας
- Σχήμα 3.11** Μεταβάσεις καταστάσεων ενός κόμβου ΑΔΑ, Ε (εύρωτος) και Μ (μολυσμένος), στο επιδημικό σχήμα διάχυσης
- Σχήμα 3.12** Αριθμός μολυσμένων/εύρωτων κόμβων συναρτήσει του χρόνου σε ένα επιδημικό σχήμα με  $\beta = 0,5$  και  $\delta = 0,01$