

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 20ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1994

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ ΔΙΑΝΝΕΛΙΔΗ

ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΚΗ... **Ἐγκαιρὴ διάγνωση τοῦ καρκίνου τῶν πνευμόνων μὲ ψηφιακὴ-νευρωνικὴ τεχνολογία, ὑπὸ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Πάνου Α. Λιγομενίδη καὶ Jyh-Shyan Lin καὶ Yun-Shu Chiou*.**

Κύριε Πρόεδρε, Κύριοι συνάδελφοι, Κυρίες καὶ Κύριοι,

Λόγω τοῦ περιορισμένου χρόνου ποὺ ἔχουμε στὴ διάθεσή μας θὰ σᾶς παρουσιάσω τὸ θέμα μου μέσα ἀπὸ μία σειρά εἰκόπων ἐπιλεγμένων ἔτσι ὥστε νὰ σᾶς δώσουν μία συνολικὴ ἐποπτικὴ εἰκόνα τῶν δυνατοτήτων τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος «Ἴπποκράτης-πν»¹ τὸ ὁποῖο ἀναπτύσσουμε.

1. Εἰσαγωγή

Ἡ προστασία τῆς ὑγείας μὲ ἔγκαιρη διάγνωση καὶ θεραπεία κάποιας ἐκκολαπτόμενης ἀσθένειας ἀποτελεῖ παγκοσμίως κεντρικὴ ἐπιδίωξη τῶν Ὑπηρεσιῶν Ὑγείας στὴν ἀντιμετώπιση τῶν οἰκονομικῶν καὶ κοινωνικῶν προβλημάτων στὸ χῶρο τῆς ὑγείας. Ἰδιαιτέρως στὴν περίπτωση τοῦ καρκίνου, ἡ ἔγκαιρη διάγνωση, πρὶν τὴν ἐμφάνιση κλινικῶν συμπτωμάτων, ἔχει αὐξημένη σημασία.

Βρίσκονται σήμερα σὲ ἐξέλιξη ποικιλία ἐρευνητικῶν προσπαθειῶν γιὰ τὴν ἀνακάλυψη μεθόδων ἔγκαιρης διάγνωσης, ὅπως οἱ μέθοδοι ποὺ βασιζοῦνται σὲ τεχνολογίες βιοχημείας καὶ στὴν ἀνίχνευση καὶ ἐκτίμηση «καρκινικῶν δεικτῶν», γιὰ τίς ὁποῖες δὲν εἶμαι εἰδικὸς νὰ σᾶς πληροφορήσω. Πολὺ προσφάτως διάβασα σὲ δελτίο τοῦ πανεπιστημιακοῦ νοσοκομείου Johns Hopkins τῆς Πολιτείας Maryland γιὰ

* P. A. LIGOMENIDES, JYH-SHAN LIN, YUN-SHU CHIOU, **Early diagnosis of lung cancer from xray radiogram using digital-neural technology.**

1. «Ἴπποκράτης-πν» εὐμόνων.

κάποιες επιτυχίες στην αναζήτηση μεθόδων έγκαιρης διάγνωσης του καρκίνου μέσα από έρμηνεία τών κωδικών του DNA σε δείγματα αίματος. Τέτοιες έρευνητικές προσπάθειες άφορούν τόν ταχέως αναπτυσσόμενο κλάδο τής *Βιοπληροφορικής*, δηλαδή τήν έπεξεργασία και έρμηνεία σχημάτων και γραμμικών κωδικών που βρίσκονται ένσωματωμένα σε βιολογικά δείγματα.

Ή δική μας επιδίωξη ύπῆρξε ή άνεύρεση μεθόδων έγκαιρης διάγνωσης του καρκίνου με οικονομικώς προσιτά μέσα και με ύψηλή διαγνωστική αξιοπιστία. Ξεκινήσαμε τήν έρευνητική μας προσπάθεια με τήν ανάπτυξη μεθόδων ψηφιακής-νευρωνικής τεχνολογίας για τήν έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου τών πνευμόνων, ως ούσιαστικό βοήθημα στον άκτινολόγο ιατρό.

Ίδιαιτέρως, ό έντοπισμός περιπτώσεων ύψηλού κινδύνου με οικονομικώς προσιτό δημόσιο διαγνωστικό έλεγχο, και ή έγκαιρη παραπομπή στον άκτινολόγο-πνευμονολόγο ιατρό, άποτελεϊ κύριο στόχο μας. Τό βασικό έρέθισμα τής έρευνάς μας, όπως και άλλων πολλών σχετικών έρευνητικών προσπαθειών διεθνώς, τό έδωσαν τά άποτελέσματα πειραματικών μελετών στις ΗΠΑ κατά τήν είκοσαετία 1965-1985, τά όποια έγιναν γνωστά ως «Lung Projects» («Προγράμματα Πνευμόνων»), τά όποια άφορούσαν,

(1) στον προσδιορισμό τών άρίστων συνθηκών και διαδικασιών άκτινογραφήσεως μικρών πνευμονικών μαζών στο θώρακα, και

(2) στην εκτίμηση του όρίου ευδιακρισίας στην όπτική άνίχνευση και στον προσδιορισμό του πλέον πρώιμου σταδίου διαγνώσεως κακοήθων όγκιδίων μέσω άπλης άκτινογραφίας θώρακος από εκπαιδευμένους νοσοκομειακούς άκτινολόγους.

Διαπιστώθηκε ότι:

έκπαιδευμένοι νοσοκομειακοί άκτινολόγοι, που εκτελούν μία μόνο περιορισμένου χρόνου εξέταση τής άκτινογραφίας, άνιχνεύουν και ταξινομοούν πνευμονικά όγκίδια μέχρι όρίου ευδιακρισίας 3-5 χιλ. με εύαισθησία (ποσοστό άληθών-θετικών διαγνώσεων) περίπου 70%, αλλά με χαμηλή ειδικότητα, δηλαδή με σημαντικά μεγάλο ποσοστό ψευδο-θετικών διαγνώσεων.

Ένα τρίτο τών μη άνιχνευθέντων όγκιδίων, κατέστησαν άνιχνεύσιμα άνδρομικά με έπαναληπτική εξέταση τής άκτινογραφίας, ή με άνεξάρτητες εξετάσεις από δύο άκτινολόγους με διαιτητή.

Όπως θα διαπιστώσετε από εικόνες πλαισίων έντοπισμού ύπόπτων όγκιδίων, τίς όποιες θα σάς παραθέσω στη συνέχεια, μικρά όγκίδια στα όρια τής ευδιακρισίας τών 5 χιλιοστών γίνονται εύκολα άνιχνεύσιμα σε άκτινογραφίες που έχουν ύποστεϊ ψηφιακή προεπεξεργασία.

Οί διαπιστώσεις αυτών τών πολυετών μελετών τών διαφόρων «Προγραμμάτων

Πνευμόνων» (Lung Projects), έδωσαν ώθηση παγκοσμίως στην αναζήτηση μεθοδολογιών, κυρίως ψηφιακής τεχνολογίας, με σκοπό την επεξεργασία ακτινογραφιών θώρακος για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου των πνευμόνων. Από όσα διαβάζουμε στην πρόσφατη διεθνή βιβλιογραφία, διακρίνονται για την απόδοσή τους το κέντρο έρευνητικής δραστηριότητας του Έργαστηρίου Rossman του Πανεπιστημίου του Chicago, ιδιαίτερα για τις επιτυχίες του στην ψηφιακή διάγνωση υπόπτων όγκιδίων σε άπλες ακτινογραφίες θώρακος, τα Έργαστήρια Άκτινογραφίας των Ίατρικών Σχολών των Πανεπιστημίων Duke και Rochester, το Health Systems Operations, IBM Japan Ltd, Tokyo 103, Japan, και ή ομάδα του Georgetown University Medical Center & University of Maryland Cybernetics Research Laboratory, δηλαδή ή δική μας ομάδα έρευνών που διακρίνεται για τις επιδόσεις στην ύβριδική (ψηφιακή-νευρωνική) διάγνωση και ταξινόμηση μικρών όγκιδίων τα όποια ανιχνεύονται σε ακτινογραφία θώρακος.

Το διαγνωστικό σύστημα «Ίπποκράτης-πν» έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα με βάση δύο διαφορετικές συναγωνιζόμενες μεθοδολογίες, που άφορούν τή μεθοδολογική προσέγγιση και την άρχιτεκτονική των χρησιμοποιουμένων νευρωνικών δικτύων. Η μία μεθοδολογική προσέγγιση (J-S Lin) άφορᾶ τήν ειδική data driven «συνελικτική» άρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων, εφαρμοσμένη στο μοντέλο A01.00 του «Ίπποκράτη-πν», το όποιο εκτελεΐται σε ύπολογιστή DEC Alpha και άπαιτεί περίπου 15 δευτερόλεπτα για τήν ανίχνευση και ταξινόμηση μικρών υπόπτων όγκιδίων στους πνεύμονες. Το μοντέλο «Ίπποκράτης-πν» A01.00 κάνει διάγνωση με εύαισθησία και ειδικότητα περίπου 80% και 70% αντίστοιχως. Η δεύτερη μεθοδολογική προσέγγιση (Y-S Chiou), τήν όποια αναπτύσσουμε συναγωνιστικά με τήν πρώτη, άφορᾶ τήν ανάπτυξη ειδικής feature driven άρχιτεκτονικής νευρωνικών δικτύων, εφαρμοσμένης στο αναπτυξιακό μοντέλο Ίπποκράτης-πν B01.00, το όποιο λειτουργεί σε συνηθισμένο Προσωπικό Ύπολογιστή (PC 8MB+, 20MB+HD). Το μοντέλο Ίπποκράτης-πν B01.00, το όποιο είναι προικισμένο με όρισμένα πρόσθετα πλεονεκτήματα πέραν τής εύχρηστίας του σε Προσωπικό Ύπολογιστή, έχει σήμερα περίπου τις ίδιες επιδόσεις με το μοντέλο A01.00.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ή εφαρμογή του διαγνωστικού συστήματος «Ίπποκράτης-πν» σε έκτεταμένη δημόσια κλίμακα Προληπτικής Ίατρικής, ως έργαλειό ύποστηρίξεως του άκτινολόγου ίατρού, πρέπει να παρέχει αυτοματοποιημένη διαγνωστική εξέταση χωρίς τήν ανάγκη ειδικού χειριστού, με χαμηλό κόστος και με ύψηλή άξιοπιστία, ώστε να ύπηρετεί τόν άκτινολόγο άξίόπιστα ως «δεύτερη γνώμη», παραπέμποντας σε αυτόν τις περιπτώσεις ύψηλού κινδύνου παρέχοντας χρήσιμα διαγνωστικά στοιχεία.

Στή συνέχεια θα σās περιγράψουμε τή λειτουργία, τήν ἀρχιτεκτονική και τίς ἐπιδόσεις τοῦ συστήματος «Ίπποκράτης-πν».

Στὴν εἰκόνα 1 παρουσιάζουμε τὴν ἐργαστηριακὴ διάταξη ἀποκτήσεως καὶ ἐπεξεργασίας τοῦ ψηφιακοῦ ἀρχείου ἀκτινογραφίας θώρακος. Κατὰ βάση ἀπαιτεῖται μόνο ὁ σαρωτὴς τοῦ φιλμ τῆς ἀκτινογραφίας καὶ ὁ ὑπολογιστὴς ποὺ δέχεται τὸ δημιουργούμενο ψηφιακὸ ἀρχεῖο καὶ ἐκτελεῖ τὰ προγράμματα τοῦ συστήματος «Ίπποκράτης-πν». Οἱ ἐνδιάμεσες μονάδες προβλέπονται γιὰ ἐγκαταστάσεις μεγάλης ἐκτάσεως, ὅπου ὁ κεντρικὸς ὑπολογιστὴς, ἢ καὶ δίκτυο διαγνωστικῶν σταθμῶν, ἱκανοποιεῖ τίς ἀνάγκες διαγνώσεως καὶ παρακολούθησεως μεγάλου πλήθους ἀτόμων, ὅπως σὲ ἐγκαταστάσεις νοσοκομείων ἢ δικτύων τηλε-ἰατρικῆς.

Τὸ διάγραμμα ροῆς τῆς εἰκόνας 2 περιγράφει τὴν ἐπεξεργασία τοῦ ψηφιακοῦ ἀρχείου τῆς ἀκτινογραφίας σὲ δύο στάδια, τὸ στάδιο τῆς ψηφιακῆς ἐπεξεργασίας ἀκολουθούμενο ἀπὸ τὸ στάδιο τῆς νευρωνικῆς ἐπεξεργασίας. Τὸ κάτω μέρος τῆς εἰκόνας δείχνει μία προβλεπόμενη ἐπέκταση τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος μὲ τὴν προσθήκη Βάσεως Ἐμπειρῶν Γνώσεων ποὺ θὰ ἐπιτρέψει στὸν ἀκτινολόγο ἢ πνευμονολόγο ἰατρὸ νὰ ἐπεκτείνει τὴ διάγνωση λαμβάνοντας ὑπόψη καὶ κλινικὰ καὶ ἐργαστηριακὰ δεδομένα.

2. ΣΤΑΔΙΟ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ἡ διαδικασία τῆς ψηφιακῆς ἐπεξεργασίας τῆς ἀκτινογραφίας περιγράφεται στὴν εἰκόνα 3. Περιλαμβάνει ἀλγόριθμους γιὰ τὸν ἐντοπισμὸ τῶν ὀρίων τῶν πνευμόνων, τὴν ἀνάδειξη ὀγκιδίων, τὴν ἀνίχνευση ὑπόπτων ὀγκιδίων, καὶ τὴν ἐξάλειψη τοῦ θορύβου ἀπὸ τίς περιοχὲς ποὺ περιέχουν τὰ ἐντοπισθέντα ὑποπτα ὀγκίδια.

Ἀκολουθοῦν οἱ παραστάσεις τῶν ὀρίων τῶν πνευμόνων στὴν εἰκόνα 4, τῆς ἀναδείξεως ὀγκιδίων στὴν εἰκόνα 5, τοῦ ἐντοπισμοῦ ὑπόπτου ὀγκιδίου στὴν εἰκόνα 6, καὶ τῆς ἐπεξεργασίας τοῦ θορύβου στὰ πλαίσια τῶν ὑπόπτων ὀγκιδίων στὴν εἰκόνα 7. Νὰ σημειωθεῖ ὅτι αὐτὸ ποὺ καθιστᾷ πολὺ δύσκολη τὴ διάγνωση καρκινικῶν ὀγκιδίων εἶναι ἡ παρουσία φυσιολογικῶν δομῶν τοῦ θώρακος πολὺ ὅμοιας ἀπεικόνισης μὲ τὰ καρκινικὰ ὀγκίδια, γεγονὸς ποὺ ἀποτελεῖ τὴν κύρια αἰτία τῶν ψευδοθετικῶν διαγνώσεων, ὅπως καὶ ἡ δυνατὴ παρουσία ἄλλων, μᾶλλον σπανιοτέρων, παθολογικῶν δομῶν, ὅπως καταγράφεται στὴν εἰκόνα 6.

Στὴν ἐπόμενη εἰκόνα 8(α) παραθέτουμε δειγματοληπτικῶς μερικὰ πλαίσια εἰκόνων ἐντοπισμένων καρκινικῶν (true) ἢ μὴ (false) ὀγκιδίων, τὰ ὅποια ἐντοπίστηκαν μὲ ψηφιακὴ ἐπεξεργασία καὶ χρησιμοποιήθηκαν γιὰ τὴν ἐκπαίδευση καὶ τὴν ἐργαστηριακὴ δοκιμὴ τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος «Ίπποκράτης-πν». Τὸ μέγεθος τῶν πλαισίων στὴν εἰκόνα 8(α) ἀντιστοιχεῖ σὲ 32×32 πίξελς, τὸ ὅποιο στὴ διαχωριστι-

κότητα των 512×625 πίξελς για την εικόνα της ακτινογραφίας των 14×17 ίντσων αντίστοιχῆ σὲ περίπου 22×22 χιλιοστά. Παρατηρεῖ κανεὶς ὅτι, συγκρινόμενα μὲ τὸ μέγεθος τοῦ πλαισίου, τὰ ἐντοπισθέντα καρκινικὰ ὄγκιδια τῆς εἰκόνας 8(α) εἶναι μικροῦ μεγέθους, διαμέτρου ὡς ἐπὶ τὸ πλεῖστον μικροτέρας τοῦ ἑνὸς ἑκατοστοῦ, ὅπως τὸ παράδειγμα τοῦ ὄγκιδίου τῶν πέντε περίπου χιλιοστῶν στὸ πλαίσιο (1,5) τῆς εἰκόνας 8(α). Γιὰ λόγους συγκρίσεως, παραθέτουμε στὴν εἰκόνα 8(β) τὰ ἴδια πλαίσια τῆς ἀκατέργαστης ακτινογραφίας, ὥστε νὰ καταστῆ προφανῆς ἡ δυσκολία ἐντοπισμοῦ καὶ διάγνωσης τῶν ὄγκιδίων στὸ ἀκατέργαστο φιλμ τῆς ακτινογραφίας, ἀκόμη καὶ ἀπὸ εἰδικὰ ἐκπαιδευμένο ἀκτινολόγο ὁ ὁποῖος ψάχνει τὴν ακτινογραφία γιὰ τὸν ἐντοπισμὸ καρκινωμάτων τόσο μικρῶν μεγεθῶν.

3. ΣΤΑΔΙΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ἡ νευρωνικὴ ἐπεξεργασία τῶν ὑπόπτων ὄγκιδίων SNAs* περιγράφεται στὴν ἐπόμενη εἰκόνα 9. Ἡ πρώτη βαθμίδα τῆς «Συνελικτικῆς» ἀρχιτεκτονικῆς (Convolution Neural Network - CNN) τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος «Ἴπποκράτης-πν» A01.00, ἡ ὁποία ἐκτίθεται σχηματικὰ στὴν εἰκόνα 10, ταξινομεῖ τὰ ὄγκιδια σὲ πέντε κατηγορίες μὲ βάση τὴν ἐκτίμηση τῆς πιθανότητας νὰ εἶναι κακοήγη. Τὰ ὄγκιδια ποὺ ταξινομοῦνται στὴν «γκρίζα» περιοχὴ πιθανοτήτων μεταξύ 12.5 καὶ 87.5%, ἡ ὁποία περιέχει τὴν πλειονότητα τῶν «ψευδο-θετικῶν» διαγνώσεων (αὐτῶν ποὺ ἐλαττώνουν τὴν ἀπόδοση σὲ εἰδικότητα), ὁδηγοῦνται σὲ ἐπαναληπτικὴ ταξινομήση ἀπὸ δευτέρη, εἰδικὰ ἐκπαιδευμένη, βαθμίδα συνελικτικῆς νευρωνικῆς ἐπεξεργασίας καὶ ταξινομήσης. Ἡ προσθήκη τῆς δευτέρας βαθμίδας συνελικτικῆς ἀρχιτεκτονικῆς βοήθησε στὴν ἐλάττωση τῶν ψευδο-θετικῶν διαγνώσεων. Νὰ προσθέσουμε ἐδῶ ὅτι ἡ ἐπιβεβαίωση τῆς ἀκριβείας τῶν ἐργαστηριακῶν διαγνώσεων τοῦ συστήματος «Ἴπποκράτης-πν» ἔγινε μὲ διάφορους τρόπους, ὅπως μὲ ἀξονικὴ τομογραφία, βιοψία, διαχρωμικὴ παρακολούθηση καὶ μὲ συγκριτικὲς ἐκτιμήσεις εἰδικῶν ἀκτινολόγων μὲ διαιτητή.

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στὴν εἰκόνα 11(α) σκιαγραφεῖται ἡ διαδικασία παραγωγῆς τοῦ διαγράμματος ROC (Receiver Operating Curve), τὸ ὁποῖο χρησιμοποιεῖται ὡς ὁ «χρυσὸς κανόνας» γιὰ τὴν ἀξιολόγηση τῆς διαγνωστικῆς ἀξιοπιστίας συστημάτων διάγνωσης, ὅπως τὸ σύστημα «Ἴπποκράτης-πν». Τὰ ἰστογράμματα ποὺ δημιουργοῦνται ἀπὸ τὶς πιθανο-ἀποκρίσεις τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος σαρώνονται ἀπὸ τὸ διαχωριστικὸ

* (Suspect Nodule Areas).

όριο πιθανότητας μεταξύ θετικής/άρνητικής (positive/negative) ταξινόμησης, και τὰ ποσοστά τῶν ἀντιστοιχῶν ψευδο-θετικῶν (false-positive) καὶ ἀληθῶν-θετικῶν (true-positive) ἀποδόσεων ἀποτυπώνονται στὸ διάγραμμα ROC, ὅπως παριστάνεται στὸ κάτω μέρος τῆς εἰκόνας 11(α).

Στὴν εἰκόνα 11(β) παραθέτουμε ἐνδεικτικὰ τὶς ἀποδόσεις τῶν ἐργαστηριακῶν δοκιμῶν τοῦ συστήματος Ἰπποκράτης-πν Α01.00, σὲ σύγκριση μὲ τὴν ἀπόδοση εἰδικῶς ἐκπαιδευμένου συνεργάτου ἀκτινολόγου, ὁ ὁποῖος ταξινόμησε ἐπίσης τὰ ἴδια δείγματα ὑπόπτων ὄγκιδίων ποὺ προέκυψαν ἀπὸ τὴν ψηφιακὴ ἐπεξεργασία κλινικῶν ἀκτινογραφιῶν.

Οἱ ὁθόνες τῶν διαγνωστικῶν συστημάτων Ἰπποκράτης-πν Α01.00 καὶ Β01.00 ἀπεικονίζονται ἐνδεικτικὰ στὴν εἰκόνα 12. Τὰ ὑποπτα ὄγκιδια σημειώνονται μὲ μικροὺς κύκλους τῶν ὁποίων ἡ διάμετρος ἀντιστοιχεῖ στὸ μέγεθος τοῦ ὄγκιδίου. Τὰ ἀναγνωριστικὰ καὶ διαγνωστικὰ στοιχεῖα, συμπεριλαμβανομένης καὶ τῆς πιθανότητας καρκινώματος, δίδονται στοὺς πίνακες ποὺ παρατίθενται στὸ κάτω μέρος καὶ στὰ περιθώρια τῆς εἰκόνας. Πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὅτι τὸ σύστημα «Ἰπποκράτης-πν» παρέχει καὶ τὴ δυνατότητα «ζωντανῆς» ἐπικοινωνίας (interactive mode of operation), ἔτσι ὥστε ὁ ἀκτινολόγος νὰ δύναται νὰ ἀνακρίνει τὴ διαγνωστικὴ διαδικασίαν καὶ νὰ ἀνιχνεύει ἀπ' εὐθείας (on-line) δικές του ἐπιλογές ὑπόπτων περιοχῶν.

Συμπερασματικά, τὸ σύστημα «Ἰπποκράτης-πν» ἔχει σήμερον τὴ δυνατότητα νὰ κάνει αὐτόματη διάγνωση σὲ χρόνο μερικῶν δευτερολέπτων μὲ ἀπόδοση ποὺ χαρακτηρίζεται ἀπὸ εὐαισθησία περίπου 80% ἀληθῶν-θετικῶν διαγνώσεων καὶ ἀπὸ εἰδικότητα περίπου 70% ἀληθῶν-άρνητικῶν διαγνώσεων (ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ περίπου 1.5 ψευδο-θετικὲς διαγνώσεις ἀνὰ ἀκτινογραφία).

Τὸ συνεχιζόμενο ἐρευνητικὸ μας πρόγραμμα περιλαμβάνει βελτιώσεις στὶς ἀρχιτεκτονικὲς τῆς νευρωνικῆς ἐπεξεργασίας μὲ κύριο σκοπὸ τὴν περαιτέρω ἐλάττωση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ψευδο-θετικῶν διαγνώσεων, καὶ τὴν εὐρείας ἐκτάσεως ἐλεγχόμενῃ ἐφαρμογῇ καὶ δοκιμῇ πεδίου μὲ σκοπὸ τὸν καθορισμὸ τῶν ἀρίστων κωδικοποιήσεων, συνθηκῶν καὶ διαδικασιῶν συνεργασίας (interfacing) μὲ τοὺς ἀκτινολόγους καὶ πνευμονολόγους ἰατροὺς.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τὰ οἰκονομικὰ καὶ κοινωνικὰ ὀφέλη ποὺ ὑπόσχεται ἡ πρακτικὴ διαθεσιμότητα ἐνὸς αὐτοματοποιημένου διαγνωστικοῦ συστήματος ψηφιακῆς-νευρωνικῆς τεχνολογίας μὲ ὑψηλὴ διαγνωστικὴ ἀξία γιὰ τὴν ἔγκαιρὴ διάγνωση ἀσυμπτωματικῶν μικρῶν ὄγκιδίων τοῦ καρκίνου τῶν πνευμόνων, εἶναι ἀνυπολόγιστα.

Ἐπιπροσθέτως, οἱ δυνατὲς προεκτάσεις ἐφαρμογῆς τῆς τεχνολογίας αὐτῆς καὶ

σε άλλες μορφές καρκίνου, όπως και η ευρύτερη σημασία της τρέχουσας έρευνητικής δυναμικής που έχουμε αναπτύξει στις ΗΠΑ όσον αφορά και βιομηχανικές εφαρμογές, υπήρξαν οι κύριοι λόγοι για τους οποίους, από τις ποικίλες περιοχές των τρεχόντων έρευνητικών ενδιαφερόντων του στις ΗΠΑ, επέλεξε την έρευνα αυτή ό εκ των συγγραφέων Π. Α. Λιγομενίδης, για να αποτελέσει τὸ επίκεντρο της έρευνητικής και αναπτυξιακής δραστηριότητάς του στην Ελλάδα μετὰ τὸν πρόσφατο έπαναπατρισμό του.

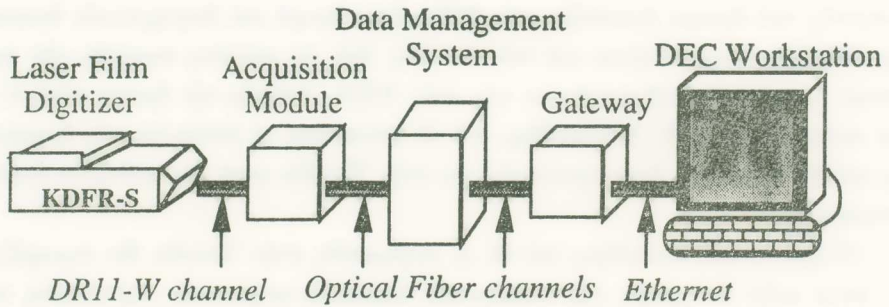
Οί έρευνητικές επιδιώξεις τοῦ Π. Α. Λιγομενίδη στην Ελλάδα δὲν περιορίζονται ἀπλὰ στην ἀντιγραφή της ὑπάρχουσας ψηφιακής-νευρωνικής τεχνολογίας που ἀναπτύχθηκε στις ΗΠΑ, ἀλλὰ ἀποβλέπουν κυρίως στην ἀνάπτυξη και ἐφαρμογή οικονομικά προσιτῶν συστημάτων ὑψηλῆς διαγνωστικῆς ἀξίας στην Ελλάδα, ἀρχῆς γενομένης με ἰατρικές ἐφαρμογές.

* (Ἀκολούθησε σύντομη ἐπίδειξη της λειτουργίας τοῦ διαγνωστικοῦ συστήματος («Ἴπποκράτης-πν»)).

S U M M A R Y

Early diagnosis of lung cancer from xray radiogram using digital-neural technology.

We have developed a data-driven and a feature-driven hybrid, digital-neural, diagnostic computer-based (N. CADx) processing architecture for early detection and classification of small size cancerous lung nodules (as small as 3 to 5 millimeters) found in digitized chest radiographs. The developed N. CADx architectures employ digital image processing and image enhancement techniques for the localization of suspected nodule areas, which subsequently are classified by trained neural networks. Our N. CADx architectures were tested and have demonstrated over 80% sensitivity and 70% specificity (approximately 1.5 false-positives per image). They are flexible, extensible and problem independent, and therefore more generally applicable to a wide variety of medical and industrial problems of difficult diagnostic tasks in cluttered 2D environments. The research effort is continuing with architectural improvements to reduce the false-positive fraction while maintaining high sensitivity and with wide range field testing.



* Μέγεθος του φιλμ της ακτινογραφίας: 14" × 17".

* Αρχική διαχωριστικότητα: 2048 × 2500 × 10 bits, μεταβληθόν σε 512 × 625 × 12 bits.

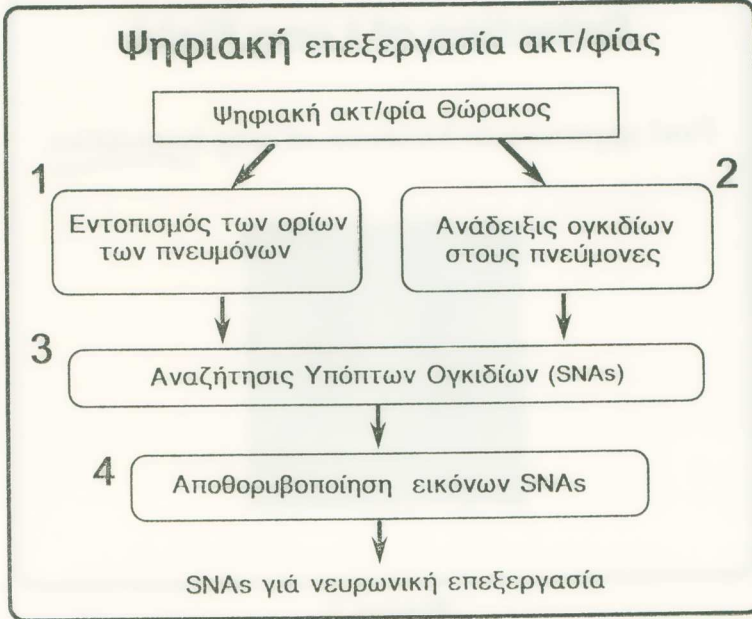
Εικόνα 1

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ



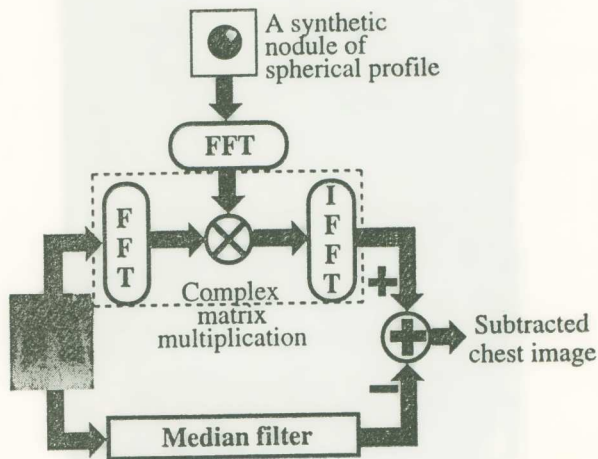
Εικόνα 2

ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ-πν



Ανάδειξις ογκιδίων.

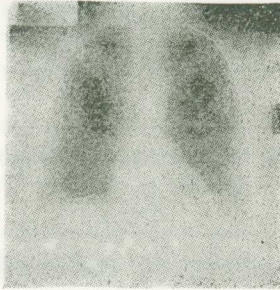
Εικόνα 3(α)



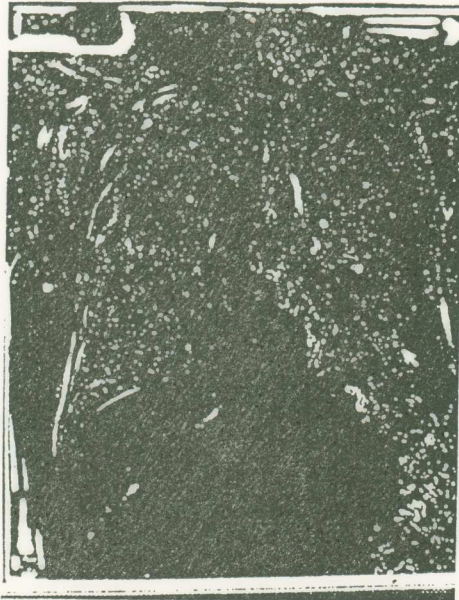
Εικόνα 3(β)

Detection of Lung Field

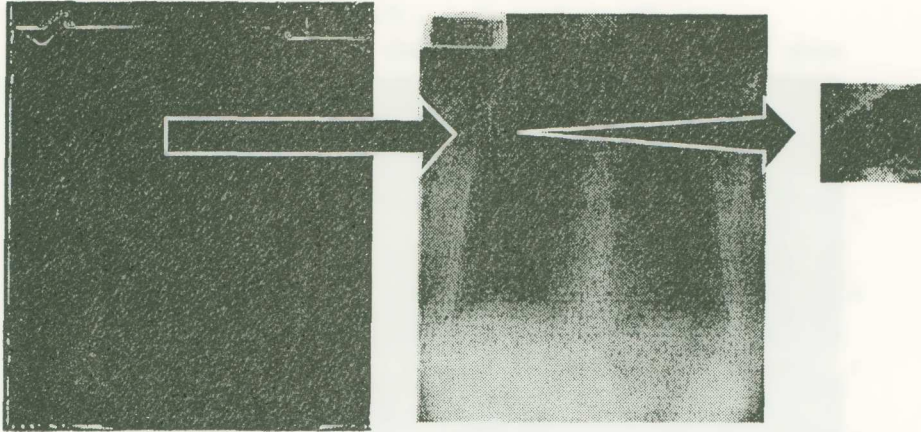
Find approximate locations of lung boundaries.



Εικόνα 4



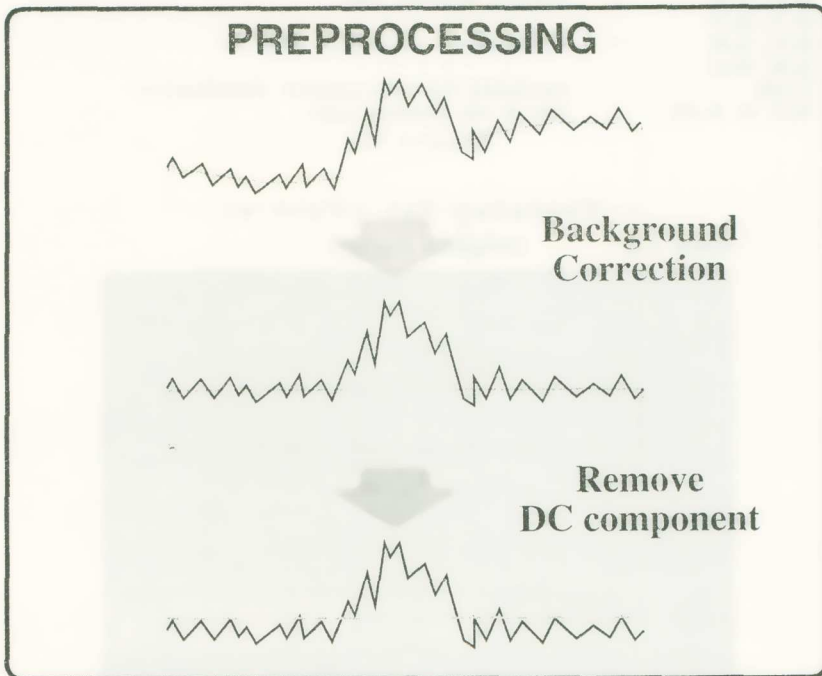
Εικόνα 5



Πηγές ύπόπτων όγκιδίων

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| I. Φυσιολογικές δομές | II. Παθολόγες δομές |
| Rib-crossing (RX) | Granuloma |
| Rib-Vessel (RV) | Tuberculosis |
| Vessel Cluster (VC) | Histoplasmosis |
| End Vessel (EV) | Fungal infection |
| Rib-Edge (RE) | Hematoma |
| Bone (BO) | Arterio-Venous malformation |
| Vessel (VS) | |

Εικόνα 6

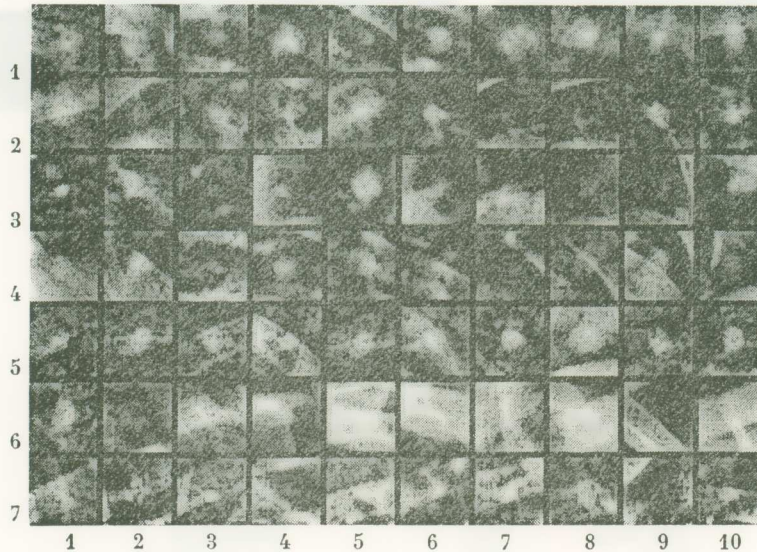


Εικόνα 7

Training Set (Part a)

scale 1:2

(pre - processed)



Σειρές 1-5 και ογκίδιο (6,1) είναι «true». Τα υπόλοιπα είναι «false».

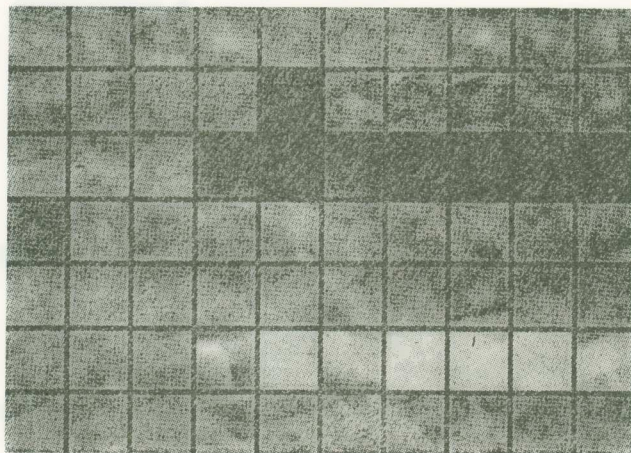
- (4,10) — dim nodule with high intensity vessel line and rib
- (1,6), (4,4) — nodules with clear background
- (1,5), (2,2) — nodules between ribs
- (2,7), (4,7)
- (4,6), (4,8) — nodules part ov/lapped with rib
- (4,9), (5,1)
- (7,10) — candidate for false-positive classification
- (6,4) to (6,10) — ribs & rib crossing cases

Εικόνα 8(α)

Training Set (Part a)

scale 1:2

(original image)

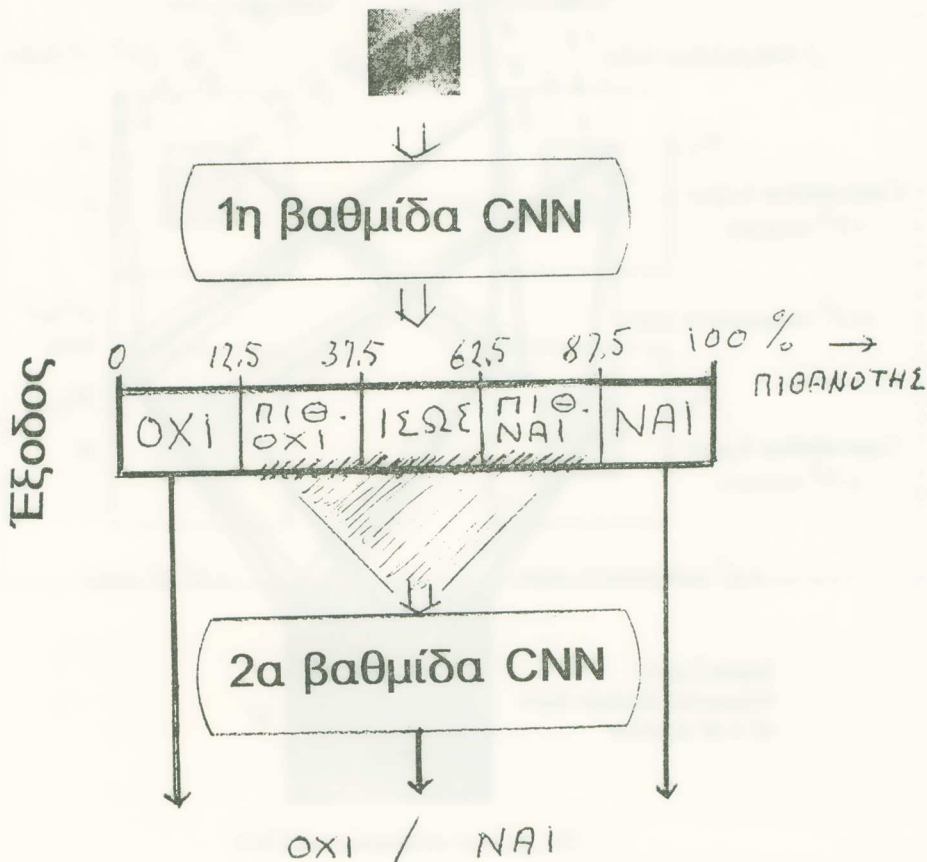


Εικόνα 8(β)

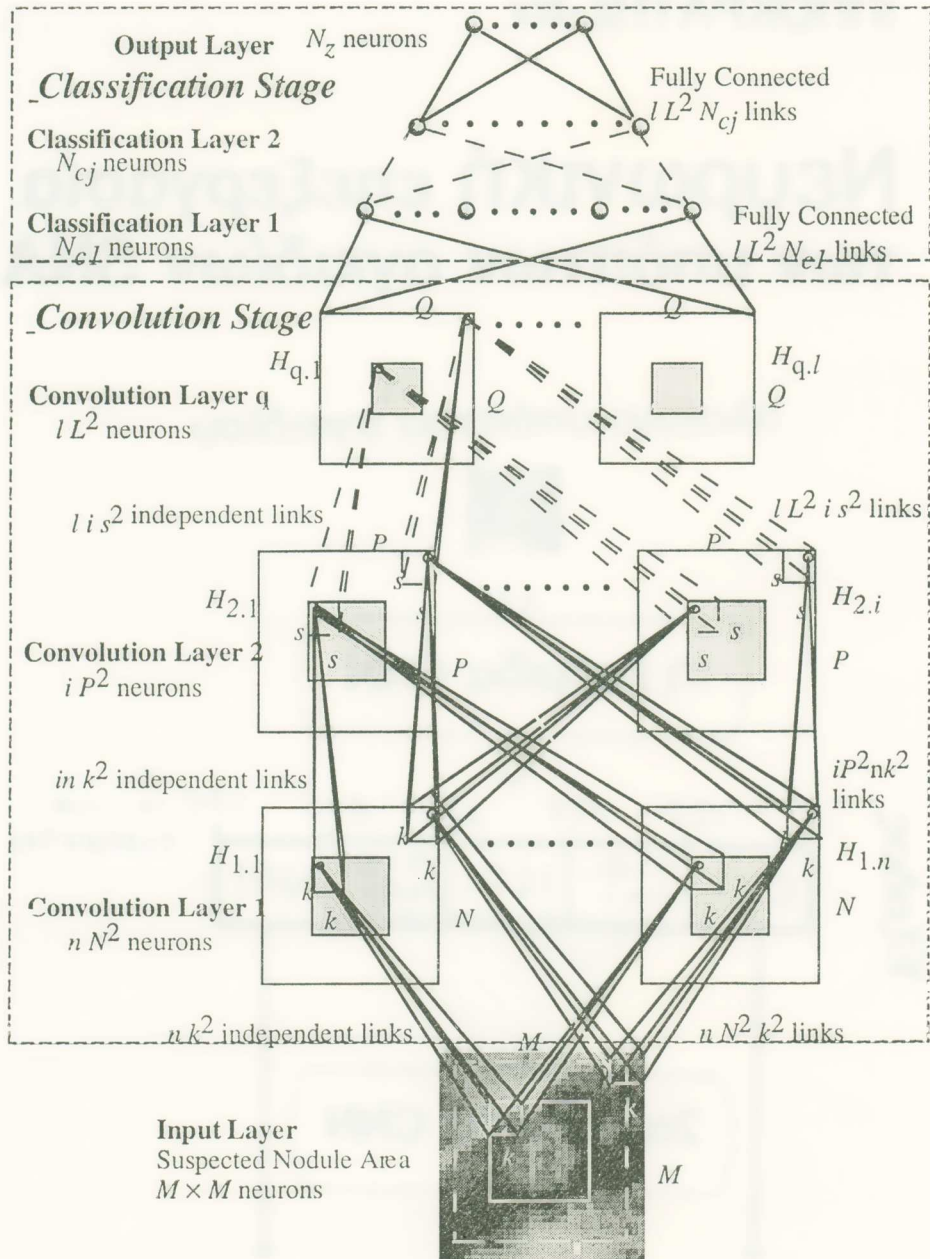
ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ-πν

Νευρωνική επεξεργασία των υπόπτων ογκιδίων SNA

πλαίσιο υπόπτου ογκιδίου

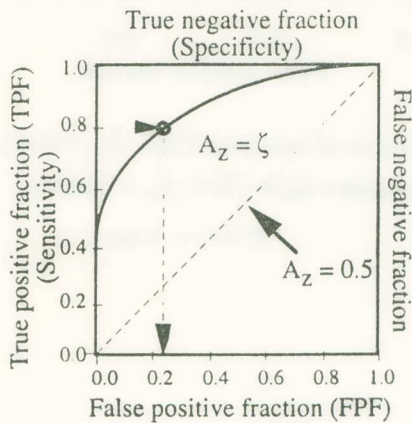
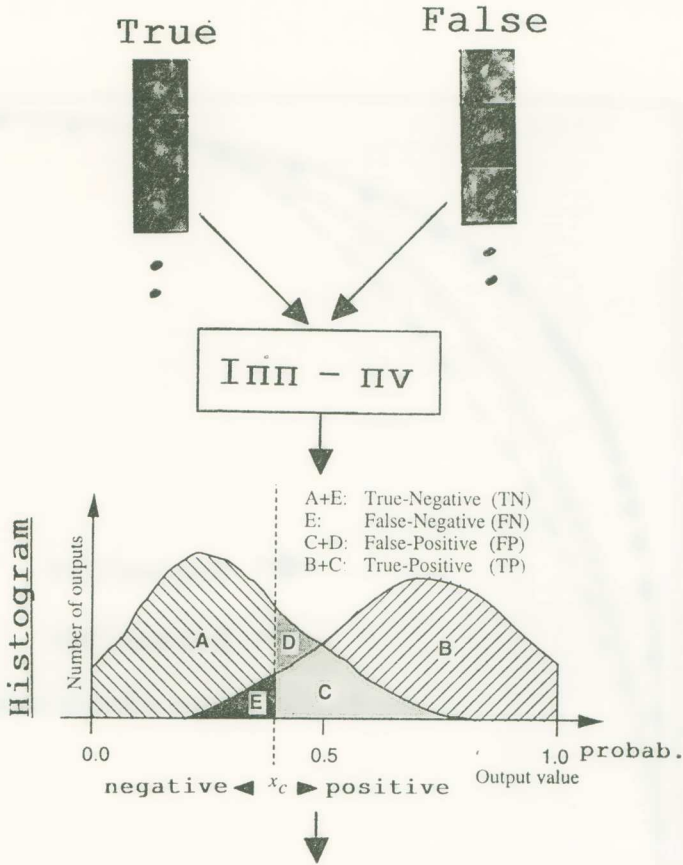


Εικόνα 9

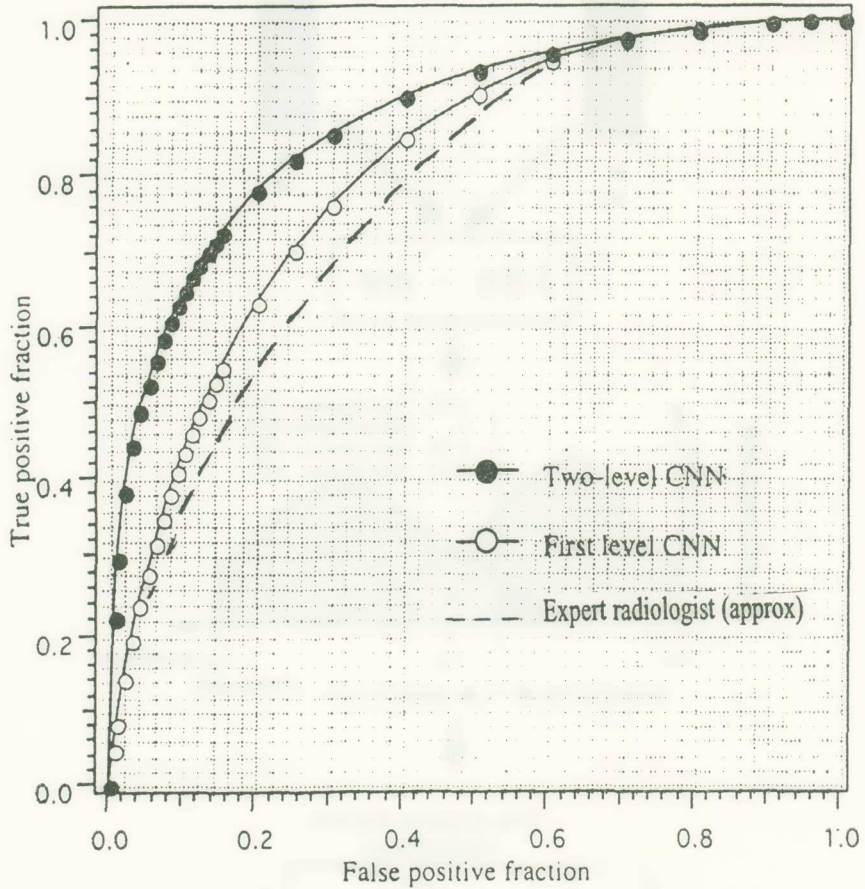


The general architecture of CNN

ROC Performance Measure

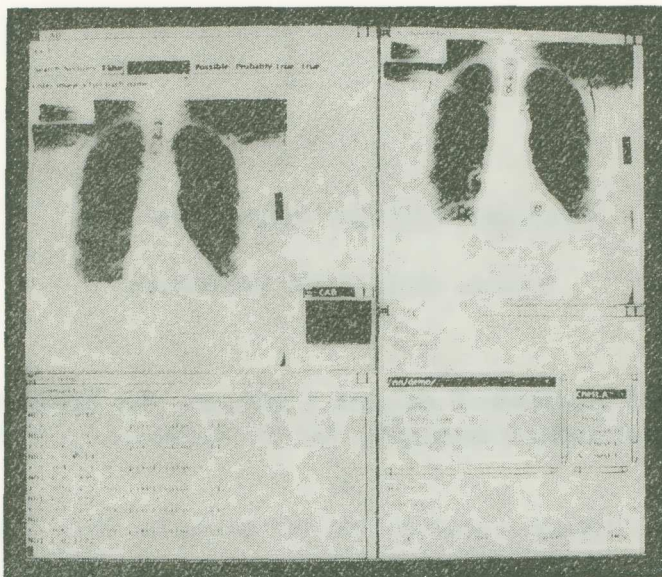


Εἰκόνα 11(α)

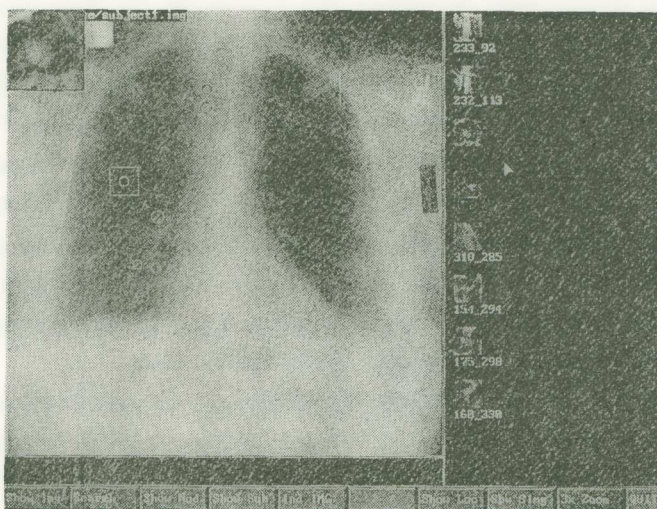


ROC performances of two-level CNN ($A_Z = 0.8701$) and the first level one-hidden-layer CNN ($A_Z = 0.8064$).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 11(β)



Ίπποκράτης πν Α 01.00
Εικόνα 12(α)



Ίπποκράτης πν Β 01.00
Στο δεξιά μέρος εμφανίζονται τὰ ὑποπτα δγκίδια μὲ τὶς συντεταγμένες τους.
Εικόνα 12(β)