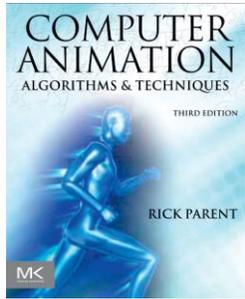


Εισαγωγή στο Animation

Τεχνικές και Βασικές Έννοιες



Εξέλιξη του Animation στα Βιντεοπαιχνίδια

Αρχικά:

- Pixel art και sprite animation
- Παράδειγμα: *Space Invaders* (1978)

• Μετάβαση σε 3d:

- Εισαγωγή των πολυγωνικών μοντέλων
- Παράδειγμα: *Super Mario 64* (1996)



• Σύγχρονη εποχή:

- Ρεαλιστικά animation και σύλληψη κίνησης (motion capture)
- Παράδειγμα: *The Last of Us Part II* (2020)

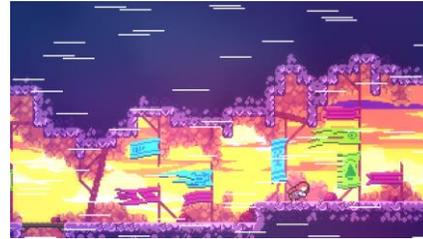


Τύποι Animation στα Βιντεοπαιχνίδια

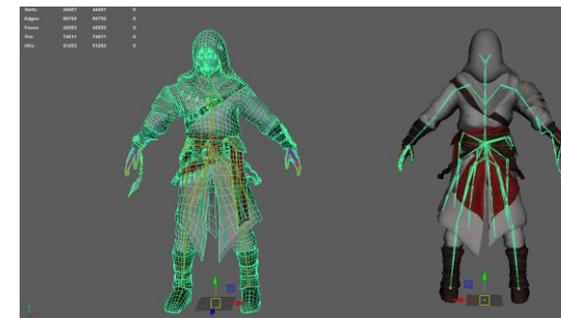


brakken.tumblr.com

- 2d Animation:
 - Animation καρέ-καρέ
 - Παράδειγμα: *Celeste* (2018)



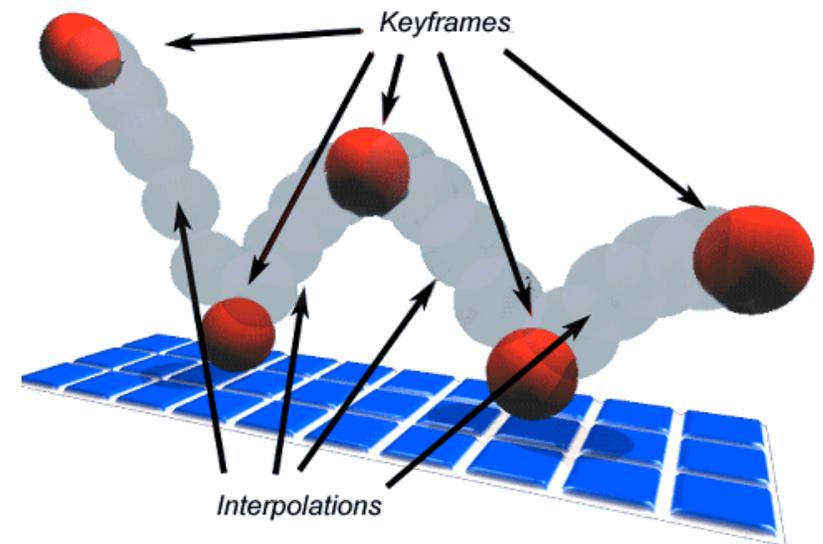
- 3d Animation:
 - Rigged μοντέλα και σκελετικό animation
 - Παράδειγμα: *Assassin's Creed*



- Κινηματογραφικό έναντι Animation Πραγματικού Χρόνου
 - Προ-αποδιδόμενες σκηνές (Pre-rendered cutscenes).
 - Animation πραγματικού χρόνου σε μηχανές παιχνιδιών.

Βασικές Αρχές Animation

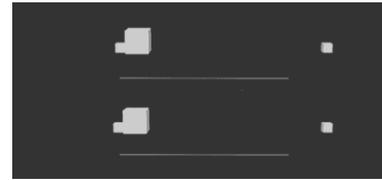
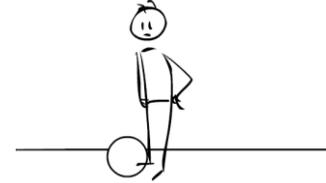
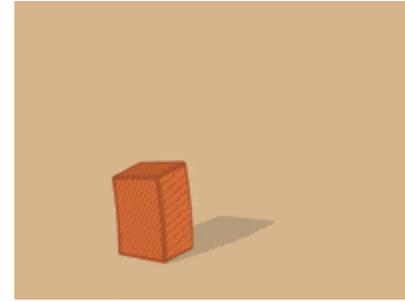
- Καρέ-κλειδιά (Keyframes):
 - Ορισμός κρίσιμων σημείων στην κίνηση
- Παρεμβολή:
 - Παραγωγή των ενδιάμεσων καρέ



Οι 12 Αρχές του Animation

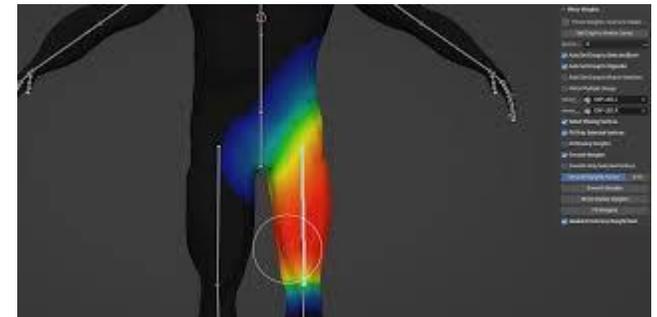
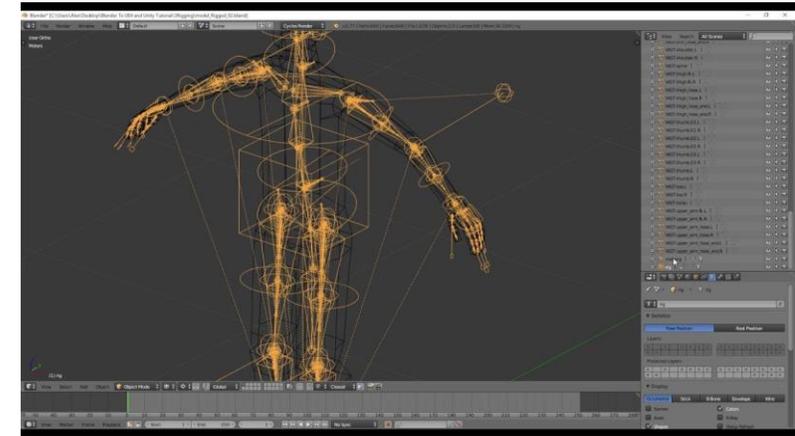
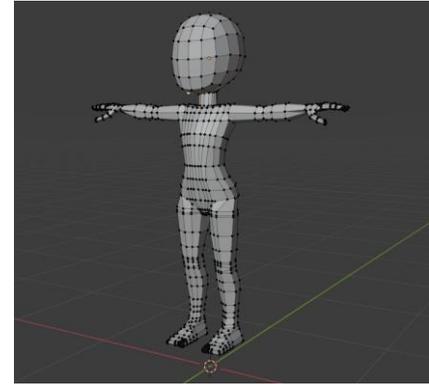
(Ορίστηκαν από τους Animators της Disney)

- Συμπύεση και Τέντωμα
- Χρονισμός Κίνησης
- Προσμονή
- Σκηνοθεσία
- Συνέχεια και Επικάλυψη
- Συνεχιζόμενη Κίνηση και Σχέδια Κλειδιά
- Επιβράδυνση σε Αρχή και Τέλος Κίνησης
- Τόξα Κίνησης
- Δευτερεύουσα Δράση
- Υπερβολή
- Συμπαγές Σχέδιο
- Έλξη



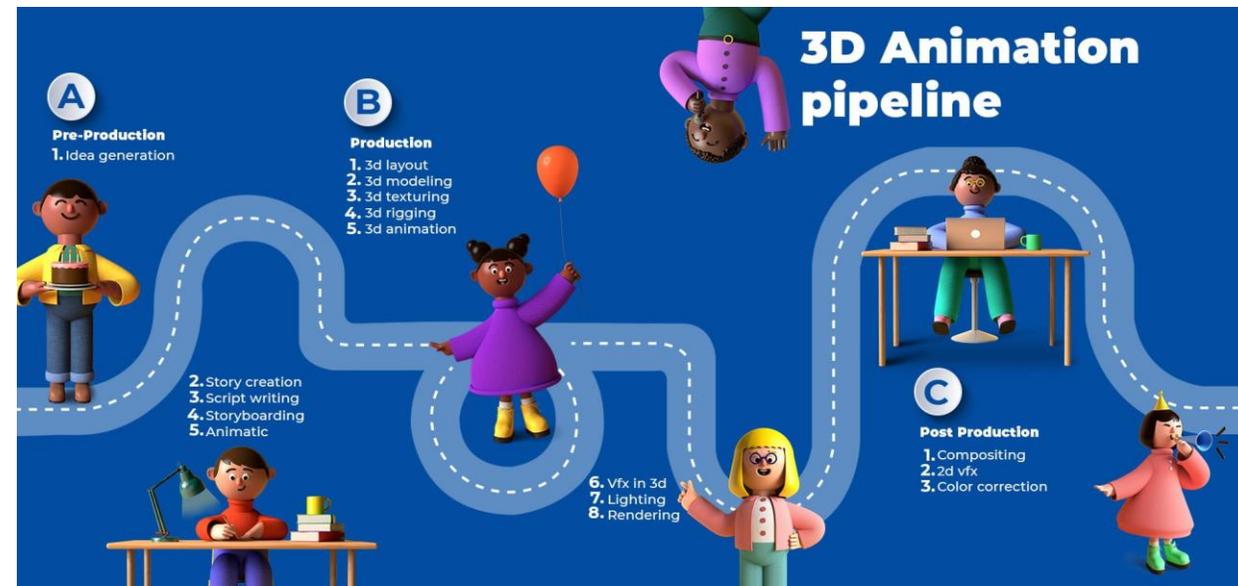
Ανατομία Ενός Animated Χαρακτήρα

- 3d Μοντέλα:
 - Πλέγματα και Τοπολογία
 - Η γεωμετρική δομή είναι σημαντικό να είναι καθαρή
- Rigging και Σκελετοί:
 - Ιεραρχίες Οστών και Κλειδώσεων
 - Ελεγκτές για τους animators
- Skinning και Χρωματισμός Βάρους:
 - Επισύναψη του πλέγματος στον σκελετό
 - Καθορισμός του τρόπου που τα οστά επηρεάζουν το πλέγμα



Ροή Εργασίας Animation στην Ανάπτυξη Βιντεοπαιχνιδιών

- Concept Art, Storyboarding:
 - Σχεδιασμός animation πριν την παραγωγή
- Μοντελοποίηση και Υφές:
 - Εμφάνιση
- Rigging και Skinning:
 - Προετοιμασία του μοντέλου για animation
- Animating:
 - Δίνοντας στον χαρακτήρα ζωή
- Ενσωμάτωση στη Μηχανή
 - Εισαγωγή animation
 - Έλεγχος και επανάληψη



Εργαλεία για Animation

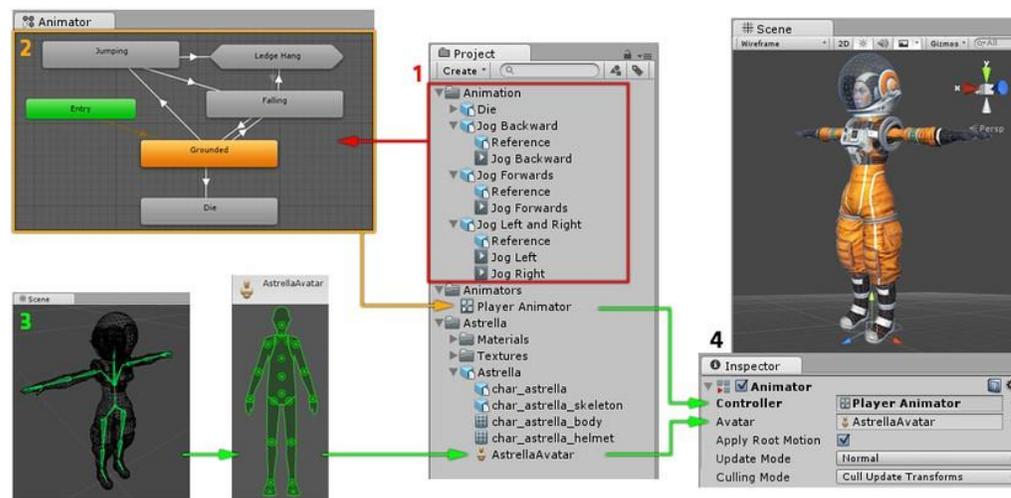
- Λογισμικό για Μοντελοποίηση και Animation:

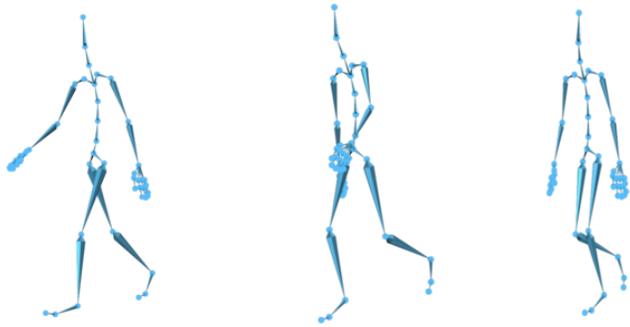
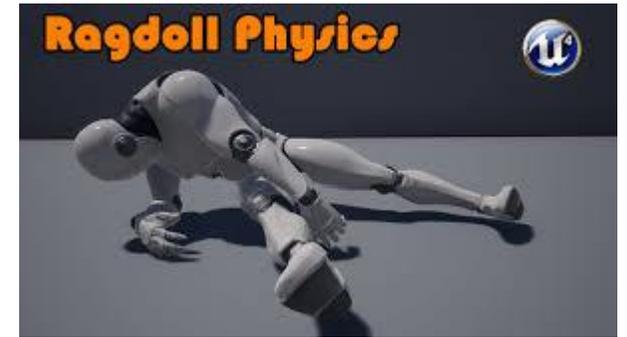
- Blender (δωρεάν και ανοικτού κώδικα 😊)
- Autodesk Maya
- MotionBuilder
- 3ds Max



- Μηχανές Παιχνιδιών:

- Unity Mecanim
- Unreal Engine
- Godot





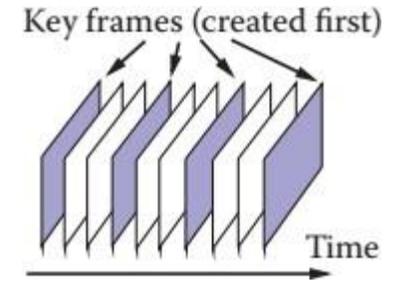
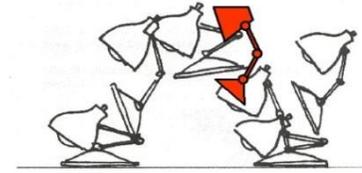
Προσεγγίσεις Animation

- Καρέ-κλειδί (keyframe) – Σκελετικό (skeletal)
- Διαδικασιακός (procedural)
- Σύλληψη Κίνησης (Motion Capture – MoCap)
- Κίνηση βασισμένη στη Φυσική (Physics-based animation)

Προσεγγίσεις για Animation

- **Καρέ-κλειδιά (Keyframing)**

- δίνει τον πιο άμεσο έλεγχο στον animator, ο οποίος παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα σε κάποιες χρονικές στιγμές και ο υπολογιστής συμπληρώνει τα υπόλοιπα.



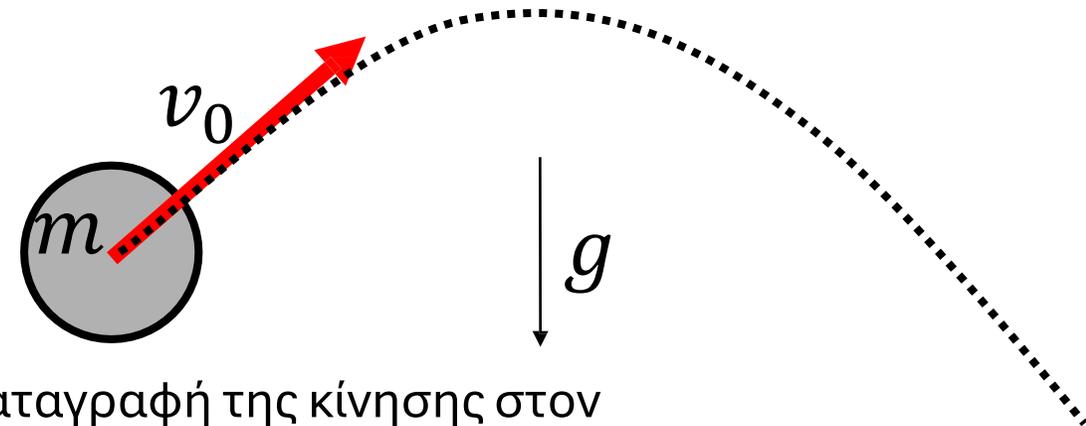
- **Διαδικασιακός (Procedural)**

- περιλαμβάνει ειδικά σχεδιασμένες, συχνά εμπειρικές, μαθηματικές συναρτήσεις και διαδικασίες των οποίων η έξοδος μοιάζει με κάποια συγκεκριμένη κίνηση.



- **Βασισμένη στη Φυσική (Physics-based)**

- επίλυση διαφορικών εξισώσεων κίνησης.



- **Σύλληψη κίνησης (Motion capture)**

- χρησιμοποιεί ειδικό εξοπλισμό ή τεχνικές για την καταγραφή της κίνησης στον πραγματικό κόσμο και στη συνέχεια μεταφέρει αυτή την κίνηση στα μοντέλα.

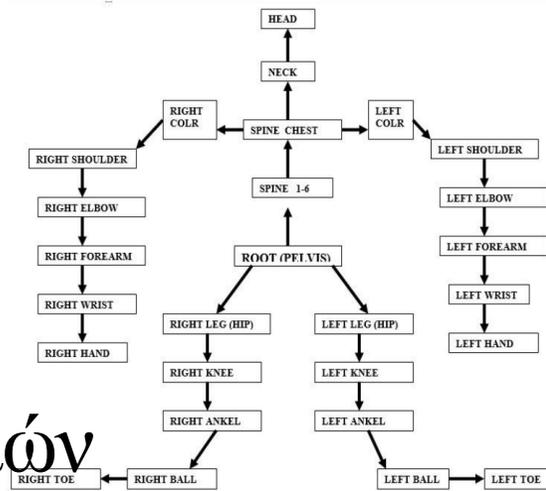
Μέθοδοι Ελέγχου Animation

- Είναι αδύνατο για έναν animator να ορίσει κάθε μεταβλητή κίνησης για κάθε καρτέ.
 - έχουν αναπτυχθεί **μέθοδοι ελέγχου animation**
- Κάποιες τέτοιες τεχνικές animation:
 - Άκαμπτου σώματος
 - Αρθρωτή
 - Παραμορφώσιμων μοντέλων
 - Συστημάτων σωματιδίων

Χρησιμοποιούν χαμηλότερου επιπέδου τεχνικές όπως παρεμβολή, ανίχνευση σύγκρουσης και θάμπωμα κίνησης (motion blur)

Ελέγχοντας...

Η κατασκευή των μηχανισμών ελέγχου καλείται “rigging”.



Το animation συνήθως καθορίζεται με χρήση μηχανισμών ελέγχου μικρής διάστασης από το να επαναμοντελοποιείται όλη η γεωμετρία σε κάθε καρτέ.

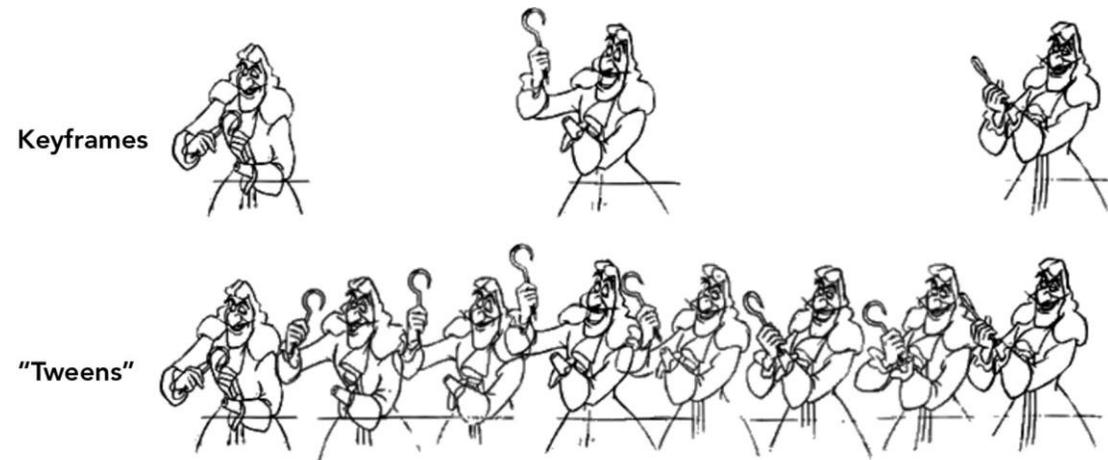
- Παράδειγμα: Οι γωνίες των αρθρώσεων (οστά) σε έναν ιεραρχικά κατασκευασμένο χαρακτήρα καθορίζουν την πόζα.
- Παράδειγμα: Χαμηλού επιπέδου έλεγχοι (π.χ., γωνίες) αντιστοιχούν σε υψηλότερου επιπέδου (π.χ., χαμόγελο)

Η κατασκευή 3d μοντέλων και ο μηχανισμός ελέγχου των animation είναι το βασικό συστατικό κάθε ροής εργασιών κινούμενων εικόνων.



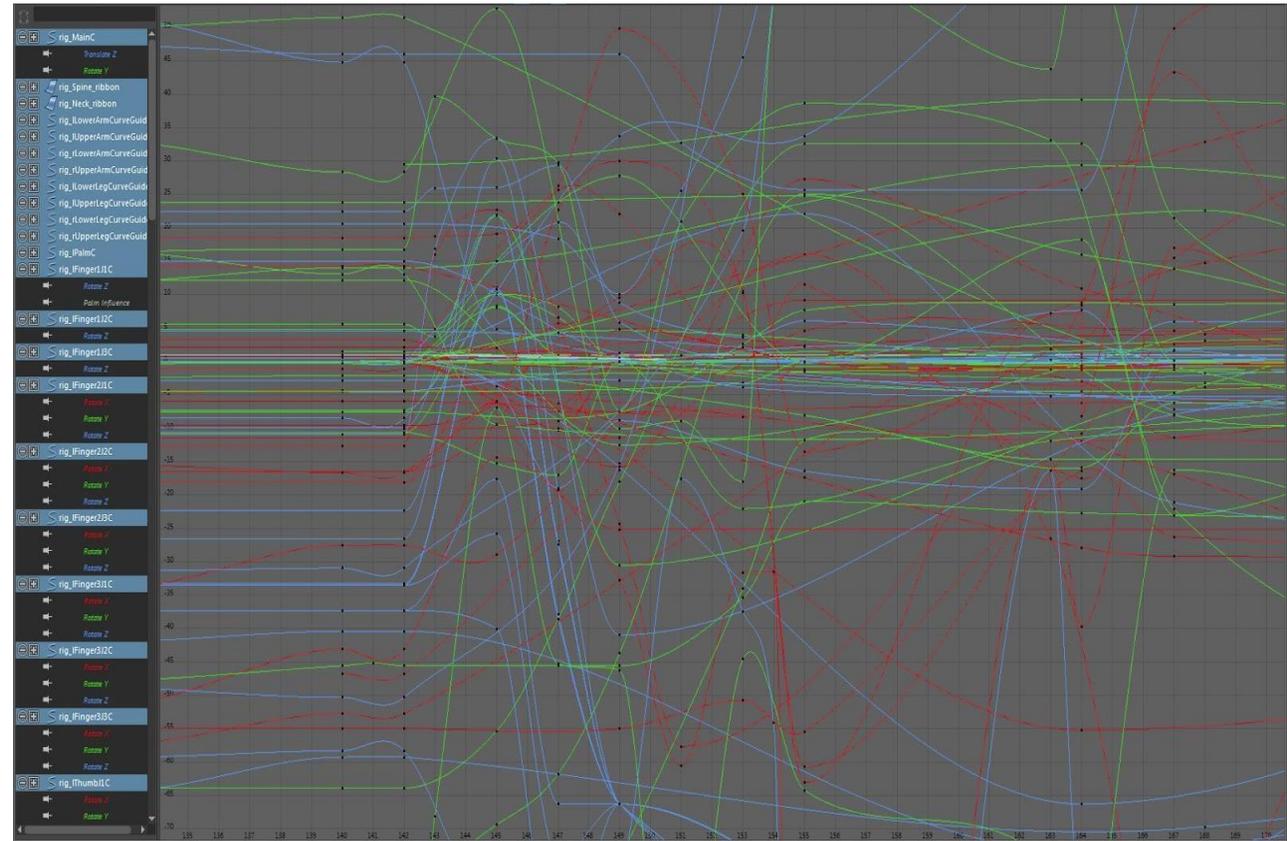
Καρέ-Κλειδιά και “Tweening”

- Παραδοσιακά, τα περισσότερα κινούμενα σχέδια εκτελούνταν με tweening, τη σχεδίαση ενδιάμεσων καρέ μεταξύ των καρέ-κλειδιών
- Ένα καρέ-κλειδί είναι ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο της ακολουθίας κινούμενων σχεδίων που περιέχει μια σημαντική στάση της κινούμενης γεωμετρίας ή εικόνας (αν μιλάμε για sprites).



Παρεμβολή

- Στο animation, τα καρέ-κλειδιά περιέχουν είτε απευθείας τα δεδομένα κορυφής της γεωμετρίας είτε παραμέτρους υψηλότερου επιπέδου (στην απλούστερη περίπτωση θα είναι οι παράμετροι μετασχηματισμού)
- Τα δεδομένα παρεμβάλλονται χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε διαθέσιμη ή κατάλληλη μέθοδο (γραμμική, spline, κ.λπ.)
- Τυπικά απαιτούνται πολλές παράμετροι αν το tweening αφορά ένα χαμηλό επίπεδο αναπαράστασης



Γιατί Tweening και Καρέ-κλειδιά;

Το πρόβλημα είναι η αποθήκευση και η μεταφορά των animation.

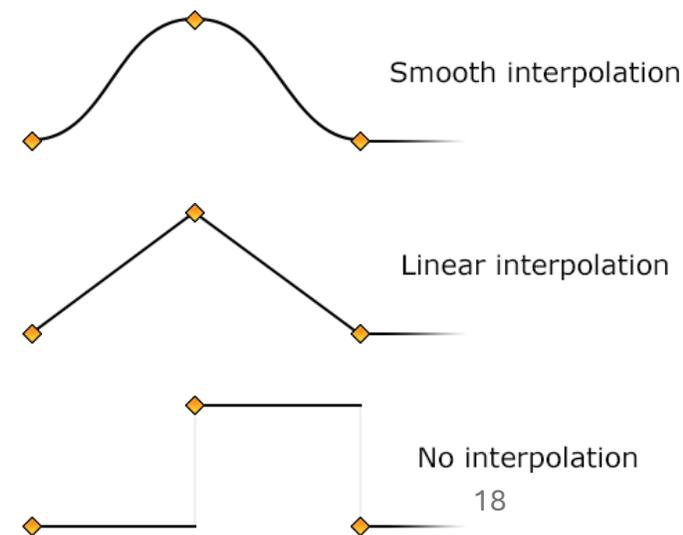
- 4x3 μητρώα, 60 φορές το δευτερόλεπτο απαιτεί πολύ χώρο
 - Για έναν χαρακτήρα με 200 οστά = 0.5Mb/sec
- Οι παλιές κονσόλες είχαν μνήμη 32-64Mb
- Το animation σύστημα απαιτεί περίπου το 25% αυτής της μνήμης
- Τώρα πια που οι απαιτήσεις είναι πολύ υψηλότερες, αυτό μέγεθος του animation ανεβαίνει εξαιρετικά

Καρέ-κλειδιά

- Η κίνηση είναι συνήθως ομαλή
- Αποθήκευση κάθε n -οστού καρέ (καρέ-κλειδί)
- Γραμμική παρεμβολή μεταξύ των καρέ
 - Inbetweening ή “tweening”
- Διαφορετικά animation απαιτούν διαφορετικούς ρυθμούς
 - Ύπνος = χαμηλά, τρέξιμο = ψηλά
 - Προσεκτική επιλογή του ρυθμού για ένα καλό αποτέλεσμα

Παρεμβολή Υψηλότερης Τάξης

- Το tweening χρησιμοποιεί γραμμική παρεμβολή
- Οι φυσικές κινήσεις όμως δεν είναι και τόσο γραμμικές
 - Απαιτούνται πολλά μικρά ευθύγραμμα τμήματα για μία καλή προσέγγιση
 - Άρα, απαιτούνται πολλά καρέ-κλειδιά
- Λύση: Χρήση μίας ομαλής καμπύλης για προσέγγιση
 - Λιγότερα τμήματα για καλή προσέγγιση
 - Λιγότερα σημεία ελέγχου
- Bézier καμπύλες



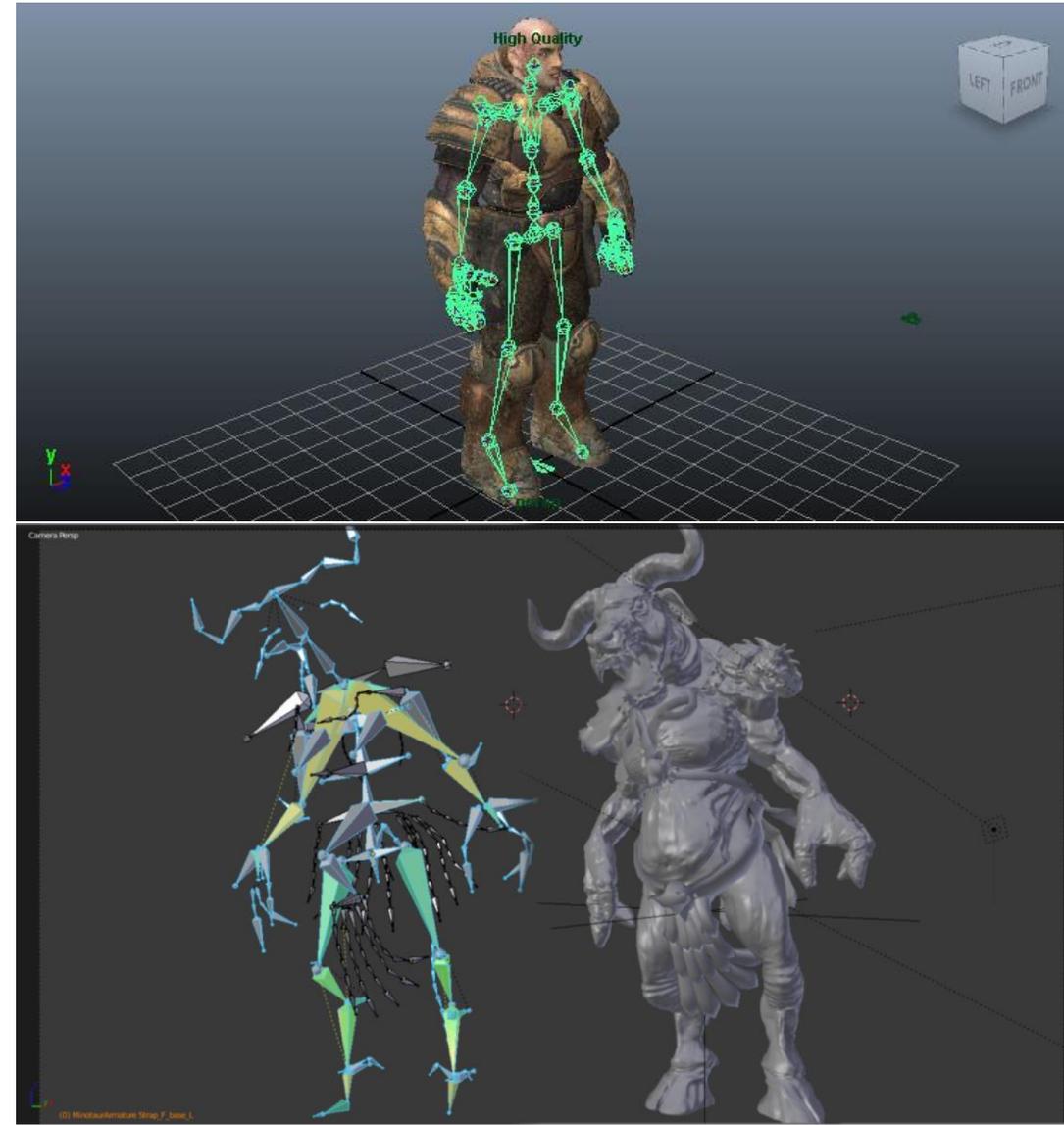
Αρθρωτό Animation

+Skinning

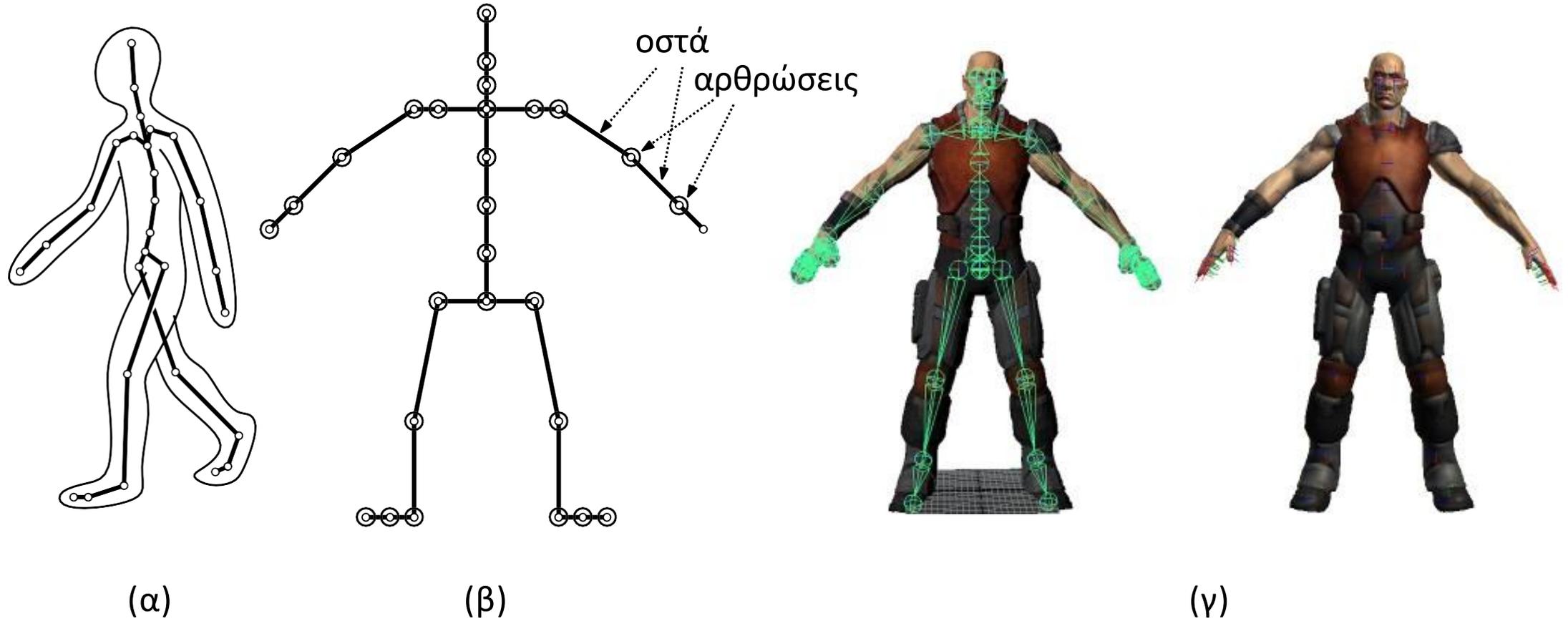
Σκελετοί και Ένδυση (Rigging)

Animation χαρακτήρα:

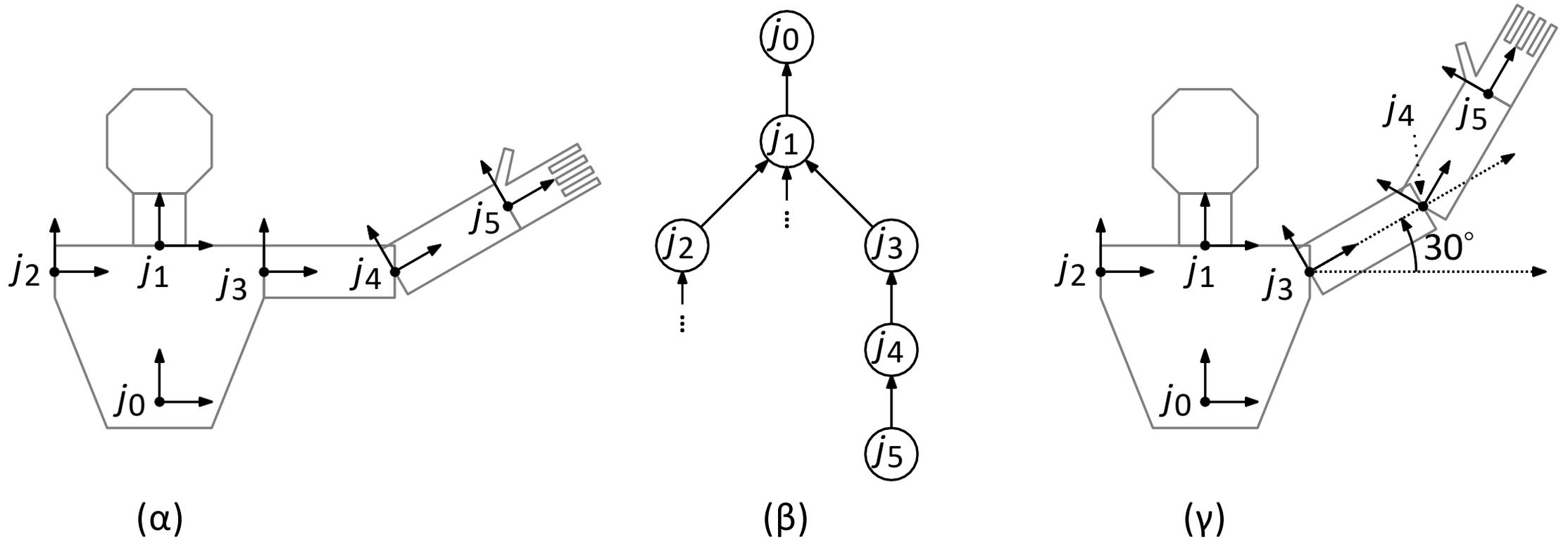
- Δημιουργία σκελετού
 - Ορισμός μετασχηματισμών μεταξύ τμημάτων του σκελετού
 - Παρεμβολή μετασχηματισμών για κίνηση
 - Ένδυση με “σάρκα”
 - Δημιουργία συμπεριφορικών animation
 - Ανάμειξη animation για ομαλή δράση στο παιχνίδι
-
- Έτοιμα Unity/Unreal/Godot Assets



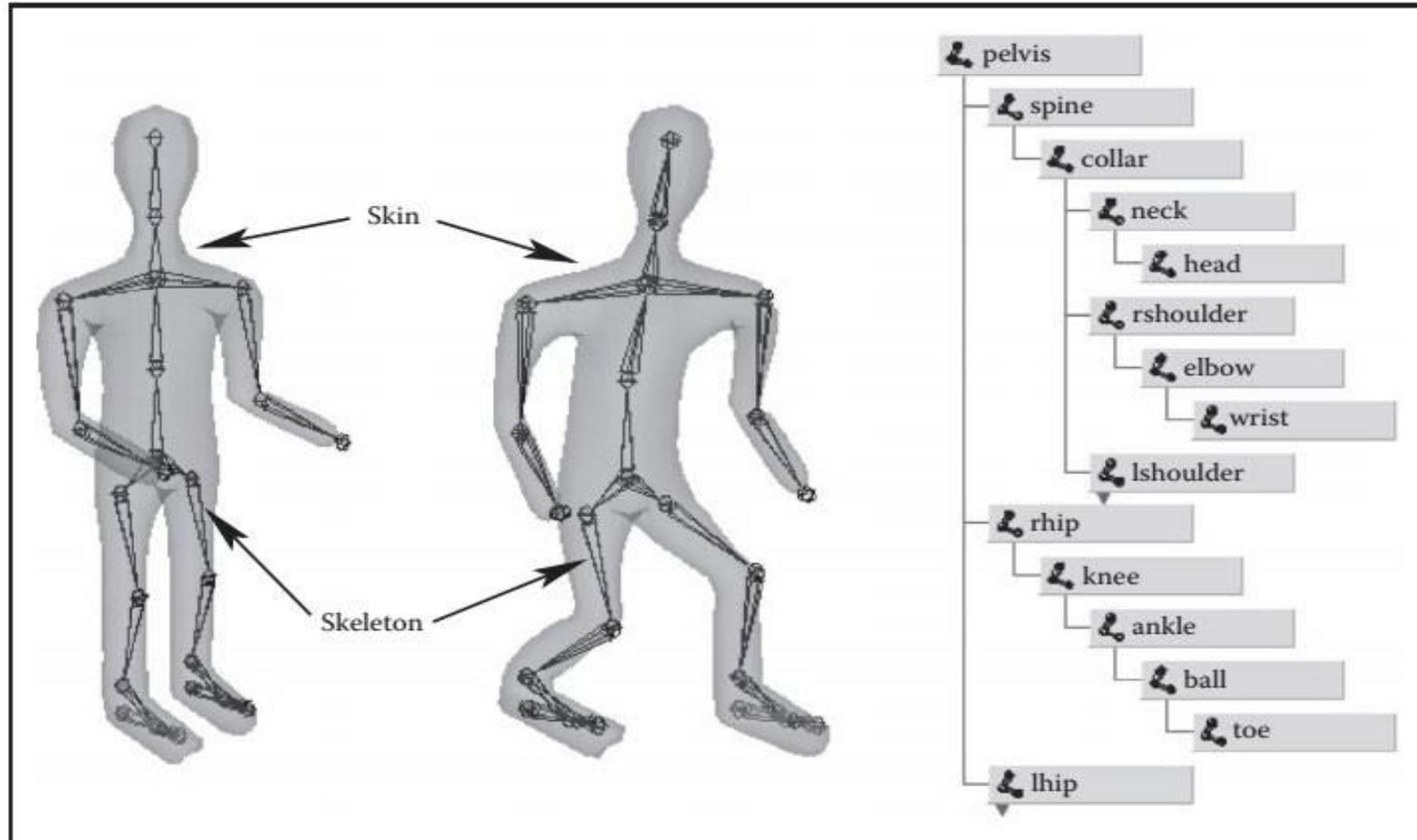
Σκελετός: οστά και αρθρώσεις, αρχική πόζα



Το Μοντέλο Σκελετού ως Δένδρο Αρθρώσεων



Παράδειγμα

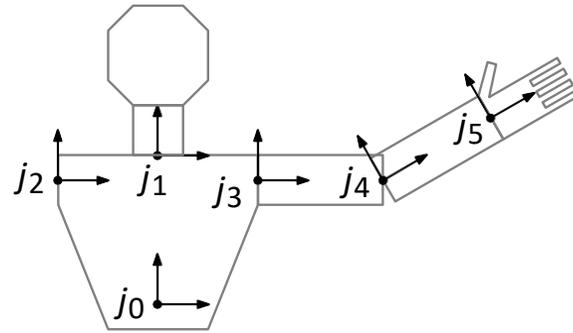


Κίνηση ως Διάδοση Μετασχηματισμών

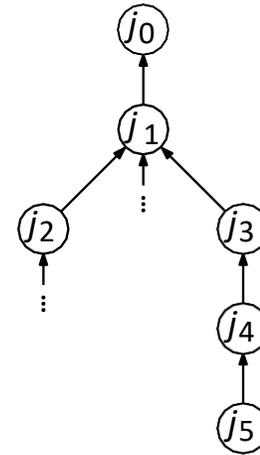
- Χαιρετισμός βασίλισσας
 - Χρήση καρπού (j_5) για περιστροφή χεριού
 - Χρήση αγκώνα (j_4) για περιστροφή αντιβράχιου
 - Χρήση ώμου (j_3) για περιστροφή μπράτσου

- Σχέση γονέα

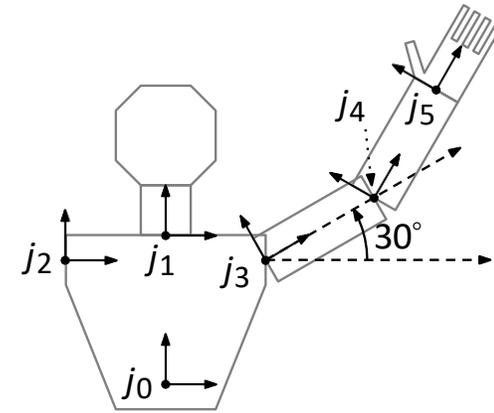
- $p(j) =$ γονική άρθρωση
- $p(j_5) = j_4$



(α)



(β)



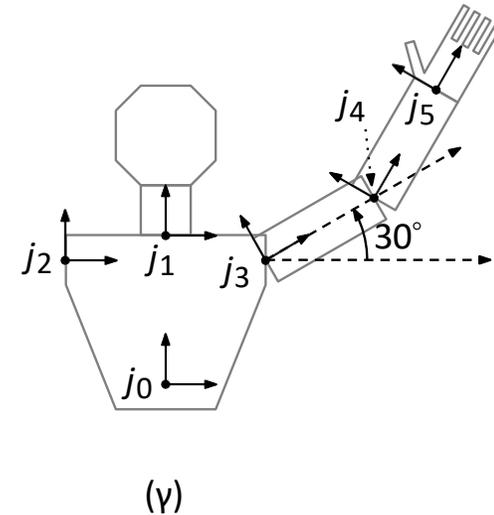
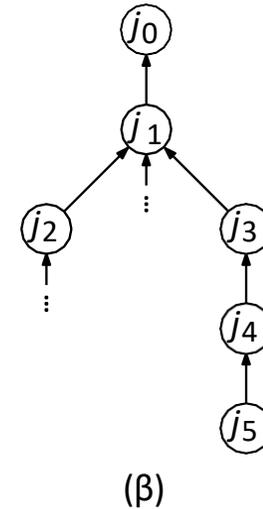
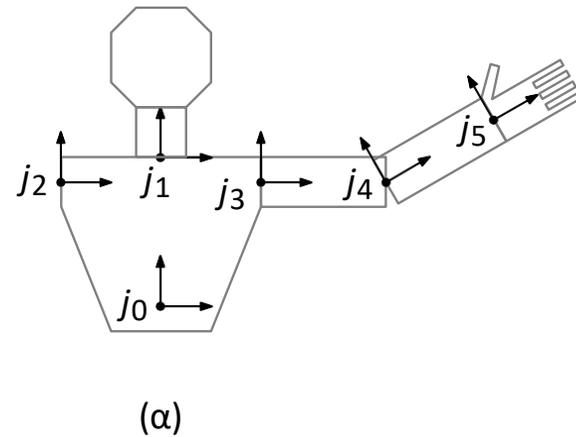
(γ)

- Η περιστροφή του πατέρα περιστρέφει και το παιδί
- Η περιστροφή του παιδιού δεν περιστρέφει τον πατέρα

Περιορισμοί στις Αρθρώσεις: Βαθμοί Ελευθερίας (Degrees of Freedom – DoF)

- Διαφορετικές περιστροφές για κάθε άρθρωση
 - Γόνατο – 1 βαθμός
 - Πόδι – 2 βαθμοί

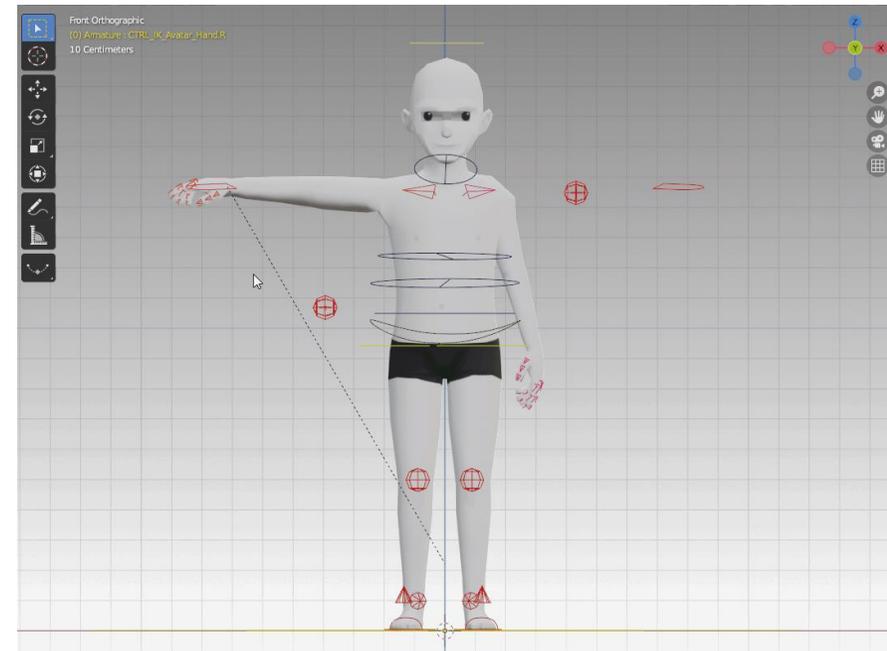
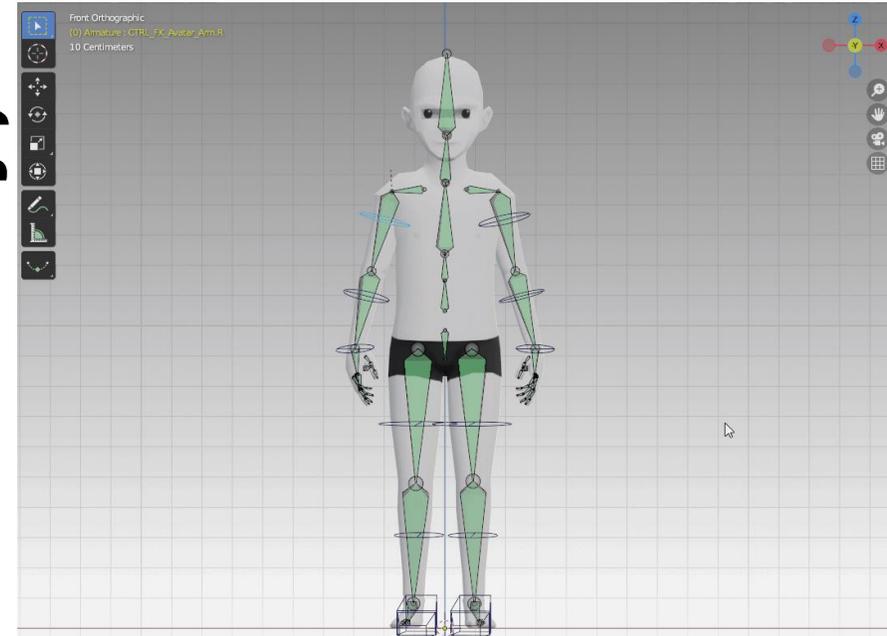
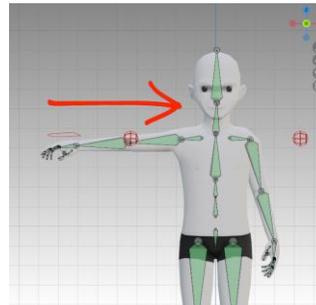
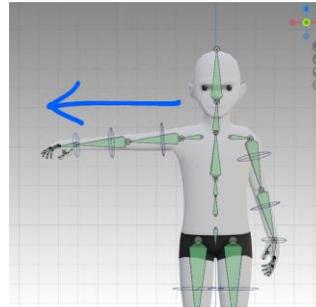
- Καρπός;
- Αγκώνας;
- Ώμος?



- Περιορισμοί σε κάθε άρθρωση
 - Η περιστροφή σε ένα διάστημα $[\varphi_1, \varphi_2]$, που μπορεί να είναι διαφορετικό για κάθε άρθρωση

Κινηματική: Κίνηση χωρίς Δυνάμεις

- **Μπροστινή Κινηματική (Forward Kinematics):** δοθέντων αρθρώσεων και μετασχηματισμών, υπολογισμός της τελικής θέσης
- **Αντίστροφη Κινηματική (Inverse Kinematics):** δοθείσης της τελικής θέσης, υπολογισμός των μετασχηματισμών για να βρεθούμε εκεί
- Μπροστινή: “εύκολη”
- Αντίστροφη: Δύσκολη!



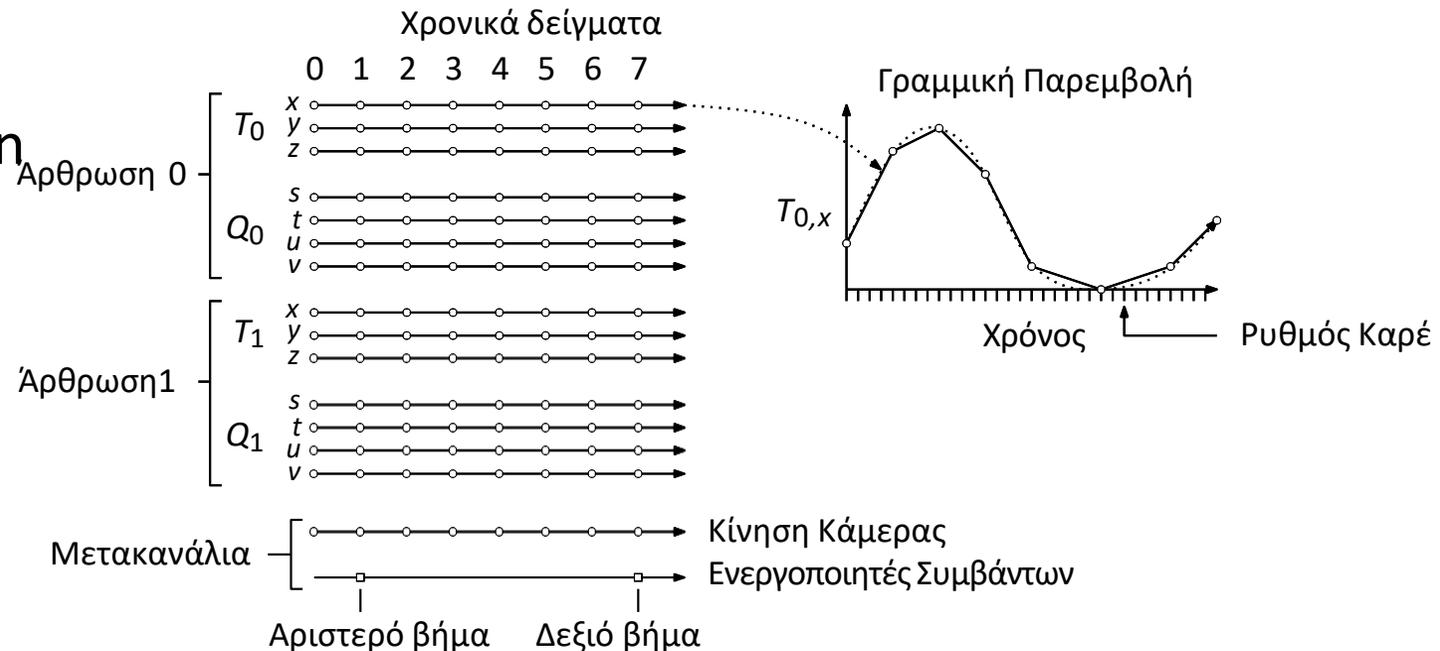
Αναπαράσταση Δεδομένων Animation

- Θέση αρθρώσεων στο χρόνο

- T – μεταφορά
- Q – Περιστροφή – Quaternion

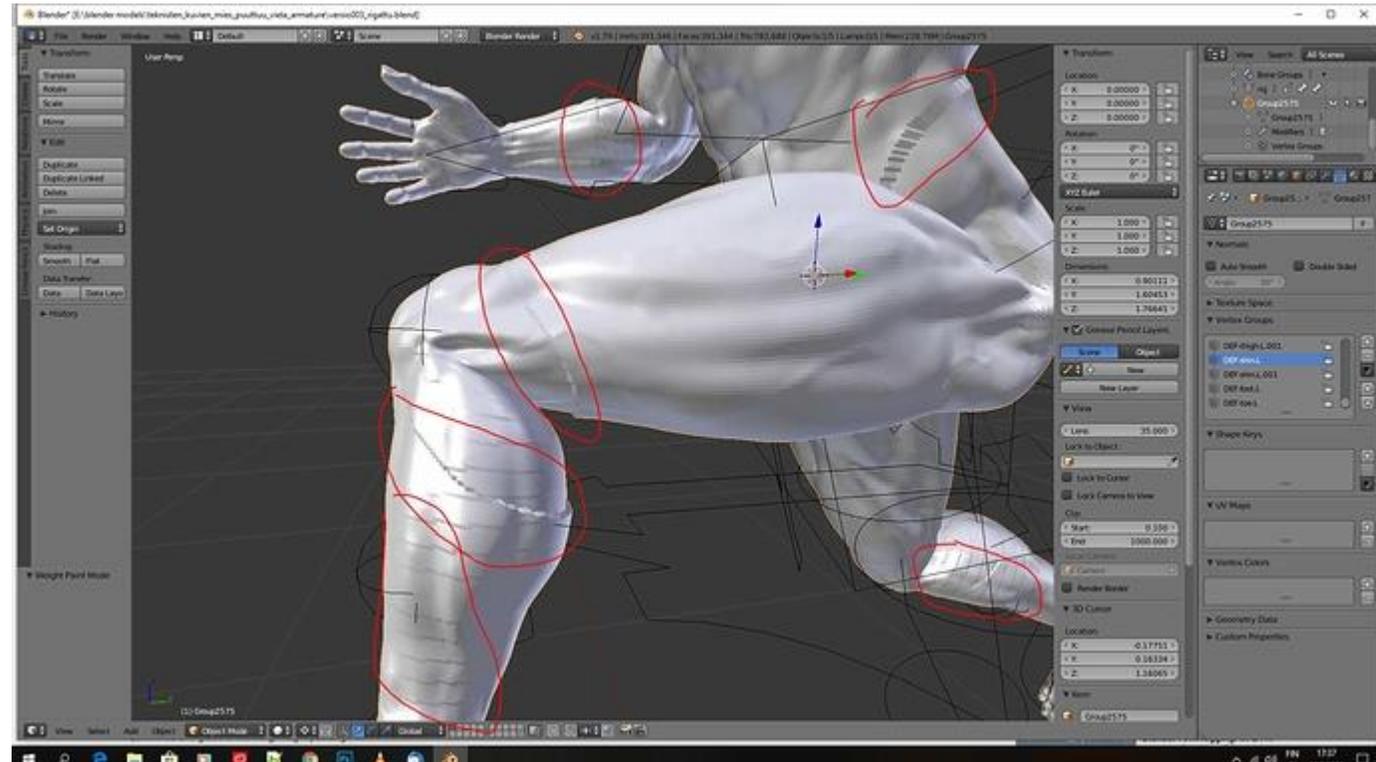
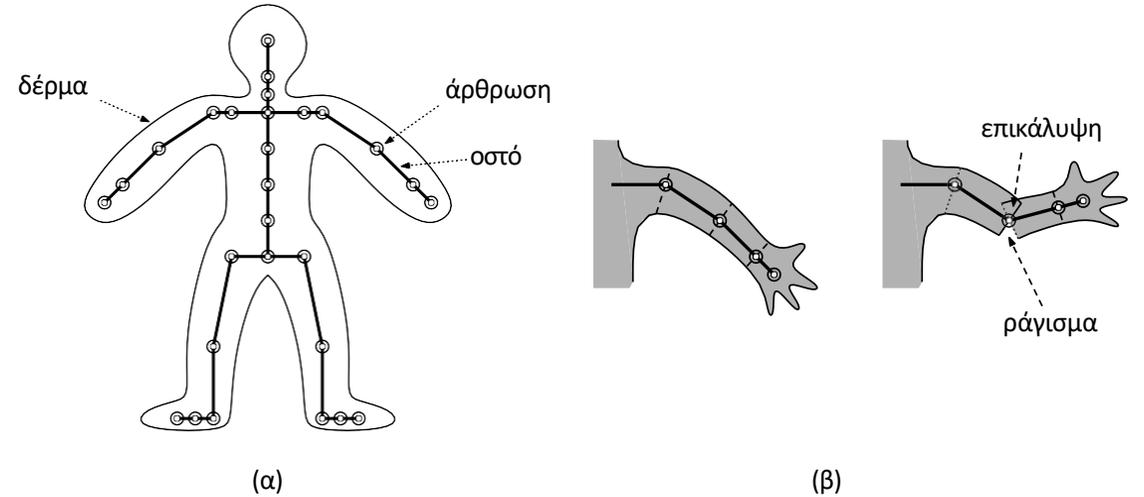
- Παρεμβολή μεταξύ καρέ-κλειδιών

- Κυβική για θέση
- Σφαιρική για quaternion



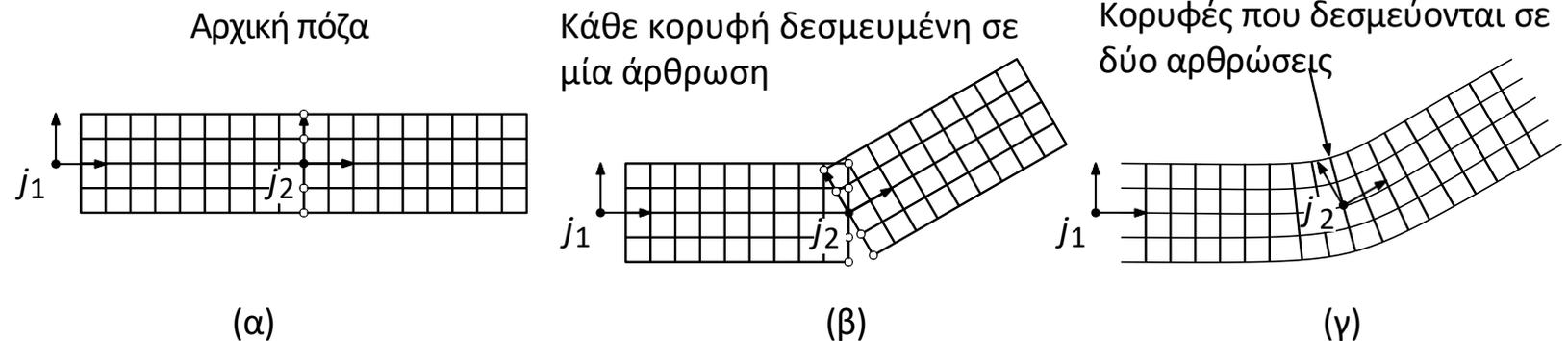
Ένδυση (Skinning)

- Σύνδεση του πλέγματος στις αρθρώσεις
- Μετακίνηση πλέγματος με τη γονική άρθρωση
- Προβλήματα:
 - Ράγισμα και παραμόρφωση
- Κόλπα:
 - Χρήση φανταστικών χαρακτήρων με αποσυνδεδεμένα μέρη
 - Χρήση ρομπότ με μηχανικές αρθρώσεις που δεν απαιτούν ένδυση

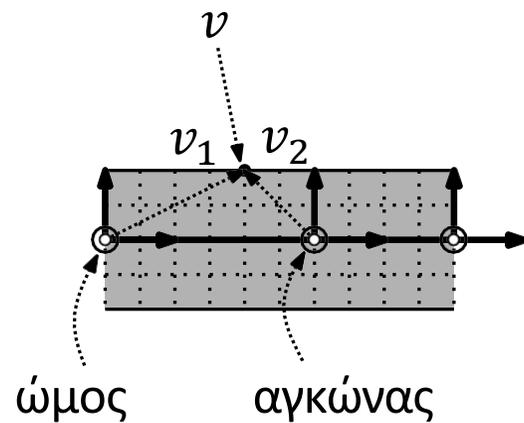


Λύση: Ανάμειξη στις Αρθρώσεις

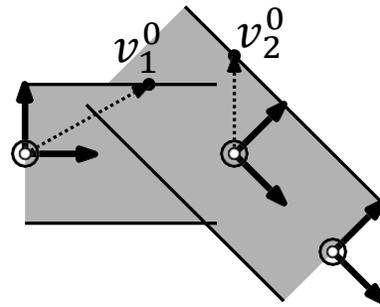
- Δέσμευση κάθε κορυφής του πλέγματος σε **μία** άρθρωση
 - Μετακίνηση με την άρθρωση
 - Ράγισμα!
-
- Δέσμευση σε **δύο (ή και παραπάνω)** αρθρώσεις
 - Παρεμβολή



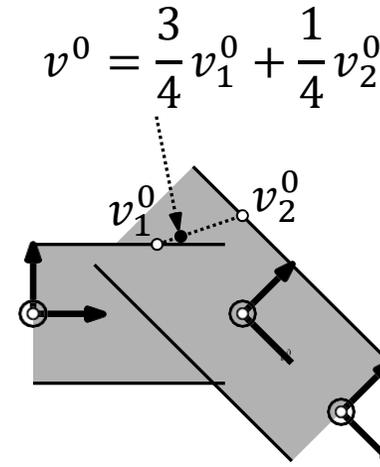
Γραμμική Ανάμειξη με Βάρη



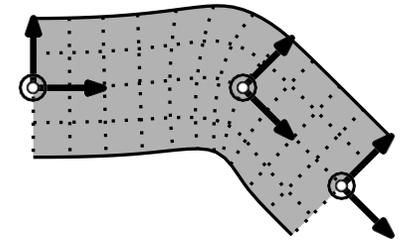
(α)



(β)

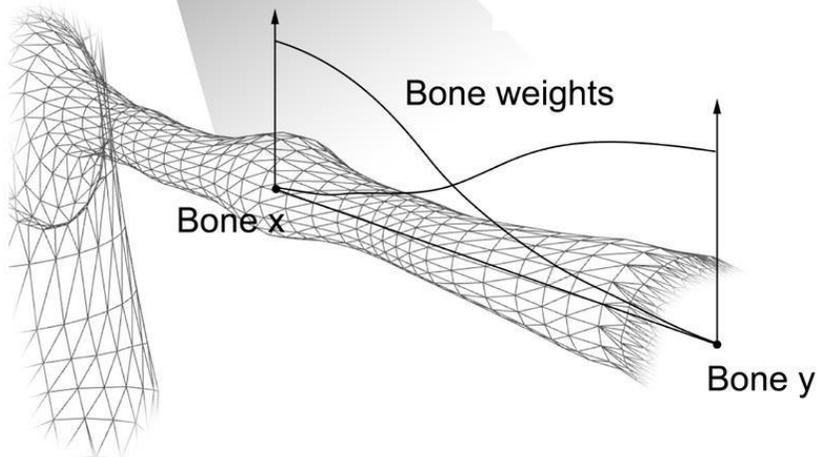
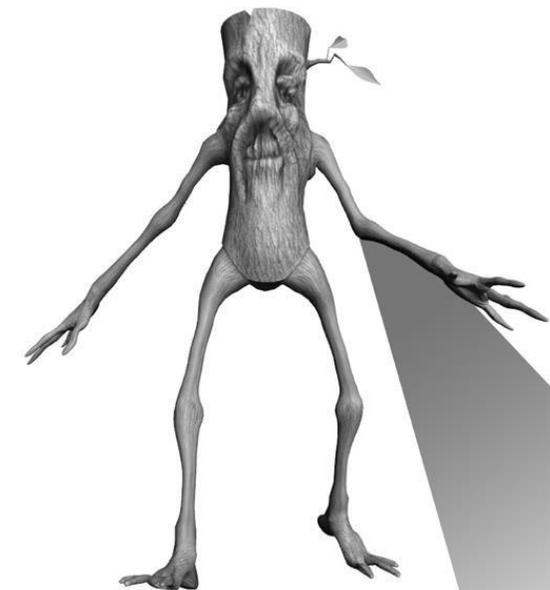


(γ)



(δ)

Πώς Επιλέγονται τα Βάρη;

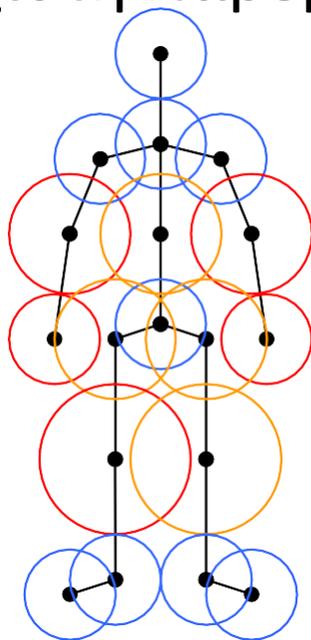
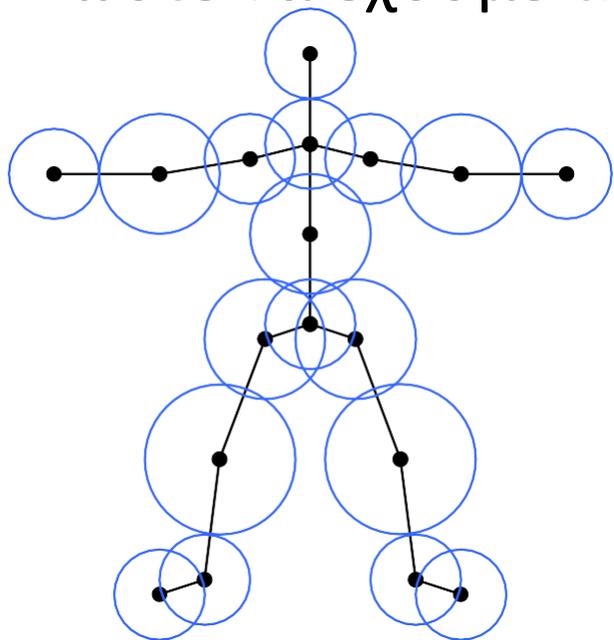


- Τα βάρη εκχωρούνται χειροκίνητα ή
- Αυτόματα (ή ημιαυτόματα)
 - **Κοντινότεροι γείτονες:**
 - Μη μηδενικά βάρη για τα πλησιέστερα 2 οστά κάθε κορυφής
 - Ζύγιση ανάλογα με την απόσταση
 - **Περίβλημα (envelope):**
 - Για κάθε ζεύγος οστών, αντιστοιχίστε ένα βάρος (μία μονάδα) σε κάθε κορυφή που συναντά μέσα σε μια περιοχή επιρροής (περίβλημα ισχύος)
 - Κανονικοποίηση βαρών για κάθε κορυφή (μοναδιαίο άθροισμα)

Παράδειγμα (Περίβλημα)

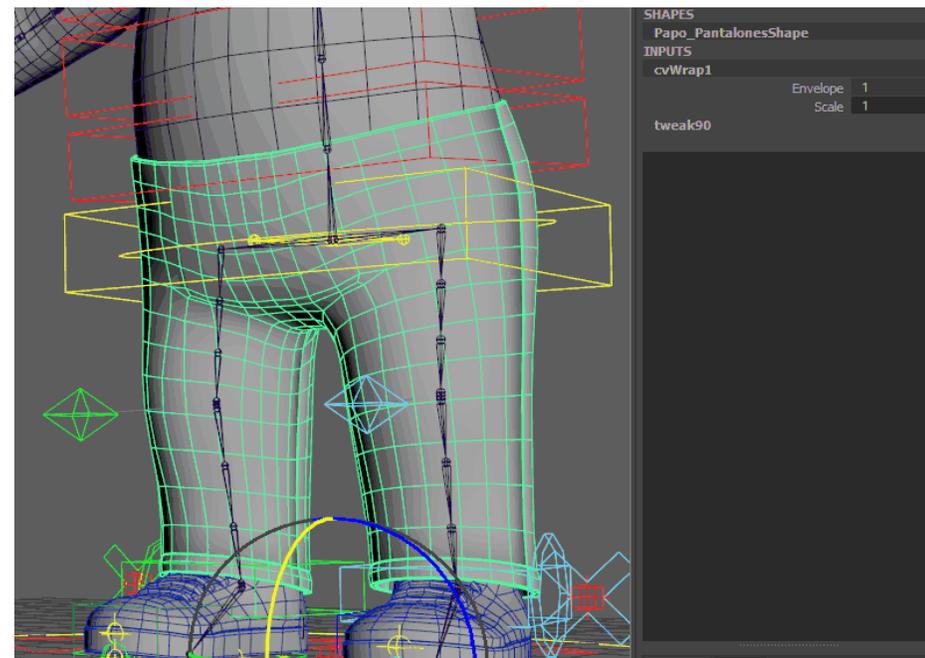
Πόζα ηρεμίας:

- Τα οστά θα πρέπει αρχικά να είναι τοποθετημένα όσο πιο μακριά γίνεται ώστε να έχουμε την ελάχιστη παρέμβαση

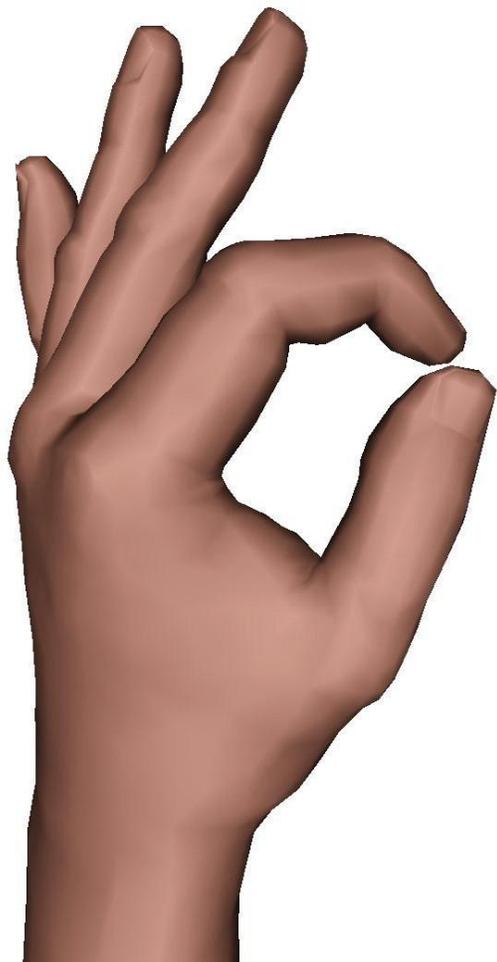


Απλωμένη Θέση: Ελάχιστη παρέμβαση μεταξύ διαφορετικών κλάδων στην ιεραρχία

Όρθια θέση: Το μπράτσο και ο κορμός μοιράζονται οστά. Το ίδιο με τα πόδια



Παράδειγμα



Τα χρωματισμένα
τρίγωνα
επισυνάπτονται σε ένα
οστό (2 αρθρώσεις)

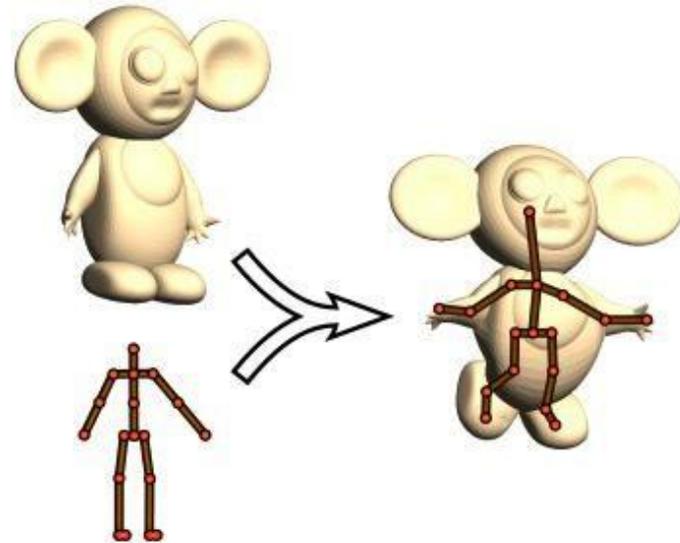
Τα μαύρα τρίγωνα
επισυνάπτονται σε
παραπάνω από 1 οστά

Προσέξτε ότι τα μαύρα
είναι κοντά στις
αρθρώσεις

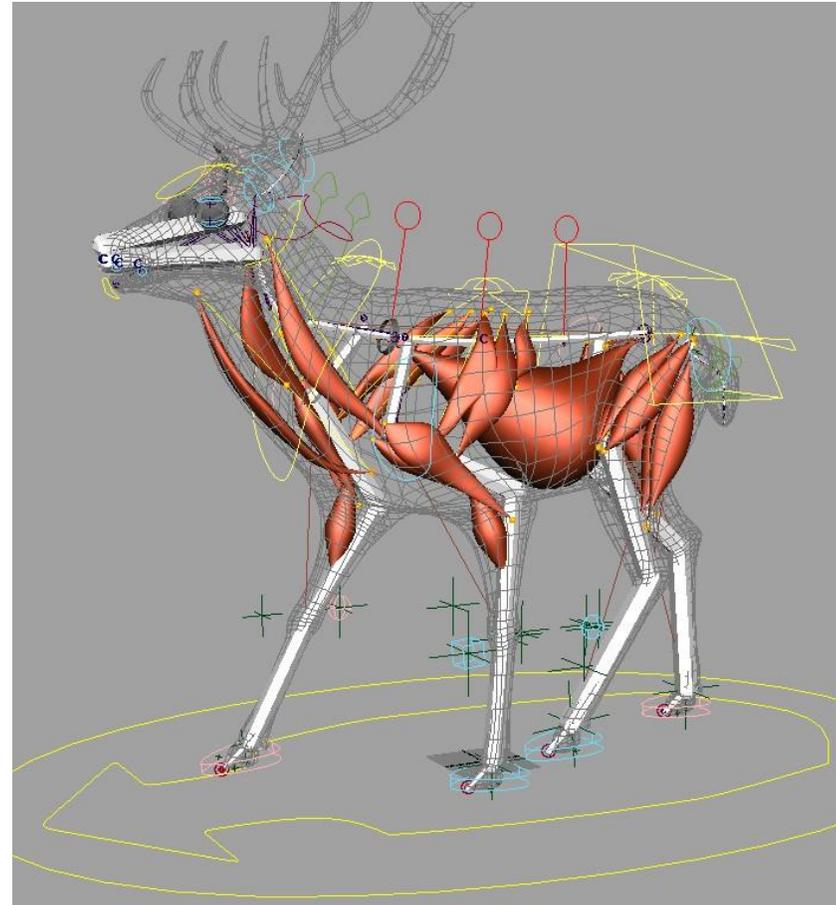
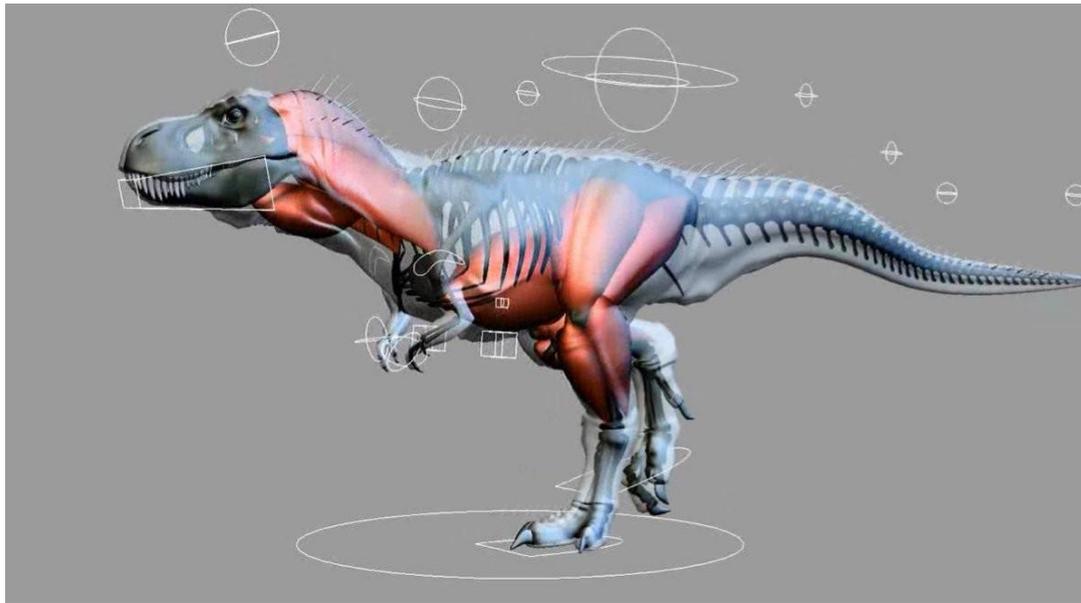
Αυτόματη Ένδυση

- Όταν έχετε απλώς κάποιο αρχικό animation σκελετού (π.χ., από σύλληψη κίνησης) και ένα πλέγμα δέρματος, υπολογίστε τους μετασχηματισμούς των οστών και τα βάρη κορυφών αυτόματα.

Ilya Baran, Jovan Popovic: Automatic Rigging and Animation of 3D Characters, SIGGRAPH 2007



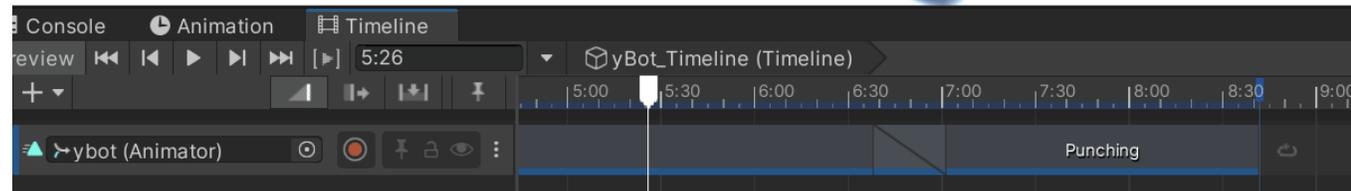
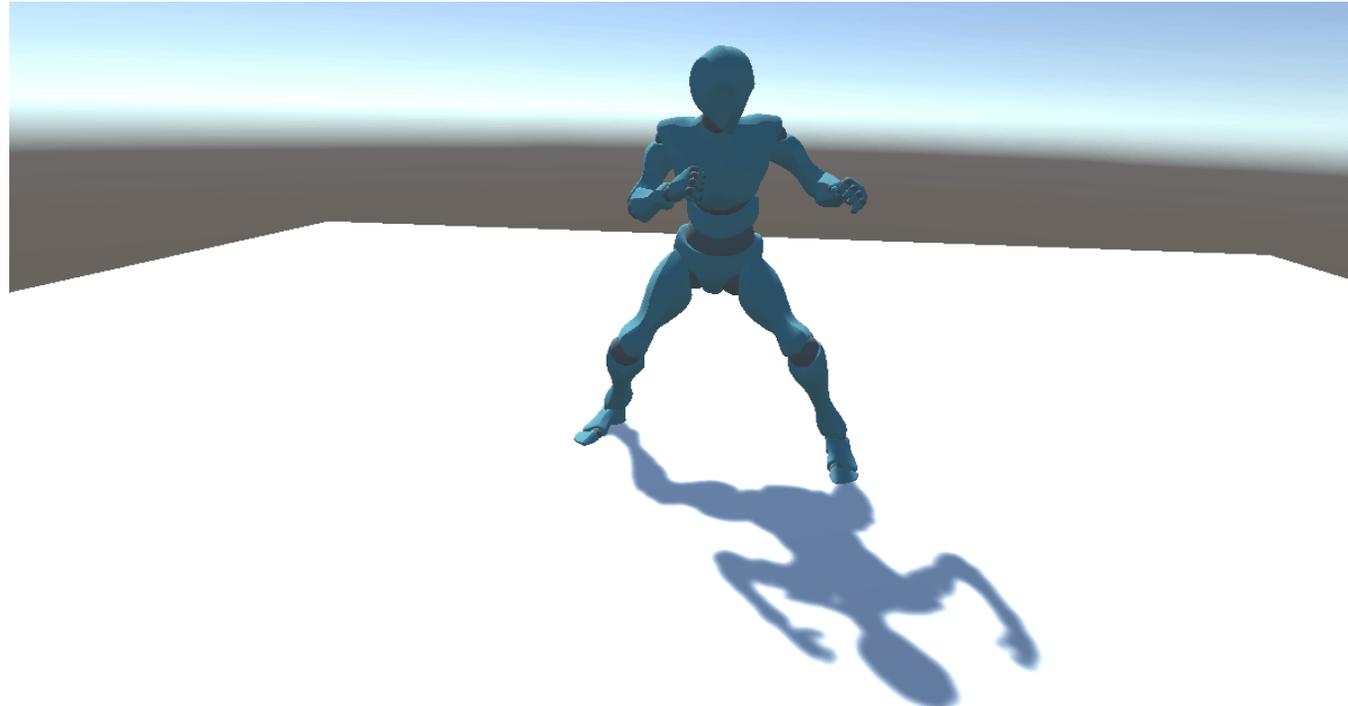
Καλλιτεχνική Ένδυση – μυς και άλλα



Ανάμειξη Animation

Εκτέλεση Animation

- Ο καθολικός χρόνος είναι ο χρόνος του παιχνιδιού
- Τα animation αποθηκεύονται σε τοπικό χρόνο
 - Το animation ξεκινά στον τοπικό χρόνο 0
- Η ταχύτητα είναι ο λόγος αυτών των δύο εννοιών χρόνου



Ανάμειξη Animation

LERP: Linear Interpolation – Γραμμική Παρεμβολή

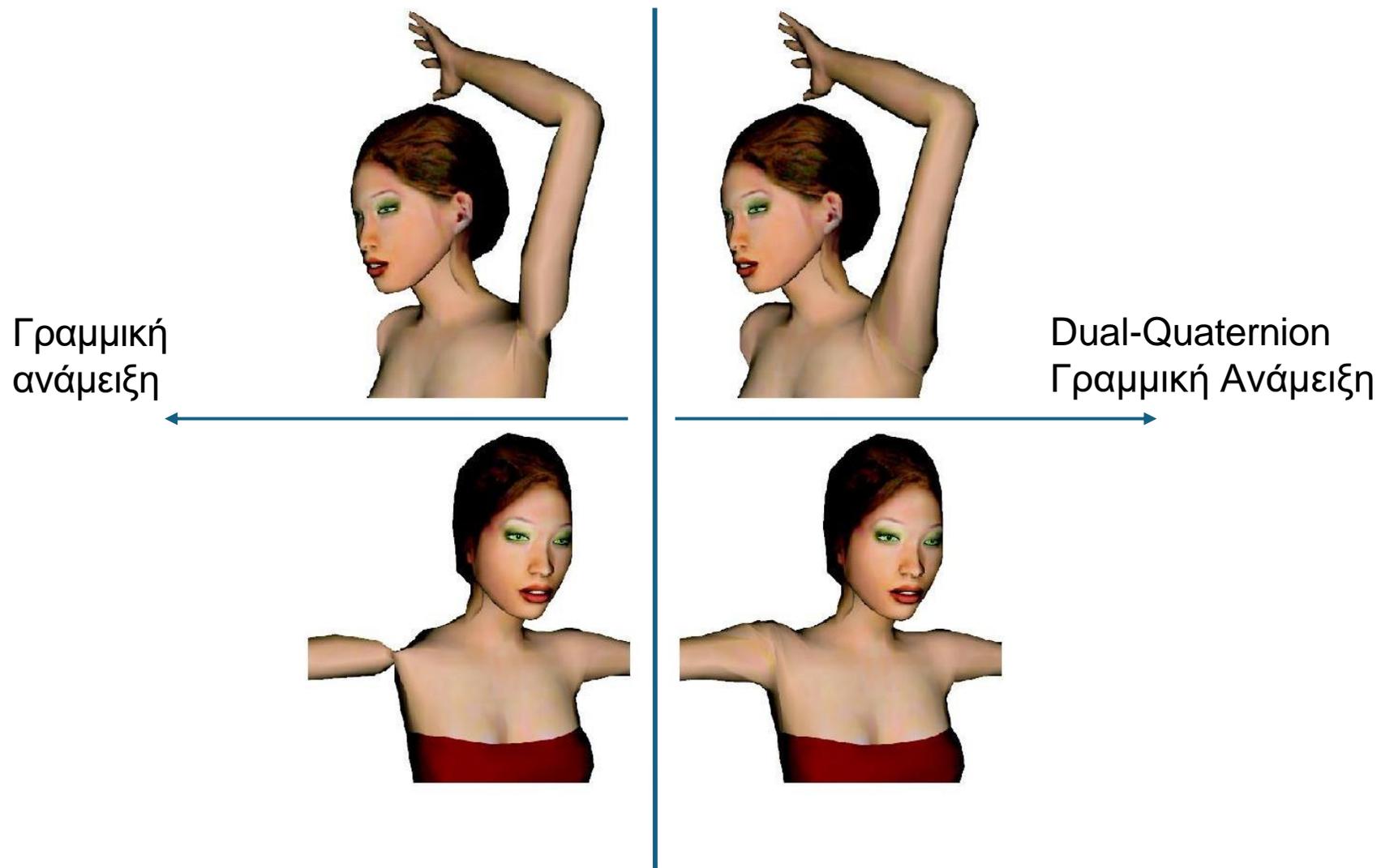
- Αποτελεί βασική τεχνική ανάμειξης animation
- Αναμιγνύει τα A και B με ένα βαθμωτό βάρος

$$\text{lerp}(A, B, i) = iA + (1 - i)B$$

- Η μεταφορά, η κλιμάκωση και η διάτμηση (shear) είναι εύκολες
 - LERP σε κάθε συνιστώσα
- Οι περιστροφές είναι πιο ζόρικες
 - Λύση: Ανάμειξη quaternion

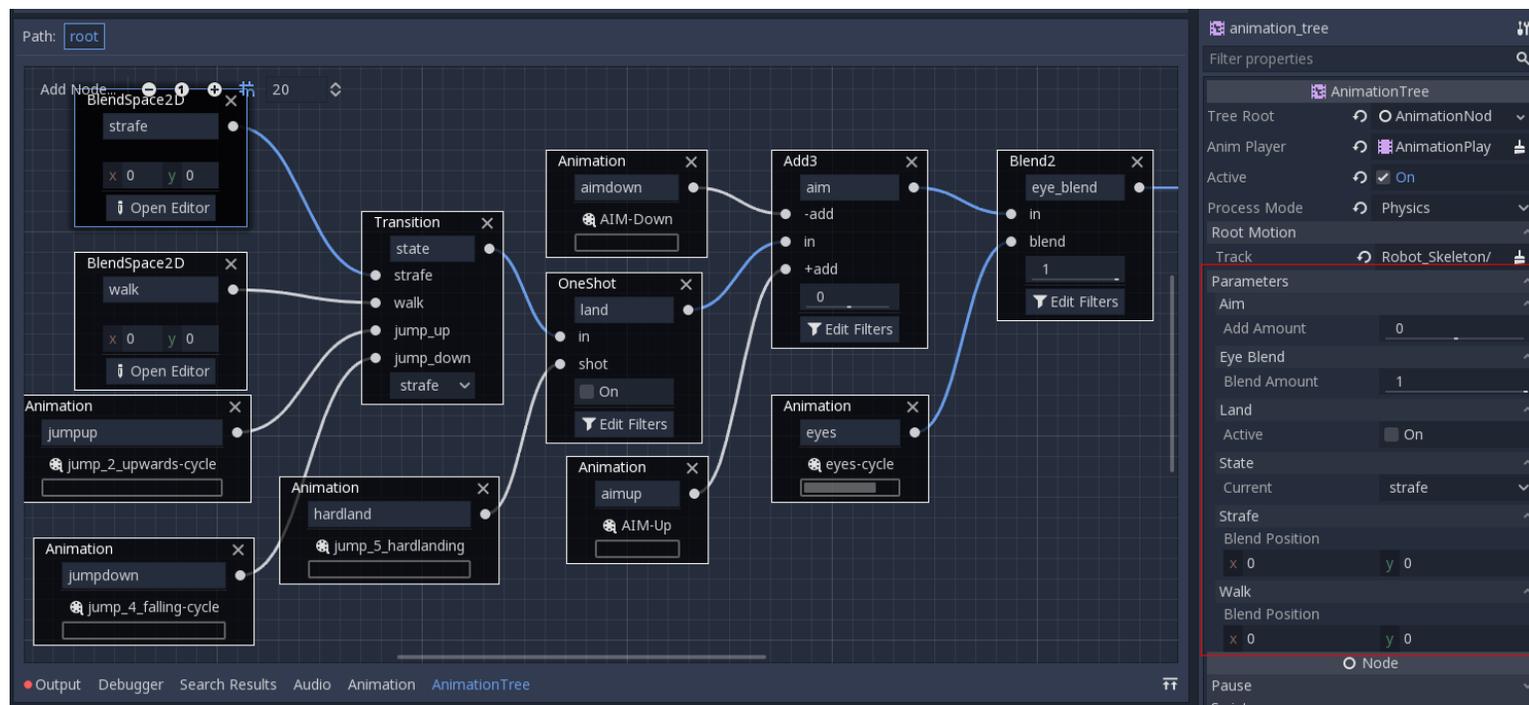


Διαφορές στην Ανάμειξη



Ιεραρχική Ανάμειξη

- Μπορεί να συνδυάσει όλα τα στυλ ανάμειξης
- Ένα δένδρο ή ένα κατευθυνόμενο γράφημα κόμβων
- Κάθε φύλλο αντιστοιχεί σε ένα animation
- Κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μία ανάμειξη



Διαδικασιακό Animation

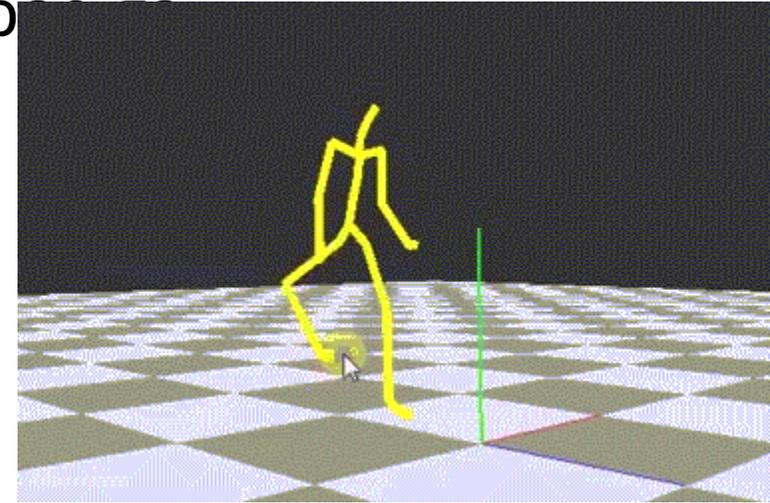
Procedural Animation

Διαδικασιακό Animation

Η αναπαράσταση ενός animation από έναν αλγόριθμο

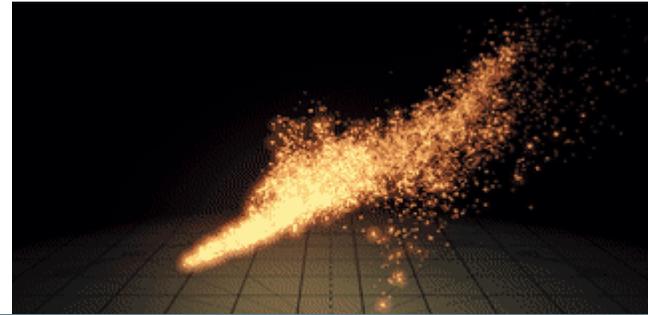
– Το animation δημιουργείται αυτόματα και πολλές φορές
πραγματικό χρόνο

- Animations βασισμένα σε Φυσική:
 - Χρήση μηχανών φυσικής για ρεαλιστική κίνηση
- Αντίστροφη Κινηματική (Inverse Kinematics):
 - Δυναμική τοποθέτηση ποδιού σε ανώμαλο έδαφος
- **Αλγοριθμικά Animations:**
 - Συστήματα σωματιδίων

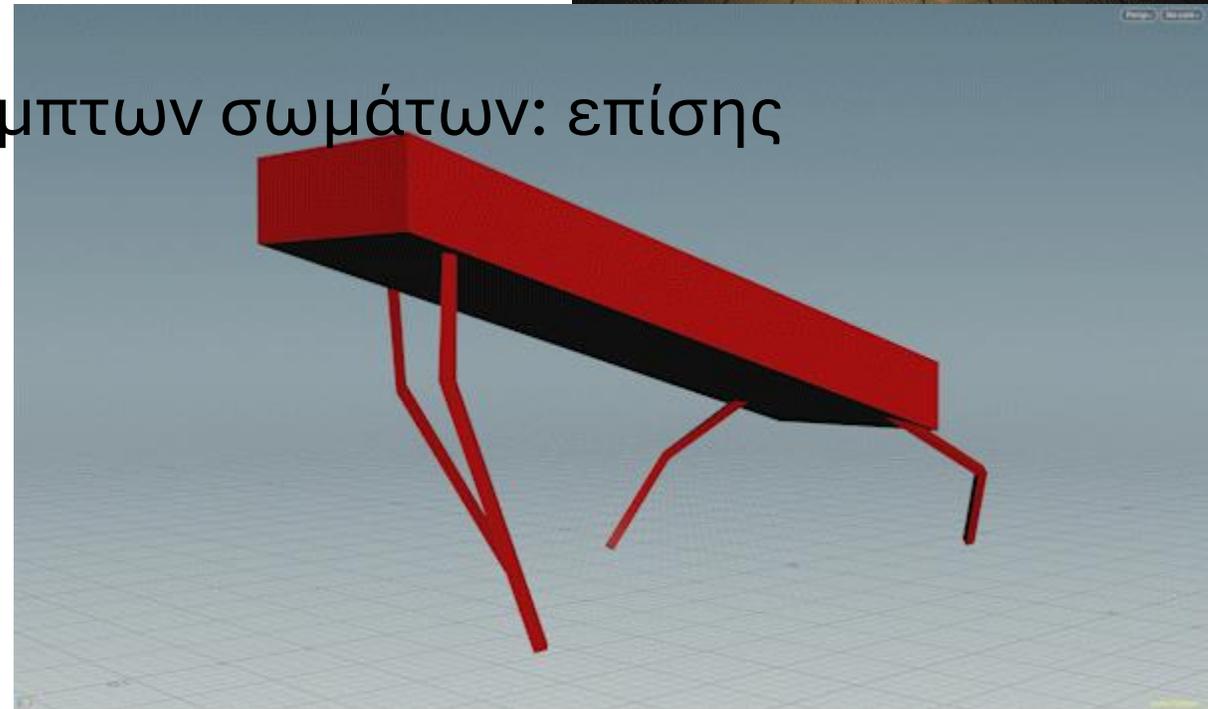


Παραδείγματα

– **Συστήματα σωματιδίων:** η μεγαλύτερη κλάση τέτοιου τύπου animation



– Σκελετικό animation και animation άκαμπτων σωμάτων: επίσης μπορεί να γίνει διαδικασιακά



Προβλήματα

- Πολυπλοκότητα:
 - Απαιτεί προχωρημένες μαθηματικές γνώσεις.
- Απόδοση:
 - Οι υπολογισμοί πραγματικού χρόνου μπορεί να έχουν μεγάλο κόστος.
- Μη Προβλεψιμότητα:
 - Πιο δύσκολο να προβλεφθεί το αποτέλεσμα σε σχέση με το animation που βασίζεται σε καρέ-κλειδιά.



Σύλληψη Κίνησης

Motion Capture (MoCap)

MoCap



Είναι η διαδικασία εγγραφής και μετατροπής της κίνησης ζωντανών οντοτήτων (ανθρώπων ή άλλων) με σκοπό την ανάλυσή της ή τη μεταφορά της σε συνθετικά μοντέλα.

Εφαρμογές και Χαρακτηριστικά

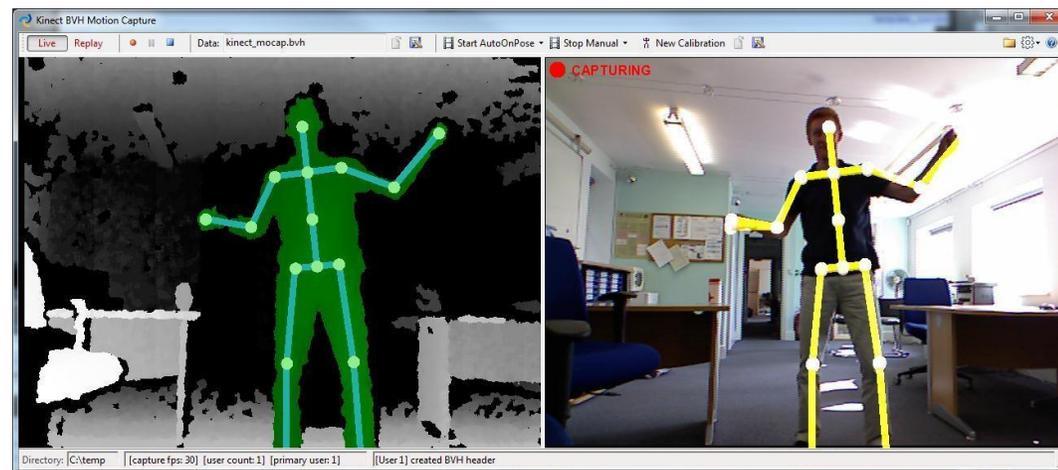
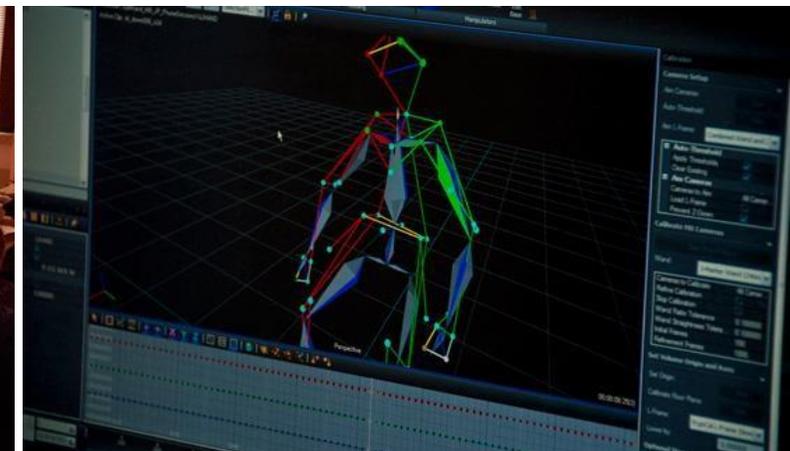
- Κινηματογράφος, παιχνίδια και ζωντανή κίνηση ως είσοδο (Kinect παιχνίδια)
- Το αποτέλεσμα έχει μικρή καθυστέρηση και είναι πραγματικού χρόνου
- Κόστος
 - Μεγάλο κόστος εξειδικευμένου εξοπλισμού και προσωπικού
 - Κάποιες κινήσεις δεν μπορούν να συλληφθούν (π.χ., πτήση δράκου)
 - + Η πολυπλοκότητα της κίνησης μας είναι αδιάφορη
 - + Ο animator απλά βελτιστοποιεί το αποτέλεσμα
- Πολύπλοκες κινήσεις και ρεαλιστικές φυσικές αλληλεπιδράσεις όπως δευτερεύουσες κινήσεις, βάρος και αλληλεπίδραση δυνάμεων μπορούν εύκολα να αναδημιουργηθούν με ακριβή τρόπο

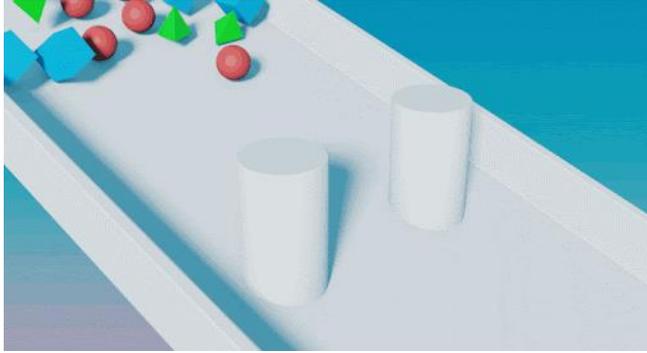
Τεχνικές

- Οπτική παρακολούθηση

- Ενεργοί δείκτες
- Παθητικοί δείκτες
- Χωρίς δείκτες

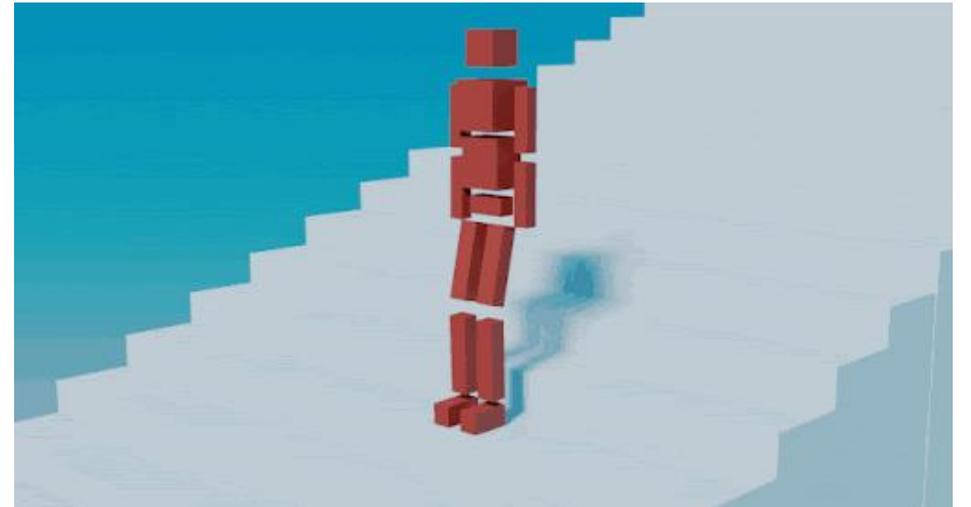
- Αδρανειακή παρακολούθηση





Animation Βασισμένο στη Φυσική

Το έχουμε δει στις μηχανές φυσικής



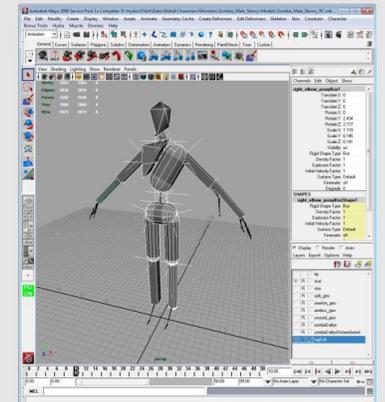
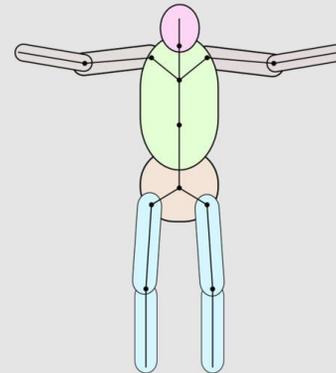
Ragdoll Φυσική (Κούκλα από Κουρέλι...😊)

Προσομοίωση του σώματος ενός χαρακτήρα ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένων άκαμπτων σωμάτων.

- Εφαρμογές:
 - Ρεαλιστικοί θάνατοι χαρακτήρων.
 - Δυναμικές αντιδράσεις σε δυνάμεις και συγκρούσεις.
- Λεπτομέρειες Υλοποίησης:
 - Καθορισμός φυσικών περιορισμών.
 - Ενσωμάτωση στη μηχανή φυσικής.



A ragdoll is a collection of collision shapes connected to bones



Μικρή και Γρήγορη Σύγκριση Τεχνικών

Καρέ-Κλειδί animation:

- Ακρίβεια και έλεγχος

Σκελετικό animation:

- Ευελιξία και επαναχρησιμοποίηση

Διαδικασιακό και Βασισμένο σε Φυσική animation:

- Δυναμισμός και προσαρμογή

Σύλληψη Κίνησης:

- Ρεαλισμός και διαφορετικές χροιές

Παραδείγματα Κάποιων Βιντεοπαιχνιδιών



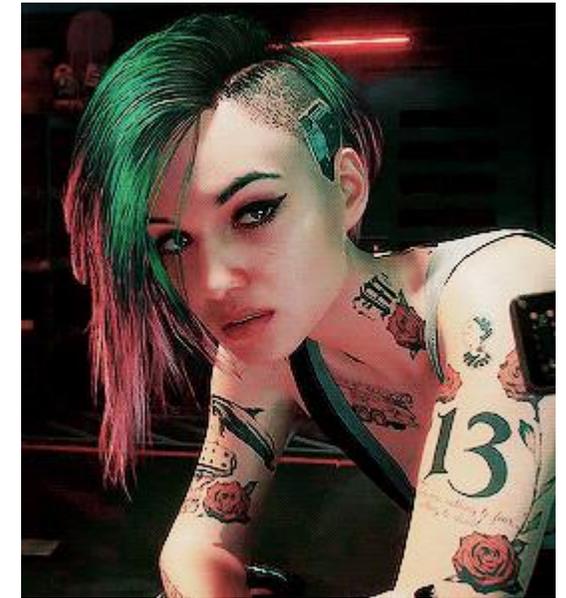
LA Noire (2011) – MoCap στο πρόσωπο



Rainworld (2017) – Διαδικασιακό animation των χαρακτήρων



Uncharted 2: Among Thieves (2009) –
Συνδυασμός MoCap και Καρέ-κλειδιών



Cyberpunk 2077 (2022) – AI για την παραγωγή εκφράσεων του προσώπου