

ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Τμήμα Διοίκησης Συστημάτων Εφοδιασμού
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



ΔΙΚΤΥΑ BAYES (BAYESIAN NETWORKS)

Μοντελοποίηση σε συνθήκες αβεβαιότητας

Εισαγωγικά στοιχεία

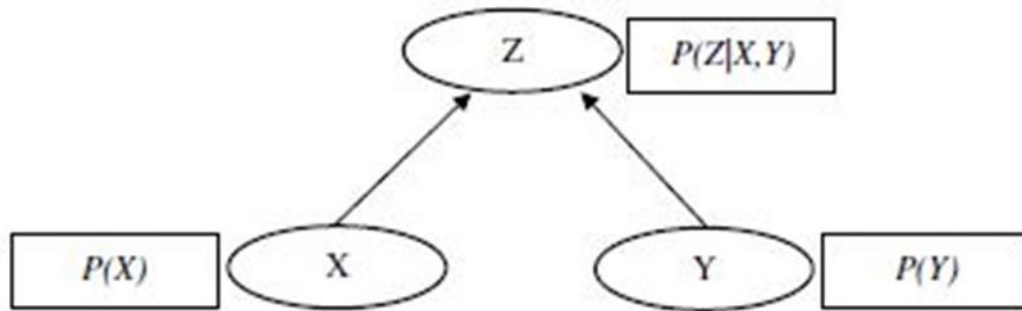
Δίκτυα Bayes, εναλλακτικές ονομασίες δίκτυα πεποίθησης ή belief networks, πιθανοτικά μοντέλα κατευθυνόμενων α-κυκλικών γράφων, αναδρομικά γραφικά μοντέλα ή recursive graphical models, σχεσιακά πιθανοτικά δίκτυα ή causal probabilistic networks, διαγράμματα επιρροής ή influence diagrams κτλ.

Ένα Δίκτυο Bayes αποτελείται από δύο στοιχεία, το ένα ποιοτικό και ένα ποσοτικό. Η ποιοτική έκφρασή του αποτυπώνεται σε ένα κατευθυνόμενο α-κυκλικό γράφημα, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο μεταβλητών (συμβολίζονται με τους κόμβους) και σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών (συμβολίζονται με τόξα).



Η ποσοτική του έκφραση αποτελείται από τις πιθανότητες των μεταβλητών.

Έστω ένα Δίκτυο Bayesian με τρεις μεταβλητές X , Y και Z . Οι μεταβλητές X και Y είναι γονείς για τη μεταβλητή Z , δηλαδή η μεταβλητή Z είναι η εξαρτημένη κορυφή.



Η πιθανότητα για τη μεταβλητή Z είναι η δεσμευμένη πιθανότητα δεδομένων των πιθανοτήτων των μεταβλητών X και Y .

Η κατανομή πιθανοτήτων για κάθε κόμβο εξαρτάται αποκλειστικά από τους γονείς του κόμβου, έτσι για ένα δίκτυο n κόμβων έχουμε:

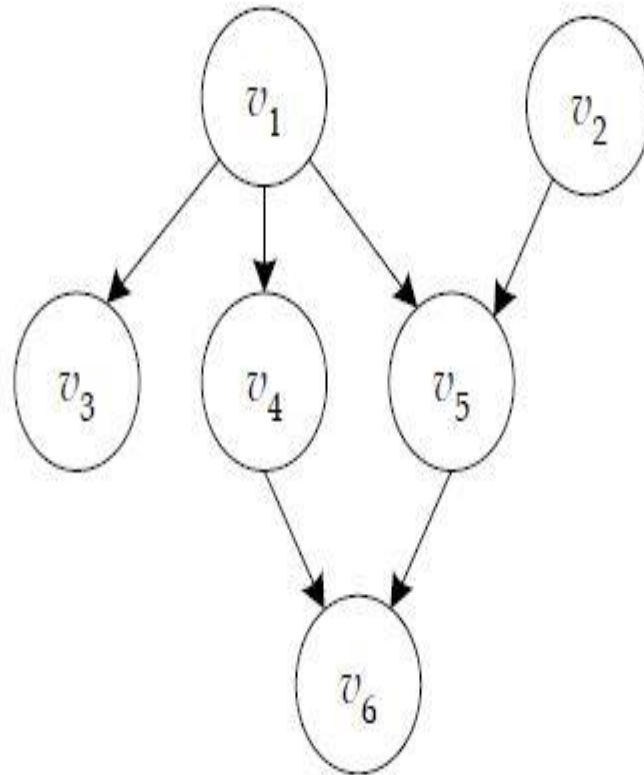
$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | P_a(X_i))$$

Για το προηγούμενο σχήμα έχουμε:

$$P(Z) = P(Z|X, Y) * P(X) * P(Y)$$



$$P(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6) = P(v_1) \cdot P(v_2) \cdot P(v_3|v_1) \cdot P(v_4|v_1) \cdot P(v_5|v_1, v_2) \cdot P(v_6|v_4, v_5)$$



$P(K=T)$	$P(K=F)$
0.8	0.2

$P(A=T)$	$P(A=F)$
0.02	0.98

Καρέκλα (K)

Άσκηση (A)

K	$P(\Sigma=T K)$	$P(\Sigma=F K)$
T	0.9	0.1
F	0.01	0.99

Συνοργάτης (Σ)

Μέση (M)

K	A	$P(M=T K,A)$	$P(M=F K,A)$
T	T	0.9	0.1
T	F	0.2	0.8
F	T	0.9	0.1
F	F	0.01	0.99

M	$P(\Pi=T M)$	$P(\Pi=F M)$
T	0.7	0.3
F	0.1	0.9

Πόνος (Π)



Τα Δίκτυα Bayes οδηγούν σε συμπερασματολογία:

(i) πρόβλεψης (prediction) για έναν κόμβο χρησιμοποιώντας γνώση των γονέων κόμβων του ή/και άλλων κόμβων συνδεδεμένων με τους γονείς κόμβους του. Αυτή η συμπερασματολογία ονομάζεται και συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω (top-down reasoning).

(ii) διάγνωσης (diagnosis) για έναν κόμβο χρησιμοποιώντας γνώση των παιδιών κόμβων του ή/και άλλων κόμβων συνδεδεμένων με τα παιδιά κόμβους του. Αυτή η συμπερασματολογία καλείται και συλλογιστική από κάτω προς τα πάνω (bottom-up reasoning).



Πλεονεκτήματα Δικτύων Bayes:

- Παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης και αξιολόγησης ενός προβλήματος ή μιας απόφασης με βάση το γενικότερο οικονομικό/επιχειρησιακό περιβάλλον και τον τρόπο που αυτό επιδρά στους KPIs που μας ενδιαφέρουν και στους ανάλογους επιχειρηματικούς στόχους.
- Επιτρέπουν τη μοντελοποίηση σύνθετων σχέσεων εξάρτησης ανάμεσα σε πολλούς παράγοντες, την ανάλυση διαφορετικών σεναρίων, την ανάλυση ευαισθησίας, την αναπροσαρμογή του συστήματος ώστε να περιλαμβάνει νέες μεταβλητές, σχέσεις, πληροφορίες, κτλ και να χρησιμοποιούν στατιστικές παρατηρήσεις και πειραματικά δεδομένα, αποτελέσματα πειραμάτων, ειδική γνώση (expert judgment) κτλ.
- Έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται μεταβλητές με σύνθετες σχέσεις εξάρτησης σε αντίθεση με τις κλασικές τεχνικές της Πολύκριτηριακής Ανάλυσης.
- Έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν τα αποτελέσματα των παραγόντων χαμηλότερου επιπέδου στους ενδιάμεσους παράγοντες όπως και στους υψηλότερου επιπέδου παράγοντες (τελικά αποτελέσματα) ενώ οι κλασικές μέθοδοι Ανάλυσης Αποφάσεων συνήθως συγκεντρώνουν τους ενδιάμεσους παράγοντες στο τελικό αποτέλεσμα.

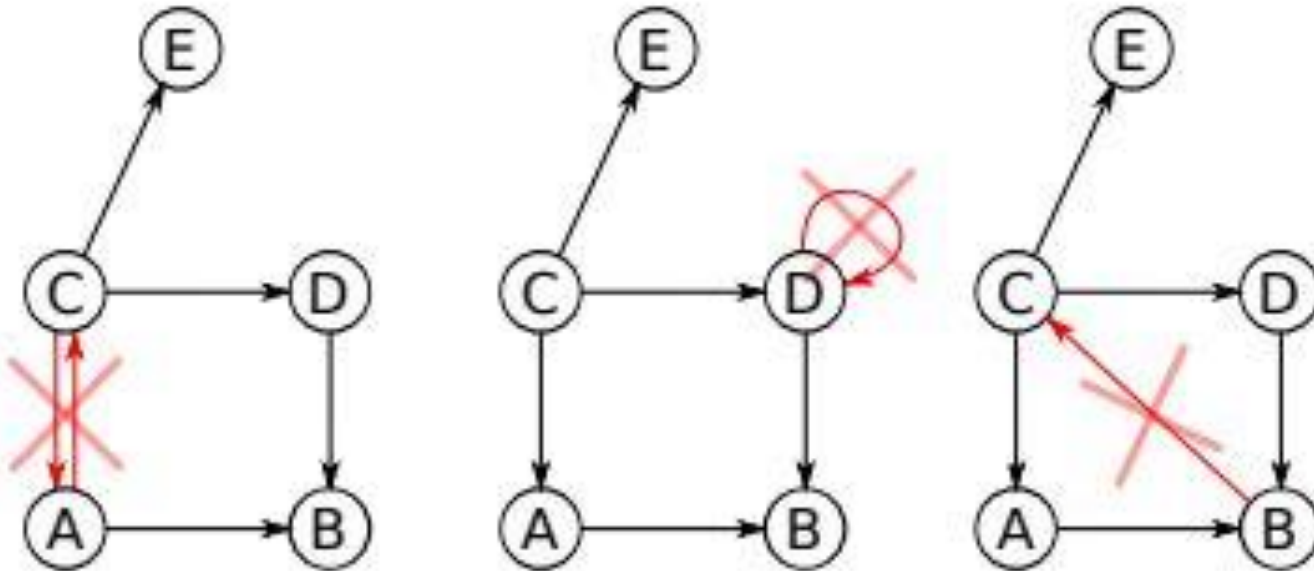


Περιορισμοί των Δικτύων Bayes:

- Η ποιότητα και ο βαθμός της «προηγούμενης γνώσης» επηρεάζει τη συμπεραματολογία. Τα Δίκτυα Bayes είναι χρήσιμα μόνο όταν η «προηγούμενη γνώση» είναι αξιόπιστη. Ειδάλλως, μια υπερβολικά αισιόδοξη ή απαισιόδοξη προσδοκία θα στρεβλώσει το δίκτυο και τα αποτελέσματά του.
- Τι γίνεται σε περίπτωση κυκλικών σχέσεων? Συχνό φαινόμενο σε εφαρμογές από το χώρο της μηχανικής. Τα Δίκτυα Bayes είναι μη-κυκλικά γραφήματα οπότε δεν υποστηρίζουν καταρχήν τέτοια προβλήματα και απαιτούνται προσαρμογές και απλουστεύσεις.
- Οι εφαρμογές Δικτύων Bayes σε ρεαλιστικά προβλήματα γίνονται συχνά υπολογιστικά «ακριβές». Περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό κόμβων και τόξων, οπότε και απαιτούν και μεγάλο υπολογιστικό χρόνο.



Τι δε μπορούμε να έχουμε σε ένα Δίκτυο Bayes



Μια εφαρμογή για τη διάδοση ρίσκου στις εφοδιαστικές αλυσίδες (Ojha et al., 2018)

Το πρόβλημα: Κίνδυνοι εμφανίζονται σε ένα κόμβο της εφοδιαστικής αλυσίδας δημιουργούν φαινόμενο «κυματισμού» το οποίο δημιουργεί επιπλέον κινδύνους σε όλο το δίκτυο με πολλαπλάσια ένταση.

Το φαινόμενο αυτό το οποίο αφορά ένα συνδεδεμένο δίκτυο ορίζεται ως διάδοση κινδύνου (risk propagation). Αποτυχία λόγω κάποιου κινδύνου σε έναν κόμβο του δικτύου μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Το αποτέλεσμα του κινδύνου μπορεί να επεκταθεί τόσο ευθέως όσο και ανάστροφα στην εφοδιαστική αλυσίδα εξαιτίας της εξάρτησής της από τους διαφορετικούς παράγοντες που την αποτελούν.



Στόχος: Επιδιώκουμε την «ολιστική» μέτρηση στη διάδοση του ρίσκου κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

- Να αποδώσουμε τον κίνδυνο σε κάθε κόμβο κατά μήκος του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Να αξιολογήσουμε τη συνολική ευαισθησία του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ευαισθησία οφείλεται σε διάδοση της διαταραχής μεταξύ των διαφορετικών παραγόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά και στη διαταραχή στους παράγοντες καθαυτούς.
- Να μελετήσουμε τις ταυτόχρονες διαταραχές κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας και να αναπτύξουμε κατάλληλους δείκτες Έκθεσης σε Κίνδυνο (Risk Exposure Indices) και Ανθεκτικότητας στον Κίνδυνο (Risk Resilience Index) για πολλαπλούς κόμβους στην εφοδιαστική αλυσίδα.



Εξάρτηση παραγόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας και το φαινόμενο διάδοσης του κινδύνου

- Οι αποφάσεις μίας εταιρείας που μετέχει στην εφ. αλ. μπορεί να επηρεάσουν άμεσα την επίδοση άλλων εταιρειών της αλυσίδας.
- Οι διαταραχές σε ένα επίπεδο της εφ. αλ. περνούν και στα υπόλοιπα επίπεδά της.
- Το αποτέλεσμα της διάδοσης κινδύνου σε ολόκληρο το δίκτυο καλείται διάδοση διαταραχής και μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της εφ. αλ.



Πιθανοί κίνδυνοι για τους παράγοντες της εφ. αλ.:

- Καιρικά φαινόμενα
- Απεργία
- Ατυχήματα, φωτιά, σεισμός
- Κυκλοφοριακή επιβάρυνση
- Ζημιά σε μηχανολογικό εξοπλισμό
- Αστοχίες στην πρόβλεψη ζήτησης, ανεπάρκεια ή υπερβολή αποθεμάτων, Bullwhip Effect
- Κακός συντονισμός, ελλιπής πληροφόρηση, κτλ
- ...



Υπάρχει λοιπόν ανάγκη συνολικής (ολιστικής) αξιολόγησης της επίδοσης/αποτελεσματικότητας της εφ. αλ. μέσω ποσοτικών δεικτών, καθώς και των αποδεκτών ορίων αυτών των δεικτών. Οι δείκτες αυτοί λαμβάνουν υπόψη το δίκτυο αντί για την εταιρεία εξατομικευμένα...

Το Δίκτυο Bayes μοντελοποιεί ολόκληρη την εφ. αλ. και έτσι με την κατάλληλη πληροφορία μπορεί να ποσοτικοποιήσει τους αναγκαίους συγκεντρωτικούς δείκτες.



- Το Δίκτυο Bayes είναι ένα αναλυτικό εργαλείο που υπολογίζει την κατανομή πιθανότητας μη-παρατηρούμενων μεταβλητών με βάση τις παρατηρούμενες μεταβλητές.
- Οι μεταβλητές στο γράφημα αντιστοιχούν στους παράγοντες κινδύνου που σχετίζονται με το επίπεδο της εφ. αλ. Οι τιμές των πιθανοτήτων εμφάνισης του κινδύνου λαμβάνονται από «ειδική γνώση» (expert knowledge/judgment).



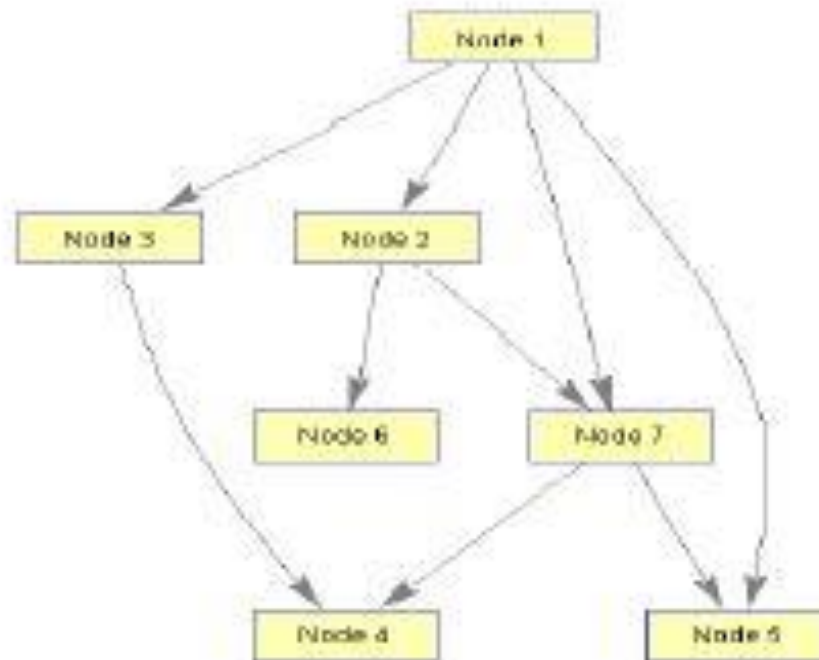


Figure 1 (a): Network of risk factors for Suppliers



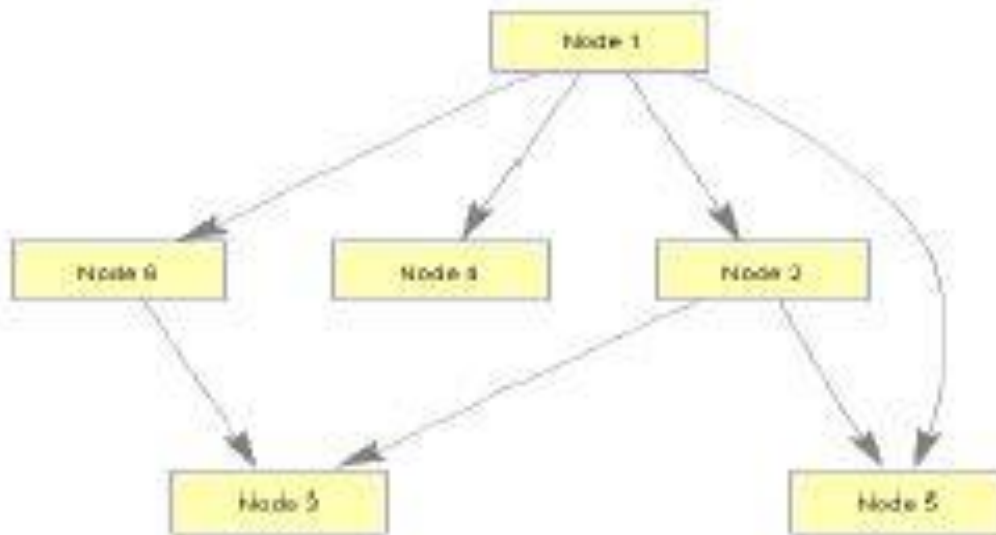


Figure 1 (b): Network of risk factors for Manufacturer



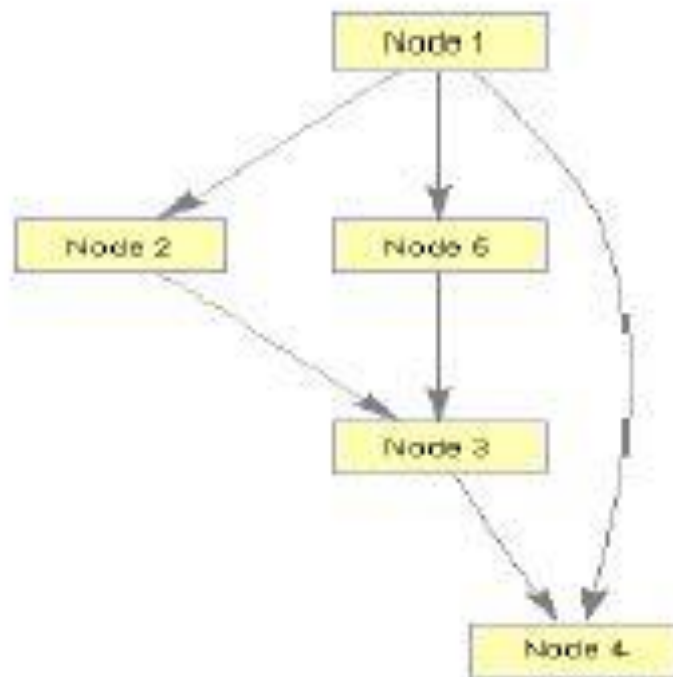


Figure 2 (a): Network of risk factors for Distributors



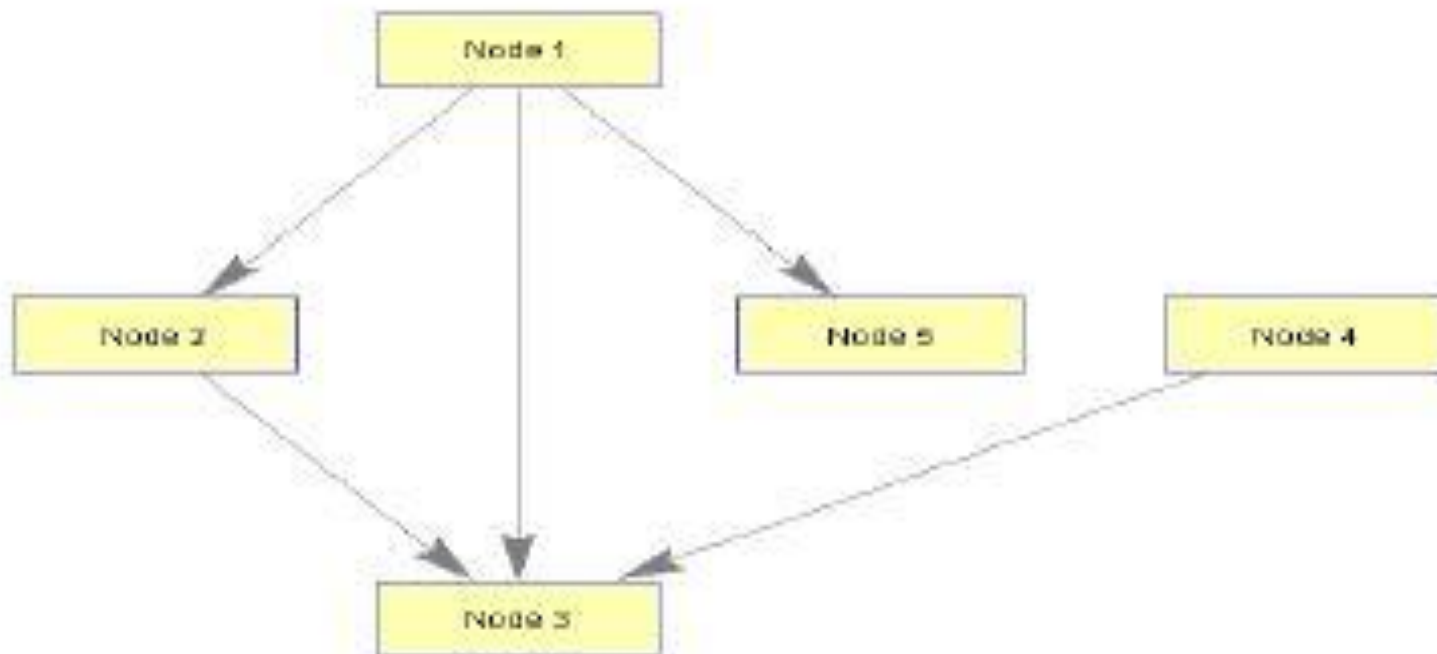


Figure 2 (b): Network of risk factors for Retailer



Η εφαρμογή αναφέρεται σε μια εταιρεία παραγωγής αυτοκινήτων της οποίας η εφ. αλ. συνοψίζεται ως εξής:

- 1^ο επίπεδο: Εφοδιαστής 1 και Εφοδιαστής 2
- 2^ο επίπεδο: Κατασκευαστής
- 3^ο επίπεδο: Διανομέας 1 και Διανομέας 2
- 4^ο επίπεδο: Έμπορος

Το επίπεδο λεπτομέρειας της πληροφορίας σε καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες της εφ. αλ. είναι πολύ μεγάλο.

Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό να συμπεριληφθούν οι σημαντικοί παράγοντες ρίσκου/κινδύνου χωρίς το Δίκτυο να γίνει μη διαχειρίσιμο.



Για να διατηρηθεί το απαραίτητο επίπεδο λεπτομέρειας πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις με operations managers σε καθένα από τους παράγοντες της εφ. αλ.

Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη ήταν:

1. Ζήτηση
2. Κόστος αποθήκευσης
3. Δυνατότητα απόκρισης (backup capacity)
4. Παράγοντες κινδύνου/ρίσκου

Στατιστικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθούν οι σημαντικοί παράγοντες ρίσκου.



Χρησιμοποιήθηκε χρονικός ορίζοντας 20 εβδομάδων για την προσομοίωση (η εβδομάδα εμφάνισης της διαταραχής στον κόμβο επιλέγεται τυχαία).

Επίσης υποθέτουμε ότι η ζήτηση και η δυνατότητα παραγωγής των εφοδιαστών ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Node	Demand	Production	Unit inventory cost (in pounds)
Supplier 1	Uniform(30000,32000)	Uniform(32000,34000)	0.15*30
Supplier 2	Uniform(12000,14000)	Uniform(13000,15000)	0.15*30
Manufacturer	Uniform(42000,44000)	-	0.20*30
Distributor 1	Uniform(10000,12000)	-	0.25*30
Distributor 2	Uniform(32000,34000)	-	0.25*30
Retailer	Uniform(42000,44000)	-	0.40*30



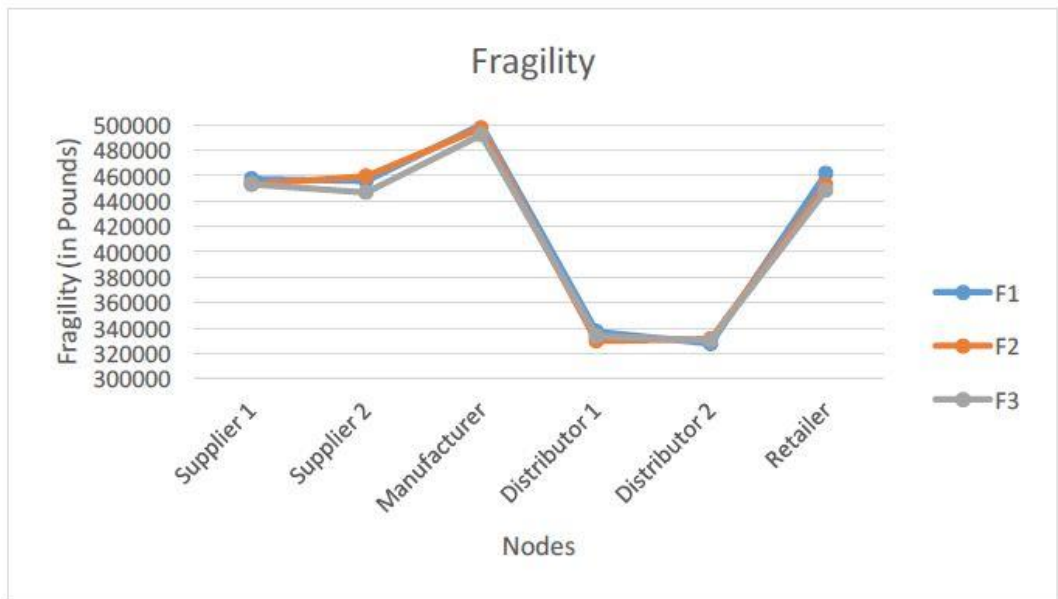
Sl. No.	Facility Nodes	Risk Factors
1.	Supplier	<ul style="list-style-type: none"> • Natural disaster • Supplier bankruptcy • Machine breakdown • Product quality issues • Inaccurate forecast • Labor strikes • Information/Infrastructure breakdown
2.	Manufacturer	<ul style="list-style-type: none"> • Natural disaster • Machine breakdown • Product quality issues • Labor strikes • Excess pollution and emissions
3.	Distributor	<ul style="list-style-type: none"> • Information/Infrastructure Breakdown • Natural disaster • Labor strikes • Product damage/Obsolescence risk • Information/Infrastructure Breakdown
4.	Retailer	<ul style="list-style-type: none"> • Natural disaster • Labor strikes • Inaccurate forecast • Competition • Delivery delays

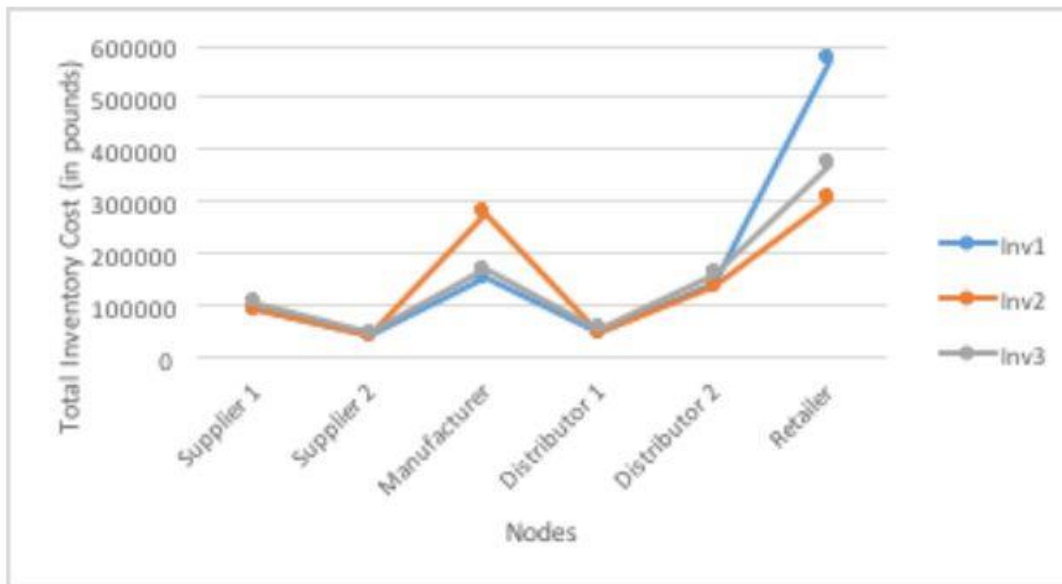
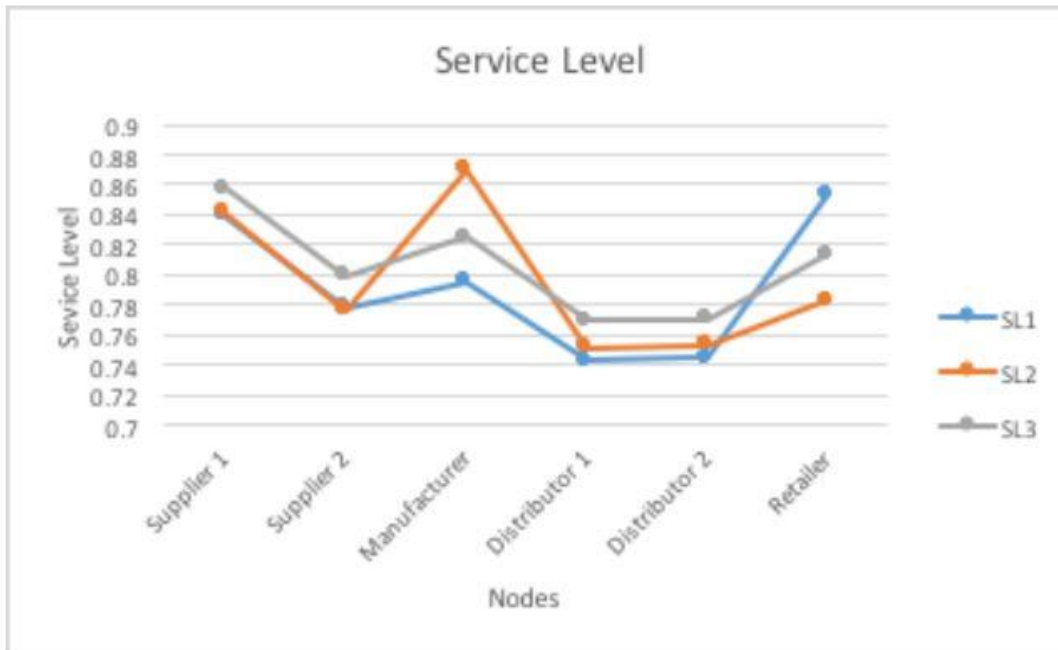


Table 4: Percentage inventory and backup level at each Layer

Option	Supplier	Manufacturer	Distributor	Retailer
1	20%	20%	20%	40%
2	20%	40%	20%	20%
3	25%	25%	25%	25%







Λογισμικά για τη μοντελοποίηση Δικτύων Bayes:

- HUGIN
- Genie
- Netica
- BayesiaLab
- SPSS/Bayes Net node
- R/bnlearn
- R/ShinyBN
- ...



Εφαρμογές Δικτύων Bayes:

- Οικολογία και Περιβάλλον
- Ιατρική
- Χρηματοοικονομικά Μοντέλα
- Διαχείριση Έργων
- Συστήματα Διοίκησης Επιχειρήσεων
- Συστήματα Μεταφοράς
- Στρατιωτικές Εφαρμογές
- Μοντελοποίηση Ικανοποίησης Πελατών (Customer Satisfaction)
- Γεωργικές Εκμεταλλεύσεις
- Υπολογιστική Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)



Βιβλιογραφία:

1. Ανάκτηση Πληροφορίας/Το Πιθανοκρατικό Μοντέλο, Παπαδόπουλος Α., Μανωλόπουλος Ι., Τσίχλας Κ., Εκδόσεις Κάλλιπος.
2. Εισαγωγή στην Υπολογιστική Νοημοσύνη/Μεθοδολογίες με Γράφους, Καμπουρλάζος Β., Παπακώστας Γ., Εκδόσεις Κάλλιπος.
3. Chakraborty, S., Mengersen, K., Fidge, C., Ma, L. and Lassen, D. (2016). A Bayesian Network-based customer satisfaction model: a tool for management decisions in railway transport. *Decision Analytics* 3(4).
4. Ojha, R., Ghadge, A., Tiwari, M.K. and Bititci, U.S. (2018). Bayesian network modelling for supply chain risk propagation. *International Journal of Production Research*.



Ερωτήσεις ???

Ευχαριστώ για την προσοχή σας

