



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Αλεξίου Δήμητρα

Επιβλέπουσα: Σπυριδούλα Μαργαρίτη

Άρτα, Φεβρουάριος, 2020

TRACEABILITY NETWORK ANALYSIS AND MODELING

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Σπυριδούλα Μαργαρίτη,

2. Μέλος επιτροπής

Δημήτρης Λιαροκάκης,

3. Μέλος επιτροπής

Ελευθέριος Στεργίου,

© Αλεξίου, Δήμητρα, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Αλεξίου, Δήμητρα

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί το τελευταίο μέρος ενός μεγάλου δρόμου που αποφάσισα να πάρω πριν αρκετά χρόνια, όταν αποφάσισα να δώσω κατατακτήριες στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής αφού είχα ολοκληρώσει τις σπουδές μου στο Μαθηματικό Ιωαννίνων. Έφτασε λοιπόν η στιγμή να ευχαριστήσω όλους αυτούς που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Σπυριδούλα Μαργαρίτη. Η οποία πίστεψε σε εμένα ήταν πάντα δίπλα μου σε οτιδήποτε τροχοπέδη εμφανίστηκε και με τις πολύτιμες συμβουλές της με έβγαζε από τα αδιέξοδα στα οποία βρισκόμουν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου Δημήτρη που με τη στάση του με κατεύθυνε να φέρω εις πέρας τις φοιτητικές μου υποχρεώσεις ώστε να συνεχίσω τις σπουδές που τόσο αγαπώ. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τον πατέρα μου που μου δίδαξε ότι η μάθηση και η γνώση είναι τρόπος ζωής, κάτι το που πιστεύω θα διατηρήσω σαν κανόνα στη ζωή μου.

Ό, τι δεν συνέβη ποτέ, είναι ό, τι δεν ποθήσαμε αρκετά.

Νίκος Καζαντζάκης, 1883-1957
Έλληνας συγγραφέας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γράφοι αποτελούν ένα στοιχείο των διακριτών μαθηματικών με εφαρμογές σε όλες τις επιστήμες. Όλες οι καταστάσεις που υπάρχουν γύρω μας μπορούν εύκολα να παρασταθούν με γράφους, έχοντας ως κόμβους τα άτομα και ως ακμές τις δραστηριότητες. Επίσης, η ιχνηλασιμότητα τα τελευταία χρόνια αποτελεί μία νέα έννοια για τις επιχειρήσεις αποκτώντας όλο και μεγαλύτερη σημασία. Οι γράφοι μπορούν να αξιοποιηθούν στην εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας για τη μοντελοποίηση και την αποτύπωση του δικτύου που σχηματίζεται από τις συσκευές ή τις απαιτήσεις ή τις διαδρομές που ακολουθούν τα προϊόντα κατά τον κύκλο ζωής τους. Η παρούσα εργασία μελετά την ιχνηλασιμότητα ως γράφημα και τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά επίπεδα αλλά και έχουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, αναπαράστασης ή οπτικοποίησης. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του γράφου και βασικών ορισμών αυτού. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται εκτενώς η έννοια της ιχνηλασιμότητας. Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση δύο επιστημονικών άρθρων που σχετίζονται με την έννοια της ιχνηλασιμότητας στα δίκτυα. Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια μοντελοποίησης ενός δικτύου το οποίο περιέχει προϊόντα λογισμικού.

Λέξεις-κλειδιά: δίκτυα, γράφοι, ιχνηλασιμότητα, μοντελοποίηση

ABSTRACT

Graphs are an element of discrete mathematics with applications in all sciences. All the situations around us can easily be represented by graphs, with individuals as nodes and activities as edges. Also, traceability in recent years is a new concept for businesses becoming more and more important. The above two concepts, combined with modeling, are a rapidly evolving industry with many applications. The present study examines these three concepts and their interrelationships. The first chapter presents a presentation of the graph and its basic definitions. The second chapter extends the concept of traceability. The third chapter then analyzes two scientific articles related to the concept of traceability in networks. Finally, an attempt is made to model a network containing software products.

Keywords: networks, graphs, traceability, modeling

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ.....	12
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ / ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
Γενική Παρουσίαση.....	14
1. Βασικές έννοιες από τη θεωρία γράφων	17
1.1. Γενικές έννοιες γράφων.....	19
1.2. Μη κατευθυνόμενος και κατευθυνόμενος γράφος.....	23
1.3. Γενικά χαρακτηριστικά των γράφων	25
1.4. Ιστορική αναδρομή.....	26
1.5. Εφαρμογές Γράφων.....	28
2. Βασικές έννοιες ιχνηλασιμότητας(traceability).....	32
2.1. Είδη Ιχνηλασιμότητας.....	33
2.2. Βασικές αρχές ιχνηλασιμότητας	34
2.3. Στόχοι ιχνηλασιμότητας.....	34
2.4. Οφέλη ιχνηλασιμότητας	34
3. Η Ιχνηλασιμότητα από την οπτική των δικτύων.....	35
3.1. Ανάλυση στο Άρθρο 1 ^ο	35
3.2. Ανάλυση του Άρθρο 2 ^ο	40
3.3. Μοντελοποίηση Δικτύου Ιχνηλασιμότητας.....	42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Από τα Διακριτά μαθηματικά στα social media	17
Εικόνα 2 : Ένα παράδειγμα Γράφου	18
Εικόνα 3: Παράδειγμα γράφου με τον αντίστοιχο πίνακα γειτνίασης.....	20
Εικόνα 4 : Η κορυφή 1 αποτελεί βρόγχο	20
Εικόνα 5: Παράδειγμα Γράφου	21
Εικόνα 6: Πεπερασμένος γράφος.....	22
Εικόνα 7 : Στοιχειώδης Γράφος	22
Εικόνα 8: Ένας μη κατευθυνόμενος γράφος.....	23
Εικόνα 9: Ένας κατευθυνόμενος γράφος.....	23
Εικόνα 10: Γράφος με μονοπάτι	24
Εικόνα 11 : Γράφος με 5 κορυφές	25
Εικόνα 12: Γράφοι με girth 5 και 6 αντίστοιχα.....	26
Εικόνα 13 : Η μορφή που είχε η πόλη εκείνη την εποχή με τα δύο νησιά και τις επτά διάσημες γέφυρες.....	27
Εικόνα 14 : Η απεικόνιση του Euler με τη χρήση γράφου	27
Εικόνα 15 : Εφαρμογές γράφων	28
Εικόνα 16 : Ένα απλό οδικό δίκτυο απεικονίζεται με τη χρήση γράφων	29
Εικόνα 17 : Ο χάρτης των αερομεταφορών σε όλο το κόσμο.....	30
Εικόνα 18 : Μορφή γράφου σε πραγματικά δεδομένα.....	30
Εικόνα 19 : Το νευρωτικό δίκτυο του εγκεφάλου	31
Εικόνα 20: Το δίκτυο που δημιουργείται σε ένα εργοστάσιο	31
Εικόνα 21 : Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων (πηγή: 5)	37
Εικόνα 22 : Γράφος όπου φαίνεται οι βασικές επιχειρήσεις (πηγή : 10)	40
Εικόνα 23 : Γράφος με τις βασικές επιχειρήσεις (πηγή :10)	41
Εικόνα 24 : Τα στοιχεία του γράφου (πηγή: 18)	43
Εικόνα 25 : Ο γράφος(πηγή : 18).....	44
Εικόνα 26: Η εικόνα του γράφου με το πρόγραμμα gerhi	44
Εικόνα 27: Μέσος όρος (Average).....	45
Εικόνα 28: Σταθμικός μέσος-Average weight-	45

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ / ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Γράφος- Γράφημα(graph) : ένα διατεταγμένο ζεύγος $G=(V,E)$, όπου V το σύνολο των κορυφών και E το σύνολο των ακμών.

Ιχνηλασιμότητα(traceability) : η διαδικασία κατά την οποία γνωρίζουμε την ακριβή θέση ενός προϊόντος στο δίκτυο εφοδιασμού, τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται καθώς και τα επιμέρους δίκτυα από τα οποία προέρχονται τα συστατικά του.

Μοντελοποίηση(modeling) : η χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσέγγιση ενός φαινομένου

Δίκτυο(network): ένα σύμπλεγμα από γραμμές που μοιάζει με δίκτυο. Κάθε δίκτυο αποτελείται από γραμμές που συνδέουν μεταξύ τους τους κόμβους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενική Παρουσίαση

Δίκτυα-Γράφοι και Ιχνηλασιμότητα

Τα τελευταία χρόνια ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα που απασχόλησαν σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αυτά των διατροφικών κρίσεων. Το 1996 εμφανίστηκε η νόσος των τρελών αγελάδων (σπογγώδη εγκεφαλοπάθεια) μία ασθένεια που μεταδίδεται από τα βοοειδή στον άνθρωπο και προκάλεσε θάνατο και ανυπολόγιστη οικονομική ζημία. Έπειτα, ακολούθησε η νόσος των πουλερικών. Ενώ το 2008 στην Κίνα ξέσπασε κρίση με τα γαλακτοκομικά προϊόντα, με πολλούς ανθρώπους να πεθαίνουν και χιλιάδες να δηλητηριάζονται από μολυσμένα τρόφιμα. Μέχρι και σήμερα έχουμε πολλά παρόμοια περιστατικά τα οποία θορύβησαν τους καταναλωτές. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αλλάξουν δραματικά οι εφοδιαστικές αλυσίδες. Δημιουργήθηκε η ανάγκη χαρτογράφησης των εφοδιαστικών αλυσίδων, για να υπάρχει πλήρης έλεγχος τόσο από την εταιρεία σε τυχόν ελαττωματική παρτίδα όσο και για τον καταναλωτή ώστε να ξέρει από πού προέρχεται το προϊόν που διαθέτει στα χέρια του καθώς και τα συστατικά από τα οποία προέρχεται. Οι νέες αυτά δεδομένα δημιούργησαν την ανάγκη της ιχνηλασιμότητας. Το τελικό προϊόν μέχρι να καταλήξει στα χέρια του καταναλωτή περνάει από πάρα πολλά στάδια. Η σύνθεση όλων αυτών των δικτύων φτιάχνουν ένα γράφο. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται σύνθετα δίκτυα και σχετίζονται με πολλούς τομείς της σύγχρονης κοινωνίας. Σε συνδυασμό με την μοντελοποίηση αυτών των δικτύων μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα, να βελτιώσουμε την εφοδιαστική αλυσίδα, να αποτρέψουμε πιθανά λάθη και να εντοπίσουμε πολύ πιο εύκολα το σημείο από το οποίο ξεκινάει το πρόβλημα.

Ορισμός του προβλήματος

Σήμερα, η εξασφάλιση της ιχνηλασιμότητας από τις επιχειρήσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα, και μάλιστα σε πολλούς τομείς, όπως των τροφίμων, επιβάλλεται από τη νομοθεσία. Για την υλοποίηση της ιχνηλασιμότητας απαιτούνται μια σειρά από διαδικασίες (π.χ. συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων) σε διάφορα στάδια και με διαφορετικούς τρόπους. Σε ένα τέτοιο σύστημα είναι απαραίτητο να διασφαλίζεται η διαθεσιμότητα της πληροφορίας, και «προς τα μπρος» και «προς τα

πίσω» καθοδηγούμενη από τις συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων που συλλέγονται κατά την παρακολούθηση των προϊόντων από την παραγωγή τους έως την απόσυρσή τους ή από το «χωράφι στο ράφι» εφόσον πρόκειται για προϊόντα τροφίμων.

Το ερώτημα είναι αν το αποτέλεσμα αυτής της εφαρμογής της ιχνηλασιμότητας μπορεί να μοντελοποιηθεί και να αναπαρασταθεί ως ένα σύνολο από κόμβους με δεδομένα ώστε οι μεταξύ τους συσχετίσεις να επιτρέπουν την μετάβαση, από τον έναν κόμβο σε έναν άλλο.

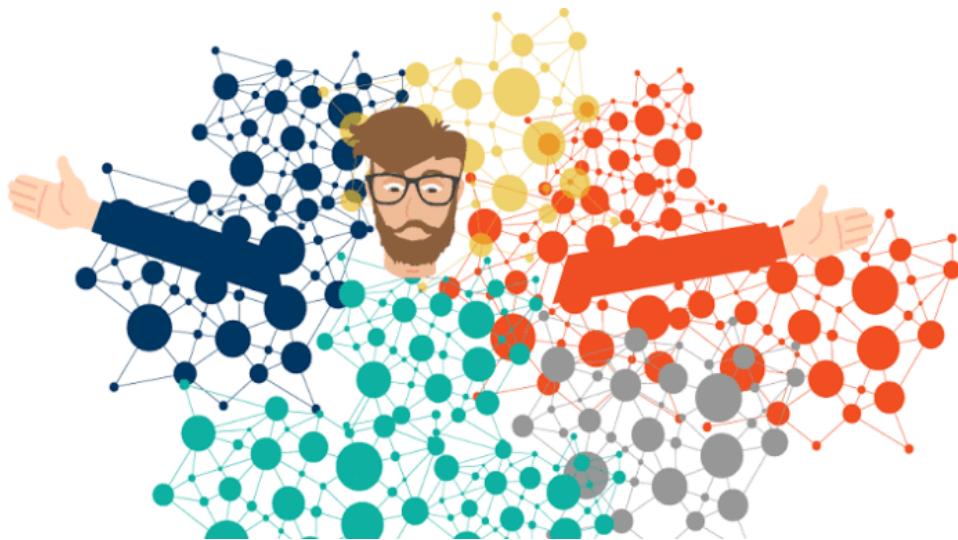
Η παρούσα πτυχιακή εξετάζει αν και κατά πόσο ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας μπορεί να μελετηθεί από την οπτική των δικτύων. Απαραίτητο για την μελέτη αυτών των γράφων είναι η μοντελοποίηση, ώστε να γίνει περαιτέρω μελέτη και εξαγωγή πληροφοριών για αντιμετώπιση προβλημάτων ή πρόληψη μελλοντικών επιβλαβών καταστάσεων.

Στόχος

Στόχος της παρούσα πτυχιακή είναι η μελέτη της μοντελοποίησης της ιχνηλασιμότητας και των δικτύων εφοδιασμού ως σύνθετο σύστημα και η αναπαράστασή τους ως δίκτυο.

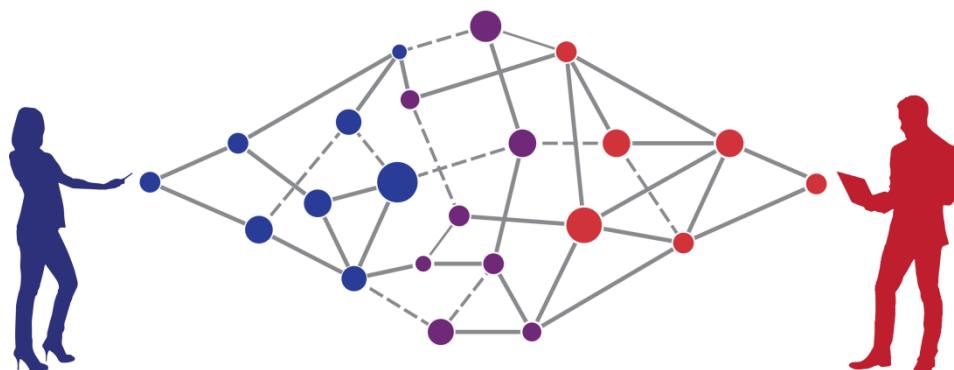
Δομή πτυχιακής

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της θεωρίας των γράφων. Αναλύονται κάποιοι βασικοί ορισμοί που θα χρειαστούν και στα επόμενα κεφάλαια. Έπειτα παρουσιάζονται κάποια ιστορικά στοιχεία για τους γράφους και τα διακριτά μαθηματικά. Τέλος, αναφέρονται οι εφαρμογές των γράφων στις επιμέρους επιστήμες. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μιας εκτενής περιγραφή στην έννοια της ιχνηλασιμότητας. Επίσης, καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της ιχνηλασιμότητας και η χρησιμότητάς της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση δύο άρθρων τα οποία χρησιμοποιούν την γράφους για να αναλύσουν τη γραμμή εφοδιασμού ενός εργοστασίου. Τέλος, χρησιμοποιώντας δεδομένα δημιουργήθηκε ένα δίκτυο σε *gerhi* και εξάχθηκαν αποτελέσματα.



1. Βασικές έννοιες από τη θεωρία γράφων

Το γράφημα ή πιο ορθά γράφος(graph), για να μη συγχέεται με την έννοια των γραφημάτων συναρτήσεων, αποτελεί ένα κλάδο των Διακριτών μαθηματικών με εφαρμογές σε όλες τις επιστήμες, όπως η Πληροφορική και η κοινωνιολογία. Η θεωρία των γράφων άρχισε να αναπτύσσεται τον 18^ο αιώνα με αφετηρία το πρόβλημα “των επτά γεφυρών”. Η πόλη Königsberg στο μακρινό 1736 αποτελούνταν από 2 νησιά και 7 γέφυρες. Οι κάτοικοι της περιοχής ήθελαν να μάθουν αν μπορούν να διανύσουν όλη τη πόλη περνώντας από κάθε γέφυρα μόνο μία φορά. Ο μαθηματικός Euler προσπάθησε να λύσει το παραπάνω πρόβλημα με τη χρήση μαθηματικών εφαρμόζοντας την θεωρία των γράφων. Έπειτα ο Kirchoff το 1847 άρχισε να φτιάχνει τη θεωρία των δέντρων και να την εφαρμόζει στα ηλεκτρικά δίκτυα.



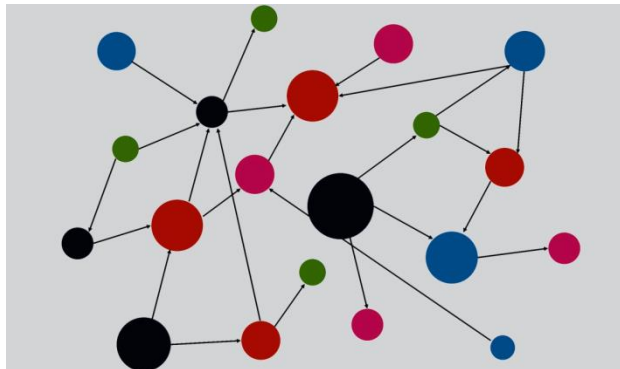
Εικόνα 1 : Από τα Διακριτά μαθηματικά στα social media

Η θεωρία των γράφων άρχισε να έχει εφαρμογή και σε άλλες επιστήμες ενώ σήμερα εφαρμόζεται σε όλα τα δίκτυα. Το σύγχρονο περιβάλλον με την γενική του έννοια, είτε αυτό αφορά κοινωνικά ζητήματα είτε επιστημονικά ζητήματα, αποτελεί μια τεράστια βάση δεδομένων που συνεχώς αλλάζει με την εισχώρηση νέων πληροφοριών. Οι επιστήμονες συλλέγουν, παρατηρούν ένα πολύ μεγάλο μέρος αυτών και βγάζουν συμπεράσματα τα οποία τα χρησιμοποιούν για διάφορους σκοπούς. Πολλά από αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούν τη θεωρία των διακριτών μαθηματικών για να απεικονίσουν τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Οι γράφοι(graph) και τα δίκτυα(network) αποτελούν

μια σύγχρονη κατάσταση που συνεχώς παρατηρούμε γύρω μας. Ένα από τα μεγάλα προτερήματα είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν σε πλήθος ερευνών, όχι μόνο σε θέματα που αφορούν τις συγγενείς επιστήμες των μαθηματικών. Οι γράφοι και τα δίκτυα έχουν εφαρμογές σε δομές όπως τα δίκτυα επικοινωνιών, τα οδικά δίκτυα, τα αεροπορικά δίκτυα αλλά και κοινωνικά δίκτυα(social media). Πλήθος ερευνητών έχει ασχοληθεί με την μελέτη των γράφων-δικτύων αλλά και τα προϊόντα(υλικά και άυλα) που κινούνται μέσα σε αυτούς τους δρόμους.

Ορισμός γράφου

Σύμφωνα με τους S. Lipschutz και M. Lipson «γράφος είναι το διατεταγμένο ζεύγος $G=(V,E)$, όπου V σύνολο σημείων και E διμελής σχέση πάνω στο V . Τα στοιχεία του V καλούνται κορυφές (απαντώνται και ως κόμβοι). Τα στοιχεία του E καλούνται ακμές (απαντώνται και ως τόξα) οι οποίες είναι ευθύγραμμο ή καμπύλο τμήματα με άκρα ένα ή δύο στοιχεία του συνόλου V ».



Εικόνα 2 : Ένα παράδειγμα Γράφου

1.1.Γενικές έννοιες γράφων

Γειτονικές κορυφές

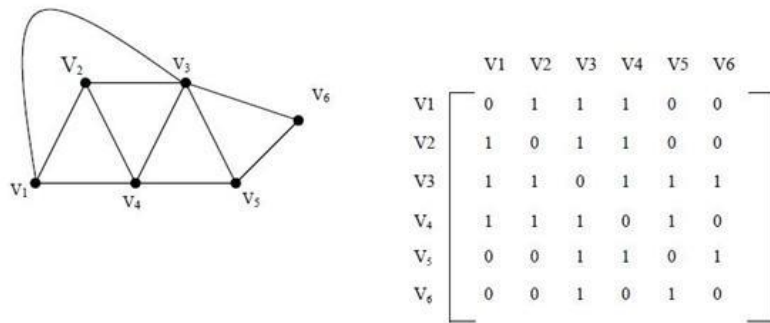
Θα λέμε ότι οι κορυφές u και v είναι γειτονικές (adjacent) αν υπάρχει ακμή $e=\{u,v\}$ που συνδέει άμεσα τις δύο κορυφές. Στην περίπτωση αυτή, τα u και v ονομάζονται άκρα σημεία(endpoints) της e , και λέμε ότι η e συνδέει (connects) το u με το v . Επίσης, λέμε ότι η ακμή e προσπίπτει (incident) στο καθένα από τα άκρα της σημεία u και v .

Τρόπος αναπαράστασης γράφων

Οι γράφοι παρίστανται με διαγράμματα του επιπέδου με φυσικό τρόπο. Ειδικότερα, κάθε κορυφή v του V παρίσταται με μια τελεία (ή ένα μικρό κύκλο), και κάθε ακμή $e=\{v_1, v_2\}$ παριστάνεται με μια καμπύλη που συνδέει τα άκρα της σημεία v_1 και v_2 . Οι γράφοι αναπαρίστανται επίσης με πίνακες γειτνίασης. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τους γράφους στους υπολογιστές χρησιμοποιούμε τους πίνακες γειτνίασης. Οι πίνακες γειτνίασης αποτελούνται από στοιχεία 0 και 1 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$A[i,j] = \begin{cases} 1, & (v_i, v_j) \in E \\ 0, & (v_i, v_j) \notin E \end{cases} \quad (1)$$

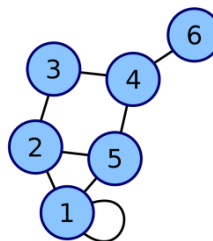
Στην εικόνα 3 παρατηρούμε έχουμε ένα γράφο με έξι κορυφές($v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$) και τον αντίστοιχο πίνακα γειτνίασης. Όπως φαίνεται από τον τύπο (1) κάθε στοιχείο του πίνακα παίρνει τιμή 0 ή 1 σύμφωνα με τις ακμές που υπάρχουν από μία κορυφή σε μία άλλη.



Εικόνα 3: Παράδειγμα γράφου με τον αντίστοιχο πίνακα γειτνίασης

Βρόχος

Είναι δυνατό δυο κορυφές να συνδέονται με περισσότερες της μίας ακμής. Η σύνδεση αυτή καλείται πολλαπλή σύνδεση. Μπορεί επίσης μια ακμή να έχει την ίδια κορυφή ως αρχή και τέλος. Σε αυτήν την περίπτωση η ακμή καλείται «βρόχος». Στην εικόνα (4) παρουσιάζεται ένας γράφος όπου η κορυφή 1 αποτελεί βρόγχο, γιατί μία ακμή ξεκινά και καταλήγει στην ίδια κορυφή-κόμβο.



Εικόνα 4 : Η κορυφή 1 αποτελεί βρόγχο

Ψευδογράφος

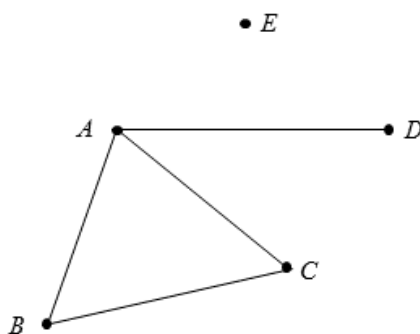
Ψευδογράφος (pseudograph) καλείται ένας γράφος που περιέχει πολλαπλές ακμές ή/και βρόγχους.

Βαθμός- τάξη κορυφής γράφου

Ο βαθμός (degree) κορυφής v σε γράφο G , που γράφεται $\deg(v)$, ισούται με το πλήθος των ακμών του G που περιέχουν την v , δηλαδή, που προσπίπτουν στην v . Επειδή κάθε ακμή μετρείται δύο φορές όταν μετρούμε τον βαθμό των κορυφών του G , έχουμε το παρακάτω απλό αλλά σημαντικό αποτέλεσμα.

Άρτιες και περιττές κορυφές

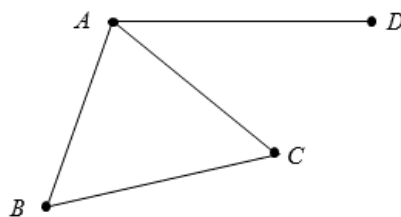
Λέμε ότι μία κορυφή είναι άρτια(even) ή περιττή(odd) ανάλογα αν ο βαθμός είναι άρτιος ή περιττός. Έτσι στον γράφο της εικόνας (5) παρατηρούμε ότι η κορυφή B είναι άρτια ενώ η κορυφή A είναι περιττή.



Εικόνα 5: Παράδειγμα Γράφου

Πεπερασμένος γράφος και στοιχειώδης γράφος

Ένας πολλαπλός γράφος είναι πεπερασμένος(finite) αν έχει πεπερασμένο πλήθος κορυφών και πεπερασμένο πλήθος ακμών. Είναι προφανές ότι ένας γράφος με πεπερασμένο πλήθος κορυφών θα πρέπει αυτόματα να έχει και πεπερασμένο πλήθος ακμών άρα είναι πεπερασμένο.



Εικόνα 6: Πεπερασμένος γράφος

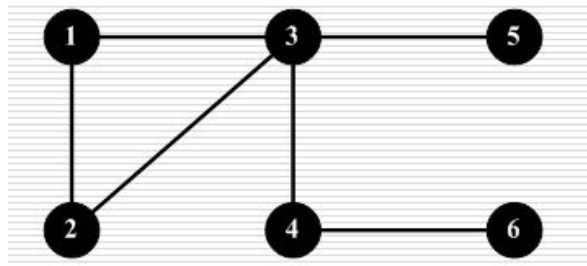
Ο πεπερασμένος γράφος με μία κορυφή και καθόλου ακμές ,δηλαδή ένα σημείο, ονομάζεται στοιχειώδης γράφος(trivial graph) .



Εικόνα 7 : Στοιχειώδης Γράφος

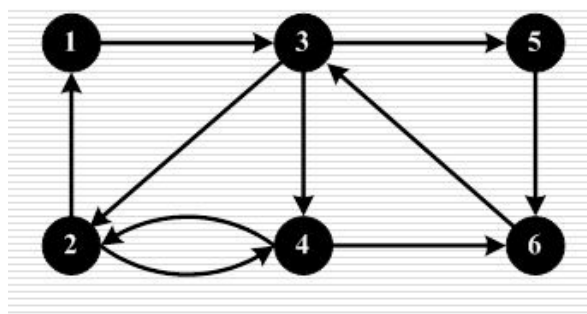
1.2. Μη κατευθυνόμενος και κατευθυνόμενος γράφος

Ένας μη κατευθυνόμενος γράφος(undirected graph), είναι ένας γράφος για τον οποίο ισχύει (u,v) αν και μόνο αν (v,u) . Οι κορυφές u και v λέγονται άκρα της (u,v) .



Εικόνα 8: Ένας μη κατευθυνόμενος γράφος

Σε ένα κατευθυνόμενο γράφο (directed graph) τα επόμενα δεν είναι (εν γένει) ισοδύναμα (u,v) και (v,u) . Στην εικόνα 9 υπάρχει η ακμή $(1,2)$ ενώ δεν υπάρχει η ακμή $(2,1)$. Παρατηρούμε ότι υπάρχει η ακμή $(2,4)$ καθώς και η ακμή $(4,2)$. Στα κατευθυνόμενα γραφήματα οι ακμές δεν είναι αμφίδρομες.

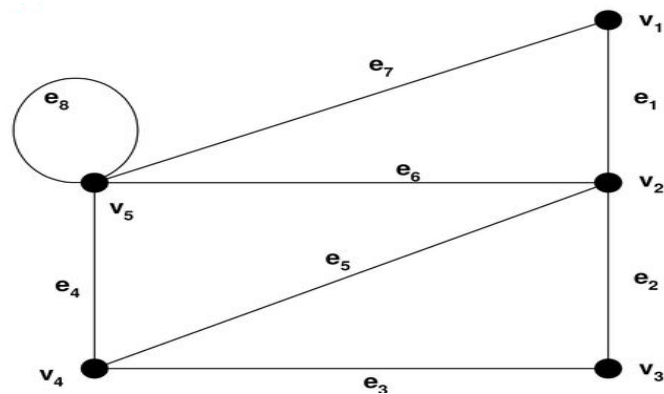


Εικόνα 9: Ένας κατευθυνόμενος γράφος

Στη κατευθυνόμενη πλέον πλευρά (u,v) η κορυφή u λέγεται πηγή (origin) και η v προορισμός (destination).

Μονοπάτι

Μονοπάτι από μία κορυφή σε μία άλλη ενός γράφου ονομάζεται μια ακολουθία κορυφών, όπου κάθε κορυφή της ακολουθίας συνδέεται με τον επόμενο του μέσω ακμής. Το μήκος ενός μονοπατιού, είναι το πλήθος των κορυφών της ακολουθίας. Ένα μονοπάτι που αποτελείται από έναν μη επαναλαμβανόμενο κόμβο και δεν περιέχει καμία ακμή, είναι ένα τετριμμένο μονοπάτι μηδενικού μήκους.



Εικόνα 10: Γράφος με μονοπάτι

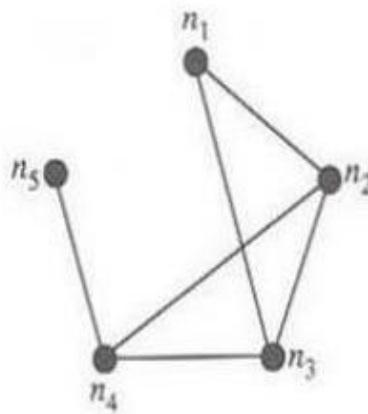
Ένα μονοπάτι είναι κατευθυνόμενο αν μπορούμε να πάμε από το ένα άκρο του στο άλλο και όχι το ανάποδο. Ενώ είναι μη κατευθυνόμενο όταν και οι δύο κατευθύνσεις του είναι δυνατές. Στην εικόνα (10) παρατηρούμε ότι η διαδρομή (v_2, e_5, v_4, e_4, v_5) είναι μονοπάτι.

Ένα μονοπάτι λέγεται κύκλος, αν καταλήγει στον ίδιο κόμβο από τον οποίο ξεκινά. Ένας κύκλος λέγεται απλός αν κανένας κόμβος της δεν επαναλαμβάνεται, ενώ λέγεται σύνθετος αν υπάρχει τουλάχιστον ένας κόμβος που επαναλαμβάνεται (δηλαδή, ο σύνθετος κύκλος αποτελείται από πολλούς απλούς). Επίσης, ένας κύκλος λέγεται κατευθυνόμενος αν η διάτρεξή του γίνεται μόνο κατά μία κατεύθυνση. Αλλιώς, λέγεται μη κατευθυνόμενος.

1.3.Γενικά χαρακτηριστικά των γράφων

Εκκεντρότητα (eccentricity)

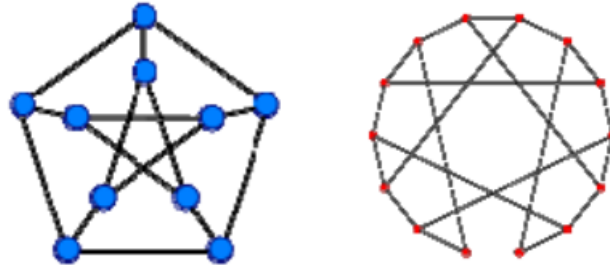
Εκκεντρότητα είναι η απόσταση μιας κορυφής από την πλέον απομακρυσμένη κορυφή του G . Το σημείο ή σύνολο κορυφών με την ελάχιστη εκκεντρότητα λέγεται κέντρο. Στην εικόνα 6 παρατηρούμε ότι ο n_2 η εκκεντρότητα του κόμβου n_2 είναι 2 και γράφουμε $d_g=2$.



Εικόνα 11 : Γράφος με 5 κορυφές

Περίμετρος (Girth)

Η περίμετρος (girth) ενός γράφου είναι το μήκος του συντομότερου κύκλου που περιέχεται στο γράφο. Αν ένας γράφος δεν περιέχει κύκλους (είναι δέντρο ή δάσος) τότε θεωρούμε ότι έχει άπειρη περίμετρο ($\text{girth}=\infty$). Ένα γράφημα με $\text{girth} \geq 4$ δεν περιέχει τρίγωνα. Στην εικόνα 11 παρατηρούμε ότι στον πρώτο γράφο με τα μπλε χαρακτηριστικά ισχύει ότι $\text{girth}=5$. Είναι το μήκος του συντομότερου κύκλου που υπάρχει στο σχήμα. Στον γράφο με τα κόκκινα χαρακτηριστικά ισχύει ότι $\text{girth}=6$.



Εικόνα 12: Γράφοι με girth 5 και 6 αντίστοιχα

Πυκνότητα(density)

Η πυκνότητα (density) είναι το μέγεθος που εκφράζει το λόγο του πλήθους των ακμών που έχουν σχηματιστεί στο δίκτυο προς το πλήθος όλων των ακμών που θα μπορούσαν να υπάρχουν συνολικά στο δίκτυο.

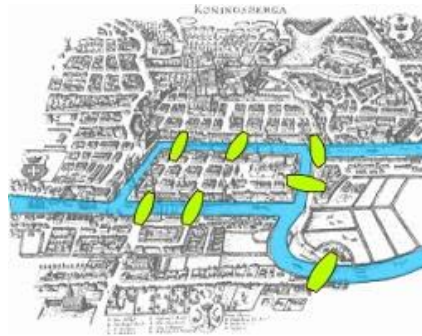
Κεντρικότητα (centrality)

Η κεντριοποίηση(centralization) είναι η γενική μελέτη του γράφου ως προς την πυκνότητα. Η έννοια της κεντρικότητας(centrality)χρησιμοποιείται για να καταλάβουμε ποιοι κόμβοι του γράφου ενός δικτύου είναι σημαντικότεροι (M. E. J. Newman, 2010). Το μέτρο της κεντρικότητας σε ένα δίκτυο είναι το πλήθος των ακμών που συνδέονται με κάθε κορυφή –κόμβο και αναφέρεται ως ο βαθμός κεντρικότητας(degree centrality)

1.4.Ιστορική αναδρομή

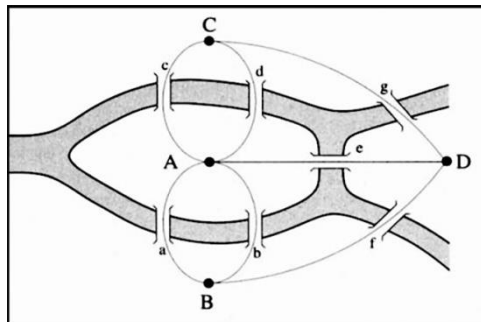
Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα η θεωρία των γράφων ξεκίνησε 3 αιώνες νωρίτερα από τον σπουδαίο Μαθηματικό Eulero οποίος έλυσε το πρόβλημα “ Οι Επτά Γέφυρες του Königsberg”. Κατά τον 18 ο αιώνα η πόλη Königsberg της ανατολικής

Πρωσίας περιελάμβανε δύο νησιά και επτά γέφυρες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 13 : Η μορφή που είχε η πόλη εκείνη την εποχή με τα δύο νησιά και τις επτά διάσημες γέφυρες

Το ερώτημα που τέθηκε ήταν αν κάποιος άνθρωπος ξεκινώντας από οπουδήποτε και τελειώνοντας οπουδήποτε, να περπατήσει όλη την πόλη διαβαίνοντας και τις επτά γέφυρες αλλά χωρίς να διαβεί κάποια γέφυρα πάνω από μία φορά. Οι κάτοικοι του Königsberg έγραψαν στον διάσημο Ελβετό Μαθηματικό I.Euler σχετικά με το ερώτημα αυτό. Ο Euler απέδειξε το 1736 ότι ένας περίπατος σαν και αυτόν ήταν αδύνατος. Για να φτάσει σε αυτό το συμπέρασμα αντικατέστησε τα νησιά και τις δύο πλευρές του ποταμού με σημεία και τις γέφυρες με καμπύλες κατασκευάζοντας έτσι το παρακάτω σχήμα .



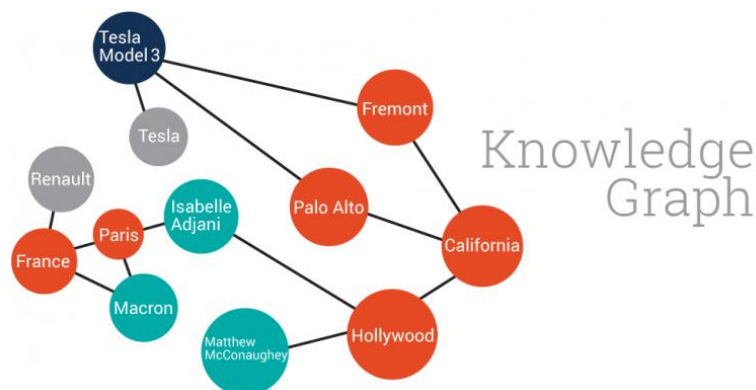
Εικόνα 14 : Η απεικόνιση του Euler με τη χρήση γράφου

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι είναι ένα πολλαπλό γράφημα . Λέμε ότι ένα πολλαπλό γράφημα είναι διαβατό(traversable) αν “μπορεί να σχεδιαστεί χωρίς διακοπές της καμπύλης και χωρίς επανάληψη ακμών” , δηλαδή , αν υπάρχει διαδρομή που περιλαμβάνει όλες τις κορυφές και χρησιμοποιεί κάθε ακμή ακριβώς μία φορά. Η διαδρομή αυτή θα πρέπει να είναι ίχνος (αφού καμία ακμή δε χρησιμοποιείται δύο φορές) και θα ονομάζεται διαβατό ίχνος(travers able trail). Είναι φανερό ότι ένα

διαβατό πολλαπλό γράφημα πρέπει να είναι πεπερασμένο και συνδεδεμένο. Ο Euler απέδειξε ότι ο συγκεκριμένος περίπατος στην πόλη Königsberg είναι αδύνατος. Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους μια κορυφή είναι άρτια ή περιττή ανάλογα με το αν ο βαθμός της είναι άρτιος ή περιττός αριθμός. Έστω ότι ένα πολλαπλό γράφημα είναι διαβατό και ότι ένα διαβατό ίχνος δε ξεκινά ή δε τελειώνει σε κορυφή P. Ισχυριζόμαστε ότι η κορυφή είναι άρτια. Και αυτό επειδή κάθε φορά που το διαβατό ίχνος εισέρχεται στην Ρ από μια ακμή, πάντοτε θα πρέπει να υπάρχει μια ακμή που δεν θα έχει χρησιμοποιηθεί προηγούμενα από την οποία το ίχνος να μπορεί να αφήσει την Ρ. Έτσι οι ακμές στο ίχνος που προσπίπτει το Ρ θα πρέπει να εμφανίζονται σε ζεύγη, και έτσι η Ρ θα είναι άρτια κορυφή. Συνεπώς αν μια κορυφή Q είναι περιττή, το διαβατό ίχνος θα πρέπει να αρχίζει και να τελειώνει στην ίδια. Συνεπώς ένας γράφος με περισσότερες από δύο περιττές κορυφές και μπορεί αν είναι διαβατό. Παρατηρούμε ότι ο γράφος που αντιστοιχεί στο πρόβλημα των γεφυρών της Königsberg έχει τέσσερις περιττές κορυφές. Συνεπώς δε μπορούμε να περπατήσουμε μέσα στην Königsberg έτσι ώστε να διερχόμαστε από την Königsberg από κάθε γέφυρα μία ακριβώς φορά.

1.5.Εφαρμογές Γράφων

Οι εφαρμογές των γράφων σε όλες τις επιστήμες είναι κάτι αδιαμφισβήτητο στη σύγχρονη κοινωνία. Εκτός από την καθαρά μαθηματική μελέτη των γράφων (θεωρήματα, πορίσματα κλπ) καθώς και περαιτέρω μελέτη αυτών μεγάλη εφαρμογή παρατηρείται στα δίκτυα επικοινωνιών(οδικά δίκτυα, αεροπορικά δίκτυα, δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, social media).



Εικόνα 15 : Εφαρμογές γράφων

Εφαρμογές Γράφων στα Οδικά Δίκτυα

Στα οδικά δίκτυα οι γράφοι χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και αναπαράσταση των στάσεων(κόμβοι, κορυφές) και των διαδρομών(ακμές). Η μαθηματική μελέτη αυτών των γράφων δίνει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των συνθηκών . Όπως για παράδειγμα και ένα σύστημα πλοήγησης η εφαρμογή των γράφων διευκολύνει την εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων-κορυφών ή θα μπορούσε να δίνει την δυνατότητα κατά την κατασκευή ενός οδικού δικτύου να βρεθούν τα σημεία με μεγαλύτερη πυκνότητα και εκεί να προστεθούν κυκλικοί κόμβοι για την καλύτερη βέλτιστη διαχείριση της κυκλοφορίας.



Εικόνα 16 : Ένα απλό οδικό δίκτυο απεικονίζεται με τη χρήση γράφων

Εφαρμογές Γράφων στα Αεροπορικά δίκτυα

Τα αεροπορικά δίκτυα χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τη θεωρία γράφων για να απεικονίσουν τα δρομολόγια των αεροπλάνων. Μέσα από τους γράφους υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων, την ένωση δύο απομακρυσμένων κορυφών (πτήσεις με ανταπόκριση) και πόσοι μπορεί να είναι οι κόμβοι αυτοί. Πολλές εργασίες έχουν γίνει σχετικά με τα αεροπορικά δίκτυα με πολύ μεγάλη σημασία για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων.



Εικόνα 17 : Ο χάρτης των αερομεταφορών σε όλο το κόσμο

Εφαρμογές Γράφων στα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης

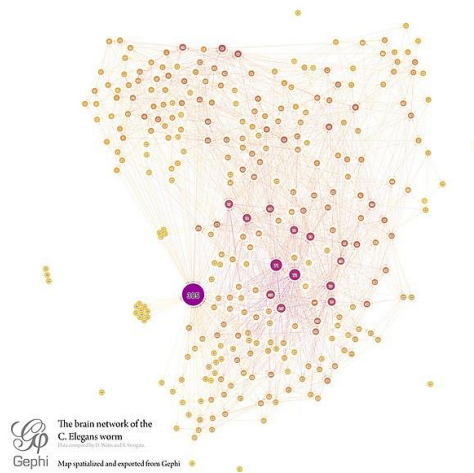
Τα σύγχρονα social media χρησιμοποιούν γράφους για να απεικονίσουν τις αμφίδρομες και μη σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των ανθρώπων.



Εικόνα 18 : Μορφή γράφου σε πραγματικά δεδομένα

Εφαρμογές Γράφων στην Ιατρική

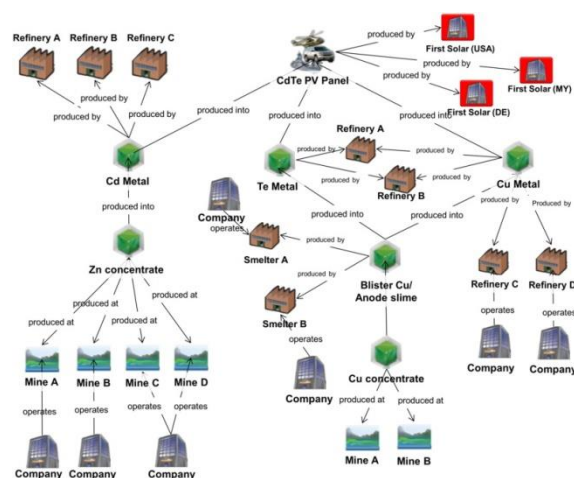
Πλήθος εφαρμογών βλέπουμε και στην Ιατρική. Το ανθρώπινο σώμα αποτελεί ένα πολύπλοκο, σύνθετο δίκτυο . Η μελέτη αυτού του δικτύου τα τελευταία χρόνια απασχολεί πολύ τους επιστήμονες. Τα βιολογικά δίκτυα αποτελούν μέρος της μελέτης της βιοπληροφορικής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα νευρωτικά δίκτυα που είναι κατευθυνόμενοι γράφοι.



Εικόνα 19 : Το νευρωτικό δίκτυο του εγκεφάλου

Εφαρμογές Γράφων στα Δίκτυα Εφοδιασμών

Πολλές επιχειρήσεις απεικονίζουν τα δίκτυα εφοδιασμών τους με τη χρήση γράφων . Εξάγουν συμπεράσματα για την σημασία των κόμβων, εντοπίζουν τυχόν προβλήματα στις ακμές και βρίσκουν βέλτιστες λύσεις. Στην εικόνα 19 παρατηρούμε ότι μια βιομηχανία για να παράγει το τελικό προϊόν θα πρέπει να διαθέτει μια καλά οργανωμένη εφοδιαστική αλυσίδα και έπειτα ένα οργανωμένο σύστημα πωλήσεων. Στο κεφάλαιο 3 θα γίνει η ανάλυση δύο τέτοιων δικτύων .



Εικόνα 20: Το δίκτυο που δημιουργείται σε ένα εργοστάσιο

2. Βασικές έννοιες ιχνηλασιμότητας(traceability)



Οι ραγδαίες εξελίξεις σε όλους τους τομείς της σύγχρονης κοινωνίας, η ανάγκη βελτιστοποίησης των μέσων μεταφοράς υλικών και άυλων στοιχείων κάνει ολοένα μεγαλύτερη την ανάγκη για ιχνηλασιμότητα. Σε ένα υλικό αγαθό για παράδειγμα ένα εργοστάσιο επεξεργασίας προϊόντων θα μπορεί με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια να επεξεργαστεί τα δίκτυα που δημιουργούνται γύρω από αυτό με τη χρήση της ιχνηλασιμότητας. Με αυτό τον τρόπο οι επιχειρήσεις εξασφαλίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις καλύτερες συνθήκες για ποιοτικά προϊόντα. Η ανάγκη για ιχνηλασιμότητα άρχισε να γίνεται πιο έντονη λόγω των κρίσεων που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες κυρίως στον τομέα των τροφίμων. Για παράδειγμα η νόσος των τρελών αγελάδων και η νόσος των πτηνών καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας στην διαχείριση των προϊόντων. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα η Ευρωπαϊκή Ένωση υποχρεώνει τα κράτη της να τηρούν αυστηρούς κανονισμούς που σχετίζονται με την ιχνηλασιμότητα των προϊόντων τους. Σύμφωνα με τους Golan et al. (2004)[8] ο ορισμός της ιχνηλασιμότητας είναι αρκετά εκτεταμένος. Η ιχνηλασιμότητα αποτελεί ένα εργαλείο για την βελτιστοποίηση των προϊόντων . Ένα προϊόν από μόνο του είναι πολύπλοκο με αποτέλεσμα και η ιχνηλασιμότητα αυτού να είναι μια αρκετά πολύπλοκη έννοια.

Ορισμός Ιχνηλασιμότητας

Σύμφωνα με το πρότυπο 9000(2015) η ιχνηλασιμότητα είναι μια αυστηρά οργανωμένη διαδικασία αναγνώρισης στοιχείων συλλογής καταγραφής δεδομένων που σχετίζονται με

μια σειρά «κινήσεων» του προϊόντος στο εφοδιαστικό κύκλωμα όπως οι παραλαβές, οι ενδοδιακινήσεις, οι μεταφορές, οι αναλώσεις πρώτων υλών και ημιετοίμων, η συσκευασία και οι αναλώσεις των υλικών της, οι φορτώσεις, κ.ο.κ. Απαραίτητη, για την ιχνηλασία και την τήρηση του ιστορικού ενός προϊόντος (producthistory) μέσα στο εφοδιαστικό κύκλωμα, είναι η έννοια της μερίδας/παρτίδας παραγωγής (lot/batch) που ορίζεται ως το σύνολο μιας ποσότητας προϊόντων, ενδιάμεσων προϊόντων, πρώτων υλών ή υλικών συσκευασίας που έχουν παραχθεί ή συσκευαστεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

2.1.Είδη Ιχνηλασιμότητας

Σύμφωνα με τον Opara U. (2003)[14] υπάρχουν έξι(6) είδη ιχνηλασιμότητας ενός προϊόντος.

- Η ιχνηλασιμότητα προϊόντος η οποία καθορίζει την φυσική θέση του προϊόντος σε οποιοδήποτε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, ώστε να γίνεται εύκολα η διαχείριση αποθεμάτων, η ανάκληση προϊόντων καθώς και η διάδοση της πληροφορίας από τον παραγωγό στον καταναλωτή και αντίστροφα.
- Η ιχνηλασιμότητα διαδικασίας καθορίζει τις δραστηριότητες που έγιναν για να καταλήξουμε στο τελικό προϊόν. Σε αυτό τον τύπο ιχνηλασιμότητας δίνεται απάντηση στα ερωτήματα τι συνέβη, που και πότε.
- Η γενετική ιχνηλασιμότητα σχετίζεται με την σύσταση ενός προϊόντος. Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τους προμηθευτές κατεργασμένων και ακατέργαστων συστατικών.
- Η ιχνηλασιμότητα των εισροών σχετίζεται με τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την διατήρηση των τελικών προϊόντων.
- Η ιχνηλασιμότητα των ασθενειών και των επιβλαβών στοιχείων αποτελεί το κομμάτι της ιχνηλασιμότητας που σχετίζεται με τον εντοπισμό των επιβλαβών στοιχείων , όπως βακτήρια , ιούς και άλλα παθογόνα στοιχεία που ενδέχεται να μολύνουν το προϊόν.
- Η ιχνηλασιμότητα της μέτρησης αφορά την μέτρηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών κατά την εφοδιαστική αλυσίδα.

2.2.Βασικές αρχές ιχνηλασιμότητας

Σύμφωνα με τους Badia-Melis et al. (2015) [2], προτείνεται τα συστήματα ιχνηλασιμότητας πρέπει να βασίζονται σε 4 βασικές αρχές:

1. στη μοναδική αναγνώριση προϊόντων, λογιστικών μονάδων και τοποθεσιών
2. στη συλλογή δεδομένων ιχνηλασιμότητας και στην αποθήκευσή τους
3. στη σύνδεση και στην ανάκτηση των δεδομένων ιχνηλασιμότητας και
4. στην επικοινωνία των δεδομένων ιχνηλασιμότητας διαμέσου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

2.3.Στόχοι ιχνηλασιμότητας

Μία επιχείρηση με την ιχνηλασιμότητα έχει τρεις βασικούς στόχους[1] :

- Να βελτιώσει τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με την ιχνηλασιμότητα μια επιχείρηση διαμορφώνει την εφοδιαστική αλυσίδα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.
- Να διευκολύνουν την ανίχνευση των προϊόντων για λόγους ασφάλειας και υγείας. Ένα προϊόν που βάλλεται από μία ασθένεια μπορεί πολύ εύκολα να βρεθεί το σημείο στην εφοδιαστική αλυσίδα, που ξεκίνησε η ασθένεια και να γίνει η μέγιστη δυνατή αντιμετώπιση.
- Να διαφοροποιηθούν και να προωθήσουν τα προϊόντα τους με διακριτά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η ιχνηλασιμότητα λόγω των συχνών ελέγχων σε όλα τα στάδια βελτιώνει και έπειτα διατηρεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων .

2.4.Οφέλη ιχνηλασιμότητας

Τα οφέλη από την εφαρμογή συστημάτων ιχνηλασιμότητας περιλαμβάνουν[1]:

- Χαμηλότερο κόστος στη διανομή των προϊόντων .Ο πλήρης έλεγχος από τα συστήματα ιχνηλασιμότητας μας επιτρέπει να μειώνουμε το κόστος διανομής .
- Μειωμένο κόστος ανακλήσεων. Λόγω του συνεχούς ελέγχου σε όλα τα στάδια παραγωγής διανομής εφοδιασμού τα προϊόντα φθάνουν στον καταναλωτή με όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα.
- Αυξημένες πωλήσεις .
- Βελτίωση της ποιότητας των πρώτων υλών.

3. Η Ιχνηλασιμότητα από την οπτική των δικτύων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση δύο επιστημονικών άρθρων τα οποία εξετάζουν πως θα γίνει η αποτύπωση (χαρτογράφηση) του δικτύου εφοδιασμού και την σχέση του με την ιχνηλασιμότητα. Επίσης, στο τέλος του κεφαλαίου θα γίνει μοντελοποίηση ενός δικτύου παροχής λογισμικού, με δοσμένη βάση δεδομένων και θα εξαχθούν κάποια αποτελέσματα.

3.1. Ανάλυση στο Άρθρο 1^ο

Το 2002, οι Choi και Hong [5], επιχειρούν την αποτύπωση του δικτύου εφοδιασμού για την συναρμολόγηση της κεντρικής κονσόλας αυτοκινήτων, η οποία δημιουργείται από επιμέρους στοιχεία. Για την κατασκευή της κονσόλας χρειάζονται τρία βασικά δίκτυα προϊόντων : το Honda Accord, το Acura CL/TL, και το Daimler Chrysler (DCX) Grand Cherokee. Οι συντάκτες του άρθρου βασιζόμενοι σε αυτά τα τρία βασικά δίκτυα εξάγουν συμπεράσματα για τη δομή του δικτύου προσφοράς. Η ανάλυση των δικτύων έγινε με βάση τρία κύρια χαρακτηριστικά: την τυποποίηση (formalization), την εκκεντρότητα (centralization) και την πολυπλοκότητα(complexity). Η τυποποίηση είναι ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα την κανονικοποίηση (standardization). Η κανονικοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία στην προσπάθεια να μοντελοποιήσουμε ένα πρόβλημα με μαθηματικά κριτήρια χρησιμοποιούμε αδιάστατες μεταβλητές. Οι εταιρίες καταγράφουν

τις δραστηριότητες τους για να διασφαλίσουν τη συνέχεια της παραγωγής σε βάθος χρόνου, είτε εγγράφως(καταγραφή των επιμέρους εργασιών) είτε όχι(άτυποι εργασιακοί κανόνες). Η τυποποίηση στην γραμμή εφοδιασμού έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Πολλές φορές όμως μπορεί να έχουμε και τα αντίθετα αποτελέσματα μιας και το δίκτυο γίνεται ανελαστικό. Οποιαδήποτε καινούργια εισαγωγή στο δίκτυο επιφέρει προβλήματα. Η εκκεντρότητα σχετίζεται με το πλήθος των ακμών σε κάθε κορυφή του δικτύου εφοδιασμού . Αν όλες οι ακμές ενός δικτύου ξεκινούν από μία κορυφή το δίκτυο θεωρείται συγκεντρωτικό ενώ διαφορετικά αποκεντρωμένο. Η πολυπλοκότητα είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται με τα διαφορετικά στοιχεία που υπάρχουν σε ένα δίκτυο. Σε σύνθετα δίκτυα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα επιμέρους στοιχεία υποδικτύων που δημιουργούνται στο δίκτυο εφοδιασμού. Στο παρόν άρθρο γίνεται ανάλυση αυτών των τριών χαρακτηριστικών για κάθε δίκτυο ξεχωριστά εκ των τριών που έχουν διαμορφωθεί από τις τρεις διαφορετικές εταιρίες (Honda, Acura και Grand Cherokee) . Οι Choi και Hong [**Error! Reference source not found.**], για τις ανάγκες της μελέτης τους, συλλέγουν δειγματοληπτικά στοιχεία σε διάστημα περίπου δύο ετών (Δεκέμβριος 1997 - Οκτώβριος 2000). Στα πρώτα βήματα αυτής της προσπάθειας διαπιστώνουν πως το αυτοκίνητο είναι ιδιαίτερα περίπλοκο και αποτελείται από μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων, αρά δύσκολο να χαρτογραφηθούν όλα τα εξαρτήματα. Επιπλέον, απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις για το καθένα από αυτά, αλλά και τεράστιος όγκος δεδομένων. Η λύση, για την επιλογή της κεντρικής κονσόλας ήρθε ως αποτέλεσμα των τριών κριτηρίων που τέθηκαν:

1. Η στρατηγική σημασία
2. Η γενικότητα ως προς την εφαρμογή της διαδικασίας προμηθειών
3. Η λειτουργικότητα και η αναγνωσιμότητα

Τα δεδομένα συλλέγονται με συνεντεύξεις από τα τρεις διαφορετικές πηγές εφοδιασμού, στις οποίες βασίζεται η κατασκευή και παραγωγή της κεντρικής κονσόλας. Τα συλλεγόμενα δεδομένα αναλύονται ξεχωριστά σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που ορίστηκαν παραπάνω (τυποποίηση, εκκεντρότητα, πολυπλοκότητα).

Τα συμπεράσματα των αναλύσεων καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα :

Table 2
Summary of within-case data

Dimensions	Product		
	Honda Accord	Acura CL/TL	DaimlerChrysler Grand Cherokee
Formalization	Broadly worded documents Implicit yet clearly understood norms Explicit procedure for price negotiation Flexibility over too much formalization Regular feedback on performance Warranty claim procedure Explicit annual cost-reduction target	Broadly worded documents Implicit yet clearly understood norms Explicit procedure for price negotiation Flexibility over too much formalization Regular feedback of performance Warranty claim procedure Explicit annual cost-reduction target Procedure that makes suppliers responsible for making any changes to cost structure involving quotations or designs	Clearly delineated process for a new contract designed around the practice of sole sourcing at the first-tier level Explicit product development process Explicit annual cost-reduction targets in “hard” as well as “soft” savings
Centralization	High centralization associated with high reliance of core suppliers throughout the supply network Reduction of cost by increasing common parts and saving on tooling expenses involving top-tier suppliers as well as second-tier suppliers Working with suppliers throughout the network to maintain their long-term viability Centrally controlled design activities	Increasing reliance of core suppliers Reduction of cost by increasing common parts and saving on tooling expenses Helping suppliers throughout supply network for their long-term viability Centrally controlled design activities High-priced items and items outside the top-tier supplier’s expertise controlled centrally Honda selected second-tier suppliers showing more loyalty to Honda than to the top-tier suppliers who manages the quality and delivery of parts they produce	Decentralized design activities across the tiers Decentral supplier selection—Textron selects its own suppliers, Leon selects its own suppliers, and other suppliers are expected to do the same A tremendous pressure to cut cost throughout the network The cost-cutting pressure felt by DCX trickling down to the tertiary-level suppliers
Complexity	Contingent nature of association between coupling and complexity within the network (e.g. reciprocal relationship) CVT’s supplier management approaches very similar to that of Honda’s Stable membership in supply network	Contingent nature of association between coupling and complexity within the network (e.g. reciprocal relationship) One less top-tier supplier compared to Honda Accord’s network JFC at odds with Intek	No reciprocal relationship in this network Both DCX and Textron operating from the perspective of local interest for local optimization DCX and Textron protecting their own profit margins (e.g. DCX often takes less at the large quantity price but if they are short and increase the order even at the last minute, they expect a price break)

Εικόνα 21 : Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων (πηγή: 5)

Έπειτα γίνεται ανάλυση των τριών βασικών χαρακτηριστικών στους κόμβους στους οποίους τα δίκτυα συντρέχουν. Οι μελετητές καταλήγουν στα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα τα οποία καταγράφονται παρακάτω:

1. Οι τυποποιημένοι κανόνες δημιουργούν δίκτυα με μεγάλη εκκεντρότητα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η πολυπλοκότητα των δικτύων εφοδιασμού.
2. Το κόστος είναι το βασικό στοιχείο διαμόρφωσης των δικτύων εφοδιασμού.
3. Τα μακροπρόθεσμα σχέδια πρέπει να ελέγχονται από την θετική ανταπόκριση(το προϊόν φτάνει στον καταναλωτή και αυτός ελέγχει την ακεραιότητα του). Τα βραχυπρόθεσμα σχέδια ελέγχονται μέσω αρνητικών ανταποκρίσεων.
4. Ο προγραμματισμός των δραστηριοτήτων του επιπέδου που πρέπει να μετατραπούν από μη καθορισμένους κανόνες σε αυστηρούς κανόνες συνδέονται με αυστηρούς κανόνες και μηχανισμούς ελέγχου διαδικασιών. Αυτοί οι ευρέως καθορισμένοι κανόνες προσφέρουν ευελιξία.
5. Στα αρχικά στάδια της διαδικασίας οι άγραφοι κανόνες λειτουργούν προσφέροντας ευελιξία και δικαιοσύνη . Από την άλλη οι αυστηροί κανόνες στο κόστος, δημιουργούν ακριβώς τα αντίθετα αποτελέσματα.
6. Οι προμηθευτές που βρίσκονται σε χαμηλότερη βαθμίδα έχουν την τάση να μην είναι τόσο συνεργάσιμοι με τους κύριους προμηθευτές που προσπαθούν να αντεπεξέλθουν στις καθημερινές ανάγκες μαζικών παραγωγών.
7. Ο παράγοντας κόστος είναι ο επικρατέστερος λόγος εξαπάτησης στη γραμμή παραγωγής.
8. Μια συγκεντρωτική προσέγγιση του δικτύου εφοδιασμού περιλαμβάνει μια λίστα με τους κύριους παρόχους και η οργάνωση τους ελέγχεται άμεσα από τον τελικό κόμβο. Μια αποκεντρωμένη προσέγγιση απαιτεί οι κύριοι προμηθευτές να έχουν μεγαλύτερο ρόλο στην εφοδιαστική αλυσίδα.
9. Μια κεντρική προσέγγιση με μεγαλύτερη έμφαση στους κύριους παρόχους οδηγεί σε μεγαλύτερη οριζόντια πολυπλοκότητα.
10. Οι πιο δαπανηρές γραμμές προϊόντων έχουν την τάση να αποκτούν συγκριτικά πιο περίπλοκα δίκτυα εφοδιασμού.
11. Το υποδίκτυο του κύριου προμηθευτή θα σχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με το τελικό αποτέλεσμα.
12. Το υποδίκτυο του κύριου προμηθευτή θα έδινε στο δίκτυο εφοδιασμού μεγαλύτερη ασφάλεια σε περίπτωση που ο κύριος προμηθευτής άλλαζε.

Οι αρθρογράφοι καταλήγουν ότι τα τρία διαφορετικά δίκτυα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προοδευτικά, ενώ φαίνεται ότι η τιμή διαμορφώνει τη δομή του δικτύου παροχής.

Επιπλέον, διατυπώνουν τις ακόλουθες ενδιαφέρουσες διαπιστώσεις:

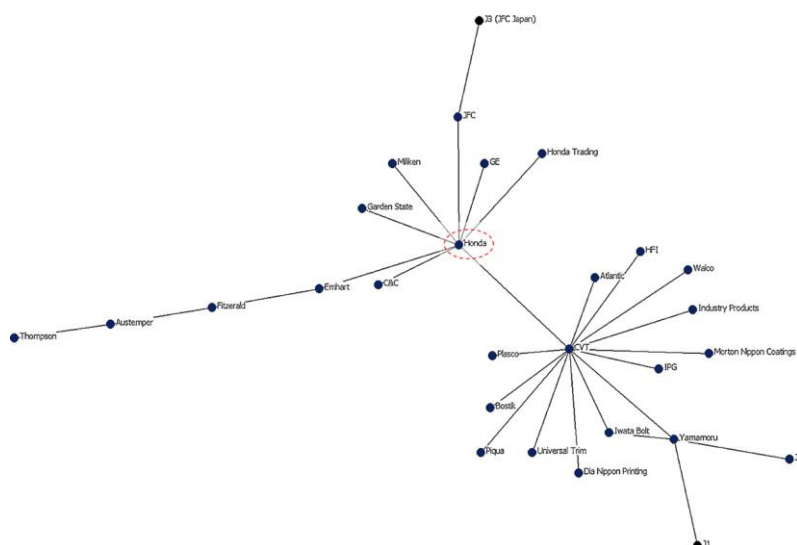
- Η δομή του δικτύου εφοδιασμού μπορεί να αναπαραχθεί ανά πάσα στιγμή.
- Το δίκτυο είναι δυναμικό και διαμορφώνεται στο χρόνο
- Εξετάζοντας το δίκτυο σε επίπεδα (ή βαθμό γειτνίασης των κόμβων, π.χ. σε ένα βήμα, σε δύο βήματα ή σε παραπάνω βήματα απόστασης από τον αρχικό κόμβο) η πληροφορία που φθάνει στον τελικό συναρμολογητή χάνει σε ακρίβεια όσο αυξάνει η απόσταση (ανάλογα με τα επίπεδα που παρεμβάλλονται).
- Η τοπολογία (ή δομή) του δικτύου διαμορφώνεται από την πολιτική που εφαρμόζει ο τελικός συναρμολογητής και επηρεάζει την πολυπλοκότητα και την κεντρικότητα του δικτύου.
- Το κόστος, και ο απώτερος στόχος της μείωσης του, είναι μια ισχυρή απαίτηση που καθοδηγεί τη δόμηση του δικτύου και “υποδεικνύει” πως οι κύριοι δρώντες (κατασκευαστές και προμηθευτές) “just to stay in the game”.

Για τους συγγραφείς η πρόκληση είναι να γνωρίσουν ποιες είναι οι κυρίαρχες πολιτικές που διαμορφώνουν το δίκτυο, πως εξελίσσονται και ποιες είναι οι συνέπειές τους, ενώ προχωρούν και στις ακόλουθες διαπιστώσεις:

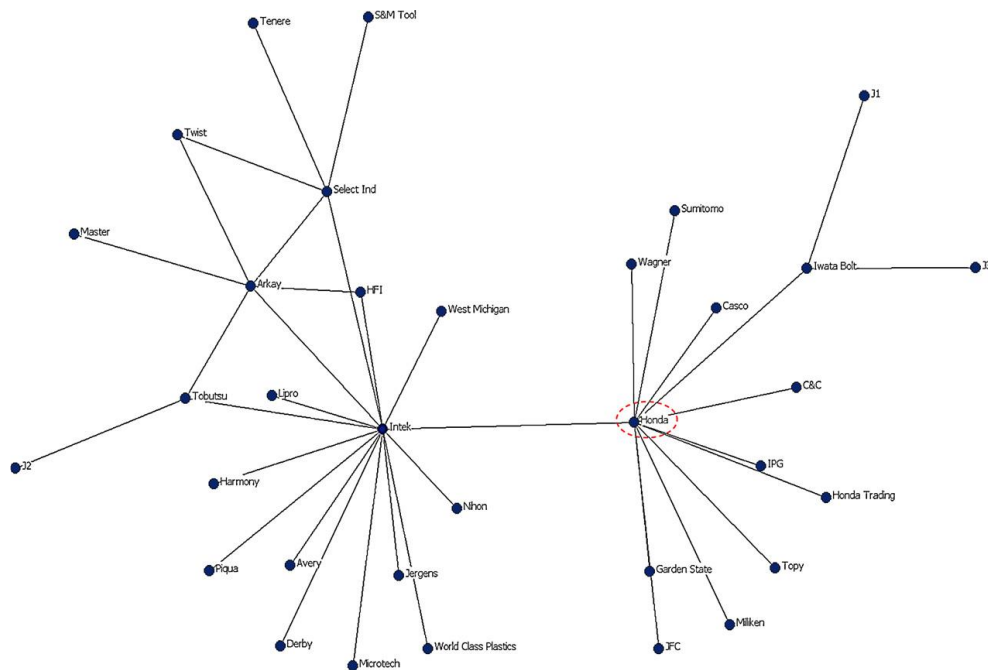
- Τα δίκτυα εφοδιασμού του μέλλοντος ενδέχεται να συρρικνωθούν αλλά και να πυκνώσουν. Αυτό συμπεραίνεται εξετάζοντας την κοινωνιολογική προσέγγιση: πως τα καταστήματα εφοδιασμού περνούν από τους γονείς στα παιδιά αλλά και πόσοι από τους υπό μελέτη προμηθευτές θα επιβιώσουν στο μέλλον.
- Η δόμηση του δικτύου βασίζεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η σύσταση (recommendation), η εμπιστοσύνη και η διαπραγμάτευση.

3.2. Ανάλυση του Άρθρο 2^ο

Το 2010 οι Kim et al.[10] παρατήρησαν ότι για να αποτυπώσουν την διασύνδεση αγοραστών και προμηθευτών είναι καλύτερο να σχηματίσουν ένα δίκτυο παρά μια γραμμική αλυσίδα. Έτσι επιχειρούν να συσχετίσουν τα δομικά χαρακτηριστικά των παροχών δικτύων χρησιμοποιώντας την ανάλυση ενός κοινωνικού δικτύου(γράφος). Στηριζόμενοι στο προηγούμενο άρθρο των Choi και Hong (2002) [5] εφαρμόζουν αυτές τις τεχνικές και στα τρία δίκτυα. Κάθε δίκτυο εφοδιασμού αναλύεται σε σχέση με την ροή των υλικών και των κανόνων που υπάρχουν. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα αποτελέσματα της προηγούμενης έρευνας και φαίνεται ότι η δομή του δικτύου μπορεί να συμπληρώσει το δίκτυο παροχών. Στις εικόνες 22 και 23 βλέπουμε τις βασικές επιχειρήσεις στα υποδίκτυα παροχών που προκύπτουν. Με κόκκινο περίγραμμα φαίνονται οι κόμβοι με την μεγαλύτερη αξία για το δίκτυο.



Εικόνα 22 : Γράφος όπου φαίνεται οι βασικές επιχειρήσεις (πηγή : 10)



Εικόνα 23 : Γράφος με τις βασικές επιχειρήσεις (πηγή :10)

Παρατηρείται το έξης : ότι κάτω από κάθε κύριο προμηθευτή υπάρχουν και άλλοι προμηθευτές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλη εξάρτηση μεταξύ των κεντρικών κόμβων και των απομακρυσμένων παρόχων.

Τα κοινωνικά δίκτυα λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των κόμβων, των ακμών που τα συνδέουν και των επιμέρους σχέσεων. Η ανάλυση αυτή βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση του τελικού καταναλωτή. Οι μετρικές που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες :

- Βαθμός (degree)
- Κεντρικότητα (Centrality)
- κεντρικότητα με βάση την εγγύτητα(closeness centrality)
- Πυκνότητα (Density)
- Μέση Τιμή(Average)

Η χρήση των κοινωνικών δικτύων στην απεικόνιση δίνει μεγάλη εγγύτητα, επιτρέπει την αυτόνομη επέκταση της επιχείρησης και την καλύτερη πρόσβαση στους πόρους. Ρίχνοντας μία ματιά στα αποτελέσματα της έρευνας παρατηρούμε ότι οι κύριοι κόμβοι έχουν και την μεγαλύτερη κεντρικότητα. Τα επιμέρους δίκτυα φτιάχνουν το συνολικό δίκτυο εφοδιασμού. Όπως φαίνεται σε κάθε γράφημα υπάρχει ένα κάτω φράγμα για κάθε κατασκευή δικτύου εφοδιασμού. Παρατηρείται ότι στους περισσότερους κόμβους υπάρχει μόνο ένας πελάτης δίνοντας έτσι την ίδια τιμή στην κεντρικότητα. Με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αξία.

3.3. Μοντελοποίηση Δικτύου Ιχνηλασιμότητας

Ορισμός Μοντελοποίησης

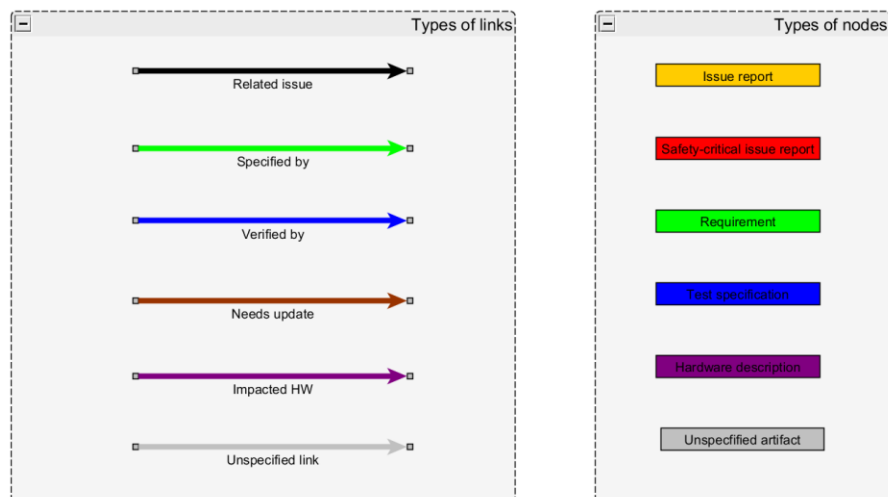
Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν μια διαδικασία περιγραφής και εξομοίωσης πραγματικών καταστάσεων του φυσικού κόσμου. Για την κατασκευή αυτών των μοντέλων απαραίτητο εργαλείο είναι η χρήση μαθηματικών εννοιών και συμβόλων όπως είναι ένα σύστημα εξισώσεων, ένας αλγόριθμος, γραφικές παραστάσεις κ.λ.π. Η Μαθηματική Μοντελοποίηση αποτελεί την μέθοδο ανάπτυξης και μελέτης ενός μαθηματικού μοντέλου, για την περιγραφή ενός φαινομένου, ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας. Απαραίτητο είναι ο ερευνητής να κατανοήσει σωστά τους παράγοντες και να στήσει την μαθηματική του σχέση με κανόνες.

Με τα δεδομένα που αντλήθηκαν από την εργασία «Enabling traceability reuse for impact analyses – A feasibility study in a safety context»[18] το οποίο μελετά ένα δίκτυο που παράγεται από δεδομένα ιχνηλασιμότητας σε λογισμικό. Το δίκτυο που προκύπτει είναι κοινωνικό δίκτυο για αυτό λαμβάνονται υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά των κόμβων όσο και των ακμών. Οι κόμβοι ορίζουν το είδος του προβλήματος ενός λογισμικού ενώ οι ακμές τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα. Τα δεδομένα αφού γίνουν ανώνυμα μοντελοποιούνται σε ένα γράφο $G=\{V, E\}$. Το σύνολο V περιλαμβάνει τους κόμβους, το είδος του προβλήματος που προκύπτει και το E περιλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται.

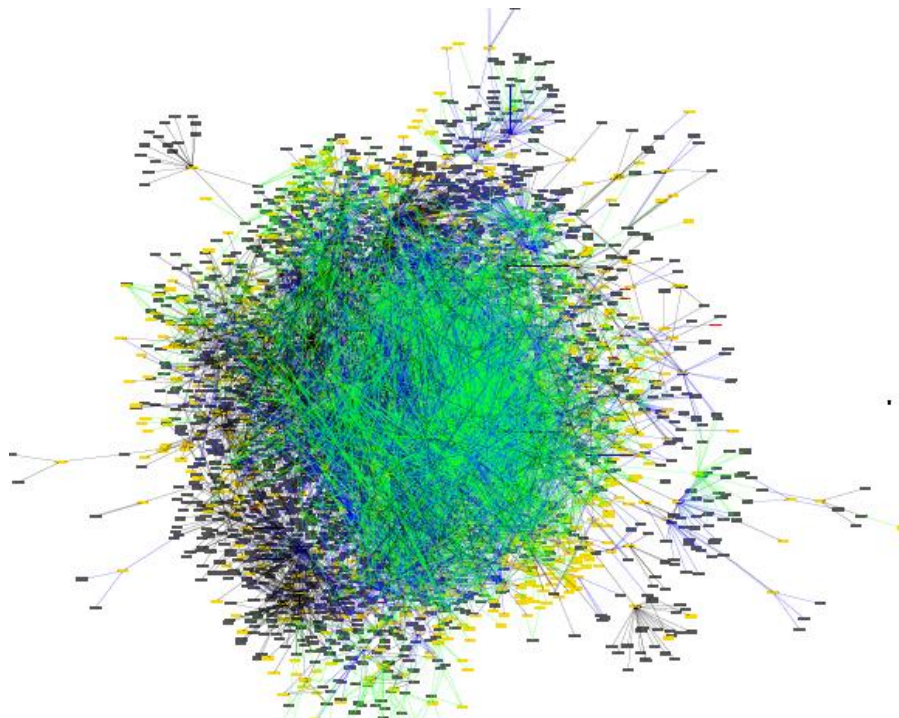
Με αυτά τα δεδομένα και με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού εξάγουμε αρχικά την τοπολογία του δικτύου που προκύπτει και κάποια στοιχεία που είναι σημαντικά για το δίκτυο.

Μοντελοποίηση με τη χρήση του προγράμματος gheri[19]

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα γίνει μία προσπάθεια μοντελοποίησης και εξαγωγής αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση αντλήθηκαν από το Lund University[18] και επεξεργάστηκαν με το ελεύθερο λογισμικό gheri. Τα δεδομένα ήταν προϊόντα λογισμικού με τις αντίστοιχες ιδιότητες τους. Όπως φαίνεται στην εικόνα 24 το χρώμα των ακμών δηλώνει τον τύπο της σύνδεσης που υπάρχει μεταξύ των κόμβων ενώ το χρώμα του κόμβου δηλώνει την ιδιότητα του κόμβου. Στην εικόνα 25 απεικονίζεται η μορφή του γράφου και φαίνονται τα χρώματα που καθορίζουν την συσχέτιση μεταξύ τους.

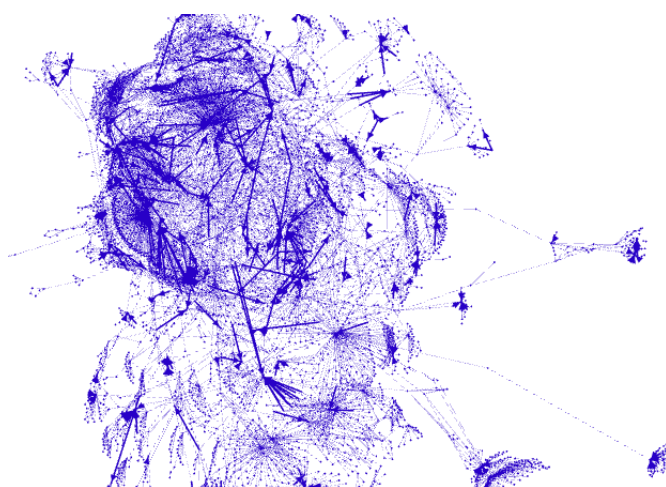


Εικόνα 24 : Τα στοιχεία του γράφου (πηγή: 18)



Εικόνα 25 : Ο γράφος(πηγή : 18)

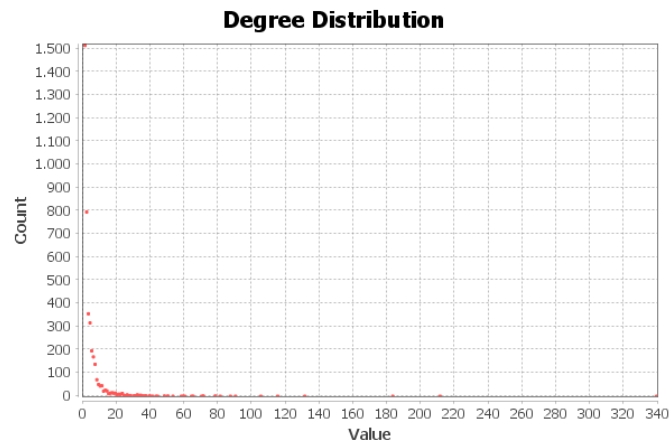
Για να εισάγω τα δεδομένα της έρευνας στο πρόγραμμα gephι μετέτρεψα τα στοιχεία του προγράμματος σε πίνακα excel και έκανα εισαγωγή των δεδομένων από τις βασικές λειτουργίες της εφαρμογής. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της βάσης.



Εικόνα 26: Η εικόνα του γράφου με το πρόγραμμα gephι

Results:

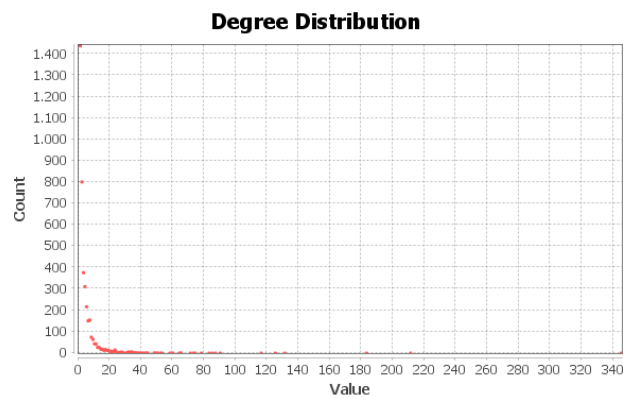
Average Degree: 2,200



Εικόνα 27: Μέσος όρος (Average)

Results:

Average Weighted Degree: 2,293



Εικόνα 28: Σταθμικός μέσος-Average weight-

Στις εικόνες 27 και 28 βλέπουμε τον μέσο όρο των παρατηρήσεων. Στην δεύτερη εικόνα είναι ο σταθμικός όρος για αυτό έχουμε διαφοροποίηση στην τιμή.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΊΑ

1. Anal, A. K., Sadiq, M. B., & Singh, M. (2017). Emerging Trends in Traceability Techniques in Food Systems. In *Food Traceability and Authenticity* (pp. 66-89). CRC Press.
2. Badia-Melis, R., Mishra, P., & Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. *Food control*, 57, 393-401.
3. Biggs, N., Biggs, N. L., & Norman, B. (1993). *Algebraic graph theory* (Vol. 67). Cambridge university press.
4. Borg, M., Gotel, O. C., & Wnuk, K. (2013, May). Enabling traceability reuse for impact analyses: A feasibility study in a safety context. In *2013 7th International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering (TEFSE)* (pp. 72-78). IEEE.
5. Choi, T. Y., & Hong, Y. (2002). Unveiling the structure of supply networks: case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler. *Journal of Operations Management*, 20(5), 469-493.
6. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R., & Stein, C. (2001). *SC Introduction to algorithms*.
7. Fornito, A., Zalesky, A., & Bullmore, E. (2016). *Fundamentals of brain network analysis*. Academic Press.
8. Golan, E. H., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K. E., & Price, G. K. (2004). Traceability in the US food supply: economic theory and industry studies (No. 1473-2016-120760).
9. Hobbs, J. E., & Sanderson, K. (2007). Traceability and quality verification in the Canadian beef industry: where to from here?. *Journal of Food Distribution Research*, 38(856-2016-57934), 75-80.
10. Kim, Y., Choi, T. Y., Yan, T., & Dooley, K. (2011). Structural investigation of supply networks: A social network analysis approach. *Journal of Operations Management*, 29(3), 194-211.

11. Lipschutz, S. (2016). Schaum's Outlines of Theory and Problems of Discrete Mathematics.
12. Militaru, C., & Zafir, A. (2016). The vision of new Iso 9000: 2015 standards. Knowledge Horizons. Economics, 8(1), 131.
13. Newman, M. E. (2003). Properties of highly clustered networks. Physical Review E, 68(2), 026121.
14. Opara, L. U. (2003). Traceability in agriculture and food supply chain: a review of basic concepts, technological implications, and future prospects. Journal of Food Agriculture and Environment, 1, 101-106.
15. Γεωργίου, Δ., Αντωνίου, Ε., Χατζημιχαηλίδης, Α., 2015. Διακριτές μαθηματικές δομές για την επιστήμη των υπολογιστών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/457>
16. Μανώλα, Γ. (2016). Η εξέλιξη του οικονομικού δικτύου των γενικών δεικτών των χρηματιστηρίων αξιών για επιλεγμένες χώρες από την Αμερική, την Ασία, την Ευρώπη και την Ωκεανία, από το 2005 έως το 2015. Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.
17. 食品供應鏈應用區塊鏈技術實踐食品安全保證之關鍵因素. 2019. PhD Thesis. National Central University.
18. [http://serg.cs.lth.se/index.php?id=70335\(22/02/2020\)](http://serg.cs.lth.se/index.php?id=70335(22/02/2020))
19. [https://gephi.org/\(20/02/2020\)](https://gephi.org/(20/02/2020))

