

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2025)

14ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»



Σχεδιασμός Τεχνολογικά Ενισχυμένου Εκπαιδευτικού Σεναρίου για τη Συμπερασματολογία κατά Bayes

Δημήτριος Λάππας, Παναγιώτης Καράμπελας, Γεώργιος Φεσάκης

doi: [10.12681/cetpe.9422](https://doi.org/10.12681/cetpe.9422)

Βιβλιογραφική αναφορά:

Λάππας Δ., Καράμπελας Π., & Φεσάκης Γ. (2026). Σχεδιασμός Τεχνολογικά Ενισχυμένου Εκπαιδευτικού Σεναρίου για τη Συμπερασματολογία κατά Bayes. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 739–747. <https://doi.org/10.12681/cetpe.9422>

Σχεδιασμός Τεχνολογικά Ενισχυμένου Εκπαιδευτικού Σεναρίου για τη Συμπερασματολογία κατά Bayes

Δημήτριος Λάππας¹, Παναγιώτης Καράμπελας², Γεώργιος Φεσάκης¹
psed21008@aegean.gr, panagiotis.karampelas@hafa.haf.gr, gfesakis@aegean.gr

¹Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού,

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

²Σχολή Ικάρων

Περίληψη

Η λήψη απόφασης υπό αβεβαιότητα μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση πιθανοτήτων. Μια πιθανολογική προσέγγιση ώστε να μετριάσει η αβεβαιότητα και να ληφθούν όσο το δυνατόν πιο ορθολογικές αποφάσεις, αποτελεί η θεωρία Bayes. Οι δυνατότητες που προσφέρει η συμπερασματολογία κατά Bayes χρησιμοποιούνται ως πυρήνας πολλών εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της αβεβαιότητας. Για την αξιοποίηση όμως υπολογιστικών εφαρμογών που προσφέρουν πιθανολογικά συμπεράσματα σύμφωνα με τη θεωρία Bayes, οι χρήστες χρειάζεται να κατανοήσουν τη συγκεκριμένη θεωρία και κατ' επέκταση να την εμπιστευτούν. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρειάζεται κατάλληλη εκπαίδευση. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε ταχύρρυθμη εκπαίδευση φοιτητών ή αποφοίτων ΑΕΙ στη συμπερασματολογία κατά Bayes, χρησιμοποιώντας σενάριο του πραγματικού κόσμου, με το οποίο οι εκπαιδευόμενοι ήταν ήδη εξοικειωμένοι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταχύρρυθμη εκπαίδευση με ανάλυση της αντιμετώπισης προβλήματος του πραγματικού κόσμου από μια εκπαιδευτική εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιεί δίκτυο Bayes, ήταν αρκετή ώστε οι εκπαιδευόμενοι να βελτιώσουν την κατανόηση της λειτουργίας των δικτύων Bayes αλλά όχι αρκετή ώστε να καταφέρουν να αναπτύξουν οι ίδιοι ακόμα και απλά σχετικά δίκτυα.

Λέξεις κλειδιά: αβεβαιότητα, δίκτυα Bayes, λήψη απόφασης, Τεχνητή Νοημοσύνη

Εισαγωγή

Η λήψη αποφάσεων γίνεται είτε σε περιβάλλον βεβαιότητας, είτε σε περιβάλλον αβεβαιότητας όπου χαρακτηρίζεται από έλλειψη πληροφοριών σχετικά με ένα θέμα που ενδιαφέρει μια κατάσταση και στην οποία είναι δύσκολο έως αδύνατο να προβλεφθούν οι μελλοντικές επεκτάσεις του θέματος (Cuzzolin, 2016). Η λήψη αποφάσεων μέσα σε ένα πλαίσιο αβεβαιότητας μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση λογισμού πιθανοτήτων (Hokor, 2023). Η έννοια όμως της "πιθανότητας" δεν είναι ομοιόμορφα ορισμένη ή εξίσου κατανοητή από όλους. Με βάση τη συχνотική προσέγγιση ορίζεται ως πιθανότητα το όριο της συχνότητας εμφάνισης ενός γεγονότος μετά από άπειρες επαναλήψεις του πειράματος τύχης. Οι συχνотικές πιθανότητες όμως δεν υποστηρίζουν την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας σε στοχαστικές καταστάσεις, όπου δεν είναι εφικτό να επαναληφθούν πειράματα. Οι πιθανότητες σε αυτή τη περίπτωση, όπου είναι υποκειμενικές, έχουν την έννοια της ποσοτικοποίησης των πεποιθήσεων ότι κάποια γεγονότα θα πραγματοποιηθούν και όχι ότι συνέβησαν αρκετές φορές.

Στο συλλογισμό κατά Bayes, οι πιθανότητες θεωρούνται ως έκφραση υποκειμενικών πεποιθήσεων για να εκφράσουμε την αβεβαιότητά μας σε τιμές παραμέτρων, αφού παρατηρήσουμε κάποια δεδομένα (Holt, 1996). Δεν απαιτείται να φανταστούμε ότι υπάρχει άπειρος αριθμός πιθανών δειγμάτων ή ότι τα δεδομένα μας είναι αποτέλεσμα κάποιας τυχαίας διαδικασίας δειγματοληψίας. Αρκεί μια αρχική εκτίμηση ή οι προηγούμενες πιθανότητες που είναι διαθέσιμες για μια κατάσταση και έπειτα η παρατήρηση των σχετικών

γεγονότων ώστε να εφαρμόσουμε τη μέθοδο συλλογισμού κατά Bayes (Khuda, 2021), σύμφωνα με την οποία η παρατήρηση κάθε νέου δεδομένου ενημερώνει ανάλογα τις πιθανότητες. Επιπλέον υπό αβέβαιες καταστάσεις το θεώρημα Bayes αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στη διαδικασία λήψης απόφασης. Με τη χρήση του μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα που διακρίνει τη κατάσταση και ο λήπτης της απόφασης να επιλέξει την εκδοχή που θα προσφέρει το βέλτιστο αναμενόμενο αποτέλεσμα (Jensen, 1996).

Τα δίκτυα Bayes, που βασίζονται στο θεώρημα Bayes, με τις δυνατότητες υπολογιστικής μοντελοποίησης εξαρτώμενων τυχαίων μεταβλητών που προσφέρουν είναι κατάλληλα για τον χειρισμό της αβεβαιότητας και τη λήψη αποφάσεων στη περίπτωση πολύπλοκων πιθανολογικών σχέσεων μεταξύ πολλών μεταβλητών (Cooper & Herskovits, 1996). Η ικανότητα στατιστική επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων από υπολογιστικά περιβάλλοντα καθιστούν πλέον τα δίκτυα Bayes ένα ισχυρό εργαλείο σε όλους τους τομείς όπου απαιτείται διάγνωση και πρόβλεψη υπό αβεβαιότητα. Η ανάπτυξη που παρατηρήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες στον τομέα της Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), συνέβαλε στη χρήση των δικτύων Bayes και σε εφαρμογές σε διάφορους τομείς με ιδιαίτερο το ρόλο των δικτύων Bayes στην ανάπτυξη εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης.

Στη καθημερινότητά μας γινόμαστε αποδέκτες υπηρεσιών πολλών εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης όπου στηρίζουν τη λειτουργία τους στα δίκτυα Bayes και χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της λήψης απόφασης υπό αβεβαιότητα (Mokhtarian et al., 2022). Παράδειγμα αποτελεί ο αυτοματοποιημένος χαρακτηρισμός ενός email ως ανεπιθύμητο (spam) και η αρχειοθέτηση του σε ξεχωριστό φάκελο. Η μελέτη της αντιμετώπισης προβλημάτων του πραγματικού κόσμου με τη χρήση δικτύων Bayes, και η παρουσίαση ήδη γνωστών εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, καθιστά το ζήτημα αυθεντικό για τους φοιτητές ή πτυχιούχους με στοιχειώδεις γνώσεις πιθανοτήτων οι οποίοι είναι δυνητικοί χρήστες κι άλλων παρόμοιων εφαρμογών και μπορεί να διευκολύνει την ταχύρρυθμη εκπαίδευση τους.

Η τελευταία υπόθεση αποτέλεσε το επίκεντρο σχεδιασμού και εφαρμογής πρωτότυπης ταχύρρυθμης εκπαιδευτικής παρέμβασης, στην οποία φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης μελέτησαν τη λειτουργία ενός δικτύου Bayes. Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε εκπαιδευτική εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης, η οποία αναγνώριζε emails με περιεχόμενο ηλεκτρονικού ψαρέματος (phishing), τα οποία κατασκεύασαν οι ίδιοι οι φοιτητές. Οι εκπαιδευτικοί στόχοι της παρέμβασης ήταν οι εκπαιδευόμενοι να αναγνωρίσουν το τρόπο λειτουργίας των δικτύων Bayes μέσα από ένα καθημερινό παράδειγμα του πραγματικού κόσμου στο οποίο είχαν εμπειρία και να επιλύσουν προβλήματα τα οποία απαιτούσαν την ανάπτυξη μικρών δικτύων.

Στο υπόλοιπο του άρθρου, αρχικά αναλύονται στο θεωρητικό μέρος η διαδικασία λήψης απόφασης υπό αβεβαιότητα, τα δίκτυα Bayes και η εφαρμογή τους στην τεχνητή νοημοσύνη. Ακολουθεί η προβληματική της έρευνας, η ανάλυση και τέλος τα συμπεράσματα.

Θεωρητικό μέρος

Λήψη απόφασης υπό αβεβαιότητα

Η διαδικασία λήψης απόφασης μπορεί να στηρίζεται είτε στον ορθολογισμό (rationality) είτε στη διαίσθηση (intuition) (Marchisotti, 2018). Ο ορθολογισμός παρατηρείται κυρίως σε περιβάλλοντα βεβαιότητας, όπου υπάρχουν συγκεκριμένες επιλογές με προβλέψιμα αποτελέσματα. Στην περίπτωση όμως της αβεβαιότητας, όπου είτε δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για μια δεδομένη κατάσταση, είτε δεν μπορούν να προβλεφθούν τα αποτελέσματα των αποφάσεων, τότε οι αποφάσεις λαμβάνονται κυρίως διαισθητικά (Agor,

1986). Επιπλέον, υπό αβέβαιες καταστάσεις οι άνθρωποι τείνουν να αναπτύξουν ευρετικές νοητικές διεργασίες κρίσης βασισμένες στην αντιπροσωπευτικότητα ή την ομοιότητα με άλλες καταστάσεις, τη διαθεσιμότητα παρόμοιων περιπτώσεων ή σεναρίων και τη συσχέτιση με γνωστά δεδομένα (Tversky & Kahneman, 1974).

Σε περιβάλλοντα αβεβαιότητας, η ικανότητα εντοπισμού των πιο πιθανών αποτελεσμάτων και η λήψη απόφασης με βάση αυτά, συνιστά την πιθανολογική σκέψη υπό αβεβαιότητα (Hokor, 2023). Υπό αβέβαιες καταστάσεις, ο πιθανολογικός συλλογισμός βοηθά τους λήπτες αποφάσεων να εξετάζουν τις επιλογές τους με βάση τα πιο πιθανά αποτελέσματα (Hokor, 2020). Κατ' αυτό τον τρόπο, ο πιθανολογικός συλλογισμός επιτρέπει να υπολογιστεί η πιθανότητα συγκεκριμένων αποτελεσμάτων και επομένως, να αναγνωριστούν οι κίνδυνοι και τα πιθανά οφέλη μιας ενέργειας με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Οι πιθανότητες στο συλλογισμό υπό αβεβαιότητα δεν εξετάζουν τις πιθανές εκδοχές ατιοκρατικά, ως αίτιο και αποτέλεσμα καθώς τα αποτελέσματα δε μπορούν να προβλεφθούν. Προσδίδουν όμως στα αποτελέσματα μια υποκειμενική έκφραση των πεποιθήσεων που υπάρχουν ότι αυτά τα αποτελέσματα θα προκύψουν.

Δίκτυα Bayes

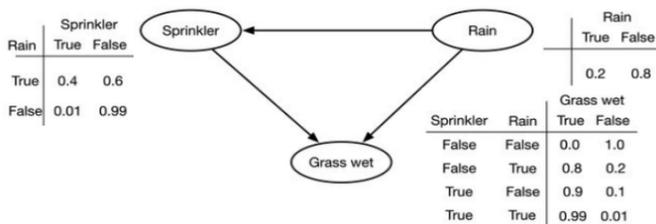
Σύμφωνα με το θεώρημα Bayes εάν γνωρίζουμε μια υπό όρους πιθανότητα, έστω $P(B|A)$, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την αντίστροφη με τον εξής τύπο:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Ενας άλλος τρόπος έκφρασης του θεωρήματος Bayes ο οποίος περιλαμβάνει μια υπόθεση (πεποίθηση), τη προηγούμενη εμπειρία (υπό όρους πιθανότητα που ήδη γνωρίζουμε) και τη παρατηρούμενη ένδειξη (δεδομένο) είναι ο εξής:

$$P(\text{Υπόθεση}|\text{Ένδειξη}) = \frac{P(\text{Ένδειξη}|\text{Υπόθεση}) P(\text{Υπόθεση})}{P(\text{Ένδειξη})}$$

Τα δίκτυα Bayes βασίζονται στην εφαρμογή του θεωρήματος Bayes και αποτελούν μια γραφική αναπαράσταση ενός προβλήματος, η οποία οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα μέσα από μια σύνθετη κοινή κατανομή πιθανοτήτων (Jensen, 1996). Με τα δίκτυα Bayes, που χαρακτηρίζονται και ως κατευθυνόμενα μη κυκλικά γραφήματα (Directed, Acyclic Graph - DAG), δίνεται έμφαση στη σχηματική αναπαράσταση των σχέσεων μεταξύ διαφόρων παραγόντων - δεδομένων μιας προβληματικής κατάστασης καθώς και των αποτελεσμάτων μεταξύ συνδυασμού αυτών (Cooper & Herskovits, 1996) (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Παράδειγμα δικτύου Bayes με υπό όρους πιθανότητες (Zhang et. al., 2021)

Επιπλέον, τα δίκτυα Bayes προσφέρουν αναπαράσταση της πιθανολογικής δομής των συστημάτων που μελετώνται και μπορεί να χρησιμεύσουν ως μια μέθοδος για τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας (Holt, 1996) αλλά και για πρόβλεψη (Khuda, 2021).

Οι σύνθετες σχέσεις μεταξύ πολλών μεταβλητών ενός δικτύου Bayes μπορούν να μελετηθούν μέσω των υπό όρους σχέσεων, μεταξύ μικρότερων υποσυνόλων των μεταβλητών, οι οποίες μπορούν να διαβαστούν απευθείας από το διάγραμμα. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση των πράξεων. Εάν δηλαδή το x_i υποδηλώνει κάποια τιμή της μεταβλητής X_i και το pa_i υποδηλώνει κάποιο σύνολο τιμών για τους γονείς (parent) του X_i , τότε το $P(x_i|pa_i)$ υποδηλώνει αυτήν την υπό όρους κατανομή πιθανότητας. Οπότε η κοινή κατανομή πιθανοτήτων όταν επιμερίζεται ανάλογα με τις υπό όρους κατανομές δίνεται από τον εξής τύπο $P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i|pa_i)$. Τα κύρια πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα δίκτυα Bayes είναι η εξαγωγή πιθανολογικού συμπεράσματος, ο ευκολότερος υπολογισμός σύνθετων από κοινού κατανομών πιθανοτήτων, η δομημένη αναπαράσταση σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, συνεχής ενημέρωση με νέα δεδομένα, αντιμετώπιση πολύπλοκων καταστάσεων καθώς και ανακάλυψη και εντοπισμός αιτιωδών σχέσεων.

Δίκτυα Bayes και τεχνητή νοημοσύνη

Τα δίκτυα Bayes συνέβαλαν στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς προσφέρουν δυνατότητες τυπικού συλλογισμού υπό αβεβαιότητα (Pearl, 1995), διαγνωστικές ικανότητες και δυνατότητες βελτίωσης των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Ένα δίκτυο Bayes στη λειτουργία της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανόηση και οπτικοποίηση σύνθετων καταστάσεων, εξαγωγή πιθανολογικών συμπερασμάτων, λήψη αποφάσεων, αντιμετώπιση δεδομένων που λείπουν και μάθηση από δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα Bayes στη τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιούνται για (Mokhtarian et al., 2022):

- Επεξεργασία εικόνας (Image processing): Ένα δίκτυο Bayes μπορεί να μοντελοποιήσει τις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών των εικόνων και τις εξαρτήσεις τους με βάση τις πιθανότητες. Ως αποτέλεσμα μπορεί να βελτιωθεί η ακρίβεια εικόνων (π.χ. φωτισμός, μοτίβο) ή ακόμη να αποκατασταθούν τμήματα εικόνων που λείπουν.
- Ταξινόμηση εγγράφων (Document classification): Τα δίκτυα Bayes μπορούν και μοντελοποιούν πιθανολογικές σχέσεις μεταξύ λέξεων, θεμάτων και κατηγοριών των εγγράφων. Ως αποτέλεσμα αντιπροσωπεύουν εξαρτήσεις μεταξύ κατηγοριών, βελτιώνοντας την ταξινόμηση εγγράφων.
- Ρομποτική (Robotics): Τα δίκτυα Bayes εφαρμόζονται στη ρομποτική για τη λειτουργία αυτοματοποιημένων αποφάσεων, όπου ενσωματώνονται πληροφορίες από πολλαπλούς αισθητήρες με διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας.
- Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity): Στην κυβερνοασφάλεια, τα δίκτυα Bayes χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση τρωτών σημείων των δικτύων υπολογιστών και των υπολογιστικών εφαρμογών, την πρόβλεψη πιθανών απειλών καθώς και τον προσδιορισμό της πιθανότητας παραβιάσεων της ασφάλειας.
- Διαγνωστικά συστήματα (Diagnostic systems): Τα δίκτυα Bayes χρησιμοποιούνται σε διαγνωστικά συστήματα για τη μοντελοποίηση των σχέσεων μεταξύ συμπτωμάτων και πιθανών αιτιών. Βοηθούν στον προσδιορισμό της πιο πιθανής αιτίας για τα παρατηρούμενα συμπτώματα, λαμβάνοντας υπόψη τις εξαρτήσεις μεταξύ μεταβλητών.
- Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural language processing): Τα δίκτυα Bayes μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη πιθανολογικών εξαρτήσεων μεταξύ λέξεων και φράσεων, ώστε να προβλέπεται η αλληλουχία των λέξεων που οδηγούν σε φράσεις.

Ένα παράδειγμα χρήσης δικτύων Bayes σε εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης είναι τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης, στα οποία συνεισφέρουν στη γνωστική κατανόηση των

συνθηκών οδήγησης (διάγνωση) και την απόφαση τρόπου οδήγησης (συμπέρασμα), όπως θα χειριζόταν ένας πραγματικός οδηγός το αυτοκίνητό του (Ma et. al., 2021).

Προβληματική

Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης οι οποίες υποστηρίζονται από τη λειτουργία των δικτύων Bayes. Οι χρήστες των εφαρμογών αυτών, στη περίπτωση όπου είτε δε γνωρίζουν ότι οι συγκεκριμένες εφαρμογές χρησιμοποιούν δίκτυα Bayes για την εξαγωγή συμπερασμάτων, είτε δε γνωρίζουν το τρόπο λειτουργίας των δικτύων Bayes, έχει ως αποτέλεσμα να υιοθετούν άκριτα το δοσμένο αποτέλεσμα. Η διερεύνηση της απόκτησης γνώσεων από ενήλικες, για την ανάπτυξη και εφαρμογή δικτύων Bayes, μέσα από ταχύρρυθμη εκπαίδευση, όπου παρουσιάζονται προβλήματα του πραγματικού κόσμου στα οποία ήδη έχουν κάποια εμπειρία, αποτελεί το επίκεντρο του άρθρου. Σκοπός της εργασίας είναι η αρχική διερεύνηση του εξής ερωτήματος: κατά πόσο μπορεί να γίνει ταχύρρυθμη εκπαίδευση φοιτητών ή πτυχιούχων ΑΕΙ, με στοιχειώδεις γνώσεις πιθανοτήτων, στην εφαρμογή των δικτύων Bayes σε προβλήματα λήψης απόφασης υπό αβεβαιότητα με την βοήθεια λογισμικού επεξεργασίας δικτύων Bayes; Στόχος είναι η αποτίμηση ενός ειδικά σχεδιασμένου ταχύρρυθμου εκπαιδευτικού προγράμματος στα δίκτυα Bayes με την αξιοποίηση κατάλληλα επιλεγμένων αυθεντικών προβλημάτων και λογισμικού επεξεργασίας δικτύων Bayes ώστε να εξοικονομηθεί χρόνος από τους υπολογισμούς και να αφιερωθεί στην ταχύτερη κατανόηση των δικτύων.

Ερευνητικό μέρος

Συνθήκες διεξαγωγής εκπαιδευτικής παρέμβασης

Η εκπαιδευτική παρέμβαση διεξήχθη στη Σχολή Ικάρων την 02 Δεκεμβρίου 2024 ως εκπαιδευτική ενότητα του μαθήματος "Cyber Warfare" το οποίο προσφέρεται στο πλαίσιο του Διεθνούς Αεροπορικού Εξαμήνου, ενός Αγγλόφωνου Erasmus+ προγράμματος σπουδών 10 μαθημάτων και 24 ECTS κατά τη διάρκεια του 2^{ου} έτους των κατευθύνσεων Ιπταμένων και Ελεγκτών Αεράμυνας της Σχολής Ικάρων. Στην εκπαίδευση συμμετείχαν συνολικά 82 σπουδαστές αεροπορικών ακαδημιών πέντε ευρωπαϊκών χωρών, ηλικίας 19 έως 21 ετών. Η εκπαίδευση διήρκεσε έξι διδακτικές ώρες.

Εκπαιδευτικό σενάριο

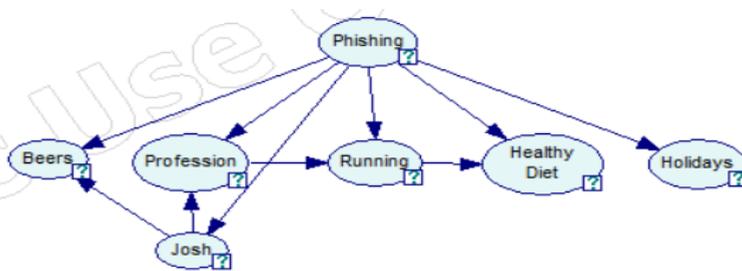
Το εκπαιδευτικό σενάριο περιελάμβανε ένα υποθετικό άτομο για το οποίο υπήρχαν διαθέσιμες πληροφορίες από τις αναρτήσεις του σε μια ιστοσελίδα κοινωνικής δικτύωσης. Πιο συγκεκριμένα, το υποθετικό πρόσωπο ήταν ένας Γερμανός πιλότος μαχητικού αεροσκάφους που από τις δημοσιεύσεις του διακρινόταν ότι του άρεσε να τρέχει σε μαραθώνιους αγώνες και μελετούσε την ιστορία των μαχητικών αεροσκαφών. Είχε υγιεινές διατροφικές συνήθειες και σε πολλές αναρτήσεις του ανέφερε το φίλου του Τζος, την κόρη του, τα μέρη που είχε επισκεφτεί στις διακοπές του και στο είδος της μπύρας που του αρέσει να πίνει.

Οι εκπαιδευόμενοι ανέλαβαν το ρόλο ενός συντάκτη email με κακόβουλο περιεχόμενο. Σκοπός τους ήταν να δημιουργήσουν ένα email το οποίο θα περιέχει περιεχόμενο ηλεκτρονικού ψαρέματος (phishing email). Πιο συγκεκριμένα, τους ζητήθηκε να δημιουργήσουν το περιεχόμενο ενός phishing email προσαρμοσμένο στο υποθετικό πρόσωπο (αποδέκτη) που περιεγράφηκε στην πιο πάνω παράγραφο και το οποίο περιείχε έναν υπερσύνδεσμο, που επιλέγοντας τον αυτόματα θα μετέφερε ένα κακόβουλο λογισμικό στη συσκευή του με σκοπό τη συλλογή εμπιστευτικών πληροφοριών.

Εκπαιδευτικό λογισμικό δικτύων Bayes

Την προηγούμενη ακαδημαϊκή χρονιά, από αυτή που πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη εκπαιδευτική παρέμβαση, διεξήχθη εκπαίδευση στον τρόπο δράσης των συντακτών phishing emails. Για την εν λόγω εκπαίδευση οι συμμετέχοντες συνέταξαν phishing emails για το ίδιο υποθετικό πρόσωπο, με το ίδιο προφίλ. Συνολικά υπήρχαν 164 μηνύματα ηλεκτρονικού ψαρέματος που δημιουργήθηκαν από σπουδαστές του προηγούμενου έτους. Η ανάλυση του θέματος αυτών των email έδειξε ότι μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι θεματικές κατηγορίες (και συνδυασμούς αυτών), οι οποίες ήταν: *επάγγελμα (πιλότος μαχητικού αεροσκάφους), αθλητική δραστηριότητα τρεξίματος, ταξίδια διακοπών, υγιεινή διατροφή, κατανάλωση μπύρας, χρόνος με τον Τζος (φίλος)*. Τα δεδομένα αυτά υπήρξαν το έναυσμα για τη δημιουργία ενός δικτύου Bayes, το οποίο θα προέβλεπε την πιθανότητα ένα email να είναι phishing με βάση την ανάλυση του περιεχομένου του. Επιπλέον, για την ανάπτυξη του δικτύου υποθέσαμε ότι ο παραλήπτης είχε λάβει 200 μηνύματα τα οποία δεν ήταν προσπάθεια ηλεκτρονικού ψαρέματος και για τα οποία παρέιχε πληροφορίες για το θέμα τους.

Το δίκτυο Bayes που δημιουργήθηκε από τα παραπάνω δεδομένα, με τους κόμβους και τις συνδέσεις, εμφανίζεται στο Σχήμα 2 (με το λογισμικό GeNIe Academic).



Σχήμα 2. Το δίκτυο Bayes που χρησιμοποιήθηκε ως εκπαιδευτικό υλικό

Σε αυτό το δίκτυο Bayes, τοποθετούμε ως αποδεικτικά στοιχεία τα θέματα από το προφίλ του λήπτη τα οποία αναφέρονται στο email και λαμβάνουμε ως έξοδο την πιθανότητα αυτού του μηνύματος να έχει περιεχόμενο ηλεκτρονικού ψαρέματος. Οι υπό όρους πιθανότητες του δικτύου υπολογίστηκαν με βάση τα phishing emails που δημιούργησαν οι σπουδαστές της προηγούμενης χρονιάς και τα υποθετικά emails που δεν περιείχαν προσπάθεια ψαρέματος. Το ίδιο δίκτυο αναπτύχθηκε και με γλώσσα προγραμματισμού Python, όπου εισάγοντας το κείμενο του email αναγνωριζόταν οι λέξεις οι οποίες είχαν ίδια σημασία με τις λέξεις των κόμβων και εξαγονταν το πιθανολογικό αποτέλεσμα (Σχήμα 3). Κατ' αυτό τον τρόπο ο κάθε εκπαιδευόμενος μπορούσε να ελέγχει μόνος του το email που συνέταξε. Εφόσον οι εκπαιδευόμενοι έκαναν έλεγχο των μηνυμάτων τους και έλαβαν ένα πιθανολογικό αποτέλεσμα το μήνυμά τους να αποτελεί προσπάθεια ηλεκτρονικού ψαρέματος, τους έγινε διάλεξη σχετικά με το θεώρημα και τα δίκτυα Bayes, καθώς και του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η συγκεκριμένη εφαρμογή ελέγχου τεχνητής νοημοσύνης.

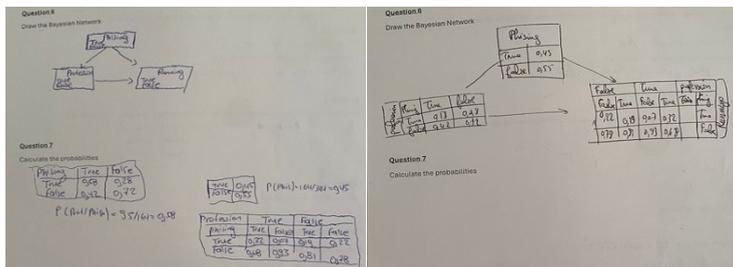


Σχήμα 3. Η εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης που σχεδιάστηκε ως εκπαιδευτικό υλικό

Το ψηφιακό περιβάλλον λειτουργήσε ως θεμελιώδες εργαλείο για την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας σε δύο επίπεδα: πρώτον, ως περιβάλλον αλληλεπίδρασης και πειραματισμού και δεύτερον, ως μηχανισμός άμεσης ανατροφοδότησης. Η χρήση του λογισμικού GeNIe επέτρεψε στους εκπαιδευόμενους να οπτικοποιήσουν τις σχέσεις μεταξύ μεταβλητών, να κατανοήσουν τη ροή των πιθανολογικών εξαρτήσεων και να παρατηρήσουν τη δυναμική ενημέρωση των πιθανοτήτων με την εισαγωγή νέων δεδομένων. Επιπλέον, η ειδικά σχεδιασμένη εφαρμογή σε Python παρείχε στους φοιτητές τη δυνατότητα να εισάγουν το phishing email που οι ίδιοι δημιούργησαν και να λάβουν ως έξοδο μια πιθανότητα, βασισμένη στο εκπαιδευτικό δίκτυο Bayes, για το κατά πόσο το μήνυμα τους θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως phishing. Η άμεση ανατροφοδότηση ενίσχυσε την ενσυναίσθηση και την κατανόηση της επίδρασης των παραμέτρων στην τελική εκτίμηση. Συνεπώς, το ψηφιακό περιβάλλον λειτουργήσε υποστηρικτικά όχι μόνο στην κατανόηση της θεωρίας αλλά και στη σύνδεση της με την πρακτική εφαρμογή της σε αυθεντικά παραδείγματα του πραγματικού κόσμου.

Δημιουργία δικτύων Bayes από τους εκπαιδευόμενους

Μετά την ανάλυση της θεωρίας του Bayes και την επίδειξη μιας εφαρμογής τεχνητής νοημοσύνης που στηρίζεται σε δίκτυα Bayes, στους εκπαιδευόμενους δόθηκαν παρόμοια προβλήματα πρόβλεψης πιθανότητας emails να αποτελούν προσπάθεια ηλεκτρονικού ψαρέματος. Οι εκπαιδευόμενοι προσπάθησαν να επιλύσουν με παρόμοιο τρόπο τα προβλήματα σε φύλλο απαντήσεων (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Παραδείγματα λύσεων των εκπαιδευόμενων

Αποτελέσματα

Από τους 82 εκπαιδευόμενους οι 35 δήλωσαν ότι είχαν παρακολουθήσει κάποιου είδους εκπαίδευση στο θεώρημα Bayes στο παρελθόν (43%), ενώ οι υπόλοιποι 47 δήλωσαν ότι δεν είχαν παρακολουθήσει κάποια σχετική εκπαίδευση (57%). Όλοι οι εκπαιδευόμενοι κατάφεραν να λύσουν τα προβλήματα τα οποία αφορούσαν τη χρήση μόνο του θεωρήματος Bayes. Το ποσοστό όμως που κατάφερε να επιλύσει σωστά τα προβλήματα ανάπτυξης δικτύων Bayes ήταν 13%, συνολικά 11 εκπαιδευόμενοι εκ των οποίων 4 είχαν παρακολουθήσει εκπαίδευση στη θεωρία Bayes στο παρελθόν.

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ πρότερης γνώσης και επιτυχίας στην ανάπτυξη δικτύων Bayes, πραγματοποιήθηκε έλεγχος *t*-test μεταξύ των εκπαιδευομένων που δήλωσαν πρότερη εκπαίδευση στη θεωρία Bayes και αυτών που δεν είχαν. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τα σχετικά δεδομένα.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εκπαιδευομένων

Ομάδα Εκπαιδευομένων	Συμμετέχοντες (n)	Επιτυχείς (άτομα)	Ποσοστό Επιτυχίας
Με πρότερη γνώση Bayes	35	4	11,4%
Χωρίς πρότερη γνώση Bayes	47	7	14,9%

Ο έλεγχος *t*-test που πραγματοποιήθηκε με βάση τις επιδόσεις (επιτυχία/αποτυχία) των δύο ομάδων δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ($p = 0,62$). Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι, ανεξαρτήτως πρότερης γνώσης, η ταχύρρυθμη εκπαιδευτική παρέμβαση δεν επαρκούσε για την αποτελεσματική ανάπτυξη δικτύων Bayes. Το εύρημα αυτό ενισχύει την ανάγκη για επέκταση του εκπαιδευτικού προγράμματος με περισσότερες ώρες και παραδείγματα. Επιπλέον κρίνεται απαραίτητη η εστίαση στην εκπαίδευση στις υπό όρους πιθανότητες και στη μοντελοποίηση αιτιωδών σχέσεων, καθώς τα κυριότερα πρόβλημα που αντιμετώπισαν οι εκπαιδευόμενοι ήταν η ανακάλυψη των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών των δικτύων και η εξεύρεση των υπό όρους πιθανοτήτων μεταξύ των κόμβων.

Σύνοψη

Τα δίκτυα Bayes αποτελούν χρήσιμο και αποτελεσματικό εργαλείο τόσο για τη λήψη αποφάσεων όσο και για την πρόβλεψη σε συνθήκες αβεβαιότητας. Στη λειτουργία τους στηρίζονται πολλές υπολογιστικές εφαρμογές, ιδίως στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης. Για τη χρησιμοποίηση των εφαρμογών αυτών κρίνεται απαραίτητη η εκπαίδευση στη συμπερασματολογία κατά Bayes τόσο για την αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων της αλλά και την ανάπτυξη της εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα που προσφέρουν. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια ταχύρρυθμη εκπαιδευτική παρέμβαση σε σπουδαστές αεροπορικών ακαδημιών, με επίκεντρο την επίλυση προβλήματος πραγματικού κόσμου.

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αναδειχθηκε ότι η συγκεκριμένη εκπαιδευτική παρέμβαση πρόσφερε τη δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν τη λειτουργία της συμπερασματολογίας κατά Bayes καθώς μπόρεσαν να εφαρμόσουν με επιτυχία το θεώρημα Bayes σε μικρά προβλήματα. Από την άλλη πλευρά, η συγκεκριμένη εκπαιδευτική παρέμβαση δεν κάλυψε τις εκπαιδευτικές ανάγκες των συμμετεχόντων ώστε να είναι ικανοί να αναπτύξουν δίκτυα Bayes σε δοσμένα προβλήματα. Οι συγγραφείς εκτιμούν ότι το εκπαιδευτικό πρόγραμμα μπορεί να γίνει περισσότερο αποτελεσματικό αν επεκταθεί ώστε να

αξιοποιηθούν περισσότερες εκπαιδευτικές ώρες, περισσότερα λυμένα προβλήματα ως παραδείγματα και εκπαίδευση στις υπό όρους πιθανότητες. Οι εκτιμήσεις αυτές πρόκειται να ενσωματωθούν σε μια επόμενη βελτιωμένη έκδοση της εκπαιδευτικής παρέμβασης και θα μελετηθούν ξανά τα αποτελέσματα.

Αναφορές

- Agor, W. H. (1986). *The logic of intuitive decision-making*. Quorum Books.
- Cooper, C., and Herskovits, E. (1992). A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data. *Machine Learning*, 9(4), 309-347.
- Cuzzolin, F. (2016). *The geometry of uncertainty. The geometry of imprecise probabilities*. Springer.
- Dobbs, I. M. (1991). A Bayesian approach to decision-making under ambiguity. *Economica, New Series* 58(232), 417-440.
- Hokor, E. K. (2020). Pre-service teachers' probabilistic reasoning in constructivist classroom. *Pedagogical Research*, 5(2), em0053.
- Hokor, E. K. (2023). Probabilistic thinking for life: The decision-making ability of professionals in uncertain situations. *International Journal of Studies in Education and Science (IJSES)*, 4(1), 31-54.
- Holt, C. A. (1996). Classroom games: Understanding Bayes' rule. *Journal of Economic Perspectives*, 10(2), 179-187.
- Jensen, F. (1996) *An introduction to Bayesian Networks*. Springer.
- Khuda, I. (2021) Innovative teaching pedagogy for teaching and learning of Bayes' theorem. *Journal of Science and Engineering*, 18(1), 61-71.
- Ma, J., Xie, H., Song, K., & Liu, H. (2021). A Bayesian driver agent model for autonomous vehicles system based on knowledge-aware and real-time data. *Sensors*, 21, 331.
- Marchisotti, G. G., Almeida, R. L., & Domingos, M. L. C. (2018). Decision-making at the first management level: The interference of the organizational culture. *Revista de Administração Mackenzie*, 19(3), eRAMR180106.
- Mokhtarian, E., Akbari, S., Jamshidi, F., Etesami, J., & Kiyavash, N. (2022). Learning Bayesian networks in the presence of structural side information. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36(7), 7814-7822.
- Pearl, J. (1995). From Bayesian networks to causal networks. In *Mathematical models for handling partial knowledge in artificial intelligence* (pp. 157-182). Springer.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185, 1124-1131.
- Zhang, W., Ramezani, R. & Naeim, A. (2021). *An introduction to causal reasoning in health analytics*. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.04655>