Αναλυτικό Περίγραμμα Μαθήματος

08. Ασύρματα Δίκτυα και Κινητές Επικοινωνίες

Διδάσκοντες: Βαρδιάμπασης Ιωάννης, Αν. Καθηγητής
Κόκκινος Βαγγέλης, Αν. Καθηγητής
Λιοδάκης Γεώργιος, Λέκτορας

1. ΓΕΝΙΚΑ

ΣΧΟΛΗ	ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ			
ΤΜΗΜΑ	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ			
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ			
ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	08	**ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ**	1 – 3	
ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	**Ασύρματα Δίκτυα και Κινητές Επικοινωνίες**			
ΑΥΤΟΤΕΛΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ		**ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ**		**ΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**
Διάφορες μορφές διδασκαλίας		5		7,5
ΤΥΠΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	Επιστημονικής Περιοχής, Ανάπτυξης Δεξιοτήτων			
ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ:				
ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ και ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ:	Ελληνική			
ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ERASMUS	ΝΑΙ			
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ				

2. ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μαθησιακά Αποτελέσματα

Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις

Η εκρηκτική ανάπτυξη και διαρκής εξέλιξη στην αγορά των ασύρματων και προσωπικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων δημιουργεί αυξανόμενη ζήτηση για τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς που να έχουν αφενός πολύ καλό υπόβαθρο στη θεωρία κεραιών και διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, και αφετέρου ιδιαίτερες γνώσεις και εμπειρία σε σχέση με τα σύγχρονα συστήματα ασυρμάτων ζεύξεων.

Το μάθημα αυτό προετοιμάζει κατάλληλα τους φοιτητές για μια καριέρα στην ταχύτατα εξελισσόμενη τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία.

Σκοπός του μαθήματος είναι η εξοικείωση με τις αρχές της θεωρίας των κεραιών και της διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, έτσι που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση και το σχεδιασμό ασύρματων τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων. Με την ολοκλήρωση του μαθήματος οι φοιτητές θα έχουν αποκτήσει γνώσεις και δεξιότητες, κατάλληλα εργαλεία για την αντιμετώπιση πρακτικών εφαρμογών που σχετίζονται με κεραίες και μοντέλα διάδοσης, καθώς και εμπειρία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης πραγματικών κεραιών, ώστε:

- να αναλύουν και να σχεδιάζουν ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες,
- να επιβλέπουν και να συντηρούν ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα,
- να πραγματοποιούν μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,
- να εκπονούν μελέτες ραδιοκάλυψης.

Με την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής θα είναι σε θέση:

- Να περιγράφει τους βασικούς μηχανισμούς διάδοσης ραδιοκυμάτων και να αντιλαμβάνεται την αλληλεπίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με το περιβάλλον.
- Να αντιλαμβάνεται με ενιαίο τρόπο τη θεωρία των κεραιών και της διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ώστε να μπορεί να τις χρησιμοποιεί στην ανάλυση και το σχεδιασμό ασύρματων τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων.
- Να υπολογίζει τις βασικές παραμέτρους μιας κεραίας (π.χ. ακτινοβολούμενη ισχύς, ένταση ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα, αντίσταση ακτινοβολίας) και να είναι εξοικειωμένος με τον υπολογισμό του διαγράμματος ακτινοβολίας μιας κεραίας, όταν είναι γνωστή η ρευματική της κατανομή.
- Να είναι εξοικειωμένος με ποικίλες διατάξεις πρακτικών κεραιών και να συγκρίνει τα χαρακτηριστικά τους (πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα), κρίνοντας με βάση αυτά την πλέον κατάλληλη κεραία για κάθε πρακτική εφαρμογή.
- Να αξιολογεί τα μοντέλα διάδοσης και να επιλέγει το κατάλληλο μοντέλο για τον υπολογισμό των απωλειών σε μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη.
- Να μετρά τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας κεραίας.
- Να είναι ενημερωμένος για τις πρόσφατες εξελίξεις στο χώρο των ασύρματων και προσωπικών συστημάτων επικοινωνίας.

Ασύρματα Δίκτυα

Το μάθημα καλύπτει το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση της λειτουργίας των υπό ανάπτυξη και υπό έρευνα 4G και 5G, αντίστοιχα, κυψελωτών δικτύων. Συνεπώς, στοχεύει στο να παρέξει στους φοιτητές τα κατάλληλα εργαλεία για την αντιμετώπιση

πρακτικών εφαρμογών που σχετίζονται με σχεδιασμό, βελτιστοποίηση και υλοποίηση κυψελωτών συστημάτων 4G/5G.
Με την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής θα είναι σε θέση:

- Να κατανοήσει την διαφορετικότητα (σε σχέση με προηγούμενες γενιές κυψελωτών συστημάτων) των απαιτήσεων και των σχεδιαστικών προσεγγίσεων για τα 5G δίκτυα.
- Να διακρίνει μεταξύ διαφόρων μοντέλων μοντελοποίησης της κίνησης για τα 5G δίκτυα, καθώς και των αρχιτεκτονικών αλλαγών που επιφέρει η αξιοποίηση mmWave ραδιομετάδοσης.
- Να υπολογίζει βασικές παραμέτρους απόδοσης των συστημάτων 5G από την σκοπιά του παρόχου, του χρήστη, και του γενικότερου ωφέλους (ενεργειακής κατανάλωση).
- Να αξιολογεί την συνεισφορά στην όλη λειτουργία ενός 5G δικτύου γνωσιακών τεχνικών (cognitive networking), μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων διαχείρισης πόρων και διαχείρισης δικτύου.

Κινητές Επικοινωνίες

Το μάθημα καλύπτει το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση των Κινητών Επικοινωνιών LTE.
Με την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής θα είναι σε θέση:

- Να περιγράφει τις βασικές έννοιες των κυψελωτών συστημάτων.
- Να γνωρίζει τις βασικές έννοιες της διαχείρισης κινητικότητας και διαχείριση συνόδου.
- Να περιγράφει τις βασικές παραμέτρους του Air Interface.
- Να διακρίνει τη διαφορά ανάμεσα στην Αρχιτεκτονική των Δικτύων LTE σε σχέση με δίκτυα 2G / 3G.
- Να γνωρίζει τις βασικές έννοιες του OFDM συστήματος.

Γενικές Ικανότητες

Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών.
Αυτόνομη εργασία.
Ομαδική εργασία.
Λήψη αποφάσεων
Άσκηση κριτικής και αυτοκριτικής
Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης.

3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις

- Ανασκόπηση στις τηλεπικοινωνίες και την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Ηλεκτρικό, μαγνητικό, ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Ηλεκτρικά σήματα. Τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Φάσμα συχνοτήτων (HF, VHF, UHF, microwaves). Εξισώσεις Maxwell. Κυματικές εξισώσεις. Οριακές συνθήκες. Βαθμωτό και διανυσματικό δυναμικό. Πεδία ημιτονοειδούς χρονικής μεταβολής. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ισχύς. Διάνυσμα Poynting. Επίπεδα ηλεκτρομαγνητικά κύματα [πόλωση, διάδοση επιπέδου κύματος σε αγώγιμα και μη μέσα, ταχύτητες φάσης και ομάδας, αμοιβαιότητα]. Ανάκλαση και διάθλαση επίπεδου κύματος [νόμος Snell, εξισώσεις Fresnel, συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης, κάθετη και πλάγια πρόσπτωση σε τέλειο διηλεκτρικό και σε μέσο με απώλειες, στάσιμα κύματα, πρόσπτωση σε διηλεκτρική πλάκα, σκέδαση].
- Γραμμές μεταφοράς [σύνθετη και χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής, ανάκλαση κύματος, μεταφερόμενη ισχύς, προσαρμογή, στάσιμο κύμα, διάγραμμα Smith]. Μικροκυματικοί κυματοδηγοί [παραλλήλων πλακών, ορθογωνικής διατομής, κυκλικής διατομής, ομοαξονικός, μικροταινιακός, διηλεκτρικός]. Οπτικοί κυματοδηγοί. TE, TM και TEM ρυθμοί διάδοσης. Ισχύς και απώλειες. Ορθογωνικές και κυλινδρικές κοιλότητες Εισαγωγή στη θεωρία κεραιών. Προσαρμογή κεραίας-γραμμής μεταφοράς.
- Ανάλυση κεραιών με ρευματικές κατανομές εκ παραδοχής. Το βραχύ δίπολο του Hertz. Εφαρμογές ηλεκτρικά μικρών κεραιών.
- Γραμμική διπολική κεραία αυθαίρετου μήκους. Πεδίο γραμμικής κεραίας. Διάγραμμα ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα, κέρδος, αντίσταση ακτινοβολίας, ενεργό ύψος κεραίας. Το δίπολο λ/2.
- Γραμμική κεραία οδεύοντος κύματος. Κεραία βρόχου. Κεραίες υπεράνω τέλειου εδάφους. Κατοπτρισμός και θεωρία ειδώλων. Γενική ανάλυση του πεδίου ακτινοβολίας οποιασδήποτε κεραίας. Εφαρμογές.
- Στοιχειοκεραίες. Ρομβική κεραία. Αρχές σχεδίασης στοιχειοκεραιών. Εφαρμογές.
- Γραμμικές στοιχειοκεραίες. Ομοιόμορφες γραμμικές στοιχειοκεραίες με μικρό και μεγάλο αριθμό στοιχείων. Πολυωνυμική θεωρία γραμμικών στοιχειοκεραιών. Εφαρμογές.
- Υπερκατευθυντικές κεραίες. Ανίχνευση φάσης. Μέθοδοι σύνθεσης διαγραμμάτων ακτινοβολίας. Γραμμικές στοιχειοκεραίες Dolph-Chebyshev. Σύνθεση γραμμικών στοιχειοκεραιών με αθροίσματα Fourier.
- Κεραίες ανοίγματος. Ακτινοβολία από επίπεδη επιφάνεια. Ακτινοβολία από ορθογώνια επιφάνεια. Κεραίες χοάνης. Κεραίες παραβολικού ανακλαστήρα. Κεραίες χοάνης-ανακλαστήρα. Κεραίες φακών. Επίπεδα παθητικά κάτοπτρα. Εφαρμογές.
- Αντίσταση εισόδου κεραίας. Ισοδύναμες πηγές. Μαγνητικά φορτία και ρεύματα. Πηγές τάσης και ρεύματος. Το θεώρημα της αμοιβαιότητας. Ιδία σύνθετη αντίσταση τελείως αγώγιμης κεραίας. Τάση που επάγεται ανάμεσα στους ανοικτούς ακροδέκτες κεραίας από προσπίπτον πεδίο. Μέθοδος της επαγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης. Το εγγύς πεδίο δίπολου. Εύρος ζώνης.
- Ιδία σύνθετη αντίσταση δίπολου. Η κεραία ως τερματική σύνθετη αντίσταση. Μη συμμετρική διέγερση δίπολων. Συνθήκες προσαρμογής και μέγιστης μεταφερόμενης ισχύος. Προσαρμογή διά στελέχους. Αναδιπλωμένο δίπολο. Αμοιβαία σύνθετη αντίσταση μεταξύ δίπολων. Σύνθετη αντίσταση διέγερσης στοιχειοκεραιών. Σύνθετη αντίσταση δίπολων υπεράνω τελείου εδάφους. Τροφοδότηση στοιχειοκεραιών με κατάλληλα ρεύματα. Στοιχειοκεραίες Yagi-Uda. Η κεραία σα δέκτης. Ισότητα αμοιβαίων σύνθετων αντιστάσεων. Ισότητα διαγραμμάτων ακτινοβολίας εκπομπής και λήψης. Ισότητα ιδίων σύνθετων αντιστάσεων εκπομπής και λήψης. Ισότητα ενεργών υψών εκπομπής και λήψης. Ενεργός επιφάνεια κεραίας. Λόγος ισχύων λήψης-εκπομπής.
- Μετάδοση κυμάτων στον ελεύθερο χώρο. Εξίσωση Friis. Απώλεια και μέγιστη απόσταση μετάδοσης. Εξίσωση radar. Διάδοση

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο γήινο περιβάλλον. Ανάκλαση επίπεδων κυμάτων από το έδαφος σε πλάγια πρόσπτωση με κάθετη ή παράλληλη πόλωση. Γωνία Brewster. Κύμα εδάφους. Κύμα χώρου. Κύμα επιφανείας. Ανυψωμένες κεραίες υπεράνω επίπεδου εδάφους. Προσεγγιστική σχέση για διάδοση σε πολύ υψηλές συχνότητες. Κλίση και πόλωση του κύματος επιφανείας πλησίον του εδάφους.

- Σφαιρική γη. Επίδραση της καμπυλότητας της γης. Συνθήκη οπτικής επαφής. Επίδραση των εμποδίων στη διάδοση. Ζεύξεις διά περίθλασης. Δείκτης διάθλασης τροπόσφαιρας. Τροποσφαιρική διάδοση-διάθλαση-κυματοδήγηση-σκέδαση. Ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας. Πολλαπλές οδεύσεις. Διαλείψεις. Συστήματα διαφορικής λήψης. Εξασθένηση από την ατμόσφαιρα. Κρίσιμη συχνότητα και μεταβολές ιονόσφαιρας. Ιονοσφαιρική διάδοση-διάθλαση-ανάκλαση-σκέδαση. Εφαρμογές.
- Υπολογισμός ραδιοζεύξεων. Ζεύξη υπεράνω αιχμηρού εμποδίου. Ζεύξη οπτικής επαφής. Ζεύξη υπεράνω καλής γης. Τεχνικά χαρακτηριστικά και πρακτικές εφαρμογές ασυρμάτων ζεύξεων.

Στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών & Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών γίνεται η εφαρμογή του θεωρητικού μέρους με επιλεγμένες εργαστηριακές ασκήσεις.

Ασύρματα Δίκτυα

Γενική επισκόπηση 5G: Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά.

Μοντελοποίηση κίνησης στα 5G δίκτυα (ανάλυση των σχετικών στατιστικών μοντέλων στο χώρο και στο χρόνο).

Τα 5G δίκτυα ως ένα ετερογενές σύστημα από διάφορους τύπους κυψελών (θέματα πύκνωσης κωψελών μέσω small cells, διαμοιρασμός κίνησης μεταξύ των επιμέρους στρωμάτων κυψελών, θέματα συσχέτισης κινητών σταθμών σε περιβάλλον ύπαρξης πολλών τύπων ασύρματων διεπαφών, δίκτυο ασύρματης πρόσβασης και τεχνολογία «συννέφου», D2D επικοινωνία).

Ο ρόλος της τεχνολογίας mmWave στα 5G δίκτυα (θέματα ραδιομετάδοσης, υλοποίηση backhaul δικτύου, κλπ.).

Μελέτη απόδοσης για 5G δίκτυα (υπολογισμοί για SINR, φασματική απόδοση, ρυθμοαπόδοση χρήστη, ενεργειακή απόδοση, κλπ.).

Διαχείριση 5G δικτύων μέσω αυτόνομων, γνωσιακών και αυτοοργανούμενων τεχνικών (αλγόριθμοι μάθησης, έλεγχος μέσω κλειστών βρόχων, αλγόριθμοι για SONs).

5G: Μελέτη απόδοσης μέσω στοχαστικής γεωμετρίας, διαστασιοποίηση.

Κινητές Επικοινωνίες

Σύντομη περιγραφή των βασικών εννοιών των κυψελωτών συστημάτων.

Τα κίνητρα της τεχνολογίας δικτύου LTE. Κυρίες απαιτήσεις του LTE. Κανονισμοί τυποποίησης σχετικά με το LTE. Προδιαγραφές 3GPP για την τεχνολογία LTE.

Εξέλιξη της Αρχιτεκτονική Δικτύων LTE. Δικτυακά Υποσυστήματα. Στοιχεία δικτύου. Διεπαφές δικτύου. Αρχιτεκτονική περιαγωγής. Αλληλεπίδραση με δίκτυα 2G / 3G. Αλληλεπίδραση με τεχνολογίες πρόσβασης non-3GPP.

Βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου LTE. Βασικά στοιχεία της ραδιοεπαφής LTE.

Διαχείριση Κινητικότητας και διαχείριση συνόδου. Περιοχές κινητικότητας (Mobility Areas). Ταυτοποίηση του LTE-UE. Κινητικότητα και καταστάσεις σύνδεσης. EPS Φέρον. LTE/EPS Διαδικασίες. Ασφάλεια: EPS Authentication και Key Agreement.

Τεχνολογία TDD για LTE (TD-LTE).

Air Interface. Ο Ορθογώνιος παλμός. Multipath Διάδοση. Το κυκλικό πρόθεμα. Multi-Carrier Modulation.

Μέθοδοι εκχώρησης υποφερουσών (Subcarriers). Assignments Methods.

Εφαρμογή OFDM σε LTE / EUTRAN. LTE / EUTRAN Radio Frames. OFDM Resource Block.

Σχήματα διαμόρφωσης σε LTE / EUTRAN. LTE / EUTRAN Παραλλαγές Συχνότητας.

MIMO

DL & UL Peak Bit Rates.

LTE UE Κατηγορίες.

Χαρακτηριστικά του LTE advanced.

4. ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ και ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ	Πρόσωπο με πρόσωπο θεωρητική διδασκαλία. Εργαστηριακή εκπαίδευση σε μικρές ομάδες φοιτητών. Ασκήσεις πράξης σε μικρές ομάδες φοιτητών.
ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	Χρήση λογισμικού παρουσιάσεων διαφανειών. Χρήση λογισμικού προσομοίωσης κεραιών. Χρήση αναλυτή φάσματος για μετρήσεις μεγεθών. Ηλεκτρονική επικοινωνία με τους φοιτητές.
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	

Δραστηριότητα	***Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου***
Διαλέξεις	65
Εργαστηριακές Ασκήσεις	12
Ασκήσεις Πράξης	8
Εκπόνηση εργαστηριακών εργασιών/τεχνικών αναφορών σε μικρές ομάδες	10
Εκπόνηση ατομικών εργασιών	35
Ατομική Μελέτη	110
Σύνολο Μαθήματος	***240***

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ	**Κεραίες, Ασύρματες Ζεύξεις και Ασύρματα Δίκτυα** Ι. Γραπτή τελική εξέταση (ΓΕ) (70%) - Επίλυση προβλημάτων/υπολογισμοί

	- Συγκριτική αξιολόγηση στοιχείων θεωρίας II. Εργαστηριακή εξέταση (ΕΕ) (15%) - Εργαστηριακές εργασίες/τεχνικές αναφορές/μετρήσεις σε μικρές ομάδες III. Εξέταση σε ασκήσεις πράξης (ΑΠ) (15%) - Ατομικές εργασίες εξάσκησης Ο βαθμός του μαθήματος (ΓΕ*0,7 + ΕΕ*0,15+ ΑΠ*0,15) πρέπει να είναι τουλάχιστον πέντε (5). Ο βαθμός καθενός από τα I, II, III πρέπει να είναι τουλάχιστον 3. **Κινητές Επικοινωνίες** I. Γραπτή τελική εξέταση (ΓΕ) (100%) - Επίλυση προβλημάτων/υπολογισμοί - Συγκριτική αξιολόγηση στοιχείων θεωρίας II. Προαιρετική Εξέταση σε - Ατομικές εργασίες (20% προσθετική βαθμολογία) Ο βαθμός του μαθήματος (ΓΕ*1 + ΑΕ*0,20) πρέπει να είναι τουλάχιστον πέντε (5). Τα κριτήρια αξιολόγησης ανακοινώνονται στο πρώτο μάθημα.

5. ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεραίες, Ασύρματες Ζεύξεις και Ασύρματα Δίκτυα

Σημειώσεις διδασκόντων.

- Προτεινόμενη Βιβλιογραφία:

Ελληνικά ή μεταφρασμένα διδακτικά συγγράμματα:

- Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου και Γ. Πάντος, *Ασύρματες Επικοινωνίες,* Εκδόσεις Α. Κανάτας, 2010.
- C.A. Balanis, *Κεραίες-Ανάλυση και Σχεδίαση*, Εκδόσεις Ίων, 2005 (1η εκδ.).
- Ι.Δ. Κανελλόπουλος, *Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε Γήινο Περιβάλλον,* Εκδόσεις Τζιόλα, 2006.
- J.D. Kraus, *Κεραίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, 1998 (2η εκδ.).
- Σ.Α. Πακτίτης και Α.Α. Νασιόπουλος, *Εισαγωγή στη Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων,* Εκδόσεις Ίων, 2007.

Ξενόγλωσσα διδακτικά συγγράμματα:

- S.K. Das and A. Das, *Antenna and Wave Propagation*, Tata Mc-Graw Hill Education, 2013.
- W.L. Stutzman and G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, 2013 (3rd ed.).
- R.E. Collin, *Antennas and Radiowave Propagation,* Mc-Graw Hill, 1985.
- J. Volakis, *Antenna Engineering Handbook,* Mc Graw Hill, 2007 (4th ed.).
- Παραδοτέα διεθνών ερευνητικών προγραμμάτων για 5G δίκτυα (METIS, 5GNOW, TROPIC, CROWD, iJOIN, ABSOLUTE, κλπ.).

- Συναφή επιστημονικά περιοδικά:

IEEE Transactions on Antennas and Propagation
IET Microwaves, Antennas and Propagation
IEEE Communications Magazine

Κινητές Επικοινωνίες

- Προτεινόμενη Βιβλιογραφία:

- Σημειώσεις από διαλέξεις του διδάσκοντα.
- Ch. Cox, An Introduction to LTE LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications, Wiley, 2012.
- S. Sesia, I. Toufik, M. Baker, LTE – The UMTS Long Term Evolution, From Theory to Practice, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2011.

- Συναφή επιστημονικά περιοδικά:

IEEE Transactions on Vehicular Technology
IEEE Transactions on Communications