



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Ενσωμάτωση Συναισθηματικής Υπολογιστικής σε Ευφυή Συστήματα
Διδασκαλίας: Μελέτη Τεχνικών Ανίχνευσης Συναισθημάτων και Προσαρμογής

Φοιτητής: Τασούλας Θεοφάνης

ΑΜ: mscacs22024

Επιβλέπων:

Μυλωνάς Φοίβος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιανουάριος 2024

Τίτλος εργασίας

**Ενσωμάτωση Συναισθηματικής Υπολογιστικής σε Ευφυή Συστήματα
Διδασκαλίας: Μελέτη Τεχνικών Ανίχνευσης Συναισθημάτων και Προσαρμογής**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΜΥΛΩΝΑΣ ΦΟΙΒΟΣ	Αναπληρωτής Καθηγητής	
	ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΡΟΥΣΣΑΣ	Επίκουρος Καθηγητής	
	ΚΛΕΙΩ ΣΓΟΥΡΟΠΟΥΛΟΥ	Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τασούλας Θεοφάνης του Γρηγορίου, με αριθμό μητρώου mscacs22024 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένες Τεχνολογίες Υπολογιστικών Συστημάτων» του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Τέλος, βεβαιώνω ότι η εργασία αυτή δεν έχει κατατεθεί στο πλαίσιο των απαιτήσεων για τη λήψη άλλου τίτλου σπουδών ή επαγγελματικής πιστοποίησης πλην του παρόντος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Φοίβος Μυλωνάς / Αναπληρωτής Καθηγητής
Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

Ο Δηλών

(Υπογραφή)



Περίληψη

Τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας έχουν δείξει μεγάλες δυνατότητες στη βελτίωση των μαθησιακών εμπειριών παρέχοντας εξατομικευμένη και προσαρμοστική διδασκαλία. Στον εκπαιδευτικό τομέα οι νέες μεθοδολογίες στη διδακτική βελτίωση βασίζονται στο διαδίκτυο, προκειμένου να παρέχουν τα καλύτερα μαθήματα και να προσελκύουν την προσοχή των μαθητών. Προσθέτοντας και την τεχνητή νοημοσύνη ως παράγοντα διδασκαλίας, επιδιώκεται να βελτιωθεί η τεχνολογία εκμάθησης, συλλέγοντας και αξιοποιώντας δεδομένα χρηστών, προσαρμόζοντας μαθήματα στις ανάγκες των μαθητών και αυτοματοποιώντας τη διαδικασία αυτοβελτίωσης ενός τέτοιου συστήματος. Όμως, η συναισθηματική πτυχή της μαθησιακής διαδικασίας συχνά παραβλέπεται, ενώ τα συναισθήματα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη μάθηση. Γι' αυτό και η ενσωμάτωση του συναισθηματικού υπολογισμού στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές και ελκυστικές εκπαιδευτικές εμπειρίες, μαθαίνοντας ακόμα και έξω από την τάξη και εξ αποστάσεως. Ο συναισθηματικός υπολογισμός είναι ένας πολύπλοκος και σημαντικός τομέας, που στοχεύει να εξοπλίσει τους υπολογιστές με ανθρώπινες ικανότητες, προκειμένου να παρατηρούν, να ερμηνεύουν και να δημιουργούν συναισθηματικά χαρακτηριστικά. Περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες και προσεγγίσεις για τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και τη δημιουργία πιο έξυπνων και ανταποκρινόμενων συστημάτων, που στηρίζονται κυρίως στην τεχνητή νοημοσύνη. Ο τομέας αυτός έχει γνωρίσει σημαντικές προόδους τα τελευταία χρόνια, με πολυάριθμα ερευνητικά έργα και εφαρμογές που αναδύονται. Αυτά τα έργα συμβάλλουν στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων που μπορούν να αλληλοεπιδρούν καλύτερα με τους ανθρώπους και να ανταποκρίνονται στις συναισθηματικές τους καταστάσεις.

Αυτή η πρόταση μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας στοχεύει να διερευνήσει την ενσωμάτωση των τεχνικών ανίχνευσης και προσαρμογής συναισθημάτων στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας. Η μελέτη θα διερευνήσει τις προκλήσεις, τα οφέλη και τις πρακτικές εφαρμογές και τις επιπτώσεις της ενσωμάτωσης αυτής και θα προτείνει στρατηγικές για αποτελεσματική χρήση. Ειδικότερα θα γίνει ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τον συναισθηματικό υπολογισμό, τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας και τη διασταύρωσή τους, τονίζοντας τη σημασία των συναισθημάτων στη μαθησιακή διαδικασία και τα πιθανά οφέλη από την ενσωμάτωση τεχνικών συναισθηματικής υπολογιστικής. Ακόμα, θα διερευνήσει τις διάφορες τεχνικές ανίχνευσης συναισθημάτων, συμπεριλαμβανομένων των εκφράσεων προσώπου, ανάλυσης φωνής και ανάλυσης κειμένου, και θα αξιολογήσει τη δυνατότητα εφαρμογής και την αποτελεσματικότητά τους στο πλαίσιο των ευφύων συστημάτων διδασκαλίας. Επιπρόσθετα, θα διερευνήσει τις πιθανές τεχνικές προσαρμογής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας με βάση τα ανιχνευμένα συναισθήματα, όπως ανατροφοδότηση (feedback), εκπαιδευτικές στρατηγικές, προσαρμογή περιεχομένου και συναισθηματικές παρεμβάσεις. Επιπλέον, θα αναλύσει περιπτώσιολογικές μελέτες ή υπάρχοντα συστήματα που έχουν ενσωματώσει επιτυχώς τον συναισθηματικό υπολογισμό στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, εξετάζοντας τις

σχεδιαστικές επιλογές, τις μεθοδολογίες και τα αποτελέσματά τους, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της μάθησης, την ικανοποίηση των χρηστών και τη δέσμευση. Τέλος, θα προτείνει κατευθυντήριες γραμμές και στρατηγικές για την αποτελεσματική ενσωμάτωση τεχνικών ανίχνευσης και προσαρμογής συναισθημάτων στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως το απόρρητο των χρηστών, τα ηθικά ζητήματα, η επεκτασιμότητα του συστήματος και η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα.

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζονται τα δυνητικά οφέλη αυτών των τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της εξατομικευμένης μάθησης, της ενισχυμένης δέσμευσης των μαθητών και του εντοπισμού ατόμων με ειδικές ανάγκες. Έπειτα, η δεύτερη ενότητα εμβαθύνει στις τεχνικές πτυχές της αναγνώρισης συναισθημάτων, παρουσιάζοντας τους αλγόριθμους και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την ερμηνεία των συναισθηματικών καταστάσεων. Επικεντρώνεται στην ανάλυση δεδομένων από ήχο, εικόνα, κείμενο, προκειμένου να προσδιοριστεί αλγοριθμικά ένα συναίσθημα. Επίσης, αναφέρονται αλγόριθμοι με παραδείγματα, που χρησιμοποιούνται στη συναισθηματική υπολογιστική, μαζί με την ακρίβεια και τους περιορισμούς αυτών των τεχνολογιών. Μετέπειτα, η τρίτη ενότητα σημειώνει τις πρακτικές εφαρμογές στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας και αναδεικνύει τις δυνατότητες της αναγνώρισης συναισθημάτων για τη δημιουργία μαθησιακών περιβαλλόντων με συναισθηματική επίγνωση. Διερευνά την αλληλεπίδραση των συναισθημάτων και των μαθησιακών αποτελεσμάτων, τονίζοντας την ανάγκη για σχεδιασμό με επίκεντρο τον χρήστη και τη συνεχή ανατροφοδότηση. Ακόμη, εξετάζει τις ειδικές περιπτώσεις μάθησης για άτομα με αναπηρίες σωματικές ή νοητικές, ιδίως στα άτομα με αυτισμό. Στη συνέχεια, η τέταρτη ενότητα υπογραμμίζει τους τρόπους βελτίωσης της συναισθηματικής υπολογιστικής και των έξυπνων εκπαιδευτικών συστημάτων. Αναφέρει τους περιορισμούς και τους ηθικούς προβληματισμούς που σχετίζονται με την αναγνώριση συναισθημάτων, τονίζοντας την αναγκαιότητα της συγκατάθεσης μετά από ενημέρωση, της ασφάλειας των δεδομένων και της διαφάνειας, τη σημασία της διαπολιτισμικής ακρίβειας και του μετριασμού των πιθανών προκαταλήψεων. Τέλος, επισημαίνει τους περιορισμούς της παρούσας εργασίας και τις μελλοντικές προκλήσεις της ενσωμάτωσης συναισθηματικού υπολογισμού σε ευφυή συστήματα διδασκαλίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή

1.1		Συναισθηματικός
υπολογισμός.....	07	
1.2		Τεχνητή
Νοημοσύνη.....	07	
1.3		Αναγνώριση
συναισθημάτων.....	10	
1.4	Ευφυή	συστήματα
διδασκαλίας.....	12	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Τεχνικές ανίχνευσης συναισθημάτων

2.1	Ανίχνευση προσώπου.....	16
2.2	Ανάλυση φωνής.....	19
2.3	Ανάλυση κειμένου.....	22
2.4	Αλγόριθμοι για κατηγοριοποίηση συναισθημάτων.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Χρήση ευφών συστημάτων διδασκαλίας

3.1	Ενσωμάτωση συναισθηματικής υπολογιστικής στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας	34
3.2	Ευφυή συστήματα διδασκαλίας σε ειδικές κατηγορίες μαθητών.....	38
3.3	Υπάρχουσες εφαρμογές	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Μελλοντική προσέγγιση

4.1	Μελλοντικές βελτιώσεις παιδαγωγικής αποτελεσματικότητας.....	62
4.2	Ζητήματα ηθικής και απορρήτου.....	64
4.3	Περιορισμοί και προκλήσεις.....	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Συμπεράσματα

Συμπεράσματα71

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή

1.1 Συναισθηματικός υπολογισμός

Ο συναισθηματικός υπολογισμός είναι ένα επιστημονικό πεδίο της πληροφορικής, που εστιάζει στην ανάπτυξη λογισμικών εφαρμογών και συστημάτων με την ικανότητα να αντιλαμβάνονται, να ερμηνεύουν και να ανταποκρίνονται στα ανθρώπινα συναισθήματα. Στοχεύει στη δημιουργία τεχνολογιών, που μπορούν να κατανοήσουν και να δημιουργήσουν συναισθηματικά χαρακτηριστικά, ενισχύοντας την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή και βελτιώνοντας τη νοημοσύνη των συστημάτων υπολογιστών. Η έρευνα στο συναισθηματικό υπολογισμό βασίζεται σε γνώσεις από διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ψυχολογίας, της φυσιολογίας και κυρίως της επιστήμης των υπολογιστών. Με την ενσωμάτωση συναισθηματικών χαρακτηριστικών οι υπολογιστές μπορούν να γίνουν πιο ελκυστικοί προς χρήση και πιο αποτελεσματικοί στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, παρέχοντας έξυπνες και φιλικές απαντήσεις. Ο συναισθηματικός υπολογισμός περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, που λαμβάνονται συνήθως από εξωτερικές συσκευές (κάμερα, μικρόφωνο) και την επεξεργασία τους, συνήθως μέσω γλωσσών προγραμματισμού, αλλά και έτοιμων λογισμικών. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν κείμενο, εικόνες με εκφράσεις του προσώπου, χειρονομίες και κινήσεις του σώματος ή ακόμα και ήχο (Picard, R. W., 2003), (Tao, J., et. al, 2005).

Ο στόχος του συναισθηματικού υπολογισμού είναι να οικοδομήσει ένα «μοντέλο επιρροής» με βάση αυτές τις εισροές, επιτρέποντας στα εξατομικευμένα υπολογιστικά συστήματα να αντιλαμβάνονται, να ερμηνεύουν και να διαχειρίζονται αναλόγως τα ανθρώπινα συναισθήματα με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Ακόμη, η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων δίνει μια καλύτερη κατανόηση και περιγραφή της λειτουργίας και της διαχείρισης των συναισθημάτων του ανθρώπου. Ενδεχομένως, μάλιστα, να αποτελέσει μια μέθοδο βελτίωσης της συναισθηματικής νοημοσύνης του μηχανικού λογισμικού, αλλά και του χρήστη. Η συναισθηματική νοημοσύνη είναι η ικανότητα ενός ατόμου να κατανοεί, να διαχειρίζεται και να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τα συναισθήματά του, καθώς και να αναγνωρίζει και να ανταποκρίνεται στα συναισθήματα των άλλων με κοινωνικά ευφυή τρόπο. Περιλαμβάνει πολλά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας ακριβούς περιγραφής των συναισθημάτων στον εαυτό του και στους άλλους, την κατανόηση των αιτιών και των συνεπειών των συναισθημάτων ή ακόμα και την πρόβλεψη της νέας συναισθηματικής κατάστασης βάσει μιας διαχείρισης. Επειδή, λοιπόν, με αντίστοιχο τρόπο ένα λογισμικό προσπαθεί να αποκτήσει συναισθηματική ευφυΐα, δηλαδή με το να συλλέγει δεδομένα, να τα επεξεργάζεται και να δρα αναλόγως, η συναισθηματική νοημοσύνη του ανθρώπου αντικατοπτρίζεται σε ένα βαθμό στο συναισθηματικό υπολογισμό (Picard, R. W., 2003), (Tao, J., et. al, 2005).

1.2 Τεχνητή Νοημοσύνη

Οι τεχνολογίες στο συναισθηματικό υπολογισμό περιλαμβάνουν την ανάλυση και την επεξεργασία συναισθηματικού περιεχομένου στον προφορικό λόγο. Η αναγνώριση εκφράσεων προσώπου στηρίζεται σε υπάρχοντα δεδομένα ή αρχεία και η

επεξεργασία των δεδομένων στηρίζεται σε αλγορίθμους και μοντέλα. Η ανάπτυξη αλγορίθμων και μοντέλων για την αποτελεσματική κατανόηση και εξαγωγή γνώσης είναι πολύπλοκη διαδικασία, στηρίζεται σε μεγάλες βάσεις δεδομένων ή αρχείων και σε τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης.

Η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης σε μηχανές που είναι προγραμματισμένες να σκέφτονται και να μαθαίνουν, όπως οι άνθρωποι. Είναι ένα ευρύ πεδίο μελέτης και έρευνας που περιέχει την ανάπτυξη συστημάτων υπολογιστών και αλγορίθμων, όπου μπορούν να χαρακτηρίσουν και κατηγοριοποιήσουν δεδομένα, να μάθουν από την εμπειρία, να λάβουν αποφάσεις ή να αναλάβουν ενέργειες για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Επιδιώκει να αναπαράγει γνωστικές ικανότητες, όπως η επίλυση προβλημάτων, η αναγνώριση προτύπων, η κατανόηση φυσικής γλώσσας και η λήψη αποφάσεων σε υπολογιστές. Γι' αυτό το λόγο ο συναισθηματικός υπολογισμός βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη, επειδή η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει τις υπολογιστικές και αναλυτικές δυνατότητες που απαιτούνται για την κατανόηση, την ερμηνεία και την ανταπόκριση στα ανθρώπινα συναισθήματα. Οι αλγόριθμοι και οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στους υπολογιστές να επεξεργάζονται και να αναλύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως εκφράσεις προσώπου, μοτίβα ομιλίας ή φυσιολογικά σήματα. Με την εφαρμογή μηχανικής μάθησης, βαθιάς μάθησης και άλλων μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, τα συστήματα συναισθηματικών υπολογιστών μπορούν να μάθουν μοτίβα και συσχετισμούς σε συναισθηματικά δεδομένα, επιτρέποντάς τους να αναγνωρίζουν και να ερμηνεύουν τα συναισθήματα με ακρίβεια. Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει επίσης στα συναισθηματικά υπολογιστικά συστήματα να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους, να δημιουργούν κατάλληλες συναισθηματικές αντιδράσεις και να εξατομικεύουν τις αλληλεπιδράσεις με βάση τις συναισθηματικές καταστάσεις των χρηστών. Συνοπτικά, η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει την υποκείμενη τεχνολογική βάση, που εξουσιοδοτεί τον συναισθηματικό υπολογισμό να αναγνωρίζει, να κατανοεί και να ανταποκρίνεται αποτελεσματικά στα ανθρώπινα συναισθήματα (Calvo, R. A., et al., 2015).

Οι κλάδοι της τεχνητής νοημοσύνης

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας είναι ένα πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης που εστιάζει στην αλληλεπίδραση μεταξύ των υπολογιστών και της ανθρώπινης γλώσσας. Περιλαμβάνει εργασίες, όπως η επεξεργασία κειμένου, η κατανόηση γλώσσας, η εξαγωγή γνώσης από κείμενο και η αυτόματη μετάφραση. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας βοηθά στην εξαγωγή χαρακτηριστικών, στον εντοπισμό συναισθηματικών ενδείξεων και στην επεξεργασία δεδομένων κειμένου για την αποκάλυψη των υποκείμενων συναισθημάτων.

Η μηχανική μάθηση περιλαμβάνει την ανάπτυξη αλγορίθμων και μοντέλων που επιτρέπουν στους υπολογιστές να μαθαίνουν από δεδομένα και να λαμβάνουν προβλέψεις ή αποφάσεις αυτόματα. Περιλαμβάνει τεχνικές, όπως η εποπτευόμενη μάθηση, η μάθηση χωρίς επίβλεψη και η ενισχυτική μάθηση. Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι μάθησης, όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, τα δέντρα αποφάσεων και τα τυχαία δάση μπορούν να εκπαιδευτούν σε επισημασμένα

συναισθηματικά δεδομένα για την ταξινόμηση κειμένου ή άλλων τρόπων δεδομένων σε διαφορετικές συναισθηματικές κατηγορίες. Τεχνικές μάθησης χωρίς επίβλεψη, όπως η ομαδοποίηση ή η μοντελοποίηση θεμάτων, μπορούν να βοηθήσουν στην ανακάλυψη υποκείμενων συναισθηματικών προτύπων και στην ομαδοποίηση παρόμοιων δεδομένων. Η ενισχυτική μάθηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στον συναισθηματικό υπολογισμό για την ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων που ανταποκρίνονται στις συναισθηματικές καταστάσεις των χρηστών.

Η βαθιά μάθηση είναι ένα πεδίο της μηχανικής μάθησης, που χρησιμοποιεί τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για να μοντελοποιήσει και να κατανοήσει πολύπλοκα μοτίβα και σχέσεις στα δεδομένα. Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα διασυνδεδεμένων κόμβων (νευρώνες) και είναι ικανά να μαθαίνουν αυτόματα ιεραρχικές αναπαραστάσεις. Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα, όπως τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (RNN), τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) και τα μοντέλα μετασχηματιστών, μπορούν να συλλάβουν πολύπλοκες σχέσεις και εξαρτήσεις εντός κειμένου και πολυτροπικών δεδομένων. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να μάθουν ιεραρχικές αναπαραστάσεις συναισθημάτων και να επιτύχουν υψηλή ακρίβεια στις εργασίες αναγνώρισης συναισθημάτων.

Η όραση του υπολογιστή εστιάζει στο να επιτρέπει στους υπολογιστές να κατανοούν υψηλού επιπέδου οπτικά δεδομένα, όπως εικόνες και βίντεο. Περιλαμβάνει εργασίες, όπως ανίχνευση αντικειμένων, αναγνώριση εικόνας, ανάλυση εκφράσεων προσώπου και αναγνώριση χειρονομιών. Οι τεχνικές όρασης μπορούν να ενσωματωθούν στο συναισθηματικό υπολογισμό για την αναγνώριση συναισθημάτων από οπτικά δεδομένα, όπως εκφράσεις προσώπου ή γλώσσα του σώματος. Η ανάλυση εκφράσεων προσώπου, χρησιμοποιώντας τεχνικές, όπως η ανίχνευση ορόσημων προσώπου και τα μοντέλα που βασίζονται σε βαθιά μάθηση, επιτρέπει την αναγνώριση συναισθημάτων από εικόνες ή βίντεο. Η εκτίμηση της στάσης του σώματος και η αναγνώριση χειρονομιών μπορούν επίσης να παρέχουν πολύτιμες ενδείξεις για την κατανόηση συναισθηματικών καταστάσεων.

Η πολυτροπική σύντηξη αναφέρεται στην ενοποίηση πληροφοριών από πολλαπλούς τρόπους, όπως κείμενο, ομιλία, εικόνες ή φυσιολογικά σήματα, για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Περιλαμβάνει το συνδυασμό και την ανάλυση δεδομένων από διαφορετικές πηγές για να αποκτήσει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση. Οι τεχνικές πολυτροπικής σύντηξης μπορούν να ενσωματώνουν και να συνδυάζουν πληροφορίες από αυτές τις διαφορετικές μεθόδους για να ενισχύσουν την αναγνώριση συναισθημάτων. Μέθοδοι, όπως η αργή σύντηξη, η πρόωμη σύντηξη και η υβριδική σύντηξη συνδυάζουν τα αποτελέσματα μεμονωμένων τρόπων για να κάνουν πιο ισχυρές και ακριβείς προβλέψεις συναισθημάτων.

Η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή είναι ένα πεδίο που μελετά τους βέλτιστους τρόπους σχεδιασμού συστημάτων και διεπαφών που είναι διαισθητικά, φιλικά προς το χρήστη και ανταποκρίνονται στις ανθρώπινες ανάγκες. Στο συναισθηματικό υπολογισμό οι αρχές της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή εφαρμόζονται για τη δημιουργία συστημάτων που μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στις συναισθηματικές καταστάσεις των χρηστών.

1.3 Αναγνώριση συναισθημάτων

Η συναισθηματική αναγνώριση αναφέρεται στη διαδικασία ανάλυσης και κατανόησης των συναισθηματικών καταστάσεων, που εκφράζονται μέσα από δεδομένα. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, εκπαιδεύονται σε σύνολα δεδομένων για να ταξινομήσουν τα δεδομένα σε συγκεκριμένα συναισθήματα. Τα μοντέλα μαθαίνουν να αναγνωρίζουν μοτίβα στα εξαγόμενα χαρακτηριστικά και να τα συνδέουν με διαφορετικά συναισθήματα, όπως ευτυχία, λύπη, θυμό κ.λ.π. Μόλις το μοντέλο εκπαιδευτεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση συναισθημάτων σε πραγματικό χρόνο, αναλύοντας συνεχώς τις εκφράσεις του προσώπου που καταγράφονται μέσω μιας τροφοδοσίας (π.χ. κάμερας). Το σύστημα μπορεί να ανιχνεύει και να παρακολουθεί τα συναισθήματα, καθώς αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντας εφαρμογές με αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή να αναβαθμίζονται.

Είδη δεδομένων για Συναισθηματική Αναγνώριση

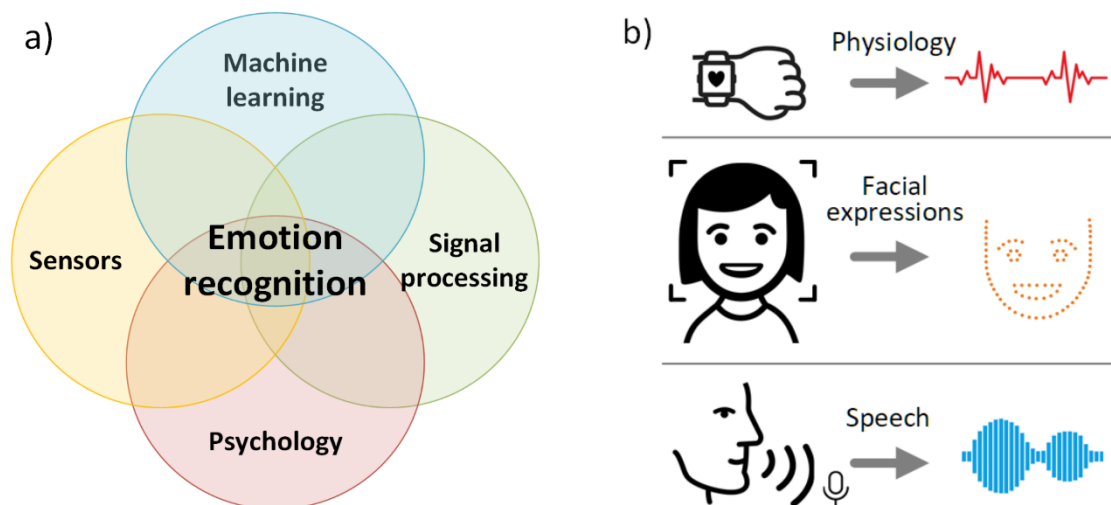
Τα συναισθήματα μπορούν να συναχθούν από γραπτό κείμενο, χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας φυσικής γλώσσας. Κάθε λέξη έχει βαθμολογηθεί ως θετική ή αρνητική σε ένα βαθμό, συναρτήσει των άλλων λέξεων που ακολουθούν. Έτσι, μια φράση έχει ένα συναισθηματικό βαθμό, ανάλογα με το πόσο αρνητική ή θετική είναι. Για παράδειγμα, η λέξη «όμορφα», μπορεί να βαθμολογηθεί 95% θετική. Έπειτα, μπορεί να γίνει και κατηγοριοποίηση των συναισθηματικών καταστάσεων που προβάλλονται από μια λέξη ή ένα σύνολο λέξεων. Αυτό γίνεται με αντιστοίχιση λέξεων ή φράσεων με κάποιο συναίσθημα σε κάποιο ποσοστό. Λόγου χάρη, η φράση «σήμερα είναι μια όμορφη μέρα», μπορεί να εκφράζει χαρά κατά 100% πιθανότητα. Στο τέλος, παράγεται μια βαθμολογία θετικού ή αρνητικού περιεχομένου του κειμένου, αλλά και η πιθανότητα το κείμενο να εκφράζει αυτή τη βαθμολογία (θετική ή αρνητική). Αυτό μπορεί να μην είναι ντετερμινιστικό, αλλά να γίνεται εκπαίδευση ενός μοντέλου, ώστε να αναβαθμίζεται η «αντίληψη» του λογισμικού και να βγάξει διαφορετικό και αποδοτικότερο αποτέλεσμα. Τοιουτοτρόπως, η φράση «σήμερα είναι μια όμορφη μέρα» με την πάροδο του χρόνου ίσως να εκφράζει χαρά κατά 95% πιθανότητα, γιατί κάποιοι χρήστες θα μπορούσαν να τη χρησιμοποιούν σε ένα κείμενο με πολύ άσχημες και αρνητικές εκφράσεις. Σε αυτό το σενάριο ίσως να εξυπνοείται ότι η φράση «σήμερα είναι μια όμορφη μέρα», χρησιμοποιείται ειρωνικά και συνεπώς αρνητικά. Άρα η πιθανότητα να είναι θετική φράση μειώνεται, επειδή πλέον προστέθηκε και αυτή η χρήση της φράσης στο σύνολο δεδομένων.

Τα συναισθήματα μπορούν να ανιχνευθούν από την προφορική γλώσσα, αναλύοντας χαρακτηριστικά ομιλίας, όπως το ύψος, ο τόνος, η ένταση και ο ρυθμός χρησιμοποιώντας τεχνικές, όπως η επεξεργασία σήματος ήχου. Η ταξινόμηση γίνεται με ανάλυση της συχνότητας του ήχου, με την αναγνώριση λέξεων ανά ένα χρονικό διάστημα, προκειμένου να γίνει κατανοητή η ταχύτητα ομιλίας, με την αναγνώριση συγκεκριμένων συχνοτήτων/φωνών των ομιλητών, ώστε να γνωστοποιηθεί ποιος και πότε μιλάει, αλλά και πότε αλλάζει ο τόνος της φωνής του. Η αλλαγή της τονικότητας, δεδομένης της φυσιολογικής φωνής ενός ομιλητή, δύναται να

αντιστοιχηθεί σε συγκεκριμένα συναισθήματα ή καταστάσεις του ατόμου. Επί παραδείγματι, εάν ο ομιλητής αλλάζει συνεχώς την τονικότητά του, μπορεί να εκφράζει ειρωνεία με κάποια πιθανότητα, ή εάν μιλάει με μπάσα φωνή, ίσως να εκφράζει σοβαρότητα. Αυτό για να γίνει, θα χρειαστεί ο αλγόριθμος να έχει ήδη τη φυσιολογική φωνή ενός ατόμου και να τη συγκρίνει με τη νέα παραλλαγμένη. Ακόμα η ένταση της φωνής, που μετριέται σε decibel, είναι ένα χαρακτηριστικό που εύκολα προσφέρει πληροφορία για τον ομιλητή, για παράδειγμα ότι είναι πολύ εύθυμος ή ήρεμος ή εκνευρισμένος. Αν και δεν είναι όλες οι προαναφερθείσες καταστάσεις συναισθήματα, ίσως να εκφράζουν κάποιο ή να αυξάνουν την πιθανότητα έκφρασης κάποιου συναισθήματος. Εάν, για παράδειγμα, ένας ομιλητής μιλάει σοβαρά, αυτό μειώνει την πιθανότητα η προαναφερθείσα φράση «σήμερα είναι μια όμορφη μέρα» να είναι αρνητική.

Οι εκφράσεις του προσώπου είναι ένας ισχυρός δείκτης συναισθημάτων. Οι αλγόριθμοι υπολογιστικής όρασης μπορούν να αναλύσουν χαρακτηριστικά και μοτίβα του προσώπου για να αναγνωρίσουν συναισθήματα, όπως η ευτυχία, η λύπη, ο θυμός και η έκπληξη. Για να γίνει η αναγνώριση, ταυτίζονται γεωμετρικά σχήματα σε μια εικόνα προσώπου, όπως λόγου χάρη δυο πλατιές παράλληλες ελλείψεις με δυο χείλη, ή υπάρχουσες και ταξινομημένες εικόνες μερών του σώματος με κάθε μέρος της εικόνας προς εξέταση. Έπειτα, χρειάζεται να ελεγχθεί η μετακίνηση του κάθε χαρακτηριστικού του προσώπου. Αν, επί παραδείγματι, εντοπισθούν τα φρύδια να μετατοπίζονται το ένα κοντά στο άλλο, αυτό ίσως να ταξινομούταν ως θυμός.

Άλλα σωματικά σήματα, όπως ο καρδιακός ρυθμός, η αγωγιμότητα του δέρματος και η εγκεφαλική δραστηριότητα, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για συναισθηματικές καταστάσεις. Για την ερμηνεία αυτών των σημάτων χρησιμοποιούνται βιομετρικοί αισθητήρες και αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Είναι προηγμένες μέθοδοι και προσφέρουν πληροφορία η οποία δεν κάνει σαφές το πώς μπορεί να συνδεθεί εύκολα με συναισθηματικές καταστάσεις. Μόνο ο καρδιακός ρυθμός δίνει σαφή συμπεράσματα. Εάν, για παράδειγμα, είναι υψηλός, μπορεί να συνεπάγεται άγχος. Άλλες μέθοδοι μέτρησης βιολογικών ουσιών, όπως η ντοπαμίνη, μπορεί επίσης να εξάγει σαφή συμπεράσματα, αλλά αυτοί οι βιοδείκτες είναι δύσκολο να αναγνωρίζονται άμεσα και σε σύντομο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1 – Μέθοδοι και είδη αναγνώρισης συναισθήματος

Προκλήσεις στη συναισθηματική αναγνώριση

Μια βασική πρόκληση είναι η υποκειμενικότητα και μεταβλητότητα των συναισθημάτων. Τα συναισθήματα είναι υποκειμενικά και μπορεί να διαφέρουν και να ποικίλουν ανάλογα με τα άτομα, τους πολιτισμούς και τα πλαίσια. Η δημιουργία ισχυρών μοντέλων που μπορούν να γενικεύουν τα συναισθήματα σε διαφορετικούς πληθυσμούς είναι μια μεγάλη πρόκληση, εξαιτίας της ποικιλίας των απόψεων για τον προσδιορισμό ενός συναισθήματος. Ομοίως, οι προσδοκίες των ερμηνευτών συναισθημάτων και οι πολιτισμικές προκαταλήψεις μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορές στη συναισθηματική έκφραση.

Η εξαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών συνδυάζοντας διαφορετικού είδους δεδομένα, όπως κείμενο, ήχος ή εικόνες προσώπου, έχει μεγάλη σημασία για την εκπαίδευση μοντέλων αναγνώρισης συναισθημάτων, καθόσον η ποικιλομορφία αυτή προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση και πιο πλήρη γνώση του συναισθήματος ενός ατόμου. Η πολυπλοκότητα, ωστόσο, αυξάνει, καθόσον η εξαγωγή συμπερασμάτων του ενός συνόλου δεδομένων γίνεται συναρτησί του άλλου και οι τεχνικές εξαγωγής γνώσης πρέπει να «συνεργάζονται» και να είναι προσαρμοσμένες η μια πάνω στην άλλη. Μάλιστα, τα συναισθήματα δεν είναι πάντα απλά ή μοναδικά, αλλά μπορεί να είναι πολλά μαζί και περίπλοκα. Για παράδειγμα, ένα άτομο μπορεί να βιώσει ένα μείγμα αντικρουόμενων συναισθημάτων ταυτόχρονα, καθιστώντας δύσκολη την κατηγοριοποίησή τους σε διακριτές συναισθηματικές καταστάσεις. Και ενώ στην πραγματικότητα ένα άτομο μπορεί πραγματικά να βιώνει αντικρουόμενα συναισθήματα, αυτό να θεωρηθεί ως λάθος συμπέρασμα του αλγορίθμου, εξαιτίας των αντικρουόμενων συμπερασμάτων από τα διάφορα είδη δεδομένων (π.χ. ότι η ομιλία εκφράζει χαρά, αλλά η φωνή στεναχώρια). Η αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης απαιτεί την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων μοντέλων που να μπορούν να χειριστούν επικαλυπτόμενες συναισθηματικές καταστάσεις και να αποδώσουν πιθανότητες σε πολλαπλές συναισθηματικές ετικέτες.

Η αναγνώριση του πλαισίου, μέσα στο οποίο συμβαίνουν οι συναισθηματικές καταστάσεις, καθίσταται κρίσιμης σημασίας για τη βαθύτερη κατανόηση σύνθετων συναισθηματικών εμπειριών. Τα συναισθήματα επηρεάζονται από παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος, των κοινωνικών ενδείξεων και των προσωπικών εμπειριών. Η λογιστική του πλαισίου είναι σημαντική για την ακριβή συναισθηματική αναγνώριση. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη, τη μηχανική μάθηση και τις τεχνικές συλλογής δεδομένων, προάγουν την πρόοδο στη συναισθηματική αναγνώριση και τις πρακτικές εφαρμογές της. Συνεπώς, και η συναισθηματική αναγνώριση είναι ένας δυναμικός και εξελισσόμενος τομέας με πολυάριθμες εφαρμογές σε τομείς, όπως η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, η υγειονομική περίθαλψη, το μάρκετινγκ και η κοινωνική ρομποτική.

1.4 Ευφυή συστήματα διδασκαλίας

Τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, γνωστά επίσης ως ευφυείς μέθοδοι διδασκαλίας ή έξυπνες μέθοδοι μάθησης, αναφέρονται σε ψηφιακά ή τεχνολογικά

συστήματα, που χρησιμοποιούν προηγμένη τεχνολογία, ανάλυση δεδομένων και τεχνητή νοημοσύνη για την παροχή διδασκαλίας. Αυτά τα συστήματα παρέχουν στους εκπαιδευτικούς εργαλεία για τη δημιουργία, την παράδοση και τη διαχείριση εκπαιδευτικού περιεχομένου, συμπεριλαμβανομένων βίντεο, κουίζ, δραστηριοτήτων και αξιολογήσεων. Ταυτόχρονα συλλέγουν δεδομένα από την αλληλεπίδραση και συμπεράσματα για τα αποτελέσματα της μάθησης από τους μαθητές και επιδιώκουν να προσαρμόσουν το εκπαιδευτικό περιεχόμενο ανά μαθητή ή ομάδες μαθητών. Πολλές φορές τα συστήματα αυτά προορίζονται να παρέχουν ευέλικτες, βασισμένες σε ανθρώπινα δεδομένα εκπαιδευτικές λύσεις, ώστε η μαθησιακή εμπειρία να βελτιώνεται αυτόματα και συνεπώς γρηγορότερα και αποδοτικότερα. Μια ευφυής πλατφόρμα μάθησης λαμβάνει υπόψη το μαθησιακό στυλ, το ρυθμό, τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία κάθε μαθητή. Παρέχονται προσαρμοστικές στρατηγικές μάθησης, πράγμα που σημαίνει ότι η πλατφόρμα μπορεί να προσαρμόσει αυτόματα την πολυπλοκότητα και την εξέλιξη του περιεχομένου με βάση την απόδοση και την κατανόηση των μαθητών. Επιπρόσθετα, αυτές οι πλατφόρμες μπορούν να συλλέγουν και να αναλύουν μεγάλους όγκους δεδομένων, που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση, την έρευνα και την ανάπτυξη των μαθητών. Γι' αυτό, οι έξυπνες πλατφόρμες μάθησης συχνά ενσωματώνουν στοιχεία πολυμέσων, παιχνίδια και διαδραστικά στοιχεία για να προσελκύσουν τους μαθητές και να κάνουν τη μάθηση πιο ευχάριστη. Παρέχεται ανατροφοδότηση ακόμα και σε πραγματικό χρόνο στους μαθητές, βοηθώντας τους να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να εντοπίζουν τομείς προς βελτίωση. Οι δάσκαλοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα για να αξιολογήσουν την απόδοση των μαθητών και να προσαρμόσουν ανάλογα τις εκπαιδευτικές στρατηγικές τους.

Η τεχνητή νοημοσύνη παίζει ουσιαστικό ρόλο στην παρακολούθηση των νοητικών ενεργειών του μαθητή, όπως η αυτορρύθμιση, ο έλεγχος και η περιγραφή, για τη δημιουργία ευφυών προγραμμάτων εκπαίδευσης. Η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά να μετατραπεί η πρακτική της κατανόησης και της εκπαίδευσης σε βαθιά σκέψη και μεθόδους μάθησης. Σημαντικά μεγάλος όγκος δεδομένων μπορεί να αποθηκευτεί σε μια βάση δεδομένων, όπως οι τιμές των τεστ των μαθητών, οι σωστοί τρόποι επίλυσης των ερωτήσεων και ασκήσεων των τεστ και τα συναισθηματικά δεδομένα των μαθητών την ώρα που έλυναν τα τεστ. Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος δέντρου αποφάσεων μπορεί να εκτελεστεί σε μια βάση δεδομένων βαθμολογίας μαθητών του μαθήματος των αγγλικών. Έτσι, ο αλγόριθμος μπορεί να ταξινομήσει το είδος των σημείων που είναι κατάλληλα για τις ερωτήσεις και να εξετάσει τον βαθμό στον οποίο τα σημεία γνώσης επηρεάζουν το ένα το άλλο. Λόγου χάρη, θα μπορούσε να ελέγξει ότι υπάρχουν πολλά λάθη στη χρήση του σωστού χρόνου (αόριστος, παρακείμενος, κλπ.) σε προφορικό λόγο, ενώ ότι σε γραπτό λόγο χρησιμοποιείται σωστά ο χρόνος, ωστόσο υπάρχουν ορθογραφικά λάθη. Τελικά, μπορεί να βρεθεί ο πραγματικός λόγος για τον οποίο επηρεάζονται οι βαθμολογίες των φιλολογικών τεστ του μαθητή και οι βαθμολογίες του τεστ με αυτόματο τρόπο, χωρίς την παρέμβαση του καθηγητή φιλολογίας. Τοιουτοτρόπως επιτυγχάνεται ένας βασικός στόχος διδασκαλίας, που είναι το ποσοστό επιτυχίας στα φιλολογικά μαθήματα να βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου, δεδομένου ότι η εύρεση της αδυναμίας ενός μαθητή συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας εκμάθησης, αλλά και στην πιο στοχευμένη εκμάθηση των αδύναμων σημείων (Sun, Z., Anbarasan, M., et. al, 2021).

Η ανάπτυξη της τεχνητής εκπαιδευτικής νοημοσύνης αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό παράγοντα στη διασταύρωση τεχνολογίας και εκπαίδευσης με αξιοσημείωτες βελτιώσεις τόσο στην τεχνολογική δημιουργικότητα όσο και στην κοινωνική νοημοσύνη. Τα εκπαιδευτικά εργαλεία και οι πλατφόρμες, που βασίζονται στη συναισθηματική υπολογιστική, προσφέρουν καινοτόμους τρόπους εξατομίκευσης των μαθησιακών εμπειριών, προσαρμόζοντας το περιεχόμενο και τις μεθόδους διδασκαλίας στις μεμονωμένες ανάγκες των μαθητών. Αυτό όχι μόνο ενισχύει τα εκπαιδευτικά αποτελέσματα, αλλά ενισχύει επίσης την τεχνολογική αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών, αναπτύσσοντας δεξιότητες επίλυσης νέων προβλημάτων και καλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση συναισθημάτων. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διευκολύνει την πιο αποτελεσματική και βασισμένη σε δεδομένα λήψη αποφάσεων για εκπαιδευτικούς και ιδρύματα, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τα προγράμματα σπουδών και τις στρατηγικές διδασκαλίας πιο αποτελεσματικά.

Στο πλαίσιο της κοινωνικής νοημοσύνης, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία συνεργατικών περιβαλλόντων μάθησης, συνδέοντας μαθητές σε όλο τον κόσμο και προωθώντας την πολιτιστική ευαισθητοποίηση και τις δεξιότητες επικοινωνίας. Τα chatbot που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη και οι εικονικοί μέντορες θα μπορούν επίσης να βοηθήσουν τους μαθητές στην ανάπτυξη κοινωνικής και συναισθηματικής νοημοσύνης, παρέχοντας υποστήριξη και καθοδήγηση. Για παράδειγμα, ένα λογισμικό που ζητάει από τους μαθητές να αναπαραστήσουν ένα συναίσθημα με τις εκφράσεις του προσώπου τους, μπορεί να τους καθοδηγήσει και να τους δείξει με βάση άλλες φωτογραφίες πώς αναπαρίσταται το συναίσθημα αυτό. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί και η αύξηση συναισθηματικής νοημοσύνης, έστω και σε άτομα που υστερούν σε αυτήν, όπως τα παιδιά με αυτισμό. Επιπροσθέτως, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των εκπαιδευτικών ανισοτήτων, καθιστώντας την ποιοτική εκπαίδευση πιο προσιτή στους υποανάπτυκτους πληθυσμούς. Όμως, η ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης στην εκπαίδευση εγείρει επίσης ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων, την προκατάληψη και τους ηθικούς λόγους, που απαιτούν προσεκτική ρύθμιση και επίβλεψη.

Πέραν της κλασικής εκπαίδευσης, υπάρχει και η ειδική εκπαίδευση. Αυτή στοχεύει στην παροχή προσαρμοσμένης εκπαίδευσης σε μαθητές με αναπηρία και μαθησιακές δυσκολίες, όπως η δυσλεξία, οι διαταραχές επικοινωνίας, η διάσπαση προσοχής, ο αυτισμός, το σύνδρομο Down, οι συναισθηματικές και συμπεριφορικές διαταραχές, οι σωματικές αναπηρίες (όπως ατελής οστεογένεση, εγκεφαλική παράλυση, σωματική παράλυση χεριών, ποδιών, ματιών, κλπ.). Ο εντοπισμός αυτών των δυσκολιών στα παιδιά είναι μια διαδικασία πολλαπλού ελέγχου υπό την επίβλεψη ενός ειδικού, όπως ενός ψυχολόγου στην περίπτωση ενός αυτιστικού παιδιού. Το έργο είναι δύσκολο, αφού η κάθε περίπτωση είναι ξεχωριστή και χρειάζεται συνεχή επίβλεψη από ειδικό. Η έρευνα επεκτείνεται και σε άλλα επιστημονικά πεδία, ώστε να βρεθεί ο καταλληλότερος τρόπος διαχείρισης τέτοιων καταστάσεων. Οι μαθητές με ειδικές ανάγκες είναι πιθανό να επωφεληθούν από πρόσθετες εκπαιδευτικές υπηρεσίες της συναισθηματικής υπολογιστικής σε ευφυή συστήματα διδασκαλίας. Μολαταύτα, η εισαγωγή ενός ευφυούς συστήματος

εκπαίδευσης για τον εντοπισμό μαθησιακών προβλημάτων και για τη διδασκαλία των μαθητών με αναπηρίες είναι ένας σχετικά ανεξερεύνητος τομέας. Τα προγράμματα ειδικής εκπαίδευσης συνήθως περιλαμβάνουν μια σειρά υπηρεσιών, όπως εξατομικευμένα σχέδια μάθησης, υποστηρικτικές τεχνολογίες, λογοθεραπεία, εργοθεραπεία και προσαρμοστικές στρατηγικές διδασκαλίας. Ο στόχος της ειδικής αγωγής είναι να διασφαλίσει ότι όλοι οι μαθητές, ανεξάρτητα από τις αναπηρίες τους, έχουν ίση πρόσβαση σε ποιοτική εκπαίδευση και μπορούν να ευδοκιμήσουν σε συμπεριληπτικά ή αυτόνομα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Αυτός ο τομέας καθοδηγείται από νομικά πλαίσια και ηθικές αρχές για την προστασία των δικαιωμάτων των μαθητών με αναπηρίες και την προώθηση της ακαδημαϊκής, κοινωνικής και συναισθηματικής τους ανάπτυξης. Οι δάσκαλοι ειδικής αγωγής διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην εφαρμογή αυτών των προγραμμάτων, συνεργαζόμενοι στενά με μαθητές, γονείς και άλλους επαγγελματίες για την παροχή της απαραίτητης υποστήριξης και προσαρμογής για την προώθηση περιβαλλόντων μάθησης χωρίς αποκλεισμούς (Dutt, S, et al., 2022).



Εικόνα 2 – Χαρακτηριστικά ευφρούς συστήματος εκπαίδευσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Τεχνικές ανίχνευσης συναισθημάτων

2.1 Ανίχνευση προσώπου

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης προσώπου στοχεύουν να εντοπίζουν τα πρόσωπα και τα χαρακτηριστικά τους σε εικόνες ή βίντεο, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους όρασης υπολογιστή και να τα κατηγοριοποιούν σε συναισθηματικές καταστάσεις. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε ζωντανά μέσω ενός υλικού ανίχνευσης εικόνας (π.χ. μιας κάμερας), είτε με κάποιο αρχείο. Επίσης, είναι σημαντικό αυτό να γίνεται ανεξάρτητα από τη θέση, την κλίμακα, τον προσανατολισμό, την ηλικία, την έκφραση και τις συνθήκες φωτισμού τους, γεγονός που τους καθιστά δύσκολους στο να υλοποιηθούν με μεγάλη απόδοση. Η τεχνολογία αναγνώρισης προσώπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως ο έλεγχος ταυτότητας, ο έλεγχος πρόσβασης και η επιτήρηση.

Σε γενικές γραμμές οι αλγόριθμοι αντιλαμβάνονται χαρακτηριστικά από την περιοχή του προσώπου, όπως τις θέσεις των χαρακτηριστικών του προσώπου (π.χ. μάτια, φρύδια, στόμα) ή τις κινήσεις του προσώπου (π.χ. νεύμα διά του οφθαλμού, συνοφρύωση, άνοιγμα στόματος). Το κάθε χαρακτηριστικό ή η κάθε κίνηση που εντοπίζεται, μπορεί να ταξινομηθεί και να καταταχθεί σε μια κατηγορία, ανάλογα με το βαθμό που ταιριάζει σε ένα σύνολο δεδομένων. Αν, λόγω χάρη, μια κάμερα εντοπίζει ένα πρόσωπο με χαμόγελο, τότε η εικόνα πρέπει να ελεγχθεί σε ποιο σύνολο εικόνων ταιριάζει. Εάν κρίνει ο αλγόριθμος ότι ταιριάζει στις εικόνες, που είναι κατηγοριοποιημένες ως «χαμόγελο», τότε μπορεί να εξαχθεί ένα συμπέρασμα, όπως για παράδειγμα το ότι ο άνθρωπος στην εικόνα είναι χαρούμενος. Βέβαια, μπορεί να γίνει ένας συνδυαστικός έλεγχος, διότι καμία έκφραση δεν εξάγει συμπεράσματα από μόνη της. Επί παραδείγματι, δύναται να ελεγχεται, εάν έχει προηγουμένως λεχθεί ένα άσχημο σχόλιο ως προς το άτομο που χαμογελάει. Τότε, δε συμπεραίνεται ότι το άτομο αυτό είναι χαρούμενο, αλλά ενδεχομένως ότι υποκρίνεται ή ότι ειρωνεύεται. Η απόδοση ενός συστήματος αναγνώρισης προσώπου καθορίζεται από τον τρόπο εξαγωγής του διανύσματος χαρακτηριστικών με ακρίβεια και την ακριβή ταξινόμηση τους σε μια ομάδα. Η διαδικασία της ανίχνευσης προσώπου περιλαμβάνει τη σάρωση μιας εικόνας εισόδου σε διάφορες θέσεις και κλίμακες, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση συρόμενου παραθύρου. Ο αλγόριθμος εξετάζει κάθε υποπάρθυρο της εικόνας και εφαρμόζει έναν ταξινομητή προσώπου/μη προσώπου για να το ταξινομήσει είτε ως πρόσωπο είτε ως μη πρόσωπο. Αυτός ο ταξινομητής εκπαιδεύεται, χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους εκμάθησης σε ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται από παραδείγματα προσώπων και παραδείγματα μη προσώπων. Ωστόσο, η ανίχνευση προσώπου θέτει προκλήσεις λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως οι αλλαγές στην εμφάνιση του προσώπου, οι συνθήκες φωτισμού, η έκφραση και η στάση του κεφαλιού. Αυτοί οι παράγοντες εισάγουν μεγάλες παραλλαγές και πολυπλοκότητες στο πρόβλημα ταξινόμησης προσώπου/μη προσώπου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, χρησιμοποιούνται μη γραμμικοί ταξινομητές για να χειριστούν τα περίπλοκα όρια μεταξύ περιοχών όψεων και περιοχών που δεν έχουν όψη (Imani, M., et al., 2019).

Δυο μέθοδοι αναγνώρισης χαρακτηριστικών προσώπου είναι οι γεωμετρικοί και οι νευρωνικοί. Σε μεθόδους που βασίζονται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά,

εντοπίζονται χαρακτηριστικά του προσώπου όπως τα μάτια, η μύτη, το στόμα και το πηγούνι, βάσει σχημάτων. Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι γραφικών και γεωμετρικών υπολογισμών, ώστε να αντιστοιχηθεί ένα χαρακτηριστικό του προσώπου (π.χ. το μάτι) με ένα σχήμα (π.χ. μια έλλειψη) στο σύνολο δεδομένων/αρχείων ή ακόμα και αλγοριθμικά υπολογισμένο με pixels. Υπολογίζονται ιδιότητες, όπως περιοχές, αποστάσεις και γωνίες, και σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών προσώπων, που ονομάζονται περιγραφές. Αντίθετα, οι μέθοδοι αντιστοίχισης προτύπων και νευρωνικών μεθόδων γενικά λειτουργούν απευθείας σε μια αναπαράσταση προσώπων που βασίζεται σε εικόνα, δηλαδή σε πίνακα έντασης εικονοστοιχείων. Επειδή η ανίχνευση και η μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του προσώπου δεν απαιτείται, αυτές οι κατηγορίες μεθόδων ήταν πιο πρακτικές και εύκολες στην εφαρμογή σε σύγκριση με τις μεθόδους που βασίζονται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Έτσι, σε ένα πρόσωπο το μάτι αναγνωρίζεται με μια εικόνα ενός άλλου ματιού στο σύνολο δεδομένων/αρχείων (Faruqe, et al., 2009).

Τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από ταξινομητή για να υπολογιστεί η απόσταση αναγνώρισης είναι: η Ευκλείδεια μέθοδος απόστασης, η μέθοδος Τετράγωνης Ευκλείδειας Απόστασης και η μέθοδος CityBlock Distance. Η Ευκλείδεια απόσταση υπολογίζει την ευθεία απόσταση μεταξύ δύο σημείων σε έναν Ευκλείδειο χώρο (συνήθως έναν δυσδιάστατο ή πολυδιάστατο χώρο). Αντιπροσωπεύει τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ των σημείων. Υποθέτει ότι όλες οι διαστάσεις είναι εξίσου σημαντικές και χρησιμοποιείται ευρέως για εργασίες ομαδοποίησης, ταξινόμησης και παλινδρόμησης. Η τετραγωνισμένη Ευκλείδεια απόσταση είναι υπολογιστικά λιγότερο δαπανηρή από την Ευκλείδεια απόσταση, αφού αποφεύγει τον υπολογισμό της τετραγωνικής ρίζας. Χρησιμοποιείται συχνά, όταν η ακριβής τιμή της απόστασης δεν είναι κρίσιμη και είναι αναγκαίο μόνο να συγκρίνονται οι αποστάσεις μεταξύ τους. Η τετράγωνη Ευκλείδεια απόσταση χρησιμοποιείται συχνά σε αλγόριθμους βελτιστοποίησης, ομαδοποίησης k-means και μερικούς αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, ειδικά όταν οι τιμές απόστασης χρησιμοποιούνται για σχετικές συγκρίσεις. Η απόσταση CityBlock μετρά την απόσταση ως προς τον αριθμό των κινήσεων ευθυγραμμισμένων με το πλέγμα (όπως η πλοήγηση στους δρόμους μιας πόλης) που απαιτούνται για τη μετάβαση από το ένα σημείο στο άλλο. Ονομάζεται «απόσταση του Μανχάταν», επειδή είναι σαν να ταξιδεύετε κατά μήκος των αστικών τετραγώνων στο Μανχάταν. Η απόσταση CityBlock χρησιμοποιείται, όταν η κίνηση μπορεί να συμβεί μόνο κατά μήκος των γραμμών πλέγματος ή όταν οι διαστάσεις αντιπροσωπεύουν διαφορετικές μονάδες ή κλίμακες. Συχνά χρησιμοποιείται σε αλγόριθμους ομαδοποίησης, όπως η ιεραρχική ομαδοποίηση (Abbas, E. I., et. al, 2017).

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι ένα κρίσιμο βήμα στα συστήματα αναγνώρισης προσώπου μετά την ανίχνευση προσώπου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την εξαγωγή δύο τύπων χαρακτηριστικών: γεωμετρικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών εμφάνισης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποτυπώνουν το σχήμα και τις θέσεις των στοιχείων του προσώπου, όπως το στόμα, τα μάτια, τα φρύδια και η μύτη, ενώ τα χαρακτηριστικά εμφάνισης αντιπροσωπεύουν τα οπτικά χαρακτηριστικά του προσώπου.

Για την εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών, αναπτύσσονται μοντέλα πολλαπλών καταστάσεων για να περιγράψουν τα διαφορετικά στοιχεία του προσώπου. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο τριών καταστάσεων χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει την κατάσταση των χειλιών (ανοιχτό, κλειστό, καλά κλειστό), ενώ ένα μοντέλο δύο καταστάσεων χρησιμοποιείται για κάθε μάτι (κλειστό, ανοιχτό) αναπαρίστανται ως δυαδικές καταστάσεις (παρουσία ή απουσία). Τα μοντέλα μιας κατάστασης χρησιμοποιούνται για τα φρύδια και τα μάγουλα και ορισμένα χαρακτηριστικά εμφάνισης. Στα τελευταία θα γίνει αναγνώριση συναισθήματος, βάσει της απόστασής τους από άλλα χαρακτηριστικά του προσώπου (π.χ. απόσταση φρυδιών από τα μάτια). Η περιοχή του προσώπου και οι κατά προσέγγιση θέσεις των χαρακτηριστικών του προσώπου εντοπίζονται αυτόματα στο αρχικό πλαίσιο εικόνας. Στη συνέχεια, τα περιγράμματα των χαρακτηριστικών του προσώπου ρυθμίζονται χειροκίνητα. Μόλις αρχικοποιηθεί το πρόγραμμα, εντοπίζει αυτόματα και παρακολουθεί τις αλλαγές στα χαρακτηριστικά του προσώπου σε μια ακολουθία εικόνων. Δηλαδή μετράει τις αρχικές και τις τελικές αποστάσεις του ενός χαρακτηριστικού με το άλλο, όπως τα φρύδια με τα μάτια, με μονάδα μέτρησης συνήθως τα pixels. Όταν αυξάνει η απόσταση από τα φρύδια με τα μάτια σε σχέση με την αρχική απόσταση ή σε σχέση με το μέσο όρο απόστασης για ένα σύνολο ατόμων, όπου ο μέσος όρος έχει εκ των προτέρων δοθεί, μπορεί να εννοείται έκπληξη. Η κάθε εικόνα υπολογίζεται και βαθμολογείται ξεχωριστά εκείνη τη στιγμή (Imani, M., et al., 2019), (Konar, A., et. al, 2015).

Εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά εμφάνισης παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτύπωση των λεπτομερειών του προσώπου. Τα κυματίδια Gabor, μια δημοφιλής επιλογή για την εξαγωγή χαρακτηριστικών του προσώπου, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των αλλαγών στην εμφάνιση του προσώπου. Αυτά τα κυματίδια παρέχουν ένα σύνολο συντελεστών πολλαπλής κλίμακας και πολλαπλών προσανατολισμών που καταγράφουν παραλλαγές στις υφές και τα μοτίβα του προσώπου. Τα φίλτρα Gabor μπορούν να εφαρμοστούν σε συγκεκριμένες θέσεις στο πρόσωπο ή σε ολόκληρη την εικόνα του προσώπου. Συγκριτικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι συντελεστές κυματιδίων Gabor αποδίδουν ανώτερους ρυθμούς αναγνώρισης για τις εκφράσεις του προσώπου σε σύγκριση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Οι ερευνητές έχουν επίσης εξερευνήσει διάφορες τεχνικές, όπως οπτική ροή, ανάλυση κύριου στοιχείου, ανάλυση ανεξάρτητων στοιχείων, ανάλυση τοπικών χαρακτηριστικών και αναπαράσταση κυματιδίων Gabor για τον προσδιορισμό των μονάδων δράσης προσώπου. Μεταξύ αυτών των τεχνικών, η αναπαράσταση κυματιδίων Gabor και η ανάλυση ανεξάρτητων συστατικών έχουν δείξει την καλύτερη απόδοση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ευθυγράμμιση κάθε εικόνας εισόδου με μια τυπική εικόνα προσώπου, χρησιμοποιώντας το κέντρο των ματιών και του στόματος, πραγματοποιείται συχνά με μη αυτόματο τρόπο σε αυτά τα συστήματα. Αυτό το βήμα ευθυγράμμισης εξασφαλίζει συνέπεια σε διαφορετικές εικόνες προσώπου και διευκολύνει την ακριβή εξαγωγή χαρακτηριστικών (Abbas, E. I., et. al, 2017), (Li, S. Z., et. al, 2005).

Συνοπτικά, η εξαγωγή χαρακτηριστικών στην αναγνώριση προσώπου περιλαμβάνει την εξαγωγή τόσο γεωμετρικών όσο και χαρακτηριστικών εμφάνισης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποτυπώνουν το σχήμα και τις θέσεις των στοιχείων

του προσώπου, ενώ τα χαρακτηριστικά εμφάνισης εστιάζουν στις αλλαγές στην υφή και τα μοτίβα του προσώπου. Η χρήση μοντέλων πολλαπλών καταστάσεων, κυματιδίων Gabor και διαφόρων αναλυτικών τεχνικών συμβάλλει στην ακριβή αναπαράσταση και λήψη πληροφοριών προσώπου, επιτρέποντας την αποτελεσματική αναγνώριση προσώπου και ανίχνευση συναισθημάτων.



Εικόνα 3 – Αναγνώριση συναισθήματος με βάση χαρακτηριστικά προσώπου

2.2 Ανάλυση φωνής

Η αναγνώριση συναισθημάτων στην ομιλία είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που προκαλεί αυξανόμενο ενδιαφέρον, λόγω των πολυάριθμων εφαρμογών της, όπως η ακουστική επιτήρηση, η ηλεκτρονική μάθηση, οι κλινικές μελέτες, η ανίχνευση ψεμάτων, η ψυχαγωγία, τα παιχνίδια στον υπολογιστή και τα τηλεφωνικά κέντρα. Ωστόσο, αυτό το πρόβλημα εξακολουθεί να είναι μια σημαντική πρόκληση για τις προηγμένες τεχνικές μηχανικής εκμάθησης. Ένας από τους λόγους για μια τόσο μέτρια απόδοση είναι η αβεβαιότητα επιλογής των σωστών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, η ύπαρξη θορύβου στο παρασκήνιο σε ηχογραφήσεις, όπως φωνές πραγματικού κόσμου, θα μπορούσε να επηρεάσει δραματικά την αποτελεσματικότητα ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης (Cai, L., et. al, 2019). Η αναγνώριση συναισθημάτων από την ομιλία καθίσταται γενικά πιο δύσκολη διαδικασία, όχι μόνο για την τεχνητή νοημοσύνη, αλλά και για την ανθρώπινη, καθώς θεωρείται πιο περίπλοκο σήμα από ό,τι το οπτικό. Ακόμα και από το γραπτό κείμενο η εξαγωγή γνώσης είναι πιο εύκολη. Και αυτό επειδή τα αρχεία σήματος συχνά αντιπροσωπεύονται ως ένας μονοδιάστατος πίνακας ή μια ακολουθία δυαδικών τιμών που κωδικοποιούν το πλάτος της ακουστικής κυματομορφής σε διακριτά σημεία του χρόνου, γνωστά ως δείγματα. Κάθε δείγμα ποσοτικοποιεί το πλάτος (ένταση) της ακουστικής κυματομορφής σε μια συγκεκριμένη στιγμή και ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνονται τα δείγματα καθορίζεται από τον ρυθμό δειγματοληψίας. Επιπροσθέτως, το βάθος bit κάθε δείγματος καθορίζει το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας στην

αναπαράσταση του ήχου. Το αρχείο σήματος ήχου μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μεταδεδομένα και πληροφορίες κεφαλίδας, παρέχοντας λεπτομέρειες σχετικά με τη μορφή, τη διάρκεια και άλλες ιδιότητες του ήχου. Αυτή η ψηφιακή αναπαράσταση είναι πιο περίπλοκη σε σχέση με το απλό κείμενο, Επομένως, επειδή ένα ηχητικό σήμα από μόνο του δεν είναι απλώς μια σειρά από 0 και 1, όπως το κείμενο, ή ένας τρισδιάστατος πίνακας από 0 και 1, όπως οι εικόνες μορφής RGB, χρειάζεται πιο πολύπλοκη επεξεργασία, καθόσον μάλιστα μεσολαβεί η διαδικασία μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα.

Οι δυο βασικές πτυχές της φωνής είναι η αναγνώριση του προφορικού περιεχομένου και η αναγνώριση των συναισθημάτων του χρήστη κατά τη διάρκεια της ομιλίας του. Όταν λαμβάνεται υπόψη ο τύπος της πληροφορίας, μπορούμε να χωρίσουμε τις μεθόδους που υιοθετούν τον λόγο σε δύο διακριτές κατηγορίες. Η πρώτη είναι οι ρητές ή γλωσσικές πληροφορίες, που αφορούν αρθρωμένα μοτίβα από τον ομιλητή, και η δεύτερη είναι οι σιωπηρές ή παραγλωσσικές πληροφορίες, που αφορούν τη διαφοροποίηση στην προφορά των γλωσσικών προτύπων. Οι τυπικές προσεγγίσεις που εμπίπτουν στην πρώτη κατηγορία χρησιμοποιούν ένα σύστημα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας. Από την άλλη πλευρά, οι παραγλωσσικές προσεγγίσεις αγνοούν το περιεχόμενο του λόγου και αντ' αυτού επικεντρώνονται στη συσχέτιση χαρακτηριστικών χαμηλού επιπέδου με συναισθήματα, όπως είναι η ένταση της φωνής, η οποία, αν είναι υψηλή, μπορεί να εκδηλώνει θυμό. Συνήθως συνδυάζονται και οι δυο μέθοδοι για αποδοτικότερα αποτελέσματα. Βέβαια, επειδή κάθε γλώσσα έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και υπόκειται σε πολιτισμικές διαφορές, το κάθε μοντέλο εμπεριέχει πληθώρα διαφορετικών προτάσεων, ομιλητών, στυλ ομιλίας και ρυθμών (Papakostas, M., et. al, 2017).

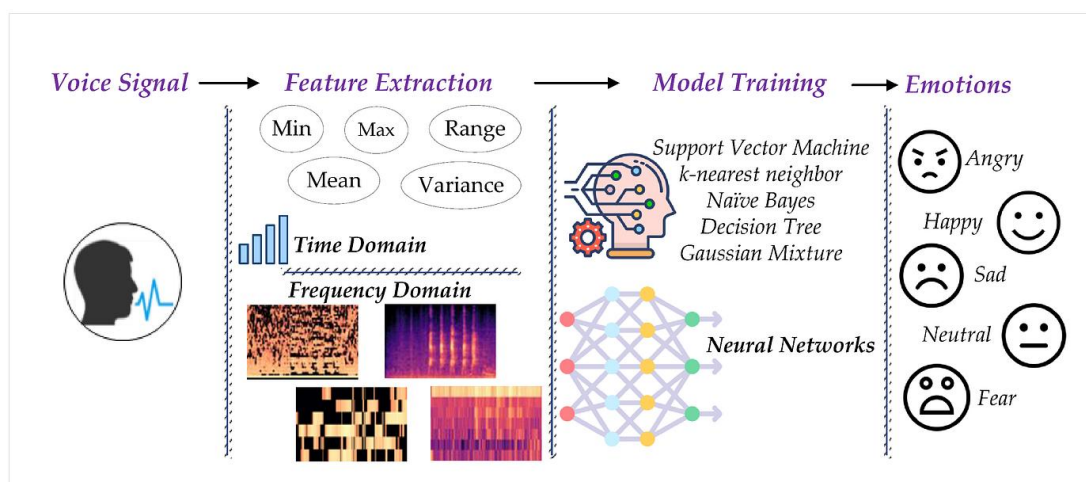
Πολλές φορές, μια μέθοδος που διευκολύνει συχνά το χαρακτηρισμό ήχου είναι η χρήση ετικετών με χειροκίνητο ή αλλιώς μη αυτόματο τρόπο. Στη συνέχεια, οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης εκπαιδεύονται σε σχολιασμένα δεδομένα. Εκεί βρίσκεται το πιο σημαντικό μειονέκτημα αυτών των προσεγγίσεων: αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κοστοβόρα από υπολογιστικής απόψεως και μπορούν να παρέχουν συγκεκριμένες επιδόσεις, ανάλογα βέβαια και στην ικανότητα του προγραμματιστή να ρυθμίζει την αναγνώριση του σωστού συναισθήματος. Ωστόσο, η εκ των προτέρων γνώση του συναισθήματος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της απόδοσης του αλγορίθμου. Βέβαια, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια νέα τάση στον τομέα της μηχανικής μάθησης, έχοντας ως κύριο πλεονέκτημα έναντι των παραδοσιακών προσεγγίσεων, ότι δεν χρειάζεται να εκπαιδεύονται, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αυτό ισχύει στη βαθιά μάθηση για παράδειγμα, η οποία είναι μια κατηγορία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιεί πολύπλοκες αρχιτεκτονικές πολλών διασυνδεδεμένων επιπέδων, καθένα από τα οποία αποτελείται από μη γραμμικές μονάδες επεξεργασίας. Κάθε μονάδα εξάγει και μετασχηματίζει χαρακτηριστικά. Η είσοδος κάθε επιπέδου είναι η έξοδος του προηγούμενου. Τα δίκτυα βαθιάς μάθησης είναι σε θέση να μάθουν πολλαπλά επίπεδα αναπαραστάσεων δεδομένων. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν χρειάζονται χειροποίητα χαρακτηριστικά, δηλαδή χαρακτηριστικά που εξάγονται από ακατέργαστα δεδομένα, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένους αλγόριθμους. Αντίθετα, τα χαρακτηριστικά μαθαίνονται από ακατέργαστα δεδομένα και συνήθως οδηγούν σε

υψηλότερη απόδοση. Φυσικά, αυτό επιτυγχάνεται με το κόστος μεγαλύτερου υπολογιστικού χρόνου. Ταυτόχρονα είναι σημαντικές οι τεχνικές κανονικοποίησης, όπου μειώνουν το πρόβλημα των μεγάλων διακυμάνσεων στα επίπεδα ήχου, του θορύβου στο παρασκήνιο και άλλων προβληματικών παραγόντων. Έτσι καθίσταται το μοντέλο πιο στιβαρό. Επιπροσθέτως, η μείωση θορύβου μπορεί να βελτιώσει την αναγνώριση συναισθημάτων, καθώς βελτιώνει την ακρίβεια της εξαγωγής χαρακτηριστικών. Επίσης, μειώνει την πιθανότητα για ερμηνεία του θορύβου, κάτι το οποίο είναι μη επιθυμητό και προβληματικό. Μια κοινή προσέγγιση για αφαίρεση θορύβου είναι η *adaptive filtering*, η οποία χρησιμοποιεί αλγόριθμους, όπως τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Ακόμα και έτοιμες βιβλιοθήκες επεξεργασίας ήχου (π.χ. *librosa*) αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για εφαρμογές μείωσης θορύβου (Papakostas, M., et. al, 2017).

Οι προσεγγίσεις αναγνώρισης συναισθημάτων εξάγουν συνήθως ορισμένα χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου και στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης για να τα αντιστοιχίσει σε τάξεις συναισθημάτων. Γενικότερα, ο στόχος στην ανίχνευση συναισθημάτων είναι η εξαγωγή σημαντικών χαρακτηριστικών από δεδομένα ήχου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση συναισθηματικών καταστάσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να περιλαμβάνουν φασματογράμματα ήχου, ρυθμό, αρμονία και άλλα. Πιθανόν οι τεχνικές αύξησης δεδομένων να χρειαστεί να εφαρμοστούν, για να ξεπεραστούν περιορισμένα προβλήματα δεδομένων εκπαίδευσης. Για να εξαχθούν συναισθήματα από τον ήχο, αρχικά γίνεται προεπεξεργασία, δηλαδή δειγματοληψία και κανονικοποίηση του ηχητικού σήματος. Γενικά, η κανονικοποίηση συμβάλλει στη βελτιωμένη γενίκευση του μοντέλου και στην απόδοση της ακριβούς ανίχνευσης συναισθημάτων από σήματα ήχου, ακόμη και όταν τα δεδομένα εισόδου ποικίλλουν ως προς την ένταση και ως προς άλλα χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένα ακουστικό φασματογράμμα, το οποίο είναι μια οπτική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο το περιεχόμενο συχνότητας του σήματος ήχου εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Τα χαρακτηριστικά υπολογίζονται από αυτό το φασματογράφημα, συλλαμβάνοντας φασματικά χαρακτηριστικά και παραλλαγές με συναρτήσεις και τεχνικές εκ των προτέρων γνωστές. Έπειτα γίνεται η αντιστοίχιση των τιμών των χαρακτηριστικών σε συναισθήματα. Λόγου χάρι, θα μπορούσε ένας χαμηλότερος τόνος με μονότονο ή πτωτικό μοτίβο, να υποδηλώνει θλίψη, καθώς τα άτομα συχνά μιλούν με συγκρατημένο και μελαγχολικό τόνο, όταν είναι λυπημένα. Επιπρόσθετα, ο ταχύτερος και σταθερός ρυθμός (ρυθμικά μοτίβα) μπορούν να συνδεθούν με τον ενθουσιασμό ή τη χαρά. Αντίθετα, μια αύξηση του ρυθμού χωρίς ρυθμικά μοτίβα, όπως η γρήγορη και ακανόνιστη ομιλία, μπορεί να είναι ενδεικτική μορφή του φόβου ή του άγχους, καθώς τα άτομα μπορεί να μιλούν χωρίς έλεγχο, αλλά με ψυχική αστάθεια, όταν είναι νευρικά. Τέλος, ο αργός ρυθμός ομιλίας με μεγάλες παύσεις μεταξύ λέξεων ή φράσεων (πλην της χασμωδίας) μπορεί να συνδεθεί με την στεναχώρια, καθώς τα άτομα μπορεί να μιλούν αργά και διστακτικά, όταν δεν έχουν όρεξη. Οι παραπάνω ερμηνείες μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τον προγραμματιστή και με τον ερευνητή (Athanasiadis, T., et. al, 2007).

Αν και πολλά πλαίσια αναγνώρισης συναισθήματος μέσω ομιλίας συνδυάζουν διαφορετικούς τύπους χαρακτηριστικών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο

συνδυασμός χαρακτηριστικών που οδηγεί σε ισχυρή αναγνώριση και παρακολούθηση των διακυμάνσεων της χροιάς. Με καλά διακριτές αναπαραστάσεις των τάξεων του τόνου και της αρμονίας εμπλουτίζεται περαιτέρω η αναγνώριση συναισθήματος με πρόσθετα χαρακτηριστικά. Η πλειοψηφία των αρχιτεκτονικών αναγνώρισης συναισθήματος μέσω ομιλίας που χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα είναι τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα με μακροπρόθεσμη ή βραχυπρόθεσμη μνήμη ή με συνδυασμό τους. Η χρήση τους θα αναλυθεί παρακάτω (Cai, L., et. al, 2019).



Εικόνα 4 – Μεθοδολογία αναγνώρισης συναισθήματος βάσει ήχου

2.3 Ανάλυση κειμένου

Η ανάλυση συναισθημάτων από κείμενο συνίσταται στην εξαγωγή πληροφορίας και γνώσης, ώστε να παραχθούν απόψεις για τα συναισθήματα που εκφράζει ο συγγραφέας. Η εξόρυξη συναισθημάτων χρησιμοποιεί την εξόρυξη δεδομένων, αλλά και την ταξινόμηση των συναισθημάτων των συγγραφέων. Η εξόρυξη δεδομένων περιλαμβάνει τη χρήση επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και μηχανικής μάθησης για τον προσδιορισμό της στάσης ενός συγγραφέα απέναντι σε ένα θέμα. Γενικότερα, οι μέθοδοι εξόρυξης συναισθημάτων κειμένου έχουν διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης πληροφοριών σχετικά με την ικανοποίηση των πελατών, της βοήθειας του διδακτικού υλικού στην ηλεκτρονική μάθηση, της σύστασης προϊόντων με βάση τα συναισθήματα των χρηστών και ακόμη και την πρόβλεψη διαταραχών ψυχικής υγείας. Η ταυτόχρονη ανάλυση στάσης σε πολλά θέματα μέσα από ένα μόνο κείμενο είναι πολύ δύσκολο, όχι μόνο για τους αλγόριθμους, αλλά και για τον άνθρωπο τον ίδιο να γίνει αντιληπτή. Γι' αυτό, και κάθε κείμενο εξετάζεται ξεχωριστά, όπως και κάθε πρόταση. Ωστόσο, μια ενότητα κειμένου ή ακόμα και μια πρόταση μπορεί να υποδεικνύει αντικρουόμενες απόψεις και συναισθήματα. Για παράδειγμα, η φράση «η οικογένειά μου πιστεύει ότι είναι καλή απόφαση να συνεχίσω την εκπαίδευσή μου στο εξωτερικό, αν και νιώθει λύπη που τους λείπω», αντιπροσωπεύει μια θετική γνώμη και ένα αρνητικό συναίσθημα για το ίδιο θέμα. Το συναίσθημα που ο αλγόριθμος επιδιώκει να βρει, αναφέρεται σε ένα

κείμενο ή στο συγγραφέα του και όχι στον αναγνώστη, αν και συνήθως τα συναισθήματα του συγγραφέα και του αναγνώστη τείνουν να συμπίπτουν.

Το κείμενο μπορεί να εισάγεται από το πληκτρολόγιο, αλλά μπορεί και το χειρόγραφο κείμενο, εάν φωτογραφηθεί ή σαρωθεί, να μετατρέπεται σε ψηφιακό κείμενο μέσω της οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR). Η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων είναι ένας αλγόριθμος που ξεκινά με την προεπεξεργασία εικόνας, η οποία περιέχει εργασίες, όπως μείωση θορύβου εικόνας, μείωση λοξότητας, μετατροπή εικόνας σε δυαδική μορφή. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος ανιχνεύει περιοχές κειμένου προσδιορίζοντας τα όρια μέσα σε παραγράφους, προτάσεις και λέξεις. Η αναγνώριση χαρακτήρων είναι ο πυρήνας της διαδικασίας, όπου μοντέλα μηχανικής μάθησης, όπως τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και την αναγνώριση μεμονωμένων χαρακτήρων με βάση τα οπτικά χαρακτηριστικά τους. Αυτοί οι αναγνωρισμένοι χαρακτήρες στη συνέχεια μεταγλωττίζονται σε κείμενο αναγνώσιμο από τον υπολογιστή, συχνά με τη βοήθεια μοντελοποίησης φυσικής γλώσσας για ενίσχυση της ακρίβειας και διόρθωση πιθανών σφαλμάτων. Για παράδειγμα, εάν από τη μετατροπή της εικόνας εξαχθεί το κείμενο «το αυτοκίνητο χρήζει έλεγχου», η μοντελοποίηση φυσικής γλώσσας δύναται να ανιχνεύσει το γραμματικό λάθος και να τροποποιήσει την πρόταση ως «το αυτοκίνητο χρήζει ελέγχου». Το τελικό αποτέλεσμα είναι σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση κειμένου, ευρετηρίαση, αναζήτηση ή ενσωμάτωση σε διάφορες εφαρμογές και συστήματα, επιτρέποντας την ψηφιοποίηση έντυπων ή χειρόγραφων εγγράφων. Συνεπώς, η ανάλυση κειμένου δεν περιορίζεται μόνο σε ψηφιακό κείμενο, αλλά μπορεί να γίνει και από άλλες μορφές δεδομένων.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP) είναι ένα πεδίο τεχνητής νοημοσύνης που εστιάζει στην αλληλεπίδραση μεταξύ υπολογιστών και ανθρώπινης γλώσσας. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την κατανόηση, την ερμηνεία και τη δημιουργία ανθρώπινης γλώσσας. Ξεκινά με την προεπεξεργασία κειμένου, η οποία περιλαμβάνει εργασίες, όπως η κανονικοποίηση κειμένου, η δημιουργία διακριτικών (tokenization) και η αφαίρεση λέξεων. Η κανονικοποίηση κειμένου μετατρέπει το κείμενο σε απλοϊκή μορφή, μετατρέποντας τις λέξεις στη βασική τους μορφή και διευθυνοδοτώντας παραλλαγές. Η δημιουργία διακριτικών σπάει το κείμενο σε μικρότερες ενότητες, όπως λέξεις ή κομμάτια υπολέξεων. Οι λέξεις που δε θεωρούνται χρήσιμες, όπως τα άρθρα, καταργούνται για να επικεντρωθεί ο αλγόριθμος σε όρους που φέρουν περιεχόμενο. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας αξιοποιεί και τη χρήση ετικετών και λεξικών, που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Επίσης, χρησιμοποιεί τεχνικές ενσωμάτωσης λέξεων, όπως η Word2Vec ή το BERT για να μετατρέψει λέξεις σε αριθμητικά διανύσματα, καταγράφοντας σημασιολογικές σχέσεις και επιτρέποντας στα μοντέλα να κατανοήσουν το πλαίσιο της λέξης. Η Word2Vec δημιουργεί ομάδες λέξεων, όπου έχουν παρόμοια σημασία, και αναπαρίστανται ως διανύσματα, που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους στον διανυσματικό χώρο. Έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για εργασίες, όπως μέτρηση ομοιότητας λέξεων και ταξινόμηση κειμένου. Από την άλλη πλευρά, το BERT είναι ένα μοντέλο, που βασίζεται σε μετασχηματιστή, και αποτυπώνει το νόημα μιας λέξης με βάση προεκπαιδευμένες αναπαραστάσεις και τα συμφραζόμενα της λέξης (είτε αριστερά της είτε δεξιά της). Το BERT έχει πετύχει αξιοσημείωτη

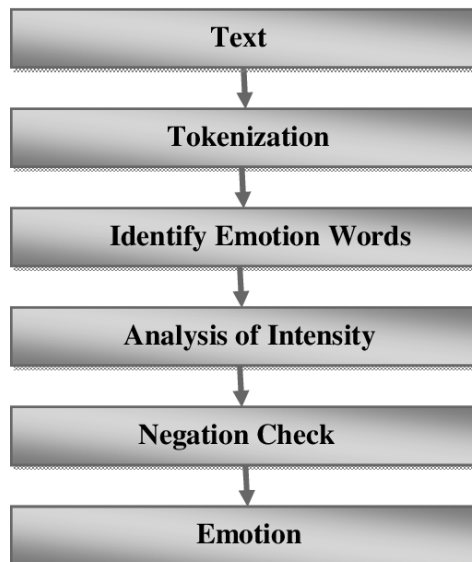
επιτυχία σε διάφορες εργασίες, καθιστώντας το απαραίτητο εργαλείο για εργασίες, όπως η ανάλυση συναισθήματος, η απάντηση ερωτήσεων και η αυτόματη μετάφραση. Άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας είναι η ανάλυση σύνταξης και γραμματικής, που εμβαθύνει στη δομή των προτάσεων, εντοπίζοντας σχέσεις μεταξύ λέξεων και φράσεων. Βέβαια, η ανάλυση συναισθήματος δεν χρησιμοποιεί συνήθως ανάλυση σύνταξης και γραμματικής, αλλά λεξικά συναισθημάτων και μοντέλα μηχανικής μάθησης για να καθορίσει το συναίσθημα που μεταφέρεται από το κείμενο. Αυτά τα τεχνικά στοιχεία συλλογικά επιτρέπουν στον αλγόριθμο να επεξεργάζεται και να εξάγει σημαντικές πληροφορίες από δεδομένα κειμένου (Liu, B., 2020).

Γι' αυτό είναι σημαντικό το κείμενο να κατηγοριοποιείται σε δύο μέρη, την εξόρυξη γνώμης και την εξόρυξη συναισθημάτων. Η εξόρυξη γνώμης ασχολείται περισσότερο με την έννοια των απόψεων, που εκφράζονται σε κείμενα που μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά ή ουδέτερα. Ενώ η εξόρυξη συναισθημάτων είναι η μελέτη των συναισθημάτων, που αντικατοπτρίζονται σε ένα κομμάτι κειμένου, ή με άλλα λόγια ο προσδιορισμός του πώς αισθάνεται ο συγγραφέας. Βασική εργασία εξόρυξης γνώμης είναι η ανίχνευση υποκειμενικότητας. Αυτό μπορεί να διακρίνεται αλγοριθμικά από το ρήμα της πρότασης. Τα αντικειμενικά κείμενα περιέχουν ορισμένες πραγματικές πληροφορίες και γι' αυτό θα χρησιμοποιούν πιο επιβεβαιωτικά ή προσδιοριστικά ρήματα, όπως τα «είναι», «ισχύει». Για παράδειγμα, «ο ουρανός είναι μπλε». Αντίθετα, τα υποκειμενικά κείμενα εκφράζουν προσωπικές απόψεις ή απόψεις κάποιου άλλου και τα ρήματα δηλώνουν πιο πολύ προσωπική αντίληψη, όπως τα «πιστεύω», «νομίζω», «αισθάνομαι». Για παράδειγμα, «μου αρέσει το μπλε χρώμα». Ίσως και από το θέμα του κειμένου να μπορεί να υπάρχει μια προκατάληψη ή αλλιώς μια υποψία στο ότι το κείμενο είναι αντικειμενικό ή υποκειμενικό. Εάν λόγου χάρη το κείμενο έχει μαθηματικό ή ιατρικό περιεχόμενο, πρέπει να είναι πιο αντικειμενικό, αλλά, εάν το θέμα του είναι φιλοσοφικό ή εικαστικό, τείνει να έχει πιο υποκειμενικό χαρακτήρα. Η θεματολογία μπορεί να είναι εκ των προτέρων γνωστή με metadata ή tags ή μπορεί να ελέγχεται επί τόπου από αλγόριθμο με μια μεγάλη βάση γνώσης. Επιπρόσθετο χαρακτηριστικό της εξόρυξης γνώμης είναι να καθοριστεί, εάν το κείμενο εκφράζει θετική ή αρνητική γνώμη. Αυτό μπορεί να γίνει με βάση συγκεκριμένες λέξεις ή σύνολο λέξεων, οι οποίες εκ των προτέρων έχουν ταξινομηθεί ως θετικές ή αρνητικές, με τρόπους που ήδη έχουν περιγραφεί. Να σημειωθεί βέβαια ότι ο καθορισμός του θετικού ή αρνητικού περιεχομένου είναι προαπαιτούμενο του καθορισμού συναισθημάτων και όχι το αντίστροφο. Σε αυτό λαμβάνει μέρος και το έργο της σύνοψης μιας μεγάλης δέσμης απόψεων για ένα θέμα, που περιλαμβάνει διαφορετικά κείμενα ή ποικίλες απόψεις εντός ενός κειμένου. Αυτό είναι σημαντικό ειδικά, όταν κάποιος θέλει να πάρει μια απόφαση βάσει του κειμένου, γιατί μια μεμονωμένη γνώμη δεν μπορεί να είναι αξιόπιστη. Για να γίνει αυτό αλγοριθμικά, χρειάζεται να εξαχθούν οι διάφορες σημασίες από τα κείμενα. Έπειτα, οι κυριότερες ή αλλιώς οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες σημασίες πρέπει να προβληθούν. Αυτές είναι ανάγκη να έχουν μια θετική ή αρνητική βαθμολογία η οποία πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό συχνότητάς τους στο κείμενο. Ο μέγιστος αριθμός των κυριότερων σημασιών ορίζεται από τον προγραμματιστή. Μετέπειτα, εξάγεται η σύνοψη, αναφέροντας τις κυριότερες απόψεις και αθροίζοντας τα γινόμενα (βαθμολογίες επί του αριθμού

συχνότητας), ώστε να υπάρχει και ποιοτική σύνοψη (κυριότερες απόψεις) και ποσοτική (βαθμολογία). Από την άλλη μεριά, οι εργασίες εξόρυξης συναισθημάτων στοχεύουν στον εντοπισμό λέξεων, που έχουν χαρακτηριστεί με ετικέτες συνήθως ως συναισθηματικές. Ο συναισθηματισμός έχει μετρήσιμο θετικό ή αρνητικό ή ουδέτερο βαθμό και συγκεκριμένη συναισθηματική περιγραφή (π.χ. χαρά, λύπη, φόβος, έκπληξη, περιέργεια). Η διαδικασία σύνοψης μιας μεγάλης ύπαρξης συναισθημάτων σε ένα κείμενο είναι παρόμοια με την εξόρυξη γνώμης, δηλαδή ελέγχεται η συχνότητα των λέξεων που οδηγούν σε ένα συναίσθημα και αθροίζεται το γινόμενο τους με την βαθμολογία. Επιπλέον σημαντικό κομμάτι της εξόρυξης συναισθήματος είναι η ανίχνευση της αιτίας του συναισθήματος. Αυτό μπορεί εύκολα να γίνει, εφόσον υπάρχουν ήδη λέξεις με ετικέτες και ο αριθμός συχνότητας. Έτσι, αν ένα κείμενο χρησιμοποιεί συχνά τη λέξη «λυπάμαι», είναι πολύ εύκολο να εξηγηθεί για ποιο λόγο το κείμενο είναι στενάχωρο. Άλλη μέθοδος θα ήταν η χρήση βαθμολόγησης από την εξόρυξη γνώμης. Ακόμα, η αντιστοίχιση ενός συναισθήματος σε ένα συγκεκριμένο πρόσωπο, μπορεί να γίνει με βάση το υποκείμενο που του αντιστοιχεί η συναισθηματική λέξη. Η εύρεση του υποκειμένου είναι εύκολη διαδικασία, καθόσον υπάρχουν έτοιμα εργαλεία σύνταξης προτάσεων σε φυσική γλώσσα. Απεναντίας, δύσκολος είναι γενικά ο εντοπισμός ειρωνείας σε ένα κείμενο, με εξαίρεση τη χρήση εισαγωγικών, όπως στην πρόταση: εγώ «λυπάμαι» γι' αυτό που σου συνέβη. Αλλά και η χρήση εισαγωγικών δεν είναι απόλυτη μέθοδος εύρεσης ειρωνείας, γιατί σε σπάνια περίπτωση μπορεί να υποδηλώνει έμφαση και συνεπώς ότι λυπάται πολύ ο άνθρωπος στο προαναφερθέν παράδειγμα. Εναλλακτικά, θα είναι αναγκαίο να διερευνηθεί, εάν σε μια ή δυο κοντινές προτάσεις (κύριες ή δευτερεύουσες) χρησιμοποιείται θετική άποψη, όπως στην πρόταση «κρίμα, είσαι στην παραλία για διακοπές με ωραίο καιρό και ήλιο». Επομένως, ενώ η λέξη «κρίμα» είναι αρνητική, μπορεί να θεωρηθεί ειρωνική λόγω της επόμενης. Αυτό όμως είναι δύσκολο, καθόσον χρειάζεται να γνωρίζει εκ των προτέρων ο αλγόριθμος ποιες προτάσεις και λέξεις μπορεί να χρησιμοποιούνται ειρωνικά και συνεπώς οφείλει να προβλέψει μια δύσκολη πιθανότητα. Τέλος, για την εξόρυξη συναισθήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρίτα δεδομένα ενός κειμένου, όπως οι κριτικές ενός βιβλίου. Αναλύοντας τις κριτικές ενός βιβλίου, είναι πιο εύστοχη η ανάλυση συναισθημάτων που βιώνει ο αναγνώστης και συνεπώς του περιεχομένου του βιβλίου, τα οποία συναισθήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως μεταδεδομένα ενός κειμένου. Οι κριτικές είναι καλό να λαμβάνονται από διάφορες πηγές, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα να είναι «προκατειλημμένες» εξαιτίας της συγκεκριμένης πηγής (Liu, B., 2020), (Yadollahi, A., et al., 2017).

Οι αλγόριθμοι ανάλυσης συναισθήματος έχουν διάφορες διαδικασίες και χαρακτηριστικά με απώτερο σκοπό να κάνουν ταξινόμηση. Οι εποπτευόμενες μέθοδοι είναι αυτές που ασχολούνται με δεδομένα με ετικέτα και εφαρμόζουν ορισμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης σε ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Τοιουτοτρόπως είναι σε θέση να προβλέψουν την ετικέτα νέων δεδομένων και να τα ταξινομήσουν βάσει των ετικετών. Χρειάζονται ένα σχολιασμένο σύνολο δεδομένων κειμένων για το έργο της εκπαίδευσης, το οποίο δημιουργεί ένα μοντέλο για τη διάκριση μεταξύ των συναισθημάτων. Προκειμένου να εφαρμοστούν μέθοδοι μηχανικής μάθησης, θα πρέπει να αναπαρασταθεί το κείμενο μέσω περιγραφικών χαρακτηριστικών. Μετά από αυτό, ορισμένες τεχνικές θα χρειαστεί να

χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση ενός ταξινομητή. Βασικές λειτουργίες εκπαίδευσης βασίζονται στην παρουσία και στη συχνότητα όρων. Σχεδόν όλες οι εργασίες εξόρυξης συναισθημάτων βασίζονται στη χρήση ενός λεξικού. Τα λεξικά είναι πολύ χρήσιμα καθώς παρέχουν εκ των προτέρων πληροφορίες σχετικά με το είδος και τη δύναμη του συναισθήματος που μεταφέρει κάθε λέξη ή φράση. Επομένως, έχοντας ένα λεξικό από όρους, μπορεί να γίνει αντιστοίχιση από τον όρο, που εντοπίστηκε σε ένα κείμενο, σε ένα συναίσθημα. Ενδεχομένως να συνδέεται και με μια πιθανότητα αντιστοίχισης (λ.χ. 80%) και ένα βαθμό συναισθήματος (λ.χ. λίγη χαρά, χαρά, πολλή χαρά). Να σημειωθεί ότι πολλοί θεωρούν τη χρήση λεξικού ως μέθοδο ταξινόμησης χωρίς ετικέτα και συνεπώς ως μη εποπτευόμενη μάθηση, όπως επίσης και η χρήση βαθμολογίας. Ωστόσο, πολλές φορές συνδυάζονται οι μέθοδοι για πιο ευνοϊκά αποτελέσματα. Η αντιστοίχιση μεμονωμένου όρου με συναίσθημα λέγεται unigram, ενώ η αντιστοίχιση πολλών όρων μαζί ή φράσεις n-gram. Παρόλο που τα n-grams έχουν περισσότερες πληροφορίες από τα χαρακτηριστικά unigram, σχετικά με τη θέση των λέξεων στην πρόταση και τη χρήση τους ως ομάδα, το να είναι πιο αποτελεσματικά στην αύξηση της απόδοσης είναι θέμα το οποίο διερευνάται και στο οποίο οι απόψεις δίστανται. Ακόμα, η χρήση αρνητικών λέξεων σε μια πρόταση δεν πρέπει να ανατρέπει, αλλά να αντιστρέφει τη βαθμολογία ενός ή πολλών όρων. Για παράδειγμα, η πρόταση «δεν στεναχωριέμαι» πρέπει να οδηγήσει σε θετικό συναίσθημα, αντιστρέφοντας την αρνητική σημασία και βαθμολογία του «στεναχωριέμαι» εξαιτίας του όρου «δεν». Αν και η αφελής υπόθεση ότι κάθε λέξη άρνησης αντιστρέφει τη βαθμολογία του συναισθήματος σε πολλές περιπτώσεις, αυτό δεν είναι ένας γενικός κανόνας. Λόγου χάρι, στην πρόταση «δε στεναχωριέμαι για το αυτοκίνητο, στεναχωριέμαι για εσένα που χτύπησες», θα χρειαστεί πιο πολύπλοκη εκπαίδευση, για να βγει το συμπέρασμα ότι εκφράζεται λύπη και ότι δεν εκφράζεται σε καμία περίπτωση χαρά. Επίσης είναι πιθανό και τα σημεία στίξης να βοηθήσουν στον προσδιορισμό του συναισθήματος, πάντοτε όμως συναρτήσει των λέξεων. Έτσι, η πρόταση «σε αγαπώ.» εκφράζει το συναίσθημα της αγάπης, η πρόταση «σε αγαπώ!» εκφράζει έντονα το συναίσθημα της αγάπης, οπότε υπάρχει το ίδιο συναίσθημα, αλλά με μεγαλύτερη βαθμολογία και πιθανότητα, και η πρόταση «σε αγαπώ;» εκφράζει το συναίσθημα της ανησυχίας και αβεβαιότητας. Τα σημεία στίξης είναι ένας ακόμα παράγοντας, που είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψιν στην ταξινόμηση, αλλά συνήθως είναι πιο τυπικός και συχνά εξάγει συγκεκριμένα αποτελέσματα ή τα τροποποιεί με συγκεκριμένο τρόπο. Τελευταίο, αλλά εξίσου σημαντικό, υπάρχουν χαρακτηριστικά του κειμένου, όπως η σύνταξη, το μέγεθος του κειμένου και άλλα πολλά, που δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση συναισθήματος (Liu, B., 2020), (Yadollahi, A., et al., 2017).



Εικόνα 5 – Μεθοδολογία αναγνώρισης συναισθήματος με βάση κείμενο

2.4 Αλγόριθμοι για κατηγοριοποίηση συναισθημάτων

Η ταξινόμηση συναισθημάτων είναι το τελευταίο βήμα στα συστήματα αυτόματης ανάλυσης εκφράσεων προσώπου, όπου ο στόχος είναι να κατηγοριοποιηθούν οι εκφράσεις του προσώπου με βάση τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά. Διάφοροι ταξινομητές έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό, συμπεριλαμβανομένων των νευρωνικών δικτύων, των μηχανών υποστήριξης διανυσμάτων (SVM), της ανάλυσης γραμμικής διάκρισης, των K-means, της πολυωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης, των Hidden Markov Models, του Naive Bayes και άλλων. Αυτοί οι ταξινομητές στοχεύουν να αποδώσουν αποτελεσματικά συναισθήματα στις εκφράσεις του προσώπου που έχουν εντοπιστεί.

Οι μέθοδοι αναγνώρισης εκφράσεων μπορούν να χωριστούν ευρέως σε δύο κατηγορίες: μεθόδους που βασίζονται σε πλαίσιο και μεθόδους που βασίζονται σε ακολουθία. Στην αναγνώριση βάσει καρέ, μόνο το τρέχον πλαίσιο, με ή χωρίς εικόνα αναφοράς (συνήθως μια εικόνα ουδέτερου προσώπου), χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της έκφρασης. Αυτή η προσέγγιση δεν ενσωματώνει χρονικές πληροφορίες και αντιμετωπίζει κάθε πλαίσιο ανεξάρτητα. Διαφορετικές τεχνικές, όπως νευρωνικά δίκτυα, μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων, ανάλυση γραμμικής διάκρισης, δίκτυα Bayes και ταξινομητές βασισμένοι σε κανόνες, έχουν χρησιμοποιηθεί στην αναγνώριση βάσει πλαισίου. Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι αναγνώρισης που βασίζονται σε ακολουθία αξιοποιούν τις χρονικές πληροφορίες που υπάρχουν σε μια ακολουθία πλαισίων για την αναγνώριση εκφράσεων. Τεχνικές όπως τα Hidden Markov Models, τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα και οι ταξινομητές που βασίζονται σε κανόνες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των εκφράσεων του προσώπου σε ένα χρονικό πλαίσιο. Αυτές οι μέθοδοι θεωρούν ότι η σειρά των καρέ αποτυπώνει τη δυναμική και την εξέλιξη των εκφράσεων του προσώπου με την πάροδο του χρόνου. Με την ενσωμάτωση χρονικών πληροφοριών, οι ταξινομητές που βασίζονται σε ακολουθίες μπορούν να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της συναισθηματικής κατάστασης. Αξίζει να σημειωθεί

ότι διάφορες ερευνητικές μελέτες έχουν εξερευνήσει διαφορετικές προσεγγίσεις ταξινόμησης και έχουν αξιολογήσει την απόδοσή τους, χρησιμοποιώντας διαφορετικές βάσεις δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται πολλαπλοί ταξινομητές και ο ταξινομητής με την καλύτερη απόδοση επιλέγεται για ανεξάρτητη δοκιμή. Αυτό επιτρέπει στους ερευνητές να εντοπίσουν την πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την ταξινόμηση των συναισθημάτων (Dhruv, P., et. al, 2020), (Konar, A., et. al, 2015), (Li, S. Z., et. al, 2005).

Τα Hidden Markov Models αποτελούν ένα ισχυρό στατιστικό εργαλείο για τη μοντελοποίηση δεδομένων με ακολουθία και έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης εκφράσεων προσώπου και ταξινόμησης των ανθρώπινων συναισθημάτων με βάση τις εκφράσεις του προσώπου. Για την Αναγνώριση Εκφράσεων Προσώπου μέσω Hidden Markov Models ακολουθείται μια σχολαστική σειρά βημάτων. Αρχικά, αποκτάται ένα σύνολο δεδομένων, που περιλαμβάνει εικόνες ή βίντεο ατόμων. Το κάθε δεδομένο ή κάθε ομάδα δεδομένων έχει λάβει ετικέτες (tags), που περιγράφουν διάφορα συναισθήματα, με μεγάλη προσοχή, καθώς και παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Η προεπεξεργασία δεδομένων ξεκινά με την ανίχνευση προσώπου και την ευθυγράμμιση, διασφαλίζοντας ότι οι περιοχές του προσώπου εντοπίζονται αποδοτικά. Στη συνέχεια εφαρμόζονται τεχνικές κανονικοποίησης για τον μετριασμό των διακυμάνσεων στο φωτισμό και το προφίλ ή αλλιώς τη στάση του προσώπου. Στη συνέχεια γίνεται η εξαγωγή χαρακτηριστικών του προσώπου, όπως μάτια, μύτη και στόμα, και γεωμετρικά χαρακτηριστικά (π.χ. αποστάσεις μεταξύ ορόσημων, γωνιών, αναλογιών). Η αναγνώριση των χαρακτηριστικών γίνεται με τρόπους που έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Το μοντέλο Hidden Markov ορίζεται με τον χώρο καταστάσεων, που αντιπροσωπεύει κατηγορίες συναισθημάτων, το χώρο παρατήρησης, που ενσωματώνει εξαγόμενα χαρακτηριστικά και παραμέτρους, τις πιθανότητες μετάβασης κατάστασης και τις πιθανότητες εκπομπής, οι οποίες εκτιμώνται μέσω εκπαίδευσης, συχνά χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Baum-Welch. Οι πιθανότητες μετάβασης κατάστασης περιγράφουν την πιθανότητα μετάβασης από μια κρυφή κατάσταση (που αντιπροσωπεύει ένα συναίσθημα) σε μια άλλη, καθώς προχωρά μια ακολουθία παρατηρήσεων (π.χ. από συρρικνωμένα φρύδια σε χαμόγελο ή ακόμα και κατ' επέκταση από θυμό σε χαρά). Έτσι, αποτυπώνουν τις χρονικές εξαρτήσεις και τη δυναμική των συναισθηματικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, οι πιθανότητες εκπομπής σχετίζονται με κάθε συναισθηματική κατάσταση, ποσοτικοποιώντας την πιθανότητα παρατήρησης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ή μοτίβων του προσώπου, καθώς και την πιθανότητα ένα συναίσθημα να σχετίζεται με αυτό το χαρακτηριστικό ή μοτίβο του προσώπου. Για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο το μοντέλο μπορεί να επεξεργάζεται συνεχώς τα εισερχόμενα καρέ, ενημερώνοντας τις εκτιμήσεις κατάστασης. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται με τον υπολογισμό της πιθανότητας παρατηρούμενων χαρακτηριστικών για κάθε κατάσταση, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο forward-backward και προσδιορίζοντας την πιο πιθανή ακολουθία καταστάσεων με τον αλγόριθμο Viterbi. Ο πρώτος αλγόριθμος υπολογίζει την πιθανότητα παρατηρούμενων δεδομένων μέχρι το τρέχον χρονικό βήμα (forward) και την πιθανότητα των υπόλοιπων δεδομένων ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση (backward). Ενώ ο Viterbi αλγόριθμος υπολογίζει την πιο πιθανή ακολουθία κρυφών

καταστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανότητες μετάβασης κατάστασης και εκπομπών. Η αξιολόγηση της απόδοσης βασίζεται σε μετρήσεις, όπως η accuracy, precision, recall, F1-score και confusion matrices. Ενώ τα Hidden Markov Models προσφέρουν δυνατότητες διαδοχικής μοντελοποίησης, είναι αξιοσημείωτο, ότι οι σύγχρονες μέθοδοι βαθιάς μάθησης, όπως τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα και τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα, έχουν κερδίσει εξέχουσα θέση λόγω της ανώτερης απόδοσής τους σε μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων σε εργασίες αναγνώρισης χαρακτηριστικών προσώπου. Ωστόσο, τα Hidden Markov Models παραμένουν πολύτιμα όταν ασχολούμαστε με περιορισμένα δεδομένα ή όταν η ικανότητα της ερμηνείας αποτελεί προτεραιότητα (Dhruv, P., et. al, 2020), (Konar, A., et. al, 2015), (Sun, G. Z, et al., 1990).

Νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι ένα μαθηματικό μοντέλο για την προσέγγιση πολύπλοκων συναρτήσεων μέσω της σύνθεσης τεχνητών κόμβων ή αλλιώς νευρώνων, δομημένων σε στρώματα. Κάθε νευρώνας στο δίκτυο έχει εισόδους και εξόδους και εκτελεί ένα υπολογισμό με κάποιο «βάρος», που έχει μια αριθμητική τιμή. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε μία από τις εισόδους τους με το αντίστοιχο βάρος και υπολογίζουν το συνολικό άθροισμα των γινομένων. Η εν λόγω έξοδος είτε είναι τελικό αποτέλεσμα, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου, για να επαναλάβουν τη διαδικασία. Οι αρχικοί νευρώνες εισόδου δεν εκτελούν κανέναν υπολογισμό, απλώς μεσολαβούν μεταξύ των περιβαλλοντικών εισόδων του δικτύου και των νευρώνων υπολογιστών. Οι νευρώνες εξόδου τροφοδοτούν τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου στο περιβάλλον. Μια ακόμα παράμετρος ενός νευρώνα μπορεί να είναι μια προκατάληψη (bias) ή κλίση. Αυτή επιτρέπει στους νευρώνες να έχουν ρυθμιζόμενη μετατόπιση, δηλαδή ένα κατώφλι. Όταν το σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων σε ένα νευρώνα, μαζί με την προκατάληψη, υπερβεί ένα ορισμένο όριο, τότε ο νευρώνας θα ενεργοποιηθεί και θα παράγει μια έξοδο (Dhruv, P., et. al, 2020).

Τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (Recurrent Neural Networks) είναι μια κατηγορία νευρωνικών δικτύων που έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία διαδοχικών δεδομένων, καθιστώντας τα κατάλληλα για αναγνώριση εκφράσεων προσώπου. Στην αρχή μια ακολουθία δεδομένων, όπως βίντεο από καρέ προσώπου, εισάγεται στο επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο. Κάθε καρέ αναπαρίσταται ως ένα feature vector, που συνήθως προέρχεται από τα εικονοστοιχεία εικόνας. Το επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο επεξεργάζεται αυτά τα feature vectors διαδοχικά, όπου το feature vector κάθε πλαισίου εξετάζεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα. Σε κάθε χρονικό βήμα, η κρυφή κατάσταση του επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου, που είναι μια δυναμική αναπαράσταση προηγούμενων πλαισίων, ενημερώνεται με βάση τα χαρακτηριστικά του τρέχοντος πλαισίου και την προηγούμενη κρυφή κατάσταση. Αυτή η επαναλαμβανόμενη διαδικασία επιτρέπει στο επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο να συλλαμβάνει τις χρονικές εξαρτήσεις και, στο προαναφερθέν παράδειγμα, να μοντελοποιεί τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι εκφράσεις του προσώπου με την πάροδο του χρόνου. Μετά την

επεξεργασία όλων των πλαισίων, η τελική κρυφή κατάσταση συμπεριλαμβάνει πληροφορίες για ολόκληρη την ακολουθία. Αυτή η κρυφή κατάσταση χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως είσοδος σε ένα πλήρως συνδεδεμένο στρώμα που ακολουθείται από μια συνάρτηση ενεργοποίησης softmax, αντιστοιχίζοντάς το σε κατηγορίες συναισθημάτων. Η συνάρτηση softmax είναι μια κανονικοποιημένη εκθετική συνάρτηση και μετατρέπει ένα διάνυσμα K πραγματικών αριθμών σε κατανομή πιθανότητας K πιθανών αποτελεσμάτων. Όλη η παραπάνω διαδικασία είναι η εκπαίδευση. Κατά τη διάρκειά της οι παράμετροι του δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των βαρών που συνδέουν τις κρυφές καταστάσεις, μαθαίνονται με χρήση backpropagation μέσω του χρόνου και αλγορίθμων βελτιστοποίησης, όπως η gradient descent. Ο αλγόριθμος Backpropagation χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου, προσαρμόζοντας τις εσωτερικές παραμέτρους του δικτύου (βάρος και προκατάληψη) για να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων εξόδων και των πραγματικών τιμών στόχου. Η διαδικασία ξεκινά κάνοντας ένα πέρασμα προς τα εμπρός μέσω του δικτύου για να γίνουν προβλέψεις με βάση τις τρέχουσες παραμέτρους. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος υπολογίζει το σφάλμα ή την απώλεια, το οποίο ποσοτικοποιεί το πόσο απέχουν αυτές οι προβλέψεις από τις πραγματικές τιμές. Στη συνέχεια, ο Backpropagation λειτουργεί προς τα πίσω μέσω του δικτύου, υπολογίζοντας τη διαβάθμιση της απώλειας σε σχέση με κάθε παράμετρο, χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας, που είναι μια μαθηματική τεχνική. Αυτές οι διαβαθμίσεις υποδεικνύουν πόσο οφείλει να προσαρμοστεί κάθε παράμετρος για να μειωθεί η εσφαλμένη πρόβλεψη. Τέλος, τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως η gradient descent, χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των παραμέτρων, βελτιώνοντας σταδιακά την ικανότητα του δικτύου να κάνει ακριβείς προβλέψεις. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία συνεχίζεται έως ότου η απόδοση του δικτύου φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ο backpropagation μέσω του χρόνου είναι μια μέθοδος για την εκπαίδευση των επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων (RNNs), ξεδιπλώνοντας το δίκτυο με την πάροδο του χρόνου, αντιμετωπίζοντάς το ως ένα νευρωνικό δίκτυο τροφοδοσίας με κοινά βάρη. Υπολογίζει τις διαβαθμίσεις, εφαρμόζοντας τον κανόνα της αλυσίδας σε κάθε χρονικό βήμα της ακολουθίας, επιτρέποντας στο δίκτυο να μάθει από τις χρονικές εξαρτήσεις του και να κάνει ακριβείς προβλέψεις για εργασίες που περιλαμβάνουν ακολουθίες, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η ανάλυση χρονοσειρών. Ο backpropagation είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της εκπαίδευσης των νευρωνικών δικτύων και έχει επιτρέψει την επιτυχία των μοντέλων βαθιάς μάθησης σε διάφορες εφαρμογές. Ακόμα, χρειάζεται να εξηγηθεί ο Gradient descent, που είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιείται για την εύρεση του ελάχιστου (ή του μέγιστου) μιας συνάρτησης, συνήθως στο πλαίσιο της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης, όπου χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης κόστους ή απώλειας. Επομένως, μπορεί να γίνει μια επαναληπτική προσαρμογή των παραμέτρων του νευρωνικού δικτύου, όπως τα βάρη και οι προκαταλήψεις, για να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων συναισθημάτων και των πραγματικών συναισθημάτων σε ένα σύνολο δεδομένων εικόνων έκφρασης προσώπου. Για κάθε σύνολο εικόνων, οι διαβαθμίσεις της συνάρτησης υπολογίζονται σε σχέση με τις παραμέτρους, υποδεικνύοντας τον τρόπο για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων πρόβλεψης. Στη συνέχεια, οι παράμετροι ενημερώνονται προς την

αντίθετη κατεύθυνση των κλίσεων, ελέγχονται από ένα ρυθμό εκμάθησης και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι τη σύγκλιση ή το βαθμό σύγκλισης που έχει οριστεί. Με άλλα λόγια, ο Gradient descent βοηθά το δίκτυο να μάθει τις βέλτιστες τιμές παραμέτρων για ακριβή αναγνώριση συναισθημάτων, βελτιώνοντας σταδιακά την ικανότητά του να ταξινομεί τις εκφράσεις του προσώπου. Συνεπώς, η ικανότητα ενός επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου να μοντελοποιεί διαδοχικά δεδομένα και να καταγράφει χρονικές αποχρώσεις το καθιστά ισχυρό εργαλείο για την αναγνώριση εκφράσεων προσώπου, επιτρέποντάς του να μαθαίνει πολύπλοκα μοτίβα στις εκφράσεις του προσώπου (Dhruv, P., et. al, 2020), (Konar, A., et. al, 2015), (Sun, G. Z, et al., 1990).

Το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (convolutional neural network) είναι ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης που ειδικεύεται στην επεξεργασία οπτικών δεδομένων, όπως εικόνων και βίντεο. Το convolution είναι μια μαθηματική συνάρτηση συσχέτισης του $f(t)$ με την αντίστροφη συνάρτηση $g(t-t)$. Λειτουργεί μέσω μιας σειράς συνελκτικών στρωμάτων (convolution layers) γι' αυτόματη εκμάθηση και εξαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών. Τα συνελκτικά επίπεδα αποτελούνται από πολλαπλά φίλτρα με δυνατότητα εκμάθησης που επεξεργάζονται τα δεδομένα εισόδου. Σε κάθε θέση ένα φίλτρο εκτελεί μια μαθηματική πράξη, η οποία περιλαμβάνει τον πολλαπλασιασμό των συντελεστών του φίλτρου με τις αντίστοιχες τιμές εικονοστοιχείων στην είσοδο. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτών των πολλαπλασιασμών αθροίζονται για να υπολογιστεί μια ενιαία τιμή για την τρέχουσα θέση στον χάρτη χαρακτηριστικών. Αυτοί οι χάρτες χαρακτηριστικών αντιπροσωπεύουν τη συνάρτηση ενεργοποίησης του φίλτρου σε διαφορετικές χωρικές θέσεις κατά μήκος της εισόδου. Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης εισάγουν τη μη γραμμικότητα, ενισχύοντας την ικανότητα του δικτύου να καταγράφει περίπλοκες σχέσεις. Καθώς τα δεδομένα προχωρούν μέσα από αυτά τα επίπεδα, το δίκτυο μαθαίνει ιεραρχικά χαρακτηριστικά, αναγνωρίζοντας ολοένα και πιο αφηρημένα μοτίβα. Τα πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα συνδέουν αυτά τα χαρακτηριστικά, μοντελοποιώντας περίπλοκες σχέσεις. Για παράδειγμα, στην ταξινόμηση εικόνων, ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο μπορεί να μάθει να αναγνωρίζει γάτες στις φωτογραφίες, αναγνωρίζοντας σχήματα και αποστάσεις σχημάτων (π.χ. απόσταση ελλείψεων, που αντιστοιχούν σε μάτια), ταξινομώντας την τελικά ως εικόνα με γάτα ή χωρίς γάτα με βάση αυτά τα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά. Αυτά τα νευρωνικά δίκτυα έχουν επιδείξει αξιοσημείωτες ικανότητες σε διάφορες εργασίες υπολογιστικής όρασης, λόγω της ικανότητάς τους να μαθαίνουν αυτόματα και να αναπαριστούν περίπλοκα μοτίβα στα οπτικά δεδομένα (Dhruv, P., et. al, 2020), (Konar, A., et. al, 2015), (Lim, W., et.al., 2016).

Βέβαια, τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αναγνώριση συναισθημάτων με βάση τον ήχο, στον οποίο συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται. Αρχικά, τα ακατέργαστα δεδομένα ήχου μετατρέπονται σε μια αναπαράσταση φασματογράμματος, που είναι ένας δισδιάστατος πίνακας, όπου ο ένας άξονας αντιπροσωπεύει το χρόνο και ο άλλος αντιπροσωπεύει διαφορετικές συνιστώσες συχνότητας. Στη συνέχεια, τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα εφαρμόζονται σε αυτό το φασματογράμμα. Τα συνελκτικά στρώματα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο, όπου χρησιμοποιούν φίλτρα που μπορούν να μάθουν

να εκτελούν περιελίξεις σε όλο το φασματόγραμμα, συλλαμβάνοντας αποτελεσματικά εντοπισμένα χαρακτηριστικά ενδεικτικά συναισθημάτων, όπως διακυμάνσεις στο ύψος ή την ένταση με την πάροδο του χρόνου. Μετά από αυτό, τα πλήρως συνδεδεμένα στρώματα δημιουργούν συνδέσεις μεταξύ των μαθησιακών χαρακτηριστικών, διευκολύνοντας τη μοντελοποίηση σχέσεων υψηλότερου επιπέδου μεταξύ τους. Το τελικό στρώμα εξόδου παρέχει πιθανότητες για διάφορες κατηγορίες συναισθημάτων με βάση τις μαθημένες λειτουργίες ήχου. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, οι παράμετροι μπορούν να βελτιστοποιούνται μέσω backpropagation και gradient descent, ελαχιστοποιώντας μια συνάρτηση απώλειας, που ποσοτικοποιεί τη διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών συναισθημάτων (Lim, W., et.al., 2016).

Αλγόριθμοι ταξινόμησης και ομαδοποίησης

Ο Naive Bayes είναι ένας αλγόριθμος ταξινόμησης που αξιοποιεί το θεώρημα του Bayes. Το θεώρημα του Bayes επιτρέπει να υπολογιστεί η πιθανότητα μιας υπόθεσης να είναι αληθής, δεδομένης της πιθανότητας να παρατηρηθούν ορισμένα στοιχεία, εάν η υπόθεση ήταν αληθινή. Ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας, όπως στο να ταξινομήσει το συναίσθημα που εκφράζεται σε ένα δεδομένο κείμενο. Ο αλγόριθμος ονομάζεται «αφελής», επειδή υποθέτει ότι τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση είναι υπό όρους ανεξάρτητα, που σημαίνει ότι η παρουσία ή η απουσία ενός χαρακτηριστικού δεν επηρεάζει την παρουσία ή την απουσία οποιουδήποτε άλλου χαρακτηριστικού. Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Πρώτον, υπολογίζει τις προηγούμενες πιθανότητες κάθε κλάσης στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα να εμφανιστεί κάθε τάξη, χωρίς να ληφθούν υπόψη κάποια χαρακτηριστικά. Λόγου χάρη, δημιουργεί ένα σύνολο δεδομένων με παραδείγματα με ετικέτα, όπου κάθε δείγμα κειμένου σχετίζεται με μια συγκεκριμένη κατηγορία συναισθημάτων (π.χ. χαρούμενος, λυπημένος, θυμωμένος). Έπειτα, για μια δεδομένη είσοδο με ένα σύνολο χαρακτηριστικών, υπολογίζει την πιθανότητα παρατήρησης αυτών των χαρακτηριστικών σε κάθε τάξη, υποθέτοντας ανεξαρτησία. Αυτές οι πιθανότητες πολλαπλασιάζονται με τις προηγούμενες πιθανότητες, για να ληφθούν οι μη κανονικοποιημένες μεταγενέστερες πιθανότητες για κάθε κατηγορία. Έτσι, στο προαναφερθέν παράδειγμα υπολογίζεται η πιθανότητα να εμφανιστεί κάθε λέξη σε κείμενα για κάθε κατηγορία συναισθημάτων και οι προηγούμενες πιθανότητες αυτών των κατηγοριών συναισθημάτων στο σύνολο δεδομένων. Τουτέστιν, πολλαπλασιάζει την προηγούμενη πιθανότητα κάθε κατηγορίας συναισθήματος με το γινόμενο των πιθανοτήτων των λέξεων στο κείμενο εισαγωγής σε αυτή την κατηγορία. Μετέπειτα, η κλάση με την υψηλότερη μη κανονικοποιημένη οπίσθια πιθανότητα επιλέγεται ως προβλεπόμενη κατηγορία ή αλλιώς το προβλεπόμενο συναίσθημα. Παρά την απλότητά του και την «αφελή» υπόθεση της ανεξαρτησίας χαρακτηριστικών, ο Naive Bayes μπορεί να αποδώσει αρκετά καλά σε εργασίες αναγνώρισης συναισθημάτων ειδικά, όταν ασχολείται με μεγάλα σύνολα δεδομένων και σχετικά απλά χαρακτηριστικά κειμένου (Konar, A., et. al, 2015).

Ο K-means είναι ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης που χρησιμοποιείται για τη διαίρεση ενός συνόλου δεδομένων σε κέντρα, δηλαδή ομάδες παρόμοιων δεδομένων, όπως την κατηγοριοποίηση των δεδομένων κειμένου με βάση τις ομοιότητές τους. Ξεκινά με την τυχαία προετοιμασία των ομάδων στο σύνολο των δεδομένων, π.χ. τα συναισθήματα χαρά, θλίψη, θυμός. Στη συνέχεια, σε μια επαναληπτική διαδικασία εκχωρεί κάθε σημείο δεδομένων στο πλησιέστερο κέντρο με βάση μια μέτρηση απόστασης, χρησιμοποιώντας συνήθως την ευκλείδεια απόσταση ή την TF-IDF. Στο πλαίσιο της ανάλυσης και της ομαδοποίησης κειμένου η TF-IDF είναι μια μέθοδος που ξεκινά με την προεπεξεργασία του κειμένου, συμπεριλαμβανομένων βημάτων, όπως η μετατροπή του κειμένου σε πεζό και η αφαίρεση κοινών λέξεων. Μετά για κάθε έγγραφο η TF-IDF υπολογίζει τη συχνότητα κάθε όρου σε ένα κείμενο (TF) και σε όλα τα κείμενα μαζί (IDF), δημιουργώντας ένα διάνυσμα καταμέτρησης λέξεων. Η βαθμολογία TF-IDF για έναν όρο σε ένα έγγραφο υπολογίζεται, πολλαπλασιάζοντας το TF του επί το IDF του και, όσο μεγαλύτερη η βαθμολογία, τόσο μεγαλύτερη η σημασία της λέξης. Ο K-means μετά την εκχώρηση όλων των σημείων δεδομένων υπολογίζει το μέσο όρο των σημείων δεδομένων σε κάθε ομάδα και αυτά τα μέσα γίνονται τα νέα κεντροειδή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έως ότου τα κεντροειδή δεν αλλάζουν πλέον σημαντικά ή επιτυγχάνεται ένας προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων. Ο K-means επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει τη διακύμανση εντός του συμπλέγματος, ομαδοποιώντας αποτελεσματικά τα σημεία δεδομένων σε K ομάδες που μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους παρά με εκείνα σε άλλες συστάδες. Εάν βέβαια οι ομάδες έχουν όρους που παραπέμπουν σε διαφορετικά συναισθήματα, μπορεί να αντικατασταθεί η χρήση της πιο συχνά εμφανιζόμενης λέξης, βάζοντας ετικέτες σε κάθε όρο και μετρώντας τη συχνότητα των ετικετών ανά κείμενο (TF) και σε όλα τα κείμενα (IDF). Η επιλογή του K αριθμού των συστάδων είναι μια κρίσιμη παράμετρος που περιγράφει τον αριθμό των συναισθημάτων. Ωστόσο, αυτή ίσως χρήζει τροποποίησης για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του αλγορίθμου. Αξιοσημείωτο ότι ο K-means είναι μια μέθοδος χωρίς επίβλεψη και μπορεί να είναι χρήσιμη για την ομαδοποίηση παρόμοιων συναισθημάτων με διερευνητικό τρόπο, αλλά η αποτελεσματικότητά του μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τη φύση των δεδομένων κειμένου και τον αριθμό των συστάδων που επιλέγονται (Thavareesan, S., et. al, 2021, August).

Συνολικά, οι μέθοδοι ταξινόμησης συμβάλλουν στην ακριβή κατηγοριοποίηση των εκφράσεων του προσώπου ή στα συναισθήματα που πηγάζουν από τα δεδομένα. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε πλαίσιο εστιάζουν στα μεμονωμένα πλαίσια, ενώ οι μέθοδοι, που βασίζονται σε ακολουθία, λαμβάνουν υπόψη συνήθως τη χρονική δυναμική. Η επιλογή της τεχνικής ταξινόμησης εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τους στόχους της εφαρμογής. Οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει μια σειρά από ταξινομητές και μεθοδολογίες αξιολόγησης για να βελτιώσουν την ακρίβεια και την ευρωστία των συστημάτων ταξινόμησης συναισθημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Χρήση ευφυών συστημάτων διδασκαλίας

3.1 Ενσωμάτωση συναισθηματικής υπολογιστικής στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας

Τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας αναπτύσσονται κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο με διάφορους τρόπους και για ποικίλους σκοπούς. Μερικές κατηγορίες συστημάτων διδασκαλίας είναι τα συστήματα διδασκαλίας στο διαδίκτυο, τα διαδραστικά συστήματα διδασκαλίας και τα ευφυή συστήματα αξιολόγησης και τα υβριδικά συστήματα διδασκαλίας. Τα συστήματα διδασκαλίας στο διαδίκτυο υποστηρίζουν τη διαδικτυακή μάθηση και συχνά περιλαμβάνουν λειτουργίες, όπως διαλέξεις βίντεο, μερικώς διαδραστικές ασκήσεις και εξατομικευμένες διαδρομές μάθησης. Μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παρουσίαση των απαντήσεων στις ασκήσεις, να παρέχουν παρακολούθηση μάθησης και να προσφέρουν άμεση ανατροφοδότηση στους μαθητές, ανεξαρτήτου τόπου. Δε δεσμεύουν τη διαζώση μάθησης, αλλά ούτε την απορρίπτουν, προσφέροντας ευελιξία στον τόπο μάθησης. Επιπλέον, τα διαδραστικά συστήματα διδασκαλίας χρησιμοποιούν τεχνολογίες, όπως η αναγνώριση εικόνας, η επαυξημένη πραγματικότητα/εικονική πραγματικότητα (AR/VR) και η αναγνώριση ομιλίας για τη δημιουργία διαδραστικών μαθησιακών εμπειριών. Ειδικά η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα είναι ρεαλιστικές, καθηλωτικές και ελκυστικές διαδραστικές μέθοδοι για εκμάθηση, που προσφέρουν μια ιδιαίτερη εμπειρία. Ταυτόχρονα, μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένη ανατροφοδότηση, να προσομοιώνουν τη διδασκαλία από φυσικούς δασκάλους και να αναλύουν τη συμπεριφορά των μαθητών στην τάξη. Η διάδρασή τους είναι μεγαλύτερη από ό,τι στα διαδικτυακά συστήματα. Επιπρόσθετα, τα ευφυή συστήματα αξιολόγησης είναι αυτά που χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη και τεχνολογίες μεγάλων δεδομένων για την αξιολόγηση της ποιότητας της διδασκαλίας. Αναλύουν διάφορα δεδομένα, όπως εικόνες (π.χ. σχήματα για ασκήσεις φυσικής) και κείμενο, που σχετίζονται με την ποιότητα διδασκαλίας των εκπαιδευτικών και παρέχουν σημαντικά συμπεράσματα για αξιολόγηση. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν αλγόριθμους για να αναλύσουν την ομιλία των δασκάλων κατά τη διάρκεια των διαλέξεων, να αξιολογήσουν την αλληλεπίδραση μεταξύ δασκάλων και μαθητών, όπως το χρώμα της φωνής και η ταχύτητα απάντησης, και να αναλύσουν τα σχόλια ανατροφοδότησης από συναδέλφους και μαθητές. Και τέλος τα υβριδικά συστήματα διδασκαλίας συνδυάζουν τις παραπάνω μεθόδους διδασκαλίας, για να δημιουργήσουν μια μικτή μαθησιακή εμπειρία. Στοχεύουν στην αναμόρφωση της οργάνωσης της διδασκαλίας και της σχέσης διδασκαλίας-μάθησης, ενσωματώνοντας διαδικτυακές και εκτός σύνδεσης αίθουσες διδασκαλίας, απλής και σύνθετης τεχνολογίας (λ.χ. μιας ιστοσελίδας και ανάλυσης κειμένου αντίστοιχα). Ωστόσο, η έρευνα και ο σχεδιασμός σε αυτόν τον τομέα χρήζουν περαιτέρω έρευνας και ανάλυσης. Γενικότερα η παραπάνω ταξινόμηση των ειδών για τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας έγκειται στην τεχνολογική πολυπλοκότητα και δεν είναι η μοναδική. Αλλά, θα μπορούσε να γίνει ταξινόμηση με βάση το είδος των μαθητών (γενικής εκπαίδευσης, με αυτισμό, με κινητική αναπηρία, κλπ.) ή με άλλο κριτήριο και παράγοντα.

Η θεμελιώδης δομή ενός ευφυούς συστήματος εκπαίδευσης αποτελείται από τα τέσσερα βασικά στοιχεία που είναι το μοντέλο μαθητή, το παιδαγωγικό μοντέλο, το μοντέλο εκπαιδευτικού τομέα και η διεπαφή. Το μοντέλο μαθητή προσδιορίζει τα

χαρακτηριστικά και τις προτιμήσεις του μαθητή, τηρώντας ένα λογαριασμό σχετικά με την ανταπόκριση του μαθητή, τη γνωστική δύναμη, τις προβληματικές δεξιότητες, το μαθησιακό στυλ. Το παιδαγωγικό μοντέλο εφαρμόζει στρατηγικές για την παράδοση περιεχομένου, που ικανοποιεί τις προτιμήσεις του μαθητή. Το μοντέλο εκπαιδευτικού τομέα αναφέρεται στη γνώση και στο περιεχόμενο προς εκμάθηση. Αυτό περιλαμβάνει όλα τα πολυμέσα, τους κανόνες, τις μεθόδους εκμάθησης και τις έννοιες που σχετίζονται με τη γνώση. Η διεπαφή χρήστη είναι υπεύθυνη για την ομαλή αλληλεπίδραση του μαθητή με το σύστημα ή μέσω του συστήματος με άλλο άνθρωπο (μαθητή ή δάσκαλο) (Dutt, S, et al., 2022).

Οι τρέχουσες μέθοδοι ποσοτικής αξιολόγησης της ποιότητας έξυπνης διδασκαλίας περιλαμβάνουν περίπλοκες μεθόδους, όπως η one-way ANOVA, η μέθοδος αλυσίδας Markov, η μέθοδος τεχνητού νευρωνικού δικτύου ή η μέθοδος εξόρυξης δεδομένων. Επί του παρόντος, οι σύγχρονες ποσοτικές στατιστικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση της ποιότητας της διδασκαλίας σε κολέγια και πανεπιστήμια και έχουν επιτύχει ορισμένα αποτελέσματα σε διαφορετικούς βαθμούς, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές ατέλειες σε αυτές τις μεθόδους. Ένα μοντέλο ενός διαδικτυακού συστήματος διδασκαλίας, που έχει προταθεί, υποστηρίζει την αντίστροφη τάξη με βάση την επεξεργασία και την ενσωμάτωση διαδικτυακών βίντεο διδασκαλίας και τη βελτιστοποίηση της παρουσίας των απαντήσεων στις ασκήσεις και την οπτικοποίηση της παρακολούθησης της μάθησης μέσω της λίστας δυναμικής μάθησης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διδασκαλίας. Επιπροσθέτως, μπορεί να υπάρξει ένα διαδραστικό διαδικτυακό σύστημα διδασκαλίας μαθηματικών, το οποίο βελτιώνει αποτελεσματικά το μαθησιακό ενδιαφέρον των μαθητών μέσω μιας σειράς λειτουργιών, όπως η άμεση ανατροφοδότηση, η χρήση γραφικού περιβάλλοντος, η αξιοποίηση πολυμέσων και τα κίνητρα παιχνιδιού, αλλά ο έξυπνος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται σε αυτό το σύστημα είναι σχετικά απλός και δεν μπορεί να επιτευχθεί η αυτόματη ενσωμάτωση και ανάλυση πληροφοριών ανατροφοδότησης. Άλλη πρόταση είναι ένα υβριδικό παράδειγμα διδασκαλίας που συνδυάζει διαδικτυακές και δια ζώσης αίθουσες διδασκαλίας για να αναδιαμορφώσει την οργάνωση διδασκαλίας και τη σχέση διδασκαλίας-μάθησης. Προς το παρόν, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας σχετικά με τη διαδικτυακή και την υβριδική διδασκαλία και μάθηση παραμένει στο στάδιο της θεωρητικής ανάλυσης (Gao, B., 2022).

Οι μαθητές μαθαίνουν με διάφορους τρόπους, όπως με το να μιλάνε μέσω φυσικής γλώσσας στο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί αναγνώριση φωνής για να δεχθεί μια είσοδο. Η είσοδος συνήθως λαμβάνεται από το μικρόφωνο και η φωνή μετατρέπεται σε κείμενο. Το κείμενο στη συνέχεια αναλύεται και το σύστημα θα βγάλει μια έξοδο ή αλλιώς μια απάντηση στο μαθητή με βάση τον αλγόριθμο και τη βάση γνώσης του. Ειδικότερα, ο μαθητής μπορεί να μιλήσει άμεσα στο δάσκαλο, που είναι συνδεδεμένος στο σύστημα. Η διδασκαλία σε αυτή την περίπτωση είναι η ίδια με την παραδοσιακή, απλώς γίνεται με ενδιάμεσο τον υπολογιστή. Τα περισσότερα από τα τρέχοντα έξυπνα συστήματα διδασκαλίας επικεντρώνονται στο επίπεδο διδασκαλίας εντός της τάξης. Υπάρχουν λίγα εκπαιδευτικά προϊόντα που σχετίζονται με τη διεξοδική αξιολόγηση των μαθητών. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι ένας ιστότοπος με τεστ κυρίως πολλαπλής επιλογής, καθόσον αυτά μπορούν να ελεγχθούν

αυτόματα και εύκολα από τον υπολογιστή. Αντίθετα, οι ερωτήσεις ανάπτυξης συνήθως χρήζουν ελέγχου από τον ανθρώπινο παράγοντα. Αλλιώς, είναι αναγκαία η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την εξέταση του κειμένου, την εξαγωγή σημασιολογικού περιεχομένου από αυτό, τη σύγκρισή του με το σημασιολογικό περιεχόμενο που υπάρχει στη βάση γνώσης του ή με το σημασιολογικό περιεχόμενο που εξάγεται από τη βάση δεδομένων του. Αλλά και η σύγκριση δεν είναι εύκολη διαδικασία στην προκειμένη περίπτωση. Εναλλακτική λύση είναι η χρήση server, που έχει εγκαταστημένη μια πλατφόρμα. Σε αυτή μπορεί να συνδεθεί ένα σύνολο μαθητών ή δασκάλων για να αλληλοεπιδράσουν μέσω τηλεδιάσκεψης. Η μέθοδος αυτή είναι πιο εύκολη, καθόσον απλά χρειάζεται τη μετάδοση βίντεο από τον ένα χρήστη στον άλλο, αλλά είναι και πιο παραδοσιακή μέθοδος διδασκαλίας.

Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης στην αποθήκευση, πρόσβαση και επεξεργασία σε περιεχόμενο πολυμέσων είναι η σημαντικότερη τεχνική που χρησιμοποιούν τα συστήματα διδασκαλίας για να καθίστανται έξυπνα. Οι βασικότερες τεχνολογίες είναι η τεχνολογία υπολογιστικής όρασης, η τεχνολογία αναγνώρισης φωνής και η τεχνολογία επεξεργασίας φυσικής γλώσσας. Πολλά τρέχοντα προϊόντα τεχνητής νοημοσύνης αλληλοεπιδρούν με τους μαθητές μέσω γραφικών διεπαφών, τους οποίους μπορούν να «βλέπουν» χρησιμοποιώντας κάμερες. Και αυτό, διότι η υπολογιστική όραση αποτελεί βασικό μέσο ανάλυσης των ανθρωπίνων συναισθημάτων. Μπορεί να ανιχνεύσει, να αναγνωρίσει και να επεξεργαστεί εικόνες προσώπων και στάσεων σώματος στις τάξεις, προκειμένου να γνωστοποιηθεί η συμπεριφορά και η συναισθηματική κατάσταση των μαθητών και των δασκάλων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να αντικατοπτρίζουν την ποιότητα της εκπαίδευσης. Αν για παράδειγμα ο μαθητής χαμογελά, τότε εκφράζει χαρά και ικανοποίηση, άρα πιστεύει πως η διαδικασία εκμάθησης είναι ευχάριστη. Αν, αντιθέτως, έχει το κεφάλι σκυμμένο ή πλάγια, ώστε να μην κοιτάει στην κάμερα ή στο δάσκαλο, τότε ο μαθητής αποστρέφεται τη διαδικασία εκμάθησης και συνεπώς εκφράζει δυσαρέσκεια προς αυτήν. Σε ένα άλλο σενάριο, εάν ο μαθητής ξύνεται ή κουνιέται σπαστικά την ώρα ενός διαγωνίσματος, είναι πιθανόν να δυσκολεύεται σε κάποια ερώτηση. Δεδομένου ότι το διαγώνισμα είναι στο λογισμικό, είναι εύκολο να εντοπισθεί ποια είναι η ερώτηση που του προκαλεί δυσκολία. Αυτό μπορεί να συνδυάζεται με άγχος, το οποίο, εάν είναι υπερβολικό, μπορεί να ενημερωθεί άμεσα ο δάσκαλος, για να παρέμβει και να καθησυχάσει το μαθητή (Gao, B., 2022).

Σε έξυπνες εκπαιδευτικές εφαρμογές η τεχνολογία αναγνώρισης ομιλίας έχει επίσης μεγάλες δυνατότητες. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση και ανάλυση της ομιλίας των δασκάλων κατά τη διάρκεια των διαλέξεων για τον προσδιορισμό των θεματικών που έχουν αναφερθεί, ώστε να γνωρίζει ο δάσκαλος τι είπε και τι δεν είπε στο μάθημά του. Ακόμα, σε μια ενότητα εκμάθησης γλωσσών, η αναγνώριση ήχου μπορεί να αξιολογήσει την ακρίβεια και την ευχέρεια της προφοράς ενός μαθητή, παρέχοντας ανατροφοδότηση και διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο. Το ποσοστό ακρίβειας της αναγνώρισης ομιλίας σε ιδανικά σενάρια (λ.χ. καθαρή ομιλία, έλλειψη θορύβου) έχει ξεπεράσει το 90%, έτσι ώστε να είναι εύκολο να αναγνωρισθεί και το περιεχόμενο της ομιλίας γραμματικά, συντακτικά αλλά και προφορικά. Η προφορά γίνεται αντιληπτή με βάση το βαθμό απόκλισης από τον τρόπο που είναι ήδη αναγνωσμένη μια λέξη σε αποθηκευμένα

αρχεία ήχου ή γενικότερα σε μια βάση δεδομένων ήχου. Επίσης, η αναγνώριση ήχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προγράμματα αλφαριθμητισμού για να βοηθήσει τους μαθητές με δεξιότητες ανάγνωσης και προφοράς, εντοπίζοντας και διορθώνοντας λανθασμένες προφορές ή λάθη ανάγνωσης. Σε άλλο παράδειγμα, ένα μουσικό εκπαιδευτικό σύστημα μπορεί να αναγνωρίσει τις μουσικές νότες που παίζονται σε ένα όργανο και να αξιολογήσει την απόδοση του μαθητή. Δύναται να εντοπίσει τα λάθη τη στιγμή που γίνονται και να τα εμφανίσει στο μαθητή είτε τη στιγμή που γίνεται το λάθος, είτε στο τέλος. Επιπλέον, γίνεται ανάγνωση από τον υπολογιστή, ώστε να έχει τη δυνατότητα ένας αυτοδίδαχτος μαθητής χωρίς την παρουσία δασκάλου να ακούει το μάθημα, αντί να το διαβάζει. Βέβαια, οι μέθοδοι ανάγνωσης από τον υπολογιστή χρήζουν βελτίωσης, ώστε να είναι πιο «ανθρώπινου» και λιγότερο «ρομποτικοί» ως προς την προφορά τους. Επιπρόσθετα, η αναγνώριση συναισθήματος από τη χροιά ή από τις λέξεις των μαθητών είναι μια σημαντική πληροφορία για την αποτελεσματικότητα του μαθήματος. Εάν οι μαθητές χρησιμοποιούν πολλές φορές αρνητικές εκφράσεις, ακόμα και σιγά, μπορεί να προβλεφθεί μια δυσαρέσκεια του μαθήματος. Ακόμη, από τον τρόπο ομιλίας ενός μαθητή μπορεί να εντοπιστεί η κατανόησή του για ένα θέμα. Εάν, λόγου χάρη, σε ένα προφορικό διαγώνισμα ο μαθητής κομπλάρει και οι λέξεις του έχουν παύσεις μεταξύ τους, υπάρχει χασμωδία. Έτσι, χωρίς να είναι παρών ένας δάσκαλος, ο αλγόριθμος εκτιμάει ότι ο μαθητής δεν έχει ξεκάθαρη την απάντησή του στο μυαλό του ή ότι είναι κουρασμένος, επειδή δε μιλάει με μεγάλη άνεση (Gao, B., 2022), (Imani, M., et al., 2019).

Επιπροσθέτως, η τεχνολογία επεξεργασίας φυσικής γλώσσας χρησιμοποιείται και συνδυαστικά με την αναγνώριση ομιλίας, αλλά και με το γραπτό λόγο, προκειμένου να υπάρξει αποτελεσματική αλληλεπίδραση ανθρώπων και υπολογιστών. Με τη βοήθειά της αναλύεται το κατά πόσο η κάθε ομιλία δασκάλου ή μαθητή είναι σωστή. Σε μια ερώτηση ακόμα και ανοιχτού τύπου μπορεί ο αλγόριθμος να εντοπίσει το σημασιολογικό περιεχόμενο μιας απάντησης είτε προφορικά είτε γραπτά. Για να γίνει γραπτά θα πρέπει είτε να εισαχθεί το κείμενο στον υπολογιστή μέσω πληκτρολογίου ή μέσω μιας φωτογραφίας του χειρόγραφου. Έπειτα, το χειρόγραφο μετατρέπεται σε ψηφιακό κείμενο μέσω της οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων και ελέγχεται η απάντηση του μαθητή αυτόματα, χωρίς την εποπτεία δασκάλου. Σε κάθε διαγώνισμα οι ερωτήσεις κλειστού τύπου έχουν συγκεκριμένη απάντηση, γεγονός που καθιστά εύκολη τη διόρθωση από τον υπολογιστή. Αντιθέτως, οι ανοιχτού τύπου ερωτήσεις θα ελέγχονται με μια βάση γνώσης και με ένα σύνολο επιθυμητών στοιχείων που είναι ανάγκη να αναφερθούν. Λόγου χάρη, στην ερώτηση «Ποιες ήταν οι βαθύτερες αιτίες του Β' Παγκοσμίου Πολέμου;», θα μπορούσαν να εντοπισθούν επιγραμματικά τουλάχιστον οι φράσεις «Μεγάλη Ύφεση», «Ναζιστική δικτατορία», «εισβολή της Πολωνίας», «Περλ Χάρμπορ» ή συνώνυμους τους (π.χ. «δικτατορία του Χίτλερ») και ενδεχομένως μια δυο προτάσεις για κάθε μια από αυτές. Ακόμα, η αυτόματη μετάφραση είναι εφικτή για εκμάθηση ξένων γλωσσών, η οποία, αν και είναι αποδοτική, χρήζει περαιτέρω βελτίωσης.

Φυσικά, ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να γίνει ένα σύστημα εκπαίδευσης ευφυές είναι ο συνδυαστικός. Λόγου χάρη, μπορεί να εντοπισθεί σε ποιο σημείο της διδασκαλίας ο μαθητής δεν ενδιαφέρθηκε, με το να εντοπισθούν τα λόγια που λέει ο

δάσκαλος, δηλαδή η θεματική ενότητα στην οποία αναφέρεται, και η αποστροφή του μαθητή, δηλαδή η στάση και το βλέμμα του προς το δάσκαλο. Τα λόγια αναγνωρίζονται ηχητικά από το μικρόφωνο, ενώ η στάση του σώματος οπτικά από την κάμερα. Επομένως, μπορεί ο δάσκαλος να γνωρίζει ποιο σημείο του μαθήματός του φάνηκε αδιάφορο ή τι οφείλει να επαναλάβει στους μαθητές του, καθόσον δεν το πρόσεχαν. Τούτο είναι ωφέλιμο σε εκπαίδευση μέσω βίντεο, που δεν είναι απαραίτητη η συμμετοχή ενός δασκάλου. Ο υπολογιστής ελέγχει κατά πόσο ο εκπαιδευόμενος προσέχει το βίντεο, ώστε να αποφεύγεται η περίπτωση που κάποιος βάζει τα βίντεο να παίζουν, ενώ ο ίδιος δεν τα παρακολουθεί και δεν εκπαιδεύεται. Παρότι πολλές φορές οι πλατφόρμες εκπαίδευσης μέσω βίντεο έχουν διαγωνίσματα στο τέλος, οι απαντήσεις τους μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο. Μάλιστα, μερικές φορές, όσες φορές και αν απαντήσει ένας μαθητής λάθος, μπορεί να ξανακάνει το τεστ, πράγμα το οποίο δίνει τη δυνατότητα σε κάποιους να μην εκπαιδευτούν καθόλου. Αυτά τα προβλήματα, λοιπόν, λύνονται με τη χρήση κάμερας, η οποία ανιχνεύει κατά πόσο αποκλίνει το βλέμμα ενός μαθητή από αυτήν, όταν αναπαράγεται ένα εκπαιδευτικό βίντεο λόγου χάρη. Σημαντικό θα είναι να γνωστοποιηθεί και η θέση της κάμερας, εάν είναι κάτω από την οθόνη του χρήστη ή πάνω από αυτήν, ώστε να είναι αναμενόμενο το σωστό κοίταγμα του μαθητή από την κάμερα και πάνω ή από την κάμερα και κάτω αντίστοιχα. Μια ειδική περίπτωση που χρειάζεται να ληφθεί υπόψη είναι να έχει ο μαθητής στραβό μάτι. Τότε θα χρειαστεί να ρυθμιστεί ο αλγόριθμος, ώστε να ελέγχει το μη στραβό μάτι. Ταυτόχρονα, έχει σημασία να μη μιλάει ο μαθητής, εκτός εάν του ζητηθεί. Εάν εντοπίζεται θόρυβος ή ομιλία του μαθητή, θα είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη του αλγορίθμου, καθόσον μπορεί να μην ακούει καθαρά, εκτός και αν φοράει ακουστικά ο χρήστης (Gao, B., 2022).

3.2 Ευφυή συστήματα διδασκαλίας σε ειδικές κατηγορίες μαθητών

Πέραν της κλασικής εκπαίδευσης, υπάρχει και η ειδική εκπαίδευση. Η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος εκπαίδευσης εστιασμένο σε άτομα με ειδικές ανάγκες χρήζει περαιτέρω προσοχής και παραμετροποίησης με ψυχολογικές πτυχές. Αν και ο αυτοπρόσωπος έλεγχος των μαθησιακών δυσκολιών ενός παιδιού έχει το πλεονέκτημα της πολυπραγμοσύνης και της άμεσης ανθρώπινης αλληλεπίδρασης, το μειονέκτημα είναι ότι ο έλεγχος των περισσότερων ομάδων ειδικών αναγκών είναι μακροχρόνια διαδικασία και κατά συνέπεια επαχθής. Το ευφές σύστημα μπορεί να αντικαταστήσει μερικώς τον ανθρώπινο παράγοντα, να παρακολουθεί την εμπειρία και την ανατροφοδότηση των μαθητών για να προσαρμοστεί στη συμμετοχή του εκπαιδευόμενου. Μια κατηγορία ατόμων με ειδικές ανάγκες είναι τα άτομα με δυσλεξία, η οποία είναι μια διαταραχή της ανάγνωσης ή της γραφής ή η συχνή χρήση άκυρων λέξεων (ακυρολεξία). Η δυσλεξία μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τα συντακτικά ή σημασιολογικά λάθη που κάνει ο μαθητής. Η κάθε πρόταση, είτε είναι γραπτή (η οποία αφού γραφτεί σε χαρτί, φωτογραφείται και μετατρέπεται από αρχείο εικόνας σε αρχείο κειμένου), είτε είναι προφορική (η οποία μετατρέπεται από αρχείο ήχου σε αρχείο κειμένου), ελέγχεται από έτοιμα γλωσσολογικά μοντέλα. Έπειτα, η δυσκολία της γραφής εκτιμάται από τη δυσκολία αναγνώρισης των γραμμένων λέξεων, διότι τα γράμματα δεν είναι καθαρά και καλά σχηματισμένα. Αυτή δε

συγγέεται με τη λανθασμένη ορθογραφία, η οποία βέβαια δεν εμποδίζει την αναγνώριση της λέξης, λόγω μεγάλης πιθανότητας κατηγοριοποίησης της γραμμένης λέξης. Για παράδειγμα, εάν γραφτεί «σήμερα έβρεξαι πολύ», το γλωσσολογικό μοντέλο αποδίδει μεγάλη πιθανότητα η γραμμένη λέξη να είναι «έβρεξαι», αλλά επειδή δεν υπάρχει τέτοια λέξη στο λεξικό του, την αντικαθιστά με τη λέξη «έβρεξε», επισημαίνοντας πως είναι λάθος γραμμένη. Στην περίπτωση του συναισθηματικού υπολογισμού ενός ατόμου, που έχει κατηγοριοποιηθεί προηγουμένως ως δυσλεκτικό, δεν πρέπει να εξάγονται συμπεράσματα για το συναισθηματισμό του τόσο πολύ βάσει του περιεχομένου του λόγου του, καθόσον το σημασιολογικό περιεχόμενο μπορεί να είναι αλλοιωμένο και μη ξεκάθαρο. Αντιθέτως, χρειάζεται με βάση τη χροιά, την ταχύτητα της ομιλίας, τις εκφράσεις του προσώπου και με άλλους τρόπους να εκτιμηθεί ο συναισθηματισμός του. Άλλο είδος αναπηρίας είναι η μειωμένη όραση. Η Microsoft εισήγαγε την τεχνολογία Visual Assistive Seeing VR Toolkit για εμπυθιστικά περιβάλλοντα για να βοηθήσει τους χρήστες με προβλήματα όρασης. Η αυτόματη ανάγνωση από υπολογιστή στον ιστό και η εικονική χαρτογράφηση για πλοήγηση για άτομα με προβλήματα όρασης είναι μερικές λύσεις, που σχετίζονται με προβλήματα όρασης ή αναπηρίας, που χρησιμοποιούν όλες τις τεχνολογίες εικονικής και επαυξητικής πραγματικότητας. Ακόμη, οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξητικής πραγματικότητας μπορούν να αλλοιώσουν την εικόνα με τρόπο, ώστε να είναι εύκολα αντιληπτή σε άτομα με μεγάλη μυωπία. Επομένως, η χρήση γυαλιών ή φακών επαφής δεν είναι υποχρεωτική σε αυτές τις περιπτώσεις. Επιπροσθέτως, άτομα που έχουν κινητικές δυσκολίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν επαυξημένη ή εικονική πραγματικότητα για μια πιο ζωντανή μαθησιακή εμπειρία (Dutt, S, et al., 2022).

Σε μελέτες η ανίχνευση αυτισμού με τη χρήση εργαλείων προσυμπτωματικού ελέγχου είναι μια δαπανηρή διαδικασία. Η μηχανική μάθηση έχει χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση της διαταραχής του φάσματος του αυτισμού. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας φυσικής γλώσσας μπορούν να αξιολογήσουν τη γραπτή ή προφορική γλώσσα του μαθητή. Μπορούν να λαμβάνουν υπόψιν την υπερβολική χρήση επαναλαμβανόμενων φράσεων ή σεναρίων, χρήση κυριολεκτικών απαντήσεων σε μεταφορικές φράσεις και γενικότερα δυσκολία με μεταφορές και ιδιοματικές εκφράσεις, δυσκολία στη διατήρηση μιας συνεκτικής συνομιλίας ή χρήση έντονων συναισθηματικών εκφράσεων με απότομο ή ξαφνικό τρόπο για μικρό χρονικό διάστημα. Διότι, τα άτομα με αυτισμό επαναλαμβάνονται, συγχέουν τις μεταφορές και τις κυριολεξίες και μερικές φορές έχουν χαμηλή συναισθηματική νοημοσύνη. Επιπρόσθετα, το ευφές σύστημα διδασκαλίας μπορεί να ενσωματώσει τεχνολογία παρακολούθησης ματιών και της οπτικής επαφής ενός μαθητή κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Τα άτομα με αυτισμό μπορεί να παρουσιάζουν μειωμένη ή άτυπη οπτική επαφή. Οι αλγόριθμοι μπορούν να σχεδιαστούν για να ανιχνεύουν αποκλίσεις στα μοτίβα του βλέμματος των ματιών, όπως η παρατεταμένη στερέωση σε συγκεκριμένες περιοχές της οθόνης ή η αποφυγή της οπτικής επαφής κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης που βασίζονται σε βίντεο. Τούτο μπορεί να είναι χρήσιμο και για την ανίχνευση ατόμων με διάσπαση προσοχής. Επιπλέον, μέσω των μειωμένων εκφράσεων προσώπου δύναται να εντοπισθεί συναισθηματική απορρύθμιση ή έλλειψη συναισθηματικής εκφραστικότητας, που μερικές φορές συνδέονται με τον αυτισμό. Ακόμα, το ευφές σύστημα μπορεί να παρακολουθεί επαναλαμβανόμενα μοτίβα συμπεριφοράς με την πάροδο του χρόνου (π.χ. μύρισμα

των χειρών, κοίταγμα σε ένα συγκεκριμένο σημείο, κλπ.). Αυτό μπορεί να είναι μια χρήσιμη πληροφορία για το δάσκαλο ή για το άτομο που επιβλέπει τον αυτιστικό μαθητή, διότι μπορεί να εντοπίσει κάποιες ανάγκες του μαθητή. Λόγου χάρη το επαναλαμβανόμενο μύρισμα των χειρών, ίσως να υποδηλώνει έλλειψη αίσθησης ή αμηχανία στο μαθητή. Βάσει αυτού, ο επιτηρητής μπορεί να λάβει απόφαση να έχει πιο πολύ σωματική επαφή με το μαθητή (εφόσον βέβαια έχει λάβει άδεια από τους γονείς) ή να τον καθησυχάζει πιο συχνά. Τέλος, το σύστημα μπορεί να αξιολογήσει την απόδοση ενός μαθητή σε δραστηριότητες συνεργασίας ή ομαδικής μάθησης. Μπορεί να αναζητήσει σημάδια δυσκολίας στην κοινωνική αλληλεπίδραση, όπως προκλήσεις στο μοίρασμα εργασιών, ευαισθησία σε συγκεκριμένες εκφράσεις, αδυναμία στο κοίταγμα ματιών. Οι αλγόριθμοι μπορούν να ανιχνεύσουν και να αναλύσουν αυτές τις δυσκολίες κοινωνικής αλληλεπίδρασης για να παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες για τη σωστή λήψη αποφάσεων. Μάλιστα, το ίδιο το σύστημα μπορεί να παρέμβει για να βοηθήσει το μαθητή, όπως στην εμφάνιση ειδοποιήσεων, όταν ο μαθητής δεν κοιτάει για αρκετή ώρα την οθόνη του υπολογιστή και συνεπώς είναι αφηρημένος. Στη χρήση λανθασμένης έκφρασης σε σημασιολογικό ή συναισθηματικό επίπεδο, μπορεί να προτείνει μια πιθανή διόρθωση. Λόγου χάρη, εάν φωνάζει, μπορεί να εμφανιστεί ένα αστείο μήνυμα «δε χρειάζεται να φωνάζεις, μπορώ να σε ακούσω» ή εάν χρησιμοποιηθεί μια μεταφορική έκφραση, να επισημάνει το σύστημα ότι πρόκειται για μεταφορά. Ακόμη, το σύστημα μπορεί να ενσωματώσει προσομοιώσεις κοινωνικής αλληλεπίδρασης, βοηθώντας τους μαθητές να εξασκηθούν και να βελτιώσουν τις κοινωνικές τους δεξιότητες σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον, το οποίο μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για άτομα με αυτισμό που αγωνίζονται με τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Τελευταίο, αλλά εξίσου σημαντικό, είναι ότι όλα τα παραπάνω οφείλουν να είναι προκαθορισμένα για να ελεγχθούν. Οι αλγόριθμοι δε μπορούν αυτόματα να εντοπίζουν από μόνοι τους συγκεκριμένα σημεία και να τα ερμηνεύουν ως προβλήματα ή αξιόλογες πληροφορίες.

3.3 Υπάρχουσες εφαρμογές

Παραδοσιακά ευφυή συστήματα διδασκαλίας

Ένα από τα πρώτα αποτελεσματικά συστήματα διδασκαλίας είναι το λογισμικό φυσικής Andes, ένα πείραμα στην ανοιχτού τύπου διδασκαλία. Επιτρέπει στους μαθητές να λύσουν ένα πρόβλημα φυσικής σχεδόν με οποιοδήποτε αποδεκτό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι το εκπαιδευτικό σύστημα μπορεί να αναγνωρίσει έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό πιθανών βημάτων που συμβαίνουν σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό πιθανών σεναρίων από μαθηματικής απόψεως. Οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν τη μαθηματική επίλυση μιας άσκησης φυσικής και τη χρήση τύπων φυσικής, καθώς και το λογισμικό έχει λάβει κάθε μαθηματικό κανόνα, κάθε νόμο και τύπο φυσικής και κάθε σωστή απάντηση σε ένα πρόβλημα. Ο προγραμματιστής του Andes έχει ήδη επιλύσει και αποθηκεύσει κάθε πρόβλημα και το σύνολο των αρχέγονων βημάτων λύσης σε μια δομή δεδομένων, που ονομάζεται γράφημα λύσης. Επομένως, υπάρχει ένα γράφημα λύσης ανά πρόβλημα και αντιπροσωπεύει όλες τις πιθανές λύσεις, που επιτρέπονται από τη βάση γνώσεων φυσικής, όσον αφορά τα καλύτερα δυνατά βήματα. Ένα τυπικό πρόβλημα μπορεί να έχει εκατοντάδες

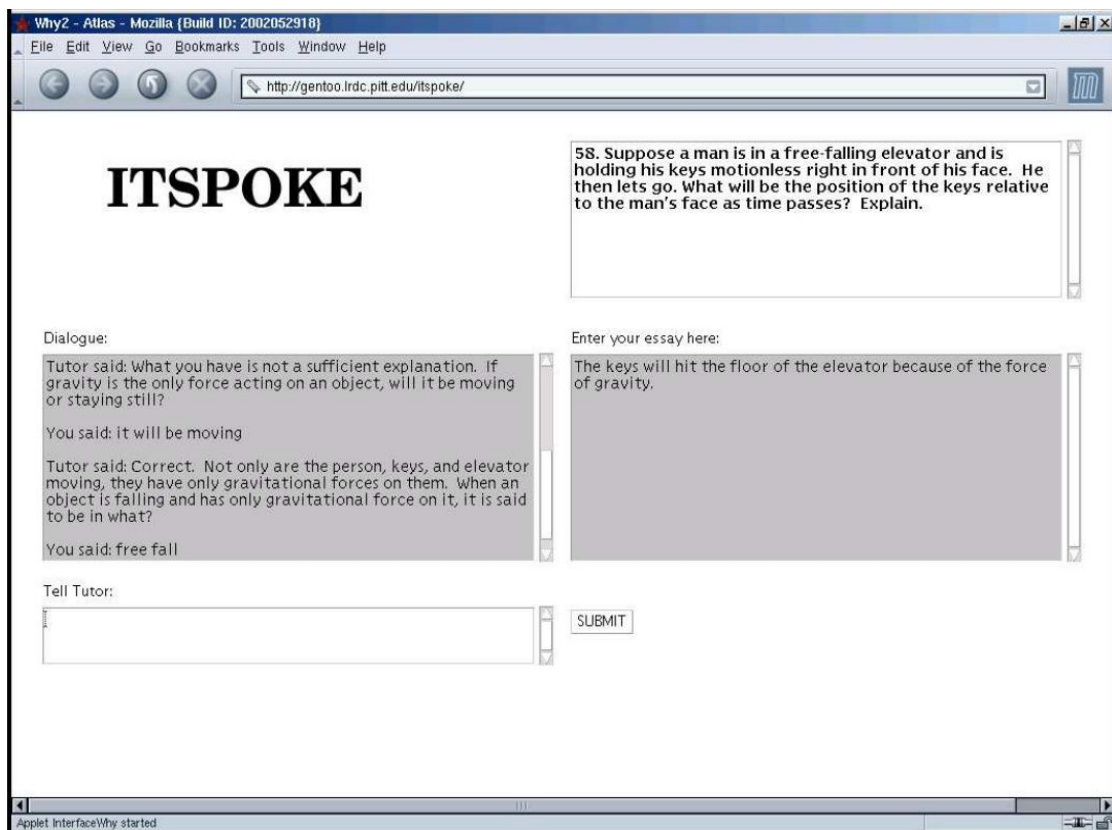
πρωτόγονα βήματα, τα περισσότερα από τα οποία είναι εξισώσεις. Για κάθε πρόβλημα το Andes προϋπολογίζει επίσης το σημείο της λύσης του προβλήματος. Για κάθε μεταβλητή στη λύση το σημείο της λύσης δηλώνει την τιμή του και μπορεί να υπάρχουν εκατοντάδες τέτοια ζεύγη μεταβλητής-τιμής. Εάν το πρόβλημα έχει συμβολικό και όχι αριθμητικό δεδομένο, τότε το Andes δημιουργεί τις τιμές για τις μεταβλητές. Λόγου χάρη, σε ένα πρόβλημα μπορεί να αντικαταστήσει το m με $142,56721 \text{ kg}$ και το θ με $21,8762^\circ$. Δεδομένου του γραφήματος λύσης και του σημείου της λύσης, το Andes πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει άμεση ανατροφοδότηση ή βοήθεια (Kacprzyk, J., 2012).

Το σύστημα διδασκαλίας φυσικής Andes αξιολογούνταν στην εισαγωγική τάξη φυσικής του USNA κάθε φθινοπωρινό εξάμηνο από το 1999 έως το 2003. Μετά από πολλά χρόνια εμπειρίας οι εκπαιδευτές έχουν διαπιστώσει ότι οι βαθμοί φυσικής των μαθητών συσχετίζονται στενά με το γενικό μέσο όρο βαθμολογίας του κολεγίου και την ειδικότητά τους στο κολέγιο. Σε όλα τα χρόνια οι μαθητές του Andes σημείωσαν υψηλότερα σκορ από τους άλλους μαθητές, αν και υπήρχαν ορισμένα σφάλματα στο λογισμικό, αποθαρρύνοντας έτσι τους μαθητές να το χρησιμοποιήσουν. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές δεν απέδιδαν περισσότερο. Μάλιστα, το 2003 το Andes κάλυψε το 70% των προβλημάτων για το σπίτι στο μάθημα. Ωστόσο, οι γνώσεις από το σύστημα αυτό ήταν επικεντρωμένες σε ασκήσεις φυσικής και όχι σε ευρύτερες και γενικότερες γνώσεις, γεγονός που εξειδίκευε τελικώς τη διδασκαλία. Μάλιστα, ασκήσεις που δεν κάλυπτε το Andes συχνά δε μπορούσαν οι μαθητές να τις λύσουν (Kacprzyk, J., 2012).

Ένα πιο προηγμένο σύστημα είναι το ITSPOKE, ένα σύστημα διδασκαλίας προφορικού διαλόγου μεταξύ υπολογιστή και μαθητή για την επίλυση σε ένα ποιοτικό πρόβλημα φυσικής. Χρησιμοποιείται το ITSPOKE για να δημιουργηθεί μια εμπειρική κατανόηση των συνεπειών της προσθήκης δυνατοτήτων προφορικής γλώσσας σε καθηγητές διαλόγου που βασίζονται σε κείμενο. Πιο συγκεκριμένα, το ITSPOKE θέτει αρχικά το εννοιολογικό πρόβλημα φυσικής στον μαθητή. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια του προφορικού διαλόγου ο χρήστης πληκτρολογεί μια απάντηση σε φυσική γλώσσα. Έπειτα, το ITSPOKE αναλύει την πληκτρολογημένη απάντηση και μετά αρχίζει ο προφορικός διάλογος με το μαθητή. Συζητούν την εξήγηση της απάντησης του μαθητή, χρησιμοποιώντας προφορικά αγγλικά. Μετά από κάθε εκφώνηση πρότασης η προτροπή του συστήματος ή η κατανόηση του συστήματος για την απάντηση του μαθητή προστίθεται στο ιστορικό διαλόγου. Μετέπειτα, το σύστημα θα ζητήσει από τον μαθητή να επεξεργαστεί την πληκτρολογημένη εξήγησή του. Τέλος, το σύστημα είτε θα εκφράσει την ικανοποίησή του και θα τερματίσει τη διδασκαλία για το τρέχον πρόβλημα, είτε θα συνεχίσει με έναν άλλο γύρο αλληλεπίδρασης προφορικού διαλόγου και αναθεώρησης της νέας απάντησης (Litman, D., et. al, 2004).

Το ITSPOKE εμπλέκει τον μαθητή σε έναν προφορικό διάλογο για να παράσχει ανατροφοδότηση και να διορθώσει τις παρανοήσεις και να δώσει πληρέστερες εξηγήσεις. Η αυθόρμητη εξήγηση από τους μαθητές βελτιώνει τα μαθησιακά οφέλη κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας ανθρώπου και εμφανίζεται πιο συχνά στην προφορική διδασκαλία παρά στη διδασκαλία με βάση το κείμενο. Η ομιλία ψηφιοποιείται από την είσοδο μικροφώνου και αποστέλλεται στον αυτόματο

αναγνωριστή ομιλίας Sphinx2. Η καλύτερη υπόθεση του Sphinx2 αναφορικά με το τι λέχθηκε από τον ομιλητή αποστέλλεται στη συνέχεια στο εργαλείο Why2-Atlas για συντακτική και σημασιολογική ανάλυση, επεξεργασία λόγου προσαρμοσμένη στην επιθυμητή θεματική ενότητα (φυσική στην προκειμένη περίπτωση) και διαχείριση διαλόγου πεπερασμένων καταστάσεων. Η έξοδος κειμένου αποστέλλεται στο σύστημα μετατροπής κειμένου σε ομιλία μέσω του εργαλείου Cepstral και αναπαράγεται μέσω ενός ηχείου ή ακουστικών. Το ITSPOKE υλοποιείται στην Python και λειτουργεί ως διακομιστής μεσολάβησης μεταξύ του διακομιστή Why2-Atlas και του πελάτη. Το ITSPOKE παρακολουθεί τα δεδομένα σε μορφότυπο XML, που αποστέλλεται μεταξύ των δύο και αποφασίζει ποιο κείμενο πρέπει να εκφωνηθεί και πότε να ακούγεται. Μετά την αναγνώριση ομιλίας, το ITSPOKE υποβάλλει αυτό που πιστεύει ότι είπε ο μαθητής στο Why2-Atlas. Αν δε μπορέσει να εκτιμήσει το τι ειπώθηκε, το ITSPOKE θα πει «δεν κατάλαβα» και θα επαναλάβει το ερώτημα (π.χ. «ποια δύναμη δρα σε όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τη γη;»). Μια πιθανή απάντηση είναι η «εεε η δύναμη της βαρύτητας». Συνεχίζει το σύστημα ενδεχομένως λέγοντας «Ωραία. Εκτός από τη βαρυτική δύναμη της γης, υπάρχουν άλλες δυνάμεις που δρουν στο άτομο, τα κλειδιά και τον ανελκυστήρα;». Και ο διάλογος συνεχίζεται. Μια επίσημη αξιολόγηση που συγκρίνει το ITSPOKE με άλλες μεθόδους διδασκαλίας έγινε με βάση φοιτητές του Πανεπιστημίου του Πίτσμπουργκ που δεν έχουν παρακολουθήσει φυσική στο κολέγιο και είναι φυσικοί ομιλητές της αγγλικής γλώσσας. Συγκεντρώθηκαν 80 διάλογοι από 16 μαθητές. Το ITSPOKE χρησιμοποιεί 56 γλωσσικά μοντέλα που εξαρτώνται από την κατάσταση διαλόγου για την αναγνώριση ομιλίας. 43 από αυτά τα 56 μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέχρι σήμερα. Ωστόσο, το τρέχον ποσοστό σφαλμάτων αναγνώρισης του τι είπε ο μαθητής στο ITSPOKE είναι 31,2%. Αυτό, δυστυχώς, είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό. Τα επόμενα βήματα για την καλύτερη πρόβλεψη παιδαγωγικά χρήσιμων πληροφοριών, είναι η αναγνώριση συναισθημάτων μέσω αναγνώρισης εκφράσεων ή φωνητικών χαρακτηριστικών, καθώς και η διαμόρφωση των απαντήσεων, προκειμένου να είναι προσαρμοσμένες στο επίπεδο γνώσεων και στη συναισθηματική κατάσταση των μαθητών (Litman, D., et. al, 2004).



Εικόνα 6 – Στιγμιότυπο οθόνης κατά τον προφορικό διάλογο ITSPOKE Ανθρώπου-Υπολογιστή

Μια πιθανή μεταρρύθμιση των παραπάνω συστημάτων εκπαίδευσης θα ήταν η χρήση κάμερας κατά τη διάρκεια χρήσης του λογισμικού. Ο αλγόριθμος θα ανατροφοδοτούνταν από τα χαρακτηριστικά του προσώπου του χρήστη, ώστε να γνωρίζει πώς αισθάνεται σε κάθε σημείο της εκπαίδευσης. Εάν, λόγω χάρη, την ώρα των ασκήσεων φυσικής με τριβή παρατηρούνταν μεγαλύτερη χρονική διάρκεια συρρίκνωσης φρυδιών, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο μαθητής αισθάνεται θυμό ή αισθάνεται άβολα, όταν λύνει ασκήσεις με τριβή ή όταν συζητάει για αυτές. Φυσικά και τα τελικά αποτελέσματα των εξετάσεων είναι μια πηγή ανίχνευσης συναισθήματος, καθόσον οι μαθητές με μεγαλύτερους βαθμούς συνηθίζουν να είναι πιο χαρούμενοι και ικανοποιημένοι ως προς τη μάθηση. Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν η αναγνώριση ομιλίας την ώρα που ο μαθητής χρησιμοποιεί το λογισμικό. Μοντέλα τέτοια υπάρχουν ήδη υλοποιημένα, που συνδυάζουν χαρακτηριστικά από τραγούδια και δείγματα ομιλίας. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιεί τέσσερις κατηγορίες συναισθημάτων για το χρήστη (θυμωμένος, χαρούμενος, ουδέτερος και λυπημένος). Με βάση την τονικότητα, το ρυθμό ομιλίας, την ένταση της φωνής δύναται να εκτιμηθεί η συναισθηματική του κατάσταση. Ωστόσο, η ακρίβεια της συναισθηματικής αναγνώρισης μέσω φωνής συχνά κυμαίνεται από 0.4 έως 0.7 ακρίβεια και μόλις λίγες φορές έως και 0.8 περίπου ακρίβεια.

Ευφυή συστήματα διδασκαλίας με συναισθηματική υπολογιστική

Ένα άλλο έξυπνο εκπαιδευτικό σύστημα χρησιμοποιεί κάμερες για λήψη βίντεο και αναγνώριση συμπεριφοράς των μαθητών και των δασκάλων στην τάξη. Η τεχνική μοντελοποίησης είναι μέσω εκπαίδευσης μεγάλου όγκου δεδομένων (Big Data). Το κέντρο δεδομένων γενικής εκπαίδευσης υιοθετεί μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική και η αρχιτεκτονική του εμφανίζεται με τη συνολική μορφή του μεγάλου κέντρου δεδομένων. Αυτή είναι $M + N + 1$, με N γειτονικά υποδεδομένα κέντρα κάτω από το κέντρο δεδομένων εκπαίδευσης και κάθε γειτονικό σύνολο θα δημιουργεί ένα κέντρο για τη συλλογή και αποθήκευση δεδομένων που σχετίζονται με την εκπαίδευση. Κάθε γειτονικό κέντρο υποδεδομένων θα συλλέγει και θα αποθηκεύει M τύπους εκπαιδευτικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών τύπων εκπαιδευτικών δεδομένων από σχολεία πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και ιδρύματα κατάρτισης. Όλα τα δεδομένα συλλέγονται και καθαρίζονται από το κάτω μέρος και συγκεντρώνονται συνεχώς προς το ανώτερο και τελικά αποθηκεύονται στο κέντρο δεδομένων εκπαίδευσης. Ο κύριος τύπος δεδομένων είναι βίντεο. Αυτό το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με την εθνική πλατφόρμα δεδομένων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μέσω μιας διεπαφής API και να λάβει δεδομένα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης από την πλατφόρμα. Ταυτόχρονα, οι συσκευές λήψης ήχου και βίντεο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή ήχου και βίντεο της διδακτικής διαδικασίας των εκπαιδευτικών σε πραγματικό χρόνο ή μετά από τη διαδικασία, ώστε να μπορεί να μονταριστεί το βίντεο και να κοπούν ορισμένα μη επιθυμητά σημεία. Επιπλέον, τα διαδικτυακά ερωτηματολόγια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα του επιπέδου διδασκαλίας των εκπαιδευτικών και τα δεδομένα των αποτελεσμάτων της έρευνας μπορούν να ληφθούν μέσω της διεπαφής API του ιστότοπου του ερωτηματολογίου. Θα μπορούσαν ακόμα να συλλεχθούν διαδικτυακά δεδομένα εκπαιδευτικών από social media. Είναι πολύ εύκολο, για παράδειγμα, εάν υπάρχουν αναρτήσεις μαθητών στο twitter, να συλλεχθούν τα κείμενά τους και να εξαχθεί η ανάλογη γνώση, δεδομένου ότι είναι γνωστοί οι λογαριασμοί τους στη social media πλατφόρμα. Μετά τη συλλογή δεδομένων η πλατφόρμα θα επεξεργάζεται διαφορετικούς τύπους δεδομένων σε πραγματικό ή μη πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τα δημοφιλή εργαλεία Hadoop ή Spark. Μετά την ταξινόμηση και τον καθαρισμό των δεδομένων, το κέντρο δεδομένων παρέχει τα δεδομένα στην open source πλατφόρμα για εκπαίδευση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυση ποιότητας εκπαίδευσης μέσω της διεπαφής API, η οποία βρίσκεται μεταξύ του κέντρου δεδομένων και της πλατφόρμας (Gao, B., 2022).

Ο παραδοσιακός τρόπος αξιολόγησης της ποιότητας της εκπαίδευσης είναι οι ειδικοί να παρακολουθούν τις τάξεις και στη συνέχεια να κάνουν κρίσεις με βάση την εμπειρία τους, η οποία στερείται κριτηρίων αξιολόγησης και τα αποτελέσματα διαφέρουν πολύ από τον έναν αξιολογητή στον άλλο. Επιπροσθέτως, οι ειδικοί μπορούν να παρατηρήσουν μόνο έναν μικρό αριθμό τάξεων, γεγονός που τους καθιστά ανίσχυρους να κατανοήσουν πλήρως το επίπεδο διδασκαλίας των δασκάλων, και, εάν οι δάσκαλοι προετοιμαστούν εκ των προτέρων, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης μπορεί να διαφέρουν πολύ από το πραγματικό καθημερινό αποτέλεσμα διδασκαλίας. Δεδομένου ότι υπάρχουν δάσκαλοι και μαθητές στην τάξη, η ανάλυση συμπεριφοράς τους μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δυο βήματα: εντοπισμός του ατόμου και ανάλυση της συμπεριφοράς. Αυτά τα δύο βήματα μπορούν να

επιτευχθούν με την «όραση» του υπολογιστή και την τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης και η διαδικασία ανάλυσης είναι αυτοματοποιημένη χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η ανάλυση συμπεριφοράς στην τάξη μπορεί να χρησιμοποιεί διαδικτυακά αρχεία βίντεο ή τοπικά αρχεία βίντεο από τη βάση δεδομένων. Τα αρχεία βίντεο προέρχονται από δυο τουλάχιστον κάμερες στο μπροστινό και το πίσω μέρος της τάξης. Η μπροστινή κάμερα χρησιμοποιείται για τη λήψη δεδομένων των μαθητών και η πίσω κάμερα για τη λήψη δεδομένων του δασκάλου. Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης προσώπου και φωνής επιτρέπουν την ανίχνευση ενός ατόμου και η διάκρισή του από ένα άλλο. Έπειτα, μπορεί να αναλύεται η συμπεριφορά σε κάθε μάθημα για κάθε μαθητή ή δάσκαλο ξεχωριστά και στατιστικά. Οι συμπεριφορές των εκπαιδευτικών χωρίζονται σε πέντε τύπους: διάλεξη, συζήτηση, γραφή σε πίνακα, εξέταση ή αλλιώς ακρόαση, ορθοστασία ή περπάτημα και οι συμπεριφορές των μαθητών περιλαμβάνουν έξι τύπους: σήκωμα χεριών, γραφή, ανάγνωση, συζήτηση, ακρόαση και ορθοστασία. Και με βάση το χαρακτηριστικό, ότι οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης είναι εξαιρετικά μεταβιβάσιμοι, οι ειδικοί μπορούν επίσης να επανεκπαιδεύσουν το λεπτομερώς συντονισμένο μοντέλο για να αυξήσουν τις συμπεριφορές ανίχνευσης. Αυτό θα γίνει, εάν πιστεύουν ότι υπάρχουν νέες συμπεριφορές δασκάλου ή μαθητή που είναι χρήσιμες για την ανάλυση της ποιότητας εκπαίδευσης και της συναισθηματικής κατάστασης των ατόμων. Στο πείραμα υπήρχαν 110 χρήστες και μετρήθηκαν οι κατηγορίες και ο χρόνος των μικροεκφράσεων κατά τη διαδικτυακή μάθηση. Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε μια μορφή βαθμολόγησης, με βαθμό 1 για την αμφιβολία και τη χαρά, βαθμό 0 για πραότητα και θυμό, και βαθμό -1 για το φόβο και τη λύπη, και ορίστηκαν διαφορετικές αναλογίες του αριθμού των εκφράσεων και των συνδυασμών κατηγοριών για να ληφθεί μια βαθμολογία τεσσάρων διαστάσεων για το συναίσθημα κάθε χρήστη (Gao, B., 2022).

Οι αλγόριθμοι αναγνώρισης συμπεριφοράς είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των συμπεριφορών δασκάλων και μαθητών μετά τον ακριβή εντοπισμό των τοποθεσιών τους και την εξακρίβωση της προσωπικότητας και της συναισθηματικής συμπεριφοράς. Ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης πολλαπλών εργασιών δύναται να υλοποιεί δύο εργασίες, δηλαδή εκτίμηση στάσης και αναγνώριση συμπεριφοράς, σε ένα δίκτυο βαθιάς μάθησης. Το μοντέλο δημιουργείται, αφού τροφοδοτηθεί με τις στατικές εικόνες RGB, ώστε το νευρωνικό δίκτυο πολλαπλών εργασιών να εκτελεί την εκτίμηση πόζας και έπειτα την αναγνώριση συμπεριφοράς. Η αναγνώριση γίνεται ταυτίζοντας κοινά χαρακτηριστικά της τρέχουσας εικόνας που λαμβάνεται από το βίντεο με την εικόνα που είναι αποθηκευμένη τοπικά (π.χ. σε server ή σκληρό δίσκο) και χαρακτηρισμένη με μια συμπεριφορά (π.χ. μαθητές που σηκώνουν τα χέρια τους, στέκονται, κοιμούνται, έχουν αλληλεπίδραση με το δάσκαλο). Για παράδειγμα, το σύστημα πρώτα λαμβάνει πολλές εικόνες με έναν μαθητή που κοιτάει τον πίνακα, μετά αντιστοιχεί την τρέχουσα εικόνα με αποθηκευμένες εικόνες που είναι χαρακτηρισμένες ως «προσέχει» ή «κοιτάει τον πίνακα» και μετέπειτα εξάγει το συμπέρασμα ότι προσέχει. Βέβαια, αν μένει για πολύ ώρα ακίνητος, μπορεί να είναι αφηρημένος ο μαθητής, παρότι το βλέμμα του είναι στον πίνακα. Το χρονικό διάστημα που θα πρέπει να είναι κάποιος ακίνητος για να θεωρηθεί ότι είναι αφηρημένος, μπορεί να καθοριστεί από την εμπειρία του αλγορίθμου ή από την παραμετροποίηση του

προγραμματιστή. Έτσι η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται και με βάση την εμπειρία. Ακόμη, μπορεί να εντοπιστεί κάποιο αντικείμενο, ώστε με βάση αυτό να χαρακτηριστεί η συμπεριφορά ενός παιδιού. Εάν λόγω χάρη εντοπισθεί ένα κινητό τηλέφωνο, το οποίο και πάλι θα αντιστοιχισθεί με αποθηκευμένες εικόνες κινητού τηλεφώνου, υπάρχει πιθανότητα το παιδί να παίζει το κινητό του, αντί να προσέχει στο μάθημα. Επίσης, όταν η απόσταση του παιδιού ή του χεριού του παιδιού από το κινητό είναι μικρή, τότε αυξάνεται η πιθανότητα να το χρησιμοποιεί. Συνεπώς, στα δεδομένα του μαθητή καταγράφεται η συμπεριφορά του και μετρούνται κάποια στατιστικά για αυτήν, όπως λόγω χάρη ότι στο 50% της ώρας διδασκαλίας παίζει με το κινητό του (Gao, B., 2022).

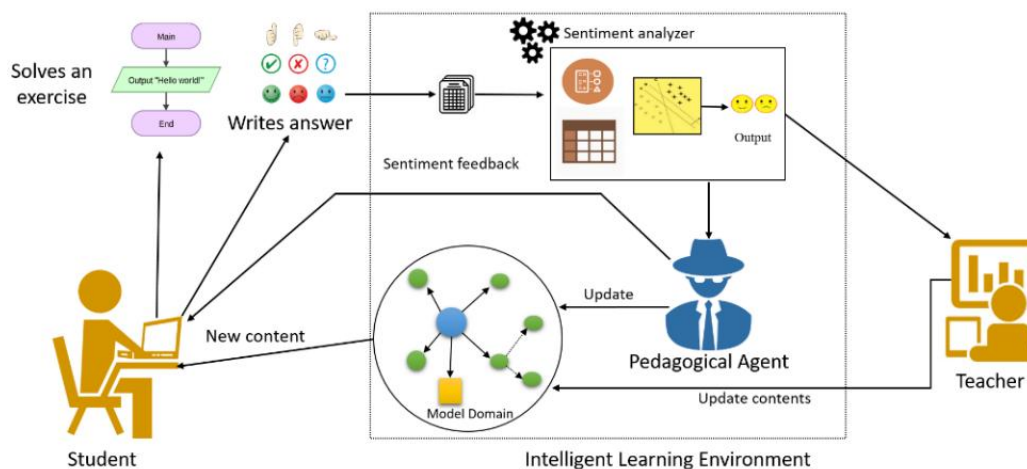
Επομένως, τα αλγοριθμικά αποτελέσματα από το παραπάνω σύστημα ήταν ικανοποιητικά. Τα μοντέλα SSD (π.χ. mobilenet, litmobilenet, inception) είχαν μια ακρίβεια εντοπισμού συμπεριφοράς από 52.29 μέχρι 60.35 και ακρίβεια εντοπισμού προσώπου 82.29 έως 90.35, ενώ τα μοντέλα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (π.χ. FasterR-CNN, Rcnnet resnet) είχαν ακρίβεια ανίχνευσης συμπεριφοράς από 65.8 έως 82.4 και ακρίβεια εντοπισμού προσώπου 84.35 έως 85.4. Χρησιμοποιήθηκε και το μοντέλο Racenet με ακρίβεια ανίχνευσης προσώπου 97.99. Τα μοντέλα SSD φάνηκαν πιο ακριβή στην ανίχνευση προσώπου, αλλά τα νευρωνικά δίκτυα αποδείχτηκαν πολύ πιο ακριβή στην ανίχνευση συμπεριφοράς. Με βάση τη συμπεριφορά μπορεί να επεκταθεί το εκπαιδευτικό αυτό σύστημα, για να ανιχνεύει και τα συναισθήματα του κάθε μαθητή, όπως ικανοποίηση από το μάθημα, δεδομένου ότι προσέχει, ή απογοήτευση από το μάθημα, εάν ασχολείται με το κινητό του. Βέβαια, δεν αισθάνεται απογοήτευση, επειδή ασχολείται με το κινητό, αλλά ασχολείται με το κινητό, επειδή νιώθει απογοήτευση από το μάθημα (Gao, B., 2022).

Σε άλλη εργασία, αφού πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση, για να γνωστοποιηθούν ποιες προσεγγίσεις και ποια frameworks έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την ανάλυση συναισθήματος, υλοποιήθηκε ευφύες σύστημα διδασκαλίας κατά την εκπαίδευση σε γλώσσες προγραμματισμού μέσω γραπτής ανατροφοδότησης και ανίχνευσης προσώπου. Για την ανίχνευση των συναισθημάτων χρησιμοποιείται ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης μη ανοιχτής πηγής. Ο δάσκαλος αξιοποιεί το ανιχνευόμενο συναίσθημα και δίνει μια ανατροφοδότηση στο μαθητή με βάση το συναίσθημα, που ανιχνεύθηκε. Προκειμένου να σχεδιαστεί μια στιβαρή αρχιτεκτονική συστήματος για την εκτέλεση ανάλυσης συναισθήματος, πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές δοκιμές με διαφορετικά μοντέλα βαθιάς μάθησης. Το κάθε μοντέλο λαμβάνει ως είσοδο ένα διάγραμμα λέξεων σε μια μορφή που ονομάζεται one hot encoding και κωδικοποιεί ένα κείμενο σε μια αριθμητική μορφή. Με αυτή τη μέθοδο δύναται από τη μια το μοντέλο βαθιάς μάθησης να εκτελέσει την πρόβλεψή του και από την άλλη να προσφέρεται ένα είδος προστασίας της ιδιωτικότητας κατά την αποστολή των δεδομένων. Το μοντέλο λαμβάνει βαθμολογία αξιολόγησης βάσει της κλίμακας Likert από τους μαθητές με γραπτή μορφή, που εκφράζει την εμπειρία τους κατά την επίλυση ασκήσεων σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται ένα εργαλείο προγραμματισμού, το οποίο ονομάζεται Java Sensei και που βοηθάει στον προσδιορισμό και στη διόρθωση λαθών (συντακτικών κυρίως) στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Ο στόχος είναι κατά τη χρήση του Java Sensei και την

επίλυση ασκήσεων προγραμματισμού σε Java να γίνεται ανάλυση στις γνωστικές και συναισθηματικές καταστάσεις του μαθητή και εξατομίκευση στο μαθησιακό του ρυθμό ανάλογα με αυτές τις καταστάσεις. Αυτό γίνεται και μέσω κάμερας, της οποίας η είσοδος (η εικόνα του προσώπου του μαθητή) εισάγεται στον αναλυτή συναισθήματος. Όλες αυτές οι εικόνες του προσώπου εισάγονται στο σύστημα για την εκτέλεση της ανίχνευσης του συναισθήματος, που αποτελείται από νευρωνικά δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, πρώτα ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο παίρνει το διάνυμα εισόδου και διαιρεί τα δεδομένα σε μικρότερα μέρη, χρησιμοποιώντας ένα σύνθετο επίπεδο, για να ανιχνεύσει μοτίβα ή χαρακτηριστικά και να τα συνδυάσει και να τα εισάγει στα βαθύτερα στρώματα του δικτύου. Η έξοδος του δικτύου αντιπροσωπεύει ένα διάνυμα χαρακτηριστικών, που χρησιμεύει ως είσοδος σε ένα δίκτυο μακράς βραχύχρονης μνήμης (LSTM), που είναι ένα είδος επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου), το οποίο επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα, αναζητώντας νέα μοτίβα για να περάσει αυτές τις πληροφορίες σε ένα απλό νευρωνικό δίκτυο. Αυτό το απλό νευρωνικό δίκτυο βρίσκεται στο επίπεδο εξόδου και ταξινομεί το κείμενο της καταχώρισης σε ένα συναίσθημα. Επομένως, μετά από τη χρήση τριών νευρωνικών δικτύων σειριακά και δεδομένου ενός κειμένου εισόδου, αρχικά προσδιορίζεται η πολικότητα του κειμένου (θετικό ή αρνητικό) και ανάλογα με το αποτέλεσμα της θετικής ή αρνητικής ταξινόμησης με το ίδιο μοντέλο προσδιορίζεται, εάν το κείμενο ανήκει σε μια κατηγορία αφοσιωμένων ή αδιάφορων και ενθουσιασμένων ή απογοητευμένων μαθητών. Μόλις ληφθεί το αποτέλεσμα από το μοντέλο βαθιάς μάθησης, το επόμενο βήμα είναι η ενσωμάτωσή του σε μια μονάδα ασαφούς λογικής, η οποία υλοποιεί το μηχανισμό συμπερασμάτων του συστήματος με βάση τα συναισθήματα που ανιχνεύονται από τις εκφράσεις προσώπου και τη βαθμολογία του μαθητή. Η ασαφής λογική είναι μία υπό συνθήκη έκφραση, που συσχετίζει δύο ή περισσότερες ασαφείς εκφράσεις. Άλλες παιδαγωγικές πτυχές, όπως η ποιότητα των απαντήσεων, λαμβάνονται επίσης υπόψη με απώτερο σκοπό να τροφοδοτήσουν αυτούς τους ασαφείς κανόνες. Επομένως, τα συμπεράσματα της μονάδας ασαφούς λογικής εξάγονται και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων και ο δάσκαλος ή εκπαιδευτής αξιοποιεί αυτές τις πληροφορίες. Τέλος, υφίσταται ένα επίπεδο περιεχομένου ιστού, όπου περιέχει το σώμα του συναισθηματικού κειμένου, που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση της ενότητας, ένα αποθετήριο ασκήσεων και εκπαιδευτικών πόρων, καθώς και τους κανόνες του συστήματος ασαφούς λογικής. Τυτέστιν, στο παραπάνω σύστημα αξιοποιείται και τροφοδοτείται γνώση και από το διαδίκτυο (Barron-Estrada, M. L., et al., 2019).

Ενώ πολλά συστήματα αναγνώρισης συναισθημάτων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα στοχεύουν κυρίως σε βασικά συναισθήματα, όπως η ευτυχία, η λύπη ή ο θυμός, το παραπάνω σύστημα εκπαίδευσης εστιάζει σε μια ολοκληρωμένη υλοποίηση ενός συστήματος, το οποίο εντοπίζει κυρίως δευτερεύοντα συναισθήματα που σχετίζονται με τη μάθηση, όπως η πλήξη ή η απογοήτευση. Ο αναλυτής συναισθήματος εκτιμάται με ποσοστό ακρίβειας 88,26%. Για να γίνει αυτό, υπήρξε μια σειρά από μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ποιότητας του αλγορίθμου ταξινόμησης που αποτελεί μέρος του μαθησιακού μοντέλου. Το πιο απλό μέσο μέτρησης της αποτελεσματικότητας ενός ταξινομητή είναι το μέτρο ακρίβειας, το οποίο υπολογίζει τον μέσο όρο των σωστά ταξινομημένων εγγράφων κειμένου σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των εγγράφων που πρέπει να κατηγοριοποιηθούν.

Προκειμένου να υπολογισθεί αυτή η τιμή, χρησιμοποιήθηκε μια τεχνική διασταυρούμενης επικύρωσης, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει 15400 ισπανικά κείμενα, τα οποία διαθέτουν 90% για εκπαίδευση και 10% για δοκιμές. Δοκιμάστηκαν διάφοροι ταξινομητές μηχανικής μάθησης, όπως λόγω χάρη οι Bernoulli Naïve Bayes, Multinomial Naïve Bayes, Support Vector Machine, Linear Support Vector Machine, Stochastic Gradient Descent και K-Nearest Neighbors (KNN). Την υψηλότερη ακρίβεια παρουσίασε ο Bernoulli Naïve Bayes με 76,77%. Γενικά, ο Bernoulli Naïve Bayes αποδεικνύεται ότι είναι ένας ισχυρός ταξινομητής έναντι άσχετων χαρακτηριστικών και είναι κατάλληλος για ταξινόμηση κειμένου. Ωστόσο, το μοντέλο βαθιάς μάθησης με τα νευρωνικά δίκτυα, που παρουσιάστηκε παραπάνω και τελικώς χρησιμοποιήθηκε, πέτυχε ακρίβεια 88,26%, ξεπερνώντας σε απόδοση τους άλλους ταξινομητές. Αυτό το ευφρές σύστημα εκπαίδευσης δοκιμάστηκε σε μια πρώτη προσέγγιση σε 43 μαθητές σε ερευνητικό εργαστήριο. Κάθε ενότητα εκμάθησης είχε μέχρι 15 ασκήσεις, όπου οι μαθητές έλυσαν μερικές από αυτές. Στο τέλος κάθε άσκησης, το σύστημα ζητούσε απαντήσεις από τους μαθητές. Στο τέλος συλλέχθηκαν 178 γραπτές βαθμολογίες μαθητών, όπου ο αναλυτής συναισθήματος αξιολόγησε 71 κείμενα ως θετικά και 107 ως αρνητικά. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε και άλλο πείραμα με 53 φοιτητές μηχανικών υπολογιστών στο Instituto Tecnológico de Culiacán. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα εκμάθησης βασικών αρχών προγραμματισμού, ο καθένας εξέφρασε μέσω κάμερας ή μέσω κειμένου τις γνώμες του, που αντιπροσώπευαν τη συναισθηματική του κατάσταση ως βαριεστημένος, νευριασμένος, ουδέτερος, ενθουσιασμένος ή πολύ ενθουσιασμένος. Το σύνολο των καταγεγραμμένων απόψεων ήταν 851 και εκπαιδεύτηκαν ξανά οι ταξινομητές, που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως, με αυτό το νέο σώμα επικεντρωμένο στη μάθηση, χρησιμοποιώντας διασταυρούμενη επικύρωση 90% για δεδομένα εκπαίδευσης και 10% για δεδομένα δοκιμής. Ο αλγόριθμος με καλύτερη ακρίβεια ήταν ο Linear SVC με 60%. Το επίπεδο πρόβλεψης είναι χαμηλό, επειδή το μέγεθος του σώματος είναι μικρό και δεν είναι ισορροπημένο, γεγονός ενδιαφέρον και άξιο να προσεχθεί σε μελλοντικές σχετικές εργασίες (Barron-Estrada, M. L., et al., 2019).



Εικόνα 7 – Γενικό σχήμα του συστήματος για την εκτέλεση ανάλυσης συναισθήματος στο έξυπνο σύστημα διδασκαλίας

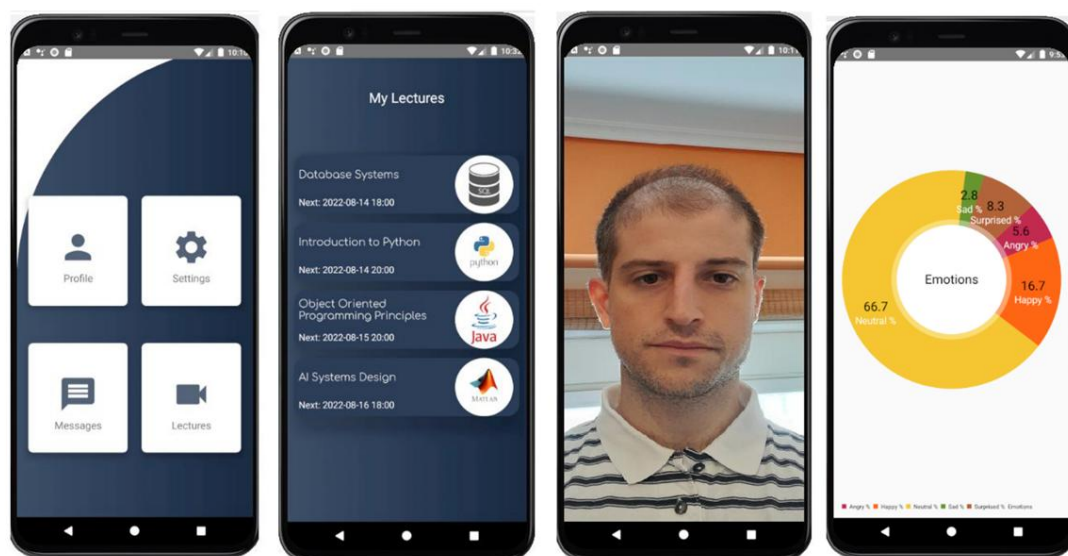
Στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε ένα ευφυές σύστημα εκπαίδευσης με τη μηχανική μάθηση σε μια Android εφαρμογή, με τη χρήση της βιβλιοθήκης Tensorflow σε Jupyter Notebook και Python για την εκπαίδευση ενός μοντέλου συνελκτικού νευρωνικού δικτύου. Αξιοποιήθηκαν διάφορες τεχνολογίες, όπως η λειτουργικότητα της διασύνδεσης μεταξύ ενός Android client και Spring Boot web service και αποστολής δεδομένων από και προς μια βάση δεδομένων PostgreSQL. Η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί για να χρησιμεύσει ως αποτελεσματική πλατφόρμα για μαθητές και καθηγητές, προσαρμόζοντας τις λειτουργίες της για να υποστηρίζει διάφορες πτυχές της εκπαίδευσης και της διαχείρισης χρηστών. Προσφέρει γενικές δυνατότητες εγγραφής και σύνδεσης του χρήστη με κωδικούς πρόσβασης και ειδικές δυνατότητες, ανάλογα με το αν είναι φοιτητές ή καθηγητές. Η εφαρμογή περιλαμβάνει ένα σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων που διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ μαθητών και καθηγητών. Οι μαθητές μπορούν να στέλνουν μηνύματα στους καθηγητές τους ή στα σχετικά τμήματα μαθημάτων και οι καθηγητές μπορούν να στέλνουν μηνύματα σε συγκεκριμένα μαθήματα. Για τα μη αναγνωσμένα μηνύματα οι χρήστες λαμβάνουν ειδοποιήσεις, για να διασφαλίζεται η έγκαιρη επικοινωνία. Αυτή η δυνατότητα προωθεί την αποτελεσματική αλληλεπίδραση και υποστήριξη. Ακόμα, το σύστημα έχει λειτουργία για να παραμείνουν οι χρήστες συνδεδεμένοι, εφαρμόζει επίσης κρυπτογράφηση και μεθόδους ασφάλειας κατά την επικοινωνία των χρηστών. Γενικότερα υπάρχει μια φιλική προς το χρήστη εμπειρία με επιλογές προσαρμογής, όπως το ότι οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν τη γλώσσα που προτιμούν για διδασκαλία ή να ρυθμίζουν τα χρώματα της εφαρμογής. Αυτό είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για όλες τις εφαρμογές (Γαβριηλίδης, Γ., 2022).

Η εφαρμογή διαθέτει και μια σειρά έξυπνων χαρακτηριστικών που στοχεύουν στη βελτίωση της εκπαιδευτικής εμπειρίας, της αλληλεπίδρασης των χρηστών και της ανάλυσης συναισθηματικών δεδομένων κατά τη διδασκαλία. Η μάθηση είναι εξ αποστάσεως, επιτρέποντας σε μαθητές και καθηγητές να συμμετέχουν σε μαθήματα σε πραγματικό χρόνο με πρόσθετες δυνατότητες κάμερας για μια διαδραστική εμπειρία. Η εφαρμογή παρουσιάζει στους χρήστες ένα λεπτομερές πρόγραμμα διαλέξεων για τα μαθήματα που παρακολουθούν ή διδάσκουν. Ανεξάρτητα από τον τύπο του χρήστη (φοιτητής ή καθηγητής), μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτή την κοινόχρηστη λειτουργία. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ζωντανή ροή της διάλεξης, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν ορισμένα κριτήρια. Ειδικότερα, εάν η ημερομηνία και η ώρα της διάλεξης ταιριάζουν με την τρέχουσα ώρα και εάν ο χρήστης έχει τα απαραίτητα δικαιώματα, η εφαρμογή παραχωρεί πρόσβαση. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή ενσωματώνει μια μοναδική πτυχή της ανάλυσης συναισθημάτων κατά τη διάρκεια της διάλεξης, χρησιμοποιώντας τη μπροστινή κάμερα της συσκευής. Το σύστημα επεξεργάζεται και ερμηνεύει τις εκφράσεις του προσώπου και στέλνει τα δεδομένα στον διακομιστή. Η εφαρμογή μπορεί να αναγνωρίσει πέντε βασικά συναισθήματα: χαρά, λύπη, θυμό, φόβο και έκπληξη. Η αναγνώριση συναισθήματος γίνεται χρησιμοποιώντας ένα προεκπαιδευμένο μοντέλο αντίχενυσης προσώπου από τη βιβλιοθήκη OpenCV. Μόλις εντοπιστούν πρόσωπα, το σύστημα εστιάζει στο κύριο πρόσωπο, υποθέτοντας ότι ανήκει στο μαθητή/χρήστη που παρακολουθεί τη διάλεξη. Αυτό το πρόσωπο υποβάλλεται στη συνέχεια σε ένα μοντέλο αναγνώρισης συναισθημάτων, το οποίο είναι ένα μοντέλο συμπιεσμένου

συνελκτικού νευρωνικού δικτύου, που είναι επίσης αποθηκευμένο στη συσκευή σε μορφή «.tflite». Το μοντέλο επεξεργάζεται την εικόνα σε κάθε καρέ, προκειμένου να προβλέψει την πιθανότητα των συναισθημάτων, που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι προβλέψεις του μοντέλου αντιπροσωπεύονται με μια λίστα βαθμολογιών με πιθανότητες για κάθε κατηγορία συναισθήματος. Το σύστημα προσδιορίζει το συναίσθημα με βάση την υψηλότερη πιθανότητα. Σε περίπτωση, που το μοντέλο δε μπορεί να εντοπίσει κανένα πρόσωπο, εκχωρείται ως προεπιλεγμένο συναίσθημα το «not found», δηλαδή «δεν βρέθηκε». Στη συνέχεια, το σύστημα αποθηκεύει το ανιχνευμένο συναίσθημα μαζί με το αναγνωριστικό της διάλεξης, το αναγνωριστικό μαθητή και μια χρονική σήμανση σε ένα μορφότυπο κειμένου JSON, που θα αποστέλλεται στο διακομιστή της εφαρμογής μέσω μιας υπηρεσίας web. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε δέκα δευτερόλεπτα, κατά την οποία ένας μαθητής συμμετέχει ενεργά στη διάλεξη και το σύστημα συλλέγει δεδομένα για τις συναισθηματικές αντιδράσεις του μαθητή με την πάροδο του χρόνου. Στην ουσία, η εφαρμογή συνδυάζει την αναγνώριση προσώπου σε πραγματικό χρόνο με ένα προεκπαιδευμένο μοντέλο αναγνώρισης συναισθημάτων για την ανάλυση και τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις συναισθηματικές αντιδράσεις των μαθητών κατά τη διάρκεια των διαλέξεων. Επιπλέον, όμως, το σύστημα εξουσιοδοτεί τους καθηγητές να έχουν πρόσβαση στα στατιστικά στοιχεία, που σχετίζονται με τα συναισθήματα και τις αλληλεπιδράσεις των μαθητών. Με άλλα λόγια, η εφαρμογή επιτρέπει στους καθηγητές να βλέπουν δεδομένα σχετικά με την κατανομή των συναισθημάτων κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης διάλεξης ή να αναλύουν την εξέλιξη ενός συγκεκριμένου συναισθήματος σε πολλές διαλέξεις. Οπτικοποιήσεις με τη μορφή γραφημάτων πίτας και ραβδογράμματος χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση αυτών των δεδομένων, προσφέροντας στους εκπαιδευτικούς πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις εμπειρίες και τις απαντήσεις των μαθητών. Συνολικά, αυτό το ευφυές σύστημα εκπαίδευσης αποτελεί ένα ευέλικτο και ολοκληρωμένο εργαλείο για τη βελτίωση της εκπαιδευτικής εμπειρίας. Οι διάφορες δυνατότητες της εφαρμογής έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώσουν τη δέσμευση, την επικοινωνία και την ποιότητα της εκπαίδευσης στην ψηφιακή εποχή (Γαβριηλίδης, Γ., 2022).

Ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται από 43.000 αρχεία χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου, το οποίο αξιοποιείται για τον προσδιορισμό των συναισθημάτων που εμφανίζονται στα πρόσωπα των χρηστών της εφαρμογής. Ως μελλοντική αναβάθμιση το μοντέλο μπορεί να υποβληθεί σε επανεκπαίδευση, χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων και ενισχύοντας επομένως την ικανότητά του να αναγνωρίζει συναισθήματα μέσα στις εικόνες πιο αποτελεσματικά. Μια πρόσθετη βελτίωση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί περιλαμβάνει την αύξηση των συναισθηματικών κατηγοριών ταξινόμησης του περιεχομένου εικόνας. Μάλιστα, μπορεί να χρησιμοποιείται και η ανάλυση ήχου, ώστε με βάση τον τρόπο ομιλίας του μαθητή ή το περιεχόμενο των λέξεών του να εξαχθεί η συναισθηματική του κατάσταση. Βέβαια, είναι ανάγκη να σημειωθεί ότι δεν αναφέρεται η ακρίβεια της εκτίμησης στην αναγνώριση συναισθημάτων και γενικότερα η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής. Ούτε η ικανοποίηση των μαθητών και των χρηστών είναι γνωστή, αν και φυσικά η εφαρμογή αποτελεί απλώς ένα έργο για διπλωματική εργασία. Τέλος, θα μπορούσαν να υπάρχουν και άλλες τεχνικές βελτιώσεις, που αφορούν την αλληλεπίδραση μεταξύ

του κώδικα εφαρμογής Android και της υπηρεσίας Ιστού. Λόγου χάρη, θα ήταν ωφέλιμο να ενσωματωθεί λειτουργικότητα που επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του διακομιστή και των συσκευών των χρηστών μέσω της εφαρμογής, η οποία θα βρίσκεται και διαδικτυακά (Γαβριηλίδης, Γ., 2022).



Εικόνα 8 – Στιγμιότυπα από το έξυπνο σύστημα διδασκαλίας του Γ. Γαβριηλίδη το 2022

Μια άλλη αξιοσημείωτη εργασία παρουσιάζει ένα framework εργαλείο αναγνώρισης συναισθημάτων για τη βελτίωση της μάθησης μέσω webcam και μικροφώνων. Το FILTWAM προσφέρει ένα περιβάλλον κατάλληλα διαμορφωμένο, ώστε οι μαθητές να βελτιώσουν τις επικοινωνιακές τους δεξιότητες στο δικό τους ρυθμό, τόπο και χρόνο, αν και δεν αντικαθιστά την πρόσωπο με πρόσωπο εκπαίδευση. Ενδέχεται να χρειάζονται ακόμη και συναντήσεις πρόσωπο με πρόσωπο με έμπειρους ειδικούς σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Το FILTWAM αναπτύσσεται με μια διδακτική προσέγγιση βασισμένη στο παιχνίδι, καθόσον το παιχνίδι αποτελεί ελκυστικό μέσο εκμάθησης και ενθαρρύνει τους ανθρώπους να βελτιώσουν τις κοινωνικές και συνεργατικές τους δεξιότητες. Ουσιαστικά αποτελεί παιχνίδι με την έννοια, ότι ο χρήστης προσπαθεί να εκφράσει με το πρόσωπο μια εικόνα ή ένα κείμενο που του παρουσιάζεται. Η αναγνώριση συναισθημάτων γίνεται με το framework να ανιχνεύει πρόσωπα, αναγνωρίζοντας επτά βασικές εκφράσεις προσώπου και παρέχοντας επαρκή ανατροφοδότηση στους μαθητές. Το framework στοχεύει στη βελτίωση των επικοινωνιακών δεξιοτήτων και της συναισθηματικής νοημοσύνης των μαθητών, παρέχοντας έγκαιρη και επαρκή ανατροφοδότηση στον εκπαιδευόμενο. Η συσκευή παρέχει τη ροή βίντεο του εκπαιδευόμενου και τη μεταδίδει μέσω του διαδικτύου. Η παρεχόμενη ροή τροφοδοτείται σε προεπεξεργασία της ακολουθίας βίντεο για να χωριστεί καρέ προς καρέ. Υπολογίζεται μια χρονική ακολουθία των συναισθημάτων μέσα σε μια χρονική περίοδο και αναγνωρίζεται ένα συναίσθημα μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Ο αναλυτής συναισθημάτων προσώπου λαμβάνει κάθε διαχωρισμένο καρέ και αναλύει το σχετικό συναίσθημα μέσα στο συγκεκριμένο πλαίσιο. Αυτά τα συναισθήματα ανά καρέ συναθροίζονται

στο τέλος για να βγει ένα τελικό αποτέλεσμα. Η συλλογή δεδομένων συγχρονίζεται και μεταδίδεται στον εκπαιδευόμενο μέσω της υπηρεσίας Ιστού (Bahreini, K., et. al, 2012).

Το framework χρησιμοποιήθηκε από δεκαέξι συμμετέχοντες, όλοι υπάλληλοι του Κέντρου Μαθησιακών Επιστημών και Τεχνολογιών του ανοιχτού Πανεπιστήμιο της Ολλανδίας. Ζητήθηκε από αυτούς να διαβάσουν ένα κείμενο και να εκφράσουν με το πρόσωπό τους το συναίσθημα που περιγράφει το κείμενο. Το κείμενο ήταν ένας διάλογος αρνητικών ή θετικών ειδήσεων. Οι εκπαιδευόμενοι έκαναν κάθε μεμονωμένη συνεδρία σε περίπου 20 λεπτά. Κάθισαν σε ένα εντελώς αθόρυβο δωμάτιο με καλή κατάσταση φωτισμού, προκειμένου να υπάρχει μείωση θορύβου και βέλτιστη απόδοση αναγνώρισης φωνής και εικόνας. Ο συντονιστής της συνεδρίας παρουσιάστηκε στην αίθουσα, αλλά χωρίς παρέμβαση. Ζητήθηκε ακόμα από κάθε συμμετέχοντα να δείξει ήπιες και όχι πολύ έντονες εκφράσεις στο πρόσωπό του, μιμούμενος τα συναισθήματα που παρουσιάστηκαν μέσω διαφανειών του PowerPoint. Οι εικόνες ήταν 35 και εξέφραζαν χαρά, λύπη, έκπληξη, φόβο, αηδία, θυμό, ουδέτερη κατάσταση. Έτσι έγινε και περαιτέρω εκπαίδευση του μοντέλου. Στο τέλος της συνεδρίας, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για τα αποτελέσματα, κατά πόσο εξέφρασαν σωστά τα συναισθήματα που δήλωναν οι εικόνες. Μετά, δήλωσαν τις απόψεις τους για το λογισμικό και τα προβλήματα που αντιμετώπισαν (Bahreini, K., et. al, 2012).

Σε μια μεταγενέστερη εργασία αναπτύχθηκε το framework FILTWAM για αναγνώριση συναισθημάτων σε πραγματικό χρόνο με βάση τους φωνητικούς τόνους. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε δοκιμάστηκε σε μια μελέτη με δώδεκα συμμετέχοντες. Το νέο framework χωρίζει την ομιλία σε τμήματα ενός δευτερόλεπτου, εξάγει φωνητικά χαρακτηριστικά από τις φωνές και ταξινομεί τα συναισθήματα. Περιλαμβάνει τρεις επιμέρους συνιστώσες που οδηγούν στην αναγνώριση και κατηγοριοποίηση ενός συγκεκριμένου συναισθήματος, που είναι η ανίχνευση φωνής, η εξαγωγή φωνητικών χαρακτηριστικών και η ταξινόμηση φωνητικών συναισθημάτων. Δεν εξετάζεται το περιεχόμενο των λέξεων, αλλά η συχνότητα, η ταχύτητα ομιλίας και η ενέργεια για τον χαρακτηρισμό των συναισθημάτων. Στη συνέχεια τα χαρακτηριστικά μπαίνουν σε διανύσματα. Τέλος, εξετάζονται οι ακολουθίες των χαρακτηριστικών με ένδειξη (labeled features) στα παραχθέντα διανύσματα του προηγούμενου βήματος και γίνεται προσπάθεια να βρεθούν οι αλλαγές μεταξύ των διανυσμάτων. Λόγου χάρη, αν ένα άτομο προσπάθησε να μιλήσει με χαρά, καθόσον αυτό του υπαγορεύθηκε, έχει ετικέτα χαράς. Εξετάζεται λοιπόν για κάθε ένα τέτοιο αρχείο ήχου η απόκλιση στα διανύσματα. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής διαδοχικής ελάχιστης βελτιστοποίησης (SMO) του λογισμικού WEKA, το οποίο είναι ένα εργαλείο λογισμικού για την εξόρυξη δεδομένων. Το λογισμικό αναγνώρισης συναισθημάτων της φωνής υποστηρίζει προσέγγιση ανεξάρτητης αναγνώρισης ομιλητή, η οποία είναι ένα γενικό σύστημα αναγνώρισης και επομένως η ακρίβειά του είναι χαμηλότερη από την προσέγγιση αναγνώρισης που εξαρτάται από τον ομιλητή. Χρησιμοποιήθηκαν μια κάμερα ανάλυσης 1920 x 1080 HD και ένα μικρόφωνο υπολογιστή για να καταγράψει, να αναλύσει και να αναγνωρίσει τα συναισθήματα των συμμετεχόντων.

Να σημειωθεί ότι το απόρρητο των χρηστών διασφαλίζεται (Bahreini, K., et. al, 2016).

Το επίπεδο εφαρμογής αποτελείται από περιβάλλον ηλεκτρονικής μάθησης συναισθηματικών εκφράσεων. Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των δεδομένων που λαμβάνονται από τον εκπαιδευόμενο και για την παροχή της κατάλληλης ανατροφοδότησης και περιεχομένου, ώστε να μάθει να εκφράζεται συναισθηματικά και να μάθει να αναγνωρίζει συναισθήματα. Η εφαρμογή είναι διαδικτυακή και μεταφέρει την ανατροφοδότηση και το περιεχόμενο εκπαίδευσης στον εκπαιδευόμενο. Τέσσερις διαδοχικές εργασίες δόθηκαν στους συμμετέχοντες, όλες απαιτώντας από αυτούς να εκθέσουν δυνατά επτά βασικές φωνητικές εκφράσεις. Συνολικά, ζητήθηκαν 80 φωνητικές εκφράσεις και για τις τέσσερις εργασίες μαζί. Όλα τα υλικά ήταν στην αγγλική γλώσσα. Ο μαθησιακός στόχος στην τρέχουσα μελέτη είναι οι συμμετέχοντες να αποκτήσουν μεγαλύτερη επίγνωση των συναισθημάτων τους, όταν παραδίδουν τα μηνύματά τους. Στην πρώτη εργασία ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να μιμηθούν δυνατά το συναίσθημα που παρουσιάστηκε στην εικόνα που τους εμφανίστηκε. Υπήρχαν 14 εικόνες, όλες βγαλμένες από το πρόσωπο του πρώτου συγγραφέα αυτής της εργασίας, που παρουσιάστηκαν στη συνέχεια μέσω διαφανειών του PowerPoint. Κάθε εικόνα απεικόνιζε ένα μόνο συναίσθημα. Και οι επτά βασικές φωνητικές εκφράσεις ήταν δύο φορές παρούσες με την ακόλουθη σειρά: χαρά, λύπη, έκπληξη, φόβος, αηδία, θυμός, ουδέτερη κατάσταση. Στη δεύτερη εργασία ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να μιμηθούν τις επτά φωνητικές εκφράσεις δύο φορές (δεκατέσσερις φορές συνολικά) με βάση τη λέξη-κλειδί του ζητούμενου συναισθήματος. Η τρίτη εργασία παρουσίασε δεκαέξι διαφάνειες που συνδέονται με μια συνομιλία σε μορφή κειμένου αναφορικά με θετικές ειδήσεις. Εδώ, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να διαβάσουν και να μιλήσουν δυνατά και να μιμηθούν το κείμενο του αποστολέα των διαφανειών. Η τέταρτη εργασία με τριανταέξι διαφάνειες ήταν παρόμοια με την τρίτη εργασία, αλλά σε αυτή την περίπτωση η συνομιλία κειμένου ελήφθη από μια συνομιλία αρνητικών ειδήσεων. Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν αυτές τις εργασίες μεμονωμένα σε ένα μόνο υπολογιστή. Μετά την καταχώρηση της απάντησης ο εκπαιδευόμενος ενημερώνεται, εάν το λογισμικό αναγνώρισης συναισθημάτων φωνής ανιχνεύει το ίδιο συναίσθημα που ζητήθηκε από τον συμμετέχοντα να μιμηθεί. Μάλιστα, μπορούσαν να παρακολουθήσουν τα σχόλια για τις απαντήσεις των φωνητικών τους εκφράσεων, που παρήχθησαν από το λογισμικό αναγνώρισης φωνητικών συναισθημάτων, στο δεξιό τμήμα της οθόνης, ενώ εκτελούσαν ταυτόχρονα τις υπόλοιπες εργασίες, χρησιμοποιώντας τις διαφάνειες του PowerPoint στο αριστερό τμήμα. Για τους μαθητές είναι σημαντικό να μπορούν να εμπιστεύονται ότι η ανατροφοδότηση είναι σωστή (Bahreini, K., et. al, 2016).

Το καλύτερο αναγνωρίσιμο συναίσθημα ήταν ο θυμός με ακρίβεια 94 %, ακολουθούμενο από λύπη με ακρίβεια 83.4 %, φόβο με 77.3 %, χαρά με 74 %, ουδέτερη κατάσταση με 71 %, αηδία με 65.7 % και έκπληξη με 64.7 %. Από την άποψη της έντασης της φωνής το αποτέλεσμα δείχνει ότι το κυρίαρχο συναίσθημα (θυμός) και ένα λιγότερο κυρίαρχο συναίσθημα (λύπη) κατατάσσονται υψηλότερα από άλλα συναισθήματα. Επιπλέον, η ανάλυση επιβεβαιώνει ότι τα δύο σύνολα συναισθημάτων χαρά με έκπληξη και θυμός με αηδία είναι δύσκολο να διακριθούν

μεταξύ τους και συχνά ταξινομούνται λανθασμένα, γιατί συγχέονται. Η συνολική ακρίβεια του λογισμικού με βάση τα ζητούμενα συναισθήματα και τα αναγνωρισμένα συναισθήματα είναι 67 %. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό δεν είναι σε θέση να ελέγξει την επιπλέον κατηγορία «μη δυνατότητα μίμησης», πράγμα που σημαίνει ότι το λογισμικό έχει εγγενώς χαμηλότερη ακρίβεια. Επιπρόσθετα, το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους εκπαιδευόμενους έδειξε ότι επτά από τους δώδεκα συμμετέχοντες διαπίστωσαν ότι ήταν εύκολο ή κάπως εύκολο για αυτούς να μιμηθούν τα ζητούμενα συναισθήματα στις συγκεκριμένες εργασίες. Εννέα στους δώδεκα συμφώνησαν ή συμφώνησαν ελαφρά ότι η ανατροφοδότηση τους υποστήριξε να οδηγήσουν και να μιμηθούν τα συναισθήματα και να αποκτήσουν μεγαλύτερη επίγνωση των συναισθημάτων τους. Ο παράγοντας αυτοπεποίθησης υποδεικνύει, ότι εννέα από τους δώδεκα συμμετέχοντες διαφώνησαν πλήρως, διαφώνησαν ή διαφώνησαν ελαφρώς ότι ήταν σε θέση να μιμηθούν τα ζητούμενα συναισθήματα στις συγκεκριμένες εργασίες. Αυτός ο παράγοντας υποδηλώνει την αναγκαιότητα αυτής της μελέτης που πιθανότατα μπορεί να τους βοηθήσει να εκπαιδεύσουν τις εκφραστικές τους δεξιότητες. Επίσης, όλοι οι συμμετέχοντες συμφώνησαν ότι οι οδηγίες ήταν σαφείς για να εκτελέσουν τις εργασίες. Όλες οι εργασίες ήταν ενδιαφέρουσες και δεν υπήρχε απόσπαση της προσοχής κατά τη διάρκεια της συνεδρίας. Συμπερασματικά, το αναβαθμισμένο πλέον λογισμικό FILTWAM επιτρέπει τη συνεχή και διακριτική παρατήρηση των συμπεριφορών των μαθητών και μετατρέπει αυτές τις συμπεριφορές σε συναισθηματικές καταστάσεις. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άτομα με αυτισμό ή άτομα με χαμηλή συναισθηματική νοημοσύνη, προκειμένου να μάθουν να αντιλαμβάνονται και να περιγράφουν τα συναισθήματά τους και τα συναισθήματα των άλλων σε ένα ασφαλές περιβάλλον. Η βελτίωση και η αναβάθμισή του ανοίγει το δρόμο για τη διακριτή και σε πραγματικό χρόνο καταγραφή των συναισθηματικών καταστάσεων των μαθητών, προκειμένου να υπάρξει περαιτέρω βελτίωση των προσαρμοστικών προσεγγίσεων ηλεκτρονικής κλασικής και ειδικής μάθησης (Bahreini, K., et. al, 2016).

Τα περισσότερα είδη συστημάτων ευφυούς εκπαίδευσης με συναισθηματική υπολογιστική στηρίζονται σε αναγνώριση προσώπου μέσω κάμερας και σε εξαγωγή γνώσης κειμένου. Σε αντίθεση με αυτά, το AICARP.V2 είναι ένα σύστημα, που παρουσιάστηκε με πρωταρχικό στόχο την ενίσχυση της ανίχνευσης αλλαγών στις συναισθηματικές καταστάσεις των χρηστών και στη συνέχεια την παροχή πιο ακριβών απαντήσεων μέσω πολυαισθητηριακής υποστήριξης. Αξιοσημείωτο είναι, ότι εμπεριέχει εργαλεία λογισμικού ειδικά σχεδιασμένα για ειδικούς ψυχολόγους για την επισήμανση των αντιληπτών συναισθημάτων, διευκολύνοντας έτσι μια πιο ακριβή διαδικασία ανίχνευσης συναισθημάτων. Αποτελούμενο από τρία τμήματα, συγκεκριμένα το τμήμα απόκτησης πληροφορίας (Acquisition), το τμήμα παράδοσης πληροφορίας (Delivery) και το τμήμα ελέγχου, οπτικοποίησης και εγγραφής (Controller, Visualization, Recording), το σύστημα το διαχειρίζονται ελεγκτές που βασίζονται σε Arduino και διασυνδέονται μέσω προγραμματισμού σε MATLAB. Η απόκτηση φυσιολογικών σημάτων γίνεται με κατάλληλους αισθητήρες, όπως παλμικό οξύμετρο, ζώνη αναπνοής, γαλβανική απόκριση δέρματος (μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του δέρματος) και θερμοκρασία δέρματος, προσαρμοσμένων στο χέρι του χρήστη. Ακόμα, χρησιμοποιείται ζώνη αναπνοής, μια εναλλακτική λύση για τους παρεμβατικούς αισθητήρες αναπνοής, που έχει

πιεζοηλεκτρική τεχνολογία. Η μονάδα παράδοσης, επίσης διαχειριζόμενη από το Arduino, ενσωματώνει ενεργοποιητές (actuators) ακουστικούς, οπτικούς, απτικούς. Αυτοί οι ενεργοποιητές οδηγούνται από μια άλλη πλακέτα Arduino Uno, η οποία λειτουργεί ως αισθητηριακός ελεγκτής. Οι ενεργοποιητές περιλαμβάνουν ηχεία για ακουστική ανατροφοδότηση, LED για οπτική ανατροφοδότηση, δονητή για απτικές προειδοποιήσεις (ανατροφοδότηση από το σύστημα στο χρήστη) και LED RGB για συναισθηματική ενημέρωση από το σύστημα. Ειδικότερα, το LED RGB χρωματίζεται με διαφορετικά χρώματα και εντάσεις με βάση τη συναισθηματική κατάσταση του μαθητή. Για παράδειγμα, μετρώντας τους καρδιακούς παλμούς και με βάση οριοθετημένες τιμές από το δάσκαλο ή τον προγραμματιστή, ο φωτισμός μπορεί να μετατοπιστεί από μπλε (ήρεμη κατάσταση), σε πράσινο (φυσιολογική κατάσταση) και έπειτα σε κόκκινο (αγχώδης κατάσταση), καθόσον ο ρυθμός καρδιακών παλμών αυξάνεται σταδιακά από το ένα όριο τιμών στο άλλο. Τα χρώματα ομοίως καθορίζονται από το δάσκαλο ή τον προγραμματιστή. Με αυτή την πληροφόρηση οι μαθητές μπορούν να λάβουν υπόψη τους το άγχος, έτσι ώστε να αρχίσουν ενσυνείδητα τη μείωσή του. Τέλος, η μονάδα ελέγχου, οπτικοποίησης και εγγραφής εκτελεί λογισμικό MATLAB που επικοινωνεί με τις άλλες δυο μονάδες. Εμφανίζει, καταγράφει και επεξεργάζεται φυσιολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους ψυχοεκπαιδευτικούς ειδικούς να παρατηρούν τις αλληλεπιδράσεις των μαθητών. Το τμήμα αυτό υπολογίζει τα επίπεδα στρες, χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση βασισμένη σε κανόνες, λαμβάνοντας υπόψη τα φυσιολογικά σήματα και τις ειδικές παραμέτρους του μαθητή. Ενεργοποιεί αισθητηριακή υποστήριξη με βάση τα επίπεδα στρες, με στρατηγικές μετριασμού που χρησιμοποιούν οπτική και ακουστική ανάδραση και στρατηγικές πρόληψης που περιλαμβάνουν φως περιβάλλοντος και απτικές προειδοποιήσεις, όπως προαναφέρθηκε. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων περιλαμβάνει σειριακή επικοινωνία μέσω UART, εξασφαλίζοντας απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων. Επιπλέον, δύναται η εφαρμογή επιπρόσθετων αλγορίθμων που βασίζονται σε κανόνες για αυτόματη ανίχνευση συναισθημάτων και η παροχή εργαλείων για χειροκίνητη επισήμανση συναισθημάτων από ειδικούς ψυχολόγους (Santos, O. C., et al., 2016).

Στη δοκιμή του συστήματος υπήρχαν 18 μαθητές, που έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για την ανάλυση των αλληλεπιδράσεών τους. Η εργασία απαιτούσε από τους συμμετέχοντες, όλοι με υψηλό επίπεδο επάρκειας στα αγγλικά και μέσο επίπεδο προσωπικότητας (ώστε να υπάρχει μέτριο επίπεδο συναισθηματικής νοημοσύνης), να μιλήσουν στα αγγλικά για 5 λεπτά με θέματα τα «υγιεινά περιβάλλοντα διαβίωσης» και «ταξίδια και ξένοι προορισμοί». Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του AICARP.V2, δοκιμάστηκαν διάφορες προσεγγίσεις παράδοσης πληροφορίας, συμπεριλαμβανομένων μιας σειράς από φωτάκια LED, ενός ηχείου, των φώτων περιβάλλοντος και των απτικών προειδοποιήσεων. Οι ικανότητες των συμμετεχόντων αξιολογήθηκαν και παρακολούθηθηκαν τα φυσιολογικά τους σήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλοι οι συμμετέχοντες πλην ενός ένιωθαν γενικά άνετα κατά τη διάρκεια του πειράματος με την οπτική ανάδραση, ιδιαίτερα τη σειρά των LED, να είναι καλά αποδεκτή. Η ακουστική ανατροφοδότηση, ωστόσο, δεν βρέθηκε να είναι χρήσιμη και μερικές φορές μάλιστα προκαλούσε φόβο. Τα φώτα περιβάλλοντος ήταν λιγότερο αποτελεσματικά, λόγω της

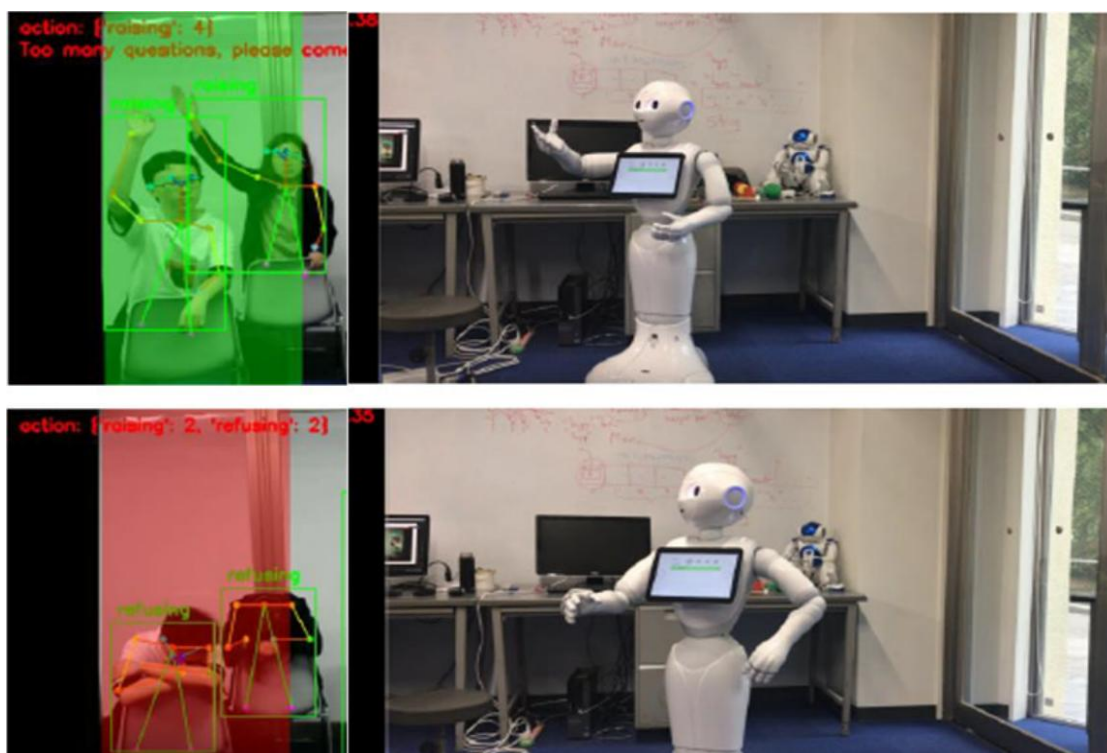
περιορισμένης κάλυψης και η απτική προειδοποίηση συχνά δεν γινόταν αντιληπτή, σύμφωνα με τα ευρήματα της βιβλιογραφίας για υψηλές γνωστικές απαιτήσεις. Παρόλα αυτά, όταν έγινε αντιληπτή η απτική αλληλεπίδραση, αποδείχθηκε επιτυχής στην πρόληψη του άγχους κατά την εκμάθηση μιας ξένης γλώσσας με αισθητηριακή υποστήριξη. Μετά από περαιτέρω ανάλυση, θεωρήθηκε ότι η εξατομικευμένη παραμετροποίηση του συστήματος θα μπορούσε να βελτιώσει τα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη μεμονωμένες παραλλαγές στα φυσιολογικά σήματα κάτω από στρεσογόνες καταστάσεις. Συνιστώνται περαιτέρω διαχρονικά πειράματα εντός του θέματος για τη μοντελοποίηση μεμονωμένων παραλλαγών στην απόκριση στο στρες και όσο περισσότερες βελτιώσεις γίνονται στο AICARP, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η εφαρμογή του σε διαφορετικά πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Επιπρόσθετα, οι εκφράσεις του προσώπου και η φωνή των συμμετεχόντων καταγράφηκαν με κάμερα web. Αν και στην προκειμένη περίπτωση παρακολουθούνταν ζωντανά από ψυχολόγο, για να προσφέρουν οι εικόνες και η φωνή που καταγράφονταν πρόσθετη αισθητηριακή υποστήριξη στον εκπαιδευόμενο, είναι εφικτή η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας με τεχνικές όρασης και ανάλυσης ομιλίας. Με αυτό τον τρόπο θα εμπλουτιστούν οι πληροφορίες, που χρησιμοποιεί το AICARP, προκειμένου να βελτιώσει την αισθητηριακή υποστήριξη, που παρέχεται στον εκπαιδευόμενο (Santos, O. C., et al., 2016).

Ένα προχωρημένο αυτοματοποιημένο σύστημα εκπαίδευσης σχεδιάστηκε για να αναγνωρίζει τις συμπεριφορές των μαθητών, χρησιμοποιώντας ένα robot, που ονομάζεται Pepper, με βάση το πρωτόκολλο BERI (Behavioural Engagement Related to Instruction). Αυτό το πρωτόκολλο, που προέρχεται από μη δομημένες παρατηρήσεις σε μεγάλες τάξεις, προσδιορίζει μοτίβα εμπλοκής συμπεριφοράς, όπως εστιασμένη ακρόαση και ενεργή αλληλεπίδραση με τον εκπαιδευτή. Αντίθετα, τα σημάδια έλλειψης αλληλεπίδρασης με το μάθημα, όπως περιγράφονται στο πρωτόκολλο, περιλαμβάνουν κλειστά μάτια, έλλειψη εστίασης, κακή στάση σώματος και εκφράσεις του προσώπου που δεν ανταποκρίνονται. Το σύστημα αναγνώρισης συμπεριφοράς περιλαμβάνει μια μονάδα ανίχνευσης πολλαπλών αντικειμένων, μια μονάδα εκτίμησης θέσης και μια μονάδα ταξινόμησης ενεργειών. Μετά από δοκιμή διαφόρων ταξινομητών σε ένα σύνολο δεδομένων 2331 εικόνων, το μοντέλο επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου με ακολουθίες 5 εικόνων έδειξε την καλύτερη απόδοση. Αυτό το μοντέλο αξιοποιεί τις χρονικές πληροφορίες για να βελτιώσει την ακρίβεια και να εξομαλύνει άσχετες κινήσεις. Το πακέτο ανάπτυξης λογισμικού (SDK) παρέχει πρόσβαση σε όλες τις δυνατότητες των Pepper και NAO, που είναι αντίστοιχο ρομπότ από τεχνολογικής απόψεως με τον Pepper, και είναι διαθέσιμο σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως Python, C++, Java και Javascript. Βέβαια, υπάρχει και μια ενσωματωμένη προσθήκη για Android Studio, που κάνει τον Pepper συμβατό με εφαρμογές Android και επιτρέπει την ανάπτυξη σε Java ή Kotlin. Το μοντέλο υφίσταται στο ρομπότ Pepper, το οποίο μέσω ενσωματωμένης κάμερας, η οποία όμως φαίνεται σαν μάτια στο πρόσωπο του ρομπότ, και μικροφώνου λαμβάνει βίντεο και ήχο ως είσοδο για αναγνώριση συναισθημάτων και συμπεριφοράς. Το ρομπότ αντιδρά με τους ανθρώπους και συνθέτει τόσο την ομιλία όσο και τις κινήσεις με βάση τις παρατηρούμενες συμπεριφορές. Για παράδειγμα, ως απάντηση σε μια συμπεριφορά ανύψωσης χεριού, ο Pepper απλώνει το δεξί του χέρι και λέει «παρακαλώ!». Σε περίπτωση, που παρατηρηθεί ότι ο μαθητής κοιμάται, ο

δάσκαλος ρομπότ στέκεται με τα χέρια σε στάση ακίμπο (τοποθετεί τα χέρια στους γοφούς με λυγισμένους αγκώνες) και ρωτά «είσαι κουρασμένος;». Το σύστημα καθορίζει τη συμπεριφορά, στην οποία θα ανταποκριθεί με βάση τις παρατηρήσεις της πλειοψηφίας των μαθητών, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση τους εντός των οπτικών περιοχών του Pepper. Η ενοποίηση με το σύστημα αναγνώρισης επηρεασμού, δηλαδή του τρόπου που επηρέασε ο Pepper την τάξη, έχει προγραμματιστεί για περαιτέρω δοκιμή και αξιολόγηση. Επιπλέον, το ρομπότ ανταποκρίνεται στις αρνητικές συναισθηματικές καταστάσεις των μαθητών, όπως «αποσπασμένοι» ή «μπερδεμένοι», υιοθετώντας συγκεκριμένες στάσεις, προσαρμόζοντας την ένταση της ομιλίας και ενσωματώνοντας οπτικές ενδείξεις, όπως ένα κόκκινο LED που αναβοσβήνει για να αντιμετωπίσει και να προσαρμοστεί στη συναισθηματική τους κατάσταση. Οι συνεχείς δοκιμές και αξιολογήσεις θα ακολουθήσουν τη διαδικασία ολοκλήρωσης με το σύστημα αναγνώρισης επηρεασμού. Επιπροσθέτως, για την αναγνώριση των επιδράσεων από τις εκφράσεις του προσώπου χρησιμοποιείται το Microsoft Face API, αλλά η κατανόηση αυτών των εκφράσεων σε ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο παραμένει πρόκληση. Για κάθε πρόσωπο που ανιχνεύεται, το Microsoft Face API επιστρέφει τιμές έντασης για οκτώ από τα βασικά συναισθήματά του (ευτυχία, έκπληξη, αηδία, θλίψη, θυμός, φόβος, περιφρόνηση και ουδέτερο). Αυτές οι τιμές, αποθηκευμένες σε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών, στη συνέχεια ταξινομούνται περαιτέρω από τον αλγόριθμο σε τέσσερις συναισθηματικές καταστάσεις, που σχετίζονται με ένα πλαίσιο μάθησης (σύγχυση, ενδιαφέρον, διάσπαση της προσοχής και κανονική). Επιπλέον, ο Pepper μπορεί να κάνει διαγωνίσματα πολλαπλής επιλογής σε μαθητές ή να απαγγέλει συγκεκριμένα κείμενα, που υπάρχουν στη βάση γνώσης του. Έτσι, μπορεί να διδάσκει και να εξετάζει τα προεπιλεγμένα θέματα του προγραμματιστή, καλλιεργώντας παράλληλα μια προσδιορισμένη κριτική σκέψη και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων. Ωστόσο, συνήθως τα ρομπότ υποστηρίζουν τους δασκάλους στην τάξη και δεν κάνουν μόνα τους μάθημα, αλλά υπό εποπτεία (Shi, Y., et. al, 2019).

Οι μαθητές έλαβαν οδηγίες να θεσπίσουν συγκεκριμένες συναισθηματικές καταστάσεις με 50 δείγματα που συλλέχθηκαν για κάθε κατάσταση, σχηματίζοντας το επισημασμένο σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση ενός ταξινομητή K-Nearest Neighbors. Η ταξινόμηση της τελικής συναισθηματικής κατάστασης περιλαμβάνει ένα μηχανισμό συρόμενου παραθύρου, που απαιτεί η κατάσταση, για να ανιχνεύεται με συνέπεια τρεις φορές διαδοχικά. Σε περιπτώσεις που ανιχνεύονται πολλοί μαθητές η κατάσταση του κοινού προσδιορίζεται με την πλειοψηφία. Όταν εντοπίζονται αρνητικές καταστάσεις, όπως «αποσπασμένη προσοχή» ή «σύγχυση», ο Pepper παρεμβαίνει για να μετατοπίσει τη συναισθηματική κατάσταση του κοινού σε μια ενδιαφέρουσα ή κανονική ή γενικότερα θετική. Η αρχιτεκτονική του συστήματος ενσωματώνει παρατηρήσεις από διαλέξεις βίντεο, για να συνθέσει ένα σύνολο επιθυμητών συμπεριφορών (15 στάσεις σώματος) ως πιθανές απαντήσεις στις αρνητικές συναισθηματικές καταστάσεις των μαθητών. Σε σενάρια, όπου αναγνωρίζονται καταστάσεις «αποσπασμένης προσοχής» ή «σύγχυσης», το ρομπότ δάσκαλος υιοθετεί τυχαίες στάσεις. Για επίμονη απόσπαση της προσοχής, το ρομπότ προσαρμόζεται, μιλώντας πιο δυνατά ή αναβοσβήνει ένα κόκκινο LED. Σε περιπτώσεις παρατεταμένης σύγχυσης το ρομπότ επιβραδύνει την ομιλία του και εισάγει μεγαλύτερες παύσεις μεταξύ των προτάσεων. Η αξιολόγηση του συστήματος

έγινε με 16 συμμετέχοντες ομαδοποιημένους σε τέσσερα σεντ των τεσσάρων μαθητών. Κάθε ομάδα εκπαιδεύτηκε μέσω διάλεξης με τρεις τρόπους με τυχαία σειρά. Ο Pepper παρέδωσε μια διάλεξη πρώτα χωρίς αλληλεπίδραση με το κοινό, δεύτερον με το να εκτελεί τυχαία επιθυμητές συμπεριφορές σε διάστημα 15 δευτερολέπτων και τρίτον με το να ανταποκρίνεται στις συναισθηματικές καταστάσεις των μαθητών με επιθυμητές συμπεριφορές. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο, που αξιολογούσαν την κατανόηση της διάλεξης και τις αντιλήψεις τους για τη συμπεριφορά του ρομπότ. Τα αποτελέσματα δεν δείχνουν καμία σημαντική διακύμανση στην κατανόηση της διάλεξης με βάση τη συμπεριφορά του Pepper. Ωστόσο, όσον αφορά την ενασχόληση (όπως μετράται από το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων), ο τρίτος τρόπος, όπου ο Pepper ανταποκρίθηκε σε συναισθηματικές καταστάσεις, έδειξε καλύτερα αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, οι περισσότεροι συμμετέχοντες εξέφρασαν προτίμηση για τη συμπεριφορά του ρομπότ στον τρίτο τρόπο διδασκαλίας (Shi, Y., et. al, 2019).



Εικόνα 9 – Οι αντιδράσεις του ρομπότ στις αναγνωρισμένες συμπεριφορές των μαθητών, όταν σηκώνουν χέρια (επάνω εικόνα) και όταν κοιμούνται (κάτω εικόνα)

Ευφυή συστήματα για άτομα με ειδικές ανάγκες

Τα ρομπότ Pepper και NAO, που περιγράφηκαν προηγουμένως, δεν περιορίζονται μόνο στην κλασική εκπαίδευση, αλλά επεκτείνουν τη βοήθειά τους σε άτομα με αυτισμό. Υπάρχουν πολλά έργα και projects, που έχουν χρησιμοποιηθεί για τέτοιες περιπτώσεις, εκ των οποίων ένα από αυτά επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και εφαρμογή ενός συστήματος θεραπείας και διδασκαλίας τρόπου συμπεριφοράς μέσω ρομπότ για παιδιά με διαταραχή του φάσματος του αυτισμού. Ειδικεύεται σε εκείνα με ήπια έως μέτρια βαρύτητα αυτισμού και ελάχιστες λεκτικές ικανότητες. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα ρομπότ NAO μαζί με μια κινητή οθόνη για να

παρουσιάσει συναισθηματικές ενδείξεις και να ζητήσει τις κατάλληλες συναισθηματικές αντιδράσεις από τα παιδιά. Υπενθυμίζεται, ότι το ρομπότ αντιλαμβάνεται τις συναισθηματικές εκφράσεις μέσω κάμερας (που είναι τα μάτια του ρομπότ) και ενσωματωμένου μικροφώνου. Οι κύριοι στόχοι του έργου είναι η βελτίωση των μαθησιακών ικανοτήτων των αυτιστικών παιδιών (ενίσχυση της επικοινωνίας και της αλληλεπίδρασης) και η αύξηση της διάρκειας και της ποιότητας προσοχής τους κατά τη μάθηση με το ρομπότ. Το σύστημα αξιολογεί την προσοχή των παιδιών (όταν αυτά έχουν οπτική επαφή στο ρομπότ), τις ηχητικές αποκρίσεις και την ανίχνευση συναισθημάτων σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας ποσοτικά μέτρα για την αναπαράσταση του βαθμού της διάσπασης προσοχής του παιδιού. Ένα σενάριο ελέγχου απόδοσης του συστήματος, που αποτελείται από 13 ενότητες, επιτρέπει προσαρμοσμένες αλληλεπιδράσεις με βάση το ιστορικό βαθμολόγησης της προσοχής κάθε παιδιού, παρέχοντας μια εξατομικευμένη εμπειρία. Οι συνεδρίες επικεντρώνονται στην εκμάθηση χαιρετισμού, λεξιλογίου που σχετίζεται με χρώματα και αντικείμενα και της συμμετοχής σε δραστηριότητες κινητικών δεξιοτήτων με μια εφαρμογή γιόγκα. Το ρομπότ χρησιμεύει ως βοηθός δασκάλων και ειδικών, παρέχοντας οδηγίες, ανατροφοδότηση και καθοδήγηση στα παιδιά κατά τη διάρκεια αυτών των εκπαιδευτικών συνεδριών. Στη μελέτη συμμετείχαν 11 αγόρια, που είχαν διαγνωστεί με ήπιο έως μέτριο αυτισμό με μέση ηλικία τα 9 έτη. Το ρομπότ εξοπλισμένο με ένα κινητό τηλέφωνο στο στήθος για συναισθηματικές ενδείξεις συμμετείχε σε αλληλεπιδράσεις ένα προς ένα με τα παιδιά (David Cohen, 2022).

Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η παρέμβαση ρομπότ είχε θετικό αντίκτυπο στα επίπεδα προσοχής και τη δέσμευση (μείωση διάσπασης προσοχής) των παιδιών με την πάροδο του χρόνου. Οι αξιολογήσεις των θεραπειών έδειξαν μια αυξανόμενη τάση στα επίπεδα προσοχής και οι γονείς ανέφεραν ότι τα παιδιά τους μιμούνταν τις αποκρίσεις ρομπότ στο σπίτι. Το σύστημα αξιολόγησης της προσοχής έδειξε ακρίβεια 82,4% στην αναπαράσταση της κατάστασης προσοχής των παιδιών. Η προσαρμοστική και δυναμική φύση του σεναρίου αλληλεπίδρασης του ρομπότ σε συνδυασμό με την απεικόνιση της βαθμολογίας σε πραγματικό χρόνο συνέβαλε στη διαρκή δέσμευση και στα θεραπευτικά οφέλη. Άλλα παρόμοια έργα με το NAO με έμφαση κυρίως στην εκπαίδευση, και όχι τόσο στην ενσωμάτωση συναισθηματικής υπολογιστικής, εμπεριείχαν τη διδασκαλία γλώσσας, την ανάγνωση παραμυθιών, την εκπαίδευση ανάγνωσης από το παιδί, λεξιλόγιο (π.χ. αντικείμενα στο σχολείο, όπως πίνακας, βιβλίο, σημειωματάριο, κλπ.), καθώς και τη βελτίωση της συναισθηματικής αναγνώρισης του αυτιστικού παιδιού. Συμπερασματικά, το έργο υλοποίησε με επιτυχία ένα σύστημα παρέμβασης με τη μεσολάβηση ρομπότ για αυτιστικά παιδάκια, που είναι σχεδιασμένο με απλότητα και ευκολία στη χρήση, αξιοποιώντας τις δυνατότητες της ανθρωποειδούς ρομποτικής για την ενίσχυση της προσοχής και των κοινωνικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων. Αυτό το έργο και άλλα παρόμοια είναι πολύ πιθανό να υφίστανται ως αποτελεσματικά εργαλεία για την υποστήριξη της ανάπτυξης κοινωνικών δεξιοτήτων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με ειδικές ανάγκες (David Cohen, 2022).

Σε μια εργασία υλοποιήθηκε ένα framework για την αναγνώριση των ατόμων με ανάγκη για ειδική αγωγή. Αρχικά γίνεται εγγραφή ενός μαθητή και ο δάσκαλος τον κατηγοριοποιεί στην πρώτη τάξη, που είναι πιο εύκολη, ή στη δεύτερη τάξη, που

είναι πιο δύσκολη. Το σύστημα είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα, που αποτελείται από δεκαεπτά ερωτήσεις. Τα χαρακτηριστικά εισόδου, που λαμβάνονται υπόψη για τη διαδικασία ταξινόμησης σε άτομο με ειδικές ανάγκες ή όχι, είναι η φωνολογική επίγνωση, η γνώση γραφής και ανάγνωσης, η ικανότητα τυχαίας ονοματοδότησης, η ευχέρεια και η ένταση. Ακόμα, οι κινητικές δεξιότητες, η γνώση του χώρου, η ορθογραφία και η αναγνωσιμότητα είναι χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη. Επί παραδείγματι, με βάση αυτές τις δεξιότητες μπορεί να γίνει αναγνώριση της δυσλεξίας. Ο χρόνος και η βαθμολογία των σωστών απαντήσεων καταγράφονται για κάθε μαθητή και ταξινομούνται στη συνέχεια. Η ταξινόμηση από το σύστημα γίνεται με ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής νευρωνικών δικτύων Fuzzy min-max, για να ελέγξει την απόδοση των μαθητών στην προκαταρκτική δοκιμή. Ένα προφίλ στο τέλος θα δημιουργηθεί με βάση ασαφείς περιορισμούς συστήματος, ασαφείς κανόνες και την αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων. Τέλος, η αξιολόγηση του υλοποιημένου νευρωνικού δικτύου FMM πραγματοποιείται με τη χρήση t-Test. Πριν τη χρήση του λογισμικού οι μαθητές πήραν συνέντευξη για τη δημιουργία προφίλ δεδομένων του κάθε μαθητή. Οι μαθητές που δοκίμασαν το framework προέρχονται είτε από το Ηνωμένο Βασίλειο, οι οποίοι νοσηλεύθηκαν στο ψυχοθεραπευτικό κέντρο Doon, είτε από δημόσια σχολεία της περιοχής Dehradun της Ινδίας. Συμπεριλήφθηκαν συνολικά εικοσιτέσσερις μαθητές (δεκαπέντε αγόρια και εννέα κορίτσια) με μέσο όρο ηλικίας επτά ετών και μόνο εννέα από τους εικοσιτέσσερις μαθητές χαρακτηρίστηκαν άτομα με νοητική αναπηρία. Τα πιθανά αποτελέσματα ή αλλιώς οι κατηγορίες ταξινόμησης ήταν η πιθανότητα δυσλεξίας, δυσκολίας γραφής ή μαθηματικού υπολογισμού (υψηλή, μέτρια, χαμηλή) και είχαν μεγάλη απόδοση, αφού άλλωστε ο έλεγχος ήταν σε διδασκαλία εύκολου επιπέδου. Όμως, βασικός περιορισμός αυτής της μελέτης είναι ότι η αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων δεν αξιολογείται, ούτε συγκρίνεται με άλλες μεθοδολογίες μηχανικής και βαθιάς μάθησης για την ακρίβεια και γενικότερα την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ακόμη, η μελέτη προτείνεται για την ανάπτυξη μοντέλου μαθητή ενός συστήματος μόνο. Επιπλέον, οι στρατηγικές παράδοσης περιεχομένου του παιδαγωγικού μοντέλου και το μοντέλο τομέα του ITS δεν συζητούνται. Οι παιδαγωγικές στρατηγικές και η ανάπτυξη περιεχομένου θα επικεντρωθούν σε περαιτέρω μελέτες. Τέλος, η εργασία αυτή δε βασίζεται στην πιο αποτελεσματική στρατηγική συλλογής δεδομένων. Αυτά θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε μελλοντικές μελέτες (Dutt, S, et al., 2022).

Το «The Magic Stone» είναι ένα εκπαιδευτικό βιντεοπαιχνίδι που έχει σχεδιαστεί για να ενισχύσει τις δεξιότητες επικοινωνίας, ιδιαίτερα εστιάζοντας στην προσωπία σε άτομα με σύνδρομο Down. Αυτό το καινοτόμο παιχνίδι ενσωματώνει μια γραφική δομή περιπέτειας, που περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις χαρακτήρων, επίλυση παζλ και πλοήγηση στη σκηνή. Οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το παιχνίδι, χρησιμοποιώντας τη φωνή και το ποντίκι. Οι προτάσεις του παίχτη καταγράφονται μέσω μικροφώνου, όταν αυτό χρησιμοποιεί τη φωνή του και ο ψηφιακός βοηθός ή εκπαιδευτής αξιολογεί τις ηχογραφήσεις. Ο εικονικός βοηθός καθοδηγεί τον παίκτη και το παιχνίδι παρέχει θετικά σχόλια για να αποφευχθεί η απογοήτευση και να μετριαστεί το άγχος. Το μοντέλο μαθητή αποθηκεύει το ιστορικό αλληλεπίδρασης για την παρακολούθηση της προόδου των χρηστών. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με το χρόνο που δαπανήθηκε, τα σφάλματα που έγιναν, τις πρόσθετες και περιττές φράσεις του παίχτη, τα βοηθήματα ομιλίας που χρησιμοποιήθηκαν, τα

λανθασμένα κλικ και οι επαναλήψεις φράσεων. Οι χρήστες, καθοδηγούμενοι από έναν εικονικό βοηθό, ξεκινούν μια αποστολή για να σώσουν την πόλη τους από περιβαλλοντικό κίνδυνο, ανακτώντας μια κλεμμένη μαγική πέτρα. Η μοναδικότητα του παιχνιδιού έγκειται στην ενσωμάτωση δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη γλώσσα, όπως η ηχογράφηση προτάσεων, χρησιμοποιώντας τη φωνή του παίκτη, και η συμμετοχή σε σενάρια συνομιλίας, μαζί με μη γλωσσικές εργασίες, όπως η επίλυση παζλ. Οι μαθησιακοί στόχοι του παιχνιδιού περιλαμβάνουν διάφορες πτυχές της προσωδίας και των επικοινωνιακών δεξιοτήτων, όπως να αντιληφθούν και να διακρίνουν τους διαφορετικούς τύπους προτάσεων (δηλωτική, ερωτηματική και θαυμαστική), να δημιουργούν το κατάλληλο προσωδιακό μοτίβο (ρυθμό, τόνο, επιτονισμό) σε διάφορες περιπτώσεις ομιλίας και τον έλεγχο της έντασης της φωνής. Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει δύο βασικούς χρήστες: τον παίκτη, που είναι φυσικό άτομο με γλωσσικά ελλείμματα, και τον εκπαιδευτή, που είναι ψηφιακός βοηθός. Ο εκπαιδευτής παίζει καθοριστικό ρόλο στην καθοδήγηση και την αξιολόγηση των εγγραφών του παίκτη, διασφαλίζοντας ότι οι εκπαιδευτικοί στόχοι επιτυγχάνονται κατά τη διάρκεια των συνεδριών παιχνιδιού. Τα παιδιά με σύνδρομο Down συμμετέχουν σε συνομιλίες με χαρακτήρες, επαναλαμβάνοντας προτάσεις που σχετίζονται με τον διάλογο της εκάστοτε ιστορίας. Οι προσωδιακές δραστηριότητες στοχεύουν να μιμηθούν την προσωδία μιας πρότασης, απαιτώντας από τους παίκτες να διαμορφώσουν τον τόνο της φωνής τους για να μετακινήσουν ένα αντικείμενο στην οθόνη. Λόγου χάρι, ο αλγόριθμος ελέγχει την πιθανότητα πρόβλεψης μιας λέξης που είπε ο χρήστης. Αν αυτή είναι μεγάλη, τότε ο χρήστης μιλάει καθαρά και για αυτό υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ανίχνευσης της λέξης. Διαφορετικά ο χρήστης δε μιλάει καθαρά και πρέπει να επαναλάβει. Βέβαια, το παιχνίδι αυτό, όχι μόνο ενθαρρύνει την ανάπτυξη των προσωδιακών δεξιοτήτων, αλλά επίσης ενσωματώνει οπτικά στοιχεία, όπως ένα φανάρι, για να καθοδηγήσει τους παίκτες στο χρονοδιάγραμμα και τα διαλείμματα. Ο συνολικός σχεδιασμός ακολουθεί αρχές, που αποδεδειγμένα είναι αποτελεσματικές για τη διδασκαλία ατόμων με σύνδρομο Down, ενσωματώνοντας οπτικές ενδείξεις και προσαρμόζοντας τα επίπεδα δυσκολίας για την ικανοποίηση των ατομικών αναγκών (González-Ferreras, et al., 2017).

Το παιχνίδι εκπαίδευσης είχε πολλές δοκιμές με δεκατέσσερις συμμετέχοντες με σύνδρομο Down και είκοσι άτομα χωρίς σύνδρομο Down (δέκα παιδιά και δέκα ενήλικες). Η αξιολόγηση περιελάμβανε αντικειμενικές και υποκειμενικές μεθόδους, συνδυάζοντας καταγραφή δεδομένων εντός του παιχνιδιού, ερωτηματολόγια μετά το παιχνίδι και ανατροφοδότηση από λογοθεραπευτές και δασκάλους ειδικής αγωγής. Τα αποτελέσματα έδειξαν φυσικά διαφορές στις δυσκολίες αλληλεπίδρασης μεταξύ των ομάδων χρηστών με τα άτομα με σύνδρομο Down να παρουσιάζουν μεγαλύτερους χρόνους αναπαραγωγής και υψηλότερα ποσοστά σφαλμάτων. Τα επίπεδα δέσμευσης ήταν υψηλά, όπως παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των συνεδριών και αναφέρθηκε από τους δασκάλους. Η προσωδία των παιδιών με σύνδρομο Down είχε χαρακτηριστεί πριν και μετά τις δοκιμές του παιχνιδιού και παρατηρήθηκε βελτίωσή της μετά το παιχνίδι. Η προσωδία αξιολογήθηκε μέσω ενός τεστ αντίληψης ABX (perception test), συγκρίνοντας την πρώτη και την τελευταία παραγωγή μιας συγκεκριμένης πρότασης και επιβεβαιώθηκε η καλύτερη της από τις απόψεις των δασκάλων. Η ποιοτική ανατροφοδότηση από τους δασκάλους εστιαζόταν σε πτυχές, όπως η χρήση παύσεων και ο έλεγχος του τονισμού. Ωστόσο,

αυτή η ανατροφοδότηση είναι περιγραφική και δεν παρέχει συγκεκριμένα ποσοτικά μέτρα των παρατηρούμενων βελτιώσεων. Παρόλα αυτά, η μεθοδολογία της έρευνας, που συνδυάζει αξιολογήσεις από ειδικούς, δοκιμές χρηστών και ποικίλες αξιολογήσεις, συνέβαλε σε μια ακριβή κατανόηση της χρηστικότητας, της δέσμευσης και του αντίκτυπου του βιντεοπαιχνιδιού στη βελτίωση της προσωδίας. Τα ευρήματα παρέχουν πολύτιμες γνώσεις για την καθοδήγηση των μελλοντικών εξελίξεων στην εκπαιδευτική τεχνολογία για άτομα με σύνδρομο Down (González-Ferreras, et al., 2017).



Εικόνα 10 – Στιγμιότυπο του παιχνιδιού *The Magic Stone*, όπου ο παίκτης πρέπει να πει την πρόταση για να συνεχίσει τη συζήτηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Μελλοντική προσέγγιση

4.1 Μελλοντικές βελτιώσεις παιδαγωγικής αποτελεσματικότητας

Στο μέλλον τα διαδικτυακά περιβάλλοντα μάθησης θα χρειαστεί να υποστούν σημαντικές βελτιώσεις για να εξασφαλίσουν μια αποτελεσματική και συναισθηματικά συναρπαστική εκπαιδευτική εμπειρία. Με βάση τις γνώσεις από τις πρόσφατες έρευνες είναι ανάγκη να σχεδιαστούν συστήματα ηλεκτρονικής μάθησης, που όχι μόνο θα παρέχουν περιεχόμενο ικανό να συμβάλει στην εκπαίδευση του χρήστη, αλλά και να δίνουν προτεραιότητα στη συναισθηματική ευημερία των μαθητών. Οι τεχνολογίες αναγνώρισης συναισθημάτων, όπως η ανάλυση εκφράσεων προσώπου και η παρακολούθηση χειρονομιών, μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην κατανόηση των συναισθηματικών καταστάσεων των μαθητών και στην προσαρμογή της μαθησιακής διαδικασίας ανάλογα. Επιπλέον, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης και των τεχνικών βαθιάς μάθησης θα πρέπει να είναι κεντρικό σημείο εστίασης, κυρίως στον τρόπο βελτίωσης των αλγορίθμων και των μοντέλων εκπαίδευσης. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν εξατομικευμένες και συναισθηματικά ανταποκρινόμενες μαθησιακές εμπειρίες, ακόμα και σε άτομα με ειδικές ανάγκες. Επιπρόσθετα, στο εξελισσόμενο τοπίο της διαδικτυακής εκπαίδευσης η δημιουργία ενός αρμονικού συνδυασμού μεθόδων σύγχρονης και ασύγχρονης μάθησης μπορεί να καλύψει ένα ευρύ φάσμα προτιμήσεων των μαθητών, προσφέροντας τόσο την αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο όσο και την ευέλικτη μάθηση. Η μάθηση που γίνεται μόνο με έναν τρόπο αποτελεί μονότονη εκπαίδευση, καθόσον αυτή εξαρτάται πολύ από το περιβάλλον, τουτέστιν το χώρο και τα άτομα που υπάρχουν. Με άλλα λόγια, η επανειλημμένη απουσία ατόμων κατά την εκπαίδευση δε βοηθάει το μαθητή να αποδίδει στο μάθημα, καθόσον η έλλειψη κοινωνικοποίησης αποτελεί και μείωση κινήτρων και τάση προς κλείσιμο προς τον εαυτό του. Ταυτόχρονα, όμως, μπορεί να αποτελέσει αφορμή για ξεκούραση η μερικώς εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Όταν, ωστόσο, η τελευταία γίνεται σε μεγάλο βαθμό, λόγω της έλλειψης κοινωνικοποίησης και της άμεσης και ζωντανής επαφής και διάδρασης μειώνεται και η ανάγκη για έκφραση συναισθημάτων. Και καθώς τα συναισθήματα συνδέονται εγγενώς με τα κίνητρα και τα μαθησιακά αποτελέσματα, θα χρειαστεί να βελτιωθεί η συναισθηματική κατάσταση των μαθητών. Ειδικότερα, τα θετικά συναισθήματα, όπως το ενδιαφέρον, η αγάπη, η ικανοποίηση και η χαρά, έχει βρεθεί ότι διευρύνουν το γνωστικό πεδίο των μαθητών, προάγοντας την εξερευνητική σκέψη και τη δημιουργικότητα. Αντίθετα, τα αρνητικά συναισθήματα μπορούν να περιορίσουν την εστίαση και να μειώσουν τη δέσμευση, επηρεάζοντας τα μαθησιακά αποτελέσματα. Τα συναισθήματα διασταυρώνονται επίσης με τα στυλ μάθησης, τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας και τις ατομικές διαφορές, τα οποία είναι ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό περιβαλλόντων ηλεκτρονικής μάθησης. Λόγου χάρι, εάν εντοπισθεί ένας μαθητής που κοιμάται στην τάξη, μπορεί να λαμβάνει μια ειδοποίηση ο δάσκαλος για να διαχειριστεί την κατάσταση. Επομένως, στόχος είναι να καλλιεργηθεί ένα υποστηρικτικό και συναισθηματικά «συνειδητοποιημένο» μαθησιακό περιβάλλον, που μεγιστοποιεί τη συμμετοχή, την ικανοποίηση και την απόδοση των μαθητών. Οι μελλοντικές προσπάθειες θα χρειαστεί επίσης να περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ολοκληρωμένων

συνόλων δεδομένων για την εκπαίδευση μοντέλων αναγνώρισης συναισθημάτων και τη διασφάλιση της δημογραφικής ποικιλομορφίας (Imani, M., et al., 2019).

Η μάθηση στα έξυπνα συστήματα διδασκαλίας εμπνέεται και στηρίζεται στη φυσική μάθηση. Τα κίνητρα των μαθητών, ο σκοπός και το ενδιαφέρον, καθώς και το κοινωνικό και πολιτιστικό περιβάλλον είναι όλα υψηλής σημασίας. Βασικές συνιστώσες της διδακτικής, προκειμένου να θεωρηθεί ανωτέρου επιπέδου, είναι τα γεγονότα, οι δεξιότητες, οι διαδικασίες, η μνήμη για επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων. Όλα αυτά είναι εύκολο να αναπαρασταθούν στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, αλλά δεν υπάρχει ακόμα ένα πλήρες σύστημα εκπαίδευσης, που να λαμβάνει υπόψη του αυτά τα χαρακτηριστικά. Λόγου χάρη, τα γεγονότα και ο τρόπος επίλυσης, που υφίστανται κατά τη χρήση ενός τέτοιου λογισμικού, καταγράφονται σε μορφή κειμένου συνήθως ή ακόμα και σε πολυμεσική μορφή. Εξίσου σημαντικό είναι το λογισμικό να λαμβάνει υπόψη ευρετικές μεθόδους, να αποφασίζει πότε θα αλλάξει τακτική, να κρίνει τις προοπτικές κάποιας συγκεκριμένης προσέγγισης. Μέσα από επιλογή πολλαπλών σεναρίων και υποθέσεων το λογισμικό είναι σε θέση να επιλέξει μια συγκεκριμένη μέθοδο διδασκαλίας, όπως ένα διαγώνισμα, ένα βίντεο, μια συνομιλία μαθητή με υπολογιστή ανάλογα με τα ερεθίσματα του μαθητή. Η μέθοδος διδασκαλίας ορίζεται από τον προγραμματιστή, ο οποίος συμβουλευτεί έναν ειδικό στη μέθοδο διδασκαλίας. Όμως, ένα μειονέκτημα σε αυτά τα συστήματα είναι ότι οι ευρετικές μέθοδοι είναι προκαθορισμένες βάσει πιθανοτήτων και δεν είναι άπειρες. Επιπρόσθετα, οι εξειδικεύσεις στον τομέα, οι προσδοκίες ως προς το τι απαιτείται και τι είναι αποδεκτό, οι στάσεις σε διάφορες ευρείες προσεγγίσεις, για παράδειγμα η οικοδόμηση μιας επίσημης απόδειξης, είναι εξίσου βασικά χαρακτηριστικά της αποτελεσματικής διδασκαλίας. Το ευφρές σύστημα μπορεί να αξιολογεί την απόδοση των μαθητών για τις απαντήσεις τους σε διάφορα μαθήματα, συμπεριλαμβανομένων των μαθηματικών, της φυσικής, της γλώσσας, κλπ. Οι απαντήσεις δε χρειάζεται να είναι τυπικές και συγκεκριμένες πάντα, αλλά χρησιμοποιώντας μεθόδους, που προαναφέρθηκαν, ο αλγόριθμος εκτιμάει το ποσοστό και την πιθανότητα των λαθών, σύμφωνα με προκαθορισμένες απαντήσεις, οι οποίες, όμως, με την πάροδο του χρόνου βελτιώνονται και εμπλουτίζονται. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πολλά κοινόχρηστα, λόγου χάρη ανοιχτού κώδικα, ευφυή συστήματα διδασκαλίας που να αναπτύσσονται από πολλούς ερευνητές, αλλά η κάθε ερευνητική ομάδα συνήθως χτίζει ένα δικό της σύστημα και δεν υπάρχει συνεχής ανάπτυξη και βελτίωση ενός συγκεκριμένου συστήματος. Ομοίως ισχύει και για τη διαδικασία επίλυσης μιας άσκησης και για την επιχειρηματολογία, αν και αυτά τα ζητήματα δεν είναι πολύ αναπτυγμένα μέχρι στιγμής. Γενικότερα, υπάρχουν πολλά προβλήματα στην αξιολόγηση της εκπαίδευσης, όπως ο υπερβολικός όγκος βασικής εργασίας, η δυσκολία ανταλλαγής και χρήσης πηγών πληροφοριών, δυσκολία εξασφάλισης της αντικειμενικής αυθεντικότητας δεδομένων και πληροφοριών, ελλείψεις υλικό και πληροφορίες αξιολόγησης, έλλειψη ολοκληρωμένου σχεδιασμού αξιολόγησης και ανεπαρκής βασική κατασκευή. Κατά τη μελλοντική ανάπτυξη ευφυών συστημάτων εκπαίδευσης θα χρειαστεί να ληφθούν υπόψη οι παραπάνω παράγοντες για τη βελτιστοποίηση της διδασκαλίας (Gao, B., 2022).

Όσον αφορά τις εναλλαγές των συναισθημάτων, οι μαθητές είναι πιο πιθανό να παραμείνουν στην ίδια συναισθηματική κατάσταση, εάν δεν παρέχεται παρέμβαση

από ανθρώπινο συνήθως παράγοντα. Μολαταύτα, και η παρέμβαση από υπολογιστικό παράγοντα μπορεί να φανεί χρήσιμη, ώστε να υπάρχει ροή συναισθημάτων και συνεπώς έλλειψη ατονίας στο μάθημα. Βέβαια, αυτή η τάση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα έντονη για μαθητές σε αρνητικές συναισθηματικές καταστάσεις. Για παράδειγμα, οι απογοητευμένοι μαθητές είναι πολύ πιθανό να περάσουν σε σύγχυση ή φόβο και είναι ιδιαίτερα απίθανο να μεταβούν σύντομα σε μια θετική κατάσταση, όπως ενθουσιασμό. Επίσης, οι μαθητές που βιώνουν θετική κατάσταση, είναι πιθανόν να περάσουν σε σύγχυση, η οποία μπορεί να θεωρείται χρήσιμη για τη μάθηση, καθώς γεννάει ερωτήσεις και προβληματίζει. Μολαταύτα, είναι εξίσου πιθανό να μεταβληθούν από τη μπερδεμένη κατάστασή τους στην πιο αρνητική κατάσταση της απογοήτευσης. Μάλιστα, η ενσωμάτωση πολλαπλών τρόπων λήψης συναισθηματικών δεδομένων, όπως εκφράσεις προσώπου, τόνος φωνής και κείμενα, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της αναγνώρισης σύνθετων συναισθημάτων. Ο συνδυασμός αυτών των τρόπων δε συνηθίζεται στα υπάρχοντα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, ενώ μπορεί με μεγάλη πιθανότητα να προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της συναισθηματικής κατάστασης ενός χρήστη. Βασική στρατηγική εκπαίδευσης για τη διαχείριση της παρουσίας συναισθημάτων στην εκπαίδευση, ιδιαίτερα του αρνητικού, είναι η εστίαση σε θετικές σκέψεις. Ένας μαθητής με θετική διάθεση θα έβλεπε έναν χαμηλό βαθμό σε ένα τεστ μαθηματικών ως σημάδι ότι πρέπει να εργαστεί σκληρότερα, ενώ ένας άλλος μπορεί να το δει ως απόδειξη ότι είναι «ανόητος». Επομένως, χρειάζεται να τίθενται στόχοι για βελτίωση των γνώσεων, για νοητική και γνωσιακή ικανοποίηση και για ανταμοιβή και έπαινο μέσα από την επιτυχία. Η συνεργασία με ειδικούς στην ψυχολογία, τις νευροεπιστήμες και την αλληλεπίδραση ανθρώπου υπολογιστή έχει μεγάλη σημασία για την ενημέρωση της ανάπτυξης πιο συναισθηματικά ευφών συστημάτων. Επιπλέον, ο συναισθηματικός υπολογισμός μπορεί να βελτιωθεί με την προώθηση ενός σχεδιασμού εστιασμένου προς το χρήστη, ο οποίος να περιλαμβάνει τη συμμετοχή των χρηστών στη διαδικασία σχεδιασμού και αξιολόγησης για την καλύτερη κατανόηση των συναισθηματικών αναγκών και προτιμήσεών τους. Τα ερωτηματολόγια είναι ένας περιορισμένος τρόπος απόκτησης δεδομένων και θα χρειαστεί συνεχής και αυτόματη χρήση και ανατροφοδότηση σε ένα τέτοιο σύστημα διδασκαλίας. Εξίσου ενδιαφέρον να ληφθεί υπόψη είναι, ότι τα αποτελεσματικά υπολογιστικά συστήματα μπορούν να μην περιορίζονται στην αναγνώριση συναισθημάτων, αλλά να βοηθούν τους χρήστες να διαχειρίζονται τα συναισθήματά τους. Λόγου χάρη, σε περιπτώσεις που ένας μαθητής αγχώνεται υπερβολικά σε ένα διαγώνισμα, μπορεί να σταματήσει το διαγώνισμα και να αρχίσει μια άσκηση χαλάρωσης από το υπολογιστικό σύστημα. Ή σε μια περίπτωση κρίσης πανικού μπορεί να ειδοποιηθεί κατάλληλο άτομο, όπως ένας ιατρός, για την άμεση βοήθεια του αυτοδιδασκόμενου ατόμου. Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η διαχείριση ακραίων και επικίνδυνων σεναρίων, εφόσον το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιείται και από άτομα με ειδικές ανάγκες και συχνά χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου παράγοντα.

4.2 Ζητήματα ηθικής και απορρήτου

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η χρήση αυτών των αλγορίθμων για την ανίχνευση αυτισμού ή συνδρόμου Down ή κάποιας άλλης ειδικής ανάγκης είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται με σεβασμό στην ιδιωτική ζωή και για άλλους ηθικούς λόγους. Ο εντοπισμός πιθανών στοιχείων αυτισμού από ένα έξυπνο εκπαιδευτικό σύστημα δεν είναι μια διάγνωση, αλλά μάλλον ένας τρόπος επισήμανσης στους μαθητές, αναφορικά με τον τρόπο που μπορούν να επωφεληθούν από περαιτέρω αξιολόγηση και υποστήριξη από εκπαιδευμένους επαγγελματίες. Συνεπώς, η απόκτηση ενημέρωσης από ειδικούς και συγκατάθεσης από τους γονείς ή τους υπευθύνους του μαθητή και η διασφάλιση του απορρήτου και της ασφάλειας των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας κατά την εφαρμογή τέτοιων αλγορίθμων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Άλλωστε, πάντα θα πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στην ηθική και υπεύθυνη χρήση των συναισθηματικών δεδομένων, διασφαλίζοντας το σεβασμό του απορρήτου και της συναίνεσης των χρηστών. Τα διαφανή και ισχυρά μέτρα ασφάλειας δεδομένων είναι απαραίτητα για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών και των ενδιαφερομένων. Είναι επίσης σημαντικό οι χρήστες να είναι καλά ενημερωμένοι σχετικά με τον τρόπο συλλογής, επεξεργασίας και χρήσης των συναισθηματικών τους δεδομένων, ώστε η συναίνεσή τους αν είναι ενσυνείδητη. Γι' αυτό και είναι αναγκαίος ο σχεδιασμός νομικών πλαισίων που προσανατολίζουν το σωστό τρόπο διαχείρισης αυτών των δεδομένων και τη σωστή ενημέρωση των χρηστών. Μάλιστα, είναι ανάγκη να καθοριστούν σαφείς γραμμές λογοδοσίας, προκειμένου να καθοριστεί ποιος είναι υπεύθυνος για τα αποτελέσματα και τις αποφάσεις που λαμβάνονται από τα εκπαιδευτικά συστήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται για ευαίσθητες ομάδες ατόμων με ειδικές ανάγκες. Με άλλα λόγια, κάθε διαχειριστής ενός ευφυούς συστήματος εκπαίδευσης χρειάζεται να είναι σε θέση να λογοδοτήσει για τις ενέργειές του (υλοποίηση του συστήματος) και τις ενέργειες του συστήματος. Επιπρόσθετα, οφείλει να συμμορφώνεται με τα νομικά πλαίσια και να σέβεται την ιδιωτικότητα των χρηστών, όπως ορίζεται από το γενικό κανονισμό προστασίας προσωπικών δεδομένων. Ακόμη, κρίνεται αναγκαίο, οι αλγόριθμοι να είναι διαφανείς και να παρέχονται εξηγήσεις για τις αποφάσεις τους. Τέλος, είναι απαραίτητο οι χρήστες να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν σχόλια και να προτείνουν πιθανές βελτιώσεις στο σύστημα διδασκαλίας σε περίπτωση που έχουν αρνητικές μαθησιακές ή συναισθηματικές εμπειρίες. Οι προγραμματιστές θα πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς για την αντιμετώπιση και τη διόρθωση αυτών των προβλημάτων, με απώτερο σκοπό να αποφεύγουν την παραβίαση ανθρωπίνων δικαιωμάτων και την πιθανή ανήθικη συμπεριφορά, όπως για παράδειγμα στην παραβίαση των προσωπικών δεδομένων των μαθητών.

Επιπλέον, η συναισθηματική υπολογιστική που εφαρμόζεται στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας είναι αναγκαίο να στοχεύει σε διαπολιτισμική εκτίμηση συναισθημάτων, καθώς οι συναισθηματικές εκφράσεις και τα πολιτισμικά πρότυπα μπορεί να ποικίλουν, αποκλείοντας έτσι πιθανά τυποποιημένα ή μεροληπτικά ή *biased* συμπεράσματα. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η έκφραση της χαράς, όπου σε μια κουλτούρα μπορεί να εκδηλώνεται με υψηλά φωνητικά και ενθουσιασμό, ενώ σε άλλες κουλτούρες η χαρά μπορεί να εκφράζεται με πιο συγκρατημένο τρόπο και μειωμένη φωνητική ένταση. Ομοίως, είναι διαφορετική η ερμηνεία της γλώσσας του σώματος σε διάφορες κουλτούρες. Αν ένα ευφύες σύστημα εκπαίδευσης δεν λαμβάνει υπόψη αυτές τις διαπολιτισμικές διαφορές, μπορεί να παράγει λανθασμένες

εκτιμήσεις των συναισθημάτων ή και διαστρέβλωση της ηθικής ενός πολιτισμού. Επιπρόσθετα, η ακριβής διαπολιτισμική εκτίμηση στην ανάπτυξη των συστημάτων συναισθηματικής αναγνώρισης είναι απαραίτητη για την αποφυγή προκαταλήψεων σε διαφορετικούς πολιτισμούς και κοινότητες. Αυτό ίσως να είναι εφικτό, όταν οι χρήστες και οι ενδιαφερόμενοι θα χρειαστεί να κατανοήσουν πώς ερμηνεύονται και χρησιμοποιούνται τα συναισθηματικά δεδομένα για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης στην τεχνολογία. Συμπερασματικά, μπορεί να επιτευχθεί ο εντοπισμός και ο μετριασμός πιθανών προκαταλήψεων του αλγορίθμου, που είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση δίκαιης και ισότιμης διαχείρισης της εκπαίδευσης και της συναισθηματικής κατάστασης των χρηστών σε διάφορες δημογραφικές ομάδες, αποφεύγοντας πιθανές διακρίσεις φυλής, φύλου, κατηγορίας ανθρώπου (π.χ. με ειδικές ανάγκες), κλπ.

4.3 Περιορισμοί και προκλήσεις

Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει μια σειρά από πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την ενσωμάτωση της αναγνώρισης συναισθημάτων στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας, ρίχνοντας φως στον τρόπο υλοποίησης και λειτουργίας τους, στα πιθανά οφέλη και στο ηθικό αντίκτυπό τους. Μολαταύτα, ορισμένοι περιορισμοί αξίζει να αναγνωριστούν. Πρώτον, τα κείμενα προσφέρουν μια ποικιλία προσεγγίσεων και παραδειγμάτων, αλλά επικεντρώνονται κυρίως σε μεμονωμένες περιπτώσιολογικές μελέτες και συγκεκριμένες εφαρμογές, που μπορεί να περιορίσουν τη γενίκευση των ευρημάτων τους σε ευρύτερα εκπαιδευτικά πλαίσια. Έπειτα, πολλές από τις μελέτες που αναφέρονται είναι σχετικά πρόσφατες και το πεδίο των ευφυών εκπαιδευτικών συστημάτων εξελίσσεται συνεχώς, επομένως η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητά τους και ο αντίκτυπός τους στην εκπαίδευση παραμένουν αβέβαιες. Είναι σημαντικό να υπάρξουν και άλλες έρευνες και υλοποιήσεις ευφυών συστημάτων εκπαίδευσης που ενσωματώνουν συναισθηματικό υπολογισμό, καθώς αυτές είναι λίγες, και μετά από αρκετή έρευνα και δοκιμές μπορούν να εξαχθούν πιο ακριβείς προσεγγίσεις σχεδιασμού, υλοποίησης και χρήσης αυτών των συστημάτων. Μάλιστα, αν και υπάρχουν συνδυαστικές μέθοδοι αναγνώρισης συναισθήματος στα εκπαιδευτικά συστήματα, θα μπορούσαν να στηρίζονται σε πιο πολύπλοκους συνδυασμούς με περισσότερα είδη δεδομένων. Επίσης, είναι άξιο να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις μελέτες και τα έργα που περιγράφονται αφορούν σχετικά μικρά μεγέθη δείγματος ή περιορισμένη ποικιλομορφία, όσον αφορά το δημογραφικό υπόβαθρο των συμμετεχόντων. Αυτό μπορεί να εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη γενίκευση των ευρημάτων σε μεγαλύτερους και πιο διαφορετικούς εκπαιδευτικούς πληθυσμούς. Το ίδιο μπορεί να ισχύει σε διαφορετικούς πολιτισμούς, όπως προαναφέρθηκε, και είναι ανάγκη να ληφθεί υπόψη στις μελλοντικές έρευνες. Γενικά, ίσως να θεωρηθεί πρόωμο το ερευνητικό πεδίο αυτό, διότι άλλωστε δεν υπάρχει ακόμη ένα ευρύ σύστημα εκπαίδευσης με αναγνώριση συναισθημάτων, που να έχει εφαρμοσθεί μακροχρόνια σε εκπαιδευτική μονάδα. Ένας επιπλέον περιορισμός είναι ότι, ενώ τα ηθικά ζητήματα συζητούνται αρκετά, παρέχονται ευρείες γνώσεις σχετικά με τις πιθανές προκλήσεις και απαιτούνται συζητήσεις σε μεγαλύτερο βάθος. Ομοίως, οι ηθικές συνέπειες της συλλογής και της ανάλυσης των συναισθηματικών δεδομένων των μαθητών είναι μεγάλης σημασίας. Όμως, η παρούσα εργασία δεν προσφέρει παρά

μόνο μια προκαταρκτική εξέταση αυτών των θεμάτων και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διερευνηθούν τα διακριτικά ηθικά διλήμματα που μπορεί να προκύψουν. Εν ολίγοις, η διάσταση σε νομικό και σε ηθικό πλαίσιο μπορεί να αναπτυχθεί πολύ περισσότερο, όχι μόνο εξετάζοντας την τεχνολογική διάσταση, αλλά και την εκπαιδευτική και παιδαγωγική διάσταση των έξυπνων συστημάτων διδασκαλίας. Άλλος βασικός περιορισμός είναι η γιγάντια πολυπλοκότητα στην ανθρώπινη συμπεριφορά και στα συναισθήματά του. Στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση σε βασικά συναισθήματα και εκφράσεις, αλλά η αναγνώριση ενός ευρύτερου φάσματος συναισθημάτων και του πλαισίου τους, μπορεί να είναι πρόκληση για αυτές τις τεχνολογίες. Η αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών θα είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ευφύων εκπαιδευτικών συστημάτων με παράλληλη προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ευημερίας των μαθητών και των εκπαιδευτικών.

Οι περιορισμοί του θέματος, αλλά και το ίδιο το θέμα των ευφύων εκπαιδευτικών συστημάτων φέρει προκλήσεις που είναι σημαντικό να εξεταστούν. Αρχικά, η ανθρώπινη συμπεριφορά και το ανθρώπινο συναίσθημα είναι πολύπλοκα και χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης από την επιστήμη της ψυχολογίας, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τα αίτια που προκαλούν συγκεκριμένα αποτελέσματα. Γενικά, η επιστήμη της πληροφορικής είναι ντετερμινιστική, ενώ της ψυχολογίας και της ανθρωπολογίας όχι. Ο συνδυασμός αυτών των δυο αποτελεί βασική πρόκληση για την ενσωμάτωση της συναισθηματικής υπολογιστικής σε οποιοδήποτε τομέα. Μάλιστα, ανάλογα την εποχή και το πολιτισμικό πλαίσιο αλλάζει και ο ανθρώπινος παράγοντας, γεγονός που δυσκολεύει περαιτέρω τον ακριβή προσδιορισμό των συναισθημάτων ενός ανθρώπου από τον υπολογιστή. Και τούτο, διότι ο υπολογιστής, αν και μπορεί να εκπαιδεύεται και να αναβαθμίζει τη γνώση, αυτή η γνώση στην ουσία της είναι ντετερμινιστική και συγκεκριμένη. Μια άλλη πιθανή πρόκληση είναι το κόστος υλοποίησης. Η ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων αναγνώρισης συναισθημάτων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μπορεί να απαιτήσει σημαντικές οικονομικές επενδύσεις. Το δυνητικό κόστος και οι δημοσιονομικοί περιορισμοί θα μπορούσαν να αποτελέσουν περιοριστικό παράγοντα για πολλά ιδρύματα, εάν δεν εκδηλώσουν το ανάλογο ενδιαφέρον. Εξίσου σημαντική πρόκληση είναι και η δημόσια αποδοχή της χρήσης ευφύων υπολογιστικών συστημάτων που αναγνωρίζουν συναισθήματα στην εκπαίδευση. Η ευρύτερη αποδοχή και έγκριση από τους μαθητές, τους γονείς και τους εκπαιδευτικούς φορείς είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή της συναισθηματικής αναγνώρισης σε αυτά τα συστήματα, καθώς και για τη χρήση των ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων σχετικά με το συναίσθημα ή και τις ειδικές ανάγκες των μαθητών. Βέβαια, προϋποτίθεται και η κατάλληλη συμμόρφωση με τους σχετικούς κανονισμούς των εκπαιδευτικών πλαισίων. Επιπροσθέτως, ο συνδυασμός δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως εκφράσεις προσώπου, φωνής και κειμένου για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συναισθηματικού προφίλ των μαθητών είναι τεχνικά δύσκολο, αλλά απαραίτητο για μια ολιστική κατανόηση και εφαρμογή των έξυπνων αυτών συστημάτων. Τέλος, η διεξαγωγή αυστηρών δοκιμών επικύρωσης και αξιοπιστίας για την επαλήθευση της ακρίβειας και της συνέπειας αυτών των συστημάτων σε διαφορετικά δημογραφικά στοιχεία και σενάρια μάθησης είναι μια κρίσιμη πρόκληση. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει προχωρήσει και πρόκειται να

βελτιωθεί στα επόμενα χρόνια, αλλά πρέπει να εκτιμάται και ο βαθμός ακρίβειας στη συναισθηματική υπολογιστική, κάτι στο οποίο δεν υπάρχει μέχρι στιγμής μεγάλη έρευνα και ενασχόληση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, στην παρούσα εργασία προσφέρεται μια ευρεία επισκόπηση της χρήσης των τεχνολογιών αναγνώρισης συναισθημάτων σε εκπαιδευτικά πλαίσια. Η χρήση του συναισθηματικού υπολογισμού σε ευφυή συστήματα διδασκαλίας μπορεί να παρέχει βελτίωση στις γνώσεις των μαθητών και καλύτερες και πιο εξατομικευμένες μαθησιακές εμπειρίες. Δύναται να παρέχει βοήθεια και σε άτομα με ειδικές ανάγκες, μειώνοντας σε κάποιο βαθμό τη συνεχή ανάγκη ενός ατόμου για βοήθεια και ίσως και για επίβλεψη. Οι μέθοδοι υλοποίησης των συναισθηματικών συστημάτων ποικίλουν. Η ανάλυση συναισθήματος που βασίζεται σε εικόνες γίνεται με την αναγνώριση εκφράσεων προσώπου. Το πρόσωπο και τα χαρακτηριστικά του εντοπίζονται σε μια εικόνα μέσω επεξεργασίας και απλοποίησης της εικόνας. Γίνεται ακόμα μέσω εντοπισμού συγκεκριμένων γεωμετρικών σχημάτων και αποστάσεων από την τρέχουσα εικόνα (για ταξινόμηση) με βάση τις ήδη αποθηκευμένες εικόνες με πρόσωπα (για εκπαίδευση). Συνεπώς, μπορεί να γίνει αντιστοίχιση συγκεκριμένων εκφράσεων σε συγκεκριμένα συναισθήματα, όπως λόγου χάρη το χαμόγελο στη χαρά. Παρόμοια, στην ανάλυση συναισθήματος από ήχο, αφού γίνει κάποια προεπεξεργασία του ήχου, εξετάζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία θα βρουν την αντιστοίχισή τους σε συναισθήματα. Μερικά χαρακτηριστικά υπό εξέταση είναι η ταχύτητα ομιλίας, η τονικότητα και η ένταση, αν και αυτά μπορεί να είναι υποκειμενικά ή να ποικίλουν ανά πολιτισμό. Ακόμη, στην ανάλυση συναισθήματος από κείμενο η διαδικασία ξεκινά με την προεπεξεργασία του κειμένου, η οποία περιλαμβάνει εργασίες, όπως ο διαχωρισμός του κειμένου σε λέξεις ή φράσεις, η αφαίρεση σημείων στίξης, κλπ. Έπειτα, με τη χρήση λεξικών ή τη χρήση ετικετών, κάθε λέξη μπορεί να αντιστοιχισθεί σε κάποιο συναίσθημα σε κάποιο βαθμό με κάποια πιθανότητα. Αυτές οι κατηγορίες μπορεί να περιλαμβάνουν θετικά, αρνητικά, ουδέτερα ή πιο συγκεκριμένα συναισθήματα όπως χαρά, θυμό ή λύπη. Μάλιστα, ένας αλγόριθμος μπορεί να εντοπίσει τη συμπεριφορά ενός ατόμου, η οποία κατ' επέκταση θα εξάγει συμπέρασμα για τη συναισθηματική κατάσταση του ατόμου.

Η κατηγοριοποίηση συναισθημάτων χρησιμοποιεί μια ποικιλία αλγορίθμων σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων του κειμένου, του ήχου και της εικόνας ή του βίντεο. Για την ανάλυση κειμένου ο Naïve Bayes προτιμάται συχνά, λόγω της απλότητας και της γενικότερης αποτελεσματικότητάς του σε εργασίες επεξεργασίας φυσικής γλώσσας. Η υπόθεση της ανεξαρτησίας χαρακτηριστικών, αν και «αφελής», αποδεικνύεται πλεονεκτική, όταν υπάρχει ενασχόληση με μεγάλα σύνολα δεδομένων και σχετικά απλά χαρακτηριστικά κειμένου. Από την άλλη μεριά, στην ανάλυση συναισθήματος, που βασίζεται στον ήχο, τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα παίρνουν το επίκεντρο, αξιοποιώντας την ικανότητά τους να μαθαίνουν αυτόματα και να εξάγουν σχετικά χαρακτηριστικά από αναπαραστάσεις φασματογράμματος. Καταγράφουν αποτελεσματικά εντοπισμένα χαρακτηριστικά, όπως οι παραλλαγές του τόνου, καθιστώντας τα σημαντικά για τη διάκριση συναισθηματικών σημείων ενσωματωμένα σε ηχητικά σήματα. Επίσης, στην ανάλυση συναισθήματος, που βασίζεται σε εικόνες, τα Hidden Markov Models συνεχίζουν να αποτελούν μια από τις πιο ισχυρές επιλογές, καθώς επίσης και τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα για τη μοντελοποίηση διαδοχικών δεδομένων, αποτυπώνοντας συγκεκριμένα τις χρονικές εξαρτήσεις στις εκφράσεις του προσώπου

με την πάροδο του χρόνου. Ενώ κάθε αλγόριθμος έχει τα δυνατά του σημεία και τις εφαρμογές του, η επιλογή της μεθόδου κατηγοριοποίησης συναισθήματος εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τους στόχους της κάθε εφαρμογής, από τα χαρακτηριστικά και τον όγκο των δεδομένων, στα οποία γίνεται ανάλυση, και από την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα αυτών των αλγορίθμων σε διάφορους τομείς αναγνώρισης συναισθημάτων. Η επιλογή αλγορίθμων για κάθε τύπο δεδομένων υπογραμμίζει τις διαφοροποιημένες απαιτήσεις της κατηγοριοποίησης συναισθημάτων και οι αλγόριθμοι μπορούν να εξελιχθούν και να προσαρμοστούν περαιτέρω στις απαιτήσεις της ανάλυσης συναισθήματος.

Τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας αναπτύσσονται κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο με κύριες κατηγορίες τα συστήματα διδασκαλίας στο διαδίκτυο, τα διαδραστικά συστήματα διδασκαλίας και τα ευφυή συστήματα αξιολόγησης και τα υβριδικά συστήματα διδασκαλίας. Γενικότερα, τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας υποστηρίζουν τη διαδικτυακή μάθηση και συχνά περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά, όπως διαλέξεις βίντεο, διαδραστικές ασκήσεις, ρομπότ και εξατομικευμένες μεθόδους μάθησης. Εφαρμόζονται σε σχολεία, σε αίθουσες διδασκαλίας, σε εργασιακή εκπαίδευση, σε άτομα με ειδικές ανάγκες κυρίως σε προσωπικό επίπεδο και με επίβλεψη, τόσο για τη διδασκαλία σχολικών μαθημάτων, όσο και για τους τρόπους συμπεριφοράς και τη συναισθηματική αναγνώριση. Μπορούν να καλυτερεύσουν την παρουσίαση των απαντήσεων στις ασκήσεις, να καταγράφουν τα μαθησιακά αποτελέσματα, να παρέχουν άμεση ανατροφοδότηση στους μαθητές και να αναγνωρίζουν τα συναισθήματά τους κατά τη μάθηση. Η είσοδος δεδομένων λαμβάνεται συνήθως από το πληκτρολόγιο σε μορφή κειμένου, από το μικρόφωνο, όπου η φωνή μετατρέπεται στη συνέχεια σε κείμενο, και από την κάμερα σε μορφή εικόνων. Το κείμενο αποτελεί συνήθως την απάντηση των μαθητών στις ερωτήσεις ή στις ασκήσεις, η οποία αξιολογείται από το σύστημα. Πέραν της εξέτασης της απάντησης, αν είναι σωστή ή λάθος στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, το κείμενο ή η εικόνα αναλύεται από το σύστημα, με απώτερο σκοπό να παράγει μια εκτίμηση για το συναίσθημα του μαθητή. Μετά από αυτό, το σύστημα καταγράφει το συναίσθημα και πιθανόν με βάση αυτό να αλληλεπιδράσει με το μαθητή με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαχειριστεί αποτελεσματικά το μαθητή και να τον βοηθήσει να έχει θετική ψυχολογική κατάσταση κατά τη μάθηση. Επιπλέον, ο μαθητής μπορεί να μιλήσει με τον καθηγητή, αν είναι συνδεδεμένος στο σύστημα, ή να διδαχθεί από το σύστημα με την προκαθορισμένη γνώση του. Τέλος, το έξυπνο σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει σφάλματα, όταν συμβαίνουν, και να τα δείξει στο μαθητή, είτε τη στιγμή που γίνεται το σφάλμα, είτε στο τέλος του μαθήματος.

Ωστόσο, στην πράξη η ανάπτυξη των ευφών συστημάτων διδασκαλίας είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Οι δυνατότητες που υπάρχουν είναι πολύ ισχυρές, σε θεωρικό όμως πλαίσιο κυρίως, καθόσον υπάρχει μια μεγάλη έρευνα στις μεθόδους για ανάλυση και κατηγοριοποίηση συναισθήματος. Μολαταύτα, αυτά τα ευφυή συστήματα έχουν έλλειψη αξιοποίησης μεθόδων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, ώστε να έχουν μεγάλη απόδοση και αποτελεσματικότητα, αλλά και να αξιοποιούν περίπλοκους αλγορίθμους για πιο σύνθετους υπολογισμούς. Μάλιστα, κατά κύριο λόγο υλοποιούνται αυτά τα συστήματα σε ερευνητικό επίπεδο και συνεπώς δεν υπάρχει μια συνεχής εξέλιξη όλων αυτών των συστημάτων, αλλά κάθε

έρευνα δημιουργεί τη δικιά της εφαρμογή. Σε εμπορικό επίπεδο υπάρχουν κυρίως ρομπότ ή μικροεργαλεία που αξιοποιούνται στην εκπαίδευση. Επιπροσθέτως, η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των συστημάτων αυτών είναι κυρίως ποιοτική και όχι ποσοτική, γεγονός που καθιστά υποκειμενική τη βελτίωση που παρέχουν στη μάθηση, παρότι οι περισσότεροι συμφωνούν ότι πράγματι καλυτερεύουν την εκπαιδευτική εμπειρία. Επίσης, υπάρχουν κάποια συστήματα διδασκαλίας στην ειδική εκπαίδευση, αλλά η αξιοποίησή τους είναι σε πιο πρώιμο στάδιο σε αντιπαράθεση με τα άτομα κλασικής εκπαίδευσης. Βέβαια, αυτό δικαιολογείται από τη γενικότερη έλλειψη έρευνας σε άτομα με ειδικές ανάγκες. Τέλος, η συνεχής και συστηματοποιημένη χρήση των έξυπνων συστημάτων εκπαίδευσης για πολλά χρόνια δεν υφίσταται προς το παρόν, ενώ η χρήση της θα είναι προφανώς ένας βασικός παράγοντας για την εξέλιξή τους, τόσο σε επίπεδο εκπαίδευσης, όσο και σε επίπεδο συναισθηματικής υπολογιστικής. Τα ίδια φυσικά ισχύουν και για τη συναισθηματική υπολογιστική, όπου με τη βελτίωση των μεθόδων μηχανικής μάθησης, των νευρωνικών δικτύων και γενικότερα της τεχνητής νοημοσύνης, το λογισμικό θα μπορεί να αντιλαμβάνεται, να περιγράφει και να διαχειρίζεται καλύτερα και ακριβέστερα την ποικιλομορφία των συναισθημάτων, αλλά και των συμπεριφορών του μαθητή.

Σίγουρα είναι σημαντικό να εξετάζονται πολλές και διάφορες πτυχές στα ευφυή συστήματα διδασκαλίας. Λόγου χάρη, οι περιορισμοί και οι ηθικοί παράγοντες που σχετίζονται με την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών, διασφαλίζοντας ότι χρησιμοποιούνται με υπευθυνότητα και με σεβασμό στο απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων. Ιδίως όταν υπάρχουν περιπτώσεις ατόμων με ειδικές ανάγκες ή με ενδείξεις για ψυχικά θέματα, τα συστήματα αυτά θα αποτελέσουν ένα θεραπευτικό παράγοντα που θα βοηθήσει στο πρόβλημα του μαθητή. Η ικανότητα των συστημάτων εξαρτάται από τις γνώσεις σε κάθε επιστημονικό κλάδο και από τους ειδικούς που θα παραμετροποιήσουν το λογισμικό και θα αξιολογήσουν τα αποτελέσματά του. Τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας μπορούν να βελτιώσουν την εκπαίδευση και να βοηθήσουν στη συναισθηματική διαχείριση των μαθητών, ακόμα και σε ειδικές κατηγορίες. Βέβαια, χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης και υλοποίησης, για να φτάσουν σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο, ανάλογα και με το στόχο του εκάστοτε ερευνητή.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- Abbas, E. I., Safi, M. E., & Rijab, K. S. (2017, April). Face recognition rate using different classifier methods based on PCA. In *2017 International Conference on Current Research in Computer Science and Information Technology (ICCIT)* (pp. 37-40). IEEE.
- Athanasiadis, T., Mylonas, P., Avrithis, Y., & Kollias, S. (2007). Semantic image segmentation and object labeling. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, *17*(3), 298-312.
- Bahreini, K., Nadolski, R., & Westera, W. (2012). FILTWAM-a framework for online affective computing in serious games. *Procedia Computer Science*, *15*, 45-52.
- Bahreini, K., Nadolski, R., & Westera, W. (2016). Towards real-time speech emotion recognition for affective e-learning. *Education and information technologies*, *21*, 1367-1386.
- Barron-Estrada, M. L., Zatarain-Cabada, R., & Bustillos, R. O. (2019). Emotion Recognition for Education using Sentiment Analysis. *Res. Comput. Sci.*, *148*(5), 71-80.
- Cai, L., Hu, Y., Dong, J., & Zhou, S. (2019). Audio-textual emotion recognition based on improved neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, *2019*, 1-9.
- Calvo, R. A., D'Mello, S., Gratch, J. M., & Kappas, A. (Eds.). (2015). *The Oxford handbook of affective computing*. Oxford Library of Psychology.3
- Dutt, S., Ahuja, N. J., & Kumar, M. (2022). An intelligent tutoring system architecture based on fuzzy neural network (FNN) for special education of learning disabled learners. *Education and Information Technologies*, *27*(2), 2613-2633.
- Dhruv, P., & Naskar, S. (2020). Image classification using convolutional neural network (CNN) and recurrent neural network (RNN): A review. *Machine Learning and Information Processing: Proceedings of ICMLIP 2019*, 367-381.
- Faruqe, M. O., & Hasan, M. A. M. (2009, August). Face recognition using PCA and SVM. In *2009 3rd international conference on anti-counterfeiting, security, and identification in communication* (pp. 97-101). IEEE.
- Gao, B. (2022). Research and implementation of intelligent evaluation system of teaching quality in universities based on artificial intelligence neural network model. *Mathematical Problems in Engineering*, *2022*, 1-10.
- González-Ferreras, C., Escudero-Mancebo, D., Corrales-Astorgano, M., Aguilar-Cuevas, L., & Flores-Lucas, V. (2017). Engaging adolescents with Down syndrome in an educational video game. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *33*(9), 693-712.
- Imani, M., & Montazer, G. A. (2019). A survey of emotion recognition methods with emphasis on E-Learning environments. *Journal of Network and Computer Applications*, *147*, 102423.

- Kacprzyk, J. (2012). *Advances in intelligent systems and computing*. Springer.
- Konar, A., & Chakraborty, A. (2015). *Emotion recognition: A pattern analysis approach*. John Wiley & Sons.
- Li, S. Z., Jain, A. K., Tian, Y. L., Kanade, T., & Cohn, J. F. (2005). Facial expression analysis. *Handbook of face recognition*, 247-275.
- Lim, W., Jang, D., & Lee, T. (2016, December). Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks. In *2016 Asia-Pacific signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA)* (pp. 1-4). IEEE.
- Litman, D., & Silliman, S. (2004). ITSPOKE: An intelligent tutoring spoken dialogue system. In *Demonstration papers at HLT-NAACL 2004* (pp. 5-8).
- Liu, B. (2020). *Sentiment analysis: Mining opinions, sentiments, and emotions*. Cambridge university press.
- David Cohen (2022). NAO, a humanoid robot as a therapeutic mediator for young people with autism, a SoftBank Robotics & ERM book. https://www.aldebaran.com/sites/default/files/blog/2021_NAO_Autism_EN.pdf
Accessed: 2023-12-07
- Papakostas, M., Spyrou, E., Giannakopoulos, T., Siantikos, G., Sgouropoulos, D., Mylonas, P., & Makedon, F. (2017). Deep visual attributes vs. hand-crafted audio features on multidomain speech emotion recognition. *Computation*, 5(2), 26.
- Picard, R. W. (2003). Affective computing: challenges. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), 55-64.
- Santos, O. C., Uria-Rivas, R., Rodriguez-Sanchez, M. C., & Boticario, J. G. (2016). An open sensing and acting platform for context-aware affective support in ambient intelligent educational settings. *IEEE Sensors Journal*, 16(10), 3865-3874.
- Shi, Y., Chen, Y., Ardila, L. R., Venture, G., & Bourguet, M. L. (2019, September). A visual sensing platform for robot teachers. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction* (pp. 200-201).
- Sun, G. Z., Chen, H. H., Lee, Y. C., & Giles, C. L. (1990, June). Recurrent neural networks, hidden Markov models and stochastic grammars. In *1990 IJCNN International Joint Conference on Neural Networks* (pp. 729-734). IEEE.
- Sun, Z., Anbarasan, M., & Praveen Kumar, D. J. C. I. (2021). Design of online intelligent English teaching platform based on artificial intelligence techniques. *Computational Intelligence*, 37(3), 1166-1180.
- Tao, J., & Tan, T. (2005). Affective computing: A review. In *Affective Computing and Intelligent Interaction: First International Conference, ACII 2005, Beijing, China, October 22-24, 2005. Proceedings 1* (pp. 981-995). Springer Berlin Heidelberg.

Thavareesan, S., & Mahesan, S. (2021, August). Sentiment analysis in Tamil texts using k-means and k-nearest neighbour. In *2021 10th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS)* (pp. 48-53). IEEE.

Yadollahi, A., Shahraki, A. G., & Zaiane, O. R. (2017). Current state of text sentiment analysis from opinion to emotion mining. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *50*(2), 1-33.

Γαβριηλίδης, Γ. (2022). *Ανάλυση συναισθήματος κατά τη διάρκεια εξ αποστάσεως εκπαίδευσης σε εφαρμογή android και αποστολή σε RESTful web service* (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).