



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής  
και  
Τεχνολογίας  
Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών και  
Μηχανικών  
Γεωπληροφορικής

Διδακτορική διατριβή

**ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ  
ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΕΔΑΦΙΩΝ  
ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ  
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ**

Γεώργιος Μέλιλλος

Λεμεσός, Μάιος 2018

Copyright by Melillos George, 2018

All Rights Reserved.

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται σύμφωνα με τις διατάξεις της Κυπριακής Νομοθεσίας «Ο Περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας» Νόμο 59/76, (ως τροποποιήθηκε με τους Νόμους, Ν.63/77, Ν.18(I)/93, Ν.54(I)/99, Ν.12(I)/2001), Ν.128(I)/2002 και Ν.128(I)/2004 και έχει ισχύ σήμερα) και εναρμονίστηκε με το κοινοτικό κεκτημένο/διεθνείς συμβάσεις Περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας.

Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη, κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, διανομή, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

## ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

Διδακτορικής διατριβής

**Συνδυασμένη Χρήση Γεωπληροφορικής και Διαστημικών Τεχνολογιών  
για τον Εντοπισμό Υπεδάφιων Στρατιωτικών Εγκαταστάσεων  
στην Περιοχή της Κύπρου**

που εκπονήθηκε από το

Γεώργιο Μέλιλλο

Διόφαντος Γλ. Χατζημιτσής

Καθηγητής

Επιβλέπων

---

Ιωάννης Γήτας

Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής

---

Ευάγγελος Ακύλας

Αν. Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής

---

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

2018

## Τριμελή Επιτροπή Επίβλεψης

Διόφαντος Γλ. Χατζημιτσής

Καθηγητής

Επιβλέπων

---

Χρίστος Δανέζης

Λέκτορας

Μέλος Επιτροπής

---

Γιώργο Παπαδαυίδ

Ερευνητής

Μέλος Επιτροπής

---

## Σχετικές Δημοσιεύσεις

### Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά

**Melillos, G.**, et al. (2018) Field spectroscopy for the detection of underground military structures, **European Journal of Remote Sensing** (Submitted).

**Melillos, G.** et al. (2018) Agapiou, A., Michaelides, S., Papadavid, G., Themistocleous, K., Hadjimitsis, D. G., 2018. The use of Field Spectroscopy for the implementation of vegetation indices for the Satellite Remote Sensing Detection of Underground Military Structures in Cyprus, **International Journal of Geophysics** (Submitted).

**Melillos, G.** et al. (2018) Monitoring land cover changes in the vicinity of man-made critical infrastructures in Cyprus using earth observation, **Advances in Geosciences** (EGU, selected and approved to be included for publication in the Special issue)

**Melillos, G.** et al. (2018) Detection of military underground structures through the remote sensing investigation of phenological cycle of crops, **Advances in Remote Sensing** (Accepted for publication)

### Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Συνέδρια

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Hadjimitsis, D. G. (2018). Thermal remote sensing approach combined with field spectroscopy for detecting underground structures intended for defence and security purposes in Cyprus. Invited Paper. Vol. 1062802 (22), **SPIE Defense + Security**, Orlando, Florida, United States. doi: 10.1117/12.2303835

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Agapiou, A., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G. (2018). Detecting underground structures in Cyprus using field spectroscopy. In Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment/ International Society for Optics and Photonics, Cyprus.

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Prodromou, M., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G. (2017).Detection of underground structures using UAV and field spectroscopy for defence and security in Cyprus.Vol. 104380F (11), **SPIE Security + Defence**, Warsaw, Poland.doi: 10.1117/12.2279131.

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Papadavid, G., Agapiou, A.,Kouhartsiouk, D.,Prodromou, M., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G. (2017).Using field spectroscopy combined with synthetic aperture radar (SAR) technique for detecting underground structures for defense and security applications in Cyprus. SPIE Proceedings Article, Vol. 1018206 (14), **SPIE Defense + Security**,Anaheim, California, United States.doi: 10.1117/12.2262279.

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Papadavid, G., Agapiou, A., Prodromou, M., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G. (2016).Importance of using field spectroscopy to support the satellite remote sensing for underground structures intended for security reasons in the eastern Mediterranean region. SPIE Proceedings Article, Vol. 9988 (11), **SPIE Security + Defence**, Edinburgh, United Kingdom.doi: 10.1117/12.2240714

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Papadavid, G., Agapiou, A., Prodromou, M., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G. (2016). Integrated use of field spectroscopy and satellite remote sensing for defence and security applications in Cyprus. In Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment/International Society for Optics and Photonics, Vol. 9688 (9), Paphos, Cyprus doi: 10.1117/12.2241207.

**Melillos, G.**, Themistocleous, K., Papadavid, G., Agapiou, A., Prodromou, M., Michaelides, S., Hadjimitsis, D., (2016): Integrated use of field spectroscopy and satellite remote sensing for defence and security applications in Cyprus. SPIE Proceedings Article, Vol. 9823 (7), **SPIE Defense + Security** (SI16D), Baltimore, USA.doi: 10.1117/12.2223438.

## Περίληψη

Ο εντοπισμός εδάφινων και υπεδάφινων στρατιωτικών εγκαταστάσεων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και γενικότερα της Γεωπληροφορικής και Τηλεπισκόπησης μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στους τομείς της άμυνας και της ασφάλειας.

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται στον εντοπισμό υπεδάφινων και εδάφινων στρατιωτικών αποθηκών σε περιοχές που καλύπτονται με βλάστηση με την υποστήριξη επίγειων και δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Για τους σκοπούς της έρευνας πραγματοποιήθηκαν επίγειες φασμοτοραδιομετρικές μετρήσεις σε ελεγχόμενα πεδία καθ' όλο το φαινολογικό κύκλο ανάπτυξης του κριθαριού. Οι επίγειες μετρήσεις αφορούσαν στρατιωτικές αποθήκες που βρίσκονται σε περιφραγμένους στρατιωτικούς χώρους στους οποίους δεν επιτρέπεται η ελεύθερη πρόσβαση.

Η έρευνα βασίστηκε σε μετρήσεις ανακλαστικότητας με τη βοήθεια επίγειων φασματοραδιομέτρων καθώς επίσης μετρήσεις από αυτόνομα συστήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicle) για σκοπούς σύγκρισης και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων. Ακολούθως, οι επίγειες μετρήσεις ανακλαστικότητας συσχετίστηκαν με τους δορυφορικούς αισθητήρες Landsat 5 TM, 7 ETM+, 8, και Sentinel 2A με τη χρήση των φασματικών φίλτρων ευαισθησίας- RSR.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν και εφαρμόστηκαν 13 πολυφασματικοί δείκτες βλάστησης και μελετήθηκαν οι διαφοροποιήσεις της βλάστησης πάνω από επιφάνειες με υπεδάφινες κατασκευές και σε συνήθη πεδία χωρίς υπεδάφινες κατασκευές. Οι μετασχηματισμένες εικόνες ανάδειξαν χαρακτηριστικά του χώρου τα οποία δεν ήταν διακριτά στις αρχικές εικόνες ή συμπύεσαν μεγάλο όγκο πληροφοριών σε μικρότερο αριθμό καναλιών.

Η εν λόγω διατριβή έχει συμβάλει στην δημιουργία 'πρότυπης φασματικής υπογραφής', καθορισμό συγκεκριμένου 'φάσματος', αξιολόγηση από την εφαρμογή των δεικτών βλάστησης και τέλος τη χρήση ανοικτών δορυφορικών δεδομένων τύπου Sentinel 2A, για εντοπισμό υπεδάφινων κατασκευών.

Παράλληλα, η εν λόγω διατριβή συμβάλλει σημαντικά στην αναγνώριση διαφοροποιήσεων της βλάστησης με την εισήγηση ανάπτυξης ενός νέου δείκτη βλάστησης, ενώ ταυτόχρονα κατόρθωσε να προσδιορίσει τα χρονικά όρια στα οποία αυτές οι διαφοροποιήσεις μεγιστοποιούνται.

Επιπρόσθετα, η διατριβή αναφέρει και παράλληλα προτείνει την ανάπτυξη μιας νέας μεθοδολογίας με στόχο τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης για συστηματική παρακολούθηση στρατιωτικών υπεδάφίων κατασκευών.

Συμπερασματικά, αξίζει να αναφερθεί, ότι η παρούσα διατριβή, εισάγει για πρώτη φορά στην Κύπρο τη χρήση της τηλεπισκόπησης σε θέματα ασφάλειας και άμυνας. Τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας είναι εφαρμόσιμα και έχουν επίσης πρακτική αξία σε θέματα ασφάλειας, άμυνας και διαχείρισης κρίσεων.

Τα δεδομένα, μπορούν να παραχωρηθούν για περαιτέρω υπηρεσιακή αξιοποίηση από τους αρμόδιους φορείς.



## **Abstract**

The detection of underground and ground military underground structures using satellite imagery and remote sensing could make a significant contribution to defense and security science. The launch of the first multispectral and hyperspectral satellites as well as high-resolution satellites confirms that the Remote Sensing industry is capable of delivering the most in these areas.

This thesis aims to study underground military structures over vegetated areas using both ground and satellite remote sensing data. For the purposes of this research, several ground measurements have been carried out in military controlled areas, which are not accessible, throughout the phenological cycle of plant growth. The research was based on several reflectance's measurements using ground spectroradiometers, using a SVC-HR1024 field spectroradiometer. Field spectroradiometric measurements were collected and analyzed to identify underground military structures using the spectral profile of the vegetated surface over the underground target and the surrounding area for in situ observations. Also reflectance's measurements have been taken using small UAV which was equipment with hyperspectral and thermal sensors.

Moreover, mean reflectances from different sensors such as Landsat 5, 7, 8, and Sentinel 2A were used using RSR filters. Multispectral vegetation indices were calculated to study variations in vegetation indices over vegetation areas in presence or absence of military underground structures.

This thesis has contributed to the development of typical spectral signature, definition of a specific spectrum, evaluation of the application of vegetation indicators and finally the use of Sentinel 2A open satellite data for the detection of military underground structures.

This thesis contributes significantly to the identification of variations in vegetation by the development of a new vegetation index while at the same time being able to determine the time limits in which these variations are maximized.

Moreover, this thesis introduces for the first time in Cyprus the use of remote sensing in security and defense issues. Similar studies have been made in archaeology; however, the issue of detecting military underground structures remains a difficult issue to tackle due the inherent characteristics of such structures.

The dissertation ends with the development of a proposed methodology for the use of satellite remote sensing for systematic monitoring of military subterranean constructions.

This methodology can be used to provide useful data to the National Guard and to the Ministry of Defense of Cyprus for security purposes.

Finally, this thesis cannot be published due to security and confidentiality reasons.

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής, θα ήθελα να αναφερθώ σε όλους αυτούς που στάθηκαν αρωγοί στην προσπάθεια μου.

Πρώτον από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Αντιπρύτανη Ακαδημαϊκών Υποθέσεων, Καθηγητή Διόφαντο Γλ. Χατζημιτσή, για την καθοδήγηση και συμπαράσταση που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της έρευνας. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για τις ατελείωτες ώρες που αφιέρωσε στις συζητήσεις μας και στη διερεύνηση επιστημονικών θεμάτων σχετικών με τη διατριβή, καθώς και για τις διορθώσεις και ιδιαίτερα εύστοχες παρατηρήσεις του στο κείμενο της διατριβής. Είμαι ευγνώμων που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον ερευνητικό θέμα και που μου επέτρεψε μέσα στα πλαίσια αυτά να εξελιχθώ ως ερευνητής.

Ευχαριστώ θερμά τους ερευνητές Δρ. Κυριάκο Θεμιστοκλέους και Δρ. Άθω Αγαπίου, για τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές και βοήθεια τους τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο που με ενθάρρυναν να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή, καθώς και τη συμβολή τους στην εκπόνηση των δημοσιεύσεων μου τόσο σε επιστημονικά περιοδικά όσο και σε επιστημονικά συνέδρια. Είμαι ευγνώμων για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ ακόμη, τον ερευνητή Δρ. Σίλα Μιχαηλίδη για την πολύτιμη του βοήθεια όσο αφορά τις χρήσιμες συμβουλές, επισημάνσεις και διορθώσεις σε αρκετά σημεία των δημοσιεύσεων μου που ήταν κάτι περισσότερο από σημαντικές.

Ευχαριστώ ακόμη τον ερευνητή Δρ. Γιώργο Παπαδαυίδ για τις χρήσιμες συμβουλές του τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Ευχαριστώ ακόμη το Λέκτορα Δρ. Χρίστο Δανέζη για τις χρήσιμες συμβουλές του .

Ευχαριστώ επίσης την Διδακτορική φοιτήτρια Μαρία Προδρόμου για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση καθ'όλη την διάρκεια των ερευνών μου, για την ακούραστη συμβολή της τόσο στην περιοχή μελέτης όσο και στα εργαστήρια του Πανεπιστήμιου. Χωρίς την ενεργή της συμμετοχή η συλλογή των στοιχείων υπαίθρου δεν θα ήταν εφικτή.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω θερμά τις ευχαριστίες μου σε όλα τα ερευνητικά μέλη του Ερευνητικού Κέντρου ΕΡΑΤΟΣΘΕΝΗΣ και του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια στο πλαίσιο των ερευνητικών μας δραστηριοτήτων και για την συνεχή υποστήριξη τους και βοήθεια σε διάφορα μικρά και μεγάλα προβλήματα που προκύπταν κατά τη διάρκεια της έρευνας μου.

Θα ήθελα επίσης, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στο Υπουργείο Άμυνας και στο Γενικό Επιτελείο Εθνικής Φρουράς, για την άδεια που μου έχουν παραχωρήσει, για να εισέλθω σε περιφραγμένους στρατιωτικούς χώρους και να πραγματοποιήσω τις έρευνες μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, Καθηγητή Ευάγγελο Ακύλα και Καθηγητή Ιωάννη Γήτα, για την υποστήριξη τους αλλά και τις παρατηρήσεις τους που συνέβαλλαν στο τελικό αποτέλεσμα της διατριβής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Συνταγματάρχη Γεωγραφικού Παράσχου Χαράλαμπο για τις πολύτιμες συμβουλές αλλά κυρίως που με προέτρεψε να αρχίσω την παρούσα διδακτορική διατριβή.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω επίσης στην σύζυγο μου Ειρήνη και στα παιδιά μου Νικόλα και Μαίρη που με ανέχτηκαν, για την ηθική υποστήριξη που μου έδωσαν και την αμέριστη συμπαράσταση τους. Χωρίς τη βοήθεια τους δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί η έρευνα και η παρούσα διατριβή μου.