

Μηχανές Φυσικής - Ήχος

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΙΧΛΑΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ: ΠΟΤΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΚΑΡΥΩΤΗ ΒΑΡΒΑΡΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Εισαγωγή	4
Η Φυσική στα Παιχνίδια	4
Γιατί να προσθέσω φυσική στο παιχνίδι μου;	4
Χρήση φυσικής.....	5
Μηχανές Φυσικής (Physics Engines)	5
Προσομοίωση από Μηχανές Φυσικής.....	6
Πραγματικού Χρόνου έναντι Υψηλής Ακριβείας Προσομοίωση Φυσικής.....	6
Βασικά Στοιχεία Μηχανής Φυσικής.....	6
Δυναμική Άκαμπτου Σώματος.....	7
Δυναμική Μαλακού Σώματος.....	7
Προσομοίωση Υγρών	7
Ανίχνευση Σύγκρουσης και Απόκριση	8
Εμπορικές Πραγματικού Χρόνου Μηχανές Φυσικής	9
Ανοικτού Κώδικα και Δωρεάν Πραγματικού-Χρόνου Μηχανές Φυσικής	9
Havok	10
PhysX	10
Bullet.....	10
Ανίχνευση Σύγκρουσης & Απόκριση	11
Συγκρούσεις.....	11
Στατικά έναντι Δυναμικών Αντικειμένων	11
Βρόχος Παιχνιδιού	12
Τεχνικές Ανίχνευσης Σύγκρουσης	12
Διαφορετικές Οπτικές Γωνίες.....	12
Έλεγχος τομής.....	13
Αναλυτικές: Παράδειγμα Τομής Ακτίνας με Τρίγωνο.....	13
Γεωμετρικές: Κινούμενη Σφαίρα	14
SAT Θεώρημα	14

Παράδειγμα: Τρίγωνο - Ορθογώνιο (SAT).....	15
Δυναμικός Έλεγχος Τομής.....	15
Περιορισμοί	16
Έλεγχος Επικάλυψης.....	16
Στιγμή Σύγκρουσης	16
Θέματα Πολυπλοκότητας	17
Colliders	17
Μειώνοντας την Πολυπλοκότητα: Άθροισμα Minkowski	18
Ιεραρχία Οριοθετημένων Όγκων.....	18
Ανίχνευση Σύγκρουσης βασισμένη σε BVH	18
Ένα Παράδειγμα: Ανίχνευση Σύγκρουσης με Ακτίνες	19
Όρια της Μεθόδου	19
Σφάλματα (Glitches)	20
Πιθανές Λύσεις.....	20
Απόκριση Σύγκρουσης.....	21
Παραδείγματα.....	21
Ανακεφαλαίωση	21
Συστήματα Σωματιδίων για Έκρηξη	22
Μελέτη Περίπτωσης: Αποφυγή Εμποδίων στο Horizon: Zero Dawn	22
Βήματα	23
Velocity Obstacles.....	23
Συνδυασμός Velocity Obstacles.....	23
Υπολογισμός Νέου Διανύσματος Ταχύτητας.....	24
Βαθμολόγηση Διαφορετικών Ταχυτήτων.....	24
Επιπλέον Σημεία	24
Μετακίνηση Σωμάτων	25
Δύναμη και Ώθηση	25
Φυσική Σωματιδίων	25
Θέση, Ταχύτητα και Επιτάχυνση	25

Προσομοίωση Φυσικής.....	26
Παράδειγμα Προσομοίωσης 2d Βολής	26
Αριθμητική Προσομοίωση.....	27
Μέθοδοι Πεπερασμένων Διαφορών.....	27
Euler Ολοκληρωτής	27
Το Πρόβλημα με τον Ολοκληρωτή Euler	28
Αντιμέτωπιση Σφαλμάτων	28
Επιλυτές Περιορισμών	28
Ο Ολοκληρωτής Verlet	29
Άκαμπτα Σώματα	29
Κίνηση: Μοντελοποίηση Αντικειμένων.....	29
Άκαμπτα Σώματα	30
Προσομοίωση	30
Απόδοση Ήχου σε 3d.....	31
Εισαγωγή.....	31
Βασική ορολογία ήχου.....	31
3d Μηχανή Ήχου	31
Μοντελοποίηση Ηχητικού Κόσμου	32
Εξασθένιση με βάση την απόσταση	32
Pan.....	32
Τύποι Μετάδοσης Ήχου	33
Λαμβάνοντας Υπόψη τη Γεωμετρία.....	33
Αντήχηση	33
Τεχνολογία Συγχρονισμού Χειλιών (Lip-sync).....	34

Μηχανές Φυσικής-Ήχος

Εισαγωγή

Η φυσική στα βιντεοπαιχνίδια είναι το σύστημα που επιτρέπει τη ρεαλιστική προσομοίωση των κινήσεων, των δυνάμεων και των αλληλεπιδράσεων στον εικονικό κόσμο. Στόχος είναι να προσφέρει μια εμπειρία που μιμείται τον πραγματικό κόσμο, χωρίς να απαιτεί υπερβολικό υπολογιστικό κόστος. Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν τη φυσική στα παιχνίδια περιλαμβάνουν τη δυναμική άκαμπτων και μαλακών σωμάτων, την ανίχνευση και απόκριση σύγκρουσης, την προσομοίωση ρευστών και άλλα. Οι μηχανές φυσικής παρέχουν εργαλεία για την αποτελεσματική υλοποίηση αυτών των στοιχείων. Η κατανόηση του πώς λειτουργούν οι μηχανισμοί της φυσικής είναι απαραίτητη για τη δημιουργία παιχνιδιών με ρεαλιστική και διασκεδαστική εμπειρία.

Η Φυσική στα Παιχνίδια

Η φυσική στα παιχνίδια δεν απαιτεί την απόλυτη ακρίβεια που υπάρχει στις επιστημονικές εφαρμογές. Η δημιουργία ενός τέλει φυσικού μοντέλου έχει υψηλό κόστος τόσο σε χρόνο όσο και σε υπολογιστική ισχύ. Αντ' αυτού, χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις βασισμένες στη Νευτώνεια φυσική και σε άκαμπτα σώματα. Εφαρμόζονται τεχνικές διακριτής προσομοίωσης που είναι πιο γρήγορες και ρεαλιστικές στο επίπεδο που χρειάζεται. Η απλή διαχείριση του κέντρου μάζας είναι συνήθως αρκετή για να προσφέρει ικανοποιητική εμπειρία.

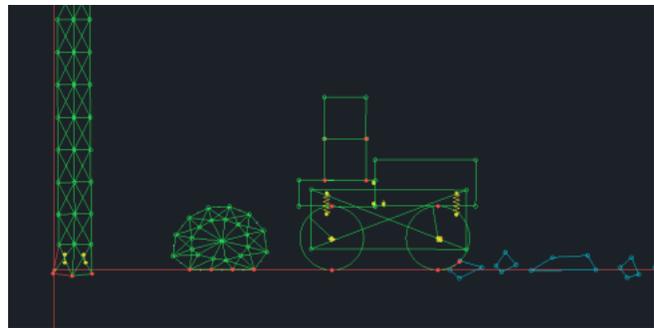
Γιατί να προσθέσω φυσική στο παιχνίδι μου;

Η ενσωμάτωση φυσικής στο παιχνίδι είναι χρήσιμη για την βελτίωση διαφορετικών τομέων όσον αφορά στο παιχνίδι μας. Αρχικά, βελτιώνεται η εμπειρία του παίκτη, καθώς οι κινήσεις γίνονται πιο φυσικές και οικείες και οι εικονικοί κόσμοι γίνονται πιο γνώριμοι για τον παίκτη, πράγμα που απαιτείται σε ορισμένους τύπους παιχνιδιών (π.χ., ποδόσφαιρο). Η φυσική μπορεί να προσθέσει βάθος και πολυπλοκότητα μέσω αναδυόμενης συμπεριφοράς για να εμπλουτίσει την εμπειρία του χρήστη. Σε παιχνίδια δράσης ή προσομοίωσης, η φυσική είναι

απαραίτητη για ρεαλιστική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Επιπλέον, σημαντική είναι η χρήση φυσικής για την μείωση του κόστους του παιχνιδιού, σε σύγκριση με τεχνικές όπως τα κινούμενα καρτέ από καλλιτέχνη ή το motion capture, τα οποία είναι σημαντικά πιο ακριβά τόσο σε κόστος όσο και σε κατανάλωση χρόνου. Δηλαδή, δεν απαιτείται μεγάλη καλλιτεχνική συμβολή και υπάρχει σημαντική μείωση του κόστους για την επιπλέον ανάπτυξη περιεχομένου.

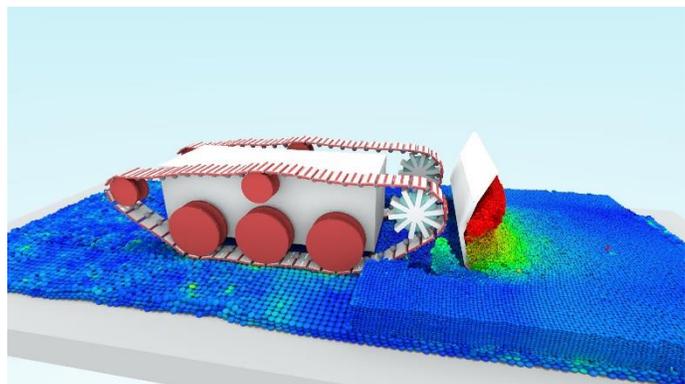
Χρήση φυσικής

Μία σημαντική εργασία της προσομοίωσης φυσικής στα παιχνίδια αφορά τη διαχείριση συγκρούσεων και την κίνηση αντικειμένων. Η ανίχνευση σύγκρουσης καθορίζει αν και πότε δύο αντικείμενα συγκρούονται. Η απόκριση σύγκρουσης καθορίζει τι θα συμβεί μετά τη σύγκρουση, όπως η αλλαγή κατεύθυνσης ή η μεταβολή της ταχύτητας ενός αντικειμένου. Η κίνηση μπορεί να είναι κινηματική, όπου αγνοούνται οι δυνάμεις, ή δυναμική, όπου λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις και οι ροπές. Η σωστή διαχείριση αυτών των στοιχείων βελτιώνει τον ρεαλισμό του παιχνιδιού.



Μηχανές Φυσικής (Physics Engines)

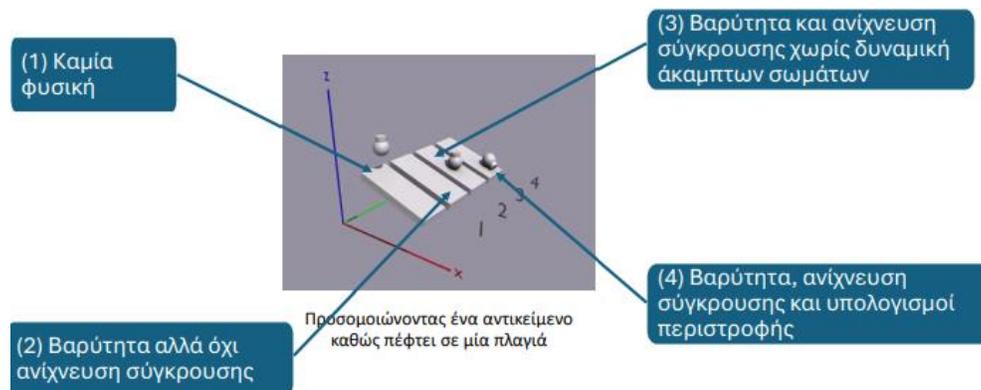
Οι μηχανές φυσικής είναι λογισμικά που βοηθούν στην προσομοίωση φυσικών φαινομένων στα παιχνίδια. Αυτές οι μηχανές προσφέρουν έτοιμες λύσεις για τη διαχείριση δυνάμεων, συγκρούσεων και κινήσεων αντικειμένων. Μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικά είδη σωμάτων, όπως άκαμπτα σώματα, μαλακά σώματα και προσομοίωση ρευστών. Η χρήση μηχανών φυσικής



εξοικονομεί χρόνο στους προγραμματιστές, καθώς δεν χρειάζεται να γράψουν από την αρχή αλγορίθμους φυσικής. Παραδείγματα μηχανών φυσικής είναι οι [Havok](#), [PhysX](#) και [Bullet](#), τις οποίες θα δούμε συνοπτικά παρακάτω.

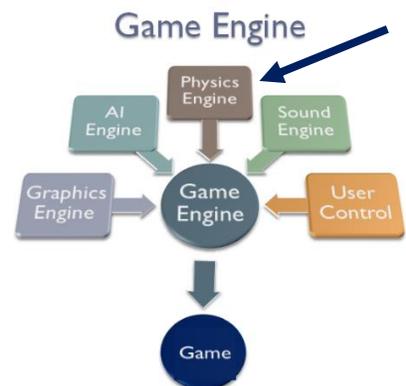
Προσομοίωση από Μηχανές Φυσικής

Οι μηχανές φυσικής μπορούν να προσομοιώσουν την κίνηση ενός αντικείμενου που πέφτει σε μια πλαγιά με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας. Στο απλούστερο επίπεδο, δεν υπάρχει καθόλου φυσική προσομοίωση. Σε επόμενα επίπεδα, προστίθεται βαρύτητα, ανίχνευση σύγκρουσης και υπολογισμός περιστροφής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Κάθε βήμα αυξάνει τον ρεαλισμό αλλά και τον υπολογιστικό φόρτο. Η επιλογή του επιπέδου πολυπλοκότητας εξαρτάται από τις ανάγκες του παιχνιδιού.



Πραγματικού Χρόνου έναντι Υψηλής Ακρίβειας Προσομοίωση Φυσικής

Η προσομοίωση φυσικής σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιείται σε παιχνίδια και απαιτεί ταχύτητα και απλοποίηση υπολογισμών. Αντίθετα, η υψηλής ακρίβειας προσομοίωση χρησιμοποιείται σε επιστημονικές εφαρμογές και ταινίες, όπου η ακρίβεια είναι πιο σημαντική. Οι προσομοιώσεις πραγματικού χρόνου θυσιάζουν λεπτομέρειες για ταχύτητα, ενώ οι υψηλής ακρίβειας απαιτούν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ. Το επίπεδο προσομοίωσης επιλέγεται με βάση τον στόχο του έργου και τον διαθέσιμο χρόνο απόκρισης.



Βασικά Στοιχεία Μηχανής Φυσικής

Μια μηχανή φυσικής περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία για την προσομοίωση φυσικών συστημάτων. Υποστηρίζει δυναμική άκαμπτων σωμάτων για αντικείμενα που δεν παραμορφώνονται, αλλά περιλαμβάνει επίσης δυναμική μαλακών σωμάτων για υλικά που παραμορφώνονται κατά την κίνηση. Μπορεί να προσομοιώσει ρευστά, όπως νερό ή καπνό,

καθώς και την ανίχνευση και απόκριση συγκρούσεων. Αυτά τα βασικά στοιχεία επιτρέπουν τη δημιουργία ρεαλιστικών αλληλεπιδράσεων στο παιχνίδι.

Δυναμική Άκαμπτου Σώματος



Η δυναμική άκαμπτου σώματος αφορά αντικείμενα που δεν παραμορφώνονται κατά την κίνησή τους. Η προσομοίωση περιλαμβάνει την παρακολούθηση της γραμμικής και γωνιακής ορμής των αντικειμένων. Η τελευταία είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν η περιστροφική κίνηση παίζει ρόλο στην εμπειρία του παιχνιδιού. Παρόλο που τα αντικείμενα είναι «άκαμπτα», η σωστή διαχείριση της κίνησης και των συγκρούσεων δημιουργεί ρεαλισμό. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε πολλά είδη παιχνιδιών, όπως αγώνες και platformers.

Δυναμική Μαλακού Σώματος

Η δυναμική μαλακού σώματος χρησιμοποιείται για την προσομοίωση υλικών που παραμορφώνονται. Μπορεί να υλοποιηθεί μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως τα μοντέλα μάζας-ελατηρίου και η προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων. Επιπλέον, τρόποι



προσέγγισης αυτού του είδους προσομοίωσης είναι το ταίριασμα σχήματος αλλά και ορισμένοι μέθοδοι ελαχιστοποίησης ενέργειας. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τη δημιουργία οπτικά ρεαλιστικών παραμορφώσεων σε πραγματικό χρόνο. Η προσομοίωση μαλακών σωμάτων είναι πιο απαιτητική υπολογιστικά από αυτή των άκαμπτων σωμάτων. Ωστόσο, προσφέρει μεγάλη οπτική βελτίωση σε σκηνές με υλικά που παραμορφώνονται.

Προσομοίωση Υγρών

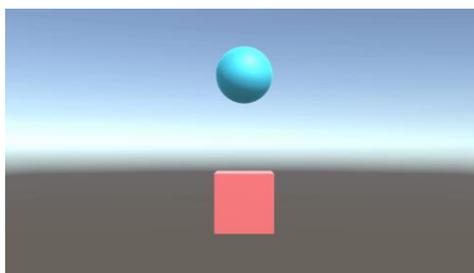
Η προσομοίωση υγρών χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στα παιχνίδια για να δημιουργήσει ρεαλιστικά εφέ νερού, καπνού και άλλων ρευστών. Βασίζεται στις εξισώσεις Navier-Stokes, οι οποίες περιγράφουν τη ροή των ρευστών. Τεχνικές όπως οι μέθοδοι Euler, οι μέθοδοι Lattice Boltzmann και η χρήση νευρωνικών δικτύων βοηθούν στην υλοποίηση

αυτών των εφέ. Η επιλογή της τεχνικής εξαρτάται από το επίπεδο λεπτομέρειας και το διαθέσιμο υπολογιστικό χρόνο. Οι προσομοιώσεις διαφέρουν σε επίπεδο πολυπλοκότητας, από απαιτητικές και χρονοβόρες προσομοιώσεις υψηλής ποιότητας που χρησιμοποιούνται σε ταινίες και ειδικά εφέ, μέχρι πιο απλοποιημένα συστήματα σωματιδίων που μπορούν να λειτουργήσουν σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα βιντεοπαιχνίδια.



Ανίχνευση Σύγκρουσης και Απόκριση

Η ανίχνευση σύγκρουσης περιλαμβάνει τον έλεγχο αν δύο ή περισσότερα αντικείμενα τέμνονται στο χώρο του παιχνιδιού. Η απόκριση σύγκρουσης καθορίζει τι πρέπει να συμβεί όταν ανιχνευθεί σύγκρουση, όπως αλλαγή κατεύθυνσης ή ταχύτητας. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τη χρήση μαθηματικών εργαλείων, όπως γραμμική άλγεβρα και υπολογιστική γεωμετρία. Η ανίχνευση σύγκρουσης μπορεί να γίνει για διαφορετικούς τύπους επιφανειών, όπως εύκαμπτες επιφάνειες ή κυρτά πολύεδρα. Η σωστή απόκριση σύγκρουσης είναι



απαραίτητη για την αποφυγή σφαλμάτων και τη διασφάλιση ρεαλιστικής φυσικής συμπεριφοράς.

Εμπορικές Πραγματικού Χρόνου Μηχανές Φυσικής

Υπάρχουν πολλές εμπορικές μηχανές φυσικής που προσφέρουν λύσεις για παιχνίδια και προσομιώσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τις Havok, NVIDIA PhysX και True Axis, οι οποίες είναι διαθέσιμες με διαφορετικές πολιτικές αδειοδότησης. Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση σύγκρουσης, τη δυναμική άκαμπτων και μαλακών σωμάτων, καθώς και για ειδικές προσομιώσεις όπως οχήματα και χαρακτήρες και χρησιμοποιούν συνήθως C++. Η επιλογή της μηχανής εξαρτάται από το είδος του παιχνιδιού και τον προϋπολογισμό της ανάπτυξης. Πολλές από αυτές διαθέτουν τιμολογιακές πολιτικές που είναι προσιτές σε ανεξάρτητους δημιουργούς (Indie developers) ή ερασιτέχνες χρήστες. Ακολουθούν ορισμένες μηχανές φυσικής ανοικτού Κώδικα και δωρεάν Πραγματικού-Χρόνου.

Havok	3d	free for non-commercial and inexpensive commercial PC games, fee-based for games above a price limit, non-game applications, and consoles.
NVIDIA PhysX	3d	free for PC-based games, free for PS3 through Sony pre-purchase, fee-based for other consoles
Digital Molecular Matter (DMM)	3d	fee-based licensing
SPE Simple Physics Engine	3d	free for noncommercial, fee-based for commercial
Chrono :: Engine	3d	free for noncommercial use, fee-based for commercial
True Axis	3d	free for noncommercial, fee-based for commercial with a reasonable indie license option
Gino van den Bergen's SOLID collision detection library	3d	fee-based for commercial, open sourced for GPL/QPL projects
SimVex	3d	Addon library for Havok enabling game-quality vehicle creation of any configuration, cars, motorcycles, aircraft, etc
CarX	3d	C++, fee-based licensing
Matali Physics	3d	commercial physics engine, free for use in non-commercial games

Ανοικτού Κώδικα και Δωρεάν Πραγματικού-Χρόνου Μηχανές Φυσικής

Bullet	3d	open source Zlib license
Open Dynamics Engine	3d	open source BSD license
Box2D	2d	open source permissive Zlib license
Tokamak Physics	3d	open source BSD license - Sourceforge Link
Newton Game Dynamics	3d	custom free-use license
JigLib	3d	open source Zlib license
Chipmunk	2d	open source unrestrictive MIT license
Open Tissue	various	open source Zlib license

Παρακάτω θα δούμε ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες μηχανές φυσικής.

Havok

Η [Havok](#) είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μηχανές φυσικής για παιχνίδια, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη σουίτα εργαλείων. Περιλαμβάνει το Havok Physics για ανίχνευση σύγκρουσης και δυναμική άκαμπτων σωμάτων, το Havok Cloth για προσομοίωση υφασμάτων και το Havok Navigation για AI πλοήγηση. Η Havok χρησιμοποιείται ευρέως σε παιχνίδια λόγω της απόδοσης και της ευελιξίας της. Παρέχει λύσεις για πολύπλοκες φυσικές αλληλεπιδράσεις και υποστηρίζεται από τις περισσότερες σύγχρονες πλατφόρμες.



PhysX

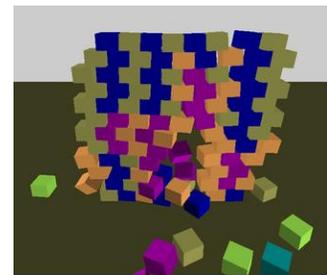


Η [PhysX](#) της NVIDIA είναι μια μηχανή φυσικής που προσφέρει επιτάχυνση μέσω GPU για βελτιωμένες επιδόσεις. Υποστηρίζει προσομοίωση άκαμπτων και μαλακών σωμάτων, ρευστών, και δυναμική οχημάτων. Η PhysX παρέχει ρεαλιστική προσομοίωση ρούχων, χαρακτήρων και άλλων αντικειμένων που απαιτούν παραμόρφωση.

Η μηχανή αυτή είναι ιδανική για παιχνίδια με υψηλές απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση της PhysX μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των φυσικών εφέ στα παιχνίδια.

Bullet

Το [Bullet](#) είναι μια ανοικτού κώδικα μηχανή φυσικής που χρησιμοποιείται τόσο σε παιχνίδια όσο και σε ταινίες. Υποστηρίζει προσομοιώσεις άκαμπτων και μαλακών σωμάτων με ανίχνευση σύγκρουσης και constraints. Παρέχει λειτουργίες όπως προσομοίωση ρούχων, σχοινιών και παραμορφώσιμων αντικειμένων. Το Bullet είναι ευέλικτο και μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορες απαιτήσεις ανάπτυξης παιχνιδιών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για έργα με περιορισμένο προϋπολογισμό, καθώς είναι δωρεάν και προσφέρει μεγάλη λειτουργικότητα.

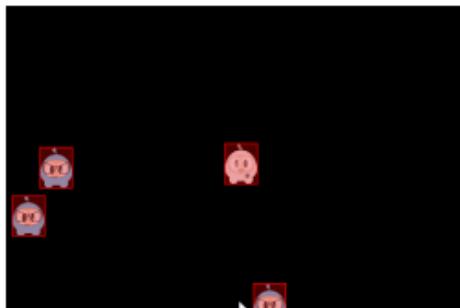


Ανίχνευση Σύγκρουσης & Απόκριση

Η ανίχνευση σύγκρουσης και η απόκριση είναι κρίσιμα στοιχεία για τη δημιουργία ρεαλιστικής φυσικής στα παιχνίδια. Η ανίχνευση σύγκρουσης βασίζεται σε γεωμετρικές τεχνικές για τον εντοπισμό επικάλυψης αντικειμένων. Η απόκριση σύγκρουσης καθορίζει τι συμβαίνει όταν δύο αντικείμενα συγκρούονται, όπως η αλλαγή κατεύθυνσης ή η δημιουργία ηχητικών εφέ. Η διαδικασία αυτή πρέπει να είναι αποδοτική για να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Η σωστή εφαρμογή εξασφαλίζει ότι οι συγκρούσεις είναι ρεαλιστικές και δεν προκαλούν σφάλματα στο παιχνίδι.

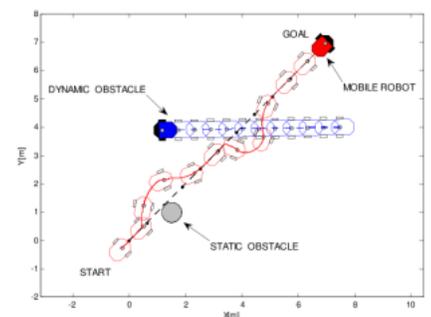
Συγκρούσεις

Οι συγκρούσεις αποτελούν μία από τις πιο κοινές και περίπλοκες λειτουργίες στα παιχνίδια. Η διαδικασία περιλαμβάνει ανίχνευση αν δύο κινούμενα αντικείμενα συναντώνται στον χώρο. Η απόκριση σύγκρουσης εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων, όπως η μάζα και η ταχύτητα. Τα σφάλματα στις συγκρούσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες συμπεριφορές, όπως αντικείμενα που διαπερνούν το ένα το άλλο. Η αποδοτική διαχείριση των συγκρούσεων είναι απαραίτητη για μια ομαλή και ρεαλιστική εμπειρία παιχνιδιού.



Στατικά έναντι Δυναμικών Αντικειμένων

Τα αντικείμενα στα παιχνίδια χωρίζονται σε στατικά και δυναμικά. Τα στατικά αντικείμενα δεν κινούνται, όπως το έδαφος και οι τοίχοι, ενώ τα δυναμικά αντικείμενα μπορούν να κινούνται και να αλληλεπιδρούν. Η ανίχνευση σύγκρουσης μεταξύ ενός στατικού και ενός δυναμικού αντικειμένου είναι πιο απλή και γρήγορη. Αντίθετα, η σύγκρουση μεταξύ δύο δυναμικών αντικειμένων απαιτεί πιο περίπλοκους υπολογισμούς. Η σωστή διαχείριση αυτών των κατηγοριών αντικειμένων βελτιώνει την απόδοση του παιχνιδιού.

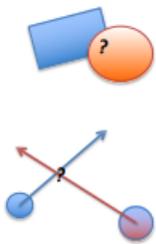


Βρόχος Παιχνιδιού

Ο βρόχος παιχνιδιού είναι η διαδικασία που εκτελείται επαναλαμβανόμενα για τον έλεγχο της ροής του παιχνιδιού. Περιλαμβάνει τον έλεγχο αν τα αντικείμενα συγκρούονται και την εφαρμογή της κατάλληλης απόκρισης. Η απλοϊκή προσέγγιση ελέγχει όλα τα ζεύγη αντικειμένων για συγκρούσεις, κάτι που μπορεί να είναι πολύ αργό. Ο βρόχος παιχνιδιού πρέπει να είναι βελτιστοποιημένος για να διατηρεί την απόδοση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές που μειώνουν τον αριθμό των ζευγών που πρέπει να ελεγχθούν.



Τεχνικές Ανίχνευσης Σύγκρουσης



Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την ανίχνευση σύγκρουσης στα παιχνίδια. Ο έλεγχος επικάλυψης είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος, όπου ελέγχεται αν δύο αντικείμενα επικαλύπτονται. Ο έλεγχος τομής, που αποτελεί επιπλέον τεχνική, προβλέπει αν θα υπάρξει σύγκρουση στο μέλλον. Κάθε τεχνική έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του παιχνιδιού. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής εξαρτάται από το επίπεδο ακρίβειας και απόδοσης που απαιτείται.

Διαφορετικές Οπτικές Γωνίες

Η ανίχνευση σύγκρουσης μπορεί να πραγματοποιηθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται.

Η **λεπτομερής οπτική γωνία** ασχολείται με τον έλεγχο σύγκρουσης σε επίπεδο τριγώνων και πολυγωνικών πλεγμάτων, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια αλλά με αυξημένο υπολογιστικό κόστος.

Η **μεσαίου επιπέδου οπτική γωνία** χρησιμοποιεί απλουστευμένη γεωμετρία, όπως σφαίρες, κυλίνδρους ή κουτιά, για την προσέγγιση της μορφής των αντικειμένων, επιτρέποντας ταχύτερους υπολογισμούς.

Η **καθολική οπτική γωνία** εφαρμόζει δομές δεδομένων διαμέλισης του χώρου, όπως ιεραρχίες οριοθετημένων όγκων, για να μειώσει τον αριθμό των συγκρίσεων μεταξύ αντικειμένων. Η επιλογή της οπτικής γωνίας εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και απόδοσης που απαιτείται στο παιχνίδι. Η χρήση των κατάλληλων τεχνικών ανίχνευσης

σύγκρουσης βοηθά στη βελτιστοποίηση των επιδόσεων και στη μείωση των λαθών κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

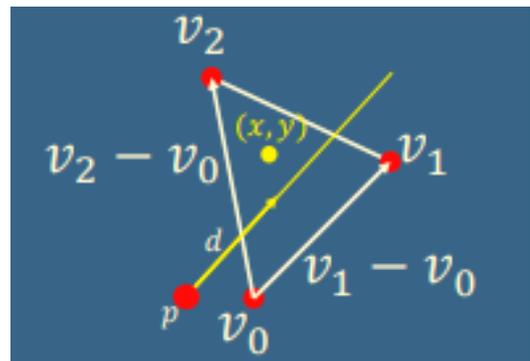
Έλεγχος τομής

Ο έλεγχος τομής επιτρέπει την πρόβλεψη μελλοντικών συγκρούσεων μεταξύ αντικειμένων. Όταν εντοπιστεί πιθανή σύγκρουση, προχωράμε την προσομοίωση, χρονικά, μέχρι τη στιγμή που συμβαίνει η σύγκρουση. Εκεί πραγματοποιείται η επίλυση της σύγκρουσης και συνεχίζεται η προσομοίωση για το υπόλοιπο χρονικό βήμα. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, υποτίθεται ότι τα αντικείμενα κινούνται με σταθερή ταχύτητα για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για συγκρούσεις μεταξύ δυναμικών και στατικών αντικειμένων. Υπάρχουν τέσσερις τεχνικές για τον έλεγχο τομής: αναλυτικές, γεωμετρικές, το θεώρημα των διαχωριστικών αξόνων (SAT) και δυναμικοί έλεγχοι. Συχνά απαιτούνται «κόλπα» για να εκτελούνται γρήγορα. Από αυτές τις τεχνικές λιγότερο χρησιμοποιούνται οι αναλυτικές. Σημαντικό είναι, όπως θα δούμε και παρακάτω, ότι μπορεί να γίνει απλοποίηση των πραγμάτων με την χρήση γεωμετρίας με τον κατάλληλο τρόπο.

Αναλυτικές: Παράδειγμα Τομής Ακτίνας με Τρίγωνο

Ουσιαστικά, στόχος είναι να βρούμε το σημείο τομής μίας ακτίνας με ένα τρίγωνο.

Χρησιμοποιείται συχνά για να ελέγχεται αν μια ακτίνα από την κάμερα τέμνει ένα αντικείμενο. Η ακτίνα ορίζεται ως: $r(t) = p + td$, όπου p είναι το σημείο που ξεκινά η ακτίνα και d η διεύθυνσή της (ο φορέας της). Το τρίγωνο ορίζεται από τις κορυφές v_0, v_1, v_2 .



Ένα σημείο πάνω στο τρίγωνο περιγράφεται ως:

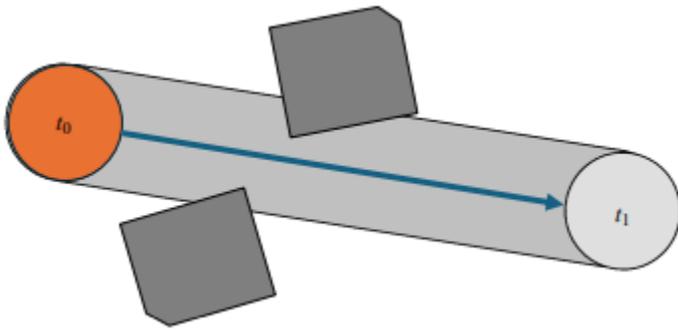
$$t(x, y) = v_0 + x(v_1 - v_0) + y(v_2 - v_0) = (1 - x - y)v_0 + xv_1 + yv_2$$

$$u, v \geq 0, u + v \leq 1$$

Θέτοντας $t(x, y) = r(t)$ προκύπτουν εξισώσεις που λύνονται για τον προσδιορισμό της τομής.

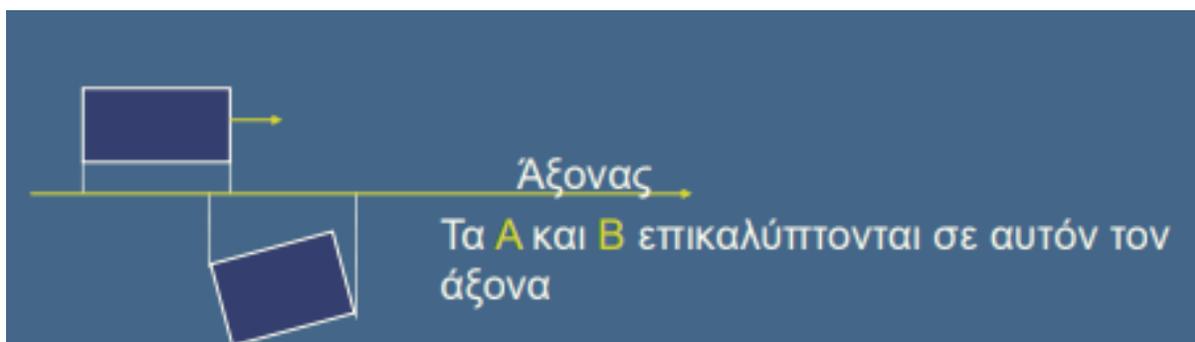
Γεωμετρικές: Κινούμενη Σφαίρα

Αντί να ελέγχουμε απευθείας για τομή, η γεωμετρική προσέγγιση επεκτείνει τη γεωμετρία του αντικειμένου κατά τη διεύθυνση της κίνησης. Για παράδειγμα, αν έχουμε μια σφαίρα που κινείται, η σφαίρα επεκτείνεται σε κάψουλα κατά μήκος της διαδρομής της. Ο έλεγχος τομής μετατρέπεται σε απλό έλεγχο επικάλυψης μεταξύ γεωμετρικών όγκων.



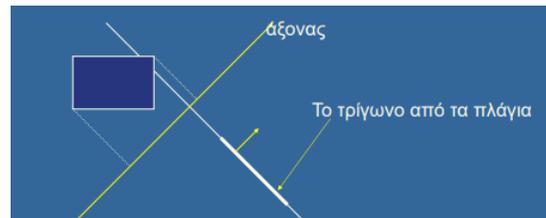
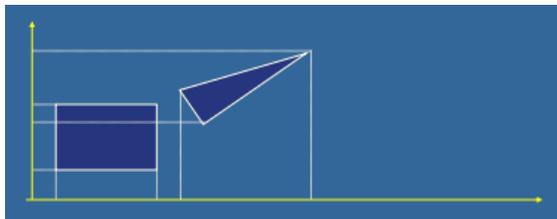
SAT Θεώρημα

Ουσιαστικά, προβάλουμε τα αντικείμενα πάνω στους άξονες και αν τέμνονται πρέπει να προχωρήσουμε σε επιπλέον ελέγχους για έλεγχο αν υπάρχει τομή μεταξύ τους. Για να ελεγχθεί η σύγκρουση μεταξύ δύο κυρτών πολυέδρων A και B, εξετάζονται συγκεκριμένοι άξονες: αυτοί που είναι κάθετοι στις όψεις του A, κάθετοι στις όψεις του B και εκείνοι που προκύπτουν από το εξωτερικό γινόμενο των ακμών των δύο πολυέδρων. Αν βρω άξονα που δεν τέμνονται, τότε δεν τέμνονται μεταξύ τους. Αντίθετα, αν τέμνονται σε όλους τους άξονες, τότε υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους.



Παράδειγμα: Τρίγωνο - Ορθογώνιο (SAT)

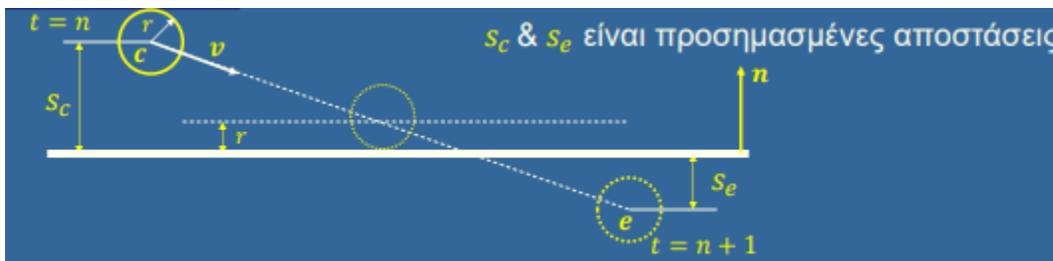
Για να ελεγχθεί η σύγκρουση μεταξύ ενός τριγώνου και ενός ορθογώνιου, εφαρμόζεται το Θεώρημα Διαχωριστικών Αξόνων (SAT). Ο έλεγχος γίνεται αρχικά στους άξονες που είναι κάθετοι στις όψεις του ορθογώνιου (κατά μήκος των αξόνων x, y, z , όπως φαίνεται στην αριστερή εικόνα). Αν υπάρχει επικάλυψη, συνεχίζεται ο έλεγχος με άξονα κάθετο στην όψη του τριγώνου (δεξιά εικόνα). Αν και αυτός ο έλεγχος αποτύχει να βρει διαχωριστικό άξονα, υπολογίζεται το εξωτερικό γινόμενο των ακμών του ορθογώνιου και του τριγώνου για να εντοπιστεί πιθανός άξονας διαχωρισμού. Αν δεν βρεθεί διαχωριστικός άξονας σε κανένα από τα βήματα, τα δύο σχήματα τέμνονται.



Δυναμικός Έλεγχος Τομής

Πρέπει να σημειώσουμε ότι λόγω του διακριτού χρόνου υπάρχει περίπτωση κατά την προσομοίωση ένα αντικείμενο να περνά μέσα από εμπόδιο (φαινόμενο σήραγγας). Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με δυναμικό έλεγχο, ο οποίος ασχολείται με το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο frame. Στόχος είναι η πρόβλεψη αν θα υπάρξει σύγκρουση στο επόμενο frame.

Παράδειγμα: Δυναμικός Έλεγχος Σφαίρας/Επιπέδου



Η σύγκρουση μεταξύ σφαίρας και επιπέδου δεν συμβαίνει αν η σφαίρα βρίσκεται από την ίδια πλευρά του επιπέδου, δηλαδή αν $s_c \cdot s_e > 0$ (προσημασμένες αποστάσεις) και επιπλέον αν οι αποστάσεις s_c και s_e από το επίπεδο είναι μεγαλύτερες από την ακτίνα r της σφαίρας. Αν αυτές οι συνθήκες δεν ισχύουν, η σφαίρα θα μετακινηθεί κατά $s_c - r$ προς το επίπεδο. Ο

χρόνος της σύγκρουσης υπολογίζεται ως $t_{cd} = n + (s_c - r)/(s_c - s_e)$. Μετά τη σύγκρουση, η ταχύτητα v της σφαίρας ανακλάται γύρω από το κάθετο διάνυσμα n του επιπέδου και η σφαίρα μετακινείται κατά ένα χρονικό διάστημα $1 - t_{cd}$.

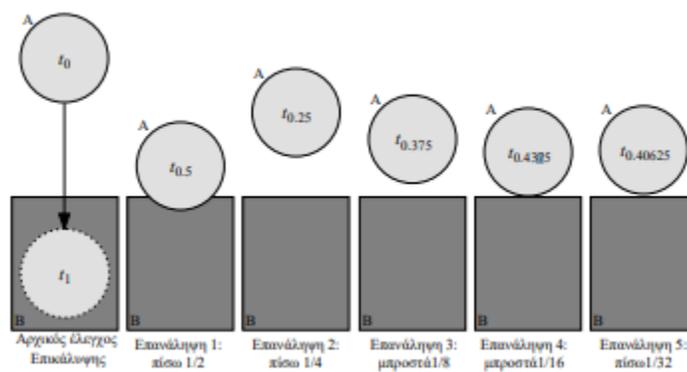
Περιορισμοί

Ένας σημαντικός περιορισμός του ελέγχου τομής είναι το υψηλό υπολογιστικό κόστος, μεγαλύτερο από εκείνου του ελέγχου επικάλυψης που θα δούμε παρακάτω, καθώς απαιτεί πολύπλοκους υπολογισμούς για κάθε frame, γεγονός που μπορεί να επιβραδύνει την προσομοίωση. Στα διαδικτυακά παιχνίδια, οι μελλοντικές προβλέψεις συγκρούσεων βασίζονται στη τρέχουσα διαμόρφωση του κόσμου, αλλά η καθυστέρηση των πακέτων μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέπειες. Επιπλέον, η προσέγγιση υποθέτει σταθερή ταχύτητα και μηδενική επιτάχυνση, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες όταν οι δυνάμεις μεταβάλλονται γρήγορα.

Έλεγχος Επικάλυψης

Στιγμή Σύγκρουσης

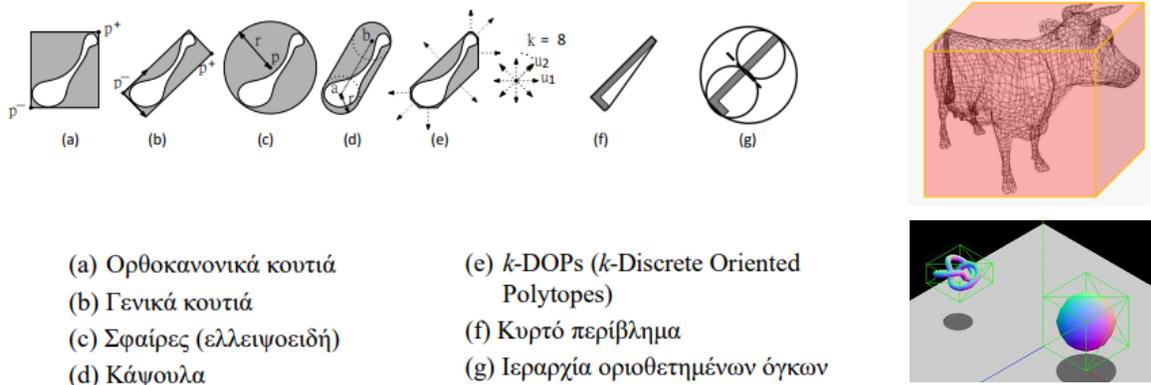
Για τον προσδιορισμό της ακριβούς στιγμής σύγκρουσης, το αντικείμενο μετακινείται πίσω στο χρόνο μέχρι να βρεθεί το σημείο πριν τη σύγκρουση. Η πιο κοινή μέθοδος είναι η διχοτόμηση του χρονικού διαστήματος. Αρχικά, ελέγχεται αν υπάρχει επικάλυψη στο τέλος του frame (χρόνος t_1). Αν ναι, το αντικείμενο μετακινείται στη μέση του διαστήματος (χρόνος $t_{0.5}$). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά μέχρι να βρεθεί η ακριβής στιγμή λίγο πριν την επικάλυψη. Αυτή η μέθοδος (μέθοδος διχοτόμησης) μειώνει την πιθανότητα σφαλμάτων, αλλά αυξάνει το υπολογιστικό κόστος.



Θέματα Πολυπλοκότητας

Μεσοσκοπική Άποψη

Ο έλεγχος επικάλυψης γίνεται λιγότερο αποδοτικός όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της γεωμετρίας. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, τα πολύπλοκα αντικείμενα περικλείονται σε απλούστερους όγκους, όπως σφαίρες ή κουτιά. Αν δύο τέτοιοι όγκοι δεν επικαλύπτονται, τότε αποκλείεται να συμβεί σύγκρουση χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση. Αυτό μειώνει δραστικά τον αριθμό των ζευγών αντικειμένων που πρέπει να ελεγχθούν. Παρακάτω βλέπουμε ορισμένα σχήματα που χρησιμοποιούνται συχνά.

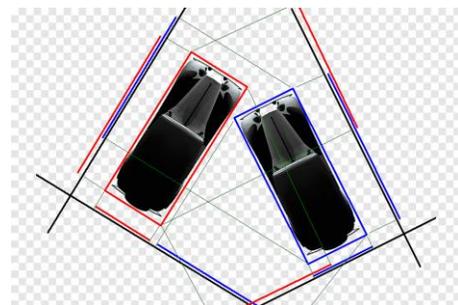


- (a) Ορθοκανονικά κουτιά
- (b) Γενικά κουτιά
- (c) Σφαίρες (ελλειψοειδή)
- (d) Κάψουλα

- (e) k -DOPs (k -Discrete Oriented Polytopes)
- (f) Κυρτό περίβλημα
- (g) Ιεραρχία οριοθετημένων όγκων

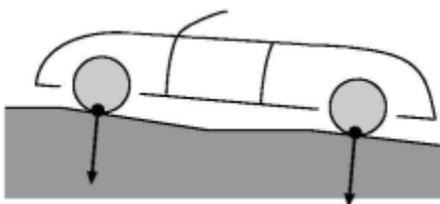
Colliders

Οι colliders είναι τα οριοθετημένα σχήματα που χρησιμοποιούνται για ανίχνευση συγκρούσεων. Ένας καλός collider πρέπει να είναι αρκετά ακριβής ώστε να αποφεύγονται ψευδείς συγκρούσεις, αλλά ταυτόχρονα αρκετά γρήγορος για να μην επιβαρύνει την απόδοση. Αν ο collider είναι πολύ μεγάλος, μπορεί να δημιουργήσει ψευδείς συγκρούσεις (ghost collisions), ενώ αν είναι πολύ ακριβής, επιβραδύνει το παιχνίδι. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραγόντων είναι σημαντική για την επίτευξη ρεαλιστικής φυσικής.



Ένα Παράδειγμα: Ανίχνευση Σύγκρουσης με Ακτίνες

Η ανίχνευση σύγκρουσης με ακτίνες είναι μια μέθοδος κατά την οποία εκπέμπονται ακτίνες από ένα σημείο (π.χ., τροχός οχήματος) και ελέγχεται αν τέμνουν τη γεωμετρία του περιβάλλοντος. Αν η ακτίνα τέμνει ένα αντικείμενο, προσδιορίζεται το σημείο τομής και η απόσταση από την πηγή της ακτίνας. Η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη για τον έλεγχο επαφής μεταξύ αντικειμένων και του εδάφους ή για την ανίχνευση εμποδίων. Για παράδειγμα θα μπορούσαμε να τη χρησιμοποιήσουμε για τον έλεγχο του αν ένα όχημα βρίσκεται στο έδαφος ή αν «αιωρείται». Αν η απόσταση από την ακτίνα μέχρι το έδαφος είναι θετική, τότε το όχημα θεωρείται ότι βρίσκεται στον αέρα. Αντίθετα, αν η απόσταση είναι μικρότερη ή μηδενική, τότε υπάρχει επαφή ή έχει βουλιάξει μέσα στο έδαφος.

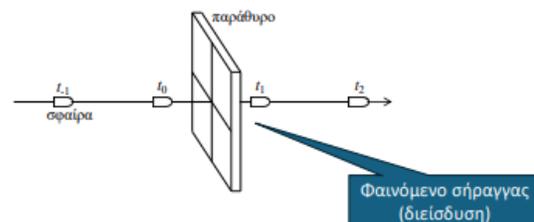


Παρόλο που η ανίχνευση με ακτίνες απλοποιεί τη γεωμετρία του οχήματος, η γεωμετρία του εδάφους παραμένει σύνθετη. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία, χρησιμοποιούνται χωρικές δομές δεδομένων όπως BVH (Bounding Volume Hierarchy) ή BSP (Binary Space

Partitioning). Αν η απόσταση κατά μήκος της ακτίνας είναι αρνητική, αυτό υποδηλώνει ότι το όχημα έχει διεισδύσει στο έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση, η ακτίνα μετακινείται πίσω μέχρι να βρίσκεται εκτός της γεωμετρίας του εδάφους, προσδιορίζοντας τη στιγμή της σύγκρουσης.

Όρια της Μεθόδου

Η ανίχνευση σύγκρουσης με ακτίνες αλλά και οι υπόλοιπες τεχνικές διακριτού χρόνου έχουν περιορισμούς, ιδιαίτερα σε αντικείμενα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Ένα από τα πιο κοινά προβλήματα είναι το φαινόμενο σήραγγας, όπου ένα ταχύτατο αντικείμενο μπορεί να περάσει μέσα από άλλο χωρίς να ανιχνευθεί η σύγκρουση. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανίχνευση γίνεται σε διακριτά χρονικά διαστήματα (frames) και αν το αντικείμενο διανύσει μεγάλη απόσταση ανάμεσα σε δύο frames, η τομή μπορεί να μην καταγραφεί.



Σφάλματα (Glitches)

Τα σφάλματα στην ανίχνευση σύγκρουσης είναι μια από τις κύριες πηγές προβλημάτων στα παιχνίδια και μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την εμπειρία του παίκτη. Τυπικά σφάλματα περιλαμβάνουν:

- Παίκτες/αντικείμενα που πέφτουν έξω από τον εικονικό κόσμο.
- Αντικείμενα που διεισδύουν στο έδαφος ή σε άλλα αντικείμενα, προκαλώντας ανεπιθύμητες συμπεριφορές.
- Παίκτες που πέφτουν έξω από τον χάρτη ή περνούν μέσα από τοίχους, οδηγώντας σε καταστάσεις όπου η προσομοίωση αποτυγχάνει να περιορίσει τη φυσική τους παρουσία εντός του παιχνιδιού.
- Βλήματα ή αντικείμενα που διαπερνούν στόχους χωρίς να ενεργοποιούν την αντίστοιχη απόκριση (π.χ. έκρηξη ή καταστροφή).
- "Ghost collisions", όπου η ανίχνευση αναφέρει ψευδείς συγκρούσεις λόγω υπερβολικά μεγάλων colliders ή κακής προσαρμογής τους στη γεωμετρία του αντικειμένου.

Αυτά τα σφάλματα οφείλονται κυρίως σε διακριτές προσεγγίσεις της ανίχνευσης σύγκρουσης, όπου η προσομοίωση παραλείπει ενδιάμεσα στάδια κίνησης.

Πιθανές Λύσεις

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων στην ανίχνευση σύγκρουσης, όπως το φαινόμενο σήραγγας και τα σφάλματα διείσδυσης, υπάρχουν αρκετές πρακτικές λύσεις που εφαρμόζονται στα παιχνίδια και τις προσομοιώσεις φυσικής.

Περιορισμός Ταχύτητας Αντικειμένων: Μια απλή αλλά αποτελεσματική προσέγγιση είναι ο σχεδιαστικός περιορισμός της μέγιστης ταχύτητας των αντικειμένων. Αν η ταχύτητα ενός αντικειμένου είναι αρκετά μικρή ώστε να μην μπορεί να περάσει μέσα από άλλα αντικείμενα σε ένα frame, μειώνεται σημαντικά η πιθανότητα του φαινομένου σήραγγας. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, ειδικά σε παιχνίδια με βλήματα, σφαίρες ή ταχύτατα οχήματα.

Μείωση Βήματος Προσομοίωσης: Η μείωση του βήματος προσομοίωσης (time step) αυξάνει τη συχνότητα ανίχνευσης σύγκρουσης, μειώνοντας την απόσταση που διανύουν τα αντικείμενα ανά frame. Αυτό μπορεί να γίνει αυξάνοντας τα FPS ή εκτελώντας πολλαπλούς ελέγχους σύγκρουσης ανά frame. Παρά το αυξημένο υπολογιστικό κόστος, η προσέγγιση αυτή παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα.

Έλεγχος Τομής (Continuous Collision Detection – CCD): Ο συνεχής έλεγχος τομής αντιμετωπίζει τα προβλήματα της σήραγγας ελέγχοντας τη σύγκρουση καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης του αντικειμένου, αντί να περιορίζεται σε συγκεκριμένα σημεία, όπως είδαμε παραπάνω. Η τεχνική αυτή προσομοιώνει την τροχιά του αντικειμένου και εντοπίζει τη στιγμή της σύγκρουσης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αν και είναι πιο απαιτητικός υπολογιστικά, προσφέρει αξιόπιστη λύση για αντικείμενα που κινούνται γρήγορα.

Απόκριση Σύγκρουσης

Η απόκριση σύγκρουσης περιλαμβάνει τρία στάδια:

1. Ανίχνευση σύγκρουσης και απόφαση αν αυτή μπορεί να αγνοηθεί.
2. Τοποθέτηση των αντικειμένων στις σωστές θέσεις και ενημέρωση ταχυτήτων βάσει φυσικών νόμων, διανυσματικών μαθηματικών ή άλλης λογικής.
3. Διάδοση των αποτελεσμάτων της σύγκρουσης, π.χ., καταστροφή αντικειμένων, ηχητικά εφέ, ή απώλεια ζωής.

Παραδείγματα

Κρούση δύο σφαιρών μπιλιάρδου: Υπολογίζονται οι θέσεις και ταχύτητες μετά την πρόσκρουση, και παράγεται ήχος.

Βόμβα που χτυπά σε βράχους: Η βόμβα εκρήγνυται και εξαφανίζεται, προκαλώντας ζημιές στην γύρω περιοχή και ήχο έκρηξης.

Χαρακτήρας διασχίζει τοίχο: Εάν ο collider λείπει, ο χαρακτήρας περνά μέσα από τον τοίχο μαζί με ένα αντίστοιχο εφέ.

Ανακεφαλαίωση

Τα βασικά βήματα στα οποία καταλήγουμε για την ανίχνευση και απόκριση σύγκρουσης είναι τα εξής:

1. Εντοπισμός σύγκρουσης, με χρήση οριοθετημένων όγκων
2. Προσδιορισμός του χρόνου σύγκρουσης. Μπορεί να χρειαστεί να γυρίσουμε τον χρόνο πίσω στο σημείο της σύγκρουσης
3. Προσδιορισμός της θέσης των αντικειμένων την στιγμή της σύγκρουσης

4. Προσδιορισμός του κάθετου διανύσματος σύγκρουσης, χρησιμοποιώντας την σχέση ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την γωνία ανάκλασης
5. Προσδιορισμός του διανύσματος ταχύτητας μετά την σύγκρουση
6. Προσδιορισμός αλλαγών στην κίνηση

Συστήματα Σωματιδίων για Έκρηξη

Τα συστήματα σωματιδίων χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση εκρήξεων και άλλων φυσικών φαινομένων. Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Εκκίνηση με πολλά μικρά αντικείμενα, 1 έως 4 pixel
- Αρχικοποίηση κάθε σωματιδίου με τυχαίες ταχύτητες, βασισμένες στο αντικείμενο που εκρήγνυται
- Εφαρμογή της δύναμης της βαρύτητας
- Μεταβολή της έντασης χρώματος καθώς εξελίσσεται ο χρόνος
- Καταστροφή των σωματιδίων όταν συγκρούονται ή μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

Μελέτη Περίπτωσης: Αποφυγή Εμποδίων στο Horizon: Zero Dawn

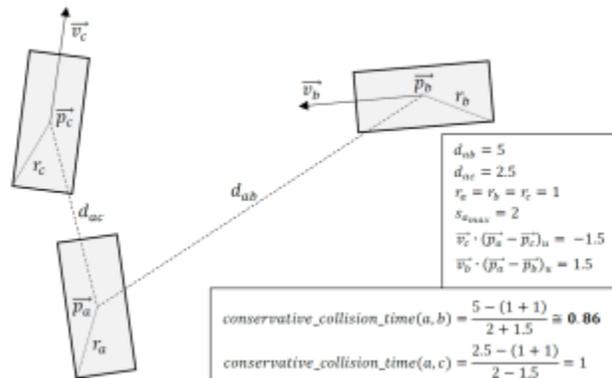
Η αποφυγή εμποδίων στα παιχνίδια παραδοσιακά γίνεται με την αναπαράσταση των εμποδίων ως κύκλοι. Οι κύκλοι είναι αναλλοίωτοι σε περιστροφή, αλλά δεν επαρκούν για επιμηκυμένα εμπόδια (π.χ., ρομπότ). Αυτό δημιουργεί μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους.

Για την αποφυγή εμποδίων στο [Horizon: Zero Dawn](#), τα αντικείμενα αναπαρίστανται με ορθογώνια αντί για κύκλους, κάτι που βελτιώνει την ακρίβεια στις συγκρούσεις. Χρησιμοποιείται η τεχνική Velocity Obstacles (VO), που προβλέπει πιθανές συγκρούσεις.

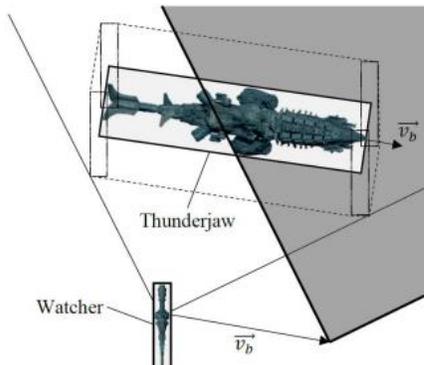
Βήματα

Η διαδικασία αποφυγής εμποδίων περιλαμβάνει:

Κατασκευή των Velocity Obstacles (VO) για κάθε κινούμενο αντικείμενο. Στη συνέχεια, γίνεται περιορισμός του πλήθους των VO στα πιο κρίσιμα, σε πλήθος 5, χρησιμοποιώντας μια μετρική για τον εκτιμώμενο χρόνο σύγκρουσης για την επιλογή τους.



Σε τρεις περιπτώσεις δεν λαμβάνονται υπόψη, όπως θα δούμε. Στις περιπτώσεις αυτές έχουμε την παράβλεψη εμποδίων που βρίσκονται πίσω από τον χαρακτήρα (τόξο 120°), έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα αποφυγής (τα μεγάλα robot δεν κάνουν στην άκρη για τα μικρότερα), ή βρίσκονται πέρα από τον προορισμό.

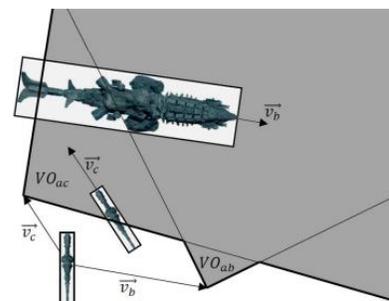


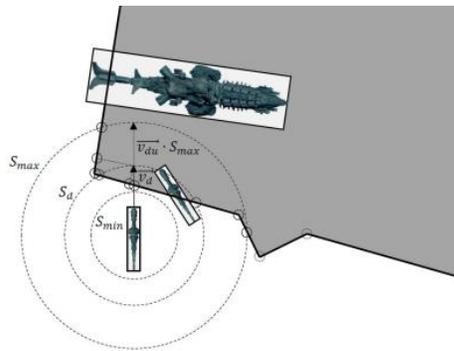
Velocity Obstacles

Τα Velocity Obstacles είναι περιοχές στον χώρο ταχυτήτων που δείχνουν πιθανές συγκρούσεις αν το αντικείμενο διατηρήσει την τρέχουσα ταχύτητά του. Αν το διάνυσμα ταχύτητας ενός χαρακτήρα πέσει μέσα σε μία τέτοια περιοχή, αυτό σηματοδοτεί την ανάγκη αλλαγής κατεύθυνσης ή ταχύτητας για να αποφευχθεί η σύγκρουση.

Συνδυασμός Velocity Obstacles

Για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις, τα Velocity Obstacles από διάφορα εμπόδια συνδυάζονται σε ένα ενιαίο VO. Αυτό καθορίζει τις ασφαλείς περιοχές ταχύτητας, επιτρέποντας στα αντικείμενα να επιλέξουν μια νέα κατεύθυνση που δεν θα οδηγήσει σε σύγκρουση.





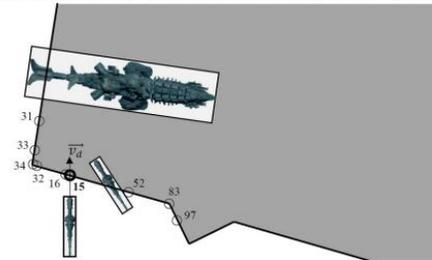
Υπολογισμός Νέου Διανύσματος Ταχύτητας

Η επιλογή νέας ταχύτητας γίνεται αναλύοντας τα VO για όλες τις πιθανές κατευθύνσεις. Το νέο διάνυσμα ταχύτητας πρέπει να βρίσκεται εκτός των VO, να οδηγεί στον προορισμό του αντικειμένου, και να μεγιστοποιεί την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της κίνησης.

Βαθμολόγηση Διαφορετικών Ταχυτήτων

Για την επιλογή της βέλτιστης ταχύτητας, οι πιθανές ταχύτητες βαθμολογούνται βάσει παραμέτρων όπως η απόσταση από εμπόδια, η εγγύτητα στον στόχο, και η προτεραιότητα του αντικειμένου. Η ταχύτητα με την υψηλότερη βαθμολογία εφαρμόζεται στον χαρακτήρα ή αντικείμενο.

$$\text{Συνάρτηση βαθμολόγησης: } e = (1 - p_0)(400a_d + 50b_d + 70\gamma) + 0.5(1 - p_c)(400a_c + 50b_c)$$



Επιπλέον Σημεία

Οι ταχύτητες που υπολογίζονται για την αποφυγή εμποδίων είναι μέσοι όροι από τα frames του τελευταίου μισού δευτερολέπτου. Οι άνθρωποι παραμένουν στάσιμοι όταν δεν εντοπίζεται κατάλληλο διάνυσμα ταχύτητας, ενώ παρατηρήθηκε ότι κάποιες φορές έκαναν στροφές 360°, πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε με ανίχνευση ώστε να παραμένουν ακίνητοι οι πολίτες. Κάποια ρομπότ και άνθρωποι χρησιμοποιούσαν κύκλους για την αποφυγή συγκρούσεων, αλλά κατά τον έλεγχο σύγκρουσης με ορθογώνια, οι κύκλοι μετατρέπονταν σε ορθογώνια για μεγαλύτερη ακρίβεια. Όσον αφορά στη στατική γεωμετρία, σπάνια προέκυπταν προβλήματα, όπως όταν ένας άνθρωπος «κολλούσε» σε έναν τοίχο, τα οποία δεν επιλύθηκαν λόγω της χαμηλής συχνότητάς τους. Το κόστος της μεθόδου ήταν 60 μικροδευτερόλεπτα ανά οντότητα σε περιοχές με πολλά ρομπότ στο PS4, που αντιστοιχούσε στο 1/3 του χρόνου της CPU για κίνηση χωρίς animation. Παράλληλα, η συγκεκριμένη προσέγγιση κρίθηκε ως κάπως μηχανική για πλήθος ανθρώπων στις πόλεις, με αποτέλεσμα να μην είναι απόλυτα ρεαλιστική.

Μετακίνηση Σωμάτων

Η μετακίνηση στα παιχνίδια μπορεί να γίνει είτε με χρήση κινηματικής είτε με δυναμική. Στην κινηματική, οι κινήσεις βασίζονται σε μαθηματικούς υπολογισμούς και αγνοούν τις δυνάμεις, καθώς έχουμε κίνηση σωμάτων χωρίς δυνάμεις, τριβή και επιτάχυνση. Στη δυναμική, από την άλλη, λαμβάνονται υπόψη φυσικές δυνάμεις και ροπές για πιο ρεαλιστική κίνηση.

Δύναμη και Ώθηση

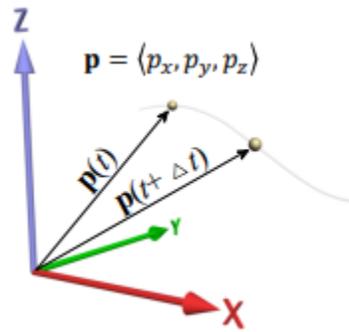
Η δύναμη εφαρμόζεται σε πολλά frames και προκαλεί σταδιακή αλλαγή της ορμής. Αντίθετα, η ώθηση εφαρμόζεται σε ένα frame και μεταβάλλει στιγμιαία την ορμή, η οποία δεν έχει φυσικό αντίστοιχο εκτός από την περίπτωση απότομων μεταβολών σε εξαιρετικά μικρή χρονική κλίμακα. Ένα παράδειγμα δύναμης είναι η βαρύτητα, ενώ η ώθηση εφαρμόζεται σε ενέργειες όπως το άλμα.

Φυσική Σωματιδίων

Τα σωματίδια προσομοιώνονται ως σημειακές μάζες, δηλαδή σφαίρες χωρίς τριβή ή περιστροφική κίνηση. Η προσομοίωση περιλαμβάνει τη θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση των σωματιδίων, τα οποία αλληλεπιδρούν με δυνάμεις για να παράγουν ρεαλιστική κίνηση.

Θέση, Ταχύτητα και Επιτάχυνση

Η θέση ενός σωματιδίου μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Η ταχύτητα εκφράζει τον ρυθμό αλλαγής της θέσης, ενώ η επιτάχυνση περιγράφει την αλλαγή της ταχύτητας. Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα συνδέει τη δύναμη με την επιτάχυνση.



Η θέση μεταβάλλεται στο χρόνο

$$\text{Ταχύτητα: } \mathbf{V}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{p}(t+\Delta t) - \mathbf{p}(t)}{\Delta t} = \frac{d}{dt} \mathbf{p}(t)$$

$$\text{Επιτάχυνση: } \mathbf{a}(t) = \frac{d}{dt} \mathbf{V}(t) = \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{p}(t)$$

$$\text{2ος νόμος Νεύτωνα: } \mathbf{F}(t) = m\mathbf{a}(t)$$

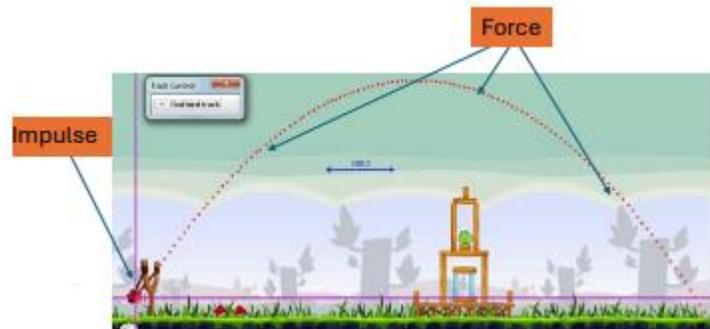
Προσομοίωση Φυσικής

Η προσομοίωση φυσικής βασίζεται στη σύνδεση δυνάμεων, επιταχύνσεων και ταχυτήτων. Με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων, υπολογίζονται οι αλλαγές στην κίνηση, επιτρέποντας την αναπαράσταση ρεαλιστικών τροχιών και αλληλεπιδράσεων. Ο κύκλος της κίνησης εξομοιώνεται με την επίλυση εξισώσεων της δύναμης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Η δύναμη $F(t)$ προκαλεί επιτάχυνση, η επιτάχυνση $a(t)$ προκαλεί αλλαγή στην ταχύτητα και η ταχύτητα $v(t)$ προκαλεί αλλαγή στη θέση.

Παράδειγμα Προσομοίωσης 2d Βολής

Σε ένα παράδειγμα βολής, η κίνηση ενός βλήματος επηρεάζεται από δυνάμεις όπως η βαρύτητα. Οι εξισώσεις κίνησης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της τροχιάς, υπολογίζοντας τη θέση και την ταχύτητα του βλήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Αναλυτικότερα, έχουμε την σταθερή δύναμη του βάρους βλήματος $W = mg$, όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.



Έχουμε την εξίσωση κίνησης για το βλήμα:

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{v}_{init} + g(t - t_{init})$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_{init} + \mathbf{v}_{init}(t - t_{init}) + \frac{1}{2}g(t - t_{init})^2$$

Αριθμητική Προσομοίωση

Οι εξισώσεις κλειστού τύπου είναι έγκυρες και ακριβείς για τη διαμόρφωση προβλημάτων που περιλαμβάνουν σταθερό βάρος ή δύναμη, χωρίς την παρουσία αντίστασης. Αυτές οι εξισώσεις επιτρέπουν την εύκολη πρόβλεψη της θέσης και της ταχύτητας ενός αντικειμένου, απλώς με την εισαγωγή της χρονικής στιγμής. Η αριθμητική προσομοίωση είναι απαραίτητη όταν οι δυνάμεις μεταβάλλονται με τον χρόνο και δεν υπάρχουν κλειστές λύσεις για τις εξισώσεις. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν την επίλυση περίπλοκων συστημάτων κίνησης σε διακριτά χρονικά βήματα.

Η αριθμητική προσομοίωση αφορά ένα σύνολο τεχνικών αυξητικής επίλυσης των εξισώσεων κίνησης όταν οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις δεν είναι σταθερές και δεν υπάρχει λύση κλειστού τύπου.

Μέθοδοι Πεπερασμένων Διαφορών

Οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών είναι η πιο κοινή προσέγγιση για την αριθμητική προσομοίωση της δυναμικής άκαμπτων σωμάτων. Οι εξισώσεις αυτές επιτρέπουν την αυξητική ενημέρωση των τιμών θέσης, ταχύτητας και άλλων παραμέτρων σε κάθε χρονικό βήμα, δηλαδή των εξισώσεων κίνησης. Επίσης, προέρχεται από τους αρχικούς όρους του αναπτύγματος Taylor. Σημαντικό είναι να ορίσουμε την έννοια του αριθμητικού ολοκληρωτή (integrator), ο οποίος είναι μία εξίσωση πεπερασμένης διαφοράς που παράγει λύσεις για χρονικές στιγμές.

Euler Ολοκληρωτής

$$\underbrace{\mathbf{S}(t + \Delta t)}_{\text{new state}} = \underbrace{\mathbf{S}(t)}_{\text{prior state}} + \Delta t \underbrace{\frac{d}{dt}\mathbf{S}(t)}_{\text{state derivative}}$$

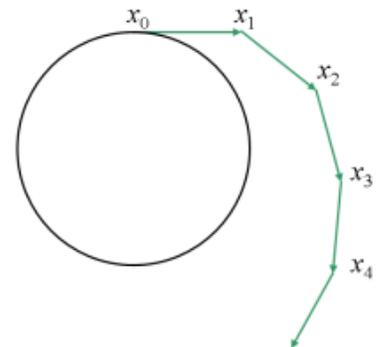
Οι ιδιότητες του αντικειμένου αποθηκεύονται στο διάνυσμα \mathbf{S} . Χρήση του παραπάνω ολοκληρωτή για αυξητική ενημέρωση του \mathbf{S} (με βάση το χρόνο παιχνιδιού). Πρέπει να αποθηκεύει τις προηγούμενες τιμές του \mathbf{S} . Για τον Euler, μία επιλογή περιγραφής κατάστασης είναι:

$$\mathbf{S} = \langle m\mathbf{v}, \mathbf{p} \rangle$$

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = \langle \mathbf{F}, \mathbf{v} \rangle$$

Το Πρόβλημα με τον Ολοκληρωτή Euler

Ο ολοκληρωτής Euler μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση σφαλμάτων, ειδικά στις τροχιές των αντικειμένων. Αυτά τα σφάλματα οφείλονται στη βηματική φύση της μεθόδου και επιδεινώνονται με την πάροδο του χρόνου, απαιτώντας διόρθωση ή εναλλακτική προσέγγιση. Αναλυτικότερα, δημιουργείται ιδιαίτερο πρόβλημα στις τροχιές καθώς γίνεται μετακίνηση κατά το διάνυσμα εφαπτομένης, το οποίο οδηγεί εκτός τροχιάς και όσο περνάει ο χρόνος χειροτερεύει. Πρέπει να βρούμε τρόπο να περιοριστεί, ώστε να παραμείνει εντός της τροχιάς.

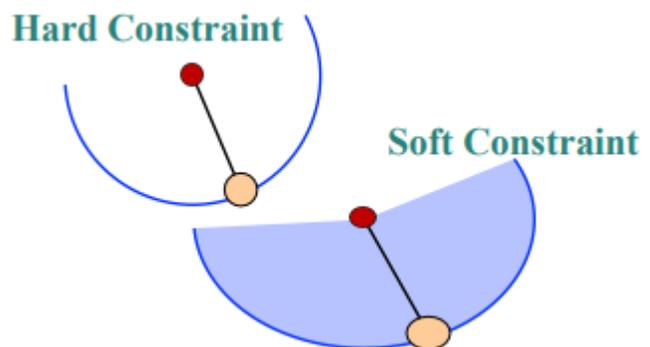


Αντιμετώπιση Σφαλμάτων

Τα σφάλματα στις τροχιές μπορούν να μειωθούν με μικρότερα βήματα χρόνου (Δt), περισσότερες επαναλήψεις ανά frame ή με χρήση πιο εξελιγμένων ολοκληρωτών. Παρόλο που αυτές οι τεχνικές δεν εξαλείφουν πλήρως τα σφάλματα, τα περιορίζουν σημαντικά. Αναλυτικότερα, για τις πολλαπλές επαναλήψεις ανά frame, έχουμε h το μήκος του frame, n το πλήθος των επαναλήψεων και χρησιμοποιούμε τον τύπο $\Delta t = h/n$.

Επιλυτές Περιορισμών

Οι επιλυτές περιορισμών χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι οι θέσεις και οι κινήσεις των αντικειμένων ικανοποιούν συγκεκριμένους περιορισμούς. Υπάρχει ο περιορισμός στην κίνηση αντικειμένων, δηλαδή ότι κάθε θέση πρέπει να ικανοποιεί τον περιορισμό και θα διορθώνεται αν δεν τον ικανοποιεί. Οι περιορισμοί μπορεί να είναι hard, δηλαδή σκληροί, όπου η απόσταση είναι ακριβής, ή soft, δηλαδή μαλακοί, όπου επιτρέπεται κάποια ευελιξία, όπως η ύπαρξη πάνω φράγματος στην απόσταση. Αυτοί οι περιορισμοί περιλαμβάνουν, επίσης, την αποφυγή διείσδυσης, την προσομοίωση αναπήδησης και την αντιμετώπιση τριβής.



Ο Ολοκληρωτής Verlet

$$\underbrace{\mathbf{S}(t + \Delta t)}_{\text{new state}} = 2 \underbrace{\mathbf{S}(t)}_{\text{prior state 1}} - \underbrace{\mathbf{S}(t - \Delta t)}_{\text{prior state 2}} + (\Delta t)^2 \underbrace{\frac{d^2}{dt^2} \mathbf{S}(t)}_{\text{state derivative}}$$

Ο ολοκληρωτής Verlet είναι μια δημοφιλής μέθοδος για την προσομοίωση φυσικής στα σύγχρονα παιχνίδια λόγω της καλύτερης συμπεριφοράς του. Χρησιμοποιεί δεδομένα από δύο προηγούμενα χρονικά βήματα, επιτρέποντας καλύτερη πρόβλεψη της κίνησης. Είναι κατάλληλος για συστήματα με σταθερό χρονικό βήμα και χρησιμοποιεί την δεύτερη παράγωγο για την υλοποίησή του.

Παράδειγμα επιλογής κατάστασης (για σωματίδιο):

$$\mathbf{S} = \langle \mathbf{p} \rangle$$

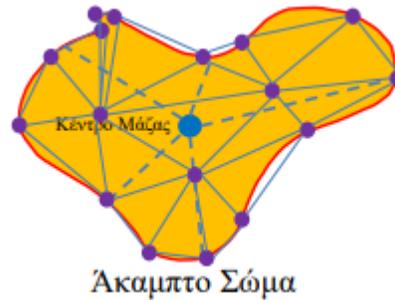
$$\frac{d^2 \mathbf{S}}{dt^2} = \langle \mathbf{F}/m \rangle = \langle \mathbf{a} \rangle$$

Άκαμπτα Σώματα

Τα άκαμπτα σώματα προσομοιώνονται λαμβάνοντας υπόψη το κέντρο μάζας τους, το οποίο καθορίζει τη θέση τους στον χώρο. Η γωνιακή κινηματική, όπως ο προσανατολισμός και η γωνιακή ταχύτητα, προστίθεται στην απλή μεταφορική κίνηση. Ιδιότητες όπως ο τένσορας αδράνειας επηρεάζουν την περιστροφική κίνηση, ενώ η συνολική δυναμική επηρεάζεται από δυνάμεις και ροπές.

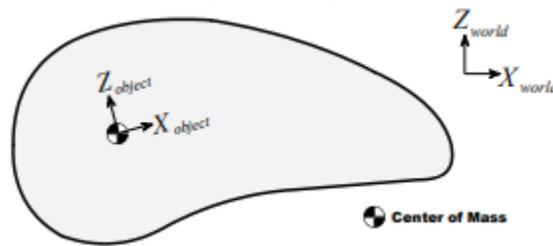
Κίνηση: Μοντελοποίηση Αντικειμένων

Στη μοντελοποίηση αντικειμένων, η γεωμετρία συνήθως αγνοείται, καθώς το σχήμα δεν είναι σημαντικό, εκτός αν πρόκειται για την ανίχνευση συγκρούσεων. Κάθε αντικείμενο μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα σημείο, το οποίο συχνά αντιστοιχεί στο κεντροειδές του, δηλαδή τον μέσο όρο των σημείων του αντικειμένου. Το κεντροειδές ταυτίζεται με το κέντρο μάζας αν η πυκνότητα είναι ομοιόμορφη. Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιούνται άκαμπτα σώματα με πολλαπλά σημεία, τα οποία κινούνται συντονισμένα, δηλαδή όταν κινείται ένα σημείο, όλα τα υπόλοιπα ακολουθούν.



Άκαμπτα Σώματα

Τα άκαμπτα σώματα διαφοροποιούνται από τα σωματίδια σε διάφορα σημεία. Δεν είναι απαραίτητα σφαιρικά και η θέση τους αναπαρίσταται από το p , που αντιστοιχεί στη θέση του κέντρου μάζας του αντικειμένου. Η επιφάνειά τους μπορεί να μην είναι λεία, γεγονός που επιτρέπει την εμφάνιση δυνάμεων όπως η τριβή. Επιπλέον, εκτός από την απλή μεταφορική κίνηση, τα άκαμπτα σώματα μπορούν να εκτελούν περιστροφική κίνηση, προσδίδοντας μεγαλύτερο ρεαλισμό στη συμπεριφορά τους.



Προσομοίωση

Η γωνιακή κινηματική περιλαμβάνει τον προσανατολισμό του άκαμπτου σώματος, ο οποίος αναπαρίσταται συνήθως με ένα 3×3 μητρώο ή ένα quaternion, και τη γωνιακή ταχύτητα ω σε συντεταγμένες του εικονικού κόσμου. Επιπρόσθετες ιδιότητες, όπως ο τένσορας αδράνειας (J), καθορίζουν την αντίσταση του σώματος στην περιστροφή γύρω από τον άξονα του κέντρου μάζας. Η κατάσταση του σώματος περιλαμβάνει επίσης τη γωνιακή ορμή ($L = J\omega$) και τις αντίστοιχες παράγωγους για την παρακολούθηση της κίνησής του με ακρίβεια.

Απόδοση Ήχου σε 3d

Εισαγωγή

Η απόδοση ήχου σε 3d περιλαμβάνει τεχνικές που προσομοιώνουν την ακουστική του φυσικού κόσμου. Οι βασικές εργασίες περιλαμβάνουν τη σύνθεση ήχου, τη χωροταξία ήχου με βάση την εξασθένηση απόστασης και την κατεύθυνση (pan), την ακουστική μοντελοποίηση με ανακλάσεις, αντηχήσεις και απορροφήσεις, καθώς και τη χρήση φαινομένων όπως η μετατόπιση Doppler. Τέλος, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη μίξη, που συνδυάζει διαφορετικές πηγές ήχου για ρεαλιστική αναπαραγωγή.

Βασική ορολογία ήχου

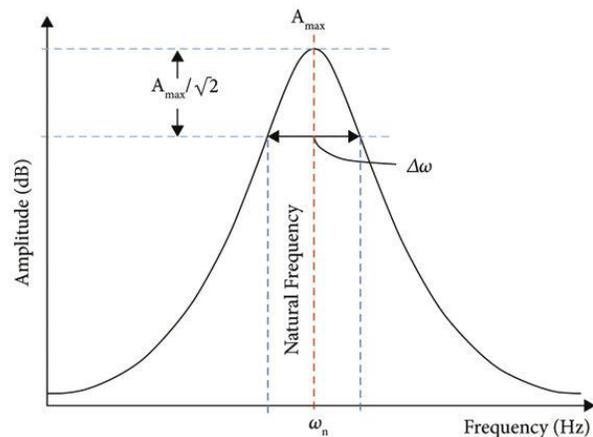
Ορισμένοι βασικοί όροι ήχου περιλαμβάνουν το πλάτος, τη συχνότητα, το ύψος και τα decibel. Ας δούμε έναν σύντομο ορισμό για το καθένα από αυτά ξεχωριστά:

Πλάτος (amplitude): Μέτρηση της πίεσης ενός ηχητικού κύματος (θετική ή αρνητική κατεύθυνση).

Συχνότητα (frequency): Μέτρηση του διαστήματος μεταξύ των κύκλων κυμάτων, συνήθως σε Hertz (κύκλοι/δευτερόλεπτο).

Ύψος (Pitch): Η αντίληψη της συχνότητας που συνήθως χρησιμοποιείται εναλλακτικά με τη συχνότητα.

Decibel: Μετρά το πλάτος του ήχου, μετρά την αντιληπτή διαφορά στην ένταση μεταξύ δύο ήχων.



3d Μηχανή Ήχου

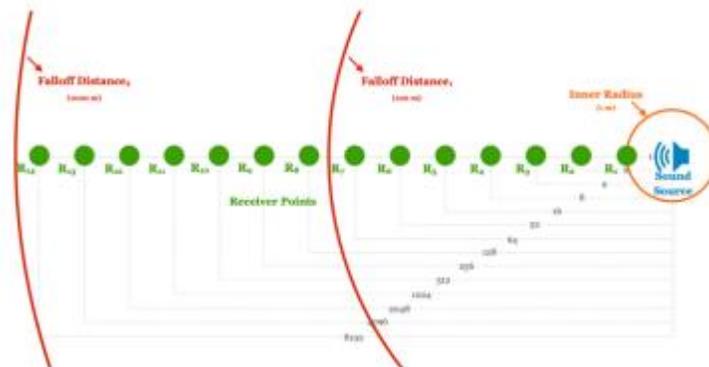
Μια 3d μηχανή ήχου εκτελεί εργασίες όπως η δημιουργία ήχων και η μοντελοποίηση της εξασθένησής τους με βάση την απόσταση, το pan για τη χωροταξία του ήχου, και η ακουστική μοντελοποίηση για ανακλάσεις, αντηχήσεις, ατμοσφαιρική απορρόφηση και HRTF φαινόμενα. Επίσης, η μετατόπιση Doppler, που αλλάζει τη συχνότητα ανάλογα με την ταχύτητα της πηγής, προστίθεται για μεγαλύτερο ρεαλισμό. Τέλος, γίνεται η μίξη όλων των παραπάνω.

Μοντελοποίηση Ηχητικού Κόσμου

Η μοντελοποίηση του ηχητικού κόσμου περιλαμβάνει τις 3d πηγές ήχου, οι οποίες έχουν ιδιότητες όπως θέση, ταχύτητα, σχήμα διάδοσης και εμβέλεια. Ο ακροατής αναπαρίσταται ως ένα εικονικό μικρόφωνο, το οποίο έχει τα χαρακτηριστικά του που περιλαμβάνουν τη θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του που επηρεάζουν την αντίληψη του ήχου. Το περιβάλλον, τέλος, περιγράφεται από τη γεωμετρία του χώρου και τις ακουστικές ιδιότητες των επιφανειών, των αντικειμένων και των χώρων.

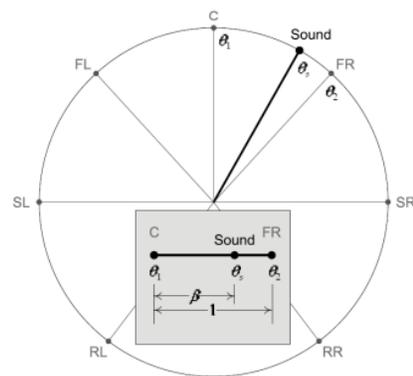
Εξασθένιση με βάση την απόσταση

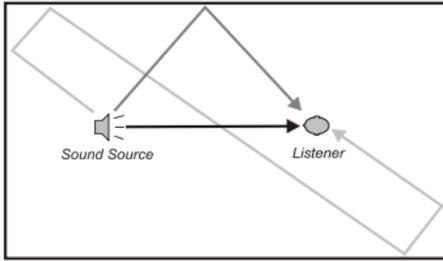
Η εξασθένιση περιγράφει την πτώση της έντασης του ήχου καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ της πηγής και του ακροατή. Αυτή η διαδικασία είναι σημαντική για τη ρεαλιστική αναπαραγωγή ήχου σε 3d περιβάλλοντα, καθώς οι απομακρυσμένες πηγές θα πρέπει να ακούγονται πιο αδύναμες από τις κοντινές.



Pan

Το pan είναι η τοποθέτηση του ήχου στον τρισδιάστατο χώρο και αναφέρεται στη χωροταξική κατανομή του ήχου μεταξύ των καναλιών (αριστερά, δεξιά, κέντρο). Χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί η αίσθηση της κατεύθυνσης από την οποία προέρχεται ένας ήχος σε ένα 3d περιβάλλον ανάλογα με τα ηχεία και την τοποθέτησή τους. Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η τοποθέτηση 7 ηχείων σε ένα 7.1 σύστημα ήχου.





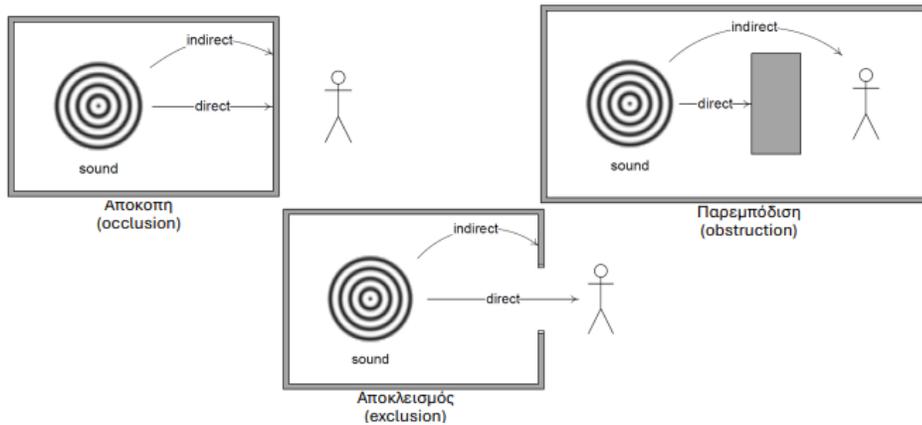
Direct Path →
Echo →
Reverberation →

Τύποι Μετάδοσης Ήχου

Οι τύποι μετάδοσης ήχου περιλαμβάνουν την άμεση μετάδοση, όπου ο ήχος φτάνει απευθείας στον ακροατή, τις πρώιμες αντανakλάσεις (ηχώ – echo), που είναι οι πρώτες ηχητικές ανακλάσεις σε κοντινές επιφάνειες, και τις καθυστερημένες αντανakλάσεις (reverberation), που δημιουργούν την αντήχηση και διαρκούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

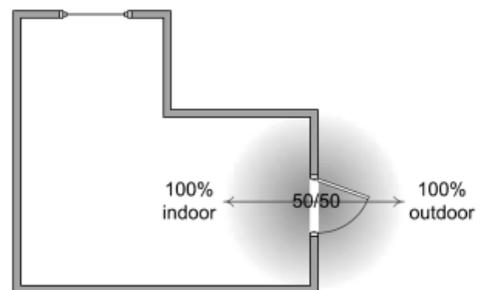
Λαμβάνοντας Υπόψη τη Γεωμετρία

Η γεωμετρία του χώρου επηρεάζει τη μετάδοση του ήχου μέσω φαινομένων όπως η αποκοπή (occlusion), όπου ο ήχος αποκρύπτεται εντελώς από ένα εμπόδιο, η παρεμπόδιση (obstruction), όπου ο ήχος φτάνει μόνο μέσω ανακλάσεων, και ο αποκλεισμός (exclusion), όπου ο ήχος φτάνει άμεσα αλλά οι ανακλάσεις εμποδίζονται.



Αντήχηση

Η αντήχηση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του χώρου. Μικροί χώροι έχουν μικρή ή καθόλου αντήχηση, ενώ μεγάλοι χώροι δημιουργούν έντονη ηχώ. Κατά τη μετάβαση μεταξύ περιοχών με διαφορετικές ακουστικές ιδιότητες, χρησιμοποιείται η μέθοδος LERP (Linear Interpolation) για να διασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση της ακουστικής.



Τεχνολογία Συγχρονισμού Χειλιών (Lip-sync)

Η τεχνολογία lip-sync συνδυάζει τεχνικές ήχου και εικόνας για τη ρεαλιστική αναπαραγωγή ομιλίας από τους χαρακτήρες ενός παιχνιδιού. Παρότι έχει χρησιμοποιηθεί σε παιχνίδια όπως το [Mass Effect Andromeda](#), όπου δέχτηκε κριτική για την εφαρμογή της, η εξέλιξη της τεχνολογίας, όπως στην Unreal Engine 5, έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα του συγχρονισμού χειλιών και την απόδοση χαρακτήρων.

