# Χρήση λογισμικού για την 3D ψηφιακή καταγραφή αντικειμένων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς με σκοπό την αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση

***Τζανάκης Δημήτριος***
*Καθηγητής Πληροφορικής, Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση*
*ditzanakis@gmail.com*

***Βασιλάκης Βασίλειος***
*Καθηγητής Πληροφορικής, Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση*
*vdvass@gmail.com*

## Περίληψη

Η πολιτιστική κληρονομιά, εθνική και παγκόσμια, αποτελεί πολύτιμο αγαθό και η διδασκαλία της εντάσσεται στο πρόγραμμα εκπαίδευσης κάθε χώρας. Υπάρχουν πολλές τεχνικές για την 3D καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς, δεδομένου των πολλών παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη (π.χ. μέγεθος, γεωμετρία και πολυπλοκότητα των μνημείων και αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς και εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν). Αυτές διακρίνονται σε τεχνικές Σάρωσης «Ενεργών» Αισθητήρων και σε Φωτογραμμετρικές. Οι τελευταίες παρέχουν 3D μοντέλα κατάλληλα για εκπαιδευτικές εφαρμογές, είναι χαμηλού κόστους και εύκολα χρησιμοποιήσιμες, ενώ προϋπόθεση για την υλοποίηση τους είναι η χρήση Πληροφορικής Τεχνολογίας.
Από τα παραπάνω καταδεικνύεται ο σημαντικός ρόλος των ΤΠΕ για τη διδασκαλία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην εργασία αυτή, αφότου διερευνηθούν οι επικρατέστερες λύσεις Φωτογραμμετρίας που χρησιμοποιούνται για τη ψηφιακή καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς, υπό το πρίσμα της εκπαίδευσης με ηλεκτρονική μάθηση υποστηριζόμενης από ΤΠΕ, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα εφαρμογής λογισμικού που υλοποιεί μια Φωτογραμμετρική τεχνική 3D σάρωσης.

**Λέξεις κλειδιά:** 3D, Φωτογραμμετρία, Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

## Εισαγωγή

Μερικά από τα σημαντικότερα οφέλη της 3D ψηφιοποίησης και απεικόνισης των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι (Niknami & Mirashe, 2007): η ευκαιρία που δίνεται σε ανθρώπους από κάθε μεριά της γης να έρθουν σε επαφή με την παγκόσμια πολιτιστική κληρονομία (π.χ. μέσω εικονικών μουσείων) και τα 3D μοντέλα που προκύπτουν, τα οποία μπορούν να οργανωθούν σε μια βάση δεδομένων παρόμοιων αντικειμένων.

Με την αρωγή της 3D ψηφιοποίησης και απεικόνισης είναι εφικτή η δημιουργία ενός διαδραστικού και ανεξάρτητου από τοπικούς και χρονικούς περιορισμούς εικονικού περιβάλλοντος μάθησης στην εκπαίδευση που μπορεί να αυξήσει το κίνητρο και τη συνεργασία και να βελτιώσει τα αποτελέσματα της μαθησιακής διαδικασίας (Chen, Pan, & Zhang, 2012). Το περιβάλλον αυτό, εικονικής πραγματικότητας, είναι κατάλληλο για χρήση και από μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, δεδομένου ότι αντισταθμίζει σε μεγάλο ποσοστό προβλήματα λεπτής κινητικότητας μαθητών και βοηθά έτσι στην πρόσβαση και στην εκπαίδευσή τους σε θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς.

Οι τεχνικές Φωτογραμμετρίας είναι σημαντικές για τη ψηφιακή καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς και την δημιουργία 3D μοντέλων (Yilmaz, Yakar, Gulec & Dulgerler, 2007). Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστούν οι επικρατέστερες σύγχρονες λύσεις Φωτογραμμετρίας (Pavlidis et al., 2007· Yastikli, 2007), των οποίων τα παραγόμενα αποτελέσματα δύνανται να αξιοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Σημαντικά κριτήρια επιλογής των μεθόδων φωτογραμμετρίας για εκπαιδευτικές εφαρμογές είναι: η ταχύτητα παραγωγής 3D μοντέλων, η ευκολία χρήσης, η σχετικά καλή ακρίβεια δεδομένων, η δυνατότητα απόκτησης πληροφοριών υφής και το χαμηλό χρηματικό κόστος.

Επιπλέον, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα εφαρμογής μιας Φωτογραμμετρικής μεθόδου και του αντίστοιχου λογισμικού για την 3D ψηφιοποίηση ενός μνημείου πολιτιστικής Κληρονομιάς.

## Φωτογραμμετρία

Ως Φωτογραμμετρία αναφέρεται η τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου στο χώρο, χρησιμοποιώντας φωτογραφίες. Οι κύριες φωτογραμμετρικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την 3D ψηφιοποίηση, είναι οι εξής:

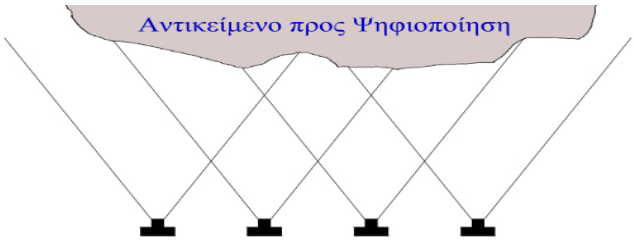
### Σχήμα από Σιλουέτες

Στην τεχνική αυτή, πολλές φωτογραφίες του αντικείμενου - στόχου λαμβάνονται από διάφορες γωνίες παρατήρησης. Οι γεωμετρικές πληροφορίες στη συνέχεια εξάγονται μέσω της σιλουέτας του αντικειμένου (Εικόνα 2α). Οι τελευταίες εξελίξεις αυτής της τεχνικής βελτιστοποίησαν τη γεωμετρική της ακρίβεια με την αξιοποίηση δεδομένων υφής. Το κύριο πλεονέκτημα στο Σχήμα από Σιλουέτες είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία ψηφιοποίησης, ενώ το βασικό μειονέκτημα είναι η μέση προς χαμηλή ακρίβεια των γεωμετρικών δεδομένων (Laurentini, 1994· Tosovic, Sablatnig, & Kampel, 2002).

### Σχήμα από το Στερεοφωτογράφιση

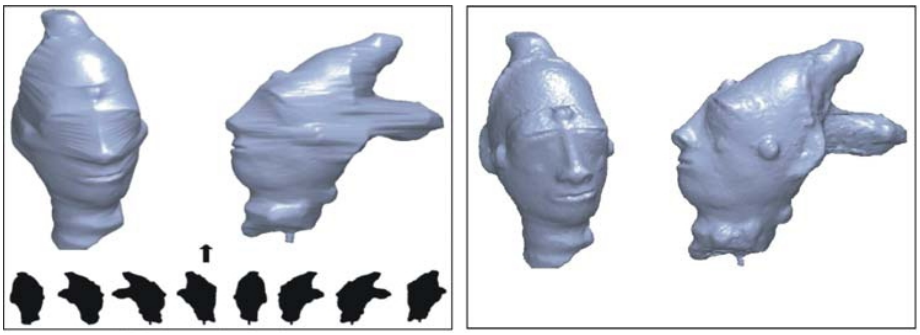
Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται η αρχή λειτουργίας της **Στερεο-Φωτογραμμετρίας** και τεχνικές στερεοσκοπίας με στόχο την απόκτηση δεδομένων γεωμετρίας ενός αντικειμένου - στόχου από ένα ζεύγος φωτογραφιών (Menci, 2000· Hullo, Grussenmeyer, & Fares, 2009). Στη Στερεο-φωτογραμμετρία οι 3D συντεταγμένες της επιφάνειας ενός αντικειμένου υπολογίζονται από τουλάχιστον δύο φωτογραφίες που λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις με τη χρήση **Φωτογραμμετρικού τριγωνισμού**.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη στερεοσκοπική φωτογραφική επεξεργασία είναι η φωτογράφιση, έτσι ώστε οι άξονες της κάμερας στις δύο θέσεις λήψης φωτογραφίας να είναι παράλληλοι μεταξύ τους και κάθετοι προς την επιφάνεια του υπό μελέτη αντικειμένου (εικόνα 1).




*Εικόνα 1: Στεροφωτογράφιση*

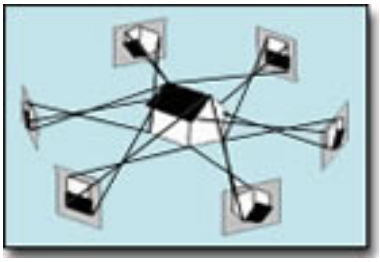
Ένας συνδυασμός των μεθόδων Σχήμα από σιλουέτες και Στερεο-φωτογραμμετρίας (Hernandez, Esteban, & Schmitt, 2002) συνδυάζει την αυτοματοποίηση της τεχνικής Σχήμα από σιλουέτες και την αυξημένη γεωμετρική πιστότητα που παρέχεται από τη Στερεο-φωτογραμμετρία και διακρίνεται από τις υπόλοιπες, προσφέροντας ουσιαστικά αυτοματοποιημένα αποτελέσματα, χωρίς την ανάγκη μιας περαιτέρω επεξεργασίας του 3D μοντέλου που προκύπτει (εικόνα 2β).



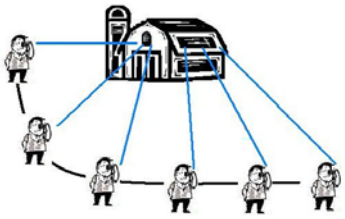
*Εικόνα 2*: (α) Σχήμα από Σιλουέτες *(αριστερά), (β) η συνδυασμένη μέθοδος (δεξιά)*

Συγκλίνουσα ή Μη-Στερεοσκοπική Φωτογραμμετρία

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, οι άξονες της φωτογραφικής μηχανής συγκλίνουν προς το κέντρο βαρύτητας του αντικειμένου (Εικόνα 3). Η επεξεργασία εικόνας πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών φωτογραμμετρικών πακέτων λογισμικού (PhotoModeler, iWhitness). Η υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τη Στερεο-φωτογραμμετρία.



*Εικόνα 3: Συγκλίνουσα Φωτογραμμετρία*



*Εικόνα 4: Σχήμα από κίνηση*

Σχήμα από Κίνηση

Η τεχνική Σχήμα από Κίνηση (Εικόνα 4) είναι παρόμοια με την τεχνική Συγκλίνουσας Φωτογραμμετρίας. Από τη μία μεριά, τα εργαλεία λογισμικού Συγκλίνουσας Φωτογραμμετρίας μπορούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα του ορθού προσανατολισμού των φωτογραφιών με τη χρήση κωδικοποιημένων «στόχων» πάνω στα αντικείμενα προς ψηφιοποίηση, ενώ προϋπόθεση για τον υπολογισμό 3D δεδομένων από τις φωτογραφίες είναι η ύπαρξη προσημασμένων σημείων ελέγχου. Από την άλλη μεριά, τα εργαλεία λογισμικού της μεθοδολογίας Σχήμα από Κίνηση μπορούν να κατασκευάσουν 3D μοντέλα με αυτόματο υπολογισμό του προσανατολισμού, χρησιμοποιώντας απλές μη προσημασμένες φωτογραφίες, αν και συνήθως προϋποθέτουν την χειροκίνητη ταξινόμηση της σειράς φωτογραφιών από τον χειριστή. Πρόσφατα, παρουσιάστηκαν κάποια νέα εργαλεία λογισμικού της μεθοδολογίας Σχήμα από Κίνηση (π.χ. το Arc3D Webservice), που μπορούν να λειτουργήσουν και με μη ταξινομημένες ακολουθίες φωτογραφιών (Koch, Pollefeys, & Gool, 1998· Roncella et al., 2010· Barazzetti et al. 2010).

**Σύγκριση Φωτογραμμετρικών τεχνικών 3D ψηφιοποίησης**

Αν και οι Φωτογραμμετρικές τεχνικές δεν παρέχουν δεδομένα γεωμετρίας πολύ υψηλής ακρίβειας, μπορούν να αντισταθμίσουν αυτήν την έλλειψη με την παροχή πληροφοριών υφής. Ακριβέστερα, δεδομένα γεωμετρίας παρέχονται από την τεχνική: Σχήμα από Στερεοφωτογράφιση, ενώ έπονται οι τεχνικές: Συγκλίνουσα Φωτογραμμετρία, Σχήμα από Κίνηση και Σχήμα από Σιλουέτα. Οι τεχνικές Σχήμα από Στερεοφωτογράφιση και Συγκλίνουσα Φωτογραμμετρία μπορούν να παράσχουν εξαιρετική γεωμετρική ακρίβεια, αν συνδυαστούν με τεχνικές τοπογραφίας για την ακριβή μέτρηση των απαιτούμενων προσημασμένων σημείων ελέγχου και επιπλέον με μία μετρική ή ημι-μετρική φωτογραφική μηχανή ή τουλάχιστον με μία κατάλληλα βαθμονομημένη απλή φωτογραφική μηχανή γενικής χρήσης.

Η τεχνική Σχήμα από Κίνηση παρέχει λειτουργία αυτόματης βαθμονόμησης, ενώ τα 3D μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν από μη-προσημασμένες (άνευ σημείων ελέγχου) και μη-ταξινομημένες φωτογραφίες με χρήση κοινής φωτογραφικής μηχανής.

Μέχρι σήμερα, μόνο η τεχνική Σχήμα από Σιλουέτα προσεγγίζει την ιδέα της «ψηφιοποίησης με το πάτημα ενός πλήκτρου», αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων. Μερικά χαρακτηριστικά αυτοματισμού προσφέρονται επίσης από τις τεχνικές Συγκλίνουσα Φωτογραμμετρία, Σχήμα από Στερεοφωτογράφιση και Σχήμα από Κίνηση.

Οι τεχνικές Φωτογραμμετρίας είναι ιδανικές για ψηφιοποίηση αντικειμένων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς χωρίς πολύπλοκα σχήματα και για εφαρμογές που δεν απαιτούν γεωμετρικά δεδομένα ύψιστης ακρίβειας. Προτείνονται δε ιδιαίτερα, όταν υπάρχουν περιορισμοί χρηματικοί, χρονικοί και τοποθεσίας. Οι τεχνικές αυτές είναι πολύ πιο ευέλικτες στην περίπτωση projects για την ψηφιοποίηση πολλαπλών αντικειμένων και μνημείων με διαφορετικούς συνδυασμούς όσον αφορά τις διαστάσεις τους, σε σχέση με άλλες κατά πολύ πιο εξεζητημένες, ακριβές και χρονοβόρες τεχνικές (π.χ. τεχνικές ψηφιοποίησης λέιζερ) (Tzanakis, 2011).

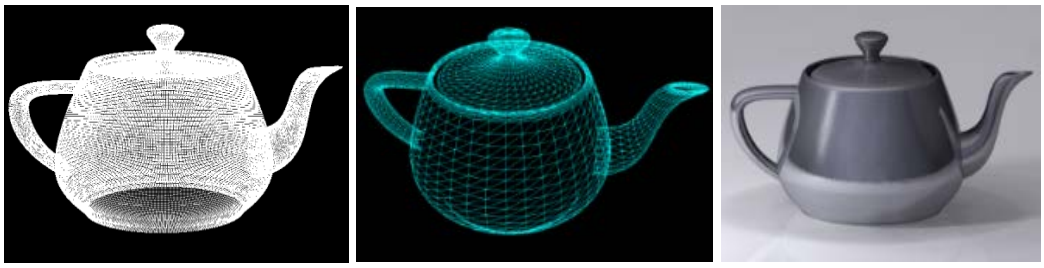
Σε εκπαιδευτικές εφαρμογές, όπου χρησιμοποιούνται 3D μοντέλα για παρουσίαση από τον εκπαιδευτικό ή για διαδραστικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται από μαθητές, παρόλο που τα απεικονιζόμενα 3D μοντέλα δεν είναι απαραίτητο να έχουν υψηλή ακρίβεια, σημαντικοί παράγοντες είναι: η υψηλής ποιότητας υφή, το χαμηλό κόστος, η ευκολία χρήσης και η δυνατότητα ψηφιοποίησης αντικειμένων διαφόρων διαστάσεων.

Κατά συνέπεια, τα επιμέρους χαρακτηριστικά των τεχνικών Φωτογραμμετρίας τις καθιστούν τις πλέον κατάλληλες για κατασκευή 3D μοντέλων, με σκοπό τη χρήση τους στην εκπαίδευση.

**Απεικόνιση 3D ψηφιοποιημένων αντικειμένων**

**Νέφος σημείων**: Κάθε σημείο ενός νέφους σημείων αντιστοιχεί σε ένα χαρακτηριστικό σημείο της επιφάνειας ενός ψηφιοποιημένου αντικείμενου και ενσωματώνει τις πληροφορίες που προσδιορίζουν τη θέση του στον χώρο (Εικόνα 5α).

Για τις περισσότερες εφαρμογές 3D, η απεικόνιση των πληροφοριών που παρέχονται μόνο από το νέφος σημείων είναι συνήθως ανεπαρκής, ανεξάρτητα από το πόσο «πυκνό» είναι το νέφος. Πολλές μεθοδολογίες επινοήθηκαν, για να ενισχύσουν την αντίληψη του 3D χώρου από τις παρεχόμενες οπτικές πληροφορίες ενός νέφους σημείων. Πολύ συνηθισμένη είναι η μέθοδος του **Χάρτη Βάθους**, μιας εικόνας δύο διαστάσεων, στην οποία κάθε pixel παίρνει μια χρωματική τιμή από τις δυνατές διαβαθμίσεις του γκρίζου, προκειμένου να απεικονίσει κατάλληλα το αντίστοιχο σημείο του ψηφιοποιημένου αντικειμένου στο χώρο.



*Εικόνα 5. (α) Νέφος σημείων (αριστερά), (β) τριγωνικό πλέγμα "wireframe" (κέντρο), (γ) τριγωνικό πλέγμα με υφή- rendered (δεξιά)*

Επιπρόσθετα, μπορεί να δημιουργηθεί η 3D απεικόνιση ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας έναν αριθμό τριγώνων, των οποίων οι κορυφές προσδιορίζονται από σημεία του νέφους σημείων. Το αποτέλεσμα ονομάζεται τριγωνικό πλέγμα (ή πολυγωνικό πλέγμα ή δίκτυο τριγωνισμού) και επί του παρόντος χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές 3D απεικόνισης, παρέχοντας στους χρήστες πολύ περισσότερες οπτικές πληροφορίες από το «απλό» νέφος σημείων, ακόμα και στην απλούστερη μορφή ενός «wireframe» (Εικόνα 5β). Το τριγωνικό πλέγμα της μορφής «wireframe» μπορεί να εμπλουτιστεί με πληροφορίες υφής, οι οποίες αντιστοιχίζονται σε κάθε τρίγωνο της επιφάνειάς του (λειτουργία: render - Εικόνα 5γ).

Μορφές 3D μοντέλων: VRML, X3D, U3D

Η γλώσσα εικονικής πραγματικότητας VRML είναι μια γλώσσα για την περιγραφή εικονικών κόσμων που παρουσιάζονται μέσω του Internet. Η μορφή αρχείου VRML είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μορφές αρχείων αναπαράστασης 3D μοντέλων στο Internet (Carey & Bell, 1997). Το στάνταρτ X3D είναι ο βελτιωμένος διάδοχος του VRML και είναι βασισμένος σε XML (Web3D Consortium, 2014).

Το U3D είναι ένα εναλλακτικό στάνταρτ για αναπαράσταση 3D μοντέλων σε σχέση με τα στάνταρτ VRML/X3D. Παρότι η χρήση του είναι λιγότερο διαδομένη, είναι σημαντικό, διότι είναι το πρότυπο που τα PDF αρχεία απαιτούν για την ενσωμάτωση 3D μοντέλων και τη δημιουργία 3D PDF (ECMA International, 2014) .

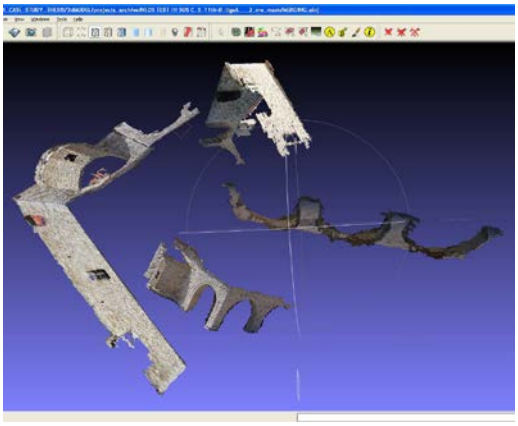
**Εφαρμογή λογισμικού Φωτογραμμετρίας**

Παρακάτω, παραθέτουμε τα αποτελέσματα μελέτης περίπτωσης 3D ψηφιοποίησης ενός αντικειμένου Πολιτιστικής Κληρονομιάς, της Εκκλησίας του Αγίου Τρύφωνα στον Ελαιώνα Αιγίου (κατασκευασμένης το 1840), με εφαρμογή Φωτογραμμετρίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν: α) στο υλικό μέρος μια κοινή ψηφιακή (μη μετρική) φωτογραφική μηχανή Sony Cybershot DSC-W230 (12,1 Megapixels) και ένα κοινό τρίποδο και β) στο μέρος του λογισμικού, δύο εργαλεία ανοιχτού λογισμικού: το Arc3D Webservice και το MeshLab (Vergauwen & Gool, 2006˙ Cignoni, Callieri, & Corsini, 2008˙ Cignoni, Corsini, & Dellepiane, 2008).

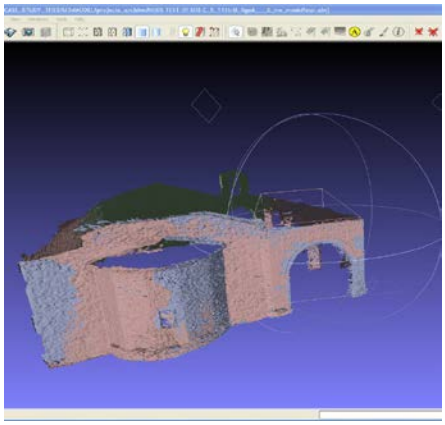
*Εικόνα 6: Οι τέσσερις επιμέρους «σκηνές»*

Το Arc3D Webservice, που χρησιμοποιεί τη Φωτογραμμετρική τεχνική «Σχήμα από Κίνηση», τροφοδοτείται με φωτογραφίες ενός τμήματος του υπό μελέτη αντικειμένου (σκηνής) και παράγει αυτόματα τον αντίστοιχο Χάρτη Βάθους. Για τις ανάγκες τις ψηφιοποίησης η Εκκλησία του Αγίου Τρύφωνα, χωρίστηκε νοητά σε τέσσερα αλληλεπικαλυπτόμενα τμήματα (σκηνές) και για κάθε σκηνή πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή φωτογράφιση (Εικόνα 6). Οι φωτογραφίες ανά σκηνή εισήχθησαν στο Arc3D Webservice, το οποίο μετά από ένα χρονικό διάστημα μας παρείχε τον αντίστοιχο «πυκνό» Χάρτη Βάθους για κάθε σκηνή.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MeshLab, για την επεξεργασία έκαστου εκ των τεσσάρων παραχθέντων Χαρτών Βάθους και την κατασκευή του αντίστοιχου 3D μοντέλου για κάθε σκηνή (υπό τη μορφή τριγωνικού πλέγματος με υφή). Συγκεκριμένα, για κάθε Χάρτη Βάθους εκτελέστηκαν εργασίες: υποδειγματοληψίας, καθαρισμού, φιλτραρίσματος θορύβου και γεμίσματος οπών. Στη συνέχεια, τα παραχθέντα 3D μοντέλα φορτώθηκαν στο ίδιο αρχείο εργασίας (Εικόνα 7), περιστράφηκαν και ευθυγραμμίστηκαν σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, ενώ τελικά ενώθηκαν (Εικόνα 8), παρέχοντας το τελικό 3D μοντέλο σε μορφή VRML.

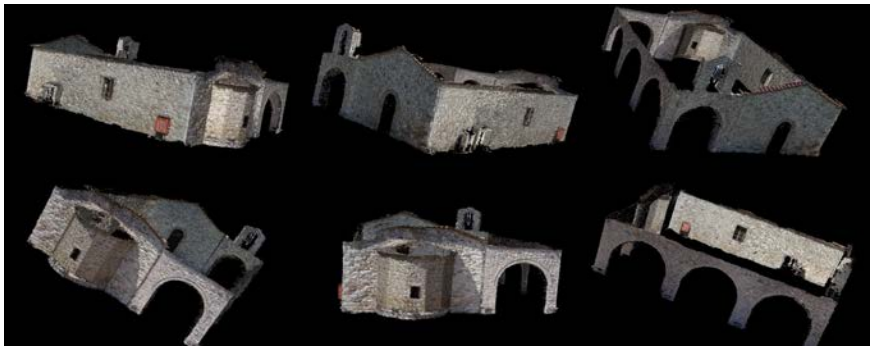


*Εικόνα 7. Συγκλίνουσα Φωτογραμμετρία*



*Εικόνα 8. Ενοποιημένα 3D μοντέλα*

Τα αποτελέσματα της 3D ψηφιοποίησης της Εκκλησίας του Αγίου Τρύφωνα (Εικόνα 9) είναι αναρτημένα και διαθέσιμα στον ιστότοπο: **http://stvtour.ditzaweb.net.** Εκεί διατίθεται το τελικό 3D μοντέλο σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις μεγέθους αρχείου (64%, 25% και 13% του αρχικού μεγέθους) που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τη λειτουργία “Quadric Edge Collapse Decimation” του MeshLab.



***Εικόνα 9.*** *Στιγμιότυπα από το τελικό VRML μοντέλο*

Για να απεικονιστούν τα VRML μοντέλα, προϋπόθεση είναι η εγκατάσταση ενός VRML player στον φυλλομετρητή του χρήστη (πχ. BS Contact VRML/X3D player, http://www.bitmanagement.com/en/download ) .

## Συμπεράσματα

Οι τεχνικές Φωτογραμμετρίας, με χαρακτηριστικά: χαμηλό κόστος υλικού και λογισμικού, χρήση του περιβάλλοντος φωτισμού χωρίς την ανάγκη για εργαστηριακές συνθήκες, γρήγορη απόκτηση δεδομένων και υψηλή συμβατότητα με αντικείμενα διαφόρων διαστάσεων, μπορούν να παράγουν 3D μοντέλα επαρκούς ακρίβειας και υψηλής ποιότητας υφής κατάλληλα για χρήση σε εκπαιδευτικές εφαρμογές.

Τα παραγόμενα 3D μοντέλα δύναται να απεικονιστούν τρισδιάστατα και να ενσωματωθούν σε ιστότοπους (όπως π.χ. το 3D μοντέλο της Εκκλησίας του Αγίου Τρύφωνα στη διεύθυνση **http://stvtour.ditzaweb.net**), παράγοντας 3D ιστότοπους (3D Web Sites). Οι φυλλομετρητές με ενσωμάτωση κατάλληλων players παρέχουν τρισδιάστατη απεικόνιση των 3D μοντέλων με υφή, ενώ προσδίδουν διαδραστικότητα και υψηλό βαθμό αλληλεπίδρασης, προσφέροντας τη δυνατότητα να περιστρέψουμε, να μεγεθύνουμε να πλησιάσουμε ή να απομακρύνουμε τα μοντέλα. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως εποπτικό μέσο διδασκαλίας από τον εκπαιδευτικό, είτε από τους μαθητές ως διαδραστικό εργαλείο – εκπαιδευτική δραστηριότητα με στόχο την ενεργό συμμετοχή τους και εμβάθυνση στο γνωστικό αντικείμενο (Chen et al., 2012 · Chittaro & Ranon, 2005). Με τον παραπάνω τρόπο καθίσταται εφικτή η τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλων μνημείων και αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς και η χρήση τους στη διδασκαλία μαθημάτων που περιλαμβάνουν τη διδαχή της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η εφαρμογή της Φωτογραμμετρικής μεθόδου «Σχήμα από Κίνηση» που παρουσιάστηκε, αποδεικνύει την δυνατότητα παροχής υψηλής ποιότητας αποτελεσμάτων 3D ψηφιοποίησης και απεικόνισης με χαμηλό κόστος εργαλείων λογισμικού, σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Η χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής έχει σημαντική αξία για την εκπαιδευτική πράξη. Τα παραγόμενα 3D μοντέλα μπορούν να υποβοηθήσουν την διδασκαλία πληθώρας μαθημάτων της Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (π.χ. θρησκευτικών, ιστορίας, γεωγραφίας κ.α.), υποστηρίζοντας μαθητοκεντρικές στρατηγικές μάθησης π.χ. ανακαλυπτική μάθηση του Brunner, βιωματική μάθηση (Kolb, 1984). Για παράδειγμα, με την συγκεκριμένη εφαρμογή θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια συλλογή από 3D μοντέλα χριστιανικών ναών διαφορετικών τρόπων δόμησης και να χρησιμοποιηθούν για το μάθημα των Θρησκευτικών της Α' Λυκείου στο κεφάλαιο «Η εξέλιξη της ναοδομίας». Έτσι, ο εκπαιδευτικός θα μπορούσε να επιδείξει διαφορετικά στυλ ναοδομίας τρισδιάστατα, ενώ οι μαθητές θα μπορούσαν διαδραστικά να αναγνωρίσουν, να εξερευνήσουν, να συγκρίνουν και να εμπεδώσουν τα διαφορετικά στυλ ναοδομίας με χρήση εικονικής πραγματικότητας.

Από τα ανωτέρω, καταδεικνύεται η ανάγκη αξιοποίησης λογισμικών Φωτογραμμετρικών τεχνικών στην εκπαίδευση με ηλεκτρονική μάθηση. Με αυτά προάγεται η διδασκαλίας της εθνικής και παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς, η οποία εντάσσεται σε πληθώρα μαθημάτων. Επιπρόσθετα, το αντικείμενο εφαρμογής θα μπορούσε να γενικευτεί και να υποστηρίξει πολλά επιμέρους θεματικά πεδία μάθησης, προσφέροντας περιβάλλοντα υψηλής διαδραστικότητας και αλληλεπίδρασης και καταργώντας χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς πρόσβασης. Είναι σαφής η θετική επίδραση των ανωτέρω λογισμικών στην εκπαίδευση και σημαντικές οι δυνατότητες που προσφέρει η χρήση τους γενικά, αλλά και ειδικά,

ως μέσο αρωγής της μαθησιακής διαδικασίας για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες.

**Βιβλιογραφικές αναφορές**

Barazzetti, L., Remondino, F. & Scaioni, M. (2010). Extraction of accurate tie points for automated pose estimation of close-range blocks in Paparoditis, N., Pierrot-Deseilligny, M., Mallet, and C., Tournaire O. (eds.) *ISPRS Proceedings, 38(3A), 1-3 September 2010.* Saint-Mandé, France.

Carey, R. & Bell, G. (1997). *The Annotated VRML 2.0 Reference Manual*. Addison Wesley Developers Press.

Chen, S., Pan, Z., Zhang, M. (2012). A Virtual Informal Learning System for Cultural Heritage, *Transactions on Edutainment VII*, pp 180-187. doi: 10.1007/978-3-642-29050-3_16

Chittaro L., Ranon R. (2005). Web3D Technologies in Learning, Education and Training: Motivations,Issues, Opportunities. *Computers and Education, in press*. doi:10.1016/j.compedu.2005.06.002

Cignoni, P., Callieri, M. & Corsini, M.et al. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool in V. Scarano, R. De Chiara, and U. Erra (eds.) *Eurographics Italian Chapter Conference*.

Cignoni, P., Corsini, M. & Dellepiane et al. (2008). MeshLab and Arc3D: Photo-Reconstruction and Processing 3D meshes, in David Arnold, Franco Niccolucci, Daniel Pletinckx, Luc Van Gool (eds.) *EPOCH Conference on Open Digital Cultural Heritage Systems* (pp. 1–6).

ECMA International. (2014). *Standard ECMA-363.Universal 3D File Format*. Ανακτήθηκε 25 Ιουνίου 2014, από http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-363.htm

Hernandez, C. Esteban & Schmitt, F. (2002, June). Multi-Stereo 3D Object Reconstruction. *Proceeding of 3D Data Processing, Visualization & Transmission Conference*. Padova, Italy.

Hullo, J.-F, Grussenmeyer, P. & Fares, S. (2009). Photogrammetry and dense stereo matching approach applied the documentation of the cultural heritage of Kilwa (Saudi Arabia). *CIPA 2009*. Kyoto, Japan.

Kamal Aldin Niknami & Zahra Mirashe (2007). 3D Tools for Scientific Visualization and Documentation of Archaeological Heritage, Case Study: A Sassanid Shrine of Daregaz, Northeastern Iran. *XXI International CIPA Symposium, 1-6 October 2007*. Athens, Greece.

Koch, R., Pollefeys, M. & Gool, L. V. (1998). Multi viewpoint stereo from uncalibrated video sequences. *Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision (ECCV '98), 1*, 55-71.

Kolb, D. A. (1984). The Process of Experiential Learning, Chapter 2. In D. Kolb, *The experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Ανακτήθηκε 2 Ιουνίου 2014, από http://learningfromexperience.com/media/2010/08/ process-of-experiential-learning.pdf.

Laurentini, A. (1994). The visual hull concept for silhouette-based image understanding. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 16*(2), 150-162.

Menci, L. (2000). StereoSpace: an idea for photogrammetric data collection. *Proceedings of XIX ISPRS Congress*. Amsterdam.

*Νέφος σημείων* [Εικόνα]. Ανακτήθηκε 27 Ιουνίου 2014, από http://staffwww.itn. liu.se/~stegu/TNM022-2004/PRMan-docs/prman_technical_rendering/AppNotes/ subsurface.html.

Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage, 8(*1), 93-98.

Roncella, R., Re, C. & Forlani, G. (2010). COMPARISON OF TWO STRUCTURE AND MOTION STRATEGIES. *ISPRS Proceedings, 38 (5), 1-3 September*. Saint-Mandé, France.

Tosovic, S., Sablatnig R. & Kampel, M. (2002). Combining shape from silhouette and shape from structured light in Wildenauer H. and Kropatsch, W. (eds.). *Proceedings of 7th Computer Vision Winter Workshop*, 108-118.

Tzanakis D. (2011). *3D Techniques and Tools for Preservation and Visualization of Cultural Heritage: An Evaluation and a Case Study*. Master's thesis. University of the West of Scotland, Paisley, Scotland.

*Τριγωνικό πλέγμα "wireframe"* [Εικόνα]. Ανακτήθηκε 27 Ιουνίου 2014, από http://cmsc411.com/graphics-pipeline.

*Τριγωνικό πλέγμα με υφή - rendered* [Εικόνα]. Ανακτήθηκε 27 Ιουνίου 2014, από http://cmsc411.com/graphics-pipeline.

Vergauwen, M. & Gool, L.V. (2006). Web-based 3D Reconstruction Service. *Machine Vision Applications*, 17, 411-426.

Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural Heritage, 8*(4), 423-427.