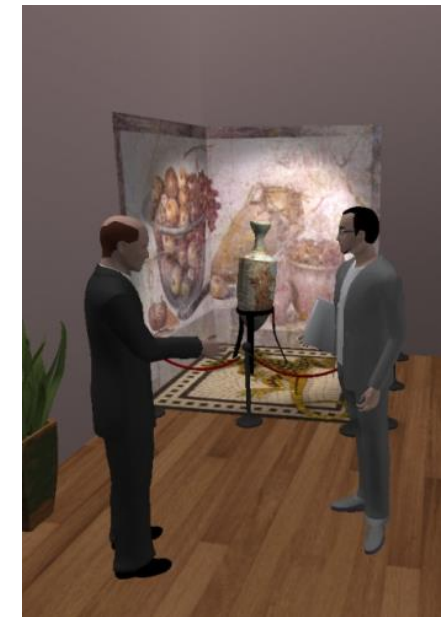
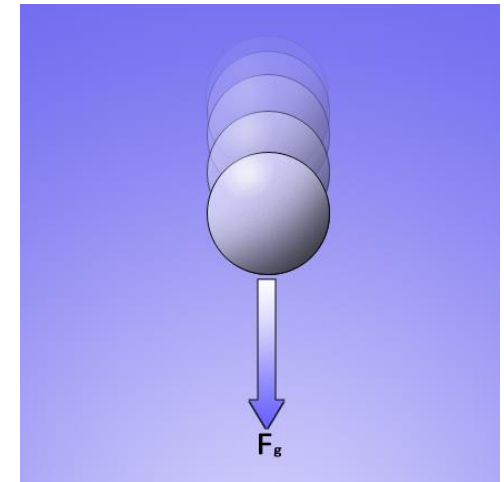


Εισαγωγή

- Η κίνηση είναι βασικός παράγοντας επιτυχίας ενός ΕΚ, ίσως περισσότερο κι από την εικόνα
- Οι κινήσεις είναι **πολλαπλές** και **διαρκείς**
 - Προκαθορισμένες ή δυναμικές
 - Προκαλούμενες από **ενέργειες χρηστών** ή και **συμβάντα του περιβάλλοντος**
 - ενσαρκώσεις χρηστών > πλοήγηση, χειρονομίες, αλληλεπιδράσεις, εκφράσεις προσώπου,
 - αντικείμενα > μετακίνηση, αλλαγή κατάστασης
 - Π.χ. δείκτες ρολογιού, αντικείμενα σε ελεύθερη πτώση, χειρισμός οχήματος..
 - «αυτόνομες» οντότητες > ελέγχονται από τον υπολογιστή, επενεργούν στο περιβάλλον βάσει κάποιου μοντέλου συμπεριφοράς
 - Π.χ. εικονικός ξεναγός σε μουσείο

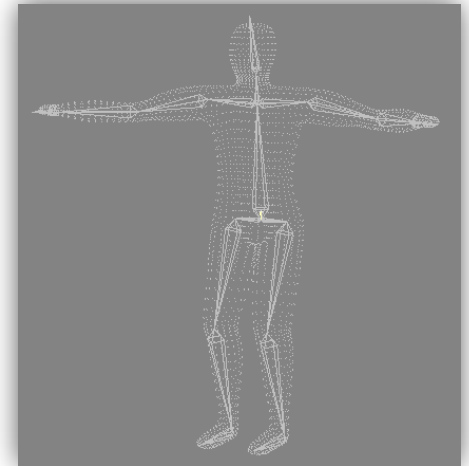


Εισαγωγή

- Η κίνηση γίνεται αντιληπτή ως συνεχής **μεταβολή ιδιοτήτων** στο χρόνο
- Στη συνθετική κίνηση ο χρόνος είναι εκ των πραγμάτων **διακριτός** > διαδοχικά καρέ με μικρές διαφοροποιήσεις
 - Τουλάχιστον 12 πλάνα το δευτερόλεπτο (FPS) για να γίνει αντιληπτή ως συνεχής
 - Όσο ταχύτερα κινούνται τα αντικείμενα τόσο μεγαλύτερος θα πρέπει να είναι ο ρυθμός ανανέωσης
 - Στα παιχνίδια οι απαιτήσεις των παικτών υπερβαίνουν τα 60 π/δ
- Θα πρέπει η κίνηση να γίνεται αντιληπτή ως **«φυσική»**
 - Οι άνθρωποι μπορούμε να αντιλαμβανόμαστε «αφύσικες»/ «παράλογες» κινήσεις
 - Περιμένουμε από τα εικονικά αντικείμενα να συμπεριφέρονται όπως τα αντίστοιχα φυσικά
 - Ο σχεδιαστής της κίνησης και ο μηχανισμός αναπαραγωγής θα πρέπει να **διασφαλίζουν τη φυσικότητα**

Εισαγωγή

- Για την κίνηση των αντικειμένων απαιτείται
 - Κατάλληλη **μοντελοποίησή** τους ώστε να υποστηρίζονται οι κινήσεις που θέλουμε να εκτελέσουν
 - Καθορίζεται το είδος της κίνησης, π.χ. συμπαγή ή παραμορφώσιμα αντικείμενα, σύνθετα αντικείμενα με επιμέρους τμήματα, κλπ
 - **Ορισμός** της κίνησης
 - **Προκαθορισμένη κίνηση**: ορισμός από το σχεδιαστή ή μέσω σύλληψης κίνησης
 - **Δυναμική κίνηση**: αλγοριθμική παραγωγή, μοντελοποίηση νόμων φυσικής, σύνθετα μοντέλα συμπεριφοράς
- Στους εικονικούς κόσμους δεν είναι όλες οι κινήσεις προκαθορισμένες
 - επηρεάζονται από συμβάντα περιβάλλοντος και ενέργειες χρηστών
 - ανάγκη για **δυναμικές κινήσεις**



Μοντελοποίηση για την υποστήριξη κίνησης

- Τα βασικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται περιγράφουν τρεις κατηγορίες αντικειμένων:
 - Συμπαγή
 - Παραμορφώσιμα
 - Σωματίδια
- Επιπλέον, η κίνηση συνθετικών χαρακτήρων (π.χ. ανθρώπων, ζώων, κλπ) αναφέρεται ως ξεχωριστό μοντέλο
 - Συνδυάζει κίνηση συμπαγών αντικειμένων (σκελετού) με παραμορφώσιμα αντικείμενα (δέρμα)

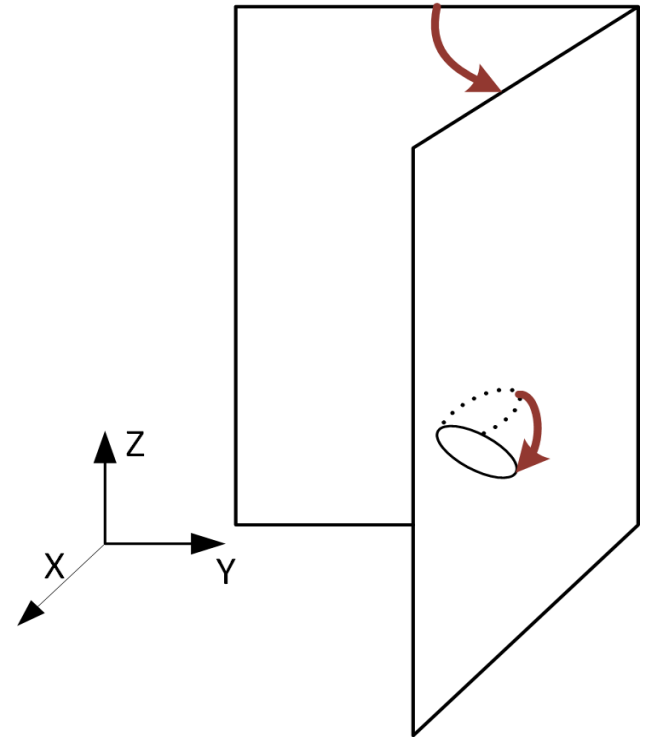
Συμπαγή Αντικείμενα

- Τα συμπαγή αντικείμενα (rigid bodies), δηλ. αντικείμενα των οποίων **η γεωμετρία δεν μεταβάλλεται** είναι τα πιο συχνά εμφανιζόμενα στους ΕΠ
 - Πάρα πολλά από τα αντικείμενα με τα οποία αλληλεπιδρούμε καθημερινά στο φυσικό κόσμο είναι συμπαγή
- Η μετακίνηση επηρεάζει μόνο τη θέση και τον προσανατολισμό τους, το σχήμα παραμένει αμετάβλητο
- Οποιοδήποτε πολυγωνικό αντικείμενο μπορεί να κινηθεί ως συμπαγές αν μεταβάλουμε το μετασχηματισμό του
 - Διαδοχικές μετατοπίσεις ή/και αλλαγές προσανατολισμού
- Μπορεί να υπάρχουν σύνθετα αντικείμενα αποτελούμενα από επιμέρους τμήματα που εκτελούν ανεξάρτητες κινήσεις



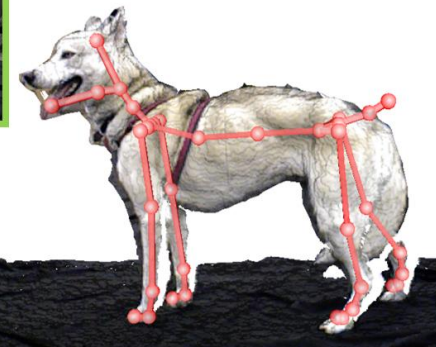
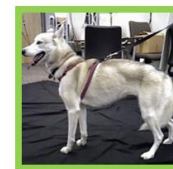
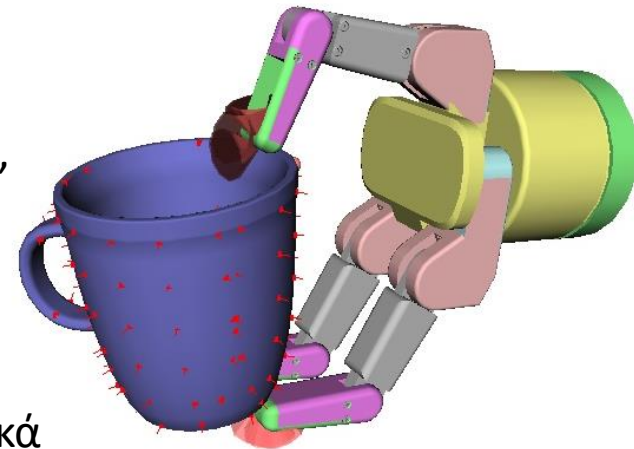
Συμπαγή Αντικείμενα

- Π.χ. πόρτα – χερούλι
- Το αντικείμενο μοντελοποιείται με **ιεραρχία μετασχηματισμών**
 - Η πόρτα θα έχει μετασχηματισμό T μέσω του οποίου περιστρέφεται στον άξονα Z εντός ορίων
 - Το χερούλι θα είναι απόγονος με δικό του μετασχηματισμό T' όπου θα περιστρέφεται στον άξονα X στο δικό του τοπικό $\Sigma\Sigma$
- Για συνδυασμένη κίνηση αρκεί να τροποποιούνται οι περιστροφές στους κατάλληλους άξονες > μεταβολές στους πίνακες μετασχηματισμών T και T'



Συμπαγή Αντικείμενα

- Υπάρχουν και πιο σύνθετες περιπτώσεις αντικειμένων με **πολλαπλά σημεία περιστροφής**
- Στη γενική περίπτωση ονομάζονται αρθρωτά (articulated) αντικείμενα
 - Περιλαμβάνουν έναν αριθμό από **αρθρώσεις (joints)**, συνήθως περιστροφικές και **τμήματα (segments)** συνδεδεμένα στις αρθρώσεις
 - Κάθε τμήμα μπορεί να συμπεριλαμβάνει άλλες αρθρώσεις δημιουργώντας μια ιεραρχία
 - Η περιστροφή μιας άρθρωσης επηρεάζει τα απογονικά στοιχεία
 - Μοντελοποίηση ως ιεραρχία μετασχηματισμών στο γράφο σκηνης
- Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι ζωντανοί οργανισμοί με σκελετό



Συμπαγή Αντικείμενα

- Για να προκαλέσουμε κίνηση σε αρθρωτό μοντέλο αρκεί
 - Να καθορίσουμε τιμές περιστροφών των διαφόρων αρθρώσεων και τη συνολική περιστροφή και μετατόπισή του
- Η προσέγγιση αυτή ονομάζεται και «ευθεία κινηματική» (forward kinematics)
 - Η τελική θέση των τμημάτων καθορίζεται από το σύνολο των περιστροφών των αρθρώσεων πάνω από αυτό στην ιεραρχία
 - Π.χ. η περιστροφή ώμου, αγκώνα και καρπού επηρεάζει τη θέση του χεριού
- Αν θέλουμε συγκεκριμένη τελική θέση για κάποιο τμήμα, η ευθεία κινηματική δεν βοηθάει
 - Π.χ. το χέρι ενός χαρακτήρα να πιάσει το χερούλι
- Αντίστροφη κινηματική (inverse kinematics): επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων, ώστε να καταλήξουμε σε κατάλληλες γωνίες αρθρώσεων
 - Το πρόβλημα δεν έχει μοναδική λύση, η επίλυση συνδυάζεται με επιπλέον κριτήρια, π.χ. οι ελάχιστες δυνατές αλλαγές, «άνετη» τελική στάση σώματος..
- Πολλά εργαλεία 3D μοντελοποίησης και κίνησης υποστηρίζουν αντίστροφη κινηματική



Παραμορφώσιμα Αντικείμενα

- Πολλά αντικείμενα του πραγματικού κόσμου δεν διατηρούν αναλλοίωτη τη γεωμετρία τους
 - Μαλακά, εύκαμπτα αντικείμενα, υφάσματα, ρευστά
- Στους εικονικούς κόσμους υπάρχει ανάγκη για τέτοιου τύπου αντικείμενα
 - Π.χ. δέρμα, ρούχα, μαλλιά ενσαρκώσεων, κυματισμοί στη θάλασσα, πανιά σκάφους, ..
 - Η κίνησή τους δεν μπορεί να περιγραφεί μόνο με μεταβολές στο μετασχηματισμό
- Οι κινήσεις εύκαμπτων σωμάτων που γίνονται με φυσικό τρόπο κάνουν πιο «εκφραστικό» και ζωντανό το τελικό αποτέλεσμα

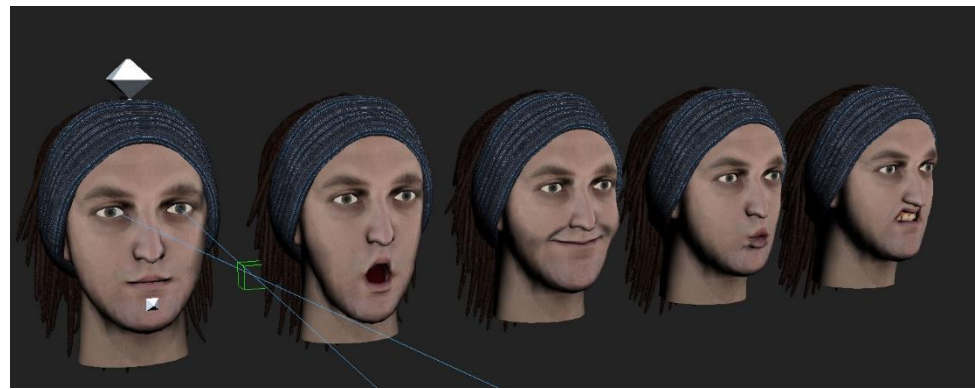


Παραμορφώσιμα Αντικείμενα

- Προσεγγίσεις μέσω μοντελοποίησης φυσικής
 - Μεγάλο υπολογιστικό κόστος
- Σε κάποιες περιπτώσεις οι σχεδιαστές προτιμούν να έχουν άμεσο έλεγχο στην κίνηση
 - τροποποιούνται οι θέσεις των κορυφών του μοντέλου στο χρόνο
- Ο καθορισμός όλων των νέων θέσεων μέσω χειροκίνητης διαδικασίας θα ήταν εξαιρετικά επίπονος
- Έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την απλοποίηση του καθορισμού της παραμόρφωσης
 - Μορφοποίηση
 - Μετατόπιση κορυφών
 - Παραμόρφωση ελεύθερης μορφής

Μορφοποίηση

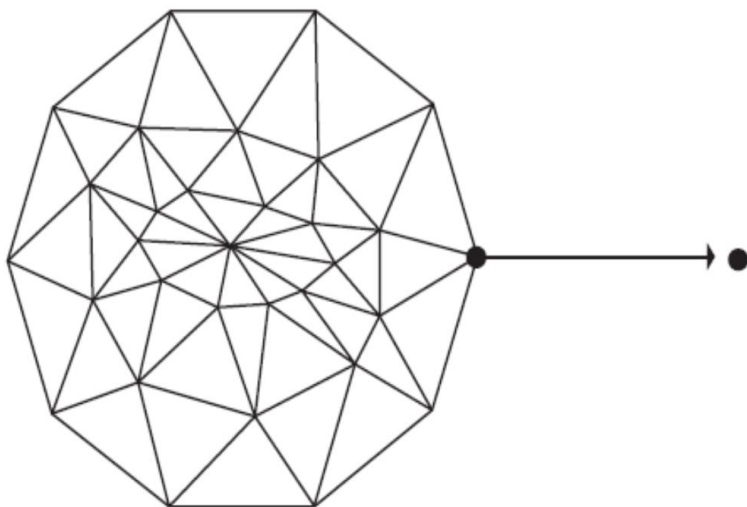
- Καθορίζονται διαφορετικές «καταστάσεις» του αντικειμένου ως ξεχωριστά αντικείμενα
 - Διατηρούν την **ίδια τοπολογία ακμών και κορυφών**
 - Στόχοι μορφοποίησης (morph targets)
- Π.χ. στο πανί του σκάφους μπορούμε να ορίσουμε δύο ή τρεις «μορφές», περισσότερο ή λιγότερο φουσκωμένο
- Οι παραμορφώσεις που μπορεί να εκτελέσει το αντικείμενο συμπίπτουν με τους στόχους μορφοποίησης
 - Κάθε κορυφή ξεχωριστά μετατοπίζεται προς την τελική θέση που περιγράφεται στο αντικείμενο-στόχο
- Απλή προσέγγιση, αλλά οι δυνατές παραμορφώσεις είναι προκαθορισμένες
- Χρησιμοποιείται συχνά σε εκφράσεις προσώπου και ομιλία



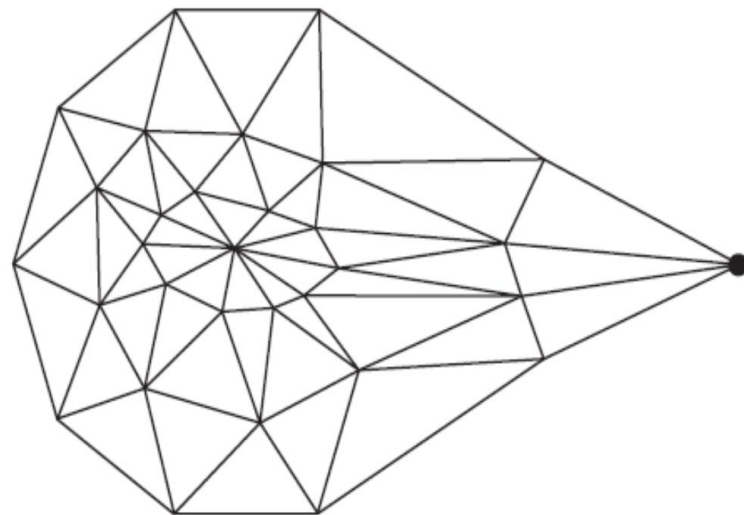
Μετατόπιση Κορυφών

- Άμεση μετατόπιση μίας ή περισσότερων κορυφών
- Η χειροκίνητη μετατόπιση είναι εξαιρετικά επίπονη, ενώ η μετατόπιση μεμονωμένων κορυφών οδηγεί σε αφύσικα αποτελέσματα
- Μια συμβιβαστική λύση είναι η εξής:
 - να μπορεί ο σχεδιαστής να μετατοπίσει μία κορυφή (ή ομάδα κορυφών)
 - η μετατόπιση αυτή να προκαλεί μικρότερες μετατοπίσεις στις γειτονικές κορυφές
 - αυτές με τη σειρά τους να προκαλούν ακόμα μικρότερες στις δικές τους γειτονικές, κλπ.
- Το αποτέλεσμα θα είναι περισσότερο «φυσικό»
 - Η μετατόπιση μίας και μόνο κορυφής θα αλλάζει το σχήμα του αντικειμένου επηρεάζοντας μεγάλο μέρος της επιφάνειάς του
 - Όπως αν ασκούσαν μία δύναμη στο σημείο που μετατοπίστηκε

Μετατόπιση Κορυφών



Αρχική μετατόπιση κορυφής



Αλυσιδωτή μετατόπιση
γειτονικών κορυφών

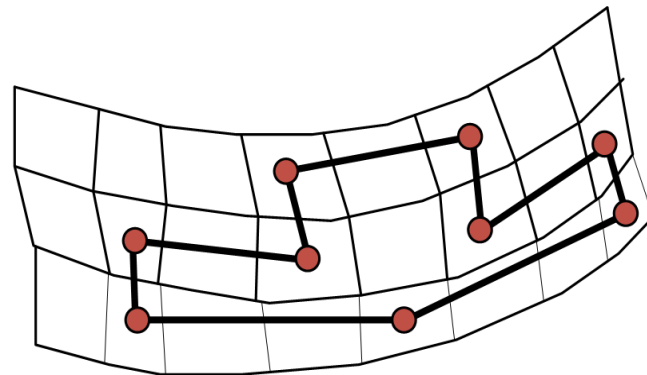
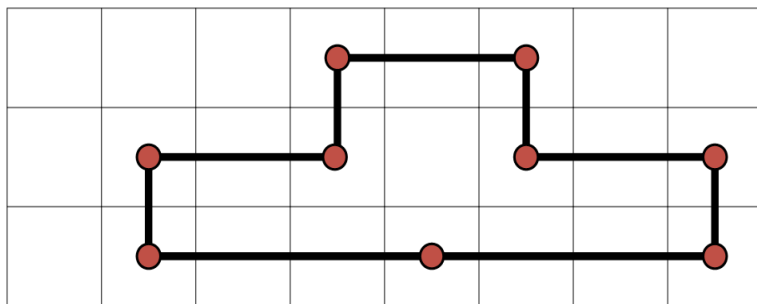
Μετατόπιση Κορυφών

- Ένας απλός τρόπος δημιουργίας «αλυσιδωτής» μετατόπισης είναι:
 - Ορισμός **συνάρτησης απόστασης**: πόσο μακριά βρίσκονται δύο κορυφές μεταξύ τους
 - Αριθμός ακμών που μεσολαβούν ή πραγματική τιμή της απόστασης
 - Ορισμός **συνάρτησης απόσβεσης**: συνήθως εκθετική, κλίμακα μετατόπισης με βάση την απόσταση
 - Όσο μακρύτερα βρίσκεται μια κορυφή από αυτή που μετατοπίζεται, τόσο μικρότερη είναι η μετατόπιση που θα εφαρμοστεί σε αυτή
 - Υπολογισμός **διανύσματος μετατόπισης** της κορυφής (ή ομάδας κορυφών)
 - Για κάθε άλλη κορυφή, με βάση την απόσταση και τη συνάρτηση απόσβεσης υπολογίζεται ο βαθμός μετατόπισης
 - Το τελικό διάνυσμα μετατόπισης προστίθεται στις συντεταγμένες της

Παραμόρφωση Ελεύθερης Μορφής

- Μια άλλη, δημοφιλής τεχνική τροποποίησης της μορφής του αντικειμένου είναι η **Παραμόρφωση Ελεύθερης Μορφής** – free form deformation
- Ο σχεδιαστής δεν παραμορφώνει το αντικείμενο, αλλά το **τοπικό σύστημα συντεταγμένων**
- Το ανάλογο στις δύο διαστάσεις είναι το παρακάτω
 - Έστω ότι ορίζουμε ένα πολύγωνο και το τοποθετούμε σε δισδιάστατο πλέγμα
 - Η θέση κάθε κορυφής ορίζεται σε σχέση με την απόστασή της από τα τέσσερα όρια του κελιού στο οποίο βρίσκεται
 - Έστω ότι παραμορφώνουμε το πλέγμα, μετατοπίζοντας τις κορυφές που το ορίζουν
 - Υπολογίζουμε τις νέες θέσεις των κορυφών σε σχέση με τις νέες θέσεις των ορίων του κελιού στο οποίο ανήκουν
 - Το νέο, παραμορφωμένο αντικείμενο που θα προκύψει θα ακολουθεί την παραμόρφωση του συστήματος συντεταγμένων

Παραμόρφωση Ελεύθερης Μορφής

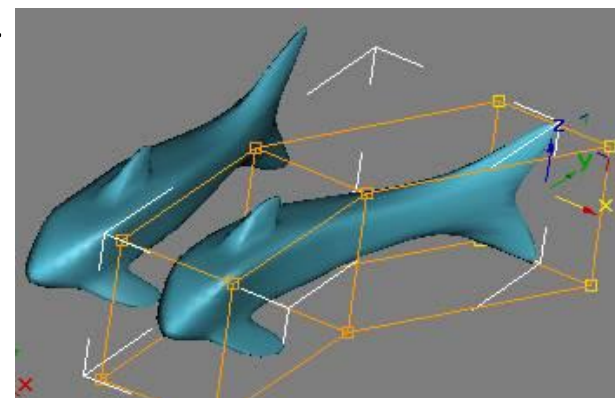
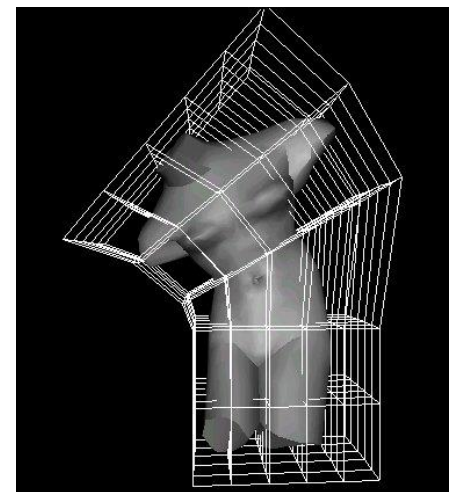


- Έστω ότι η κορυφή P_{uv} απείχε οριζ. απόσταση u από το αριστερό άκρο του κελιού και κάθετη v από το κάτω άκρο
- Έστω P_{00} , P_{01} , P_{10} , P_{11} οι νέες παραμορφωμένες θέσεις των κορυφών του κελιού
- Η τελική θέση της κορυφής υπολογίζεται μέσω διγραμμικής παρεμβολής:

$$P_{uv} = (1 - u)(1 - v)P_{00} + (1 - u)vP_{01} + u(1 - v)P_{10} + uvP_{11}$$

Παραμόρφωση Ελεύθερης Μορφής

- Αντίστοιχα, στις 3 διαστάσεις
 - Το αντικείμενο τοποθετείται σε πλέγμα που μπορεί να παραμορφωθεί
 - Η τελική θέση καθορίζεται παραμετρικά σε σχέση με τα όρια του πλέγματος
 - Τα κελιά καθορίζονται από οκτώ σημεία
 - Για κάθε κορυφή του αντικειμένου μετράμε τις τιμές απόστασης u , v και w για κάθε διάσταση
- Στα λεπτομερή και περίπλοκα αντικείμενα με εκατοντάδες κορυφές είναι πολύ πιο εύκολο και διαισθητικό να παραμορφώνεται το πλέγμα



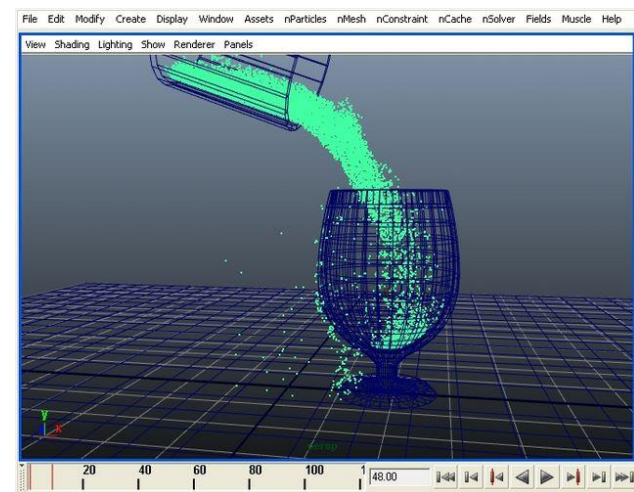
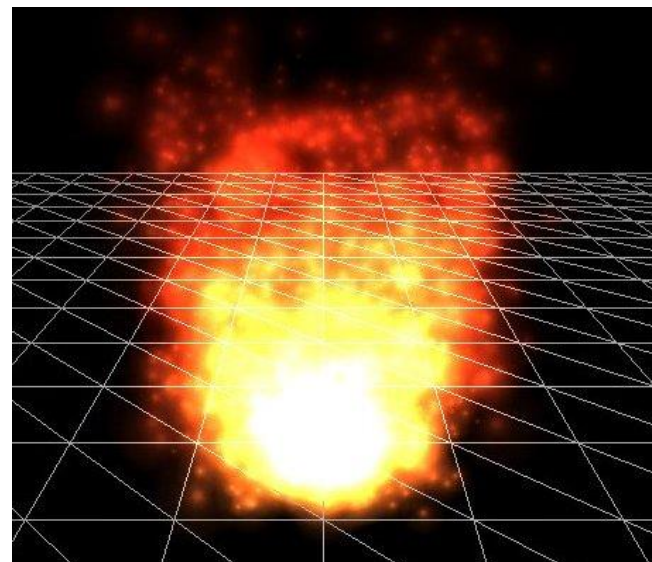
Συστήματα Σωματιδίων

- Ισχυρή τεχνική για τη μοντελοποίηση φυσικών φαινομένων
 - Νερό, βροχή, φωτιά, καπνός, εκρήξεις, σύννεφα, κ.α.
- Χρησιμοποιείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός σημειακών στοιχείων, τα σωματίδια (particles)
- Χρήσιμα για την κίνηση αντικειμένων τα οποία όχι απλώς παραμορφώνονται, αλλά μεταβάλλεται διαρκώς η γεωμετρία τους
- Π.χ. σύννεφο καπνού
 - Η μοντελοποίηση ως παραμορφώσιμο πολυγωνικό στερεό δεν θα έδινε ρεαλιστικά αποτελέσματα ως εμφάνιση και κίνηση
 - Δεν είναι συμπαγές αντικείμενο που φωτοσκοιάζεται ομαλά από πηγές φωτός
 - Περιλαμβάνει περιοχές περισσότερο πυκνές και άλλες πιο αραιές, η πυκνότητα διαρκώς μεταβάλλεται κατά την κίνησή του



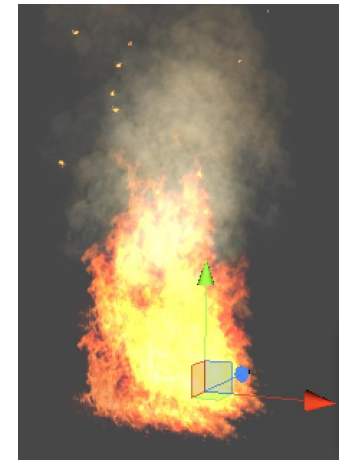
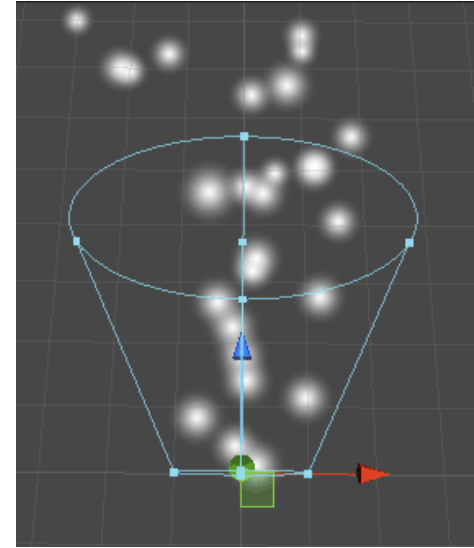
Συστήματα σωματιδίων

- Με τη χρήση συστημάτων σωματιδίων φαινόμενα όπως ο καπνός μπορούν να αποδοθούν πολύ καλύτερα
- Δεν υπάρχει ένα συμπαγές αντικείμενο, αλλά πολλαπλά σωματίδια
 - Μέσω των κατάλληλων shaders δίνουν οπτικά την εικόνα αέριας μάζας
- Κάθε αντικείμενο κινείται ανεξάρτητα υπακούοντας σε κανόνες που μοντελοποιούν το φυσικό φαινόμενο
 - Π.χ. κίνηση αερίων με εισαγωγή τυχαιότητας στη κίνηση
- Το συνολικό σχήμα είναι αρκετά εύπλαστο ώστε να αποδίδει καλά το φυσικό φαινόμενο



Συστήματα Σωματιδίων

- Συνήθως περιλαμβάνουν:
 - μια διαδικασία που γεννάει σωματίδια
 - μια διαδικασία προσομοίωσης που καθορίζει την κίνηση και το χρόνο ζωής τους
- Αρχικά ορίζεται μια γεννήτρια σωματιδίων στο χώρο
 - ρυθμός δημιουργίας σωματιδίων, αρχικό διάνυσμα ταχύτητας, χρόνος ζωής, στοιχεία εμφάνισής τους, ..
 - συνήθως εισάγεται τυχαιότητα ώστε κάθε σωματίδιο να έχει ελαφρώς διαφοροποιημένη συμπεριφορά
 - ως αντικείμενο του γράφου σκηνής, μπορεί η θέση και ο προσανατολισμός της γεννήτριας να επηρεάζεται από άλλα αντικείμενα
 - π.χ. εξάτμιση αυτοκινήτου



Συστήματα Σωματιδίων

- Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης:
 - Καθορίζεται ο **αριθμός των νέων σωματιδίων** που θα εισαχθούν στη σκηνή, η θέση και η αρχική ταχύτητα
 - Όλα τα σωματίδια ελέγχονται ως προς το **χρόνο ζωής** τους
 - **Υπολογίζεται η κίνησή τους** βάσει φυσικής προσομοίωσης ή άλλων κανόνων και καθορίζεται η νέα τους θέση
- Το μοντέλο προσομοίωσης σχετίζεται με το φαινόμενο που θα μοντελοποιηθεί, π.χ.
 - Βαρύτητα, επίδραση του αέρα, συγκρούσεις μεταξύ σωματιδίων, συγκρούσεις με αντικείμενα της σκηνής
- Συνήθως απεικονίζονται ως επιφάνειες Billboard
 - Για την αναπαράστασή τους χρησιμοποιούνται διάφορα οπτικά εφέ ανάλογα με το φαινόμενο που απεικονίζουν

Συνθετικοί Χαρακτήρες

- Η κίνηση χαρακτήρων είναι απαραίτητο στοιχεία των εικονικών κόσμων
- Π.χ. ενσαρκώσεις χρηστών: βάδισμα, αλληλεπίδραση, εστίαση βλέμματος ομιλία, κ.α.
 - Η ρεαλιστική απεικόνιση της κίνησης των ενσαρκώσεων συμβάλει στην καλύτερη επίγνωση της θέσης και δραστηριότητάς τους, επικοινωνία, συν-παρουσία
- Μπορεί να υπάρχει ανάγκη και για άλλες «ζωντανές» οντότητες ελεγχόμενες από τον υπολογιστή
 - Π.χ. για λόγους ρεαλισμού ένας δημόσιος χώρος θα μπορούσε να περιλαμβάνει ανθρώπινους χαρακτήρες με προκαθορισμένη κίνηση
 - Σε κάποιες περιπτώσεις οι οντότητες μπορεί να χρειάζεται να αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες, να αλληλεπιδρούν με τους χρήστες, κλπ
 - Εικονικοί ξεναγοί, εικονικοί διδάσκοντες, χαρακτήρες σε κόσμους παιχνιδιού, κλπ.



Συνθετικοί Χαρακτήρες

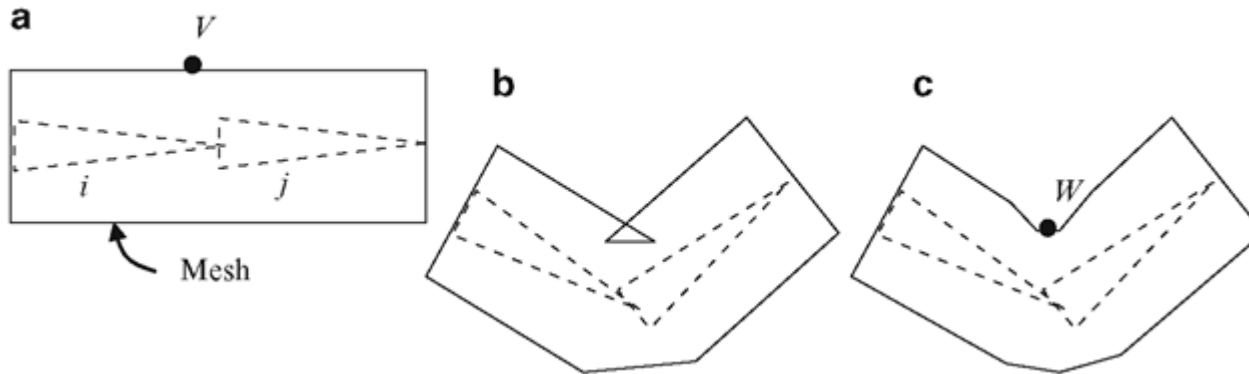
- Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό με την κίνηση ανθρώπων και οργανισμών είναι ότι
 - Αποτελούν **αρθρωτά αντικείμενα** με μεγάλο αριθμό αρθρώσεων
 - **Υφίστανται παραμορφώσεις** κατά την κίνηση λόγω του δέρματος
- Ενώ π.χ. ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από διακριτά, άκαμπτα αντικείμενα, οι άνθρωποι έχουμε συνεχές δέρμα
 - Αν περιστραφεί ένα τμήμα του σώματος σε τρισδιάστατο μοντέλο, θα δημιουργηθούν θραύσεις / ασυνέχειες > όχι φυσικό αποτέλεσμα
- Οι τεχνικές μοντελοποίησης συνδυάζουν πρακτικές από αρθρωτά και παραμορφώσιμα αντικείμενα
- Η βασική μέθοδος κίνησης χαρακτήρων είναι η **σκελετική κίνηση (skeletal animation)**

Συνθετικοί χαρακτήρες

- Στη σκελετική κίνηση ορίζεται
 - ο **σκελετός**, που καθορίζει τις δυνατότητες κίνησης του χαρακτήρα, και
 - το **δέρμα** που συνδέεται με το σκελετό και παραμορφώνεται παραμένοντας συνεχές
- Ο σκελετός είναι μια **ιεραρχία από αρθρώσεις και τμήματα**, που ονομάζονται **οστά (bones)**
 - Κατασκευάζεται όπως όλα τα αρθρωτά αντικείμενα, αλλά τα οστά δεν απεικονίζονται απευθείας στο περιβάλλον
 - Η θέση και ο προσανατολισμός τους επηρεάζουν την τελική μορφή του δέρματος
- Το δέρμα είναι ένα μοναδικό πολυγωνικό αντικείμενο που **παραμορφώνεται ακολουθώντας την κίνηση του σκελετού**
 - Κάθε κορυφή συσχετίζεται με ένα ή περισσότερα οστά
 - Χρήση βαρών που προσδιορίζουν το βαθμό στον οποίο η κίνηση του κάθε οστού επηρεάζει τη θέση της

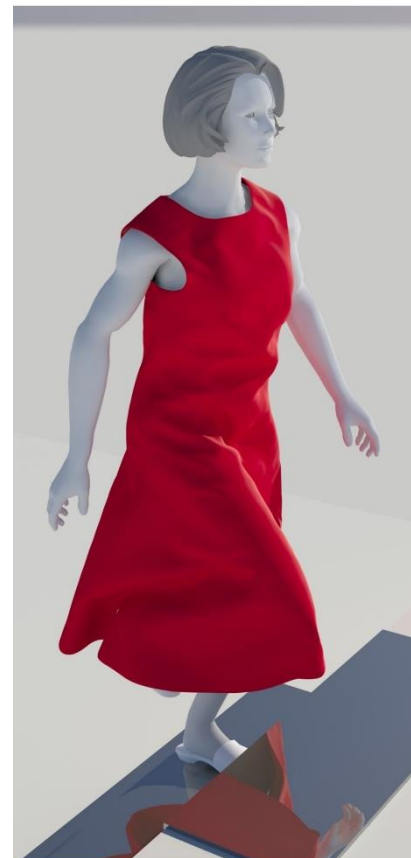
Συνθετικοί χαρακτήρες

- Αν η κορυφή v ακολουθεί αποκλειστικά την κίνηση ενός μοναδικού οστού (έστω i) τότε η τιμή του βάρους w_i θα είναι 1 και για όλα τα υπόλοιπα βάρη μηδέν
 - Τότε όμως το αποτέλεσμα θα θυμίζει την κίνηση άκαμπτων σωμάτων και θα εμφανίζει αφύσικες παραμορφώσεις στις αρθρώσεις
- Για ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα κάθε κορυφή θα πρέπει να εξαρτάται από πολλαπλά κοντινά οστά
 - Θα περιλαμβάνει πάνω από ένα μη μηδενικά βάρη με άθροισμα 1
 - Η τελική θέση θα προκύπτει από το σταθμισμένο μέσο των αντίστοιχων μετασχηματισμών από τα οστά που την επηρεάζουν



Συνθετικοί χαρακτήρες

- Εκτός από το δέρμα, ιδιαίτερες περιπτώσεις κίνησης είναι τα **μαλλιά**, τα **ρούχα** και το **πρόσωπο**
 - Έχουν αναπτυχθεί περίπλοκα φυσικά μοντέλα που δίνουν ρεαλιστικά αποτελέσματα
 - Μεγάλο υπολογιστικό κόστος για συστήματα πραγματικού χρόνου
 - Χρησιμοποιούνται συνήθως παραμορφώσιμα αντικείμενα συνδυασμένα με στοιχεία φυσικής (π.χ. κίνηση μαλλιών και ρούχων κατά το βάδισμα)

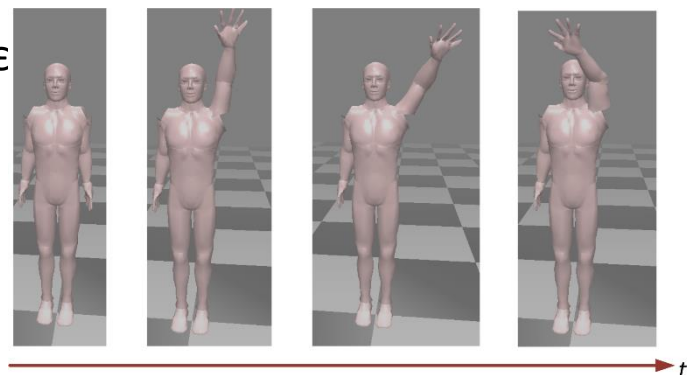


Κατασκευή Προκαθορισμένων Κινήσεων

- Οι περισσότερες κινήσεις στους ΕΚ είναι **προκαθορισμένες**
 - Ο σχεδιαστής έχει προκαθορίσει πλήρως την κίνηση
 - Αλλάζει ο χρόνος έναρξης και λήξης και τα αντικείμενα που αποδίδεται
- Π.χ. βάδισμα χαρακτήρων
 - Κατά τη διάρκεια της μετακίνησης αλλάζει η συνολική θέση και ο προσανατολισμός τους
 - Ταυτόχρονα εκτελούν προκαθορισμένη κίνηση βαδίσματος
 - στο φυσικό μοντέλο βαδίσματος το υπολογιστικό κόστος θα ήταν πολύ υψηλό
 - Συνδυάζεται δυναμική μετακίνηση και προκαθορισμένη κίνηση
 - παραπάνω κινήσεις για ρεαλισμό, π.χ. αργό / γρήγορο, σε ευθεία / σε ανηφόρα
- Οι χαρακτήρες μπορούν να έχουν και άλλες προαποθηκευμένες κινήσεις, π.χ. χαιρετισμός, παλαμάκια, κλπ
- Και άλλες οντότητες μπορεί να εκτελούν τέτοιες κινήσεις αν δεν επηρεάζονται από εξωτερικές συνθήκες
 - Π.χ. τρένο, δείκτες ρολογιού, περιστρεφόμενη πόρτα, ..

Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Βασίζεται στην παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής κινουμένων σχεδίων
 - Έμπειροι καλλιτέχνες δημιουργούσαν στιγμιότυπα με κρίσιμες μεταβολές στην κίνηση, τα **καρέ-κλειδιά (keyframes)**
 - Λιγότερο έμπειροι ζωγράφιζαν τα ενδιάμεσα καρέ για συνεχή κίνηση
- Αντίστοιχα, στον υπολογιστή
 - ο σχεδιαστής καθορίζει θέσεις και προσανατολισμούς σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές
 - Ο υπολογιστής παρεμβάλει τα ενδιάμεσα καρέ με ομαλό τρόπο, χρησιμοποιώντας **παρεμβολή**



Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Μια κίνηση σε υπολογιστή μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλαπλά μοντέλα χαρακτήρων
 - Αν οι αναλογίες μεταξύ των οστών είναι παραπλήσιες
- Επίσης μπορεί να εκτελείται παράλληλα και με άλλες κινήσεις
 - Π.χ. βάδισμα και χαιρετισμός
- Η κίνηση με καρέ-κλειδιά είναι επίπονη διαδικασία
 - ο καθορισμός της κίνησης είναι αποκλειστικά στην ευθύνη του σχεδιαστή
 - Πρέπει να διασφαλίσει τη φυσικότητα του αποτελέσματος
- Παραμένει η δημοφιλέστερη τεχνική
 - Δίνει πλήρη έλεγχο
 - Ο σχεδιαστής μπορεί να βελτιώσει το αποτέλεσμα, να εισάγει στοιχεία προσωπικότητας στην κίνηση και τις εκφράσεις, κλπ

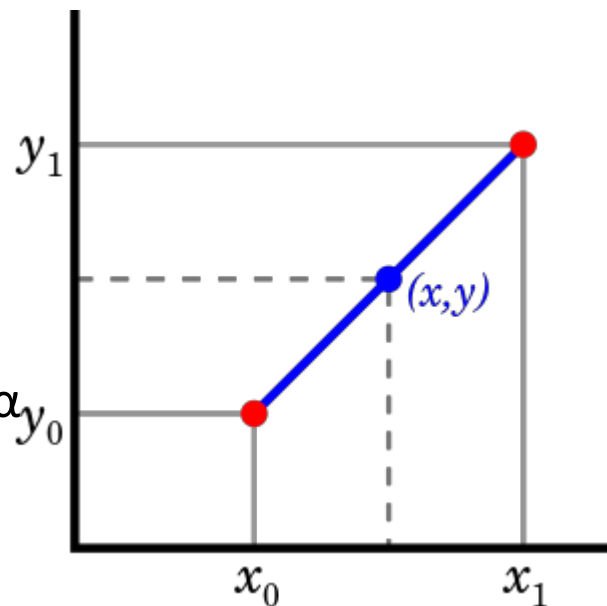
Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Η πιο απλή περίπτωση παρεμβολής θέσης είναι η **γραμμική παρεμβολή**
- Οι ενδιάμεσες θέσεις υπολογίζονται έτσι ώστε το αντικείμενο να κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ευθεία
- Έστω ότι τη στιγμή t_1 η θέση ενός αντικειμένου είναι v_1 και την t_2 είναι v_2 αντίστοιχα. Θέλουμε να υπολογίσουμε τη θέση v τη στιγμή $t \in [t_1, t_2]$.
- Το ποσοστό της χρονικής απόστασης που έχει διανυθεί είναι:

$$\lambda = \frac{(t - t_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Αν μετατοπίσουμε το διάνυσμα κατά την ίδια αναλογία στην ευθεία που ορίζουν οι θέσεις κλειδιά η τελική θέση είναι:

$$v = (1 - \lambda) v_0 + \lambda v_1$$



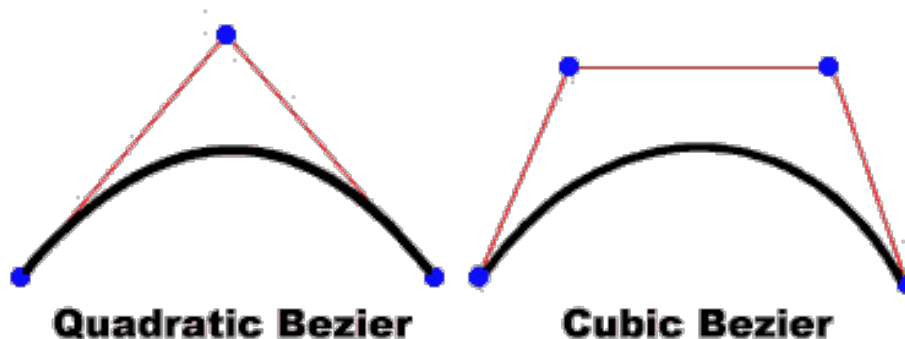
Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Η γραμμική παρεμβολή, αν και χρησιμοποιείται συχνότερα, δεν δίνει οπτικά αποτελέσματα σε πιο περίπλοκες κινήσεις
 - Π.χ. αν αλλάζει σημαντικά η διεύθυνση της κίνησης από ένα ζευγάρι καρέ-κλειδιών στο επόμενο, η αλλαγή θα φανεί απότομη και «αφύσικη»
- Η χρήση **μη-γραμμικών παρεμβολών** μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα παράγοντας ομαλές καμπύλες κίνησης
- Π.χ. τετραγωνική παρεμβολή,

$$v = (1-\lambda)^2 v_0 + 2\lambda(1-\lambda)v' + \lambda^2 v_1$$

Όπου v' ένα επιπλέον σημείο ελέγχου που τροποποιεί την καμπύλη.

- Είναι στην ευθύνη του σχεδιαστή να καθορίσει τα σημεία ελέγχου
- Αντίστοιχα στην κυβική παρεμβολή, ο σχεδιαστής πρέπει να καθορίσει ένα ζευγάρι σημείων ελέγχου για κάθε ζεύγος καρέ-κλειδιών



Κίνηση με καρέ-κλειδιά

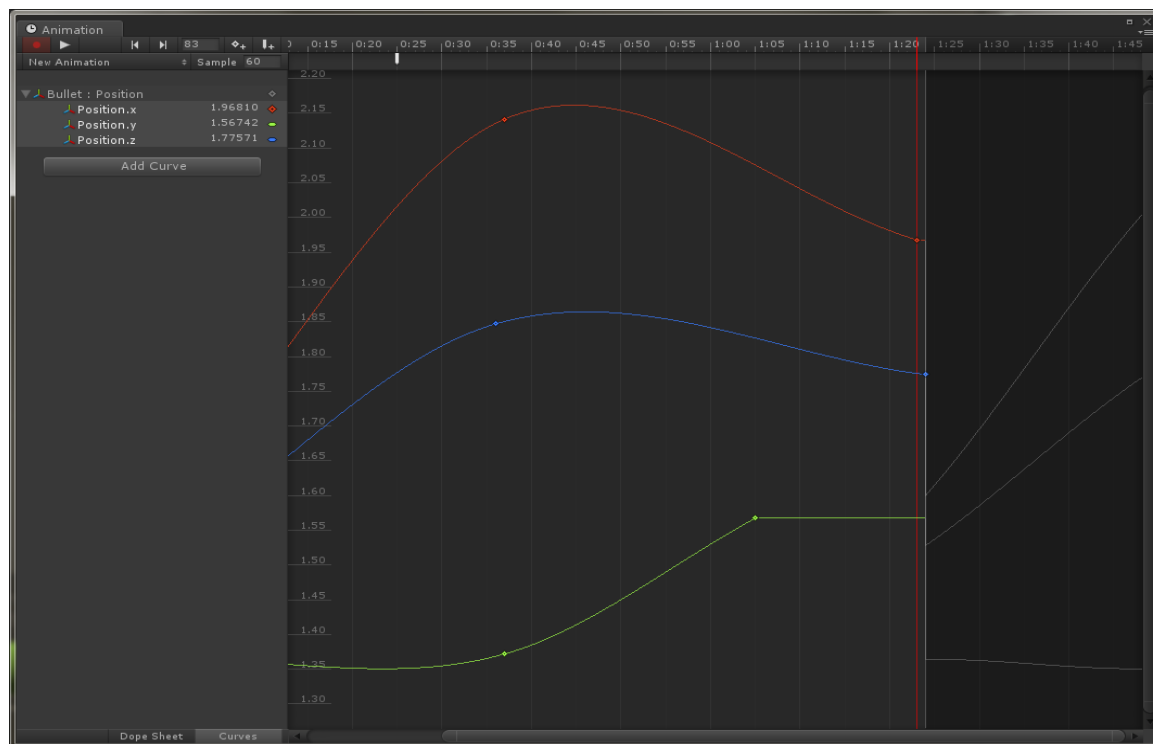
- Μια πιο απλή περίπτωση είναι η **παρεμβολή Hermite**
 - Απαιτούνται οι πρώτες παράγωγοι, δηλ. οι διευθύνσεις κίνησης στα δύο σημεία παρεμβολής
 - Η παρεμβολή μπορεί να υπολογιστεί με τον πίνακα:

$$v(t) = [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}$$

- όπου R_1 και R_2 οι πρώτες παράγωγοι των σημείων v_1 και v_2 .
- Μια επέκταση της Hermite είναι οι **καμπύλες Catmull-Rom**
 - υπολογίζονται αυτόματα οι παράγωγοι σε κάθε σημείο,
 - Από ένα σύνολο θέσεων στα καρέ-κλειδιά μπορεί να προκύψει μια ομαλή καμπύλη κίνησης
 - Όμως, ο σχεδιαστής δεν θα έχει καμία δυνατότητα τροποποίησης του αποτελέσματος

Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Στα προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης δίνεται συνήθως η δυνατότητα ελέγχου και τροποποίησης της παραγόμενης καμπύλης



Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- Στην περίπτωση των περιστροφών κάποιος θα μπορούσε να υποθέσει ότι αρκεί να γίνει παρεμβολή στις τρεις γωνίες Euler
 - Στην πράξη όμως αυτή η τεχνική δουλεύει μόνο αν μεταβάλλεται η γωνία ενός άξονα
 - Αν συμμετέχουν παραπάνω άξονες τα αποτελέσματα είναι λανθασμένα και «αφύσικα»
- Για την παραγωγή των ενδιάμεσων περιστροφών **χρησιμοποιούνται quaternions**
 - Η αρχική και η τελική περιστροφή περιγράφονται με quaternions
 - γίνεται παρεμβολή για τις ενδιάμεσες τιμές
- Η απλή γραμμική παρεμβολή δεν δίνει κίνηση με σταθερή ταχύτητα στα quaternions, η κίνηση φαίνεται να επιταχύνει στο μέσο της διαδρομής
- Χρησιμοποιείται μια τεχνική που ονομάζεται **σφαιρική γραμμική παρεμβολή** (spherical linear interpolation – SLERP)

Κίνηση με καρέ-κλειδιά

- αν ω η γωνία μεταξύ του αρχικού και του τελικού quaternion q_1 και q_2 , τότε η περιστροφή στη θέση t υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q = q_1 \frac{\sin((1-t)\omega)}{\sin \omega} + q_2 \frac{\sin(t\omega)}{\sin \omega}$$

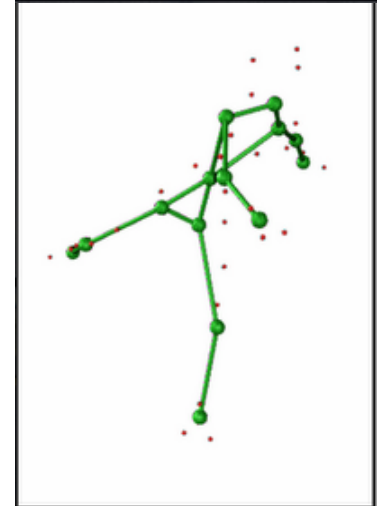
Σύλληψη κίνησης

- Η κίνηση με θέσεις κλειδιά είναι επίπονη για το σχεδιαστή και **δεν διασφαλίζει φυσική κίνηση**
- Με τη σύλληψη κίνησης μπορούν να παραχθούν πιο εύκολα τα δεδομένα κίνησης με αληθοφανή αποτελέσματα
 - Προέρχονται από αντίστοιχες κινήσεις στο φυσικό κόσμο
 - Ονομάζεται και **«συνθετική κίνηση ερμηνείας» (performance animation)**
- Καταγραφή διαδοχικών μετρήσεων θέσης και προσανατολισμού αντικειμένων του φυσικού κόσμου
- Αποθήκευση πληροφορίας σε μορφή αξιοποιήσιμη από υπολογιστή
- Τα δεδομένα αξιοποιούνται σε αντίστοιχα αντικείμενα του εικονικού κόσμου



Σύλληψη κίνησης

- Η συνηθέστερη χρήση είναι για την καταγραφή ανθρώπινης κίνησης
 - ανεξάρτητες κινήσεις (βάδισμα, χαιρετισμός, άλμα, κλπ)
 - αλληλεπίδραση με άλλα αντικείμενα περιβάλλοντος
- Ένας ηθοποιός εκτελεί τις επιθυμητές δράσεις
- Καταγράφονται **μεταβολές σε αρθρώσεις** του σκελετού του και **συνολική θέση και προσανατολισμός**
- Θα πρέπει να είναι γνωστή η σχετική θέση των άλλων αντικειμένων ως προς τον ηθοποιό, αν συμμετέχουν
 - Επίσης, μεταβολές στα κινούμενα μέρη των αντικειμένων, αν υπάρχουν



Σύλληψη κίνησης

- Οι βασικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι η **μαγνητική** και η **οπτική**
- Ειδικοί αισθητήρες τοποθετούνται στο σώμα του ηθοποιού, συνήθως στη θέση των αρθρώσεων
 - Καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού του αντίστοιχου τμήματος του σώματος
- Οι μαγνητικοί αισθητήρες παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια
 - Αλλά, είναι ευαίσθητοι σε παρεμβολές του μαγνητικού πεδίου
 - Συνήθως χρησιμοποιούνται καλώδια για τη μετάδοση της πληροφορίας > περιορίζεται η ελευθερία κινήσεων
 - τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο



Σύλληψη κίνησης

- Τα οπτικά συστήματα απαιτούν από τον ηθοποιό να φοράει αντανακλαστικά σημάδια (markers)
 - Η θέση τους καταγράφεται από πολλαπλές σταθερές κάμερες
- Ο συνδυασμός πληροφοριών από τρεις κάμερες επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του σημαδιού
- Η αντιστοίχιση σε ένα σκελετό επιτρέπει τον προσδιορισμό των γωνιών των αρθρώσεων
- Απαιτείται αρκετή επεξεργασία των οπτικών δεδομένων
- Επικαλύψεις προκαλούν προβλήματα στην καταγραφή
- Σήμερα αποτελούν αντικείμενο έρευνας συστήματα καταγραφής χωρίς σημάδια (markerless)
 - Όμως δεν έχουν την απαιτούμενη ακρίβεια
 - Ένα τέτοιο σύστημα χαμηλού κόστους είναι το Kinect

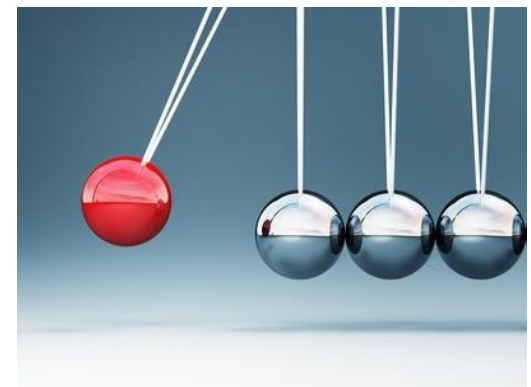
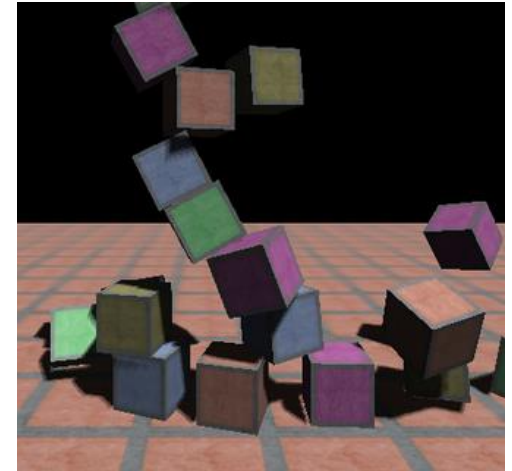


Σύλληψη κίνησης

- Έχει αποδειχτεί πολύ αποδοτική για συνθετική κίνηση ανθρώπων και ανθρωποειδών χαρακτήρων
 - Διατηρούνται οι μικρές λεπτομέρειες που αντικατοπτρίζουν το στυλ του ηθοποιού
 - Η ιδιαίτερη προσωπικότητα είναι αναγνωρίσιμη στην αντίστοιχη κίνηση των ψηφιακών χαρακτήρων
 - Γρήγορη παραγωγή πολλαπλών κινήσεων
- Ένα βασικό μειονέκτημα είναι ότι τα δεδομένα που παράγονται αφορούν ένα συγκεκριμένο είδος κίνησης
 - Π.χ. για ρεαλιστικό βάδισμα απαιτούνται πολλαπλές κινήσεις, ανάλογα με το πλαίσιο αναφοράς
- Κατά την αλληλεπίδραση με αντικείμενα αν ο ψηφιακός χαρακτήρας έχει διαφορετικές αναλογίες το αποτέλεσμα δεν θα είναι το επιθυμητό
- Αν η κίνηση είναι δυναμική η σύλληψη κίνησης δεν μπορεί να βοηθήσει

Φυσική μοντελοποίηση

- Η σύλληψη κίνησης διασφαλίζει τη φυσικότητα, αλλά για τη συνολική συμπεριφορά των αντικειμένων οι προκαθορισμένες κινήσεις δεν αρκούν
- Θα πρέπει η κίνηση να δείχνει ρεαλιστική σε όλες τις δυνατές συνθήκες
 - Δυναμική του περιβάλλοντος
- Π.χ. ο χρήστης εκτοξεύει ένα αντικείμενο προς μια κατεύθυνση
 - Πορεία παραπλήσια με αυτή που έχουμε συνηθίσει στο φυσικό κόσμο
 - Επίδραση βαρύτητας, σύγκρουση με άλλα αντικείμενα, κλπ
- Είναι αδύνατο να έχουν προκαθοριστεί όλες οι κινήσεις
- Σε δυναμικά περιβάλλοντα είναι αναγκαίο να παράγεται κίνηση αλγοριθμικά



Φυσική μοντελοποίηση

- Η αλγοριθμική παραγωγή κίνησης ονομάζεται **διαδικαστική συνθετική κίνηση (procedural animation)**
 - Το αποτέλεσμα δεν περιγράφεται από προκαθορισμένες θέσεις
 - Παράγεται διαδικαστικά μέσω αλγορίθμου
- Π.χ. κίνηση ενός αντικειμένου σε ευθεία γραμμή
 - Προσθέτουμε ένα σταθερό διάνυσμα στη θέση του σε κάθε χρονική στιγμή
- Αντίστοιχα, καμπύλη κίνηση
 - Προσδιορίζουμε την εξίσωση κίνησης και αποδίδουμε τα παραγόμενα δεδομένα στο αντικείμενο
- Μπορούμε να περιγράψουμε τέτοιου τύπου κινήσεις και μέσω καρτέκλειδιών
 - Όμως δεν είναι υποχρεωτικό να είναι εκ των προτέρων γνωστή η διεύθυνση της κίνησης ή οι παράμετροι που ρυθμίζουν την καμπύλη
 - Επιπλέον, το αποτέλεσμα μπορεί να επηρεάζεται από το περιβάλλον, π.χ. να σταματάει όταν συγκρούεται
- Η πιο ενδιαφέρουσα εφαρμογή της διαδικαστικής κίνησης είναι η φυσική μοντελοποίηση

Κίνηση βασισμένη στη φυσική

- Η φυσική μοντελοποίηση συνήθως ξεκινάει από τους βασικούς κανόνες της κινηματικής
 - Κάθε αντικείμενο εκτός από γεωμετρική επιφάνεια αποκτά **υλικό** και **μάζα**
 - Τριβή, ελαστικότητα, αντίδραση σε εξωτερικές δυνάμεις
- Τα αντικείμενα έχουν σε κάθε χρονική στιγμή μια ταχύτητα (3Δ διάνυσμα)
- Δέχονται δυνάμεις όπως η βαρύτητα και η τριβή, συγκρούονται, παραμορφώνονται, αλλάζουν διεύθυνση κίνησης
- Υπάρχουν και αντικείμενα που παράγουν τα ίδια δυνάμεις
 - Π.χ. ζωντανοί οργανισμούς, οχήματα, μηχανήματα, κλπ
 - Τα αντικείμενα αυτά ονομάζονται «ενεργητικά»

Κίνηση βασισμένη στη φυσική

- Απλοποιημένος αλγόριθμος κίνησης

1. Όλα τα αντικείμενα έχουν **αρχική θέση** και **ταχύτητα**
2. Σε κάθε χρονική στιγμή t υπολογίζονται οι **δυνάμεις** που ασκούνται σε κάθε αντικείμενο > συνισταμένη F
3. Από F και μάζα m υπολογίζεται η **επιτάχυνση** a , $F=ma$
4. Από a και βάσει του Δt που έχει παρέλθει από τον προηγούμενο υπολογισμό > **ταχύτητα** v , $v = v_0 + a\Delta t$
5. Από το μέσο όρο των δύο ταχυτήτων υπολογίζεται η **νέα θέση** p , $p = p_0 + (v + v_0)/2 \Delta t$, όπου p_0 η προηγούμενη θέση
6. Ζωγραφίζεται η σκηνή
7. Επιστροφή στο βήμα 2 για τη νέα χρονική στιγμή t'

Κίνηση βασισμένη στη φυσική

- Όπως φάνηκε, ο χρόνος υποδιαιρείται σε μικρά διακριτά σημεία, υπολογίζονται οι τιμές δυνάμεων, επιταχύνσεων και ταχυτήτων σε κάθε ένα από αυτά
- Αυτό είναι απαραίτητο εφόσον το σύστημα είναι μη δυναμικό
 - Π.χ. ο χρήστης ασκεί μια νέα δύναμη σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή
- Όμως στο φυσικό κόσμο ο χρόνος είναι συνεχής
 - Η διακριτοποίηση εισάγει μικρά λάθη στους υπολογισμούς
- Υπάρχουν διαδικασίες που μπορούν να δώσουν αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια
 - ο χρόνος εκτέλεσής τους είναι απαγορευτικός για συστήματα πραγματικού χρόνου
- Αναγκαστικά χρησιμοποιούνται απλοποιημένες προσεγγίσεις

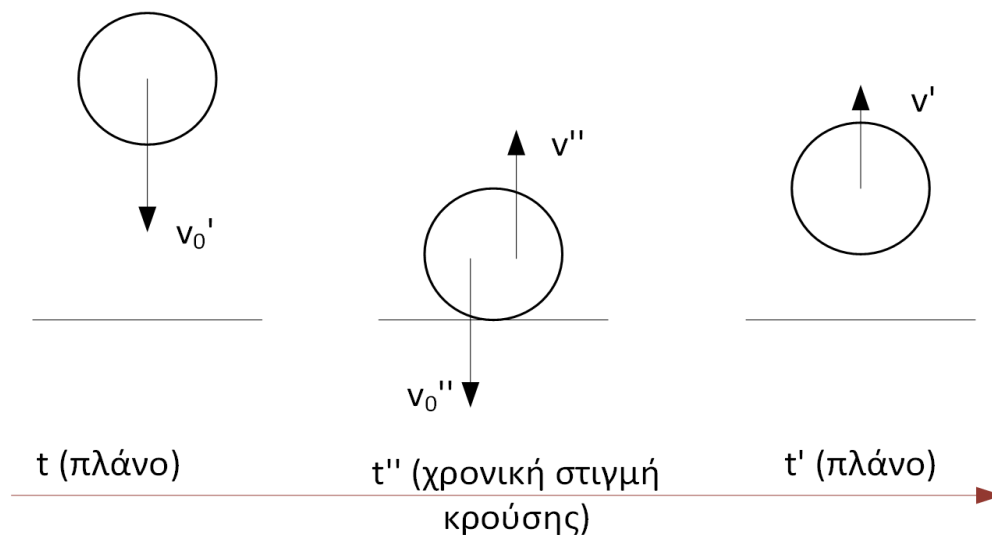
Κίνηση βασισμένη στη φυσική

- Έστω ένα αντικείμενο σε ελεύθερη πτώση, ένα μέτρο πάνω από το έδαφος
 - $\Delta t = 0.017$ (60 fps), επιτάχυνση $g = 9.81$
- Οι τιμές του ύψους και της ταχύτητας φαίνονται στον πίνακα
- Υπάρχει μια χρονική στιγμή ($t=26$) όπου το αντικείμενο είναι πάνω στο έδαφος και η επόμενη που είναι κάτω από αυτό
- Ο μηχανισμός προσομοίωσης θα πρέπει
 - να αντιληφθεί ότι υπάρχει σύγκρουση,
 - να υπολογίσει νέα ταχύτητα,
 - να το μετακινήσει στη σωστή θέση

t	y	v
0	1,000	0,000
1	0,999	0,167
2	0,994	0,334
3	0,987	0,500
4	0,977	0,667
...		
26	0,042	4,336
27	-0,033	4,503

Κίνηση βασισμένη στη φυσική

- Η σωστή προσέγγιση είναι
 1. Να βρεθεί η ακριβής χρονική στιγμή t'' μεταξύ των t και t' κατά την οποία έγινε η σύγκρουση
 - Επιλύονται οι εξισώσεις κίνησης για $y=0$
 2. Να υπολογιστεί η ταχύτητα v_0'' τη χρονική στιγμή t'' και η νέα ταχύτητα v'' μετά την κρούση
 3. Με βάση τα παραπάνω να υπολογιστεί η νέα ταχύτητα και θέση του αντικειμένου τη χρονική στιγμή που θα απεικονιστεί



Αναγνώριση σύγκρουσης

- Η **αναγνώριση σύγκρουσης** μεταξύ αντικειμένων είναι μια διαδικασία που εκτελείται διαρκώς στους ΕΚ
 - Ενσαρκώσεις κινούνται στο έδαφος, η κίνησή τους εμποδίζεται από άλλα φυσικά αντικείμενα, επενεργούν πάνω σε αντικείμενα, κλπ
 - Συγκρούσεις κατά την κίνηση φυσικών αντικειμένων
 - Π.χ. αν ένα όπλο βάλλει προς μια διεύθυνση θα πρέπει να εντοπιστεί η στιγμή που η σφαίρα θα προσκρούσει σε ένα αντικείμενο > ανάλογη αντίδραση
- Οι απαιτήσεις διαφέρουν από εφαρμογή σε εφαρμογή
 - Σε κάποιες περιπτώσεις η λεπτομέρεια δεν παίζει μεγάλο ρόλο
 - π.χ. κίνηση ενσαρκώσεων
 - Αντίθετα, σε εφαρμογές προσομοίωσης μπορεί να απαιτείται ακρίβεια
 - Π.χ. εξάσκηση στη χειρουργική
 - Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα και προσεγγίσεις

Bounding Boxes

- Μια γρήγορη τεχνική είναι η χρήση περιβαλλόντων **ορθογώνιων παραλληλεπιπέδων (bounding box)**
 - Ελάχιστο ορθ. παραλλ. που περιβάλλει πλήρως ένα αντικείμενο
- Αν διατρέξουμε όλες τις κορυφές του αντικειμένου μπορούμε να βρούμε ελάχιστες / μέγιστες τιμές:
 - x_{min} , y_{min} , z_{min} και x_{max} , y_{max} και z_{max}
 - οι τιμές αυτές ορίζουν τις οκτώ κορυφές του bounding box



Bounding Boxes

- Η αναγνώριση σύγκρουσης δύο bounding boxes γίνεται με πολύ απλούς ελέγχους
- Έστω $x_{min}, y_{min}, z_{min}$ και $x_{max}, y_{max}, z_{max}$ τα όρια ενός αντικειμένου και $x'_{min}, y'_{min}, z'_{min}$ και $x'_{max}, y'_{max}, z'_{max}$ τα όρια ενός δεύτερου.
- Τα δύο bounding boxes τέμνονται αν:

$$x_{min} < x'_{max} \text{ και } x'_{min} < x_{max} \text{ και}$$

$$y_{min} < y'_{max} \text{ και } y'_{min} < y_{max} \text{ και}$$

$$z_{min} < z'_{max} \text{ και } z'_{min} < z_{max}$$

- Η διαδικασία είναι απλή γιατί τα δύο bounding boxes έχουν τον ίδιο προσανατολισμό
 - Στους άξονες του ΣΣ κόσμου
- Αυτού του είδους τα bounding boxes ονομάζονται **ευθυγραμμισμένα στους άξονες (axis aligned)**

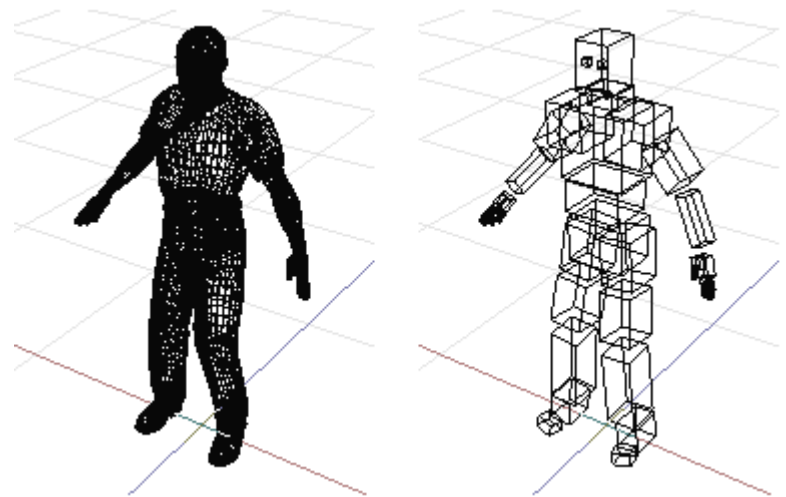
Bounding Boxes

- Ένα πρόβλημα με τα ευθυγραμμισμένα BBs είναι ότι χρειάστηκε να διατρέξουμε όλες τις κορυφές για να βρούμε τις μέγιστες / ελάχιστες τιμές
 - Αν ένα αντικείμενο κινείται η διαδικασία θα πρέπει να επαναλαμβάνεται σε κάθε καρέ > μεγάλο υπολογιστικό κόστος
- Επιπλέον, το bounding box μπορεί να μην καλύπτει ικανοποιητικά το αντικείμενο αφότου περιστραφεί
 - Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε σημαντικά λάθη στην αναγνώριση
- Τα ευθυγραμμισμένα BBs είναι προτιμότερα σε στατικά αντικείμενα και μεγάλες περιοχές του περιβάλλοντος



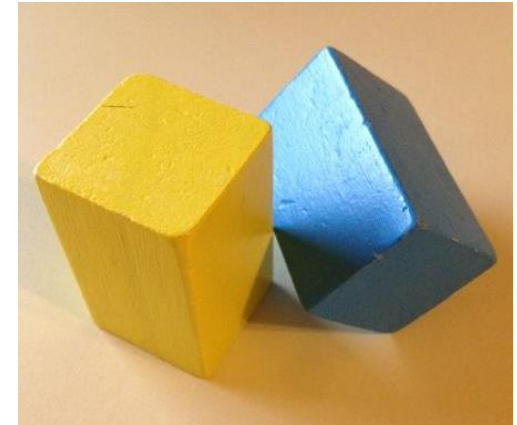
Bounding Boxes

- Τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίζονται με τα **προσανατολισμένα (oriented) Bounding Boxes**
- Υπολογίζονται μία φορά κατά τη δημιουργία του αντικειμένου ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων
 - Αν είναι κατάλληλα προσανατολισμένο μπορούν να περικλείουν αρκετά καλά τη γεωμετρία του
- Όσο κινείται το αντικείμενο, το bounding box ακολουθεί την κίνησή του
 - Εφαρμόζεται σε αυτό ο ίδιος μετασχηματισμός
 - Δεν απαιτείται επανα-υπολογισμός, συνεχίζει να καλύπτει με τον ίδιο τρόπο τη γεωμετρία του
- Στα σύνθετα, αρθρωτά αντικείμενα αποδίδεται ένα BB σε κάθε επιμέρους τμήμα > πιο λεπτομερής συνολική κάλυψη



Bounding Boxes

- Το μειονέκτημα με τα προσανατολισμένα BBs είναι ότι είναι πιο επίπονη η αναγνώριση συγκρούσεων
 - Τα δύο BBs που συγκρίνονται δεν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό
- Υπάρχουν αλγόριθμοι που επιλύουν ικανοποιητικά το πρόβλημα
 - Π.χ. ο αλγ. βασισμένος στο [Θεώρημα του Άξονα Διαχωρισμού \(Separating Axis\)](#)
- Τα προσανατολισμένα BBs χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά σε συστήματα πραγματικού χρόνου / εικονικούς κόσμους

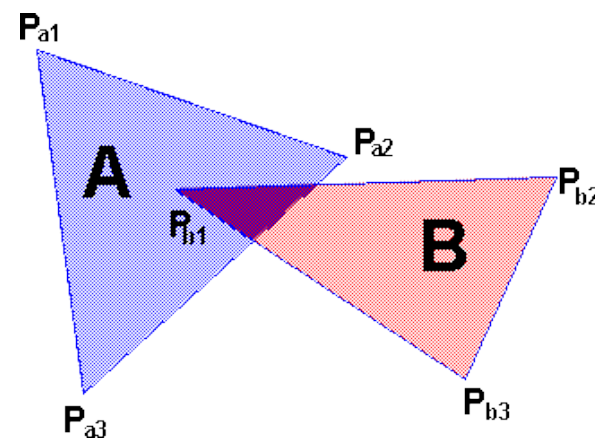


Περιβάλλοντες Όγκοι

- Αν απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα ή άλλου είδους κάλυψη χρησιμοποιούνται και άλλα βασικά στερεά
 - Π.χ. κύλινδρος ή σφαίρα
- Στην περίπτωση της **περιβάλλουσας σφαίρας (bounding sphere)** η αναγνώριση γίνεται σε ένα μόνο βήμα
 - Ελέγχεται αν η απόσταση των δύο κέντρων είναι μικρότερη του αθροίσματος των ακτίνων
- Η σφαίρα δεν έχει μεγάλη ακρίβεια στην κάλυψη, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιεραρχίες σφαιρών
- Π.χ. έστω ότι ένας μεγάλος όγκος περιβάλλει το αντικείμενο
 - Αν ένας άλλος αντίστοιχος δεν συγκρούεται με αυτόν σταματάει ο έλεγχος
 - Αν συγκρούονται > οι έλεγχοι κατεβαίνουν σε όγκους-παιδιά της ιεραρχίας που καλύπτουν υπο-περιοχές
 - Αντίστοιχα, αν συγκρούεται κάποιο ζευγάρι όγκων ο έλεγχος κατεβαίνει σε ακόμα μικρότερους, ...

Έλεγχος Πολυγώνων

- Υπάρχουν και εξειδικευμένες περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στον έλεγχο
 - ..μπορεί να απαιτείται να εντοπίζονται και τα ακριβή σημεία επαφής
- Οι διαδικασίες αυτές έχουν μεγάλο υπολογιστικό κόστος, αλλά οδηγούν σε πιο φυσική συμπεριφορά
- Αν εντοπιστεί με ακρίβεια το σημείο σύγκρουσης, θα είναι πιο σωστή και η αντίδραση του αντικειμένου σε αυτή
- Ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται περιβάλλοντες όγκοι
 - Αποκλείουν ομάδες αντικειμένων, αντικείμενα ή και ομάδες τριγώνων ενός αντικειμένου
 - Έτσι οι έλεγχοι πάνω στα τρίγωνα είναι αρκετά περιορισμένοι για να μην επιβαρύνεται το σύστημα



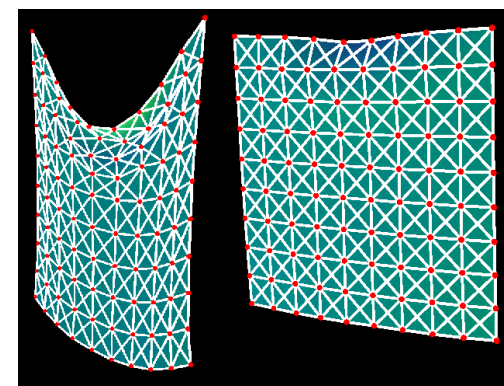
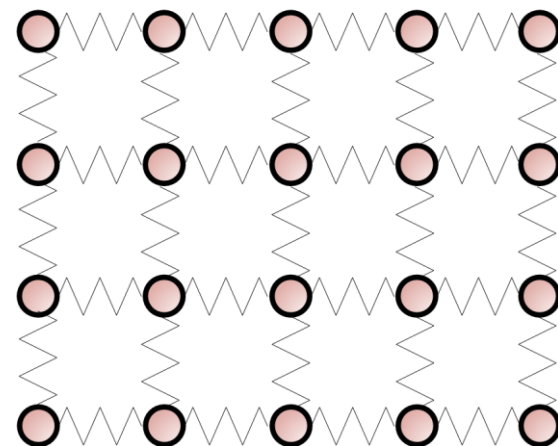
Άλλες φυσικές ιδιότητες

- Οι σύγχρονες μηχανές φυσικής υποστηρίζουν και άλλες φυσικές δομές για πιο περίπλοκα συστήματα
 - Π.χ. ελατήρια, αρμοί, αρθρώσεις χαρακτήρων, κλπ
 - Στόχος η μοντελοποίηση της φυσικής συμπεριφοράς διαφόρων αντικειμένων
- Μια δημοφιλής δομή είναι η **κούκλα (ragdoll)**
 - Το σώμα ενός ψηφιακού χαρακτήρα αντιδρά σε εξωτερικές δυνάμεις σαν άψυχη κούκλα
 - Π.χ. σε παιχνίδια: χτύπημα χαρακτήρα ή πτώση από ψηλά.



Άλλες φυσικές ιδιότητες

- Μια άλλη δομή που χρησιμοποιείται σε ελαστικά, παραμορφώσιμα αντικείμενα (π.χ. υφάσματα) είναι η **δομή μαζών-ελατηρίων**
- Η γεωμετρία του αντικειμένου περιγράφεται από πυκνό πλέγμα
 - Σε κάθε κορυφή αποδίδεται **σημειακή μάζα**
 - Στις ακμές αποδίδονται **ελατήρια**
 - Αρκετές φορές δημιουργούνται και επιπλέον συνδέσεις, π.χ. διαγώνιες
- Αν ασκηθεί δύναμη σε μία ή περισσότερες μάζες, τα ελατήρια που συνδέονται με αυτές θα τεντωθούν
 - Συμπαράσύροντας σε κάποιο βαθμό τις γειτονικές μάζες
 - Αυτές θα παραμορφώσουν κάποια άλλα ελατήρια, κλπ
 - Η γεωμετρία θα παραμορφωθεί ομαλά σε σχέση με τη δύναμη που ασκήθηκε



Δυναμική Συμπεριφορά

- Στους ΕΚ συμπεριλαμβάνονται οντότητες με αυτόνομη, δυναμική συμπεριφορά
 - Συνθετικοί χαρακτήρες, συσκευές με σύνθετη λειτουργία
- Δεν εκτελούν προκαθορισμένη κίνηση, οι ενέργειές τους εξαρτώνται από την κατάσταση του περιβάλλοντος
- Δεν συμπεριφέρονται ως παθητικά φυσικά αντικείμενα
 - Μπορούν να επενεργήσουν στο περιβάλλον
- Π.χ. ένας εικονικός άνθρωπος μπορεί να αποφασίσει να κινηθεί προς κάποια κατεύθυνση, να επικοινωνήσει με κάποιο χρήστη, κλπ
- Ένα «έξυπνο» όπλο μπορεί να αποφασίσει να στραφεί προς τη μεριά των εχθρικών χαρακτήρων και να πυροβολήσει αν πλησιάσουν κοντά
- Τα αντικείμενα αυτά έχουν κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς
 - εξετάζουν την κατάσταση του περιβάλλοντος και αποφασίζουν για τις ενέργειές τους σύμφωνα με κάποιους κανόνες