

# Παραδοσιακές και σύγχρονες μέθοδοι για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης θραυσμάτων

**Αθανάσιος Βέλιος**

Συντηρητής αρχαιοτήτων  
και έργων τέχνης

**Alan Cummings**

Συντηρητής αρχαιοτήτων  
και έργων τέχνης

**John Harrison**

Γεωλόγος-Μηχανικός

Όταν χρησιμοποιούμε τον όρο «ταύτιση θραυσμάτων» εννοούμε την εύρεση της αρχικής θέσης ενός θραύσματος σε σχέση με το αντικείμενο ή το κτίριο στο οποίο ανήκει, καθώς και την επιλογή των γειτονικών του θραυσμάτων προκειμένου να συγκολληθούν.

Σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα της ταύτισης είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Μικρά, ελαφρά αντικείμενα σπασμένα σε λίγα κομμάτια ταυτίζονται γρήγορα, καθώς αρκούν συνήθως λίγες δοκιμές για τον εντοπισμό της θέσης του κάθε κομματιού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ωστόσο, όταν πρόκειται για περιπτώσεις ογκωδών και βαριών αντικειμένων που είναι σπασμένα σε πολλά κομμάτια, οι απλές δοκιμές για τη συγκόλλησή τους δεν λύνουν το πρόβλημα. Η μετακίνηση των θραυσμάτων είναι δύσκολο να γίνει, εξαιτίας του μεγάλου βάρους τους, ενώ ο μεγάλος αριθμός θραυσμάτων απαιτεί πολλές δοκιμές ταύτισης και επομένως εί- ναι χρονοβόρα διαδικασία.

**Η** συχνότητα εμφάνισης του προβλήματος της ταύτισης είναι υψηλή. Οι περισσότεροι συντηρητές ανασκαφικών αντικειμένων το έχουν συναντήσει. Επίσης, βασικές αναστηλωτικές εργασίες περιλαμβάνουν συχνά πολλές ταυτίσεις.

Λόγω της σοβαρότητας του συχνού αλλά και δυσεπίλυτου προβλήματος της ταύτισης, πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί στο παρελθόν με τη συστηματική προσέγγισή του. Τα αποτελέσματα μερικών χαρακτηριστικών ερευνών παρουσιάζονται παρακάτω, ωστόσο προηγείται η περιγραφή της παραδοσιακής μεθοδολογίας για την ταύτιση.

## Παραδοσιακές μέθοδοι για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης

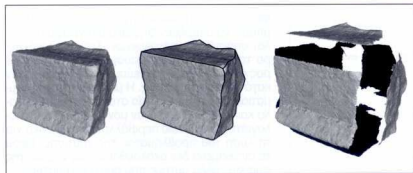
Η λύση του προβλήματος της ταύτισης γίνεται σε τρία στάδια: καταγραφή των θραυσμάτων, επεξεργασία του καταγεγραμμένου υλικού και δοκιμή των προτεινόμενων λύσεων.

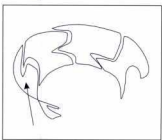
Η καταγραφή των θραυσμάτων στην παραδοσιακή μεθοδολογία γίνεται με φωτογραφίες και σχεδιαστικές αποτυπώσεις. Στις περιπτώσεις που τα θραύσματα είναι μικρά σε μέγεθος (θραύσματα κεραμικών αγγείων), η καταγραφή περιορίζεται στην παρατήρηση και την απομνημόνευση του σχήματος του θραύσματος από τον συνηρητή. Ωστόσο, οι μέθοδοι καταγραφής που

αναφέρθηκαν αποδίδουν μέρος των στοιχείων του αντικείμενου και αυτό γιατί η απλή φωτογράφιση δίνει στοιχεία σε δύο μόνο διαστάσεις (ενώ τα αντικείμενα είναι τρισδιάστατα) και ο αριθμός των μετρήσεων των διαστάσεων των θραυσμάτων είναι περιορισμένος σε μερικές δεκάδες μετρήσεις (που δεν είναι πάντα αρκετές). Επίσης, οι μετρήσεις που γίνονται κατά την καταγραφή εξαρτώνται από τον σχεδιαστή που κάνει την αποτύπωση και από το τι θεωρεί σημαντικό χαρακτηριστικό του θραύσματος, δηλαδή οι αποτυπώσεις είναι υποκειμενικές.

Η επεξεργασία του καταγεγραμμένου υλικού έχει γίνει παραδοσιακά με διάφορους τρόπους. Ο περισσότερο συνθιβασμένος βασίζεται στην ικα-

1. Παράδειγμα θραύσματος με απομονωμένες επιφάνειες θραύσης.





2. Παράδειγμα αντικειμένου μηδενικού πάχους, με το οποίο δουλεύει ο Ήζολυκ και Toroslu.

νότιπα του ανθρώπινου εγκεφάλου να συνδυάζει σχήματα, να αναγνωρίζει και να απομονώνει διαφορετικές επιφάνειες ενός θραύσματος (εικ. 1), όπως και να αξιολογεί μια σειρά από κριτήρια που έχουν να κάνουν με την εμφάνιση και τις ιδιότητες του (π.χ. διακοσμητικά και τεχνολογικά στοιχεία). Η διαδικασία αυτή έχει μελετηθεί παλαιότερα από τους γράφοντες<sup>1</sup>. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την εμπειρία και την ικανότητα του συντηρητή και από το καταγεγραμμένο υλικό – που, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μέρος μόνο της υπάρχουσας πληροφορίας.

Στη μετεξέλιξη της παραπάνω μεθόδου, ορισμένα μόνο κριτήρια της εμφάνισης του θραύσματος χρησιμοποιούνται για την ταύτιση του. Η επιλογή των κριτηρίων αυτών εξαρτάται από το ίδιο το αντικείμενο με βάση την υπάρχουσα αρχαιολογική γνώση (διαστάσεις συγκεκριμένων διακοσμητικών μοτίβων κ.λπ.). Με αυτόν τον τρόπο η συστηματική καταγραφή των θραυσμάτων γίνεται με βάση μόνο τα κριτήρια που θα χρησιμοποιήσουν κατά την επεξεργασία, ενισχύοντας την αντικειμενικότητα των αποτυπώσεων. Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα όπου αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί επιτυχής (αν και χρονοβόρα), όπως η ταύτιση των θραυσμάτων των φτωματικών πλάκων στα Προπύλαια<sup>2</sup>, και η αναστήλωση του νότιου τείχους του Παρθενώνα<sup>3</sup>.

Το τελικό στάδιο για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης είναι η χειρωνακτική επαλήθευση της θέσης των θραυσμάτων με τη μετακίνηση του ενός στο άλλο και τον έλεγχο του ταιριάσματος των επιφανειών θραύσης, που, όπως προαναφέρθηκε, ανάλογα με το βάρος των θραυσμάτων, μπορεί να είναι μια δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία και μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του αντικείμενου.

Συμπεραίνουμε, επομένως, ότι η παραδοσιακή μεθοδολογία είναι πρακτική, όταν πρόκειται για μικρά αντικείμενα σπασμένα σε λίγα κομμάτια που εύκολα μπορούν να μετακινήθούν ώστε να συγκριθούν οι επιφάνειες θραύσης τους. Σε περιπτώσεις βαριών αντικειμένων τέτοιες μετακινήσεις απαιτούν κόπο και χρόνο, συνεπώς μια νέα μέθοδος για την αυτόματη επιλογή θραυσμάτων που ταυτίζονται (χωρίς τη μετακίνησή τους) είναι χρήσιμη. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, η οποία έχει προταθεί στο παρελθόν, για την παραγωγή μιας μεθόδου γι' αυτόν το σκοπό.

## Παλαιότερες προσπάθειες για την ταύτιση θραυσμάτων με τη βοήθεια Η/Υ

Μέσα σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον μπορεί να υπάρχουν ψηφιακά αντίγραφα (μοντέλα) σπασμένων αντικειμένων. Στον εικονικό χώρο τα προς ταύτιση θραύσματα δεν έχουν βάρος αλλά και δεν κινδυνεύουν να τραυματιστούν κατά τη μεταφορά τους. Η μετακίνηση ενός κομματιού από το ένα σημείο στο άλλο γίνεται εύκολα και γρήγορα από έναν μόνο χρήστη του υπολογιστή. Ένα τέτοιο περιβάλλον είναι ιδανικό για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης, αφού τα αντικείμενα δεν ακολουθούν τους νόμους της φυσικής, αλλά αυτούς που ορίζει ο χρήστης.

## Θραύσματα μηδενικού πάχους

Ο Ήζολυκ και Toroslu<sup>4</sup> ανέπτυξαν μια τεχνική για την εύρεση των ταυτίσεων στον Η/Υ, η οποία όμως είχε εφαρμογή μόνο σε σπασμένα αντικείμενα με μηδενικό πάχος (εικ. 2), τα οποία οι ίδιοι είχαν κατασκευάσει εικονικά στον υπολογιστή (δεν ήταν δηλαδή ψηφιακά αντίγραφα αληθινών αντικειμένων).

## Ταύτιση τραχύτητας

Προσπάθειες σχετικές με την ταύτιση έχουν γίνει και από γεωλόγους<sup>5</sup>, που κατά τη μελέτη των θραύσεων των βράχων αναζητούν την αρχική θέση των κομματιών με βάση την τραχύτητα της επιφάνειας. Ωστόσο, η τραχύτητα της επιφάνειας μετρείται παραδοσιακά πάνω σε τυχαίες διαστάσεις τομέας. Στόχος της μέτρησης αυτής είναι να χαρακτηριστεί το είδος μόνο του υλικού και όχι το σχήμα του συγκεκριμένου θραύσματος. Επομένως, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ένα θραύσμα αρχαιολογικό αντικείμενο.

## Ταύτιση με πολλαπλές δοκιμές

Οι Παπαιωάννου, Καραμπάση και Θεοχάρης<sup>6</sup> χρησιμοποιούν τρισδιάστατα μοντέλα για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης. Η μέθοδος τους βασίζεται στη δοκιμή όλων των πιθανών λύσεων που παλν τη ταύτισης και την επιλογή της ιδανικότερης λύσης. Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν τη μετακίνηση και την περιστροφή των θραυσμάτων σε τρεις διαστάσεις ανά συγκεκριμένα διαστήματα και τον έλεγχο κάθε νέας θέσης. Τα βασικά μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο αριθμός των δοκιμών που πρέπει να γίνουν είναι τεράστιος και αυξάνει γεωμετρικά όσο περισσότερα θραύσματα υπάρχουν στο παλν, με συνέπεια την αύξηση του χρόνου που απαιτείται. Επίσης, με αυτήν τη μέθοδο, δοκιμάζονται περιπτώσεις ζευγαριών θραυσμάτων, τα οποία είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι δεν ταιριάζουν (για παράδειγμα θραύσματα από διαφορετικά μέρη ενός αντικείμενου ή μνημείου).

Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά χρήσιμη στην περίπτωση που δύο θραύσματα, τα οποία πιθανόν ταιριάζουν, έχουν ήδη επιλεγεί από ένα σύνολο θραυσμάτων. Έχοντας αυτά τα δύο θραύσματα, η επαλήθευσή μπορεί να γίνει για μικρό αριθμό δοκιμών (μεταξύ δύο προεπιλεγμένων θραυσμάτων μόνο).

Πώς όμως μπορεί να γίνει η αρχική επιλογή των κομματιών που πιθανόν να ταιριάζουν μέσα σε μια ομάδα πολλών κομματιών; Μια μέθοδος που αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα περιγράφεται στη συνέχεια.

## Νέα αντιμετώπιση του προβλήματος

Η μέθοδος που προτείνεται εδώ βασίζεται στις υπάρχουσες μελέτες και μεθόδους που έχουν προταθεί στο παρελθόν για την ταύτιση αλλά ταυτόχρονα συνδυάζει την αρχαιολογική γνώση με τις μοντέρνες τεχνικές καταγραφής και μέτρησης τραχύτητας επιφανείας.

## Καταγραφή θραυσμάτων

Για την καταγραφή των θραυσμάτων απαιτείται η χρήση τρισδιάστατων συντεταγμένων της επι-

φάνειάς τους, οι οποίες λαμβάνονται σε μεγάλη πυκνότητα και ακρίβεια από τρισδιάστατο σαρωτή λέιζερ (εικ. 3). Η λειτουργία του σαρωτή βασίζεται στην αρχή της φωτογραμμετρίας όπου ένα αντικείμενο φωτογραφίζεται από δύο διαφορετικές γωνίες και οι συντεταγμένες των σημείων στην επιφάνειά του μετρώνται στερεομετρικά (ο Besl αναφέρει περισσότερες πληροφορίες για τους τρισδιάστατους σαρωτές<sup>7</sup>. Επίσης, σε ειδικές περιπτώσεις εξαιρετικά μεγάλων αντικειμένων, όπως τμήματα προσώπων κτιρίων κ.λπ., ή όπου η πυκνότητα και η ακρίβεια ίσως να μην είναι σημαντικοί παράγοντες, συμβατικές μέθοδοι ψηφιακής φωτογραμμετρίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό. Τα προτερήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου καταγραφής (τρειςδιάστατος σαρωτής – ψηφιακή φωτογραμμετρία) ανάλογα με το αντικείμενο έχουν μελετηθεί στο παρελθόν από τους γράφοντες<sup>8</sup>.

Οι δύο μέθοδοι καταγραφής που αναφέρθηκαν παράγουν τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων που με κατάλληλη επεξεργασία μετατρέπονται σε γεωμετρικές τριγωνικές επιφάνειες («τρίγωνα») ανακατασκευάζοντας τη συνολική επιφάνεια του πραγματικού αντικείμενου στον υπολογιστή (εικ. 5, 6, 7).

### Κατάτμηση του μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μία από τις αυτόματες λειτουργίες του εγκεφάλου στο πρόβλημα της ταύτισης είναι η απομύηση των επιφανειών θραύσης των κομμάτων από τις επιφάνειες που έχει καταγραφεί ο λιθοξόος. Αυτή η διαδικασία είναι τις περισσότερες φορές στοιχειώδης για τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Ωστόσο, αποδεικνύεται πολύπλοκη για τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η διαδικασία ονομάζεται «κατάτμηση» των μοντέλων και περιγράφεται σχηματικά στην εικόνα 1. Η κατάτμηση των μοντέλων επιτυγχάνεται με τη στατιστική ανάλυση των συντεταγμένων των σημείων της επιφάνειας και πιο συγκεκριμένα με την ανάλυση του προσανατολισμού του κάθε τριγώνου σε σχέση με τα διπλάνα του<sup>9</sup>.

Σε αυτό το σημείο τα μοντέλα των θραυσμάτων έχουν καταταμωθεί στις επιφάνειες θραύσης και στις επιφάνειες τις κατεργασμένες από τον λιθοξόο. Τις περισσότερες φορές, ο υπολογιστής μπορεί αυτόματα να διακρίνει ποιες από τις επιφάνειες είναι θραύσεις και ποιες όχι (με εξαίρεση λαξευμένες επιφάνειες με πολύπλοκη διακόσμηση). Η ομαδοποίηση των επιφανειών γίνεται από τη μελέτη της τοπογραφίας της επιφάνειας.



3. Παράδειγμα σάρωσης αρχαιολογικού αντικείμενου από τρισδιάστατο σαρωτή λέιζερ στα Προπύλαια.

Η τοπογραφία χαρακτηρίζεται με βάση τις τιμές ανισotropίας και διασποράς των προσανατολισμών των τριγώνων. Η περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού των παραμέτρων αυτών δεν είναι σκόπιμο να γίνει στο άρθρο αυτό<sup>10</sup>, ωστόσο αξίζει να αναφερθεί τι χαρακτηρίζουν αυτές οι παράμετροι:

α) Η ανισotropία δείχνει αν τα τρίγωνα τέιουν να έχουν προσανατολισμό προς μια συγκεκριμένη διεύθυνση.

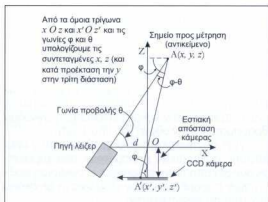
β) Η διασπορά δείχνει το βαθμό της απόκλισης του προσανατολισμού των τριγώνων από κάποιες επικρατούσες μέσες τιμές.

Οι επιφάνειες θραύσης έχουν συνήθως μέση ανισotropία και μεγάλη διασπορά, ενώ οι λαξευμένες επιφάνειες έχουν συνήθως μικρή ανισotropία και μικρή διασπορά (όντας συνήθως επίπεδες).

Άρα η κατάτμηση του μοντέλου σε ξεχωριστές πλευρές και ο χαρακτηρισμός των πλευρών είτε ως λαξευμένες επιφάνειες είτε ως επιφάνειες θραύσης γίνεται με βάση τους παραγοντες ανισotropίας και διασποράς των προσανατολισμών των τριγωνικών επιφανειών. Στη συνέχεια, κριτήρια που βοηθούν στην ταύτιση αναζητώνται σε κάθε επιφάνεια του κατατμημένου μοντέλου κατά το χαρακτηρισμό της.

### Χαρακτηρισμός λαξευμένων επιφανειών

Οι λαξευμένες επιφάνειες του παραπάνω μοντέλου περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατα-

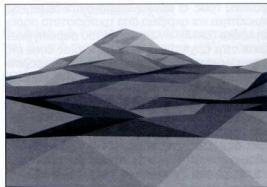
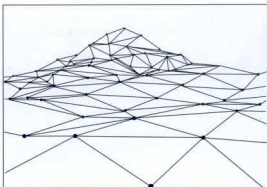


4. Αρχή λειτουργίας του τρισδιάστατου σαρωτή λέιζερ.

5. Οι τρισδιάστατες συντεταγμένες όπως συλλέγονται από τον σαρωτή.

6. Οι συντεταγμένες όπως συνδυάζονται σε τριγωνες επιφάνειες.

7. Η τελική επιφάνεια που χαρακτηρίζει την πραγματική επιφάνεια του αντικείμενου.



σκευή και την τεχνολογία του αντικείμενου στο οποίο ανήκει το θραύσμα. Τέτοιες πληροφορίες βοηθούν στο να ταυτιστεί το θραύσμα με βάση την υπάρχουσα αρχαιολογική γνώση. Για παράδειγμα, η ύπαρξη διακοσμητικών σταγόνων σε ένα θραύσμα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αυτό μπορεί να προέρχεται από κάποιο γέισο. Η συλλογή παρόμοιων πληροφοριών από κάθε λαξευμένη επιφάνεια είναι δυνατόν να γίνει με την επισκόπηση των μοντέλων στην οθόνη του υπολογιστή.

Η συστηματική καταγραφή των πληροφοριών σε μια εξειδικευμένη βάση δεδομένων<sup>11</sup> μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των πιθανών συνδυασμών που χρειάζεται να δοκιμαστούν για να βρεθεί ποια θραύσματα ταιριάζουν. Έτσι, στην περίπτωση του γέισου, όλα τα θραύσματα που α) φέρουν τις χαρακτηριστικές σταγόνες και ταινίες στη μια πλευρά τους, β) είναι επίπεδα στην ακριβώς απέναντι πλευρά και γ) έχουν αναθυρώσεις χαρακτηριστικού σχήματος στις πλάινες πλευρές τους, ομαδοποιούνται. Προφανώς θραύσματα που φέρουν μέρος της διακόσμησης δεν ταιριάζουν με θραύσματα που φέρουν το ίδιο κομμάτι της διακόσμησης, αλλά αποτελούν ξεχωριστά αντικείμενα. Με μια σειρά παρόμοιων λογικών επιλογών που μπορούν να προκαθοριστούν μέσα στη βάση δεδομένων και να εκτελεστούν στιγμιαία και αυτόματα, τα πιθανά ζευγάρια θραυσμάτων που ταιριάζουν μενώνονται σημαντικά.

Πώς όμως μπορούμε να επιλέξουμε δύο μόνο από αυτά τα θραύσματα ως τα περισσότερα πιθανά να ταιριάζουν; Αυτό γίνεται με τη στατιστική ανάλυση της τοπογραφίας των επιφανειών θραύσης.

#### Χαρακτηρισμός επιφανειών θραύσης

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να αναγνωρίσει αυτόματα αν δυο επιφάνειες ταιριάζουν ή όχι (αν δηλαδή τα θραύσματα συγκollώνονται ή όχι). Ωστόσο, όπως και στην κατάτμηση, η μεταφορά

της διαδικασίας αυτής στον υπολογιστή είναι πολύπλοκη. Ο υπολογιστής πρέπει να συγκρίνει τις τοπογραφίες των υποψιφών επιφανειών θραύσης και να επιλέξει αυτές που είναι συμπεριλαμβματικές. Η σύγκριση των επιφανειών γίνεται με βάση τις παραμέτρους της ανισοτροπίας και διασποράς (που χρησιμοποιήθηκαν και στην ομαδοποίηση των επιφανειών σε λαξευμένες ή σε επιφάνειες θραύσης). Επίσης, μια νέα παράμετρος είναι το εμβαδόν της επιφάνειας.

Οι τρεις παράμετροι υπολογίζονται για όλες τις επιφάνειες θραύσης και αποδίδουν μια συγκεκριμένη αριθμητική ταυτότητα για καθεμία από αυτές. Η αριθμητική αυτή ταυτότητα δείχνει την τοπογραφία της επιφάνειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση επιφανειών (και θραυσμάτων) που ταιριάζουν. Από το προηγούμενο στάδιο της διαδικασίας τα κομμάτια που υπάρχει πιθανότητα να συγκollώνονται έχουν επιλεχθεί με βάση τη διακόσμηση τους. Δύο επιφάνειες θραύσης από τα επιλεγμένα κομμάτια, που έχουν κοντινές τιμές στις αριθμητικές τους ταυτότητες, είναι πιθανόν να συγκollώνονται και άρα ο έλεγχος για το ταιριασμό τους αξίζει να γίνει (εικ. 8). Αντίθετα, δύο επιφάνειες θραύσης που έχουν μακρινές αριθμητικές ταυτότητες δεν ταιριάζουν και άρα δεν αξίζει να δοκιμαστούν.

Η σύγκριση των αριθμητικών ταυτοτήτων μπορεί να γίνει πάλι με τη χρήση μιας εξειδικευμένης βάσης δεδομένων, σχεδόν στιγμιαία και αυτόματα. Έτσι οι πιθανοί συνδυασμοί θραυσμάτων που πρέπει να εξεταστούν (είτε με τη διαδικασία που περιγράφουν οι Παπαϊωάννου, Κοραμπίσση και Θεοχάρης<sup>12</sup>, είτε με τον παραδοσιακό χειρωνακτικό τρόπο) ελαχιστοποιούνται, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την ταύτιση.

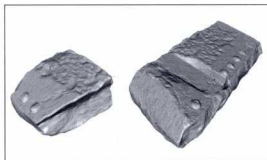
#### Πλεονεκτήματα της νέας μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η νέα μέθοδος είναι τα εξής:

α) Οι σύγχρονες μέθοδοι καταγραφής που χρησιμοποιούνται προσφέρουν ακριβείς τριδιάστατες μετρήσεις των αντικειμένων.

β) Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λύση του προβλήματος της ταύτισης, ενώ επιτρέπουν την εύκολη επισκόπηση ογκωδών θραυσμάτων στην οθόνη του υπολογιστή.

γ) Η μαθηματική ανάλυση οδηγεί στον υπολογισμό αριθμητικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν μια σπασμένη επιφάνεια. Η σύγκριση αριθμητικών παραμέτρων στον υπολογιστή με σκοπό την ταύτιση είναι ταχύτερη.



8. Παράδειγμα επιφανειών θραύσης που έχουν παρόμοιες αριθμητικές ταυτότητες.

δ) Η χρήση των ψηφιακών μοντέλων μας δίνει τη δυνατότητα να ελέγχουμε αν δύο επιφανείες ταιριάζουν.

ε) Η συνολική διαδικασία της ταύτισης δεν απαιτεί εργασία πάνω στα αντικείμενα (παρά μόνο κατά την καταγραφή τους), αλλά πάνω στα ψηφιακά αντίγραφα τους, με αποτέλεσμα η μετακίνηση των ογκωδών κομματιών να περιορίζεται στο ελάχιστο.

## Εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικά αντικείμενα και συμπεράσματα

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής έγινε στο πλαίσιο διδακτορικού προγράμματος σε μαρμαρίνα θραύσματα από τα Προπύλαια της Ακρόπολης και σε κεραμικά θραύσματα από την ανασκαφή της αρχαίας Μεσσήνης.

Η κατάταξη των μοντέλων αξιολογήθηκε με βάση τη συμφωνία των αποτελεσμάτων από την κατάταξη όπως ολοκληρώθηκε από τον υπολογιστή, και την κατάταξη όπως θα την ολοκλήρωναν κάποιος συντηρητής χειρωνακτικά. Η κατάταξη έγινε επιτυχώς, με ελάχιστες εξαιρέσεις ανωμάλων θραυσμάτων που παρουσίαζαν δυσκολία ακόμα και για τον συντηρητή που έπρεπε να αποφασίζει αν πρόκειται για μία ή δύο πλευρές θραύσης, μια και αυτό δεν ήταν προφανές.

Η ομαδοποίηση των επιφανειών σε θραύσεις και σε λαξευμένες επιφάνειες έγινε με επιτυχία, πάλι με ελάχιστες εξαιρέσεις όπου μια λαξευμένη επιφάνεια έφερε πολύπλοκη διακόσμηση ή μια θραύση ήταν τόσο λεία και επίπεδη (λόγω του υλικού και της φθοράς) που έμοιαζε με λαξευμένη επιφάνεια.

Σε όλες τις περιπτώσεις η ταύτιση των θραυσμάτων ήταν επιτυχής. Παρατηρήθηκε ωστόσο ότι ο χαρακτηρισμός μιας θραύσης εξαρτάται από την ποιότητα του μοντέλου. Έτσι, ο μεγάλος αριθμός τριγώνων σε ένα μοντέλο περιγράφει ακόμα και τη μικρή κλίμακα τραχύτητα της επιφάνειας, λόγω της εξαιρετικής ακρίβειας της μεθόδου. Η τραχύτητα σε μικρή κλίμακα, ωστόσο, δεν περιγράφει την τοπογραφία της επιφάνειας αλλά την ποιότητα του υλικού. Συνεπώς, προκειμένου να συγκριθούν οι επιφάνειες με βάση την τοπογραφία τους, τα μοντέλα πρέπει να απαλλαγούν από τη μικρή κλίμακα τραχύτητα με κατάλληλα φίλτρα που είναι ευρέως διαδεδομένα στην επεξεργασία τρισδιάστατων μοντέλων.

Φαίνεται λοιπόν ότι ο συνδυασμός κριτηρίων για τη διάκριση και την τεχνολογία του αντικειμένου με τη μαθηματική ανάλυση της τοπογραφίας της επιφάνειας θραύσης, περιορίζει τον αριθμό των συνδυασμών κομματιών που μπορεί να ταιριάζουν, διευκολύνοντας έτσι τη λύση του προβλήματος της ταύτισης. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε ολοκληρωτό στον υπολογιστή και δεν απαιτεί κανένα χειρισμό των αντικειμένων παρά μόνο για την καταγραφή του.

## Μελλοντική έρευνα

Αν και τα αποτελέσματα της έρευνας με τα διαθέσιμα μοντέλα ήταν θετικά, προκειμένου να αξιολογηθεί πλήρως η μέθοδος αυτή απαιτείται η δοκιμή της σε μεγαλύτερο αριθμό θραυσμάτων.

Επίσης, το πρόβλημα της ταύτισης, όπως πα-

ρουσιάζεται εδώ, περιορίζεται μόνο στις περιπτώσεις που δύο επιφάνειες ταιριάζουν σε μεγάλο ποσοστό (εν μέρει αυτό κρίνεται από τον παράγοντα του εμβαδού). Αν, ωστόσο, μια επιφάνεια θραύσης ταιριάζει με δύο άλλες επιφάνειες (σε περιπτώσεις δηλαδή που η θραύση σχηματίζεται), τότε η μέθοδος αυτή χρειάζεται να επεκταθεί προκειμένου να τις καλύψει.

## Σημειώσεις

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον καθηγητή κύριο Πέτρο Θέμελη και την Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης και ιδιαίτερα την κυρία Μαρία Ιωαννίδου για τη βοήθεια τους κατά όλη τη διάρκεια αυτής της έρευνας.

1. A. Velos, A. Cummings, «Digital Weightlifting and the Conservation of Large, Heavy Objects», *V&A Conservation Journal* (Spring 2001), σ. 10-13.
2. T. Τασούλας, Μ. Ιωαννίδου, Α. Μυράτο, *Μελέτη για την Αποκατάσταση των Προπυλαίων*, 1. ΥΠΠΟ, Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης, Αθήνα 1994.
3. N. Τσιανόνης, *Μελέτη για την Αποκατάσταση του Παρθενώνα*, 5. ΥΠΠΟ, Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης, Αθήνα 1994.
4. G. Uçulak, H. Toroslu, «Automatic Reconstruction of Broken 3D Surfaces Objects», (Department of Computer Engineering, Middle East Technical University, Ankara 1997, το άρθρο στάλθηκε στα πρακτικά από τους συγγραφείς).
5. J. Zhao, «Joint Surface Matching and Shear Strength», Part A: «Joint Matching Coefficient (JMC)», και Part B: «JRC-JMC Shear Strength Criterion», *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Abstracts* 2/34 (1997), σ. 173 και 179.
6. G. Papaioannou, E.A. Karabassi, T. Theoharis, «Virtual Archaeologist: Assembling the Past», *IEEE Computer Graphics and Applications* (Μάρτιος-Απρίλιος 2001), σ. 53-59.
7. P. Besl, «Active, Optical Imaging Sensors», *Machine Vision and Applications* 1 (1988), σ. 127-152.
8. A. Velos, J. Harrison, «Digital Photogrammetry and 3D Laser Scanning: A Comparison on Quality and Practicality», *CAA 2001, Computer Applications in Archaeology*, Götting 2001.
9. Πολυτεχνική ο οργάν της Μεγαλόκτιμης ανόδοσης και της Ρυθμικής γεωμετρίας που χρησιμοποιούνται στη στατιστική ανάλυση αναφέρονται στο A. Velos, *Virtual Conservation: The Reconstruction of a Fragmented Object With the Aid of Three-Dimensional Computer Models*, PhD Thesis, Royal College of Art, London 2002.
10. Για μια λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας, στο ίδιο.
11. BA, για παράδειγμα, στο ίδιο, σελ. 7.
12. Papaioannou, Karabassi, Theoharis, o.t.

## Traditional and Modern Methods for Solving the Problem of Fragmentation

Athanasios Velos - Alan Cummings - John Harrison

By the term «fragmentation» we mean the identification of the original position of a fragment in relation to the object or building to which it belongs, as well as the selection of the adjacent fragments in order to be put together to a unit.

The fragmentation is traditionally approached on the basis of the ability of the human brain to combine fractured surfaces and characteristic decorative elements. The traditional techniques, however, are time consuming and require special equipment, if, in particular, the relevant objects are bulky or heavy.

Some scholars have proposed the use of computers for solving the problem of fragmentation, however, a practical solution applicable to a wide variety of objects has not been set forth as yet.

The methodology proposed here is based on the creation of three-dimensional digital models of fragments and their analysis on the principles of Riemannian geometry and Mahalanobis distance. These models are segmented in fractured and decorative surfaces. The data concerning the object derive from decoration and from the available archaeological knowledge, while the fractured surfaces are numerically characterised and identified on the basis of their topography.

The combination of the aforementioned parameters decreases the possible associations of fragments considerably and contributes to the faster solution of fragmentation, without endangering, at the same time, the actual objects.

## Βιβλιογραφία

- BESL P., «Active, Optical Imaging Sensors», *Machine Vision and Applications* 1 (1988), σ. 127-152.
- PAPAIOANNOU G., KARABASSI E.A., THEOHARIS T., «Virtual Archaeologist: Assembling the Past», *IEEE Computer Graphics and Applications* (Μάρτιος-Απρίλιος 2001), σ. 53-59.
- TANIOYAS T., IGANNIOY M., ΜΠΑΡΤΟY A., *Μελέτη για την Αποκατάσταση των Προπυλαίων*, 1. ΥΠΠΟ, Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης, Αθήνα 1994.
- ΤΟΥΑΝΙΔΗΣ Ν., *Μελέτη για την Αποκατάσταση του Παρθενώνα*, 5. ΥΠΠΟ, Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης, Αθήνα 1994.
- VELOUS A., HARRISON J., «Digital Photogrammetry and 3D Laser Scanning: A Comparison on Quality and Practicality», *CAA 2001, Computer Applications in Archaeology*, Götting 2001.
- VELOUS A., *Virtual Conservation: The Reconstruction of a Fragmented Object With the Aid of Three-Dimensional Computer Models*, PhD Thesis, Royal College of Art, London 2002.
- VELOUS A., CUMMINGS A., «Digital Weightlifting and the Conservation of Large, Heavy Objects», *V&A Conservation Journal* (Spring 2001), σ. 10-13.
- ZHAO J., «Joint Surface Matching and Shear Strength. Part A: Joint Matching Coefficient (JMC)», *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Abstracts*, 2/34 (1997), σ. 173.
- , «Joint Surface Matching and Shear Strength. Part B: JRC-JMC Shear Strength Criterion», *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Abstracts*, 2/34 (1997), σ. 179.