



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΡΕΩΣ
ΠΑΣΧΟΝΤΑ»**

Διερεύνηση της Εφαρμογής της Υπολογιστικής Νοημοσύνης στη Διάγνωση του Κορωναϊού Covid-19

Ποζίδου Ίσκρα

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Μαντζάρης Δημήτριος, Ε.ΔΙ.Π. Υπολογιστικής Νοημοσύνης και Πληροφορικής Υγείας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. Ζακυνθινός Επαμεινώνδας, Καθηγητής Εντατικής Ιατρικής, Συντονιστής Διευθυντής ΜΕΘ, Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Λάρισας
3. Μακρής Δημοσθένης, Καθηγητής Εντατικής Ιατρικής

Λάρισα, Φεβρουάριος 2024



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΡΕΩΣ
ΠΑΣΧΟΝΤΑ»**



Inquiring the Application of Computational Intelligence in the Diagnosis of the Corona Virus Covid-19

Pozidou Iskra

Larissa, February 2024

Περίληψη

Η διάγνωση του ιού COVID-19 (Coronavirus) αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα υγείας παγκοσμίως. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τη διάγνωση της νόσου, μεταξύ των οποίων το PCR τεστ, το οποίο εφαρμόζεται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, αυτό το τεστ είναι χρονοβόρο στην παροχή αποτελεσμάτων και αμφισβητείται η ακρίβειά του, καθώς σχετίζεται με την παραγωγή ψευδώς αρνητικών/θετικών αποτελεσμάτων. Αντίστοιχα, η ακτινογραφία θώρακος (CXR) θεωρείται σημαντική μέθοδος έρευνας για την επίτευξη της διάγνωσης. Η παρούσα εργασία διερευνά τον ρόλο της υπολογιστικής νοημοσύνης στη διάγνωση της covid-19. Η εξέλιξη της πανδημίας έχει επιταχύνει την ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την αυτόματη διάγνωση του ιού. Εξετάζεται η πρόοδος και οι προκλήσεις στη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης για την ανίχνευση του ιού μέσω διάφορων μεθόδων. Τέλος, παρουσιάζονται πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και εφαρμογές στον τομέα της διάγνωσης COVID-19 με χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης.

Λέξεις – Κλειδιά: κορονοϊός, υπολογιστική νοημοσύνη, διάγνωση

Abstract

The diagnosis of the COVID-19 virus (Coronavirus) is a major health issue worldwide. There are many methods for diagnosing this disease, including the PCR test, which is widely used worldwide. However, this test is time consuming to provide results and its accuracy is questionable as it is associated with high false negative/positive results. Accordingly, chest X-ray (CXR) is considered an important investigative modality to reach the diagnosis. This bibliographic work explores the role of computational intelligence in the diagnosis of covid-19. The evolution of the pandemic has accelerated the development and use of technologies such as artificial intelligence and machine learning algorithm to automatically diagnose the virus. The progress and challenges in using artificial intelligence for virus detection through various methods are examined. Finally, potential directions for future research and applications in the field of COVID-19 diagnosis using computational intelligence are presented.

Keywords: COVID-19, computational intelligence, diagnosis

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Abstract	ii
Περιεχόμενα	iii
Κατάλογος Εικόνων	iv
Κατάλογος Πινάκων	iv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Σύντομη περιγραφή του αντικειμένου	1
1.2 Σκοπός.....	2
1.3 Οργάνωση	3
2. Εισαγωγή στην Covid-19	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Διάγνωση Covid-19.....	5
2.2 Αναγνώριση και ανίχνευση Covid-19.....	7
2.3 Ιατρική απεικόνιση.....	8
2.3.1 CT-SCAN.....	8
2.3.2 Ακτινογραφία	9
2.4 Ανίχνευση COVID-19.....	10
2.5 Μοντελοποίηση CNN	11
2.6 Βιβλιογραφική επισκόπηση	12
3. Τεχνητή νοημοσύνη	14
3.1 Deep learning και εφαρμογές.....	14
3.2.1 Μηχανική μάθηση.....	15
3.1.2 Βαθιά μάθηση.....	15
3.1.2.1 Εποπτευόμενη μάθηση.....	16
3.1.2.2 Μη εποπτευόμενη μάθηση	17
3.1.3 Διαφορές μεταξύ Μηχανικής Μάθησης και Βαθιάς Μάθησης.....	17
3.1.4 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN)	18
4. Ο ρόλος της υπολογιστικής νοημοσύνης στη διάγνωση Covid-19.....	19
4.1 Εισαγωγή στην υπολογιστική νοημοσύνη	19

4.2 Ορισμός	20
4.3 Κατηγοριοποίηση Υπολογιστικής νοημοσύνης	21
4.3.1 Νευρωνικά Δίκτυα	21
4.3.2 Ασαφής Λογική και Πιθανολογικές μέθοδοι	21
4.3.3 Εξελικτικός Υπολογισμός	22
4.3.4 Θεωρίες Μάθησης Εμπνευσμένες από τον Ανθρώπινο Τρόπο Μάθησης	23
4.4 Η Υπολογιστική Νοημοσύνη στη Διαφορική Διάγνωση	23
4.5 Μέθοδοι που βασίζονται στην υπολογιστική νοημοσύνη για τη διάγνωση COVID-19	24
5. Σύνοψη - Συμπεράσματα	28
Βιβλιογραφία.....	30

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Αρχιτεκτονική συστήματος για ανίχνευση COVID-19 με συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) (Πηγή: Haque & Abdelgawad, 2020).....	10
Εικόνα 2.2 Κύρια στοιχεία του CNN που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση του COVID-19 (Πηγή: Haque & Abdelgawad, 2020)	11
Εικόνα 3.1 Σχέση μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), Μηχανικής Μάθησης (ML) και Βαθιάς Μάθησης (DL) (Πηγή: Sevakula et al., 2020).....	16
Εικόνα 3.2 Απόδοση ML και DL (Πηγή: https://medium.com/).....	18

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Σύνοψη μεθόδων για την ανίχνευση Covid-19	13
---	----

1. Εισαγωγή

1.1 Σύντομη περιγραφή του αντικειμένου

Η νόσος Covid-19 προκαλείται από τον ιό SARS-CoV-2, ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2020 και έχει προκαλέσει παγκόσμια υγειονομική κρίση. Στις 11 Μαρτίου 2020, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας κήρυξε την παγκόσμια πανδημία (Cascella et al., 2020). Τα κύρια συμπτώματα της νόσου περιλαμβάνουν υψηλό πυρετό, βήχα και απώλεια της αίσθησης της γεύσης ή της όσφρησης. Παρά τη συνεχή ροή νέων πληροφοριών σχετικά με την εξάπλωση του ιού Covid-19, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η ασθένεια μεταδίδεται με στενή σωματική επαφή. Είναι, επίσης, ανησυχητικό το γεγονός ότι ακόμη και άτομα που δεν παρουσιάζουν συμπτώματα μπορούν να μεταδώσουν τον ιό χωρίς να το γνωρίζουν. Από την αναφορά του πρώτου κρούσματος, ο ιός κηρύχθηκε μεταδοτικός και επικίνδυνος, λόγω της εύκολης μετάδοσής του και της σοβαρότητας των επιπτώσεών του στην υγεία, κυρίως σε ευπαθείς ομάδες.

Η πανδημία του Covid-19 έχει επιφέρει τεράστιες αλλαγές στις ζωές εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως. Ξαφνικά, η καθημερινότητα έγινε απλώς μια ανάμνηση. Πολλές οικογένειες αναγκάστηκαν να αποκοπούν από τα μέλη της οικογένειάς τους προκειμένου να μη μεταφέρουν δυνητικά την ασθένεια σε ηλικιωμένους συγγενείς τους, για τους οποίους ο ιός μπορεί να έχει σοβαρές ή ακόμα και θανατηφόρες συνέπειες. Επιπλέον, απαγορεύτηκαν οι συναντήσεις σε δημόσιους χώρους (π.χ. μπαρ, εμπορικά κέντρα, αθλητικοί αγώνες). Ακόμη και τα σχολεία έκλεισαν και αναπτύχθηκε μια διαδικτυακή εναλλακτική για την εκπαίδευση των μαθητών. Παρόλο που ελήφθησαν περιοριστικά μέτρα για τη μείωση του αριθμού των κρουσμάτων Covid-19, δημιουργήθηκαν πολλά άλλα προβλήματα. Ακόμη και οι μεγαλύτερες οικονομίες σε παγκόσμιο επίπεδο δυσκολεύονται επί του παρόντος λόγω της πανδημίας. Πολλοί επιχειρηματίες αναγκάστηκαν να κλείσουν τις επιχειρήσεις τους, με αποτέλεσμα τη σημαντική απώλεια θέσεων εργασίας (Alashhab et al., 2020).

Εξαιτίας της νόσου Covid-19, πολλές χώρες και οργανισμοί αντιμετώπισαν διαφορετικά προβλήματα και κινδύνους, που έπρεπε να βρουν τρόπους να αντιμετωπίσουν (Adly, 2020). Πολλές χώρες αντέδρασαν με διαφορετικούς τρόπους στην κρίση και εξακολουθούν να αναζητούν τις καλύτερες δυνατές εναλλακτικές λύσεις. Ενώ ορισμένες από αυτές προχώρησαν γρήγορα σε αποτελεσματικά μέτρα (π.χ. καραντίνα, lockdown), άλλες χώρες υποτίμησαν την κατάσταση, γεγονός που οδήγησε σε υπερφόρτωση των νοσοκομείων και

χάος μεταξύ των ανθρώπων. «Το πρώιμο lockdown και η αυστηρή επιβολή των μέτρων αποδείχθηκαν ως οι πιο αποτελεσματικές διαθέσιμες στρατηγικές για τον περιορισμό της εξάπλωσης του ιού» (Hiscott et al., 2020).

Καθώς ο αριθμός των αρνητικών επιπτώσεων της πανδημίας αυξανόταν, πολλές κυβερνήσεις και εταιρείες επιχείρησαν να αναπτύξουν διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση και τη σταθεροποίηση της κατάστασης. Ένα από τα χρήσιμα εργαλεία που εξετάζεται εκτενώς και συζητείται είναι η τεχνητή νοημοσύνη. Πιο συγκεκριμένα, «η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αξιοποιηθεί για την πρόβλεψη της εξάπλωσης του ιού και την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης εξάγοντας πληροφορίες από πλατφόρμες μέσων κοινωνικής δικτύωσης, κλήσεις και ειδησεογραφικούς ιστοτόπους, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τις ευάλωτες περιοχές, καθώς και για την πρόβλεψη νοσηρότητας και θνησιμότητας» (Arora, 2020).

Όλοι έχουν επηρεαστεί από την πανδημία Covid-19 και τις αρνητικές συνέπειες που έχει επιφέρει. Οι υψηλότερες δυνατότητες εμβολιασμού επιτρέπουν την επιστροφή εν μέρει στην πριν από την Covid-19 καθημερινότητα. Ωστόσο, εμφανίζονται νέες παραλλαγές του ιού, για τις οποίες υπάρχουν ακόμη ελάχιστες πληροφορίες. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων που θα συνδράμουν στην καταπολέμηση τέτοιων πανδημιών τώρα και στο μέλλον.

1.2 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης της υπολογιστικής νοημοσύνης στον τομέα της ιατρικής, εστιάζοντας στη διάγνωση της νόσου Covid-19. Αναλύονται οι εφαρμογές και οι μέθοδοι της τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση και διαχείριση της νόσου, καθώς και οι προκλήσεις και οι προοπτικές που αντιμετωπίζονται σε αυτόν τον τομέα. Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στην κατανόηση του τρόπου, με τον οποίο η τεχνολογία μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαδικασίας διάγνωσης της Covid-19 και στην αντιμετώπιση της πανδημίας με πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο.

1.3 Οργάνωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται το πλαίσιο και ο σκοπός της μελέτης. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια επισκόπηση της δομής της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο για την COVID-19. Πραγματοποιείται μια γενική εισαγωγή στις μεθόδους ανίχνευσης COVID-19 και μια βιβλιογραφική επισκόπηση εργασιών που επικεντρώνονται στην αυξημένη ταυτοποίηση του Covid χρησιμοποιώντας μια ποικιλία προσεγγίσεων.

Το τρίτο κεφάλαιο εισάγει την ιδέα της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της διάγνωσης του Covid-19.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, διερευνάται η υπολογιστική νοημοσύνη και ο ρόλος που αυτή διαδραματίζει στην διάγνωση του Covid-19.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

2. Εισαγωγή στην Covid-19

2.1 Εισαγωγή

Με το ξέσπασμα μιας άγνωστης ασθένειας στα τέλη του 2019 στην Κίνα, ορισμένοι άνθρωποι μολύνθηκαν σε μια τοπική αγορά. Αρχικά, η ασθένεια ήταν εντελώς άγνωστη, αλλά οι ειδικοί διέγνωσαν τα συμπτώματά της ως παρόμοια με εκείνα της μόλυνσης από κορωνοϊό και γρίπη (Ghaderzadeh & Asadi, 2020). Μετά από εργαστηριακές εξετάσεις και αναλύσεις θετικών δειγμάτων με τεστ αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης σε πραγματικό χρόνο (PCR), επιβεβαιώθηκε η ιογενής λοίμωξη, η οποία ονομάστηκε «COVID-19» σύμφωνα με τις συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) (Böger et al., 2020).

Σε σύντομο χρονικό διάστημα, η επιδημία COVID-19 ξεπέρασε τα γεωγραφικά όρια, προκαλώντας καταστροφικές επιπτώσεις στην υγεία, την οικονομία και την ευημερία του παγκόσμιου πληθυσμού (Baker et al., 2021). Έως τις 2 Μαΐου 2023, περισσότεροι από 6,86 εκατομμύρια άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους μετά τη μόλυνση από τον αναπνευστικό ιό (Elflein, 2023).

Η έγκαιρη ανίχνευση και διάγνωση της COVID-19 είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη φροντίδα των ασθενών αλλά και για τη δημόσια υγεία. Η άμεση ανίχνευση διασφαλίζει την απομόνωση των ασθενών και την εφαρμογή μέτρων ελέγχου της μετάδοσης της νόσου, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο εξάπλωσης στην κοινότητα. Παρόλο που οι μέθοδοι καταπολέμησης της Covid -19 δεν ήταν γνωστές κατά τις πρώτες μέρες της εκδήλωσή της, οι ερευνητές κατάφεραν να την θέσουν υπό έλεγχο, καθώς και την ταχεία διάγνωση των μολυσμένων ασθενών και τον διαχωρισμό τους από την κοινότητα των υγιών ανθρώπων ως σημαντικό μέτρο (Mei et al., 2022).

Τα κλινικά χαρακτηριστικά του COVID-19 περιλαμβάνουν αναπνευστικά συμπτώματα, πυρετό, βήχα, δύσπνοια και πνευμονία. Ωστόσο, αυτά τα συμπτώματα δεν υποδηλώνουν πάντα COVID-19 και παρατηρούνται σε πολλές περιπτώσεις πνευμονίας, δημιουργώντας διαγνωστικά προβλήματα για τους γιατρούς (Baj et al., 2020).

2.2 Διάγνωση Covid-19

Η άμεση και ακριβής διάγνωση του COVID-19 είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη της εξάπλωσης της νόσου, την παροχή άμεσης ιατρικής περίθαλψης, καθώς και για τη δημιουργία δεδομένων για την εκπαίδευση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σε αυτόν τον τομέα, ιδίως κατά τη διενέργεια διαγνώσεων με βάση τις εικόνες ακτινογραφίας θώρακα. Σύμφωνα με μια πρόσφατη ανασκόπηση εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης έναντι του COVID-19, έχει αποδειχθεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να είναι εξίσου ακριβής με τους επαγγελματίες υγείας, να εξοικονομεί χρόνο για τους ακτινολόγους, να επιταχύνει τη διαδικασία διάγνωσης και να μειώσει το κόστος σε σύγκριση με τα τυπικά τεστ για τον COVID-19 (Bullock et al., 2020). Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση ακτινογραφιών θώρακα, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε αξονική τομογραφία (CT) για τη διάγνωση του COVID-19.

Ο Rosebrock (2020) παρέχει ένα σεμινάριο που επικεντρώνεται στον τρόπο εφαρμογής της βαθιάς μάθησης (Deep Learning) για τη διάγνωση του COVID-19 μέσω της ανάλυσης εικόνων ακτίνων X. Επισημαίνει ότι τα «*τεστ COVID-19 είναι ανεπαρκή και δαπανηρά*», αλλά υπογραμμίζει ότι «*όλα τα νοσοκομεία διαθέτουν εξοπλισμό ακτίνων X*». Επίσης, οι Maghdid et al. (2020), πρότειναν μια τεχνική που χρησιμοποιεί κινητά τηλέφωνα για τη σάρωση εικόνων αξονικής τομογραφίας. Αυτή η τεχνική ανοίγει νέους δρόμους για τη διάγνωση του COVID-19, καθιστώντας την πιο προσιτή και εύκολα προσβάσιμη σε πιθανούς ασθενείς και ιατρικό προσωπικό. Η χρήση κινητών τηλεφώνων για την σάρωση εικόνων αξονικής τομογραφίας μπορεί να επιτρέψει την ταχεία ανίχνευση και διάγνωση του COVID-19, ενθαρρύνοντας παράλληλα τη χρήση της τεχνολογίας σε ευρύτερη κλίμακα.

Υπάρχουν αρκετές πρωτοβουλίες που βρίσκονται σε εξέλιξη σε αυτό το πλαίσιο. Οι Wang & Wong (2020) ανέπτυξαν το COVID-Net, ένα βαθύ συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο, το οποίο μπορεί να διαγνώσει τον COVID-19 μέσω ακτινογραφιών θώρακα. Έχει εκπαιδευτεί σε δεδομένα ανοιχτού αποθετηρίου από περίπου 13.000 ασθενείς με διάφορες πνευμονικές παθήσεις, συμπεριλαμβανομένου του COVID-19. Παρόλο που το COVID-Net ανοίγει νέους ορίζοντες στη διάγνωση του COVID-19 μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, οι ίδιοι οι δημιουργοί του υπογραμμίζουν ότι «*σε καμία περίπτωση δεν συνιστά μια λύση έτοιμη για παραγωγή*», και καλούν την επιστημονική κοινότητα να την αναπτύξει περαιτέρω, εστιάζοντας στη βελτίωση της ευαισθησίας του μοντέλου, προκειμένου να επιτύχει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια στη διάγνωση του COVID-19.

Οι Chen et al. (2020b) παρουσίασαν ένα προηγμένο μοντέλο βαθιάς μάθησης για τη διάγνωση του COVID-19 από αξονικές τομογραφίες. Παρότι το μοντέλο δεν έχει ακόμη αξιολογηθεί, οι πρώτες ενδείξεις δείχνουν ότι παρουσιάζει συγκρίσιμες επιδόσεις με έναν ειδικό ακτινολόγο και βελτίωσε σημαντικά την ικανότητα των ακτινολόγων στην κλινική πράξη. Αυτό το μοντέλο φαίνεται να έχει μεγάλες δυνατότητες να ανακουφίσει την πίεση των ακτινολόγων πρώτης γραμμής, να βελτιώσει την έγκαιρη διάγνωση, την απομόνωση και τη θεραπεία και να συνδράμει έτσι στον έλεγχο της επιδημίας.

Άλλες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν αυτή των ερευνητών στο ολλανδικό Πανεπιστήμιο του Ντελφτ που κυκλοφόρησαν ένα μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) για τη διάγνωση του COVID-19 από ακτίνες X στα τέλη Μαρτίου 2020. Αυτό το μοντέλο, με την ένδειξη CAD4COVID, περιγράφεται στον ιστότοπό τους (<https://www.delft.care/cad4covid/>) ως ένα λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης που δοκιμάζει τους ύποπτους για COVID-19 σε εικόνες με ακτίνες X θώρακα. Βασίζεται σε προηγούμενα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύχθηκαν από το πανεπιστήμιο για τη διάγνωση της φυματίωσης.

Το δυναμικό δεν έχει ακόμη μεταφερθεί στην πράξη, αν και έχει αναφερθεί ότι ορισμένα κινεζικά νοσοκομεία έχουν αναπτύξει τεχνολογίες ακτινολογίας «υποβοηθούμενη από AI». Οι ακτινολόγοι αλλού έχουν εκφράσει την ανησυχία τους ότι δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα δεδομένα για την εκπαίδευση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης, ότι οι περισσότερες από τις διαθέσιμες εικόνες COVID-19 προέρχονται από κινεζικά νοσοκομεία και μπορεί να προκληθούν από μεροληψία επιλογής και ότι η χρήση αξονικών τομογράφων και ακτίνων X μπορεί να μολύνει τον εξοπλισμό και να εξαπλώσει περαιτέρω την ασθένεια. Πράγματι, η χρήση αξονικών τομογραφιών στα ευρωπαϊκά νοσοκομεία έχει έπεσε μετά το ξέσπασμα της πανδημίας, ίσως αντικατοπτρίζοντας αυτήν την ανησυχία (Ross & Robbins, 2020).

Τέλος, από τη στιγμή που η νόσος διαγνωστεί σε ένα άτομο, είναι σημαντικό να διερευνηθεί εάν και πόσο σοβαρά θα επηρεαστεί από αυτήν. Δεν θα χρειαστούν εντατική θεραπεία όλοι οι άνθρωποι που έχουν διαγνωστεί με COVID-19. Η δυνατότητα πρόβλεψης των ατόμων που θα προσβληθούν σοβαρότερα μπορεί να βοηθήσει στη στόχευση της βοήθειας και στον προγραμματισμό της κατανομής και της χρήσης ιατρικών πόρων. Οι Yan et al. (2020) χρησιμοποίησαν τη Μηχανική Μάθηση για να αναπτύξουν έναν αλγόριθμο πρόγνωσης για να προβλέψουν τον κίνδυνο θνησιμότητας ενός ατόμου που έχει μολυνθεί, χρησιμοποιώντας δεδομένα από (μόνο) 29 ασθενείς στο νοσοκομείο Tongji στο Wuhan της Κίνας. Επίσης, οι Jiang et al. (2020) παρουσίασαν μια εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης που

μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια 80% ποιος ασθενής που έχει προσβληθεί από COVID-19 έχει την πιθανότητα να αναπτύξει σοβαρές επιπλοκές, όπως σύνδρομο οξείας αναπνευστικής δυσχέρειας (ARDS). Ωστόσο, το δείγμα που χρησιμοποίησαν για την εκπαίδευση των μοντέλων τους ήταν μικρό (μόνο 53 ασθενείς) και περιοριζόταν σε δύο Κινεζικά νοσοκομεία.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης για τη διάγνωση του COVID-19 και για την πρόγνωση του τρόπου με τον οποίο οι ασθενείς μπορεί να προχωρήσουν, έχει δώσει ώθηση σε πολλές έρευνες, αλλά δεν είναι ακόμη ευρέως λειτουργική. Πιθανότατα είναι σωστό, όπως συμπεραίνει ο Coldeway (2020), «Κανείς αυτή την άνοιξη δεν πρόκειται να λάβει διάγνωση κορωνοϊού από γιατρό τεχνητής νοημοσύνης». Φαίνεται επίσης ότι συγκριτικά λιγότερη προσπάθεια είναι η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης για πολύ πρώιμους διαγνωστικούς σκοπούς, για παράδειγμα, για τον προσδιορισμό του εάν κάποιος έχει μολυνθεί πριν εμφανιστεί σε ακτινογραφίες ή αξονικές τομογραφίες ή για την εξεύρεση διαγνωστικών βάσει δεδομένων που έχουν μικρότερο κίνδυνο μόλυνσης.

2.2 Αναγνώριση και ανίχνευση Covid-19

Η μέθοδος RT-PCR θεωρείται το κυρίαρχο εργαλείο για τη διάγνωση της COVID-19 λόγω της υψηλής ευαισθησίας της. Ωστόσο, παρουσιάζει περιοριστικές πτυχές λόγω ορισμένων χαρακτηριστικών που καθιστούν δύσκολη τη διάγνωση της νόσου. Η RT-PCR αποτελεί μια χρονοβόρα, πολύπλοκη, δαπανηρή και χειροκίνητη διαδικασία. Ένα από τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ανάγκη για εργαστηριακό kit, η παροχή του οποίου είναι δύσκολη ή και αδύνατη για πολλές χώρες σε περιόδους κρίσεων και επιδημιών.

Καμία διαγνωστική και εργαστηριακή μέθοδος στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης δεν είναι απαλλαγμένη από σφάλματα, και η μέθοδος RT-PCR δεν αποτελεί εξαίρεση. Απαιτεί εξειδικευμένο τεχνικό εργαστηρίου για τη λήψη δειγμάτων από τον ρινικό και τον φαρυγγικό βλεννογόνο, η οποία μπορεί να είναι μια επώδυνη διαδικασία. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλοί άνθρωποι αρνούνται να υποβληθούν σε τεστ ανίχνευσης με ρινικό δείγμα (Lippi & Plebani, 2018).

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πολλές μελέτες έχουν καταδείξει τη χαμηλή ευαισθησία του τεστ RT-PCR. Πιο συγκεκριμένα, αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει ότι η ευαισθησία αυτής της διαγνωστικής μεθόδου κυμαίνεται μεταξύ 30% - 60%, υποδηλώνοντας μείωση της ακρίβειας της διάγνωσης του COVID-19 σε πολλές

περιπτώσεις. Ορισμένες μελέτες ανέδειξαν επίσης το ψευδώς αρνητικό ποσοστό και τα αντιφατικά αποτελέσματα (Ai et al., 2020; Oliveira et al., 2020).

Όσον αφορά στις προαναφερθείσες συνθήκες, η αξονική τομογραφία και οι ακτινογραφίες Χ αναδύονται ως χρήσιμα εργαλεία, καθώς και οι δύο χρησιμοποιούν αόρατες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την ανίχνευση οποιασδήποτε ανωμαλίας. Αυτές οι διαδικασίες χρησιμοποιούνται για την έγκαιρη ανίχνευση και έχουν υψηλή κλινική σημασία.

Οι εξετάσεις ακτινογραφίας θώρακα είναι οικονομικά προσιτές και τα αποτελέσματα είναι σχετικά εύκολα στη χρήση. Επιπλέον, είναι εύκολα διαθέσιμες, έχουν φορητές εκδόσεις και χαμηλό κίνδυνο ακτινοβολίας. Από την άλλη πλευρά, οι αξονικές τομογραφίες εμπεριέχουν υψηλότερο κίνδυνο ακτινοβολίας, είναι δαπανηρές, απαιτούν εξειδικευμένη τεχνογνωσία για τον χειρισμό τους και είναι μη φορητές. Το γεγονός αυτό καθιστά τη χρήση ακτίνων Χ προτιμότερη από τις αξονικές τομογραφίες σε πολλές περιπτώσεις.

2.3 Ιατρική απεικόνιση

Η ιατρική απεικόνιση αναφέρεται στη χρήση τεχνικών και διαδικασιών για τη δημιουργία εικόνων από διάφορα μέρη του ανθρώπινου σώματος για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς στο πλαίσιο της ψηφιακής υγείας. Είναι ζωτικής σημασίας σε κάθε ιατρικό περιβάλλον και σε όλα τα επίπεδα υγειονομικής περίθαλψης (Bercovich & Javitt, 2018). Η χρήση της ιατρικής απεικόνισης επιτρέπει στους γιατρούς να καταλήξουν σε ακριβέστερες διαγνώσεις και κατάλληλες αποφάσεις θεραπείας. Χωρίς αυτήν, τόσο η διάγνωση όσο και η θεραπεία στην ψηφιακή υγεία μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν με οποιοδήποτε επίπεδο ακρίβειας.

2.3.1 CT-SCAN

Ως εναλλακτικοί τρόποι για τη διάγνωση του COVID-19, οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν ακτινολογικές εικόνες, συμπεριλαμβανομένης της τομογραφίας με ακτίνες Χ (X-Ray) και αξονικής τομογραφίας (CT-Scans).

Οι αξονικές τομογραφίες (CT) χρησιμοποιούν έναν υπολογιστή για τη συγχώνευση 2-D εικόνων ακτίνων Χ και τη μετατροπή τους σε εικόνα 3-D. Απαιτούν εξαιρετικά εξειδικευμένο εξοπλισμό και πραγματοποιούνται στο νοσοκομείο από ειδικό ακτινολόγο. Η απεικόνιση θώρακα είναι μια γρήγορη και εύκολη διαδικασία που συνιστάται από ιατρικά

και υγειονομικά πρωτόκολλα, αναδεικνύοντάς την ως το πρώτο εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου κατά τη διάρκεια επιδημιών (Ng et al., 2020).

Σε σύγκριση με την RT-PCR, οι εικόνες CT-SCAN έχουν υψηλή ευαισθησία στη διάγνωση και τον εντοπισμό περιπτώσεων με COVID-19. Ωστόσο, η ειδικότητά τους είναι χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι η αξονική τομογραφία είναι πιο ακριβής σε περιπτώσεις COVID-19, αλλά λιγότερο ακριβής σε περιπτώσεις μη ιογενούς πνευμονίας (Kumar et al., 2021).

Το Αμερικανικό Κολλέγιο Ακτινολογίας (American College of Radiology – ACR) συνιστά ότι οι αξονικές τομογραφίες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως διάγνωση πρώτης γραμμής (ACR, 2020). Προβλήματα όπως ο κίνδυνος μετάδοσης της νόσου κατά τη χρήση συσκευής αξονικής τομογραφίας και το υψηλό κόστος της μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές επιπλοκές για τον ασθενή και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, γι' αυτό συνιστάται εάν απαιτείται ιατρική απεικόνιση, η αξονική τομογραφία να αντικαθίσταται με ακτίνες X (Chamorro et al., 2021).

2.3.2 Ακτινογραφία

Οι ακτίνες X, γνωστές και ως ακτινογραφία, χρησιμοποιούν ακτινοβολία για να παράγουν μια δισδιάστατη εικόνα του σκελετού ή άλλων εσωτερικών δομών του ανθρώπινου σώματος. Αυτές οι εξετάσεις συνήθως διενεργούνται σε νοσοκομεία, χρησιμοποιώντας σταθερό εξοπλισμό ακτινογράφου, αλλά μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν και με φορητά μηχανήματα. Είναι πολύ πιο εκτεταμένες και οικονομικά αποδοτικές συγκριτικά με τις συμβατικές διαγνωστικές εξετάσεις. Η μετάδοση μιας ψηφιακής εικόνας ακτίνων X δεν απαιτεί μεταφορά από το σημείο πρόσβασης στο σημείο ανάλυσης, γεγονός που επιτρέπει την εκτέλεση της διαγνωστικής διαδικασίας με μεγάλη ταχύτητα (Ou et al., 2021).

Η ακτινογραφία θώρακος συνιστά μια βολική και γρήγορη μέθοδο για την ιατρική αξιολόγηση των ασθενών. Σε αντίθεση με τις αξονικές τομογραφίες, η απεικόνιση με ακτίνες X απαιτεί λιγότερο σπάνιο και ακριβό εξοπλισμό. Επομένως, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος λειτουργίας (Ghaderzadeh & Asadi, 2020)

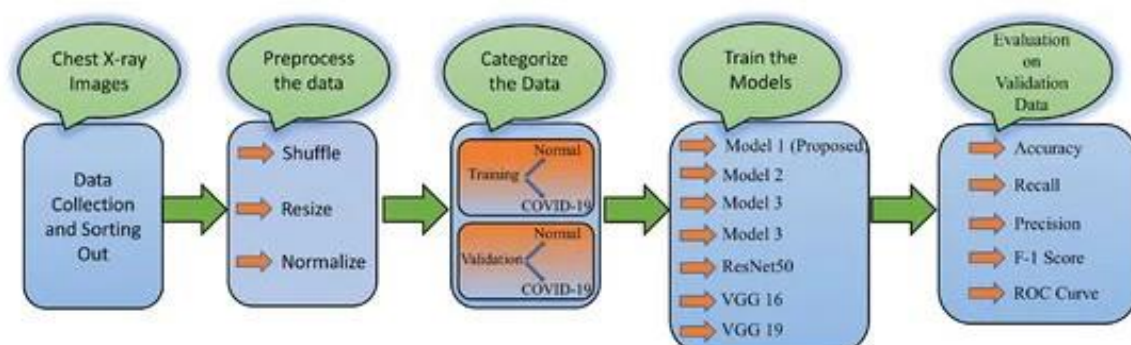
Επιπλέον, οι φορητές συσκευές ακτινογραφίας θώρακος (CXR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απομονωμένους χώρους με σκοπό τη μείωση του κινδύνου μόλυνσης που προκύπτει από τη χρήση αυτών των συσκευών σε νοσοκομεία. Πολλές ερευνητικές μελέτες έχουν καταδείξει την αποτυχία της απεικόνισης CXR στη διάγνωση του COVID-19 και στη διαφοροποίησή του από άλλους τύπους πνευμονίας (Khan et al., 2022).

Ο ακτινολόγος δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει ακτίνες X για την ανίχνευση της υπεζωκοτικής συλλογής και τον καθορισμό του όγκου της. Ωστόσο, ανεξάρτητα από τη χαμηλή ακρίβεια της διάγνωσης του COVID-19 με αυτή την μέθοδο, υπάρχουν ορισμένα ισχυρά σημεία. Για την αντιμετώπιση των περιορισμών των διαγνωστικών τεστ COVID-19 με χρήση ακτινολογικών εικόνων, έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες που επικεντρώνονται στη χρήση της βαθιάς μάθησης (Deep Learning - DL) για την ανάλυση ακτινολογικών εικόνων (Ghaderzadeh & Asadi, 2020).

2.4 Ανίχνευση COVID-19

Η διαδικασία για την ανίχνευση του COVID-19 με τη βοήθεια ακτινογραφιών θώρακος περιλαμβάνει αρκετά σημαντικά βήματα, όπως συλλογή δεδομένων, προεπεξεργασία και κατηγοριοποίηση των δεδομένων, εκπαίδευση των μοντέλων και αξιολόγηση και ανάλυση του μοντέλου.

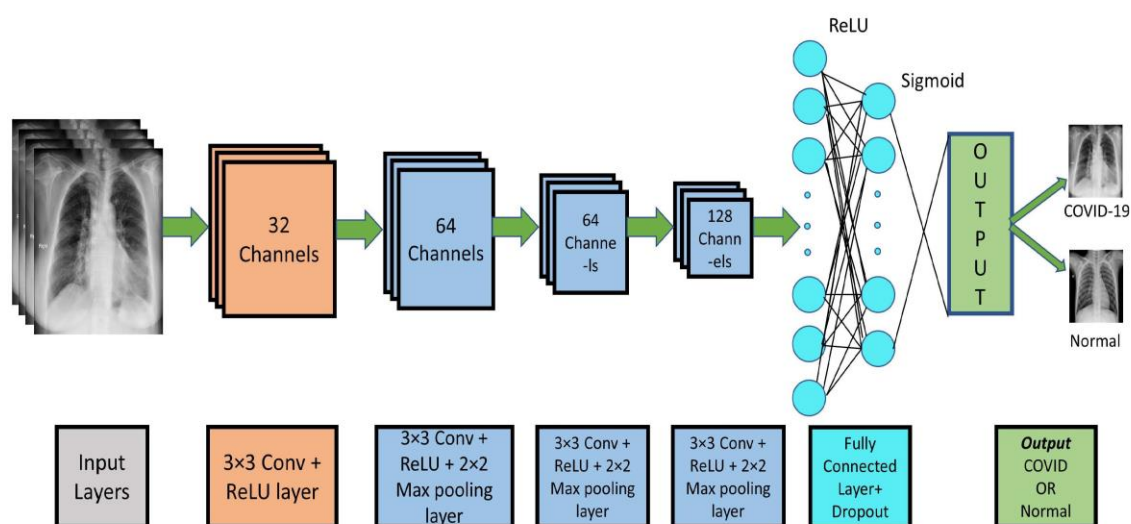
Η πλήρης αρχιτεκτονική του συστήματος για την ανίχνευση του COVID-19 με συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks – CNN) απεικονίζεται στην Εικόνα 2.1. Αρχικά, λαμβάνει χώρα συλλογή και ταξινόμηση του συνόλου δεδομένων που απαιτείται για την εκπαίδευση και την επικύρωση του μοντέλου. Στη συνέχεια, τα δεδομένα υποβάλλονται σε αναδιάταξη, αλλαγή μεγέθους και κανονικοποίηση προκειμένου να διατηρηθεί η ομοιομορφία. Έπειτα, όλα τα δεδομένα κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την ταξινόμηση που προβλέπει το μοντέλο. Στη συνέχεια, όλα τα μοντέλα εκπαιδεύονται και επικυρώνονται χρησιμοποιώντας το ίδιο σύνολο δεδομένων και το ίδιο περιβάλλον. Τέλος, τα εκπαιδευμένα μοντέλα αναλύονται βάσει σημαντικών μετρήσεων (π.χ. ακρίβεια, ανάκληση, ακρίβεια, βαθμολογία F-1, καμπύλη ROC) (Haque & Abdelgawad, 2020).



Εικόνα 2.1. Αρχιτεκτονική συστήματος για ανίχνευση COVID-19 με συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) (Πηγή: Haque & Abdelgawad, 2020)

2.5 Μοντελοποίηση CNN

Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ταξινόμηση εικόνων, ιδιαίτερα ιατρικών εικόνων, ενισχύοντας τη διαδικασία ανίχνευσης ασθενειών. Ο επιτυχής εντοπισμός του πρόσφατου νέου κορονοϊού αποτελεί ένα από τα παραδείγματα αποτελεσματικής χρήσης. Ωστόσο, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν περιορισμούς, όπως για παράδειγμα, το περιορισμένο σύνολο δεδομένων για την εκπαίδευση του μοντέλου τους. Καθώς πρόκειται για μια νέα ασθένεια, το σύνολο δεδομένων CXR των θετικών ασθενών με COVID-19 είναι επίσης περιορισμένο. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα και να αποφευχθεί η υπερβολική προσαρμογή, οι Haque & Abdelgawad (2020) πρότειναν τη χρήση ενός διαδοχικού μοντέλου CNN για την ταξινόμηση εικόνων ακτίνων X. Η Εικόνα 2.2 απεικονίζει το προτεινόμενο μοντέλο CNN για την ανίχνευση του COVID-19. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στοιχεία: (i) επίπεδα εισόδου (ii) συνελκτικά στρώματα (iii) πλήρως συνδεδεμένα στρώματα και (iv) στρώματα εξόδου (Haque & Abdelgawad, 2020). Με αυτή τη δομή, το μοντέλο CNN μπορεί να εξάγει χαρακτηριστικά από τις ακτινογραφίες θώρακα και να λάβει τελικές αποφάσεις σχετικά με την παρουσία COVID-19 με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.2 Κύρια στοιχεία του CNN που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση του COVID-19 (Πηγή: Haque & Abdelgawad, 2020)

2.6 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Έχουν συνοψιστεί πολλές σημαντικές εργασίες που συζητούν την αυξημένη ταυτοποίηση του Covid χρησιμοποιώντας μια ποικιλία προσεγγίσεων. Ο Boudrioua (2020) ταξινομήσε περιστατικά Covid-19 με χρήση της βαθιάς μάθησης, βελτιστοποιώντας τα μοντέλα CNN χρησιμοποιώντας πληροφορίες εκπαίδευσης. Με αυτόν τον τρόπο τα μοντέλα ταξινομούν ακτινογραφίες θώρακα ή αξονικές τομογραφίες με βάση την προσβολή ή όχι από Covid-19. Οι Ozturk et al. (2020) πέτυχαν ακρίβεια 98,1% και 87,0% σε δυαδική (binary) ταξινόμηση (δηλαδή εάν οι εικόνες θώρακα είναι προσβεβλημένες ή όχι από Covid-19) και πολυκλασματική (μη προσβεβλημένες, πνευμονία, Covid-19) χρησιμοποιώντας το μοντέλο DarkNet που βασίζεται σε CNN.

Οι Khan et al. (2020) πρότειναν το CoroNet ως ένα βαθύ συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο που βασίζεται στο μοντέλο εξαίρεσης ικανό να διακρίνει τον Covid-19 από τις ακτίνες X. Διεξήγαγαν δύο πολλαπλές ταξινομήσεις και παρατήρησαν ότι η πνευμονία Covid-19 είχε ακρίβεια 89,6% σε σύγκριση με τη βακτηριακή πνευμονία, την ιογενή πνευμονία και τη συνήθη πνευμονία και 95,0% σε σύγκριση με την πνευμονία εκτός Covid-19.

Οι Wang et al. (2020) εστίασαν τις προσπάθειές τους στην ανάπτυξη του COVID-Net, το οποίο πέτυχε ποσοστό ακρίβειας 93,3% στην πολυκλασματική ταξινόμηση ασθενών με Covid-19 και άλλων ασθενειών (π.χ. Πνευμοκύστη, Στρεπτόκοκκος, ARDS). Αντίστοιχα, οι Marques et al. (2020) αναγνώρισαν τον Covid-19 χρησιμοποιώντας την αμφίδρομη ταξινόμηση του Efficient Net design, με αξιώσεις ακρίβειας 99,6% για δυαδική ταξινόμηση (Covid-19, φυσιολογική-υγιής περίπτωση) και 96,7% για πολυκλασματική ταξινόμηση (Covid-19, πνευμονία, υγιής περίπτωση).

Οι Ezzat et al. (2021) πρότειναν τη βελτιστοποίηση βαρυτικής αναζήτησης-DenseNet121-Covid-19 για την εκτέλεση δυαδικής ταξινόμησης μεταξύ περιπτώσεων πνευμονίας που δεν προέρχεται από Covid-19 (Normal) και Covid-19 (συμπεριλαμβανομένης της πνευμονίας, φυσιολογικής, στρεπτόκοκκου, πνευμονοκύστης, στρεπτόκοκκου, ARDS, SARS), με στόχο την επίτευξη ακρίβειας 93,4%. Οι Babukarthik et al. (2020) χρησιμοποίησαν εικόνες ακτινογραφίας θώρακα για να εκπαιδεύσουν ένα γενετικό βαθύ CNN για την διάκριση μεταξύ του Covid-19 και φυσιολογικών πνευμόνων, αναφέροντας υψηλό βαθμό ακρίβειας (98,8 %).

Οι Minaee et al. (2020) εκπαιδευσαν τα δίκτυα SqueezeNet, DenseNet-121, ResNet18 και ResNet50 χρησιμοποιώντας μεταφορά μάθησης (Transfer Learning – TL) για να διακρίνουν την πνευμονία που προέρχεται από τον Covid-19 από την πνευμονία που οφείλεται σε

άλλες αιτίες, σε εικόνες ακτινογραφίας θώρακα. Το COVINet, ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο που αναπτύχθηκε από τους Umer et al. (2022), αποτελεί ένα σύστημα δυαδικής ταξινόμησης (Covid-19, φυσιολογική-υγιής περίπτωση), τριαδικής (Covid-19, φυσιολογική-υγιής περίπτωση, ιογενής πνευμονία) και τετραδικής ταξινόμησης (Covid-19, φυσιολογική-υγιής περίπτωση, ιογενής πνευμονία, βακτηριακή πνευμονία). Η τριαδική ταξινόμηση που επινοήθηκε από τους Keles et al (2021) (φυσιολογική, Covid-19 και ιογενής πνευμονία) μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο COV19-ResNet, το οποίο έχει ποσοστό ακρίβειας 97% όταν χρησιμοποιείται (Keles et al., 2021).

Οι Li et al. (2020) διεξήγαγαν μια έρευνα ασθενών που είχαν μολυνθεί από τον κοροναϊό COVID-19. Αναλύθηκαν τα κλινικά σημεία και συμπτώματα, καθώς και οι αλλοιώσεις στις ακτινογραφίες θώρακα. Ανακαλύφθηκαν βλάβες στις περιφερικές περιοχές των πνευμόνων. Ο Πίνακας 2.1 περιέχει μια επισκόπηση και αξιολόγηση της σχετικής βιβλιογραφίας των διαφορετικών προσεγγίσεων των εικόνων CXR.

Πίνακας 2.1 Σύνοψη μεθόδων για την ανίχνευση Covid-19

Μέθοδος	Ταξινόμηση	Ακρίβεια	Αναφορά
CNNs	Three-classification	99.5%	Boudrioua, (2020)
DarkNet	Two - classification	98.08%	Ozturk et al., (2020)
DarkNet	Two - classification Three- classification	98.1% 87.0%	Khan et al., (2020)
CoroNet	Four- classification Three- classification	89.6% 95.0%	Wang et al., (2020)
COVID-Net	Three- classification	93.3%	Marques et al., (2020)
Efficient Net + CNN	Two- classification Three- classification	99.6% 96.7%	Ezzat et al., (2021)
GSA, DenseNet	Two- classification	93.4%	Babukarthik et al. (2020)
Genetic.deep, CNN	Two- classification	98.8%	Minaee et al., (2020)
DenseNet121, ResNet50, ResNet18 and SqueezeNet	Two- classification	90.0%	Umer et al., (2022)
COVINet	Two- classification, Three-way, Four-way	97%, 90%, 85%	Keles et al., (2021)
COV19-ResNet	Three- classification	97.6%	Li et al., (2020)

Two-class classification (COVID vs normal), Three-class classification (COVID vs Pneumonia vs normal), Four-class cases (COVID vs Pneumonia bacterial vs pneumonia viral vs normal).

3. Τεχνητή νοημοσύνη

3.1 Deep learning και εφαρμογές

Στο πεδίο της μηχανικής μάθησης έχει γίνει ραγδαίες εξελίξεις πρόσφατα, που οδήγησαν σε μεγάλο ενδιαφέρον τη βιομηχανία, τον ακαδημαϊκό κόσμο και την καθημερινότητα. Αυτές προκύπτουν από τις ανακαλύψεις στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, που συχνά ονομάζονται βαθιά μάθηση, ένα σύνολο τεχνικών και αλγορίθμων που επιτρέπουν στους υπολογιστές να ανακαλύπτουν περίπλοκα μοτίβα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων.

Ο κύριος λόγος που γνώρισε τόση εξέλιξη είναι η αυξημένη πρόσβαση σε δεδομένα μεγάλου όγκου (big data), φιλικά προς τον χρήστη πλαίσια λογισμικού και η έκρηξη της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύος, επιτρέποντας τη χρήση νευρωνικών δικτύων σε βαθμό που μεγαλύτερος δεν υπήρξε ποτέ. Αυτά τα μοντέλα αποτελούν σήμερα την υπερσύγχρονη προσέγγιση σε μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων όπως η όραση υπολογιστών, η μοντελοποίηση της γλώσσας και η ρομποτική.

Η βαθιά εκμάθηση απέκτησε εξέχουσα θέση στην όραση υπολογιστών όταν τα νευρωνικά δίκτυα άρχισαν να ξεπερνούν τις άλλες μεθόδους σε πολλά σημεία αναφοράς ανάλυσης εικόνας υψηλού προφίλ. Το πιο διάσημο εγχείρημα, το ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) το 2012 όταν ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης (ένα συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο) που μείωσε στο μισό το σφάλμα του δεύτερου καλύτερου ποσοστού σφάλματος στην ταξινόμησης εικόνων (Krizhevsky et al., 2012).

Η δυνατότητα στους υπολογιστές να αναγνωρίζουν αντικείμενα σε φυσικές εικόνες θεωρείτο μέχρι πρόσφατα πολύ δύσκολη εργασία, αλλά πλέον τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα έχουν ξεπεράσει ακόμη και την ανθρώπινη απόδοση στο ILSVRC και έχουν φτάσει σε ένα επίπεδο όπου η εργασία ταξινόμησης ILSVRC έχει ουσιαστικά επιλυθεί (δηλ. με σφάλμα ρυθμός κοντά στον ρυθμό Bayes), οι τεχνικές βαθιάς μάθησης έχουν γίνει το de facto πρότυπο για μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων όρασης υπολογιστή. Ωστόσο, δεν περιορίζονται στην επεξεργασία και ανάλυση εικόνας, αλλά ξεπερνούν άλλες προσεγγίσεις σε τομείς όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η αναγνώριση και η σύνθεση ομιλίας και στην ανάλυση αδόμητων δεδομένων τύπου πίνακα χρησιμοποιώντας ενσωματώσεις οντοτήτων.

Η χρήση της μηχανικής μάθησης, γενικά, και της βαθιάς μάθησης ειδικότερα στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης είναι ακόμη στα σπάργανα, αλλά υπάρχουν αρκετές ισχυρές πρωτοβουλίες στον ακαδημαϊκό χώρο και πολλές μεγάλες εταιρείες επιδιώκουν την ανάπτυξη έργων υγειονομικής περίθαλψης που βασίζονται στη μηχανική μάθηση. Δεν είναι μόνο εταιρείες ιατρικής τεχνολογίας, αλλά και εταιρείες πληροφορικής για παράδειγμα Google Brain, DeepMind, Microsoft και IBM.

3.2.1 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση είναι μια από τις προσεγγίσεις της τεχνητής νοημοσύνης. Είναι ένας κλάδος αφιερωμένος στην ανάλυση δεδομένων. Ο στόχος αυτού του κλάδου είναι να δημιουργεί αυτόματα γνώση από ακατέργαστα δεδομένα (δείγματα). Αυτή η γνώση (ή το μοντέλο) μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων. Ανάλογα με τη φύση των δειγμάτων (με ετικέτα ή όχι), υπάρχουν τρεις τύποι μάθησης:

Εποπτευόμενη μάθηση: Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στο σχεδιασμό ενός μοντέλου που συνδέει τα δεδομένα εκπαίδευσης με ένα σύνολο τιμών εξόδου (τα δεδομένα εισόδου επισημαίνονται).

Μη εποπτευόμενη μάθηση: Στοχεύει στο σχεδιασμό ενός μοντέλου που δομεί τις πληροφορίες. Η διαφορά εδώ είναι ότι οι συμπεριφορές (ή κατηγορίες ή ακόμα και τάξεις) των δεδομένων εκπαίδευσης δεν είναι γνωστές, αυτό προσπαθούμε να βρούμε.

Ημι-εποπτευόμενη μάθηση: Τα δεδομένα εισόδου αποτελούνται από παραδείγματα με ετικέτα και χωρίς ετικέτα. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο όταν έχετε δύο τύπους δεδομένων, γιατί σας επιτρέπει να μην αφήνετε στην άκρη και να χρησιμοποιείτε όλες τις πληροφορίες.

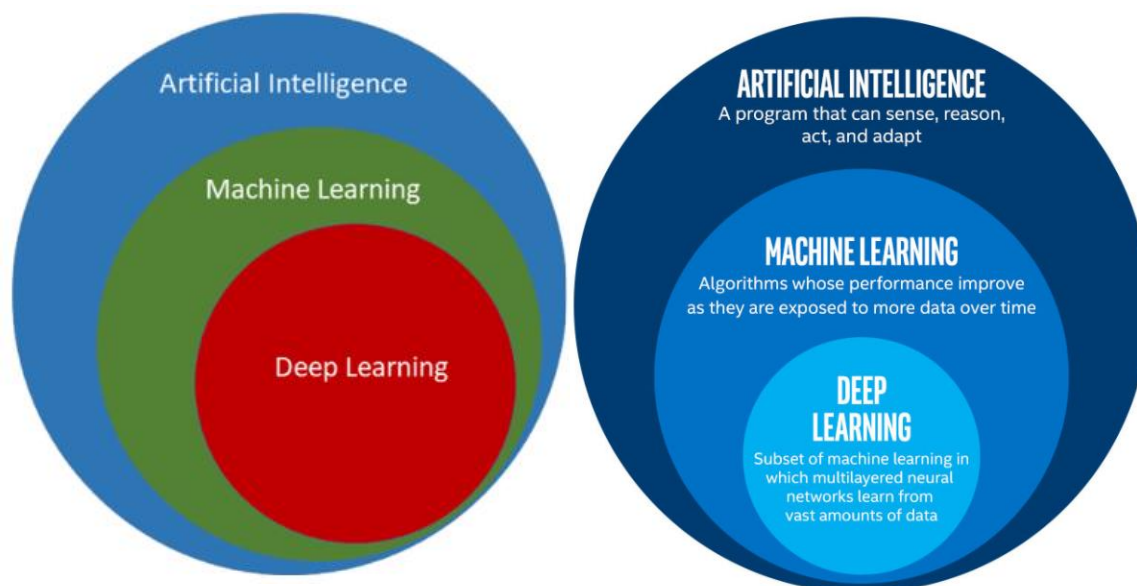
3.1.2 Βαθιά μάθηση

Η βαθιά μάθηση είναι ένα υποπεδίο της μηχανικής μάθησης που εστιάζει σε αλγόριθμους εμπνευσμένους από τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου, που ονομάζονται τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Περιλαμβάνει έναν συγκεκριμένο τύπο μαθηματικού μοντέλου το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως σύνθεση απλών μπλοκ συγκεκριμένου τύπου, σε πολυεπίπεδη δομή και όπου μερικά από αυτά τα μπλοκ μπορούν να προσαρμοστούν για να προβλέψουν καλύτερα το

τελικό αποτέλεσμα. Στη βαθιά μάθηση, ένα μοντέλο υπολογιστή μαθαίνει να εκτελεί εργασίες ταξινόμησης απευθείας από εικόνες, κείμενο ή ήχο.

Τα μοντέλα βαθιάς μάθησης μπορούν να επιτύχουν μέγιστη ακρίβεια, μερικές φορές υπερβαίνοντας την απόδοση σε ανθρώπινο επίπεδο. Τα μοντέλα εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας μια μεγάλη μάζα επισημασμένων δεδομένων και αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων που περιέχουν πολλά επίπεδα.



Εικόνα 3.1 Σχέση μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), Μηχανικής Μάθησης (ML) και Βαθιάς Μάθησης (DL) (Πηγή: Sevakula et al., 2020).

3.1.2.1 Εποπτευόμενη μάθηση

Είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο είδος μάθησης. Αποτελείται από μεταβλητές εισόδου (X) και μεταβλητή εξόδου (Y), όπου ο εποπτευόμενος αλγόριθμος μάθησης θα βρει μια συνάρτηση αντιστοίχισης μεταξύ των προγνωστικών μεταβλητών στην είσοδο (X) και της μεταβλητής που θα προβλεφθεί (Y).

Η συνάρτηση χαρτογράφησης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ (X) και (Y) ονομάζεται μοντέλο πρόβλεψης. Ονομάζεται εποπτευόμενη μάθηση επειδή η διαδικασία ενός αλγορίθμου που προέρχεται από το εκπαιδευτικό σύνολο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας δάσκαλος που επιβλέπει τη μαθησιακή διαδικασία. Γνωρίζουμε τις σωστές απαντήσεις, ο αλγόριθμος κάνει επαναληπτικές προβλέψεις στα μαθησιακά δεδομένα και διορθώνεται από τον δάσκαλο. Η εκμάθηση σταματά όταν ο αλγόριθμος φτάσει σε ένα αποδεκτό επίπεδο απόδοσης.

Η εποπτευόμενη μάθηση γίνεται συνήθως στο πλαίσιο της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης.

3.1.2.2 Μη εποπτευόμενη μάθηση

Αποτελείται από την ύπαρξη μόνο δεδομένων εισόδου (X) και καμία αντίστοιχη μεταβλητή εξόδου. Ο στόχος του είναι να μοντελοποιήσει τη δομή ή την υποκείμενη κατανομή στα δεδομένα για να προκύψουν ομαδοποιήσεις για τα δεδομένα. Αυτό ονομάζεται μάθηση χωρίς επίβλεψη επειδή, σε αντίθεση με την εποπτευόμενη μάθηση, δεν υπάρχει σωστή απάντηση και δεν υπάρχει δάσκαλος. Οι αλγόριθμοι εφαρμόζουν μηχανισμούς για την ανακάλυψη προτύπων των δεδομένων. Η μάθηση χωρίς επίβλεψη περιλαμβάνει δύο κατηγορίες αλγορίθμων: i) αλγόριθμους ομαδοποίησης, συσχέτισης και ii) μείωσης διαστάσεων.

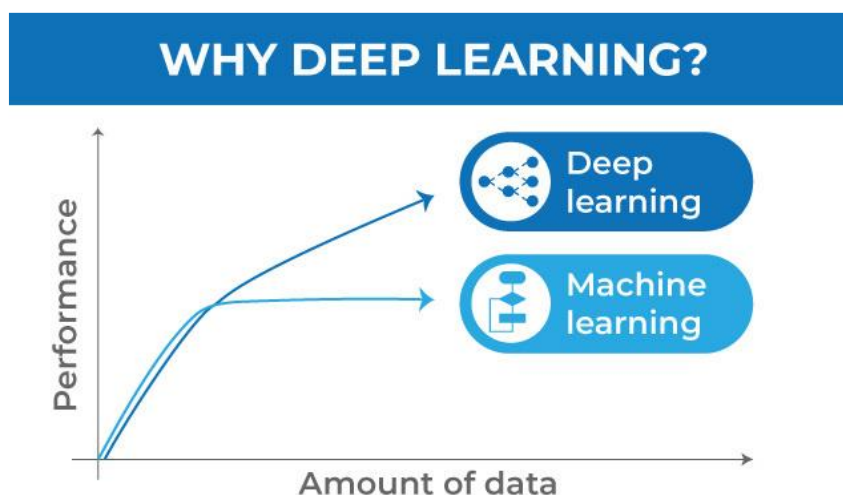
3.1.3 Διαφορές μεταξύ Μηχανικής Μάθησης και Βαθιάς Μάθησης

Οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML) που βασίζονται σε στατιστικές μεθόδους λειτουργούν καλά για μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων. Ωστόσο, δεν κατάφεραν να λύσουν ορισμένα σημαντικά προβλήματα τεχνητής νοημοσύνης, όπως η αναγνώριση ομιλίας και η αναγνώριση εικόνας. Η ανάπτυξη της βαθιάς μάθησης οδηγήθηκε εν μέρει από την αποτυχία των παραδοσιακών αλγορίθμων σε μια τέτοια εργασία τεχνητής νοημοσύνης. Αλλά μόνο αφού έγιναν διαθέσιμες μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων, ιδίως χάρη στα Big Data και τα συνδεδεμένα αντικείμενα, και οι υπολογιστικές μηχανές έγιναν πιο ισχυρές, μπορούσαμε να κατανοήσουμε τις πραγματικές δυνατότητες της βαθιάς μάθησης.

Μία από τις μεγάλες διαφορές μεταξύ του Deep Learning και των παραδοσιακών αλγορίθμων ML είναι ότι προσαρμόζεται καλά, όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος των δεδομένων που παρέχονται τόσο καλύτερη είναι η απόδοση ενός αλγορίθμου βαθιάς μάθησης. Σε αντίθεση με πολλούς κλασικούς αλγόριθμους ML που έχουν ένα ανώτερο όριο στην ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να διαχειριστούν, μερικές φορές αποκαλούμενο "πλατό απόδοσης", τα μοντέλα Deep Learning δεν έχουν τέτοιους περιορισμούς (θεωρητικά) και φτάνουν ακόμη και στο σημείο να υπερβαίνουν την ανθρώπινη απόδοση σε τομείς όπως η επεξεργασία εικόνας (Janiesch et al., 2021).

Μια άλλη διαφορά μεταξύ των παραδοσιακών αλγορίθμων ML και των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης είναι το βήμα εξαγωγής χαρακτηριστικών. Στους παραδοσιακούς αλγόριθμους

ML η εξαγωγή χαρακτηριστικών γίνεται χειροκίνητα, είναι ένα δύσκολο και χρονοβόρο βήμα και απαιτεί ειδικό στο αντικείμενο ενώ στο Deep Learning αυτό το βήμα εκτελείται αυτόματα από τον αλγόριθμο (Taye, 2023).



Εικόνα 3.2 Απόδοση ML και DL (Πηγή: <https://medium.com/>)

3.1.4 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN)

Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ένα σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών που ξεκίνησε πριν από περίπου 50 χρόνια και είναι ακόμα υπό ανάπτυξη. Αυτό το σύστημα είναι εμπνευσμένο από τη λειτουργία των ανθρώπινων νευρώνων. Αποτελούνται από μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων στοιχειωδών επεξεργαστών (νευρώνων) που συνεργάζονται. Κάθε στοιχειώδης επεξεργαστής υπολογίζει μια ενιαία έξοδο με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνει, για να εκτελέσει μια δεδομένη εργασία ταξινόμησης.

Ο τεχνητός νευρώνας είναι ένα μη γραμμικό μοντέλο που λαμβάνει δεδομένα, αποκαλούμενα είσοδοι, και μέσω των βαρών προκύπτει το αποτέλεσμα της συνάρτησης που είναι η έξοδός του (Rubin et al., 2020). Ο τεχνητός νευρώνας είναι, επομένως, ένα απλοποιημένο μαθηματικό μοντέλο του βιολογικού νευρώνα.

4. Ο ρόλος της υπολογιστικής νοημοσύνης στη διάγνωση Covid-19

4.1 Εισαγωγή στην υπολογιστική νοημοσύνη

“Η υπολογιστική νοημοσύνη συνδέεται στενά με την τεχνητή νοημοσύνη, η οποία αναπτύσσει μοντέλα και αλγόριθμους που μιμούνται την ανθρώπινη νοημοσύνη. Μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, οι υπολογιστές μπορούν να εκτελούν σύνθετες λειτουργίες και να λαμβάνουν αποφάσεις βασιζόμενοι σε δεδομένα. Στο πλαίσιο της διάγνωσης του Covid-19, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των εικόνων από ιατρικές απεικονίσεις και την αναγνώριση συμπτωμάτων μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, προσφέροντας έτσι πιο αξιόπιστη και γρήγορη διάγνωση” (Xu et al., 2021).

Η υπολογιστική νοημοσύνη βασίζεται σε βιολογικά εμπνευσμένους υπολογιστικούς αλγόριθμους. Οι βασικοί πυλώνες που συνθέτουν αυτό το πεδίο είναι τα νευρωνικά δίκτυα, οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα ασαφή συστήματα. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλήματα προσέγγισης ή ταξινόμησης συναρτήσεων (Gurney, 1997; Haykin, 1999). Περιλαμβάνουν την εποπτευόμενη, την χωρίς επίβλεψη και την ενισχυτική μάθηση (Masters, 1993). Οι γενετικοί αλγόριθμοι, ωστόσο, είναι αλγόριθμοι αναζήτησης εμπνευσμένοι από τη βιολογική γενετική (Goldberg, 1989). Βασίζονται σε δύο κύριους τελεστές, τη διασταύρωση και τη μετάλλαξη. Πληθυσμοί ατόμων που αντιπροσωπεύουν λύσεις στο πρόβλημα δημιουργούνται κατά τη διάρκεια πολλών γενεών. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια τυχαία καθοδηγούμενη προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση προβλημάτων με βάση μια συνάρτηση καταλληλότητας. Η ασαφής λογική βασίζεται στη θεωρία ασαφών συνόλων προκειμένου να συμπεριλάβει συλλογισμό που είναι ρευστός ή προσεγγιστικός και όχι σταθερός και ακριβής (Zadeh, 1965; Zadeh, 1968). Οι μεταβλητές ασαφούς λογικής έχουν τιμές "αλήθειας" που κυμαίνονται σε βαθμό μεταξύ 0 και 1 που μπορούν επίσης να χειριστούν "μερική αλήθεια".

Οι τεχνικές υπολογιστικής νοημοσύνης έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές «πραγματικές» εφαρμογές σε μια ποικιλία προβλημάτων μηχανικής. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της ιατρικής έρευνας (López-Rubio et al., 2015). Επιπλέον, έχουν ήδη ενσωματωθεί με επιτυχία σε διάφορα συστήματα για την αντιμετώπιση των υποκείμενων προκλήσεων των επιδημικών ασθενειών. Πριν την εισαγωγή συγκεκριμένων ζητημάτων, για τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπολογιστική νοημοσύνη για την

αντιμετώπιση του COVID-19, είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητά το ιστορικό και οι διάφορες κατηγορίες αυτής της μεθόδου. Με βάση τις αρχές της υπολογιστικής νοημοσύνης, μπορούν να διευκρινιστούν περαιτέρω οι τύποι προβλημάτων που μπορούν να αντιμετωπιστούν κατά την καταπολέμηση του COVID-19 με την χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης.

4.2 Ορισμός

Η υπολογιστική νοημοσύνη ορίστηκε επίσημα από τον Bezdek το 1994, έτσι ώστε ένα σύστημα ονομάζεται "υπολογιστικά ευφρές" εάν το σύστημα ασχολείται με δεδομένα σε ένα βασικό επίπεδο (όπως pixel μιας εικόνας), περιέχει μια ενότητα αναγνώρισης προτύπων, και δεν χρησιμοποιεί προηγούμενη γνώση με την έννοια της τεχνητής νοημοσύνης (Siddique & Adeli, 2013). Σύμφωνα με τον ορισμό του Bezdek, η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας κλάδος της υπολογιστικής νοημοσύνης. Στην πραγματικότητα, οι στόχοι τόσο της τεχνητής νοημοσύνης όσο και της υπολογιστικής νοημοσύνης είναι οι ίδιοι, δηλαδή η υλοποίηση της γενικής νοημοσύνης. Ο Marks (1993) διευκρίνισε τη διαφορά μεταξύ τεχνητής νοημοσύνης και υπολογιστικής νοημοσύνης υποστηρίζοντας ότι η πρώτη είναι κατασκευασμένη από τεχνολογίες υλικού, ενώ η δεύτερη από τεχνολογίες λογισμικού. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι υπάρχουν δύο τύποι νοημοσύνης μηχανής:

- α) η τεχνητή νοημοσύνη, η οποία αναπτύσσεται από την έννοια του υλικού,
- β) η υπολογιστική νοημοσύνη, η οποία αναπτύσσεται από την έννοια του λογισμικού.

Σε σύγκριση με την τεχνητή νοημοσύνη που βασίζεται στο υλικό, η υπολογιστική νοημοσύνη μπορεί να προσαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές συνθήκες μέσω των πλεονεκτημάτων της έννοιας του μαλακού υπολογισμού. Οι τεχνικές σκληρών υπολογιστών σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας μια λογική Boolean που βασίζεται μόνο σε αληθείς ή ψευδείς τιμές στις οποίες βασίζεται η μηχανική πληροφοριών. Ένα κρίσιμο ζήτημα στη λογική Boole είναι ότι οι Boolean τιμές δεν μπορούν να ερμηνεύσουν εύκολα τη φυσική γλώσσα. Ωστόσο, με βάση τη ασαφή λογική, οι τεχνικές μαλακών υπολογιστών μπορούν να αντιμετωπίσουν αβέβαιες περιπτώσεις. Αυτός ο τύπος λογικής είναι μια ιδιόκτητη πτυχή της υπολογιστικής νοημοσύνης και με τη συγκέντρωση δεδομένων σε επιμέρους γεγονότα, προσεγγίζεται ο τρόπος με τον οποίο δρα ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Marks, 1993).

4.3 Κατηγοριοποίηση Υπολογιστικής νοημοσύνης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η έννοια της υπολογιστικής νοημοσύνης υπάρχει εδώ και 30 χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, νέες έννοιες προστίθενται συνεχώς στο πεδίο, ενισχύοντάς το. Σήμερα, μπορούμε να χωρίσουμε ευρέως τις τεχνικές υπολογιστικής νοημοσύνης σε πέντε κατηγορίες: νευρωνικά δίκτυα, ασαφής λογική, εξελικτικός υπολογισμός, θεωρία υπολογιστικής μάθησης και πιθανολογικές μέθοδοι.

4.3.1 Νευρωνικά Δίκτυα

Βασισμένο σε βιολογικά νευρωνικά δίκτυα, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (που ονομάζεται "νευρωνικό δίκτυο" για συντομία) έχει σχεδιαστεί ως ένα δίκτυο τεχνητών νευρώνων ή κόμβων. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μοντελοποίηση παλινδρόμησης ή ταξινόμησης για πρόβλεψη και αυτόματο έλεγχο. Ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων προσομοίωσης που χρησιμοποιούν περιορισμένα σύνολα δεδομένων. Αυτή η δομή είναι το θεμέλιο της βαθιάς μάθησης, η οποία είναι καλή στη μάθηση αναπαράστασης. Αντίστοιχα, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα επεξεργάζονται και μαθαίνουν πληροφορίες από δεδομένα μέσω των συστημάτων επεξεργασίας κατανεμημένων πληροφοριών (Stergiou & Siganos, 1997). Με αυτόν τον τρόπο, μία από τις κρίσιμες ιδιότητες των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι η ανοχή στα σφάλματα, η οποία διαμορφώνεται κατά προσέγγιση με βάση τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Siddique & Adeli, 2013).

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, τα νευρωνικά δίκτυα έχουν εφαρμοστεί ευρέως στην ανάλυση δεδομένων, την ομαδοποίηση, την ταξινόμηση και τη μηχανική αυτόματου ελέγχου. Σε εφαρμογές πραγματικού κόσμου, τέτοιες μέθοδοι στοχεύουν στην ανάλυση και ταξινόμηση ιατρικών δεδομένων, την αναγνώριση ανθρώπινων προσώπων, την ανίχνευση απάτης στον υπολογιστή και την αντιμετώπιση της μη γραμμικότητας ενός συστήματος για καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας (Somers & Casal, 2009). Επιπλέον, οι τεχνικές νευρωνικών δικτύων μπορούν να ενσωματώσουν έννοιες ασαφούς λογικής.

4.3.2 Ασαφής Λογική και Πιθανολογικές μέθοδοι

Η ασαφής λογική μπορεί να θεωρηθεί ως διατύπωση που ορίζεται από λογική πολλών τιμών (Novak et al., 1999). Εν τω μεταξύ, η πραγματική τιμή της διατύπωσης μιας μεταβλητής μπορεί να είναι οποιοσδήποτε πραγματικός αριθμός μεταξύ 0 και 1, και δεν περιορίζεται

αποκλειστικά τις τιμές 0 και 1. Συχνά χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων αβεβαιότητας, όπου η τιμή έκβασης μπορεί να μην είναι εξ ολοκλήρου αληθής ή ψευδής. Ως αποτέλεσμα, η ασαφής λογική έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στον τομέα των κλινικών πεδίων, συμπεριλαμβανομένου ενός συστήματος συνεχούς πρόβλεψης της γλυκόζης στο αίμα και μιας πλατφόρμας διάγνωσης φυματίωσης που βασίζεται στην ακτινογραφία θώρακα, μεταξύ άλλων συσκευών (Meiah Ngafidin et al., 2019). Μια άλλη εφαρμογή είναι η χρήση μιας βιντεοκάμερας για τη σταθεροποίηση ενός ενδοσκοπίου εικόνας. Άλλοι τομείς όπως οι οικιακές συσκευές, η λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων και η οικονομική ανάλυση είναι επίσης παραδείγματα εφαρμογών αυτής της αρχής (Siddique & Adeli, 2013). Μια κύρια εφαρμογή της ασαφούς λογικής είναι ο προσεγγιστικός συλλογισμός. Ωστόσο, οι μέθοδοι συλλογισμού ασαφούς λογικής συνήθως στερούνται μαθησιακών ικανοτήτων, οι οποίες είναι απαραίτητες για μια πληθώρα εργασιών (Schwartz et al., 1994).

Μια πιθανολογική μέθοδος είναι μια μη εποικοδομητική προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να αποδείξει την ύπαρξη συγκεκριμένων τύπων μαθηματικών αντικειμένων. Λειτουργεί δείχνοντας ότι εάν κάποιος επιλέξει τυχαία ένα αντικείμενο από μια καθορισμένη κατηγορία, η πιθανότητα το αποτέλεσμα να γίνει ο καθορισμένος τύπος είναι αυστηρά μεγαλύτερη από το μηδέν. Παρόλο που οι πιθανολογικές μέθοδοι σχεδιάζονται με βάση τις θεωρίες πιθανοτήτων, τα αποτελέσματα προσδιορίζονται με βεβαιότητα και χωρίς πιθανά σφάλματα. Οι πιθανολογικές μέθοδοι εισήχθησαν για πρώτη φορά ως το βασικό θεμέλιο της ασαφούς λογικής από τους Erdos & Spencer (Siddique & Adeli, 2013). Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ενός συστήματος που βασίζεται στην υπολογιστική νοημοσύνη, οι πιθανολογικές μέθοδοι ορίζονται ως επί το πλείστον από την τυχαιότητα (Palit & Porovic, 2006). Αντίστοιχα, οι πιθανολογικές μέθοδοι μπορούν να παρέχουν σωστές λύσεις σε προβλήματα που βασίζονται σε προηγούμενη γνώση.

4.3.3 Εξελικτικός Υπολογισμός

Ο Εξελικτικός Υπολογισμός (Evolutionary Computation - EC) είναι μια παγκόσμια μέθοδος βελτιστοποίησης εμπνευσμένη από τη βιολογική εξέλιξη (Siddique & Adeli, 2013). Είναι μια οικογένεια αλγορίθμων και είναι κλάδος της υπολογιστικής νοημοσύνης και των φυσικών υπολογιστών. Τα συστήματα EC επιλύουν προβλήματα μέσω πληθυσμών, δοκιμής και σφάλματος, μετα-ευρετικών ή στοχαστικής βελτιστοποίησης. Ένα αρχικό σύνολο υποψήφιων λύσεων δημιουργείται και ενημερώνεται επαναληπτικά, όπως η αφαίρεση λιγότερο επιθυμητών λύσεων και η εισαγωγή θορύβου. Ένας πληθυσμός λύσεων

υπόκειται σε φυσική επιλογή ή τεχνητή επιλογή και μετάλλαξη, και ως εκ τούτου εξελίσσεται και προσαρμόζεται—δηλαδή, αυξάνει την καταλληλότητα (η συνάρτηση κβαντίζει πόσο προσαρμοσμένη/επιθυμητή είναι η λύση). Η EC είναι δημοφιλής στην υπολογιστική νοημοσύνη επειδή οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις σε ένα ευρύ χώρο λύσεων, όπου υπάρχουν πολλές παραλλαγές και επεκτάσεις για συγκεκριμένες δομές δεδομένων και προβλήματα (De Jong, 2006).

4.3.4 Θεωρίες Μάθησης Εμπνευσμένες από τον Ανθρώπινο Τρόπο Μάθησης

Η υπολογιστική θεωρία μάθησης (αναφέρεται εν συντομία ως θεωρία μάθησης) είναι ένα υποπεδίο της τεχνητής νοημοσύνης κυρίως για την έρευνα και την ανάπτυξη στρατηγικών μάθησης για τη μηχανική μάθηση. Η θεωρία της υπολογιστικής μάθησης είναι μια από τις κύριες μεθόδους στην υπολογιστική νοημοσύνη, η οποία αναζητά έναν τρόπο να επιτύχει συλλογισμό που ανακεφαλαιώνει τους ανθρώπους που αναδιατάσσουν τους ανθρώπους. Στην ψυχολογία, η μάθηση είναι η διαδικασία ενίσχυσης ή αλλαγής της γνώσης, των δεξιοτήτων, των αξιών και των κοσμοθεωριών μέσω της γνώσης και της εμπειρίας (Siddique & Adeli, 2013). Εμπνευσμένη από την ψυχολογία, η υπολογιστική θεωρία μάθησης χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της διαδικασίας εμπειρίας και λήψης αποφάσεων σύμφωνα με προηγούμενες εμπειρίες.

4.4 Η Υπολογιστική Νοημοσύνη στη Διαφορική Διάγνωση

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές κλινικές διαγνωστικές μέθοδοι για τον COVID-19. Ωστόσο, η χρήση υπολογιστικών μεθόδων που βασίζονται σε νοημοσύνη για την αντιμετώπιση του COVID-19 δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Η συμπλήρωση των κλινικών διαγνωστικών μεθόδων με άλλες υπολογιστικές μεθόδους που βασίζονται στη νοημοσύνη, μπορεί να βελτιώσει την ισορροπημένη ακρίβεια (balanced accuracy), την ενημέρωση των bookmaker (Bookmaker informedness - BM) και τον συντελεστή συσχέτισης Matthew (Mathews Correlation Coefficient - MCC). Αυτή η ενότητα παρουσιάζει μια σύντομη περιγραφή της διαφορικής διάγνωσης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κλινικών και υπολογιστικών μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση του COVID-19 σε σχέση με τους περιορισμούς τους επί του παρόντος.

Η διαφορική διάγνωση είναι η καθορισμένη διαδικασία που βοηθά στη διαφοροποίηση μεταξύ ασθενειών με παρόμοια συμπτώματα και παραγόντων κινδύνου. Είναι μια

συστηματική διαδικασία διάγνωσης που πραγματοποιείται σε ασθενείς με σκοπό την ακριβή διάγνωση μιας ασθένειας που έχει τα ίδια συμπτώματα με άλλες συναφείς ασθένειες και επίσης επιβιώνει κάτω από τις ίδιες συνθήκες (Uzoka et al., 2016). Απαιτείται διαφορική διάγνωση γιατί σπάνια οι γιατροί διαγιγνώσκουν μια ασθένεια με βεβαιότητα, απευθείας από την παρουσίαση και μόνο, ειδικά σε περιπτώσεις όπου τα συμπτώματα που παρουσιάζονται σχετίζονται με πολλές ασθένειες (Jain, 2017). Για παράδειγμα, ασθένειες όπως HIV/AIDS, ελονοσία, γρίπη, φυματίωση, COVID-19, νόσος του ιού Έμπολα (EVD), χολέρα κ.λπ. έχουν κάποια παρόμοια συμπτώματα. Έτσι, όταν οι ασθενείς εμφανίζουν ένα ή περισσότερα από αυτά τα συμπτώματα, οι γιατροί πρέπει να τα υποβάλουν σε μια διαφορική διαγνωστική διαδικασία με σκοπό τη διαπίστωση της πραγματικής νόσου στις πολλαπλές σχετικές ασθένειες.

Η διαδικασία διαφορικής διάγνωσης συνεπάγεται τη στάθμιση της πιθανότητας μιας ασθένειας έναντι των πιθανοτήτων άλλων συναφών ασθενειών που πιθανώς ευθύνονται για την ασθένεια των ασθενών. Η διαφορική διάγνωση έχει δείξει τη χρησιμότητά της σε πολλές περιπτώσεις στην ιατρική, βοηθώντας να σωθούν ζωές που διαφορετικά θα είχαν χαθεί. Η μη εφαρμογή της διαφορικής διάγνωσης έχει οδηγήσει στην απώλεια πολλών ζωών. Αν και η διαφορική διάγνωση απαιτεί χρόνο, η βοήθειά της στο να διασφαλίσουν ότι οι γιατροί λαμβάνουν τη σωστή διάγνωση και θεραπεία είναι αναμφισβήτητη.

4.5 Μέθοδοι που βασίζονται στην υπολογιστική νοημοσύνη για τη διάγνωση COVID-19

Σε αυτήν την υποενότητα γίνεται μια ανασκόπηση προηγούμενων εργασιών που έχουν εφαρμόσει αλγόριθμους βασισμένους στην υπολογιστική νοημοσύνη για τη διάγνωση του COVID-19 με σκοπό την αναγνώριση των συμπτωμάτων των ασθενών, των επιδόσεών τους και των μετρικών αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των επιδόσεων και των περιορισμών τους. Βασική μετρική αξιολόγησης των μοντέλων συνιστά το AUC Score (Area Under the Curve Score). Επίσης, η F1 Score χρησιμοποιείται κατά κόρον σε πολλά προβλήματα μηχανικής μάθησης.

Οι Mahmud et al. (2020) χρησιμοποίησαν το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (Convolutional Neural Network - CNN) για την ανάπτυξη του μοντέλου CovXNet που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση του COVID-19 και της πνευμονίας, επιτυγχάνοντας ακρίβεια 97,4%. Ομοίως, το COVIDScreen αναπτύχθηκε από τους Singh et al. (2021), επίσης με χρήση CNN. Το μοντέλο βοήθησε στη διεξαγωγή της διαφορικής διάγνωσης του COVID-19 με

ακρίβεια 98,67%. Υπό το ίδιο πρίσμα, χρησιμοποιήθηκαν Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM) από τους Jin et al. (2021) για την εξέταση ακτινογραφίας θώρακος με σκοπό τη διεξαγωγή της διαφορικής διάγνωσης του COVID-19. Η ακρίβεια που καταγράφηκε ήταν 98,642%. Στην Κίνα, μια ομάδα ερευνητών ανέπτυξε ένα μοντέλο που βασίζεται στη λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression – LR) για τον εντοπισμό των ανεξάρτητων προγνωστικών παραγόντων της σοβαρότητας του COVID-19 σε ύποπτες περιπτώσεις (Xu et al., 2020). Παρόμοια έρευνα διεξήχθη επίσης από τους Iwendi et al. (2020), όπου το μοντέλο Random Forest (RF) χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της σοβαρότητας του COVID-19 σε μολυσμένους ασθενείς. Με τον ίδιο τρόπο, η λογιστική παλινδρόμηση (LR) χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη του κινδύνου θνησιμότητας σε ασθενείς με COVID-19 με ακρίβεια 70% (Bhandari et al., 2020).

Επιπλέον, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος Random Forest (RF) για την πρόβλεψη της θνησιμότητας των ασθενών με COVID-19 επιτυγχάνοντας ακρίβεια 95%. Οι Fleitas et al. (2020) εφάρμοσαν, επίσης, πολυπαραγοντική λογιστική παλινδρόμηση (LR) για τον εντοπισμό συμπτωμάτων COVID-19. Εντοπίστηκαν και μολυσμένα κρούσματα COVID-19 με ειδικότητα 46%. Οι Silahudin & Holidin (2020), ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα για τη διάγνωση του COVID-19 χρησιμοποιώντας την τεχνική Naive Bayes (NB). Ομοίως, ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων Naive Bayes (Decision Support System - DSS) παρουσιάστηκε από τους Awwalu et al. (2020) για την ανίχνευση του COVID-19.

Ο Groumpos (2020) εφάρμοσε έναν ασαφή γνωστικό χάρτη (Fuzzy Cognitive Map - FCM) για να εξετάσει ολόκληρο το φάσμα του COVID-19 λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες αιτιότητας. Λόγω της απουσίας απαραίτητων δεδομένων από την πραγματική ζωή, ο συγγραφέας δεν μπόρεσε να εγγυηθεί την απόδοση του μοντέλου. Ωστόσο, το μοντέλο δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία. Διαπιστώθηκε η ισχύς του FCM στην ταξινόμηση του COVID-19 βάσει των παραγόντων αιτιότητας, παρέχοντας έτσι κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Αναπτύχθηκαν, επίσης, υβριδικά μοντέλα για την ανίχνευση του COVID-19. Για παράδειγμα οι Sethy et al., (2020), χρησιμοποίησαν συνδυασμένα SVM και CNN για την ανάπτυξη ενός μοντέλου για την ανίχνευση ασθενών με COVID-19 μεταξύ ασθενών με πνευμονία και υγιών ατόμων. Η ακρίβεια και η ειδικότητα που επιτεύχθηκαν ήταν 95,33% έκαστη. Οι Alakus & Turkoglu (2020) αξιολόγησαν έξι διαφορετικά κλινικά προγνωστικά μοντέλα για την ανίχνευση μόλυνσης από COVID-19 χρησιμοποιώντας 18 εργαστηριακά ευρήματα από 600 ασθενείς. Οι τεχνικές που εξετάζονται στα μοντέλα είναι: Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNN), Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα (Recurrent Neural Networks -

RNN), Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Network - ANN), Μακρά Βραχύχρονη Μνήμη (Long-Short Term Memory - LSTM) και Νευρωνικά Δίκτυα Μακράς Βραχύχρονης Μνήμης (CNNLSTM). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ακρίβεια 86,66%, μετρική F1 (F1 score) 91,89%, ακρίβεια 86,75%, ανάκληση (recall) 99,42% και AUC 62,50%. Επίσης, εφαρμόστηκαν LR δένδρα απόφασης (Decision Trees - DT), Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM), Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα (Deep Neural Network - DNN και RF (Random Forest) για την έγκαιρη ανίχνευση του COVID-19 και τα αποτελέσματα απόδοσης είναι 0,971 AUC και 0,82 ευαισθησία (Sun et al., 2020). Οι Hassantabar et al. (2020) χρησιμοποίησαν CNN και DNN για τη διάγνωση ασθενών με COVID-19. Τα CNN επέδειξαν ακρίβεια 93,2% και ευαισθησία 96,1%, ενώ τα DNN ακρίβεια 83,4% και ευαισθησία 86%.

Ομοίως, τα CNN και η LR χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος CovNet30 που χρησιμοποιήθηκε για την αυτόματη διάγνωση του COVID-19 (Gour & Jain, 2020). Το CovNet30 λειτουργεί με ακρίβεια ταξινόμησης 92,74% και ευαισθησία 93,33%. Το δέντρο αποφάσεων (DT) και το CNN χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τη δημιουργία ενός ταξινομητή για την ανίχνευση του COVID-19 από τους Yoo et al. (2020) και ο ταξινομητής λειτουργεί με ακρίβεια 95%.

Το CoroNet προτάθηκε από τους Khan et al. (2020) και Oh et al. (2020). Το CoroNet είναι ένα μοντέλο που βασίζεται στο DCNN που αναπτύχθηκε για την ανίχνευση μόλυνσης από COVID-19 χρησιμοποιώντας εικόνες ακτίνων X θώρακα. Το CoroNet λειτουργεί με ακρίβεια (accuracy) 89,6%, πιστότητα (precision) 93% και ρυθμό ανάκλησης 98,2%. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που υιοθετήθηκαν ήταν το deep CNN και το DNN. Ένα παρόμοιο πείραμα διεξήχθη από τους Mukherjee et al. (2020) χρησιμοποιώντας την προσέγγιση DNN και η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 96,28%. Η ασαφής λογική και το DNN χρησιμοποιήθηκαν από τους Shaban et al. (2021) με τα αποτελέσματα απόδοσης 97,658% ακρίβεια, 96,756% πιστότητα, 96,55% ανάκληση και 96,615% F-measure.

Το MH-COVIDNet προτάθηκε από τον Canayaz (2021) για τη διάγνωση του COVID-19. Υιοθετήθηκαν τεχνικές επιλογής χαρακτηριστικών DNN και μετα-ευρετικής βάσης για την ανάπτυξη του MH-COVIDNet. Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες ακτίνων X. Οι συγγραφείς ανέφεραν συνολική ακρίβεια ταξινόμησης 99,38%. Οι Mansour et al. (2021), πρότειναν το μοντέλο Naive Bayes (Feature Correlated Naïve Bayes - FCNB) και πέτυχε ακρίβεια ανίχνευσης 99%. Τα LR και DCNN χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ενός ταξινομητή με ακρίβεια 98,5%. Οι Alqudah et al. (2020), η ταξινόμηση των περιπτώσεων COVID-19

έγινε με χρήση αλγορίθμων CNN, SVM και RF με σκοπό να συγκριθούν οι επιδόσεις τους. Το CNN αναγνωρίστηκε με την καλύτερη απόδοση με ακρίβεια δοκιμών 95,2%.

5. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Ο αυξανόμενος αριθμός παγκόσμιων κρουσμάτων μόλυνσης από τον COVID-19 είναι ανησυχητικός και ο μεγάλος αριθμός μολυσμένων που κατακλύζουν τα νοσοκομεία σε καθημερινή βάση έχει προκαλέσει υπερέκταση των διαθέσιμων ιατρικών εγκαταστάσεων καθώς και των εργαζομένων στον τομέα της υγείας. Οι ασθενείς χρειάζονται αξιόπιστη και ακριβή διάγνωση και θεραπεία. Υπάρχουν αναφορές ότι με τη χρήση των κλινικών μεθόδων για τη διάγνωση του COVID-19, ορισμένα άτομα που είχαν αρχικά βρεθεί θετικά στον COVID-19 και είχαν κάποια υποκείμενα νοσήματα, αποδείχθηκαν αρνητικά αποτελέσματα μετά από σειρά περαιτέρω εξετάσεων. Αυτό σημαίνει ότι τα πραγματικά θετικά και αληθινά αρνητικά αποτελέσματα δεν είναι πάντα εγγυημένα.

Η πλειονότητα της βιβλιογραφίας έχει επικεντρωθεί στην αξονική τομογραφία ως την κύρια μέθοδο απεικόνισης COVID-19. Ωστόσο, τώρα εξετάζονται και άλλες απεικονιστικές μέθοδοι όπως η ακτινογραφία θώρακος (CXR) και ο υπέρηχος. Το CXR έχει αποδειχθεί χρήσιμο ως έρευνα πρώτης γραμμής για τον έλεγχο του COVID-19 λόγω των πρακτικών πλεονεκτημάτων του, όσον αφορά την ταχύτητα και τον έλεγχο των λοιμώξεων. Στην Κίνα και την Ιταλία, παράλληλα με την RT-PCR και την CT, η ακτινογραφία θώρακος έχει χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και την παρακολούθηση ασθενών. Τα βρετανικά νοσοκομεία έχουν επίσης αρχίσει να χρησιμοποιούν ακτινογραφία θώρακος ως εργαλείο πρώτης γραμμής για τη διαλογή ασθενών με COVID-19, λόγω των μακρών χρόνων διεκπεραίωσης της RT-PCR.

Η σοβαρότητα των ανωμαλιών της ακτινογραφίας θώρακος βρέθηκε να κορυφώνεται στις 10-12 ημέρες από την έναρξη των συμπτωμάτων, παρόμοια με τα ευρήματα CT που κορυφώνονται στις 6-11 ημέρες. Ωστόσο, η CXR μπορεί να παρέχει πρακτικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την αξονική τομογραφία, όπως η πρόληψη της διασταυρούμενης μόλυνσης από τη μεταφορά ασθενών σε μολυσμένες σουίτες CT, η αναποτελεσματικότητα της επακόλουθης απολύμανσης των σειρών CT, καθώς και η μη διαθεσιμότητα CT σε πολλά μέρη του κόσμου.

Επιπλέον, σε ασθενείς με εμφανή κλινικά διαγνωστικά σημεία του COVID-19, μια θετική ακτινογραφία θώρακος μπορεί να αναιρεί την ανάγκη για αξονική τομογραφία, καθιστώντας την CXR βιώσιμη εναλλακτική λύση και από άποψη κόστους-αποτελεσματικότητας. Επιπλέον, η απεικόνιση θα επιτρέψει την ανίχνευση τυχόν υποκείμενων καρδιοπνευμονικών ανωμαλιών καθώς και τον καθορισμό της βασικής

πνευμονικής κατάστασης. Έτσι, επιτρέπεται στους γιατρούς να αξιολογούν τον κίνδυνο και να είναι επιφυλακτικοί για τυχόν πιθανές δευτερεύουσες επιπλοκές του COVID-19, όπως πνευμονική εμβολή, βακτηριακή πνευμονία ή πιθανές καρδιακές ανεπάρκειες.

Το συμπέρασμα είναι ότι τα υπολογιστικά μοντέλα επικεντρώνονται περισσότερο στη χρήση δεδομένων εικόνας ακτίνων Χ θώρακα για τη διάγνωση του COVID-19 αλλά όχι σε άλλα τακτικά συμπτώματα, όπως πυρετός ή ρίγη, βήχας, δύσπνοια ή δυσκολία στην αναπνοή, κόπωση, μυς ή πόνοι στο σώμα, πονοκέφαλος, απώλεια γεύσης ή όσφρησης, πονόλαιμος, συμφόρηση ή καταρροή, ναυτία ή έμετος και διάρροια. Τα μοντέλα δεν είναι χρήσιμα στο πρώιμο στάδιο της μόλυνσης από COVID-19 όταν τα προαναφερθέντα τακτικά συμπτώματα είναι ήπια και φαίνεται ότι κάποιος έχει μολυνθεί από γρίπη ή ελονοσία. Σε αυτό το στάδιο, οι εικόνες με ακτινογραφία θώρακα μπορεί να μην παρουσιάζουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα επειδή το αναπνευστικό/καρδιαγγειακό σύστημα δεν έχει παραμορφωθεί όπως αναμένεται. Μέχρι τη στιγμή αυτής της μελέτης, δεν βρέθηκε καμία μελέτη που να έχει εφαρμόσει κάποιον από τους ταξινομητές ή συνδυασμό των ταξινομητών χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα τακτικά συμπτώματα για τη διάγνωση του COVID-19.

Τέλος, η ευελιξία στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει την αξιοποίηση ποικίλων ιατρικών εικόνων για τη διάγνωση και την αντιμετώπιση του COVID-19. Συνολικά, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη γρήγορη, ακριβή και αποτελεσματική διάγνωση του COVID-19, προσφέροντας ελπίδα για την αντιμετώπιση της πανδημίας.

Βιβλιογραφία

- ACR (2020, March 11). *ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection*.
<https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>
- Adly, A.S., Adly, A.S., & Adly, M.S. (2020). Approaches Based on Artificial Intelligence and the Internet of Intelligent Things to Prevent the Spread of COVID-19: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, 22.
- Ai, T., Yang, Z., Hou, H., Zhan, C., Chen, C., Lv, W., Tao, Q., Sun, Z., & Xia, L. (2020). Correlation of Chest CT and RT-PCR Testing in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A Report of 1014 Cases. *Radiology* vol. 296, no. 2.
- Alakus, T.B., Turkoglu, I., 2020. Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection. *Chaos, Solit. Fractals* 140 (Nov.), 1–7.
- Alashhab, Z.R., Anbar, M., Singh, M.K., Leau, Y., Al-Sai, Z.A., & Abu Alhayja'a, S. (2020). Impact of coronavirus pandemic crisis on technologies and cloud computing applications. *Journal of Electronic Science and Technology*, 19, 100059 - 100059.
- Alqudah, A.M., Qazan, S., Alquran, H., Qasmieh, I.A., Alqudah, A., 2020. COVID-19 detection from x-ray images using different artificial intelligence hybrid models. *Jordan J. Elect. Eng.* 6 (6), 168–178.
- Arora, N., Banerjee, A.K., & Narasu, M.L. (2020). The role of artificial intelligence in tackling COVID-19. *Future Virology* 15(11), 717–724.
- Awwalu, J., Umar, N.A., Ibrahim, M.S., Nonyelum, O.F., 2020. A multinomial naïve Bayes decision support system for covid-19 detection. *Fudma J. Sci.* 4 (2), 704–711.
- Babukarthik, R. G., Adiga, V. A. K., Sambasivam, G., Chandramohan, D., & Amudhavel, J. (2020). Prediction of COVID-19 using genetic deep learning convolutional neural network (GDCNN). *Ieee Access*, 8, 177647-177666.
- Baj, J., Karakuła-Juchnowicz, H., Teresiński, G., Buszewicz, G., Ciesielka, M., Sitarz, E., Forma, A., Karakuła, K.H., Flieger, W., Portincasa, P., & Maciejewski, R. (2020). COVID-19: Specific and Non-Specific Clinical Manifestations and Symptoms: The Current State of Knowledge. *Journal of Clinical Medicine*, 9.

- Baker, R.E., Mahmud, A.S., Miller, I.F., Rajeev, M., Rasambainarivo, F., Rice, B.L., Takahashi, S., Tatem, A.J., Wagner, C.E., Wang, L., Wesolowski, A., & Metcalf, C.J. (2021). Infectious disease in an era of global change. *Nature Reviews. Microbiology*, 20, 193 - 205.
- Bercovich, E., & Javitt, M.C. (2018). Medical Imaging: From Roentgen to the Digital Revolution, and Beyond. *Rambam Maimonides Medical Journal*, 9.
- Bezdek, J. C. (1994). What is computational intelligence? in *Computational Intelligence: Imitating Life*, J. Zurada, R. Marks, and C. Robinson, Eds. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1994, pp. 1-12.
- Bhandari, S., Shaktawat, A.S., Tak, A., Patel, B., Shukla, J., Singhal, S., et al., 2020. Logistic regression analysis to predict mortality risk in COVID-19 patients from routine hematologic parameters. *Ibnosina J. Med. Biomed. Sci.* 12 (2), 123–129.
- Böger, B., Fachi, M.M., Vilhena, R.D., Cobre, A.D., Tonin, F.S., & Pontarolo, R. (2020). Systematic review with meta-analysis of the accuracy of diagnostic tests for COVID-19. *American Journal of Infection Control*, 49, 21 - 29.
- Boudrioua, M. S. (2020). COVID-19 detection from chest X-ray images using CNNs models: Further evidence from Deep Transfer Learning. Boudrioua, Mohamed Samir (2020)" COVID-19 Detection from Chest X-ray Images using CNNs Models: Further Evidence from Deep Transfer Learning," The University of Louisville Journal of Respiratory Infections, 4(1).
- Bullock, J., Luccioni, A., Pham, K. H., Lam, C. S. N., and Luengo-Oroz, M. (2020). Mapping the Landscape of Artificial Intelligence Applications against COVID-19. ArXiv, <https://arxiv.org/abs/2003.11336v1>.
- Canayaz, M., 2021. MH-COVIDNet: diagnosis of COVID-19 using deep neural networks and meta-heuristic-based feature selection on X-ray images. *Biomed. Signal Process Control*. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102257>.
- Cascella, M., Rajnik, M., Cuomo, A., Dulebohn, S.C., & Napoli, R.D. (2020). Features, Evaluation, and Treatment of Coronavirus. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554776/>
- Chamorro, M., Tascón, A.D., Sanz, L.I., Vélez, S.O., & Nacenta, B. (2021). Radiologic diagnosis of patients with COVID-19. *Radiología*, 63, 56 - 73.
- Chen, J., Wu, L., J.Zhang, Zhang, L., Gong, D., Zhao, Y., Hu, S., Wang, Y., Hu, X., Zheng, B., Zhang, K., Wu, H., Dong, Z., Xu, Y., Zhu, Y., Chen, X., L.Yu, and Yu, H. (2020b). Deep Learning-Based Model for Detecting 2019 Novel Coronavirus

- Pneumonia on High-Resolution Computed Tomography: A Prospective Study. *medRxiv*, 1 March(<https://doi.org/10.1101/2020.02.25.20021568>).
- Coldeway, D. (2020). AI and big data wont work miracles in the fight against coronavirus. *Techcrunch*, 26 March.
- De Jong, K. (2006). *Evolutionary Computation: A Unified Approach*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Elflein, J. (2023, August 29). *COVID-19 deaths worldwide as of May 2, 2023, by country and territory*. <https://www.statista.com/statistics/1093256/novel-coronavirus-2019ncov-deaths-worldwide-by-country/>
- Ezzat, D., Hassanien, A. E., & Ella, H. A. (2021). An optimized deep learning architecture for the diagnosis of COVID-19 disease based on gravitational search optimization. *Applied Soft Computing*, 98, 106742.
- Fleitas, P.E., Paz, J.A., Simoy, M.I., Vargas, C., Cimino, R.O., Krolewiecki, A.J., Aparicio, J.P., 2020. Understanding the value of clinical symptoms of COVID-19. A logistic regression model. *medRxiv*. <https://www.medrxiv.org/content/medrxiv/early/2020/10/16/2020.10.07.20207019.full.pdf>.
- Ghaderzadeh, M., & Asadi, F. (2020). Deep Learning in the Detection and Diagnosis of COVID-19 Using Radiology Modalities: A Systematic Review. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, New York, NY, USA.
- Gour, M., Jain, S., 2020. Stacked convolutional neural network for diagnosis of covid-19 disease from x-ray images. Preprints. <https://arxiv.org/pdf/2006.13817.pdf>.
- Groumpos, P.P., 2020. A new mathematical modell for COVID-19: a fuzzy cognitive map approach for coronavirus diseases. In: Paper presented at the 2020 11th International Conference on Information. Intelligence, Systems and Applications (IISA).
- Gurney, K. (1997). *An Introduction to Neural Networks*, Routledge, New York, NY, USA.
- Haque, K.F., & Abdelgawad, A. (2020). A Deep Learning Approach to Detect COVID-19 Patients from Chest X-ray Images. *AI*.
- Hassantabar, S., Ahmadi, M., Sharifi, A., 2020. Diagnosis and detection of infected tissue of COVID-19 patients based on lung X-ray image using convolutional neural network approaches. *Chaos, Solit. Fractals* 140 (C), 1–12.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

- Hiscott, J., Alexandridi, M., Muscolini, M., Tassone, E., Palermo, E., Soultioti, M., & Zevini, A. (2020). The global impact of the coronavirus pandemic. *Cytokine & Growth Factor Reviews*, 53, 1 - 9.
- Iwendi, C., Bashir, A.K., Peshkar, A., Sujatha, R., Chatterjee, J.M., Pasupuleti, S., et al., 2020. COVID-19 patient health prediction using boosted random forest algorithm. *Frontiers in public health* 8 (Jul.), 1–9.
- Jain, B., 2017. The key role of differential diagnosis in diagnosis. *Diagnosis* 4 (4), 239–240.
- Jiang, X., Coffee, M., Bari, A., Wang, J., Jiang, X., Huang, J., Shi, J., Dai, J., Cai, J., Zhang, T., Wu, Z., He, G., and Huang, Y. (2020). Towards an Artificial Intelligence Framework for Data-Driven Prediction of Coronavirus Clinical Severity. *Computers, Materials and Continua*, 63(1):537-551.
- Jin, W., Dong, S., Dong, C., Ye, X., 2021. Hybrid ensemble model for differential diagnosis between COVID-19 and common viral pneumonia by chest X-ray radiograph. *Comput. Biol. Med.* 131 (Apr.), 1–12.
- Keles, A., Keles, M. B., & Keles, A. (2021). COV19-CNNNet and COV19-ResNet: diagnostic inference Engines for early detection of COVID-19. *Cognitive Computation*, 1-11.
- Khan, A. I., Shah, J. L., & Bhat, M. M. (2020). CoroNet: A deep neural network for detection and diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images. *Computer methods and programs in biomedicine*, 196, 105581.
- Khan, A.I., Shah, J.L., Bhat, M.M., 2020. CoroNet: a deep neural network for detection and diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images. *Comput. Methods Progr. Biomed.* 196 (Nov.), 1–10.
- Khan, S.A., Manohar, M., Khan, M., Hasan, N., Zaheer, S., Asad, F., & Adil, S.O. (2022). Utility of the serial portable chest x-ray for the diagnosis and quantification of COVID-19 patients. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 18, 321 - 330.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G.E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60, 84 - 90.
- Kumar, H., Fernandez, C.J., Kolpatil, S., Munavvar, M., & Pappachan, J.M. (2021). Discrepancies in the clinical and radiological profiles of COVID-19: A case-based discussion and review of literature. *World Journal of Radiology*, 13, 75 - 93.
- Li, K., Fang, Y., Li, W., Pan, C., Qin, P., Zhong, Y., & Li, S. (2020). CT image visual quantitative evaluation and clinical classification of coronavirus disease (COVID-19). *European radiology*, 30(8), 4407-4416.

- Lippi, G., & Plebani, M. (2018). A Six-Sigma approach for comparing diagnostic errors in healthcare-where does laboratory medicine stand? *Annals of translational medicine*, 6, 10, 180.
- Maghdid, H., Ghafoor, K., Sadiq, A., Curran, K., and Rabie, K. (2020). A Novel AI-enabled Framework to Diagnose Coronavirus COVID-19 using Smartphone Embedded Sensors: Design Study. *ArXiv*, <https://arxiv.org/abs/2003.07434>.
- Mahmud, T., Rahman, M.A., Fattah, S.A., 2020. CovXNet: a multi-dilation convolutional neural network for automatic COVID-19 and other pneumonia detection from chest X-ray images with transferable multi-receptive feature optimization. *Comput. Biol. Med.* 122 (Jul.), 1–11.
- Mansour, N.A., Saleh, A.I., Badawy, M., Ali, H.A., 2022. Accurate detection of covid-19 patients based on Feature Correlated Naïve Bayes (FCNB) classification strategy. *J. Amb. Intell. Humanized Comput.* 13 (Jan.), 41–73.
- Marks, R. (1993). Intelligence: Computational versus Artificial. *IEEE Trans. Neural Netw.* vol. 4, no. 5, pp. 737–739.
- Marques, G., Agarwal, D., & de la Torre Díez, I. (2020). Automated medical diagnosis of COVID-19 through EfficientNet convolutional neural network. *Applied soft computing*, 96, 106691.
- Masters, T. (1993). *Practical Neural Network Recipes in C++*, Academic Press, New York, NY, USA.
- Mei, Y., Guo, X., Chen, Z., & Chen, Y. (2022). An Effective Mechanism for the Early Detection and Containment of Healthcare Worker Infections in the Setting of the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review and Meta-Synthesis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
- Minaee, S., Kafieh, R., Sonka, M., Yazdani, S., & Soufi, G. J. (2020). Deep-COVID: Predicting COVID-19 from chest X-ray images using deep transfer learning. *Medical image analysis*, 65, 101794.
- Mukherjee, H., Ghosh, S., Dhar, A., Obaidullah, S.M., Santosh, K., Roy, K., 2020. Deep neural network to detect COVID-19: one architecture for both CT Scans and Chest Xrays. *Appl. Intell.* Available at: <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01943-6,1-13>.
- Ng, M., Lee, E.Y., Yang, J., Yang, F., Li, X., Wang, H., Lui, M.M., Lo, C.S., Leung, B., Khong, P., Hui, C.K., Yuen, K.Y., & Kuo, M.D. (2020). Imaging Profile of the COVID-19 Infection: Radiologic Findings and Literature Review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2.

- Novak, V., Perfilieva, I., Moc̣koṛ, J. (1999). *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. Dordrecht: Kluwer.
- Oh, Y., Park, S., Ye, J.C., 2020. Deep learning covid-19 features on cxr using limited training data sets. *IEEE Trans. Med. Imag.* 39 (8), 2688–2700.
- Oliveira, B.A., Oliveira, L.C., Sabino, E.C., & Okay, T.S. (2020). SARS-CoV-2 and the COVID-19 disease: a mini review on diagnostic methods. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 62.
- Ou, X., Chen, X., Xu, X., Xie, L., Chen, X., Hong, Z., Bai, H., Liu, X., Chen, Q., Li, L., & Yang, H. (2021). Recent Development in X-Ray Imaging Technology: Future and Challenges. *Research*.
- Ozturk, T., Talo, M., Yildirim, E. A., Baloglu, U. B., Yildirim, O., & Acharya, U. R. (2020). Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images. *Computers in biology and medicine*, 121, 103792.
- Palit, A. K. and Popovic, D. (2006). *Computational Intelligence in Time Series Forecasting: Theory and Engineering Applications*. New York: Springer-Verlag, p. 4.
- Rosebrock, A. (2020). Detecting COVID-19 in X-ray Images with Keras, TensorFlow, and Deep Learning. *PyImageSearch*, 16 March.
- Ross, C. and Robbins, R. (2020). Debate Flares Over Using AI to Detect Covid-19 in Lung Scans. *Stat*, 30 March.
- Rubin, G., Haramati, L., Kanne, J., Schluger, N., Yim, J.-J., Anderson, D., Altes, T., Desai, S., Goo, J. M., Inoue, Y., Luo, F., Prokop, M., Richeldi, L., Tomiyama, N., Leung, A., Ryerson, C., Sverzellati, N., Raoof, S., & Volpi, A., & Wells, A. (2020). The Role of Chest Imaging in Patient Management during the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement from the Fleischner Society. *Radiology*. 296. 201365. 10.1148/radiol.2020201365.
- Sethy, P.K., Behera, S.K., Ratha, P.K., Biswas, P., 2020. Detection of coronavirus disease (COVID-19) based on deep features and support vector machine. Preprints. https://www.preprints.org/manuscript/202003.0300/download/final_file.
- Shaban, W.M., Rabie, A.H., Saleh, A.I., Abo-Elsoud, M., 2021. Detecting COVID-19 patients based on fuzzy inference engine and Deep Neural Network. *Appl. Soft Comput.* 99, 106906.
- Siddique, N., Adeli, H. (2013). *Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing*. Hoboken, NJ: Wiley.

- Silahudin, D., Holidin, A., 2020. Model expert system for diagnosis of covid-19 using naïve Bayes classifier. In: Paper presented at the IOP conference series: Materials Science and Engineering.
- Singh, R.K., Pandey, R., Babu, R.N., 2021. COVIDScreen: explainable deep learning framework for differential diagnosis of COVID-19 using chest X-Rays. *Neural Comput. Appl.* 10 (4), 1–22.
- Somers, M. J., Casal, J. C. (2009). Using artificial neural networks to model nonlinearity. *Organ. Res. Methods*, vol. 12, no. 3, pp. 403–417. doi: 10.1177/1094428107309326.
- Stergiou, C., and Siganos, D. (1997). Neural networks. *Imperial Coll. London Surprise J.*, vol 4, p. 1.
- Sun, N.-N., Yang, Y., Tang, L.-L., Dai, Y.-N., Gao, H.-N., Pan, H.-Y., Ju, B., 2020. A prediction model based on machine learning for diagnosing the early COVID-19 patients. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.20120881>.
- Umer, M., Ashraf, I., Ullah, S., Mehmood, A., & Choi, G. S. (2022). COVINet: A convolutional neural network approach for predicting COVID-19 from chest X-ray images. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13(1), 535–547.
- Uzoka, F.-M.E., Akinnuwesi, B.A., Amoo, T., Aladi, F., Fashoto, S., Olaniyan, M., Osuji, J., 2016. A framework for early differential diagnosis of tropical confusable diseases using the fuzzy cognitive map engine. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Comput. Elect. Automat. Control Inf. Eng.* 10 (2), 346–353.
- Wang, L. and Wong, A. (2020). COVID-Net: A Tailored Deep Convolutional Neural Network Design for Detection of COVID-19 Cases from Chest Radiography Images. *arXiv*, 22 March(<https://arxiv.org/abs/2003.09871>).
- Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Xu, K., Zhou, M., Yang, D., Ling, Y., Liu, K., Bai, T., et al., 2020. Application of ordinal logistic regression analysis to identify the determinants of illness severity of COVID-19 in China. *Epidemiol. Infect.* 148 (Jul.), 1–11.
- Yan, L., Zhang, H.-T., Xiao, Y., Wang, M., C. Sun, Liang, J., Li, S., M. Zhang, Guo, Y., Xiao, Y., Tang, X., Cao, H., Tan, X., Huang, N., and A. Luo, B. J., Cao, Z., H. Xu, and Yuan, Y. (2020). Prediction of Criticality in Patients with Severe Covid-19 Infection Using Three Clinical Features: A Machine Learning-Based Prognostic

Model with Clinical Data in Wuhan. *medRxiv*, 3 March
(<https://doi.org/10.1101/2020.02.27.20028027>).

- Yoo, S.H., Geng, H., Chiu, T.L., Yu, S.K., Cho, D.C., Heo, J., et al., 2020. Deep learning-based decision-tree classifier for COVID-19 diagnosis from chest X-ray imaging. *Front. Med.* 7 (Jul.), 1–8.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Computation*, vol. 8, pp. 338–353.
- Zadeh, L. A. (1968). Fuzzy algorithms. *Information and Computation*, vol. 12, no. 2, pp. 94–102.