

Έκτο μάθημα Ανάπτυξης Βιντεοπαιχνιδιών || Κάμερα

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΙΧΛΑΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ: ΠΟΤΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΚΑΡΥΩΤΗ ΒΑΡΒΑΡΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Εισαγωγή	2
Γραφικά.....	2
Γενικά στοιχεία κάμερας	3
Βασικές κάμερες.....	4
Κάμερες Δύο Διαστάσεων	6
Παιχνίδια τύπου 2.5d	8
Παραδείγματα	8
Παραλλακτική Κύλιση	9
Αξονομετρική Προβολή	10
Επιλογή Κάμερας.....	11
Κάμερες Τριών Διαστάσεων	12
Τρόπος λειτουργίας κάμερας	12
Μελέτη Περίπτωσης: Οι “31” κάμερες του Uncharted 3	14

Κάμερα

Εισαγωγή

Σε αυτή τη διάλεξη θα δούμε μία οπτικοακουστική προσέγγιση των βιντεοπαιχνιδιών με επίκεντρο τη χρήση της κάμερας. Αναλύονται οι βασικές αρχές απόδοσης γραφικών, οι τύποι καμερών (ορθογραφικές, προοπτικές, αξονομετρικές), και οι τεχνικές προβολής σε 2D και 3D περιβάλλοντα. Περιγράφονται παραδείγματα όπως η παραλλακτική κύλιση και τα παιχνίδια 2.5D, ενώ γίνεται εκτενής αναφορά σε σύνθετες υλοποιήσεις, όπως οι 31 κάμερες του *Uncharted 3*. Τέλος, εξετάζονται οι καλλιτεχνικές και τεχνικές επιλογές που επηρεάζουν την εμπειρία του παίκτη και την αποδοτικότητα του συστήματος.

Γραφικά

Τα βιντεοπαιχνίδια είναι προφανώς οπτικοακουστικά μέσα. Συνεπώς σημαντικό κομμάτι μίας μηχανής ανάπτυξης παιχνιδιών είναι η επαρκής αναπαράσταση του γραφικών στοιχείων όπως είναι ο κόσμος, οι χαρακτήρες, το [HUD](#) και άλλα. Ας δούμε εν συντομία τα βήματα που αποδίδουν μία σκηνή τριών διαστάσεων.

Περιγραφή εικονικής σκηνής: Πρώτο βήμα είναι η αναπαράσταση της σκηνής, δηλαδή των 3D επιφανειών. Σε αυτό το βήμα υπολογίζονται όλα τα τρίγωνα του κάθε μοντέλου, τα οποία του δίνουν μορφή, καθώς και οι υφές ([textures](#)) τα οποία τους δίνουν χρώμα. Συνήθως, ο επεξεργαστής αναλαμβάνει κάποιους πολύπλοκους υπολογισμούς και την προετοιμασία των δεδομένων για αποστολή στη κάρτα γραφικών η οποία αναλαμβάνει τους υπόλοιπους απαιτητικούς υπολογισμούς για την απεικόνιση της 3d σκηνής στην οθόνη.

Τοποθέτηση εικονικής κάμερας: Προφανώς η αναπαράσταση μίας 3d σκηνής εξαρτάται από κάποια οπτική γωνία. Ακόμα και αν ένα μοντέλο μένει ακίνητο, η αναπαράστασή του στην οθόνη θα είναι διαφορετική σύμφωνα με το που βρισκόμαστε εμείς (ο θεατής) στο χώρο. Τον ρόλο αυτό συμπληρώνει η κάμερα.

Ορισμός πηγών φωτός: Σημαντικό κομμάτι στην αναπαράσταση μίας 3d σκηνής είναι η απόδοση του φωτός. Με τον όρο [rendering](#) ουσιαστικά αναφερόμαστε στο πως οι ακτίνες του φωτός πέφτουν στα αντικείμενα.

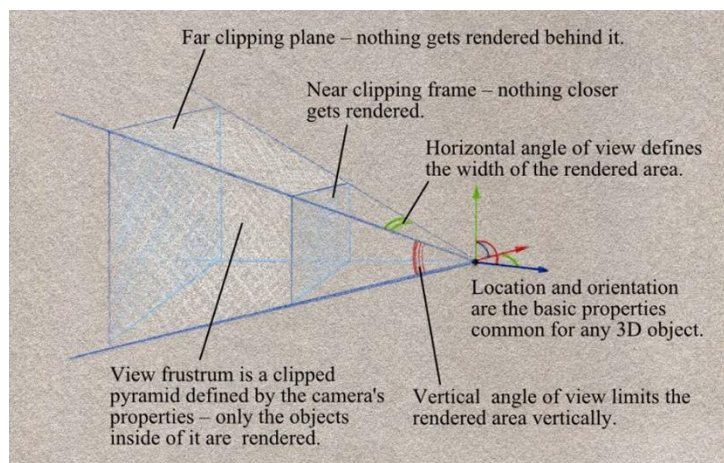
Ορισμός οπτικών ιδιοτήτων επιφανειών: Σε αυτό το βήμα αναφερόμαστε στο πως οι ακτίνες του φωτός αντιδρούν ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία πέφτουν. Κάποια επιφάνεια μπορεί να ανακλά το φως, ενώ κάποια άλλη να το διαθλά.

Υπολογισμός χρώματος και φωτός: Για κάθε pixel στην οθόνη υπολογίζεται το πως φαίνεται από την κάμερα. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που υπολογίσαμε στα προηγούμενα βήματα χρωματίζουμε τα ανάλογα pixels ώστε να αναπαρασταθεί η 3d σκηνή σωστά στην οθόνη.

Γενικά στοιχεία κάμερας

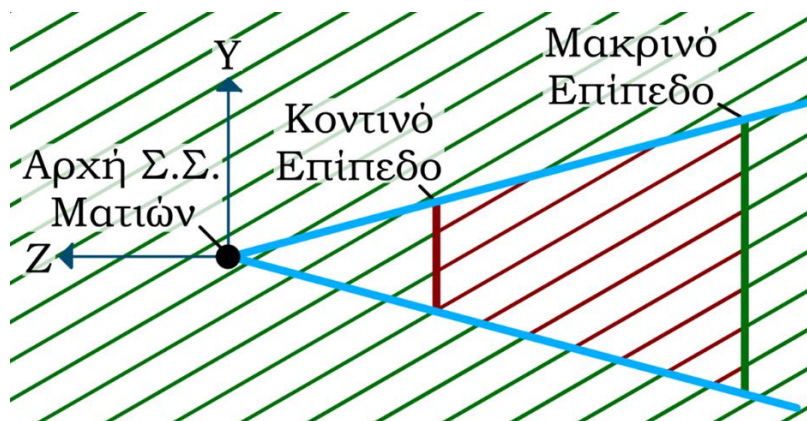
Μέχρι να αναπτυχθούν ολογράμματα τα οποία θα χρησιμοποιούνται από τον κοινό χρήστη, είμαστε περιορισμένοι στην χρήση δισδιάστατων οθονών. Αυτό δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα πρόκληση καθώς θέλουμε να αναπαραστήσουμε σκηνές των τριών διαστάσεων. Έτσι απαιτείται η χρήση μίας μεθόδου η οποία θα μεταφράσει την τρισδιάστατη σκηνή σε μία δισδιάστατη οθόνη σύμφωνα με την θέση της κάμερας, η οποία συνήθως μπορεί να κινηθεί ελεγχόμενη από τον παίκτη. Σε ένα παιχνίδι των δύο διαστάσεων, συνήθως η κάμερα έχει μία σταθερή γωνία, με όλα τα στοιχεία να είναι κάθετα στον άξονά της. Σε επίπεδο μηχανής παιχνιδιών η κάμερα είναι ένας χώρος συντεταγμένων με την θέση των ματιών να είναι η αρχή του συστήματος συντεταγμένων της. Όπως για κάθε αντικείμενο στον χώρο, μετακινούμε και περιστρέφουμε την κάμερα χρησιμοποιώντας μητρώα μετασχηματισμού.

Ας εξετάσουμε την ανατομία μίας κάμερας προοπτικής, η οποία χρησιμοποιείται σε παιχνίδια τριών διαστάσεων. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η κάμερα είναι ένας χώρος συντεταγμένων, με αρχή συντεταγμένων να είναι η θέση των ματιών. Έχουμε δεχτεί συμβιβαστικά ότι η κάμερα “δείχνει” προς τον άξονα $-z$. Δεν είναι λάθος να την υλοποιήσουμε με διαφορετική κατεύθυνση, αλλά συνήθως



επιλέγουμε αυτή. Κάθετα στον άξονα $-z$ είναι δύο επίπεδα. Το πιο κοντινό είναι το κατάλληλα ονομασμένο “κοντινό επίπεδο” και το πιο μακρινό είναι το “μακρινό επίπεδο”. Ιδανικά τα επίπεδα αυτά είναι ορθογώνια παραλληλόγραμμα με διαστάσεις ανάλογες της οθόνης του χρήστη. Σήμερα, οι περισσότερες οθόνες έχουν αναλογία διαστάσεων 16:9 το οποίο σημαίνει ότι για κάθε 16 μονάδες (ή pixels) οριζόντια (ή μήκος), υπάρχουν 9 μονάδες (ή pixels) κάθετα (ή ύψος). Αν ενώσουμε τις αντίστοιχες γωνίες του κοντινού και μακρινού επιπέδου σχηματίζουμε μία κομμένη πυραμίδα. Όποια αντικείμενα βρίσκονται μέσα στον χώρο αυτής της κομμένης πυραμίδας είναι αντικείμενα τα οποία θα μπορεί να δει ο παίκτης και συνεπώς θα πρέπει να ζωγραφιστούν από τη μηχανή γραφικών. Ότι βρίσκεται έξω από τον χώρο αυτό είναι έξω από το οπτικό πεδίο του παίκτη και ιδανικά θα αγνοηθεί ώστε να σώσουμε πόρους συστήματος. Το μακρινό επίπεδο συνεισφέρει στο να υπάρχει ένα όριο στο πόσο μακριά μπορεί να δει ο παίκτης, αλλιώς θα είχε άπειρη θέαση το οποίο θα ήταν ενδεχομένως υπερβολικά βαρύ για το σύστημα.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ο χώρος ο οποίος είναι βαμμένος με κόκκινο θα σχεδιαστεί κανονικά, ενώ ο χώρος ο οποίος είναι βαμμένος με πράσινο θα αγνοηθεί.



Βασικές κάμερες

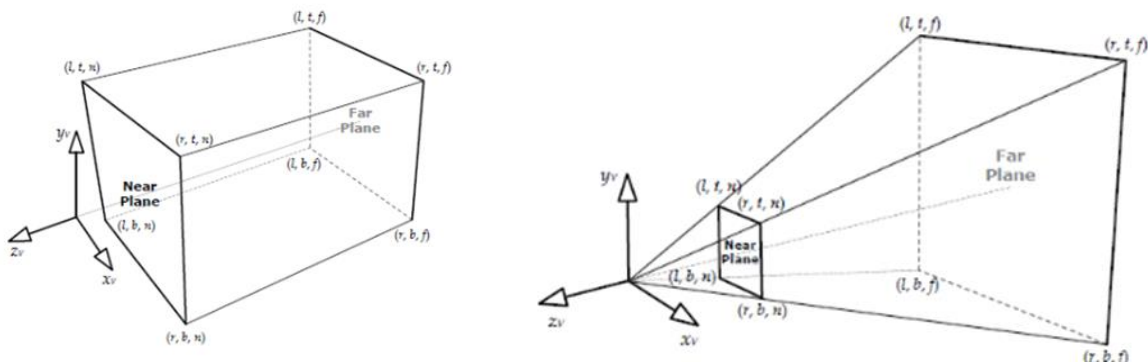
Κάποιες βασικές κάμερες είναι η ορθογραφική κάμερα, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται σε παιχνίδια δύο διαστάσεων, και η κάμερα προοπτικής, η οποία χρησιμοποιείται σε παιχνίδια τριών διαστάσεων. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι στην ορθογραφική κάμερα δεν υπάρχει η αίσθηση του βάθους. Στον πραγματικό κόσμο, όσο απομακρυνόμαστε από ένα αντικείμενο, το αντικείμενο αυτό μικραίνει, ενώ αντίστοιχα όσο πιο κοντά βρισκόμαστε σε αυτό τόσο μεγαλώνει. Αυτή είναι μια ιδιότητα η οποία υπάρχει στις κάμερες προοπτικής, αλλά όχι στις ορθογραφικές κάμερες. Μία άλλη διαφορά σε επίπεδο υλοποίησης

είναι ότι οι ορθογραφικές κάμερες “ζωγραφίζουν” τα αντικείμενα με σειρά απόστασης, άρα πρώτα ζωγραφίζονται τα αντικείμενα τα οποία είναι πιο μακριά από την κάμερα και στη συνέχεια ζωγραφίζονται τα αντικείμενα που είναι πιο κοντά. Αντιθέτως, οι κάμερες προοπτικής σχεδιάζουν την προβολή σε ένα επίπεδο.

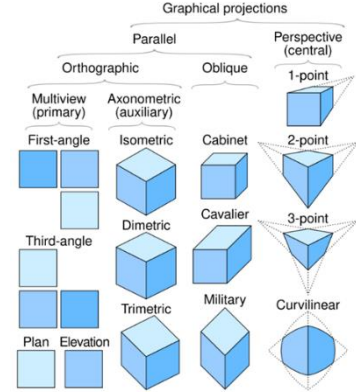
Άλλες διαφορές ως προς την υλοποίηση έχουν να κάνουν με τον καθορισμό της κάμερας. Για τις ορθογραφικές κάμερες αρκεί να ορίσουμε το μέγεθος του παραθύρου, και την αρχή του παραθύρου στον χώρο, ενώ για να μετακινήσουμε το παράθυρο χρησιμοποιώντας κύλιση αρκεί να μετακινήσουμε την αρχή της κάμερας. Συνήθως αυτές οι κάμερες “κοιτάνε” σε έναν άξονα και δεν περιστρέφονται, οπότε δεν υπάρχει λόγος να υλοποιήσουμε τέτοια χαρακτηριστικά. Να σημειωθεί ότι ορθογραφικές κάμερες δεν χρησιμοποιούνται μόνο για παιχνίδια δύο διαστάσεων. Για παράδειγμα, το New Super Mario Bros Wii είναι ένα παιχνίδι των 2.5 διαστάσεων σχεδιασμένο ώστε ο παίκτης να μπορεί να κινηθεί μόνο στις δύο διαστάσεις, και για αυτό χρησιμοποιείται ορθογραφική κάμερα [1]. Παιχνίδια τα οποία χρησιμοποιούν σκηνές και μοντέλα τριών διαστάσεων, αλλά περιορίζουν τον παίκτη να κινείται στις δύο διαστάσεις ονομάζονται 2.5d ανεξαρτήτως του αν χρησιμοποιούν ορθογραφική κάμερα ή όχι.

Συνεχίζονται με την υλοποίηση των καμερών προοπτικής, πρέπει να ορίσουμε την αρχή του συστήματος συντεταγμένων των ματιών, την κατεύθυνση της θέασης (καθώς θέλουμε η κάμερα να μπορεί να περιστρέφεται και να κοιτάζει μία σκηνή από διαφορετικές οπτικές γωνίες), ενώ για την μετακίνηση της κάμερας θα πρέπει να μετακινήσουμε την αρχή του συστήματος συντεταγμένων των ματιών και να καθορίσουμε την καινούρια κατεύθυνση θέασης.

Παρακάτω φαίνεται μία ορθογραφική κάμερα (αριστερή εικόνα) και μία κάμερα προοπτικής (δεξιά εικόνα).



Υπάρχουν πολλών ειδών κάμερες, η κάθε μία με ξεχωριστές ιδιότητες και χρησιμότητες. Ένας διαδεδομένος τύπος κάμερας στο παρελθόν είναι η ισομετρική κάμερα, η οποία δίνει την ψευδαίσθηση ενός τρισδιάστατου χώρου ενώ στην πραγματικότητα ο χώρος είναι των δύο διαστάσεων. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία υλοποίηση των τριών διαστάσεων, απλώς τα sprites των παιχνιδιών είναι ζωγραφισμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να φαντάζουν τρισδιάστατα. Παράδειγμα του παιχνιδιού Landstalker το οποίο χρησιμοποιεί ισομετρική κάμερα.



Κάμερες Δύο Διαστάσεων

Για τώρα θα μιλήσουμε μόνο για τις 2D κάμερες, αλλά πολλά χαρακτηριστικά εφαρμόζονται και στις 3D κάμερες, με τις κατάλληλες βέβαια προσαρμογές για τις τρεις διαστάσεις. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, τα περισσότερα παιχνίδια δύο διαστάσεων χρησιμοποιούν παράλληλες κάμερες. Δηλαδή, ο χώρος θέασης της κάμερας είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο και όχι μία κομμένη πυραμίδα. Ως αποτέλεσμα, δεν υπάρχει μετασχηματισμός ανάλογος του που βρίσκεται ένα sprite στην οθόνη και δεν υπάρχει αίσθηση του βάθους.

Τα παιχνίδια δύο διαστάσεων είναι συνήθως σχεδιασμένα ώστε η κάμερα να κοιτάζει τα sprites πάντα από την ίδια κατεύθυνση, ενώ επιτρέπεται η περιστροφή μόνο γύρω από τον άξονα Z. Μπορούμε να φανταστούμε τα sprites σαν ένα σύνολο πλακιδίων στοιβαγμένα το ένα δίπλα στο άλλο. Υπάρχει επίσης και η υλοποίηση ενός συστήματος επιπέδων, το οποίο συνήθως ονομάζεται [σειρά Z](#), το οποίο καθορίζει με ποια σειρά θα σχεδιαστούν τα sprites στην οθόνη. Έτσι το υπόβαθρο βρίσκεται στο πιο χαμηλό επίπεδο, ο παίκτης, οι χαρακτήρες, και άλλα αντικείμενα σε κάποιο μεσαίο επίπεδο, και το προσκήνιο βρίσκεται σε ένα πιο υψηλό επίπεδο. Υπάρχουν παιχνίδια όπως το [Stardew Valley](#), τα οποία επιτρέπουν σε χαρακτήρες και άλλα στοιχεία να αλλάξουν το επίπεδο Z τους βάσει κάποιων συνθηκών. Για παράδειγμα, όταν ο χαρακτήρας μας βρίσκεται πίσω από κάποιο δέντρο θέλουμε να έχει χαμηλότερο επίπεδο Z από αυτό, ενώ όταν βρίσκεται μπροστά από το δέντρο θέλουμε να έχει μεγαλύτερο επίπεδο Z.



Ανάλογα με το είδος παιχνιδιού το οποίο θέλουμε να φτιάξουμε η κάμερα συνήθως θα είναι είτε κάθετη με το έδαφος, ώστε η θέαση να είναι από πάνω προς τα κάτω (top-down), είτε



παράλληλη με αυτό ώστε η θέαση να κοιτάζει τον κόσμο και τους χαρακτήρες από το πλάι (side scrolling). Σημείωση ότι οι όροι αυτοί αναφέρονται στην καλλιτεχνική κατεύθυνση του παιχνιδιού, η υλοποίηση σε επίπεδο μηχανής ανάπτυξης μπορεί να διαφέρει ως προς το ποιος άξονας είναι κάθετος στην κάμερα αφού δεν υπάρχει η έννοια της τρίτης διάστασης. Παρακάτω φαίνονται δύο παραδείγματα, το πρώτο είναι το [Hotline Miami](#), ένα top-down παιχνίδι, και το δεύτερο είναι το [Dan the Man](#), ένα side scrolling παιχνίδι.

Παιχνίδια τύπου 2.5d

Να αναφέρουμε για ακόμα μία φορά και τα παιχνίδια τύπου 2.5d. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν διάφορα παιχνίδια παρά τις διαφορές τους ως προς την υλοποίηση. Συνήθως ένα παιχνίδι χαρακτηρίζεται ως 2.5d όταν συνδυάζει υλοποιήσεις ή σχεδιασμούς των δύο και των τριών διαστάσεων χωρίς να είναι πλήρως 3d.

Παραδείγματα

- Το [RollerCoaster Tycoon](#) επιτρέπει στον παίκτη να χτίσει και στις τρεις διαστάσεις. Το παιχνίδι χρησιμοποιεί αξονομετρική κάμερα (ή καλύτερα να πούμε sprites ζωγραφισμένα σε αξονομετρική όψη) για να δείξει την ψευδαίσθηση του βάθους.



- Το [Scott Pilgrim vs. the World: The Game](#) είναι παιχνίδι τύπου side scrolling το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε όταν ο χαρακτήρας να κινείται “πάνω” να φαίνεται σαν να κινείται προς το υπόβαθρο, και όταν κινείται “κάτω” να φαίνεται σαν να κινείται προς την κάμερα. Στο συγκεκριμένο παιχνίδι επίσης οι διάφοροι χαρακτήρες και μερικά αντικείμενα μπορούν να αλλάξουν υψόμετρο, για παράδειγμα ο παίκτης μπορεί να πηδήξει. Σε τέτοιου είδους παιχνίδια η πραγματική θέση του κάθε χαρακτήρα ή αντικειμένου δηλώνεται από μία μαύρη σκιά, έναν χρωματιστό κύκλο, ή κάποιο άλλο χαρακτηριστικό σύμβολο το οποίο βρίσκεται πάντα ακριβώς κάτω από τον αντίστοιχο χαρακτήρα ή αντικείμενο.



- Στο παιχνίδι [New Super Mario Bros. Wii](#) ο παίκτης επιτρέπεται να κινηθεί μόνο στις δύο διαστάσεις, ενώ οι χαρακτήρες και ο κόσμος είναι τρισδιάστατα μοντέλα. Επιτυγχάνει τη χαρακτηριστική του μορφή χρησιμοποιώντας παράλληλη κάμερα. Αφού το παιχνίδι χρησιμοποιεί κόσμο των τριών διαστάσεων, αλλά σε επίπεδο gameplay χρησιμοποιεί μόνο τις δύο διαστάσεις μπορεί να θεωρηθεί παιχνίδι 2.5d τόσο για την καλλιτεχνική του κατεύθυνση και σε επίπεδο gameplay.



- Το τελευταίο παράδειγμα είναι το [Tarzan](#) για το [PlayStation 1](#) το οποίο πολλοί μπορεί να μην το θεωρήσουν παιχνίδι 2.5dD. Χρησιμοποιεί τρισδιάστατα μοντέλα, ο χαρακτήρας κινείται σε όλες τις διαστάσεις, και χρησιμοποιείται κάμερα προοπτικής. Παρ' όλα αυτά ο παίκτης είναι περιορισμένος στις δύο διαστάσεις (πάνω-κάτω και δεξιά-αριστερά). Αν και ο Ταρζάν μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση και αντί να κινείται δεξιά να αρχίσει να κινείται προς την κάμερα, δεν απαιτείται κάποιο διαφορετικό πάτημα κουμπιού από τον παίκτη, αρκεί να συνεχίσει να πατάει το δεξί βέλος. Μπορούμε να φανταστούμε ότι το gameplay περιορίζεται σε ένα δισδιάστατο επίπεδο το οποίο παραμορφώνεται μέσα σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Έτσι, αν και το παιχνίδι χρησιμοποιεί και τις τρεις διαστάσεις οπτικά, σε επίπεδο gameplay λειτουργεί σαν παιχνίδι δύο διαστάσεων.



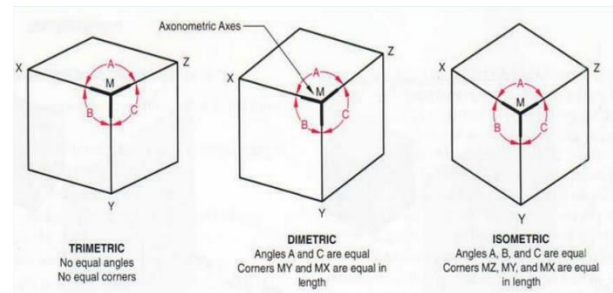
Παραλλακτική Κύλιση

Μία τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται συχνά σε παιχνίδια δύο διαστάσεων και κυρίως σε παιχνίδι τύπου side scrolling, είναι η παραλλακτική κύλιση. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή αντικείμενα τα οποία βρίσκονται πολύ μακριά από την κάμερα θα κινούνται πιο αργά, ενώ αντικείμενα τα οποία βρίσκονται πιο κοντά θα κινούνται πιο γρήγορα. Η τεχνική αυτή επιτυγχάνεται χωρίζοντας το υπόβαθρο και το προσκήνιο σε ξεχωριστά στρώματα σύμφωνα με την νοητή απόστασή τους από την κάμερα. Για παράδειγμα, τα σύννεφα τα οποία είναι πιο μακριά θα κινούνται πιο αργά από τα βουνά, τα οποία είναι λίγο πιο κοντά στην κάμερα. Το γρασίδι το οποίο είναι κοντά στον παίκτη θα κινείται πιο γρήγορα από τα αντικείμενα του υποβάθρου, ενώ κάποιος πυλώνας ο οποίος βρίσκεται πολύ κοντά στην κάμερα θα κινείται πιο γρήγορα από όλα. Η τεχνική αυτή δημιουργεί την ψευδαίσθηση του βάθους σε παιχνίδια δύο διαστάσεων και μπορεί να προσφέρει πολύ λεπτομέρεια και ενδιαφέρον σε μία σκηνή.

Αξονομετρική Προβολή

Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως, η αξονομετρική προβολή είναι η τεχνική κατά την οποία τα αντικείμενα προβάλλονται γυρισμένα έτσι ώστε να φαίνονται 3d. Λόγο της φύσης της παράλληλης κάμερας η προβολή αυτή δεν αντιστοιχεί στις αληθινές διαστάσεις των αντικειμένων, αλλά είναι παραμορφωμένα. Οι τρεις χαρακτηριστικές κατηγορίες της αξονομετρικής προβολής είναι η τριμετρική, η διμετρική, και η ισομετρική. Οι κατηγορίες αυτές αναφέρονται στην ισότητα των αξόνων και συνεπώς στην παραμόρφωση που εφαρμόζεται σε αυτούς. Ας πάρουμε για παράδειγμα τη διμετρική προβολή. Σε αυτή την προβολή έχουμε δύο γωνίες ίσες, με τους αντίστοιχους άξονες να έχουν την ίδια παραμόρφωση, ενώ ο τρίτος έχει διαφορετική. Στο παρακάτω σχήμα οι γωνίες A και C είναι ίσες, άρα οι άξονες X και Y έχουν την ίδια παραμόρφωση, ενώ ο άξονας Z έχει διαφορετική. Αντίστοιχα, ισομετρική προβολή σημαίνει ότι όλοι οι άξονες έχουν την ίδια παραμόρφωση, ενώ τριμετρική σημαίνει ότι και οι τρεις άξονες έχουν διαφορετική παραμόρφωση. Η ισομετρική προβολή είναι η πιο διαδεδομένη αλλά οι άλλες δύο μπορεί να έχουν πιο ελκυστική αισθητική λόγω του ασυνήθιστου σχήματος των αντικειμένων. Η τριμετρική γενικά δεν χρησιμοποιείται σε παιχνίδια.

Αν θέλουμε σήμερα να σχεδιάσουμε ένα παιχνίδι το οποίο χρησιμοποιεί αξονομετρική προβολή για αισθητικούς λόγους, τότε δεν χρειάζεται να ζωγραφίσουμε sprites σε αυτή την προοπτική (η οποία είναι και δύσκολη). Αντί αυτού μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις λειτουργίες των σύγχρονων εφαρμογών



σχεδιασμού τρισδιάστατων μοντέλων και να φτιάξουμε ένα 3D μοντέλο το οποίο εξάγουμε σε μορφή εικόνας. Αυτή η τεχνική είναι κυρίως χρήσιμη αν έχουμε κάποιο πολύπλοκο μοντέλο το οποίο θέλουμε να έχει δυνατότητα περιστροφής. Αν ζωγραφίζαμε κάθε sprite με το χέρι τότε θα έπρεπε να ζωγραφίζαμε το μοντέλο μας από κάθε οπτική γωνία που θα χρησιμοποιηθεί, ενώ με ένα 3D μοντέλο αρκεί να το περιστρέψουμε και μετά να το επαναεξάγουμε ως ένα άλλο σύνολο εικόνων.

Επιλογή Κάμερας

Ποιο είδος κάμερας θα επιλέξουμε εξαρτάται από το είδος παιχνιδιού που φτιάχνουμε. Αν φτιάχνουμε ένα παιχνίδι στο οποίο ο παίκτης μπορεί να κινηθεί και στις τρεις διαστάσεις τότε η κάμερα προοπτικής είναι η μόνη εμφανής επιλογή. Σε ένα παιχνίδι δύο διαστάσεων ωστόσο, η ερώτηση αποκτά περισσότερο ενδιαφέρον. Μία ορθογραφική κάμερα συνήθως σημαίνει ότι η δημιουργία στοιχείων όπως τα sprites θα είναι αρκετά εύκολη, ενώ η σύνδεσή τους με ένα σύστημα πλακιδίων τύπου [tileset](#) επίσης δεν θα εμφανίσει μεγάλη δυσκολία. Ωστόσο είμαστε περιορισμένοι μόνο σε κίνηση στις δύο διαστάσεις (όχι ότι αυτό σταμάτησε ποτέ παιχνίδια τέτοιου τύπου από το να γίνουν μεγάλες επιτυχίες). Από την άλλη, με μία αξονομετρική κάμερα η δημιουργία των στοιχείων μπορεί να είναι λίγο ή και πολύ πιο δύσκολη ανάλογα με την πολυπλοκότητα των μοντέλων. Έχουμε επίσης το πλεονέκτημα ελαφρώς πιο ανεπτυγμένης κίνησης στις τρεις διαστάσεις. Η επιλογή τέτοιας κάμερας, ωστόσο, προκαλεί καινούριες προκλήσεις ως προς το σύστημα σύνδεσης πλακιδίων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα είναι ότι λόγω της φύσης της κάμερας δεν υπάρχει η αίσθηση του βάθους, το οποίο σημαίνει ότι ένα μπλοκ μπορεί να κρύβεται τέλεια πίσω από ένα άλλο μπλοκ το οποίο βρίσκεται λίγο πιο κοντά στην κάμερα, και λίγο πιο ψηλά στον χώρο. Σήμερα, οι μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών αναλαμβάνουν τα προβλήματα υλοποίησης για εμάς, οπότε το είδος κάμερας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι καθαρά επιλογή αισθητικής.



Υπάρχουν και παιχνίδια τα οποία συνδυάζουν διάφορα είδη κάμερας για να πετύχουν ένα συγκεκριμένο στυλ. Όπως είδατε στην απραπάνβω εικόνα από το [Castle Crashers](#), έχει υπόβαθρο ζωγραφισμένο σαν να είναι διμετρικό περιβάλλον, ενώ οι χαρακτήρες είναι ορθογραφικοί. Στο διπλανό παράδειγμα, το παιχνίδι [deltarune](#) χρησιμοποιεί ορθογραφικούς χαρακτήρες, αλλά το περιβάλλον φαίνεται σαν να χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό διαφορετικών διμετρικών προβολών. Αν και αυτά τα δύο παραδείγματα μπορεί να μην φαίνονται λογικά στον χώρο, η καλλιτεχνική τους κατεύθυνση είναι τόσο ισχυρή που το τελικό αποτέλεσμα παραμένει ελκυστικό.



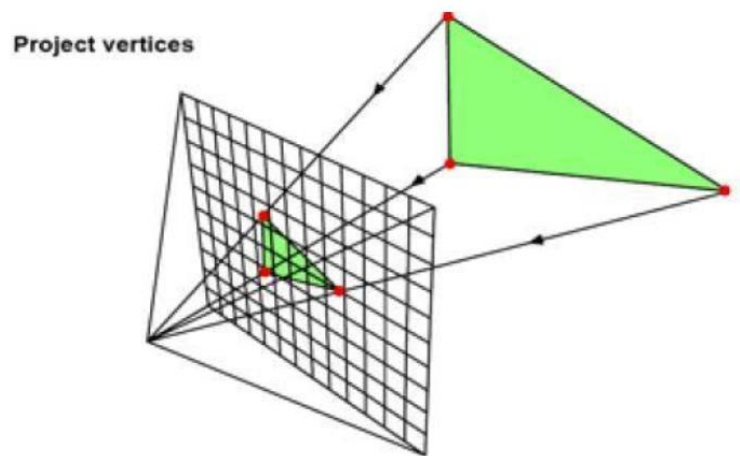
Κάμερες Τριών Διαστάσεων

Τα 3d παιχνίδια χρησιμοποιούν προβολές προοπτικής. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το βάθος και η απόσταση των αντικειμένων από την κάμερα παίζουν ρόλο στην προβολή τους στην οθόνη. Για αυτό το λόγο τα τρισδιάστατα γραφικά φαίνονται όντως τρισδιάστατα. Αυτή η προβολή μιμείται τον τρόπο με τον οποίο βλέπουν τα ανθρώπινα μάτια, καθώς τα αντικείμενα τα οποία είναι πιο κοντά στον θεατή εμφανίζονται μεγαλύτερα από τα αντικείμενα τα οποία είναι πιο μακριά.

Θυμίζουμε τα τρία βασικά στοιχεία για τον ορισμό μίας τέτοιας κάμερας στο χώρο. Το πρώτο είναι η θέση θέασης, η οποία καθορίζεται από την θέση των “ματιών”. Είναι το σημείο στον χώρο στο οποίο συγκλίνουν όλες οι ακτίνες. Το δεύτερο είναι ο προσανατολισμός, ο οποίος αποτελεί την κατεύθυνση στην οποία “κοιτάζει” η κάμερα. Θεωρούμε ότι η κατεύθυνση είναι κάθετη στο κοντινό και το μακρινό επίπεδο τα οποία καθορίζουν το οπτικό πεδίο. Το τελευταίο στοιχείο είναι το οπτικό πεδίο της κάμερας, το οποίο καθορίζεται από μία κομμένη πυραμίδα και αποτελεί έναν χώρο τον οποίο ονομάζουμε χώρο θέασης. Σε κάθε frame η μηχανή θα σχεδιάσει μόνο ό,τι βρίσκεται μέσα στον χώρο θέασης.

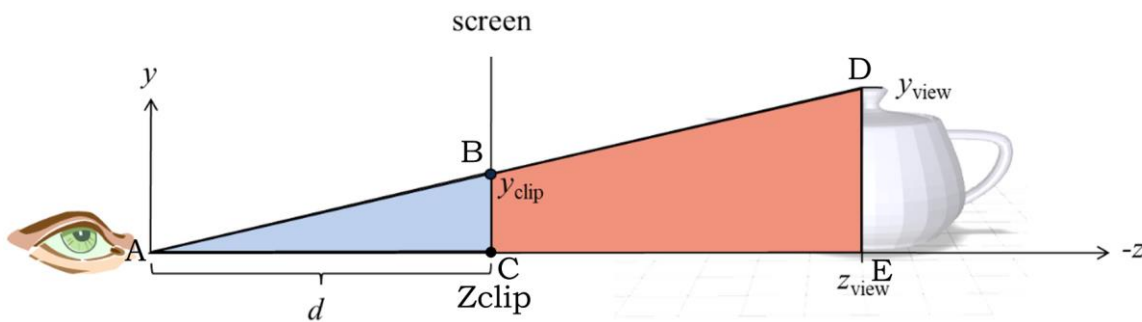
Τρόπος λειτουργίας κάμερας

Σε μία ορθογραφική κάμερα θα σχεδιάζαμε τα μοντέλα ακριβώς όπως φαίνονται μέσα στον χώρο. Αυτή η τεχνική δεν δουλεύει στις κάμερες προοπτικής, αφού χάνεται η αίσθηση του βάθους. Για να προβάλουν τον τρισδιάστατο χώρο σε ένα επίπεδο των δύο διαστάσεων (και τελικά στην οθόνη μας) οι μηχανές χρησιμοποιούν μία τεχνική η οποία ονομάζεται ραστεροποίηση (Rasterization). Θα μιλήσουμε για αυτή την τεχνική με περισσότερη λεπτομέρεια στην επόμενη διάλεξη, αλλά για τώρα ας δούμε τα βασικά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο για να προβάλει τα αντικείμενα του τρισδιάστατου χώρου στην οθόνη. Ουσιαστικά κάθε τμήμα (fragment) πολυγώνου σε κάθε αντικείμενο στον χώρο αντιστοιχεί σε ένα pixel στην οθόνη. Μπορούμε να φανταστούμε ότι κάθε τέτοιο τμήμα φέρει μία ακτίνα η οποία τέμνει το κοντινό επίπεδο θέασης. Η κύρια



διαφορά είναι ότι ενώ στις ορθογραφικές κάμερες αυτές οι ακτίνες είναι παράλληλες, τώρα όλες οι ακτίνες συγκλίνουν στην αρχή των ματιών (δηλαδή στη θέση θέασης).

Στη συνέχεια ας εξετάσουμε τον χώρο της κάμερας. Υπενθυμίζουμε ότι η κάμερα στην πραγματικότητα είναι ένας χώρος με δικό της σύστημα συντεταγμένων. Η πραγματική θέση της κάμερας είναι η αρχή του συστήματος συντεταγμένων, ενώ η κατεύθυνσή της είναι παράλληλη με τον άξονα z και κατά σύμβαση συνήθως “κοιτάζει”¹ προς το $-z$. Η οθόνη της κάμερας όπως θα προβληθεί στην δική μας οθόνη είναι το κοντινό επίπεδο, το οποίο βρίσκεται d μονάδες μακριά από την κάμερα και είναι κάθετο προς τον άξονα z . Ο άξονας y καθορίζει την κύλιση “πάνω-κάτω”, ο άξονας x καθορίζει την κύλιση “δεξιά-αριστερά”, και ο άξονας z καθορίζει την κύλιση “μέσα-έξω”. Έτσι έχουμε πλήρη κίνηση και στις τρεις διαστάσεις και περιστρέφουμε όλο το σύστημα συντεταγμένων για να περιστρέψουμε την κάμερα.



Στην παραπάνω εικόνα έχουμε την θέση του ματιού, την απόσταση d από το οποίο βρίσκεται το κοντινό επίπεδο θέασης, και ένα αντικείμενο το οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε.

Θεωρούμε ότι η βάση του αντικειμένου είναι στο ύψος των ματιών, ενώ η κορυφή του είναι σε ένα ύψος $DE = y_{view}$ από αυτή. Θεωρούμε επίσης ότι το αντικείμενο βρίσκεται σε στη θέση $x = 0$, άρα αρκεί να εξετάσουμε μόνο τον άξονα y . Γνωρίζουμε επίσης την απόσταση $AE = z_{view}$. Στόχος είναι να υπολογίσουμε το ύψος $BC = y_{clip}$ ώστε να προβάλουμε την κορυφή του αντικειμένου σωστά στην οθόνη μας. Σε μία ορθογραφική κάμερα, οι αποστάσεις y_{clip} και y_{view} θα ήταν ίσες, αλλά σε μία κάμερα με προοπτική θα πρέπει να κάνουμε λίγη παραπάνω δουλειά.

Παρατηρούμε ότι τα τρίγωνα ABC και ADE είναι όμοια, αφού έχουν την γωνία A κοινή και είναι και τα δύο ορθογώνια. Άρα από ομοιότητα τριγώνων γνωρίζουμε ότι:

$$\frac{y_{clip}}{d} = \frac{y_{view}}{-z_{view}}$$

προσοχή ότι το z_{view} έχει μείον γιατί η κάμερα “κοιτάζει” προς τα αρνητικά του άξονα z .

¹ Εννοούμε ότι το κάθετο διάνυσμα του κοντινού επιπέδου θέασης έχει κατεύθυνση ίδια με $-z$.

Τότε λύνουμε ως προς y_{clip} :

$$\frac{y_{clip}}{d} = \frac{y_{view}}{-z_{view}} \Rightarrow y_{clip} = \frac{y_{view}}{-z_{view}/d}$$

Άρα ξέρουμε ότι από το κέντρο της οθόνης μας η κορυφή του αντικειμένου θα σχεδιαστεί y_{clip} pixels προς τα πάνω (στην πραγματικότητα μία μονάδα στο κοντινό επίπεδο δεν αντιστοιχεί σε ένα pixel στην οθόνη και οι συντεταγμένες που υπολογίσαμε θα πρέπει να κοινωνικοποιηθούν στις συντεταγμένες της συσκευής μας, δηλαδή της οθόνης).

Το ίδιο θα έπρεπε να κάνουμε και για τον άξονα x αντίστοιχα αν το αντικείμενό μας δεν είναι κεντραρισμένο. Οι πράξεις αυτές γίνονται για κάθε αντικείμενο στον χώρο, για κάθε ορθογώνιο του κάθε αντικειμένου. Και αφού αναφερόμαστε για [real-time rendering](#) πρέπει όλη αυτή η διαδικασία να γίνεται 30, 60 ή και περισσότερες φορές το δευτερόλεπτο. Καταλαβαίνουμε πόσο απαιτητική είναι αυτή η διαδικασία σε ένα σύστημα. Αυτό μπορεί να φαίνεται σχεδόν αδύνατον, αλλά ας μη ξεχνάμε ότι έχουμε συνηθίσει να μιλάμε για επεξεργαστές, οι οποίοι κατά κύριο λόγο εκτελούν διεργασίες σειριακά. Σε ένα μοντέρνο σύστημα αυτή η διαδικασία γίνεται σε μία κάρτα γραφικών, η οποία είναι σχεδιασμένη ώστε να μπορεί να εκτελεί όλες αυτές τις πράξεις παράλληλα. Όταν ένας μέσος επεξεργαστής μπορεί να έχει 8 ή και 16 πυρήνες, μία μοντέρνα κάρτα γραφικών μπορεί να φτάσει τους [16,384 CUDA cores](#).

Μελέτη Περίπτωσης: Οι “31” κάμερες του Uncharted 3

Έχοντας μιλήσει για την υλοποίηση των διαφορετικών ειδών καμερών ας μιλήσουμε για το πως μπορούμε να εφαρμόσουμε διαφορετικές κάμερες ανάλογα με τον στόχο μας. Αυτός ο τομέας είναι περισσότερο στο κομμάτι του σχεδιασμού παρά στην υλοποίηση, αλλά αν κατανοήσουμε επαρκώς τι κάμερες χρειάζεται το παιχνίδι μας μπορούμε να τις υλοποιήσουμε πιο αποτελεσματικά.

Το Uncharted 3 είναι ένα παιχνίδι δράσης στο οποίο χρησιμοποιούνται διαφορετικές “κάμερες” ανάλογα με κάποιες παραμέτρους. Στη διάρκειά του χρησιμοποιεί αποκλειστικά κάμερα προοπτικής, αυτό που αλλάζει είναι ο χειρισμός και η συμπεριφορά της. Σύμφωνα με τους developers, για το παιχνίδι υλοποιήθηκαν 31 διαφορετικοί τύποι κάμερας, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- **Κάμερες Κώδικα:** Αυτές είναι οι κάμερες τις οποίες θα χρησιμοποιήσει ο παίκτης. Ανάλογα με την θέση, την κατάσταση, και τον χώρο στον οποίο βρίσκεται ο χαρακτήρας που ελέγχει ο παίκτης, η κάμερα μπορεί να συμπεριφέρεται διαφορετικά. Για παράδειγμα, όταν βρίσκεται σε έναν ανοιχτό χώρο όπου μπορεί να κινηθεί ελεύθερα τότε η κάμερα ακολουθεί τον παίκτη και μπορεί να περιστραφεί

γύρω από τον κύριο χαρακτήρα με τη χρήση του δεξιού μοχλού. Σε μία άλλη περίπτωση, όταν ο παίκτης σκαρφαλώνει σε ένα κτήριο, τότε η κάμερα πάλι τον ακολουθεί, αλλά ο δεξιός μοχλός χρησιμοποιείται για να αλλάξει ελαφρώς την κατεύθυνσή της, αντί να περιστρέφεται γύρω από τον κύριο χαρακτήρα. Από την άλλη, σε ορισμένα τμήματα του παιχνιδιού η κάμερα μπορεί να ακολουθεί ένα προκαθορισμένο μονοπάτι και να μην δέχεται καμία είσοδο από τον παίκτη. Στο συγκεκριμένο παιχνίδι είναι άκρως σημαντικό να επιτρέπεται η αλλαγή από το ένα είδος κάμερας στο άλλο απρόσκοπτα.

- **Κάμερες Σχεδιαστών:** Οι κάμερες σχεδιαστών είναι αυτές που χρησιμοποιούνται από τους σχεδιαστές. Μπορεί να τοποθετήσουν μία κάμερα στον χώρο η οποία να μένει ακίνητη, ή να περιστρέφεται γύρω από κάποιο αντικείμενο, ή να ακολουθεί κάποιο μονοπάτι.
- **Κάμερες εκσφαλμάτωσης:** Οι κάμερες εκσφαλμάτωσης χρησιμεύουν στην εύρεση λαθών στον χώρο του παιχνιδιού. Μία τέτοια κάμερα μπορεί να επιτρέπει στον χρήστη να κινηθεί πετώντας ελεύθερα στον χώρο και να τον κοιτάξει από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Εναλλακτικά μπορεί να ορίσουν μία κάμερα να ακολουθεί κάποιο αντικείμενο ή χαρακτήρα ώστε να ελέγξουν πως αντιδρά ανάλογα με τις πράξεις του παίκτη. Αυτές οι κάμερες συνήθως δεν χρησιμοποιούνται από το χρήστη όταν παίζει το παιχνίδι.
- Για περισσότερο από τον μισό χρόνο του παίκτη λειτουργεί η κάμερα τύπου follow. Η κάμερα αυτή ακολουθεί τον παίκτη και περιστρέφεται γύρω από αυτόν με τη χρήση του δεξιού μοχλού. Κύριο συστατικό τέτοιου είδους κάμερας είναι ένας μηχανισμός σύγκρουσης, σύμφωνα με τον οποίο η κάμερα καταλαβαίνει πότε συγκρούεται με ένα αντικείμενο και κινείται ανάλογα για να αποφευχθεί το [clipping](#).

Η ανάμειξη των ειδών καμερών υλοποιείται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα με χρήση σωρού και με LERP. Κάθε νέα κάμερα εισάγεται στον σωρό και ξεχωρίζει σταδιακά. Αναμειγνύεται με τις άλλες κάμερες οι οποίες βρίσκονται ήδη στον σωρό και συνεισφέρει στην προβολή της σκηνής με βαθμό β . Η συνεισφορά των από κάτω καμερών είναι $(1-\beta)$. Όταν μία κάμερα δεν συνεισφέρει πλέον τότε διώχνεται από τον σωρό. Αν ενδιαφέρεστε να μάθετε παραπάνω για το σύστημα κάμερας του παιχνιδιού, υπάρχει μία ομιλία που έγινε στην [Game Developers Conference](https://www.gdcvault.com/play/1015514/The-Cameras-of-Uncharted) 2012: <https://www.gdcvault.com/play/1015514/The-Cameras-of-Uncharted>.