

6ο Μάθημα – Αναπαράσταση και Απλοποίηση Μοντέλων Γραφικά

Ευάγγελος Σπύρου

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ακ. Έτος 2018-19



Σύνοψη του σημερινού μαθήματος

- 1 Εισαγωγή
- 2 Επισκόπηση Μορφών Μοντέλων
- 3 Ιδιότητες Πολυγωνικών Μοντέλων
- 4 Δομές δεδομένων για πολυγωνικά μοντέλα
- 5 Απλοποίηση Πολυγωνικών Μοντέλων



Εισαγωγή

- Οι 3D σκηνές που συντίθενται στα γραφικά και στην οπτικοποίηση, απεικονίζουν **αντικείμενα** διάφορων σχημάτων και δομών
 - στοιχειώδη γεωμετρικά **σχήματα**, **επιφάνειες** ελεύθερης μορφής με γνωστή μαθηματική περιγραφή, **τυχαίες επιφάνειες**, **στερεά** αντικείμενα, **ακανόνιστα** αντικείμενα
- Τα **μοντέλα** είναι προσεγγιστικές αναπαραστάσεις των αντίστοιχων αντικειμένων που κατασκευάζονται έτσι ώστε να διατηρούν όσο το δυνατόν περισσότερες ιδιότητες είναι δυνατόν
- Συγχρόνως, τα μοντέλα επιδέχονται **χειρισμούς** απαιτούμενους σε αλγόριθμους γραφικών
- Τα **πολυγωνικά** μοντέλα είναι η πιο συνήθης **αναπαράσταση επιφανειών**



Εισαγωγή

- Ως αποτέλεσμα της αύξησης της επεξεργαστικής **ισχύος** των υπολογιστών και της προόδου των τεχνικών ψηφιοποίησης των αντικειμένων, η ποσότητα της **πληροφορίας** που αποθηκεύεται στα μοντέλα αυξάνεται συνεχώς
- Αν και η διαθέσιμη πληροφορία είναι **χρήσιμη** για αρχειακούς σκοπούς ή άλλες εξειδικευμένες χρήσεις, οι συνήθεις εφαρμογές γραφικών συχνά **απαιτούν** ή επωφελούνται από **λιγότερο λεπτομερή** μοντέλα
- Η **απλοποίηση μοντέλων** στοχεύει στη μείωση της ποσότητας της **πληροφορίας** που υπάρχει σε ένα μοντέλο, χωρίς να θυσιάζει σημαντικά την **ποιότητα** της αναπαράστασης



Επισκόπηση μορφών μοντέλων

- Οι δύο **κύριες** κατηγορίες μοντέλων είναι οι:
 - **αναπαραστάσεις επιφάνειας**, (ή συνόρου) που αναπαριστούν **μόνο** την επιφάνεια ενός αντικειμένου
 - **αναπαραστάσεις όγκου**, που αναπαριστούν **όλοκληρο** τον όγκο που καταλαμβάνει ένα κλειστό 3D αντικείμενο
- Οι αναπαραστάσεις **επιφάνειας** χρησιμοποιούνται πιο συχνά
- Πολλά αντικείμενα **δεν** είναι κλειστά, συνεπώς οι αναπαραστάσεις όγκου **δεν** μπορούν να εφαρμοστούν
- Τα περισσότερα αντικείμενα δεν είναι διαφανή, το εσωτερικό τους **δεν είναι ορατό**, μπορούν να μειωθούν οι αναπαραστάσεις σε **χώρο** και **ισχύ** αν αναπαρασταθεί μόνο η **επιφάνειά** τους



Επισκόπηση μορφών μοντέλων

- Τα μοντέλα επιφάνειας μπορούμε να διακρίνουμε ως προς το αν έχουν κάποια **μαθηματική περιγραφή**
- Τα τελευταία αποτελούνται από ένα σύνολο **σημείων** και ένα σύνολο συνήθως **επίπεδων πολυγώνων** που κατασκευάζονται με κορυφές αυτά τα σημεία
- Αποκαλούνται **πολυγωνικά μοντέλα** και αποτελούν **προσεγγίσεις** των αρχικών αντικειμένων
 - εξαιρετικά **ακριβείς** αν χρησιμοποιηθούν **πολλές** κορυφές
 - δεν υπάρχει **κανένα** όριο ως προς το είδος των αντικειμένων που μπορούν να αναπαραστήσουν
- Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν συνήθως **ακριβείς** αναπαραστάσεις των αντίστοιχων αντικειμένων
 - επιτρέπουν ακριβείς **υπολογισμούς** που αφορούν το αντικείμενο



Πολυγωνικά μοντέλα

- Τα πολυγωνικά μοντέλα μπορεί να αποτελούνται από **πολύγωνα** οποιουδήποτε πλήθους κορυφών
 - στην πράξη τα πιο κοινά πολυγωνικά μοντέλα είναι αυτά που αποτελούνται από **τετράγωνα** ή **τρίγωνα**
- Μοντέλα αποτελούμενα από τετράπλευρα παράγονται με **φυσικό** τρόπο κατά τη σχεδίαση παραμετρικών επιφανειών
- Δυστυχώς, ένα τετράπλευρο δεν είναι απαραίτητα **επίπεδο** στις 3D, έτσι **δυσχεραίνονται** όλοι οι υπολογισμοί
- Από την άλλη, αν απαιτείται **όλα** τα τετράπλευρα να είναι επίπεδα, **περιορίζεται** το σχήμα και η ευελιξία των μοντέλων



Πολυγωνικά μοντέλα

- Αυτά τα προβλήματα δεν υφίστανται σε τριγωνικά μοντέλα: ένα τρίγωνο είναι **πάντα επίπεδο**
- Επιπλέον, ένα πολύγωνο μπορεί πάντα να **τριγωνοποιηθεί** αποδοτικά
- Επομένως, ένα τριγωνικό μοντέλο μπορεί να παραχθεί από **οποιοδήποτε** πολυγωνικό μοντέλο
- Για τους παραπάνω λόγους, τα τριγωνικά μοντέλα (τριγωνικά πλέγματα) προτιμώνται **σχεδόν πάντοτε** σε κάθε εφαρμογή που χρησιμοποιεί πολυγωνικά μοντέλα



Πολυεδρικά μοντέλα

- Τα πολυγωνικά μοντέλα **γενικεύονται** στις αναπαραστάσεις όγκου στα **πολυεδρικά** μοντέλα
- Το **στοιχειώδες** πολυεδρικό τμήμα είναι το **τετράεδρο**
- Τα τετραεδρικά πλέγματα αποτελούν την πιο **γενική** και ευέλικτη αναπαράσταση μοντέλων όγκου
- Παρόλαυτά, μοντέλα αποτελούμενα από **παράλληλεπίπεδα** εμφανίζονται πολύ συχνά
 - είναι το αποτέλεσμα διαδικασιών **διαμέρισης** του χώρου που χρησιμοποιούν ορθογώνια πλέγματα
 - τα παραγόμενα παράλληλεπίπεδα καλούνται **voxels** (volume elements – στοιχεία όγκου)



Ιδιότητες πολυγωνικών μοντέλων

- Ένα μοντέλο επιφάνειας είναι **διδιάστατη πολλαπλότητα**, αν κάθε σημείο της επιφάνειας έχει μια γειτονιά ομοιομορφική με έναν ανοικτό δίσκο
 - ανοικτός δίσκος είναι το **εσωτερικό** ενός κύκλου
- Άρα, ενώ μια επιφάνεια υφίσταται στον **3Δ** χώρο, είναι **τοπολογικά επίπεδη** όταν εξετάζεται από **κοντά** σε μία αρκετά **μικρή** περιοχή, γύρω από οποιοδήποτε **σημείο** της
- Σε μια επιφάνεια που είναι **πολλαπλότητα**, κάθε ακμή ανήκει σε ακριβώς **δύο** έδρες και γύρω από κάθε κορυφή υπάρχει ένας **κλειστός βρόχος εδρών**

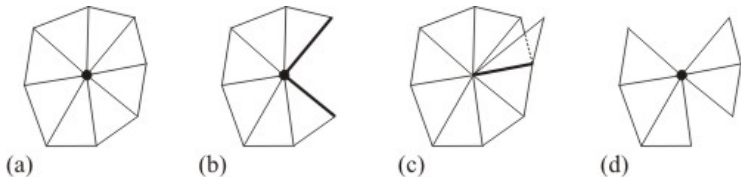


Ιδιότητες πολυγωνικών μοντέλων

- Ομοίως, ένα μοντέλο επιφάνειας είναι **πολλαπλότητα με σύνορο**, αν κάθε σημείο της επιφάνειας έχει μια γειτονιά **ομοιομορφική** με έναν ημι-δίσκο
- Σε μια **πολλαπλότητα με σύνορο**, κάποιες ακμές (που βρίσκονται στο σύνορο του μοντέλου) ανήκουν **ακριβώς σε μια** έδρα
- Γύρω από κάποιες κορυφές (αυτές στο σύνορο) ο βρόχος των εδρών είναι **ανοικτός**
- Για τις συνήθειες 3D επιφάνειες, μια πολλαπλότητα **χωρίς** σύνορο είναι **κλειστή** επιφάνεια



Παραδείγματα πολλαπλοτήτων



- τμήμα επιφάνειας που είναι πολλαπλότητα
- συνοριακή κορυφή μιας πολλαπλότητας με σύνορο
- ακμή που παραβιάζει τον ορισμό της πολλαπλότητας
- κορυφή που παραβιάζει τον ορισμό της πολλαπλότητας με σύνορο

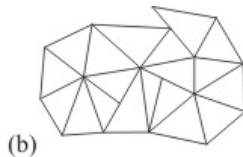
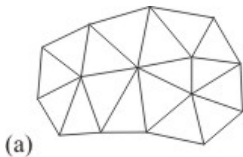


Απλοειδή Σύμπλοκα

- Συνήθως υποθέτουμε ότι τα πολύγωνα που αποτελούν ένα πολυγωνικό μοντέλο εφάπτονται **μόνο** κατά μήκος των ακμών τους
- Επίσης, οι ακμές του μοντέλου τέμνονται **μόνο** στα άκρα τους
- Τα τριγωνικά μοντέλα που ικανοποιούν αυτή την ιδιότητα αποκαλούνται **απλοειδή σύμπλοκα**



Απλοειδή Σύμπλοκα



- a. το τριγωνικό πλέγμα είναι απλοειδές σύμπλοκο
- b. το τριγωνικό πλέγμα δεν είναι απλοειδές σύμπλοκο



Η εξίσωση του Euler

- Τα **κλειστά** μοντέλα που είναι **πολλαπλότητες** ικανοποιούν την εξίσωση του **Euler**

$$V - E + F = 2$$

- Όπου V είναι ο αριθμός των **κορυφών**, E ο αριθμός των **ακμών** και F ο αριθμός των **όψεων** του μοντέλου
- Αν την εξειδικεύσουμε για κλειστά **τριγωνικά** μοντέλα, γίνεται $F + 4 = 2V$ ή $3V = 6 + E$
 - ο αριθμός των τριγώνων του μοντέλου είναι περίπου **διπλάσιος** από τον αριθμό των κορυφών του
 - ο **μέσος** αριθμός τριγώνων γύρω από κάθε κορυφή είναι 6
- Μπορεί να εξειδικευτεί για μοντέλα που **δεν** είναι **πολλαπλότητες** ως $V - E + F = 2 - 2G$
 - G το **γένος** του μοντέλου (αριθμός των διαμπερών του **οπών**)



Αναπαράσταση πολυγωνικών μοντέλων

- Για την **αναπαράσταση** πολυγωνικών μοντέλων έχουν προταθεί διάφορες **δομές δεδομένων**
- Αυτές **διαφέρουν** ως προς:
 - τον **τύπο** των πολυγωνικών μοντέλων που μπορούν να αναπαραστήσουν
 - το **πλήθος** και το **είδος** των πληροφοριών του μοντέλου που διατηρούν άμεσα
 - επιπλέον **πληροφορίες** που μπορούν ή δεν μπορούν να εξαχθούν από αυτές



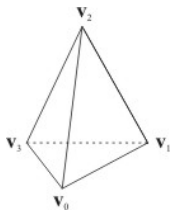
Χρήσιμες πληροφορίες

Χρήσιμες πληροφορίες για τις εφαρμογές **γραφικών** είναι:

- **Τοπολογικές πληροφορίες:** αν το μοντέλο είναι πολλαπλότητα, αν είναι κλειστό, αν έχει σύνορο, αν έχει οπές
- **Πληροφορίες γειτνίασης:** γειτονικές έδρες μιας δεδομένης ακμής και έδρας, ακμές και έδρες γύρω από δεδομένη κορυφή, το σύνορο ενός μοντέλου
- **Ιδιότητες που έχουν αποδοθεί στο μοντέλο:** κάθετα διανύσματα, χρώματα, ιδιότητες υλικών, συντεταγμένες υψής



Άμεση λίστα ακμών (αναπαράσταση πλέγματος)



- Για κάθε **ακμή**, περιέχει τις συντεταγμένες των **κορυφών** του μοντέλου
- Για το παραπάνω τετράεδρο:

$$e_0 = ((x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1)), e_3 = ((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)),$$

$$e_1 = ((x_0, y_0, z_0), (x_2, y_2, z_2)), e_4 = ((x_1, y_1, z_1), (x_3, y_3, z_3)),$$

$$e_2 = ((x_0, y_0, z_0), (x_3, y_3, z_3)), e_5 = ((x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3))$$



Περιορισμοί αναπαράστασης πλέγματος

- Η αναπαράσταση πλέγματος στην πραγματικότητα **δεν** είναι αναπαράσταση συνόρου, καθώς **δεν** προσδιορίζει τις έδρες του μοντέλου
 - αυτές μπορούν να εξαχθούν από τα δεδομένα των **ακμών**
 - η διαδικασία αυτή **δεν** είναι άμεση και μπορεί να μην είναι μονοσήμαντη
 - π.χ., στην προηγούμενη περίπτωση, έχοντας τις ακμές δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι αν πρόκειται για **κλειστό** τετράεδρο, ή κάποια έδρα **λείπει**



Περιορισμοί αναπαράστασης λίστας εδρών

- Η άμεση λίστα εδρών έχει επίσης σοβαρά **μειονεκτήματα** και δεν χρησιμοποιείται πλέον
 - χρησιμοποιεί **άσκοπα χώρο** αποθήκευσης: οι συντεταγμένες κάθε κορυφής **επαναλαμβάνονται** σε κάθε ακμή ή έδρα που την περιέχει
 - επίσης, δεν παρέχει πληροφορίες **γειτνίασης** των ακμών
 - ο υπολογισμός πληροφοριών γειτνίασης μπορεί να είναι **προβληματικός**: κοινές κορυφές μπορούν να ανιχνευθούν μόνο μέσω **σύγκρισης** των συντεταγμένων
 - η **τροποποίηση** του μοντέλου είναι αρκετά **πολύπλοκη** διαδικασία

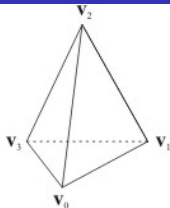


Δεικτοδοτημένη λίστα εδρών

- Αρκετά από αυτά τα μειονεκτήματα αντιμετωπίζονται από την **δεικτοδοτημένη λίστα εδρών**
- Πρόκειται για **σύνθετη** δομή δεδομένων που περιέχει μια λίστα των **κορυφών** του μοντέλου και μια λίστα των **εδρών** του
- Οι κορυφές κάθε έδρας δίνονται ως **αναφορές** στη λίστα κορυφών
- Αυτή η δομή μπορεί να παραστήσει **οποιοδήποτε** είδος πολυγωνικού μοντέλου
- Επίσης, είναι πιο **συμπαγής** από την άμεση λίστα εδρών
- Τέλος, επιτρέπει **απευθείας** τροποποιήσεις στις θέσεις των κορυφών του μοντέλου



Παράδειγμα δεικτοδοτημένης λίστας εδρών



- Για το παραπάνω τετράεδρο:

$$\mathbf{v}_0 = (x_0, y_0, z_0), f_0 = (\mathbf{v}_3, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_1)$$

$$\mathbf{v}_1 = (x_1, y_1, z_1), f_1 = (\mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3, \mathbf{v}_0)$$

$$\mathbf{v}_2 = (x_2, y_2, z_2), f_2 = (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_0, \mathbf{v}_3)$$

$$\mathbf{v}_3 = (x_3, y_3, z_3), f_3 = (\mathbf{v}_0, \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)$$

Κατά σύμβαση, οι κορυφές κάθε έδρας αναφέρονται σε **συγκεκριμένη** σειρά: είτε κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, είτε κατά την αντίστροφη



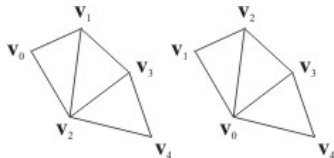
Περιορισμοί δεικτοδοτημένης λίστας εδρών

- Οι ακμές του μοντέλου μπορούν να ευρεθούν άμεσα, αλλά **επαναλαμβάνονται** σε κάθε πολύγωνο που τις περιέχει
- Για να παραχθεί μια **έγκυρη** λίστα μοναδικών ακμών του μοντέλου είναι απαραίτητη κάποια **επεξεργασία**
- Δεν παρέχει πληροφορίες **γειτνίασης** για το μοντέλο, αν και τα δεδομένα που περιέχει είναι **αρκετά** για να υπολογιστούν



Ταινίες και βεντάλιες τριγώνων

Για τριγωνικά μοντέλα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η **επανάληψη** δεδομένων, οι περισσότερες βιβλιοθήκες γραφικών μπορούν να χειριστούν **γειτονικά** τρίγωνα πιο αποδοτικά ως “**ταινίες**” τριγώνων (triangle strips) ή “**βεντάλιες**” τριγώνων (triangle fans)



αριστερά: ταινία τριγώνων $\{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4\}$

δεξιά: βεντάλια τριγώνων $\{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4\}$



Πιο εξελιγμένες δομές δεδομένων

- Υπάρχουν πιο **εξελιγμένες** δομές δεδομένων για την αναπαράσταση πολυγωνικών μοντέλων
 - περιλαμβάνουν **άμεσα** κάποιες πληροφορίες **γειτνίασης**
 - επιτρέπουν την **εύκολη** εξαγωγή περισσότερων **σχέσεων** γειτνίασης
- Όλες αυτές οι δομές είναι **δεικτοδοτημένες** και περιέχουν τουλάχιστον μία **λίστα κορυφών** στην οποία αναφέρονται τα υπόλοιπα στοιχεία του μοντέλου (ακμές και έδρες)
- Οι περισσότερες από αυτές τις δομές χειρίζονται μοντέλα τα οποία είναι **πολλαπλότητες** αλλά αποτελούνται από **τυχαία** πολύγωνα

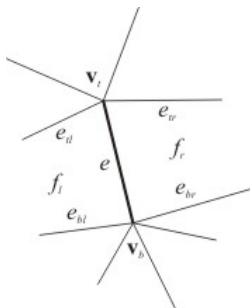


Αναπαράσταση πτερωτής ακμής (winged-edge)

- Μια εξελιγμένη δομή δεδομένων είναι η αναπαράσταση πτερωτής ακμής
- Κεντρικός κόμβος πληροφορίας είναι η **ακμή**: κάθε μία αποθηκεύει **αναφορές** στις δύο κορυφές της, στις γειτονικές της έδρες και στις τέσσερις γειτονικές ακμές κατά μήκος των γειτονικών εδρών
- Η δομή αποθηκεύει επίσης για κάθε **κορυφή** αναφορά προς **μία** από τις ακμές που τη χρησιμοποιούν
- Για κάθε **έδρα** αποθηκεύει αναφορά προς **μία** από τις ακμές της
- Αυτή η πρόσθετη πληροφορία επιτρέπει την “**πλοήγηση**” στην τοπολογία του μοντέλου και τον υπολογισμό ερωτημάτων γειννίας, πολλών μάλιστα σε **σταθερό χρόνο**



Αναπαράσταση πτερωτής ακμής - παράδειγμα



Η παχιά ακμή είναι $e(\mathbf{v}_t, \mathbf{v}_b, f_l, f_r, e_{tl}, e_{tr}, e_{bl}, e_{br})$

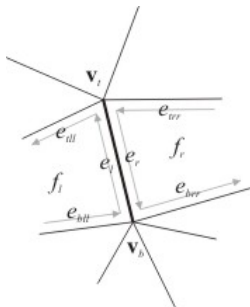


Αναπαράσταση ημι-ακμής (half-edge)

- Είναι **παρόμοια** με την αναπαράσταση πτερωτής ακμής
- Χρησιμοποιεί **προσανατολισμένες** ακμές: κάθε ακμή του μοντέλου “διαχωρίζεται” σε **δύο ημι-ακμές**
 - κάθε μία αποθηκεύει **αναφορές** στην αρχική και τελική κορυφή της, στη γειτονική έδρα της, στις δύο γειτονικές ακμές της κατά μήκος της γειτονικής έδρας της και στην αντίθετή της ημι-ακμή
- Αυτός ο προσανατολισμός υπάρχει στα μοντέλα που είναι **πολλαπλότητες** καθιστώντας τη δομή ημι-ακμής πιο **αποδοτική** από τη δομή πτερωτής ακμής για αρκετά ερωτήματα γειτνίασης



Αναπαράσταση ημι-ακμής - παράδειγμα



Η παχιά ακμή διαχωρίζεται σε δύο ημι-ακμές:

$e_l(\mathbf{v}_b, \mathbf{v}_t, f_l, e_{bll}, e_{ill}, e_r)$ και $e_r(\mathbf{v}_t, \mathbf{v}_b, f_r, e_{trr}, e_{brr}, e_l)$



Πολυγωνικά μοντέλα

- Τα πολυγωνικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην πράξη παράγονται συνήθως **αυτόματα**
 - π.χ., κατά τη **σχεδίαση** μαθηματικά οριζομένων επιφανειών
 - ή π.χ., με **3Δ σάρωση** πραγματικών αντικειμένων
- Μπορεί να προκύψουν μοντέλα που συλλαμβάνουν και την παραμικρή **λεπτομερεία** των αναπαριστώμενων επιφανειών
- Αυτό έχει ένα **τίμημα**: πολύ μεγάλο πλήθος κορυφών και εδρών
- Κάποιες φορές, η μεγάλη λεπτομέρεια είναι **χρήσιμη**
 - π.χ., για **αρχαιακούς** λόγους για την αποθήκευση της ψηφιοποιημένης εκδοχής ενός αγάλματος
- Συνήθως, είναι **άχρηστη** για οποιαδήποτε **πρακτική εφαρμογή**



Πολλαπλές αναλύσεις (επίπεδα λεπτομέρειας)

- Σε αρκετά μικρότερη κλίμακα, τα μοντέλα δημιουργούνται συνήθως με την **μεγαλύτερη** λεπτομέρεια που αναμένεται να είναι χρήσιμη σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή
- Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση, η εφαρμογή αναμένεται να επωφεληθεί από **πολλαπλές** αναλύσεις (επίπεδα λεπτομέρειας) του μοντέλου
 - τα επίπεδα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές **συνθήκες θέασης**
 - π.χ., όταν η προβολή του μοντέλου στην οθόνη είναι **μικρή**, ένα μικρό μέρος λεπτομέρειας είναι **ευδιάκριτο**, άρα πολλές λεπτομέρειες αποτελούν **σπατάλη** πόρων

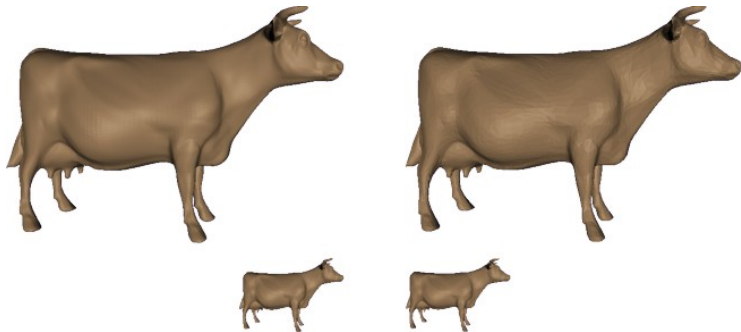


Πολλαπλές αναλύσεις (επίπεδα λεπτομέρειας)

- Σε άλλες περιπτώσεις, θα ήταν επωφελής η **διαφοροποίηση** της λεπτομέρειας σε διαφορετικές **περιοχές** του μοντέλου
 - **συνεπίπεδα** τρίγωνα θα μπορούσαν να **συγχωνευθούν** σε λιγότερα και μεγαλύτερα
 - **ΚΟΝΤΙΝΕΣ** περιοχές στον παρατηρητή θα απαιτούσαν περισσότερη **λεπτομέρεια** από απομακρυσμένες
- Όλα αυτά ισχύουν ιδιαίτερα για **διαδραστικές** εφαρμογές που εμφανίζουν **πολύπλοκες** σκηνές, στις οποίες ο συνολικός αριθμός πολυγώνων που πρέπει να υποστούν επεξεργασία κάθε στιγμή είναι **σημαντικός**



Πολλαπλές αναλύσεις (επίπεδα λεπτομέρειας)



Το μοντέλο της αγελάδας με **5000** τρίγωνα (πάνω αριστερά) και απλοποιημένο σε **1000** τρίγωνα (πάνω δεξιά). Σε **μικρότερο** μέγεθος (κάτω) οι διαφορές των μοντέλων **δεν** είναι ευδιάκριτες.



Τεχνικές απλοποίησης μοντέλων

- Για τους λόγους που αναφέραμε, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την **απλοποίηση** των μοντέλων
- Κοινός στόχος των τεχνικών αυτών είναι η **μείωση** του αριθμού των εδρών ενός πολυγωνικού μοντέλου
- Ωστόσο, διατηρείται η **εμφάνιση** αλλά και η **δομή** όσο καλύτερα είναι αυτό δυνατό και για συγκεκριμένο αριθμό εδρών
- Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα απλοποιημένα μοντέλα συνήθως εκμεταλλεύονται τα **πολλαπλά** επίπεδα λεπτομέρειας του αρχικού μοντέλου και επιλέγουν δυναμικά αυτό που ταιριάζει **καλύτερα**, κάθε στιγμή στη διαμόρφωση της σκηνής



Τεχνικές απλοποίησης μοντέλων

- Η ιδέα της απλοποίησης των μοντέλων **δεν** είναι καινούρια
- Οι πιο ενδιαφέρουσες τεχνικές απλοποίησης μοντέλων αναπτύχθηκαν σχετικά **πρόσφατα**
- Οι τεχνικές γενικά **διαφέρουν** μεταξύ τους σε πολλά σημεία:
 - μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές **κατηγορίες** μοντέλων
 - απλοποιούν τα μοντέλα με διαφορετικούς **τρόπους**
 - έχουν διαφορετικές **προτεραιότητες** και **εφαρμογές**



Διακριτά ή συνεχή επίπεδα λεπτομέρειας

- Μια ταξινόμηση των μεθόδων απλοποίησης μπορεί να γίνει ως προς το αν η μέθοδος παράγει **διακριτά** ή **συνεχή** επίπεδα λεπτομέρειας του αρχικού μοντέλου
- Στην πρώτη περίπτωση, ορίζεται ένας **επιδιωκόμενος** αριθμός εδρών και ο αλγόριθμος παράγει ένα μοντέλο με αυτόν τον αριθμό εδρών
 - αν ζητηθεί ένα άλλο επίπεδο λεπτομέρειας, ο αλγόριθμος εκτελείται **ξανά**, από την αρχή
- Στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιώντας **τοπικές απλοποιήσεις** του μοντέλου (αφαίρεση μεμονωμένων κορυφών, ακμών ή εδρών) ο αλγόριθμος παράγει μια **συνεχή** ακολουθία ολοένα και **απλούστερων** μοντέλων
 - από το αρχικό **λεπτομερές** μοντέλο έως το απλό, **βασικό**
 - καταγράφοντας τα **βήματα** απλοποίησης μπορεί να παραχθεί **οποιοδήποτε** επίπεδο λεπτομέρειας



Αλγόριθμοι συνεχούς απλοποίησης

- Οι αλγόριθμοι **συνεχούς** απλοποίησης είναι πολύ πιο ενδιαφέροντες από αυτούς που παράγουν διακριτά μοντέλα
- Εκτός από την **ευελιξία** που παρέχουν στην ανάλυση των απλοποιούμενων μοντέλων, αρκετοί από αυτούς είναι εύκολα **αντιστρέψιμοι**
- Επιτρέπουν στην εφαρμογή να κινείται μπρος/πίσω μεταξύ **ενδιάμεσων** επιπέδων λεπτομέρειας
- Κάποιοι αλγόριθμοι επιτρέπουν την **επιλεκτική εκλέπτυνση** (προσθήκη λεπτομέρειας) και **εκτράχυνση** (αφαίρεση λεπτομέρειας) του πλέγματος
- Τέλος, είναι συνήθως δυνατή η ομαλή εκλέπτυνση ή εκτράχυνση του πλέγματος και **ελαχιστοποιούνται οι οπτικές ατέλειες**

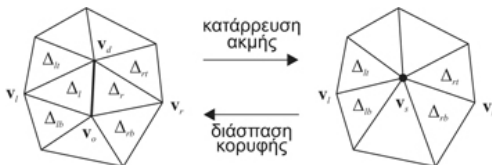


Αποτίμηση ποιότητας απλουστευμένων μοντέλων

- Ένα σημαντικό ζήτημα για όλους τους αλγορίθμους απλοποίησης είναι το πώς μπορεί να αποτιμηθεί η **ποιότητα** ενός απλοποιημένου μοντέλου σε σχέση με το αρχικό
- Μέτρα της ποιότητας της απλοποίησης χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των αλγορίθμων απλοποίησης, ώστε να βρεθεί η “**καλύτερη**” θέση για την **τοποθέτηση** μιας νέας κορυφής ή ώστε να καθορισθεί η ακμή που θα πρέπει να **αφαιρεθεί** πρώτη για να **ελαχιστοποιηθεί** η διαφορά του απλοποιημένου μοντέλου από το αρχικό
- Αυτά τα μέτρα χρησιμοποιούνται επίσης για τον υπολογισμό μιας **συνολικής** εκτίμησης της ποιότητας του τελικού μοντέλου, για τη σύγκριση **διαφορετικών** αλγορίθμων



Απλοποίηση με διαδοχικές καταρρεύσεις ακμών



- Η απλοποίηση τριγωνικών πλεγμάτων με **διαδοχικές καταρρεύσεις ακμών** αποτελεί ένα παράδειγμα μεθόδου απλοποίησης πολυγωνικών μοντέλων
- Η κατάρρευση ακμής (edge collapse) είναι μια τοπική πράξη σε ένα τριγωνικό πλέγμα, η οποία **αφαιρεί** μια ακμή του μοντέλου και τα δύο εφαπτόμενα αυτής τρίγωνα, **συρρικνώνοντας** την ακμή σε μια μοναδική κορυφή



Απλοποίηση με διαδοχικές καταρρεύσεις ακμών

- Χρησιμοποιώντας καταρρεύσεις ακμών είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστεί ένα **μέτρο** της απόστασης του απλοποιημένου πλέγματος από αυτό πριν την κατάρρευση της ακμής
 - αυτό, καθώς διαφέρουν μόνο στις **όψεις** γύρω από την αφαιρούμενη ακμή
- Οι ακμές που πρόκειται να αφαιρεθούν τοποθετούνται σε μια **ουρά** προτεραιότητας
- Για την προτεραιότητα, χρησιμοποιείται κάποιο **μέτρο** της **επίδρασης** της **αφαίρεσής** τους στο σφάλμα απλοποίησης
 - έτσι, αυτές που θα έχουν **μικρότερη** επίδραση θα αφαιρούνται **πρώτες**



Αλγόριθμος απλοποίησης

Ο αλγόριθμος απλοποίησης με **διαδοχικές καταρρεύσεις ακμών** μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα βήματα:

- 01 Για **κάθε** ακμή του μοντέλου που μπορεί να αφαιρεθεί, υπολογίζεται μια **προτεραιότητα** κατάρρευσης – οι ακμές **ταξινομούνται** σε μια ουρά προτεραιότητας
- 02 Εφόσον **υπάρχουν** ακμές στην ουρά και ο **στόχος** της απλοποίησης (π.χ., ένα μέγιστο σφάλμα ή ένας αριθμός όψεων για το βασικό πλέγμα) **δεν** έχει επιτευχθεί
 - a. **αφαιρείται** από την ουρά η ακμή με την **υψηλότερη** προτεραιότητα
 - b. αυτή η ακμή **καταρρέει**, αφαιρείται (το πλέγμα αλλάζει μόνο **τοπικά**, γύρω από αυτήν την ακμή)
 - c. υπολογίζονται **ξανά** οι προτεραιότητες όλων των ακμών που **επηρεάζονται** από την κατάρρευση



Αποτέλεσμα αλγορίθμου

- Το **αποτέλεσμα** αυτής της μεθόδου εξαρτάται από δύο παράγοντες
 - a. το **μέτρο** που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση κάθε κατάρρευσης ακμών και την απόδοση της προτεραιότητάς της
 - b. τη **θέση** της νέας κορυφής για κάθε κατάρρευση ακμής
- Σχετικά με τους δύο αυτούς παράγοντες έχουν προταθεί **πολλές** και διαφορετικές τεχνικές
 - συνήθως υλοποιούν διαφορετικούς **συμβιβασμούς** μεταξύ της ταχύτητας και της ποιότητας της απλοποίησης
 - σε κάποιες περιπτώσεις, η θέση της νέας κορυφής είναι **σταθερή**, σε άλλες υπολογίζεται ως το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας **βελτιστοποίησης**



Πλεονεκτήματα μεθόδου

- Η απλοποίηση με χρήση διαδοχικών καταρρεύσεων ακμών έχει όλα τα **πλεονεκτήματα** των μεθόδων συνεχών επιπέδων λεπτομέρειας
 - 01 είναι εύκολα **αντιστρέψιμη**, πραγματοποιώντας διασπάσεις κορυφών στο τραχύ βασικό μοντέλο, σε σειρά αντίστροφη των αντίστοιχων καταρρεύσεων ακμών (με την προϋπόθεση να έχουν **αποθηκευθεί** οι θέσεις των αρχικών κορυφών στην αντίστοιχη κατάρρευση ακμής)
 - 02 διατηρώντας κάποιες **επιπλέον** πληροφορίες για τις γειτονικές και όψεις κάθε αφαιρούμενης ακμής, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί **επιλεκτική** εκλέπτυνση και εκτράχυνση του πλέγματος σε περιοχές **ενδιαφέροντος**



Εφαρμογή της μεθόδου στην πράξη

- Η απλοποίηση μεγάλων μοντέλων είναι μια λειτουργία αρκετά **χρονοβόρα**, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιείται κάποια διαδικασία **βελτιστοποίησης**
- Συνεπώς, πραγματοποιείται συνήθως εκ των **προτέρων** και το αποτέλεσμα της **αποθηκεύεται**
- Ωστόσο, τα επίπεδα λεπτομέρειας που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν **διαδραστικά**, σε πραγματικό χρόνο, για την επιλεκτική εκλέπτυνση του μοντέλου
- Η **υποδομή** για την υποστήριξη απλοποίησης βασισμένης σε διαδοχικές καταρρεύσεις ακμών υπάρχει ήδη σε αρκετές βιβλιοθήκες γραφικών

