



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Π.Μ.Σ. Πληροφορικά Συστήματα
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Αρχές των Cognitive Δικτύων

Κοσμάς Βασίλειος
Α.Μ. 27/08

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2009

University of Macedonia
Master Information Systems
Networking Technologies
Professor: A.A. Economides

***Principals of Cognitive
Networks***

Kosmas Vasileios
Student ID: 27/08

Thessaloniki, February 2009

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η δικτύωση σήμερα είναι τόσο απαραίτητη όσο ποτέ άλλοτε και η ανάγκη για βελτίωση και περαιτέρω μετεξέλιξη της επιβεβλημένη όσο τίποτε. Μια νέα μορφή δικτύων που έχουν κάνει την εμφάνισή τους είναι και τα cognitive networks, που προσπαθούν να βελτιώσουν τη μέχρι τώρα κατάσταση. Το ιδιαίτερο γνώρισμα και χαρακτηριστικό τους είναι πως μαθαίνουν να ελέγχουν τα στοιχεία τους και τον «εαυτό» τους, μέσα από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται με σκοπό την αντιμετώπιση μελλοντικών ίδιων ή παρόμοιων συνθηκών. Η ορθή χρήση τους και η μελέτη για την παραπέρα ανάπτυξή τους μοιάζει ιδιαίτερα ελπιδοφόρα και ίσως οδηγήσει σε επανάσταση στον τομέα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

A B S T R A C T

Networking nowadays is more crucial as it never has been, and the need for optimization and further evolution has become a necessity. A new form of networks which has appeared lately is cognitive networks, who try to improve every networking aspect as we perceive it today. Their special feature is that they can learn how to control their parts and "themselves", through the environment in which they belong, in order to face the same or similar future situations. Their right usage and the study for further development seem extremely hopeful and it might lead to a new era in telecommunication networks.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
1. Cognitive networks – Αρχές, βασικές έννοιες και πλαίσιο	4
2. Χαρακτηριστικά cognitive networks και κατηγοριοποίησή τους.....	8
3. Μέσα σχεδιασμού δικτύων και αρχιτεκτονικές προσέγγισης.....	13
4. Μελλοντική έρευνα – συμπεράσματα.	16
Αναφορές - Βιβλιογραφία.....	18

1. Cognitive networks – Αρχές, βασικές έννοιες και πλαίσιο

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και ο κόσμος μέσα στον οποίο ζούμε επιβάλλει τη συνεχή τροφοδότησή μας με οποιοδήποτε είδους πληροφορίας. Άλλωστε πολύς λόγος γίνεται σήμερα για τη λεγόμενη κοινωνία της πληροφορίας και για τα πολλά πλεονεκτήματα που απολαμβάνει όποιος έχει το προνόμιο να μαθαίνει τις κατάλληλες πληροφορίες στην κατάλληλη στιγμή και πάντα πριν από τους άλλους ανταγωνιστές του ή συναδέλφους του. Η πληροφόρηση όμως απαιτεί συνάμα και την σωστή και άμεση χωρίς καθυστερήσεις επικοινωνία ανάμεσα σε πολλές φορές απομακρυσμένα σημεία είτε ενός κτηρίου είτε μιας πόλης είτε ακόμα και του πλανήτη.

Για τους παραπάνω λόγους, δημιουργήθηκαν και τα σημερινά δίκτυα, αρχικά με τη μορφή του τηλεφωνικού δικτύου και στη συνέχεια και μέσα από τις τεχνολογικές βελτιώσεις και εφευρέσεις με τα σύγχρονα δίκτυα των υπολογιστών και των υπολογιστικών συστημάτων. Τα πλεονεκτήματα από τη δικτύωση των συστημάτων είναι πολλά και η σημασία τους είναι προφανής. Μεγάλος αριθμός πληροφοριών άμεσα διαθέσιμων και προσπελάσιμων από οποιοδήποτε μέρος, με απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη δικτύωσης, με πολύ μικρό κόστος και σε εξαιρετικά ελάχιστο χρόνο.

Τα δίκτυα των υπολογιστών βοήθησαν πολύ στην απόκτηση περαιτέρω γνώσεων και κάλυψαν τις ανάγκες του κόσμου. Βέβαια αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των απαιτήσεων των ανθρώπων για πιο πολλές πληροφορίες, που με τη σειρά του οδηγεί στην προσπάθεια για βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών από τα τηλεπικοινωνιακά – υπολογιστικά δίκτυα και τη μετεξέλιξή τους σε ανώτερες και βελτιωμένες μορφές. Σήμερα γίνονται πολλές προσπάθειες για τη δημιουργία και χρήση πολλών διαφορετικών και «έξυπνων» δικτύων, ώστε να υπάρξει και βελτίωση υπηρεσιών αλλά και της παρεχόμενης ποιότητας [8].

Μια μορφή «έξυπνου» τρόπου δικτύωσης αποτελούν και τα «*γνωστικά δίκτυα*» (*cognitive networks*). Στη βιβλιογραφία που αναφέρεται σχετικά στο θέμα αυτό, υπάρχουν αρκετοί όροι που χαρακτηρίζουν το ζήτημα όπως «*γνωστικοί πομποί*» (*cognitive radios*), «*έξυπνοι πομποί*» (*smart radios*),

«έξυπνοι αναμεταδότες» (smart antennas), «γνωστικά πακέτα» (cognitive packets) ή «έξυπνα πακέτα» (smart packets) [8, 14].

Ένας πιο σαφής και πληρέστερος παρουσιάστηκε στο DySPAN συνέδριο του οργανισμού IEEE το 2005 [15], σύμφωνα με το οποίο:

"Ένα γνωστικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο με μια γνωστική διαδικασία που μπορεί και αντιλαμβάνεται τις τρέχουσες συνθήκες δικτύωσης, και μετέπειτα σχεδιάζει, αποφασίζει και ενεργεί πάνω σε αυτές τις συνθήκες. Το δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί μέσα από αυτές τις προσαρμογές και να τις χρησιμοποιήσει ώστε να λαμβάνει μελλοντικές αποφάσεις, φυσικά λαμβάνοντας πάντα υπ' όψιν την επικοινωνία και τη μετάδοση πληροφορίας από τη μια του άκρη έως την άλλη."

Με άλλα λόγια τα γνωστικά δίκτυα, είναι εκείνα που μπορούν να αλλάξουν την τοπολογία τους δυναμικά (στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων) καθώς και τις λειτουργικές τους παραμέτρους για να ανταποκριθούν στις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη βελτιστοποιώντας παράλληλα τη συνολική απόδοση του δικτύου εξελίσσοντας συνεχώς τις διαδικασίες και τις πολιτικές από προηγούμενες ενέργειες [9].

Αυτό που αξίζει να αναφερθεί και χρήζει ιδιαίτερης αναφοράς είναι οι λόγοι για τους οποίους τα γνωστικά δίκτυα θεωρούνται κατάλληλα για τη χρήση τους και γιατί είναι πιο αποδοτικά. Οι καταναλωτές και οι ίδιες οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν και λειτουργούν με βάση νέες συσκευές, μεθόδους και μοντέλα και οι απαιτήσεις και οι ευκαιρίες σε τομείς όπως η ασφάλεια, η σύνδεση και το εύρος ζώνης του φάσματος της επικοινωνίας αυξάνονται και αποτελούν μια πρόκληση στον τομέα των δικτύων. Η πορεία εξέλιξης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και ειδικότερα των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών δικτύων επιβεβαιώνει την παραπάνω πρόταση. Τα δίκτυα από απλοί φορείς μετάδοσης δεδομένων μετεξελιχθηκαν σε οντότητες που προσαρμόζονται κάθε φορά στις απαιτήσεις και τις ανάγκες και σιγά σιγά τείνουν να γίνουν και πρέπει να γίνουν γνωστικά [8].

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει μια συσκευή που βρίσκεται πάνω σε ένα cognitive δίκτυο συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Θα πρέπει να λαμβάνει αξιόπιστες αποφάσεις που να είναι και άξιες εμπιστοσύνης του εκάστοτε χρήστη. Η διαδικασία θα πρέπει να είναι διαχειρίσιμη, επαναλαμβανόμενη και εύκολα προβλεπόμενη. Οι διαδικασίες διάγνωσης και επιδιόρθωσης των προβλημάτων να επιβεβαιώνονται και να γίνονται γρήγορα και οι όλες διαδικασίες να είναι αρκετά ελαστικές σε περίπτωση αντιμετώπισης ξαφνικών διακοπών.
- Όλες οι διαδικασίες που ακολουθούνται καλό θα είναι να είναι πλήρως αναστρέψιμες
- Δε θα πρέπει να υπάρχουν όρια στη διαχείριση του αριθμού των προβλημάτων που να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει το δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή, και η λύση που θα δίνεται θα πρέπει να γενικεύεται και να εφαρμόζεται σε παρόμοιες καταστάσεις.
- Η ύπαρξη αποδοτικών αλγορίθμων για την εύρεση των κατάλληλων πληροφοριών (data mining) θεωρείται δεδομένη και αυτονόητη, σε συνδυασμό με μια μηχανή αναζήτησης που να δύναται να κάνει προβλέψεις.
- Να είναι σε θέση να λαμβάνει αποφάσεις μέσω αλγόριθμων είτε κεντροποιημένα είτε όχι.

Στο συγκεκριμένο κομμάτι θα επιχειρήσουμε να εμβαθύνουμε πιο πολύ στους λόγους για τους οποίους οδηγούμαστε στα γνωστικά δίκτυα. Ουσιαστικά οι αιτίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το βαθύτερο που σχετίζονται άμεσα με τρία μεγάλα προβλήματα των δικτύων. Την πολυπλοκότητα, την ασύρματη δικτύωση των υπολογιστικών συστημάτων και την ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών (QoS).

Είναι παραδεκτό πως είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελέγξει κανείς συστήματα ή να τα αφήσει να μεταδίδουν απλώς πληροφορίες χωρίς επίβλεψη. Αυτό εν μέρει οφείλεται στο πολύ μεγάλο μέγεθος που μπορεί να

έχει ένα σύστημα [16]. Είναι ασφαλώς αναμενόμενο ότι με την αύξηση του μεγέθους του ένα σύστημα είναι δυσκολότερο να ελεγχθεί και ο κίνδυνος να χαθούν πακέτα και πληροφορίες είναι αυξημένος, μαζί με την πιθανότητα δημιουργίας συμφόρησης. Επίσης πολλά συστήματα είναι εξαιρετικά εξειδικευμένα σε συγκεκριμένα γνωστικά αντικείμενα (οικονομικού, ιατρικού και κοινωνιολογικού ενδιαφέροντος), και πολλές φορές δεν είναι εύκολο για ένα ευφυές δίκτυο να αναγνωρίσει το τι πρέπει να μεταδώσει και τι όχι [1].

Τα ασύρματα δίκτυα από την πλευρά τους ενέχουν μεγαλύτερη δυσκολία στην εφαρμογή και ανάπτυξή τους, κυρίως λόγω του κοινού ενιαίου μέσου μέσα στο οποίο γίνεται η μετάδοση των σημάτων πληροφορίας. Περισσότερο στα ad-hoc δίκτυα, ο κάθε κόμβος είναι υπεύθυνος να αναγνωρίσει αν κάποιο εισερχόμενο σήμα τον αφορά ή όχι. Είναι φανερό πως πρέπει να χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό «εξυπνάδας» ώστε να είναι σε θέση να το κατανοεί.

Πολύ πιο σημαντικός είναι και ο τομέας της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στα ασύρματα κυρίως δίκτυα η μέτρηση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS) είναι εξαιρετικά δύσκολη και πιο περίπλοκη στο να μετρηθεί εξαιτίας της μεταβλητότητας του ίδιου του δικτύου. Σε ένα ad-hoc δίκτυο οι κόμβοι του συστήματος εναλλάσσονται και μπεινοβγαίνουν μέσα στο δίκτυο ανάλογα με το αν είναι απαραίτητη ή όχι η παρουσία τους στο επικοινωνιακό δίκτυο. Η μέτρηση της ποιότητας δεν είναι δυνατό να γίνει κυρίως εξαιτίας του ότι οι μετρήσεις γίνονται για μετάδοση πληροφοριών από άκρη σε άκρη (end to end transmission). Επομένως απαιτείται μεγαλύτερη σταθερότητα και εξειδίκευση.

2. Χαρακτηριστικά cognitive networks και κατηγοριοποίησή τους.

Τα γνωστικά δίκτυα είναι μια ιδιαίτερη μορφή υπολογιστικών δικτύων. Επινοήθηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία για να καλύψουν τις σύγχρονες απαιτήσεις του επιχειρηματικού και όχι κόσμου και να βελτιστοποιήσουν την πληροφόρηση. Τα βασικά χαρακτηριστικά των γνωστικών δικτύων όπως έχει αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα είναι η ιδιάζουσα συμπεριφορά του κάθε κόμβου στο δίκτυο, η προσαρμογή του μέσα από τη συνεχή διαδικασία υπολογισμών των παραμέτρων και φυσικά το να είναι οι καταστάσεις και οι συνθήκες κάτω από διαρκή έλεγχο.

Πολύ σημαντικός παράγοντας που χαρακτηρίζει ένα γνωστικό δίκτυο είναι η συμπεριφορά του (*behavior*) συνολικά και μεμονωμένα για τον κάθε κόμβο – πομπό (radio), του δικτύου. Από τον ορισμό του cognitive δικτύου, είναι φανερό πως κάθε κόμβος λειτουργεί αυτόνομα και ανεξάρτητα. Το κάθε node του δικτύου λειτουργεί ανεξάρτητα. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο, είναι ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να συμπεριφερθεί, αφού υπάρχουν αποκλίσεις από μια εντελώς «εγωιστική» συμπεριφορά μέχρι μια εντελώς «αλτρουιστική», με δυνατότητα συνδυασμού τους ανάλογα με το πώς απαιτείται από την περίπτωση. Οι αλτρουιστικές συμπεριφορές προτιμώνται σε περιπτώσεις επίτευξης καλά σχετικού αποτελέσματος σε περιπτώσεις που επιθυμούμε end to end ποιότητα υπηρεσιών. Αντίθετα οι εγωιστικές συμπεριφορές επιλέγονται για την προσαρμογή στα εκάστοτε περιβαλλοντικά δεδομένα μέσα στα οποία πρέπει να προσαρμοστεί το δίκτυό μας [7].

Ένα τέτοιου είδους δίκτυο βρίσκεται σε συνεχής υπολογιστικές διαδικασίες για την προσαρμογή του στα διαρκώς μεταβαλλόμενα δεδομένα. Είναι απαραίτητη η διαρκής τροφοδότηση του με νέες παραμέτρους για να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε απαιτήσεις. Ασαφείς και ημιτελείς πληροφορίες σχετικά με τις εργασίες του δικτύου από ένα node οδηγούν σε λανθασμένες κινήσεις και προσαρμογές και τελικά σε λανθασμένη συμπεριφορά. Οι ασαφείς πληροφορίες μπορεί να οφείλονται στο ότι ο κάθε κόμβος μπορεί να μη λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες για το σκοπό των άλλων στοιχείων του δικτύου και για το πως αυτοί ιεραρχούνται. Οι ημιτελείς πληροφορίες έγκεινται

στο ότι δεν είναι πάντα γνωστοί οι λόγοι για τους οποίους ο τελικός χρήστης επιλέγει να χρησιμοποιήσει τους πόρους του συγκεκριμένου δικτύου. Σε όλα τα παραπάνω μπορεί να παίξει ρόλο και η ύπαρξη θορύβου στο δίκτυο αλλά και πιθανή σύγχυση στο δίκτυο από τη χρήση του για πολλαπλούς σκοπούς [14].

Ιδανικό χαρακτηριστικό και στοιχείο ενός cognitive δικτύου είναι και ο έλεγχός του σε συνεχή βάση για οποιαδήποτε ενέργεια. Μπορεί να υπάρχουν αρκετοί παράγοντες πάνω στους οποίους τα στοιχεία του δικτύου θα μπορούν να έχουν τον έλεγχο. Αλλάζοντας τις ρυθμίσεις κάθε παράγοντα είτε είναι θέματα ισχύος είτε θέματα συνεκτικότητας, το δίκτυο τροποποιείται για να αντιμετωπίσει και πάλι τις απαιτούμενες ανάγκες και με αυτό τον τρόπο μπορεί και επηρεάζει τη «συμμετρία» του και τις αναλογίες του [12].

Το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να αναπτυχθεί ένα cognitive δίκτυο παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον και αξίζει να αναφερθεί. Ένα cognitive δίκτυο πρέπει να αναπτύσσεται και να δημιουργείται ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίζει αρκετές «καταστάσεις». Έννοιες όπως περιορισμοί, προτεραιότητες και συμπεριφορές για κάθε στοιχείο του δικτύου πρέπει να έχουν προβλεφθεί και σχεδιαστεί για να αντιμετωπιστούν διάφορες περιπτώσεις. Φυσικά ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό που θα οφείλει να αποκτήσει το κάθε δίκτυο είναι και η δυνατότητα να αναγνωρίζει το ίδιο πιθανές νέες καταστάσεις που να μην έχουν προβλεφθεί από τον κατασκευαστή και να μπαίνει σε διαδικασία εύρεσης κατάλληλης παραμετροποίησης για αυτή. Το δίκτυο πρέπει ασφαλώς να είναι ανεξάρτητο από τις διαδικασίες, εννοώντας πως όλες οι διαδικασίες προσαρμογής και αλλαγών να μην είναι διακριτές σε τελικό χρήστη, εφαρμογή, στα αρχικά δεδομένα και φυσικά στο τελικό αποτέλεσμα. Η ίδια αρχή οφείλεται να εφαρμόζεται και στην τελική εμφάνιση του αποτελέσματος. Δε θα πρέπει να απασχολεί ή όχι τον τελικό χρήστη το πώς έγινε η εξαγωγή των αποτελεσμάτων του από κάποιους κόμβους με κεντροποιημένες διαδικασίες ή όχι. Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό είναι πως ανά πάσα στιγμή το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να επαναπρογραμματιστεί ώστε να περιλάβει στις περιπτώσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει καινούριες παραμέτρους [6].

Για να κατανοηθεί καλύτερα η γνωστική διαδικασία χρήσιμο είναι να αναφερθούν και από ποια στοιχεία περιγράφεται και ορίζεται. Για να μπορέσει να μαθαίνει το δίκτυο πρέπει να υπάρχει ένας αλγόριθμος ο οποίος σα σκοπό του θα έχει τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου μέσα από πληροφορίες που δεν είναι πλήρης για το περιβάλλον του [3]. Φυσικά πρέπει να εκμεταλλεύονται και πληροφορίες από πρότερες καταστάσεις και ιστορικά στοιχεία, για να καθοριστούν η τρέχουσα δράση (ο όρος που χρησιμοποιείται εδώ στη βιβλιογραφία είναι *reasoning – ορθολογισμός* [3]). Αυτό που γίνεται αντιληπτό και είναι άκρως επιθυμητό είναι πως οι αλλαγές και η αναπροσαρμογή του δικτύου πρέπει να εκτελείται αρκετά γρήγορα ώστε μια λύση να είναι έτοιμη να δοθεί προτού ακόμα οριστικοποιηθούν οι αλλαγές στις παραμέτρους του περιβάλλοντος. Πολλές φορές αυτό επιτυγχάνεται με το να παραμένει το δίκτυο στατιστικά ασταθές κάποιες στιγμές ώστε τελικά να επιλεγεί η κατάλληλη απόφαση τη στιγμή που χρειάζεται [4]. Η διαδικασία των αλλαγών δεν είναι απαραίτητο να επιτελείται ταυτόχρονα σε όλους τους κόμβους του συστήματος. Το κάθε node μπορεί να αλλάξει τις παραμέτρους του ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με άλλους για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

Το πιο σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη της γνωστικής διαδικασίας είναι η επανατροφοδότηση (feedback loop). Το σύστημά μας υποτίθεται πως είναι σε μια διαδικασία συνεχούς βρόχου για την απόκτηση περισσότερων γνώσεων. Οι αλλαγές στην επίδοση του συστήματος και στις παραμέτρους του για την αντιμετώπιση των καταστάσεων μπορεί να οδηγήσει σε νέες πληροφορίες για είσοδο που θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση νέων καταστάσεων [3]. Η επανατροφοδότηση μπορεί να γίνει με δύο κυρίως τρόπους. Είτε on line είτε off line. Στην πρώτη περίπτωση το feedback εκτελείται την ίδια στιγμή που ένας κόμβος εκτελεί παράλληλα μια λειτουργία. Στη δεύτερη περίπτωση όμως (που είναι και η πιο συνηθισμένη μιας που ο προηγούμενος τρόπος έχει αρκετή δυσκολία), η «εκπαίδευση» του κάθε κόμβου γίνεται μια φορά αφού έχουν συγκεντρωθεί οι απαραίτητες πληροφορίες ώστε να μετατραπούν στην απαραίτητη γνώση.

Βέβαια εκτός από τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα cognitive δίκτυο και που πρέπει να διακατέχεται, υπάρχουν και στοιχεία στα οποία πάντα πρέπει να επεμβαίνει και ο ανθρώπινος παράγοντας, επειδή το ίδιο το δίκτυο δεν μπορεί να τα ελέγξει. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να θεωρηθούν κάποιες ανωμαλίες στη δομή του δικτύου και στη διαδικασία μετάδοσης των πληροφοριών. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιες ασυνήθιστες ή ανεπιθύμητες πληροφορίες που θα επιχειρήσουν τη διέλευση τους μέσα από τη δικτύωση. Αυτό το πρόβλημα γίνεται εντονότερο σε περιπτώσεις που το δίκτυο είναι αρκετά μεγάλο και κάθε manager έχει πρόσβαση και έλεγχο σε τμήματά του που είναι εκ φύσεως περιορισμένα. Εδώ πρέπει να έχει προσεκτική επιλογή των standards από τα οποία αναγνωρίζονται οι ανωμαλίες και η ιεράρχησή τους για την αντιμετώπιση (κυκλοφορία, καθυστερήσεις, απώλεια πακέτων...), αλλά και ο υπεύθυνος να είναι σε θέση να αναγνωρίσει λανθασμένους συναγερμούς ή επαναλαμβανόμενους συναγερμούς.

Πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ελέγχεται διαρκώς είναι και ο έλεγχος για την ύπαρξη ανεπιθύμητων εισβολέων (intruders) ή worms στο δίκτυο. Η ασφάλεια με άλλα λόγια του δικτύου είναι στοιχείο το οποίο δε μπορεί να εξασφαλιστεί εξ' ολοκλήρου από το ίδιο το δίκτυο. Στόχος όμως είναι να διασφαλιστεί η ασφάλεια των εφαρμογών όλων των χρηστών. Είναι μέσα στις διαδικασίες και στις υποχρεώσεις του administrator να διεξάγει περιοδικά ελέγχους και φυσικά να χρησιμοποιεί διαθέσιμο software για την εύρεση και αντιμετώπιση απειλών. Ασφαλώς πρέπει το software να είναι ενημερωμένο με νέα plug-ins ώστε να εντοπίζεται σε πιο σημείο είναι το δίκτυο ευάλωτο (πράγμα που πολλές φορές δεν είναι εύκολο όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των worms που για να εντοπιστούν ίσως χρειάζεται να γίνεται διασταύρωση στοιχείων και ταυτόχρονος έλεγχος πολλών κόμβων). Στις αρμοδιότητες και τους σκοπούς του υπευθύνου είναι και περιορίσει σημαντικά το χρονικό παράθυρο που το σύστημα είναι ευάλωτο (*window of vulnerability*) [3], δηλαδή το χρονικό διάστημα από το οποίο μια νέα έκθεση σε κίνδυνο έχει εντοπιστεί μέχρι την παροχή της λύσης και την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η επίτευξη του στόχου πραγματοποιείται

μέσα από την ελαχιστοποίηση του αριθμού των πιθανών απειλών και την αύξηση των μέτρων εντοπισμού και ασφαλείας.

Εφόσον η ανάπτυξη και η εξέλιξη των cognitive δικτύων είναι σχετικά καινούριος κλάδος, η κατηγοριοποίηση και ο διαχωρισμός τους δεν είναι πολύ εύκολος και απλός. Ένας τρόπος για να ταξινομηθούν αυτού του είδους τα δίκτυα είναι να αναγνωρίσουμε τη στρατηγική κάτω από την οποία έχει σχεδιαστεί το δίκτυο και μέσα από την οποία το δίκτυο γενικεύει στη γνώση. Όταν εντοπιστούν τέτοιες ιδιότητες μπορούμε να εντάξουμε τα δίκτυα αυτά σε μια κατηγορία.

3. Μέσα σχεδιασμού δικτύων και αρχιτεκτονικές προσέγγισης.

Τα τεχνολογικά μέσα πάνω στα οποία μπορούμε να βασιστούμε για την δημιουργία και σχεδίαση cognitive δικτύων βασίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην εκμετάλλευση και δημιουργία γνωστικών πομπών – κόμβων του δικτύου (cognitive radios) ή στη σχεδίαση δικτύου όχι με τον παραδοσιακό τρόπο αλλά με cross-layer αρχιτεκτονική. Ανώτερος στόχος και των δύο τεχνικών είναι το συνολικό δίκτυο να οδηγείται ευκολότερα στη λήψη των αποφάσεων, στην απόκτηση περισσότερων πληροφοριών από το περιβάλλον και να τελικά να καταλήξουν σε μια καλύτερη συμπεριφορά.

Οι γνωστικοί πομποί (cognitive radios) μπορούμε να πούμε πως είναι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα που έχει επίγνωση του περιβάλλοντός του και χρησιμοποιεί μεθόδους για να μάθει από το περιβάλλον και προσαρμόζει την εσωτερική του κατάσταση για να επιτύχει τις απαραίτητες τροποποιήσεις (σε ισχύ, συχνότητα, διαμόρφωση) με βασικό του σκοπό την αξιόπιστη επικοινωνία και επαρκή χρήση του φάσματος τηλεπικοινωνιών [5]. Ο παραπάνω στόχος μπορεί να επιτευχθεί κατασκευαστικά από το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται στους κόμβους και το οποίο συνήθως κατασκευάζεται με τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού μοντελοποίησης όπως η Radio Knowledge Representation Language (RKRL). Πρόκειται δηλαδή για μια μορφή της Knowledge Query Markup Language (KQML) που και αυτή βασίζεται στην Standard Generalized Markup Language (SGML – από την οποία έχουν προέρθει και οι γνωστές σε όλους HTML και XML).

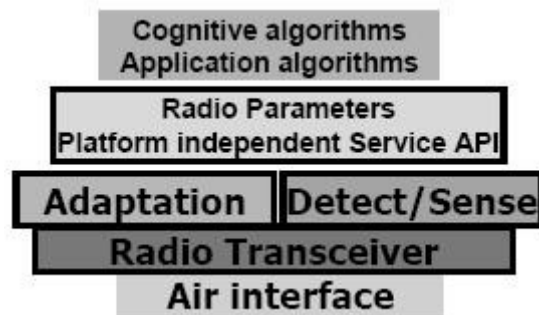
Μια πιο ενδιαφέρουσα μορφή όμως κατασκευής του δικτύου είναι ο επανασχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του δικτύου πέρα από την παραδοσιακή προσέγγισή του και η «διασταύρωση» των επιπέδων του δικτύου, επιτρέποντας το να είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες σε γειτονικά και μη επίπεδα [13]. Βέβαια αυτό που πρέπει να αναφερθεί ότι μια τέτοια αρχιτεκτονική προσέγγιση είναι παράτολμη και ίσως επικίνδυνη καθώς ανατρέπει τις υπάρχουσες αρχές σχεδιασμού και ίσως να αποτρέψει μελλοντικές επεκτάσεις, οδηγώντας στον σχεδιασμό από το μηδέν ανάλογα με

τις απαιτήσεις. Η πορεία που είχε προταθεί αρχικά ήταν ο σχεδιασμός και η ένωση των δυο κατώτερων επιπέδων του μοντέλου των δικτύων. Ανεξάρτητα όμως από το ποια επίπεδα θα συγχωνευθούν, το αποτέλεσμα είναι σχετικά το ίδιο. Όλα τα υπόλοιπα επίπεδα τα οποία βρίσκονται πάνω από αυτά και κάτω από αυτά οι διεπαφές (interfaces) και οι λειτουργίες που εκτελούνται είναι οι ίδιες όπως και πριν. Ανασταλτικός παράγοντας όμως είναι πως τέτοιου είδους αρχιτεκτονικές βελτιστοποιούν το αποτέλεσμα για ένα συγκεκριμένο σκοπό σε βάρος άλλων πιθανών μελλοντικών απαιτήσεων.

Μια διαφορετική προσέγγιση στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος έχει να κάνει και με το σχεδιασμό συστημάτων ανάμεσα στα επίπεδα του δικτύου για τη μετάδοση πληροφοριών είτε σε γειτονικά είτε σε μη γειτονικά επίπεδα. Εφαρμογή του τρόπου αυτού έχει γίνει με τη δημιουργία διεπαφών ανάμεσα σε διάφορα επίπεδα, διαφορετικών από αυτών που ήδη προϋπάρχουν. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει ανάμεσα στο επίπεδο μεταφοράς (transport layer) και το φυσικό επίπεδο (physical layer) του δικτύου για την αύξηση της αποδοτικότητας ενεργειακά και με βάση το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων [2]. Σε αυτή την περίπτωση ελλοχεύει ο κίνδυνος να αυξηθεί σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό η πολυπλοκότητα του δικτύου αλλά και αμφισβητείται κατά κάποιο τρόπο και η υπάρχουσα μορφή αρχιτεκτονικής με τη διαστρωμάτωση σε layers. Αυτό μπορεί και να αποφευχθεί εάν το θέμα προσεγγιστεί διαφορετικά και χρησιμοποιηθούν όλα τα επίπεδα, το καθένα με τον τρόπο του για να ανιχνευτούν ανάγκες και οι απαιτήσεις της στιγμής. Το θετικό στη συγκεκριμένη προσέγγιση είναι η ενεργή συμμετοχή όλων των στοιχείων για την καλύτερη και γρηγορότερη αντίληψη των αναγκών και τη γρηγορότερη προσαρμογή. Στον αντίποδα όμως αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα πως κάθε ένας κόμβος του δικτύου λειτουργεί ανεξάρτητα και δεν αλληλεπιδρά με άλλους οπότε κάθε κόμβος λειτουργεί σύμφωνα με τα πρότυπα της εγωιστικής συμπεριφοράς [13].

Μια εξειδικευμένη μορφή ασύρματου cognitive δικτύου θα μπορούσε να περιγραφεί μέσα από ένα αρχιτεκτονικό σχήμα όπως περιγράφεται παρακάτω [8]. Ένας αλγόριθμος μεταγωγής πακέτων αναπτυγμένος σε λογισμικό μπορεί να δημιουργηθεί για να εφαρμοστεί σε υλικό εκπομπής. Το

λογισμικό αυτό εκτελείται ώστε να συνδυάζεται η διαδικασία του machine learning με τη λειτουργία εκπομπής. Ο πυρήνας του machine learning σχεδιάζεται με σκοπό να επιτρέπει γνωστικές λειτουργίες για ασύρματες εφαρμογές. Κάθε πομπός, ο οποίος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διαμορφώνεται, θα ελέγχεται από τον αλγόριθμο αυτό μέσω μιας διεπαφής που θα είναι ανεξάρτητη από τον πομπό. Εφόσον υπάρχει αυτή η ανεξαρτησία, η γενική γνώση του δικτύου και η μάθηση εφαρμόζονται για κάθε είδους πρόβλημα.



Εικόνα 1: Μοντελοποίηση συστήματος cognitive πομπών [8].

Η γνωστική διαδικασία επικεντρώνεται στα επίπεδα 1 και 3 για να επιτευχθεί η cross – layer βελτιστοποίηση. Οι αλγόριθμοι, μπορούν να επεκταθούν στα ανώτερα επίπεδα και να τροποποιηθούν ώστε να αντιμετωπίζουν διάφορες συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Ο κάθε κόμβος του δικτύου λειτουργεί ή ανεξάρτητα ή από κοινού για την βελτιστοποίηση τους συστήματος και τη διαχείριση των πόρων. Ο αλγόριθμος του machine learning αποτελείται από τρία επίπεδα: αναγνώριση (recognition), ανάλυση (reasoning), και προσαρμογή (adaptation) που μπορεί να γίνει είτε ξεχωριστά σε κάθε κόμβο είτε από κοινού σε όλη την έκταση του δικτύου όπου κάθε κομμάτι του δικτύου απαιτεί διαφορετικό επίπεδο νοημοσύνης και διαφορετικά επίπεδα βελτιστοποίησης [8].

4. Μελλοντική έρευνα – συμπεράσματα.

Αυτό που γίνεται αντιληπτό είναι πως τα γνωστικά δίκτυα ακόμα δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως και πως πολύς δρόμος χρειάζεται ακόμα για να καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε όλες τις ιδιότητες και να ωφεληθούμε από τα θετικά αποτελέσματά τους. Η έρευνα επάνω στα cognitive networks πρέπει να συνεχιστεί με αρκετά πειράματα που θα περιλαμβάνουν τη συστηματική μελέτη διάφορων ανεξάρτητων παραγόντων ώστε να κατανοηθεί η επίδραση όλων αυτών των μεταβλητών στις εξαρτημένες μεταβλητές που περιγράφουν τη συμπεριφορά. Φυσικά η επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών προς μελέτη είναι δύσκολη και εξαρτάται κυρίως από την υπό εξέταση κατάσταση και περίπτωση. Επίσης πρέπει να γίνονται και μελέτες που να αφορούν πολλές και διαφορετικές περιπτώσεις των ίδιων μεταβλητών. Μερικά από αυτά θα μπορούσαμε να ασχοληθούμε είναι οι εμπειρικές επιδράσεις, όπως ο αριθμός των παρατηρήσεων που είναι διαθέσιμες για το σύστημα εκμάθησης, οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών των δεδομένων, όπως ο βαθμός θορύβου ή του ποσοστού χαμένων στοιχείων, οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών των εργασιών, όπως η πολυπλοκότητά τους και τα προβλήματα διαμόρφωσης σε ταυτόχρονα προβλήματα, οι συνέπειες των χαρακτηριστικών του συστήματος και οι επιδράσεις της γνώσης του υπόβαθρου, όπως οι πληροφορίες για η δομή του δικτύου και το εύρος ζώνης [3].

Φυσικά υπάρχει ακόμα πολύς δρόμος και μεγάλη έρευνα να γίνει και σε άλλους τομείς για να έχουμε σημαντικά αποτελέσματα. Πρέπει να δαπανηθεί πολύς χρόνος και αρκετοί πόροι για να μελετηθούν τα cognitive δίκτυα σε μεγάλης και ευρείας κλίμακας συστήματα με ένα μεγάλο πλήθος κόμβων, καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις εγείρονται ζητήματα συντονισμού και συγχρονισμού τους αλλά και της κατάλληλης οργάνωσής τους, ώστε το δίκτυο να έχει πρακτικά και χρήσιμα αποτελέσματα.

Εξυπακούεται πως δε θα είχε απολύτως κανένα νόημα να αναπτυχθεί το κατάλληλο λογισμικό που θα έδινε τα σωστά αποτελέσματα για κάποιο συγκεκριμένο ζήτημα εάν αυτό εφαρμοζόταν αποκλειστικά και μόνο για μια

εφαρμογή. Απαιτείται για ερευνητικούς, και για οικονομικούς λόγους το σύστημα να λειτουργεί σε κάθε σύστημα, και να είναι ανεξάρτητο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε πλατφόρμας ή και από την κατασκευαστική δομή του κάθε κόμβου (platform interoperability) [11].

Η αξία τέτοιων δικτύων μπορεί να αναγνωριστεί και μέσα από την πλειονότητα των εφαρμογών που μπορούν να βρουν τα cognitive δίκτυα. Εφαρμογές στην κινητή τηλεφωνία, αλλά και στην ανεξαρτητοποίηση της συμπεριφοράς του δικτύου από τη θέση του χρήστη, μπορούν να του εξασφαλίσουν τη δυνατότητα μετακίνησης χωρίς την αλλοίωση των αποτελεσμάτων και την ορθή λειτουργία του δικτύου. Τα δίκτυα αυτά άλλωστε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα ad-hoc όπου η ανεξαρτησία και η άμεση προσαρμογή στις τρέχουσες καταστάσεις είναι επιβεβλημένη. Γνωστικές διαδικασίες είναι απολύτως απαραίτητες και στα δίκτυα αισθητήρων που θα πρέπει εξαιτίας και μόνο της φύσης τους να αναγνωρίζουν πολύ γρήγορα τις συνθήκες τις οποίες μελετούν και τις διάφορες αλλαγές τους σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα [11].

Η εξέλιξη όμως των δικτύων πρέπει να περάσει από πολλά στάδια για να γίνει εύκολη και διαθέσιμη η χρήση τους από το ευρύ κοινό. Ουσιαστικά θα πρέπει να προστεθούν οι γνωστικές διαδικασίες στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Θα πρέπει να καταβληθεί ιδιαίτερη προσπάθεια για να περάσουν οι διαδικασίες σε ανώτερα ή κατώτερα επίπεδα των δικτύων και να γίνουν εφαρμογές πάνω σε ετερογενή δίκτυα. Το επόμενο και τελικό αποτέλεσμα θα είναι τα δίκτυα να γίνουν πλήρως γνωστικά και να εκμεταλλεύονται ολόκληρο το φάσμα των τηλεπικοινωνιών [10]. Ασφαλώς και όλα αυτά προϋποθέτουν όραμα από πλευράς δημιουργών, φαντασία και κυρίως χρηματοδότηση!!!!

Αναφορές - Βιβλιογραφία

- [1]. C.L.Barrett, S.Eubank, and M.V.Marathe, 2005, "*Modeling and simulation of large biological, information and socio-technical systems: An interaction based approach*", tech. rep., Virginia Bioinformatics Institute.
- [2]. M.Chiang, 2004, "*To layer or not to layer: Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks*", in Proc. of IEEE INFOCOM, vol. 4, pp. 2525–2536.
- [3]. T.Dietterich and P.Langley, 2003, "*Machine learning for cognitive networks: Technology assessment and research challenges*", tech. rep., Oregon State University.
- [4]. E.J.Friedman and S.Shenker, 1993, "*Learning by distributed automata.*", available at <http://citeseer.ist.psu.edu/friedman93learning.html>.
- [5]. S.Haykin, February 2005, "*Cognitive radio: Brain-empowered wireless communication*", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 23, pp. 201–220.
- [6]. J.Jin and K.Nahrstedt, 2004, "*QoS specification languages for distributed multimedia applications: A survey and taxonomy*", IEEE Multimedia, vol. 11, no. 3, pp. 74–87.
- [7]. M. Katz, June 2007, "*Towards cooperative and cognitive wireless networks.*", Application Session, IEEE ICC 2007.
- [8]. Bin Le, Francisco A.G. Rodriguez, Qinqin Chen, Bin Philip Li, Feng Ge, Mustafa ElNainay, Thomas W. Rondeau, and Charles W. Bostian, 2007, "*A PUBLIC SAFETY COGNITIVE RADIO NODE*", SDR Forum Technical Conference.
- [9]. MOTOROLA TECHNOLOGY POSITION PAPER, 2005, "*Cognitive Networks: A paradigm for wireless communication in which networks adapt, in a self-aware manner, their topology and operational parameters to fulfil specific tasks.*" Motorola, Inc. 2005
- [10]. Shulan Feng, 28 – 5 – 2008, "*Cognitive Network and Corresponding Research Activities in Huawei*", HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD, <http://www.huawei.com>
- [11]. Manolis Sifalakis, Oct 2004, "*From Active Networks to Cognitive Networks*", University of Lancaster, dehstuhl seminar

- [12]. Liang Song, "*Large Scale Cognitive Wireless Networks*", OMESH Networks Inc. Toronto, Ontario, Canada
- [13]. V. Srivastava and M. Motani, 2005, "*Cross-layer design: A survey and the road ahead*", IEEE Communications Magazine, vol. 43, no. 12, pp. 112–119.
- [14]. R.W. Thomas, 15 June 2007, "*Cognitive Networks*", Blacksburg, Virginia, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [15]. R.W. Thomas, L.A. DaSilva, and A.B. Mackenzie, Nov 2005, "*Cognitive networks*", in Proc. of IEEE DySPAN 2005, pp. 352–360.
- [16]. D.J. Watts, 1999, "*Small Worlds*", Princeton Studies in Complexity, Princeton University Press.