

ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ XR

Θεόδωρος Κυριάκου

Η Διατριβή αυτή

Υποβλήθηκε προς Μερική Εκπλήρωση των

Απαιτήσεων για την Απόκτηση

Τίτλου Σπουδών Master

σε Προηγμένες Τεχνολογίες Πληροφορικής

στο

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συστήνεται προς Αποδοχή

από το Τμήμα Πληροφορικής

Ιούνης, 2022

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΡΙΣΗΣ

Διατριβή Master

ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΧΡ

Παρουσιάστηκε από

Θεόδωρο Κυριάκου

Ερευνητικός Σύμβουλος

Δρ. Γιώργος Χρυσάνθου

Μέλος Επιτροπής

Δρ. Παναγιώτης Χαραλάμους

Μέλος Επιτροπής

Δρ. Ανδρέας Αριστείδου

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ιούνης, 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πανδημία Κορονοϊού του 2019 έφερε τα πάνω κάτω σε πολλούς τομείς και σε πάμπολλους επαγγελματικούς χώρους. Ένας από τους χώρους που πλήγηκε ήταν και ο μουσικός. Διαφάνηκε έτσι η ανάγκη εξεύρεσης εναλλακτικών τρόπων παρουσίασης της εργασίας των μουσικών. Οι εικονικές συναυλίες είναι η ουσιαστική λύση στο πρόβλημα. Μια πρώιμη εργασία στη λύση του προβλήματος επιχειρήθηκε στη Διατριβή αυτή. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης “Blender” κατασκευάστηκαν πλήκτρα πιάνου που μπορούσαν να κινούνται. Στην συνέχεια, μέσω του “Unreal Engine”, έγινε σύνδεση του ήχου με το παίξιμο των πλήκτρων κάνοντας χρήση του MIDI. Ακολούθησε η δημιουργία μουσικής σκηνής, τροποποιώντας υπάρχων τρισδιάστατο μοντέλο. Αξιοποιώντας το Metahuman Creator δημιουργήθηκε ο εικονικός μουσικός. Η καταγραφή των εκφράσεων του πραγματικού μουσικού και η μετάδοσή του στον εικονικό, συνόδευε την εργασία, κάτι που επιτεύχθηκε μέσω του Live Link Face. Η κίνηση σε πραγματικό χρόνο του σώματος του εικονικού μουσικού (όλου του χεριού με τα δάκτυλα) υλοποιήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό με IK. Έτσι, σε ευθετότερο χρόνο, η τελειοποίηση της εικονική συναυλίας με προσθήκη θεατών και αντικατάσταση του πιάνου με άλλα μουσικά όργανα δεν αποτελεί ανέφικτη προσδοκία.

Θεόδωρος Κυριάκου – Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Φέρνοντας εις πέρας τη Διατριβή μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω ένα προς ένα τα άτομα που συνέβαλαν, βοήθησαν και ήταν δίπλα μου στο απαιτητικό και δύσκολο αυτό διάστημα.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Δρ. Γιώργο Χρυσάνθου που με εμπιστεύτηκε και που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σημαντικό θέμα.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Δρ. Παναγιώτη Χαραλάμπους για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διατριβής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την οικογένειά μου, τους φίλους μου, καθώς και όλα τα άλλα κοντινά μου πρόσωπα, γιατί ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα και μου συμπαραστέκονταν, μου έδιναν δύναμη και κίνητρο να συνεχίσω την προσπάθεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο	1
1.2 Σχετική Εργασία	3
1.3 Δομή Διατριβής	5
Κεφάλαιο 2: Απαιτούμενη Γνώση και Τεχνολογία	6
2.1 Πιάνο/Θεωρία της Μουσικής	6
2.2 Game Engines	6
2.3 3D Modeling	8
2.4 Virtual Humans	9
2.5 Animation και Character Animation	10
2.5.1 Phi Phenomenon & Beta Movement	10
2.5.2 Traditional Animation	11
2.5.3 Keyframing	11
2.5.4 Motion Capture	11
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία	17
3.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος	17
3.2 Τροποποίηση Πιάνου και Κατασκευή Πλήκτρων	19
3.3 MIDI	21
3.4 Virtual Piano	23
3.4.1 Σύνδεση Κάθε Πλήκτρου με Ήχο	23
3.4.2 Animation Πλήκτρων	24
3.5 Μουσική Σκηνή / Θέατρο	25
3.6 MetaHuman	25
3.7 Blueprint Interface	26
3.8 Animation Blueprint	27
3.9 Control Rig	28

3.10	Καταγραφή Κίνησης Προσώπου – Live Link Face	33
Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση.....		35
4.1	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	35
Κεφάλαιο 5: Αξιολόγηση		41
5.1	Αποτελέσματα Αξιολόγησης.....	41
5.2	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....	46
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία		47
6.1	Τι πετύχαμε μέσα από την Διατριβή μας	47
6.2	Συμπεράσματα.....	48
6.3	Μελλοντική Εργασία	49
Βιβλιογραφία.....		53
Παράρτημα Α.....		56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Παράδειγμα από σκελετικό σύστημα (rig).....	9
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα της διαδικασίας skinning. Τα χρώματα δείχνουν τον παράγοντα επιρροής κάθε οστού σε κάθε κορυφή.....	10
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα οπτικού συστήματος mocap με passive markers.....	13
Εικόνα 2.4: Παράδειγμα με active markers.....	13
Εικόνα 2.5: Παράδειγμα στολής από inertial system.....	14
Εικόνα 2.6: FrankMocap Demostration.....	15
Εικόνα 2.7: FK vs IK.....	16
Εικόνα 2.8: Imitation-based Learning.....	16
Εικόνα 3.1: Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	18
Εικόνα 3.2: Αρχικό 3D μοντέλο πιάνου.....	19
Εικόνα 3.3: Τροποποιημένο Πιάνο.....	20
Εικόνα 3.4: 3D Μοντέλο Πλήκτρων.....	21
Εικόνα 3.5: MIDI input set up.....	22
Εικόνα 3.6: MIDI Input Example.....	23
Εικόνα 3.7: Παράδειγμα Παιξίματος Εικονικού Πιάνου.....	24
Εικόνα 3.8: MetaHuman - Εικονικός Μουσικός.....	26
Εικόνα 3.9: Animation Blueprint.....	28
Εικόνα 3.10: Feet IK Controllers.....	29
Εικόνα 3.11: Right Foot IK.....	30
Εικόνα 3.12: Hands IK Controllers.....	31
Εικόνα 3.13: Right Hand IK.....	31
Εικόνα 3.14: Left Fingers Controllers IK.....	32
Εικόνα 3.15: Index Finger IK.....	32
Εικόνα 3.16: Live Link Face in professional performance capture pipelines.....	34
Εικόνα 4.1: Μεσαίας Απόστασης Πλάνο.....	35

Εικόνα 4.2: Μακρινό Πλάνο 1	36
Εικόνα 4.3: Μακρινό Πλάνο 2	36
Εικόνα 4.4: Μακρινό Πλάνο 3	37
Εικόνα 4.5: Μακρινό Πλάνο 4	37
Εικόνα 4.6: Μακρινό Πλάνο 5	38
Εικόνα 4.7: Κοντινό Πλάνο	38
Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα Παιξίματος	39
Εικόνα 4.9: Live Link Face	39
Εικόνα 4.10: Πλάνο πίσω από καλλιτέχνη	40
Εικόνα 4.11: Δακτυλισμός	40
Εικόνα 5.1: Αποτέλεσμα Ερώτησης 1	41
Εικόνα 5.2: Αποτέλεσμα Ερώτησης 2	42
Εικόνα 5.3: Αποτέλεσμα Ερώτησης 3	42
Εικόνα 5.4: Αποτέλεσμα Ερώτησης 4	43
Εικόνα 5.5: Αποτέλεσμα Ερώτησης 5	43
Εικόνα 5.6: Αποτέλεσμα Ερώτησης 6	44
Εικόνα 5.7: Αποτέλεσμα Ερώτησης 7	44
Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα Ερώτησης 8	45
Εικόνα 5.9: Αποτέλεσμα Ερώτησης 9	45
Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα Ερώτησης 10	46
Εικόνα 6.1: CCP: Configurable Crowd Profiles	49
Εικόνα 6.2: CCP: Configurable Crowd Profiles	50
Εικόνα 6.3: CCP: Configurable Crowd Profiles	50
Εικόνα 6.4: CCP: Configurable Crowd Profiles	51

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθώ αρχικά στο προσωπικό κίνητρο που είχα ώστε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Στην συνέχεια θα δούμε την σχετική εργασία που προϋπήρχε και τέλος θα παρουσιάσω την Δομή της Εργασίας - Διατριβής Μάστερ.

1.1 Κίνητρο

Ξεκινώντας τις σπουδές μου στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου είχα ως σκοπό, να ακολουθήσω στη συνέχεια και δεύτερες σπουδές στον κλάδο της Μουσικής. Ήθελα να ικανοποιήσω την έφεση που είχα από παιδί στον τομέα αυτό, μιας και είχα διδαχτεί σε προχωρημένο επίπεδο: κιθάρα, πιάνο, τύμπανα και Θεωρία της Μουσικής.

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου στον τομέα της Πληροφορικής και αντιλαμβανόμενος πως η Πληροφορική ανοίγει απεριόριστους ορίζοντες σε όποιον θέλει πραγματικά να ενασχοληθεί με αυτήν, αποφάσισα να κάνω μάστερ στην Πληροφορική στο ίδιο Πανεπιστήμιο, για να διευρύνω όσο ήταν δυνατό τις γνώσεις μου σε θέματά της.

Η εμφάνιση της πανδημίας του κορονοϊού το 2019 επηρέασε και επηρεάζει ακόμα τις ζωές όλων μας. Οι συνέπειες στην καθημερινότητά μας είναι τρομακτικές: εκατομμύρια θάνατοι, παροδικά ή/και χρόνια προβλήματα σωματικής και ψυχικής υγείας, αλλά και οικονομικά προβλήματα. Ειδικά όσον αφορά τα οικονομικά ζητήματα, εύκολα διαπιστώνει κανείς πως υπάρχουν κατηγορίες επαγγελματιών που επλήγησαν πολύ περισσότερο από άλλες. Σε ετούτες

ανήκουν οι εργαζόμενοι σε χώρους διασκέδασης, εστίασης ή και πολιτιστικής προσφοράς (θεατρικούς χώρους και μουσικές σκηνές). Ηθοποιοί, μουσικοί, τραγουδιστές έμειναν για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς δουλειές, χωρίς μεροκάματο, χωρίς να μπορούν να εξασφαλίσουν «τα προς το ζην». Συνάμα, ο κόσμος έμεινε χωρίς την «πνευματική τροφή» που του προσέφεραν. Θα μπορούσε βέβαια κάποιος να αντιπαραβάλει το επιχείρημα πως όσοι το επιθυμούσαν είχαν ποικίλους άλλους τρόπους να έχουν πρόσβαση σε μουσικά ακούσματα ή θέαση σε θεατρικές παραστάσεις, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία. Αναντίλεκτα όμως, η διαδραστικότητα μεταξύ καλλιτέχνη και ακροατή/θεατή είναι απύσαστα στους τρόπους αυτούς. Η διαδραστικότητα όμως είναι εκείνη που κάνει τη διαφορά και που δίνει άλλη διάσταση στην προσφορά του καλλιτέχνη.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως, εν καιρώ πανδημίας, οι καλλιτέχνες δεν είχαν εναλλακτικούς δόκιμους τρόπους παρουσίασης της δουλειάς τους που θα αντικαθιστούσαν τις ζωντανές τους παρουσιάσεις, όπως είχαν επί παραδείγματι οι εκπαιδευτικοί οι οποίοι συνέχισαν περίπου απρόσκοπτα το έργο τους με τηλεργασία. Και δε μιλάμε μόνο για κατάσταση που αφορούσε μόνο τα στενά όρια του τόπου μας. Αντίθετα, η ίδια λυπηρή κατάσταση παρατηρήθηκε σε όλες τις χώρες, μιας και απλά δεν τέθηκαν ποτέ τα τεχνολογικά εχέγγυα που θα επέτρεπαν εικονικές λόγου χάρη συναυλίες ή παραστάσεις. Ως εκ τούτου, διαπιστώθηκε η ανάγκη άμεσου εκσυγχρονισμού στο θέμα, εκσυγχρονισμού που απαιτεί επίπονη δουλειά και συνεχείς μελέτες και προσπάθειες.

Έτσι λοιπόν, μέσα από αυτή την Εργασία - Διατριβή ήθελα να κάνω την αρχή της προσομοίωσης ενός εικονικού Μουσικού πάνω στην σκηνή που να παίζει πιάνο, έτσι ώστε να μπορέσω να αντληθώ τί προβλήματα και δυσκολίες έχω να αντιμετωπίσω και να συνεχίσω την έρευνά μου σε Διδακτορικές σπουδές.

1.2 Σχετική Εργασία

Υπάρχουν πολλοί ερευνητές εδώ και δεκαετίες που μελετούν το παίξιμο στο πιάνο.

Οι πρώτες εργασίες έγιναν χρησιμοποιώντας ρομπότ με διάφορες τεχνικές για να το πετύχουν, όπου κάποιες φορές τα ρομπότ είχαν μειωμένο αριθμό από δάκτυλα [1] για ευκολότερο έλεγχο και απλοποίηση του προβλήματος ή και ακόμη την προσθήκη περισσότερων δακτύλων [2] - πάνω από κάθε ένα από τα πλήκτρα. Ορισμένα όμως, έκαναν χρήση της κανονικής μορφής ανθρώπινου χεριού. Ωστόσο, το χέρι είναι παθητικό χωρίς έλεγχο δύναμης στα δάκτυλα [3]. Σε μια πολύ πρόσφατη μελέτη, ο H. Xu και οι υπόλοιποι, πρότειναν την πρώτη προσέγγιση βασισμένη σε ενισχυτική μάθηση για εκμάθηση πιάνου με χέρια ρομπότ εξοπλισμένα με απτικούς αισθητήρες (και αυτοί έκαναν χρήση 4 δακτύλων στα χέρια) [4].

Ο X. Wang πρότεινε το PPVR, ένα σύστημα συνεργασίας VR που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει την εξ αποστάσεως εκπαίδευση πιάνου από διαφορετικές γωνίες. Σε αυτό το σύστημα, τόσο ο μαθητής όσο και ο καθηγητής φορούν γάντια που ανιχνεύουν την πίεση των δακτύλων, χρησιμοποιούν leap motion για ανίχνευση δακτύλων και φορώντας VR γυαλιά βλέπει ο μαθητής τι δείχνει ο καθηγητής και το αντίθετο. Στην υλοποίηση αυτή δεν χρησιμοποιείται πραγματικό πιάνο αλλά μέσω του leap motion το σύστημα ξέρει ποιες νότες στο εικονικό πιάνο θα παιχτούν [5].

Ο D. Salz και F. Azam χρησιμοποίησαν μόνο το Leap Motion (χωρίς γάντια με αισθητήρες πίεσης) για την παρακολούθηση των δακτύλων, για να μπορούν να πατούν τα πλήκτρα του εικονικού πιάνου [6].

Ο E. Yilmaz και οι υπόλοιποι, έκαναν προσομοίωση 3D συναυλίας παίρνοντας είσοδο ένα αρχείο MP3. Χρησιμοποιούσαν τα μεταδεδομένα του MP3 όπου παρέχουν αρκετή πληροφορία για ανάλυση ήχου. Ορισμένα πεδία στην κεφαλίδα, όπως το είδος, ο ρυθμός, και ο καλλιτέχνης

περιέχουν πολύτιμες πληροφορίες όταν είναι διαθέσιμες καθώς επίσης και λέξεις-κλειδιά όπως "θυμωμένος", "λυπημένος". Όλες αυτές τις πληροφορίες τις χρησιμοποίησαν για να ελέγχουν το animation του κοινού και της μπάντας [7].

Κάποια πολύ πρόσφατα παραδείγματα από VR μουσικές συναυλίες, τα οποία παρουσιάζει στο άρθρο του ο J. Sampson, είναι τα ακόλουθα [8]:

1. **Fortnite:** Το παιχνίδι Fortnite από την EpicGames φιλοξένησε μια σειρά ζωντανών μουσικών εκδηλώσεων, συμπεριλαμβανομένων καλλιτεχνών όπως ο Marshmellow και ο Travis Scott, το 2019 και το 2020 αντίστοιχα, φτάνοντας σε αριθμούς ρεκόρ πολλών εκατομμυρίων θεατών ο καθένας. Ο σύνδεσμος από αυτή την εικονική συναυλία είναι ο ακόλουθος: <https://www.youtube.com/watch?v=NBsCzN-jfvA>
2. **Φεστιβάλ Lost Horizon:** Για πρώτη φορά στα 50 χρόνια ύπαρξής του, οι διοργανωτές της εκδήλωσης αναγκάστηκαν να ακυρώσουν το 2020 Glastonbury Music Festival λόγω COVID-19, ως εκ τούτου δημιουργήθηκε ένα φεστιβάλ μουσικής και τεχνών στον κόσμο στην εικονική πραγματικότητα. Το Horizon Festival ήταν μια εντελώς διαδραστική εκδήλωση με πολλαπλά στάδια. Η πρόσβαση μπορεί να γίνει μέσω υπολογιστή (Facebook, Twitch and Youtube), σετ VR ή μέσω εφαρμογής για κινητά (iOS και Android). Ο σύνδεσμος από το εικονικό φεστιβάλ είναι ο ακόλουθος: https://www.youtube.com/watch?v=r5GpBK_-hIY
3. **WaveXR:** Το WaveXR είναι μια πλατφόρμα που παρέχει μοναδικές συναυλίες VR, οι οποίες ονομάζονται "waves". Οι συναυλίες αυτές είναι ζωντανές, καθηλωτικές, διαδραστικές και κοινωνικές και μεταδίδονται ζωντανά μέσω Youtube, Twitter, TikTok, Facebook και Roblox. Παραδείγματα από αυτές τις συναυλίες είναι η παράσταση του John Legend (<https://www.youtube.com/watch?v=eGy6419Yuuw>) και της Lindsey Stirling (<https://www.youtube.com/watch?v=TGNJbrZnIJg>). Οι καλλιτέχνες φορούν στολή motion capture, και οι κινήσεις τους μεταφέρονται στα avatar τους. Οι θεατές της συναυλίας φορούν ένα σετ VR γυαλιών, έχουν επίσης τον

δικό τους avatar και μπορούν να αλληλοεπιδράσουν μεταξύ τους. Ο χρήστης έχει τον έλεγχο του περιβάλλοντος του με ψηφοφορία ή δωρεές.

1.3 Δομή Διατριβής

Στο Κεφάλαιο 2, θα δούμε όλη την απαιτούμενη γνώση και τεχνολογία που χρειάζεται να έχει κάποιος για να ασχοληθεί με το συγκεκριμένο θέμα. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στο γιατί κάποιος πρέπει να έχει γνώσεις μουσικής για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στο συγκεκριμένο θέμα, θα μιλήσουμε για μηχανές παιχνιδιών και ποια συγκεκριμένα επιλέξαμε. Επιπλέον θα ασχοληθούμε με την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, τους εικονικούς χαρακτήρες και τέλος γενικά για animation γενικότερα και τους διάφορους τρόπους character animation.

Στο Κεφάλαιο 3, θα δούμε την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε, έτσι ώστε να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, θα δούμε την αρχιτεκτονική του συστήματος μας και θα εξηγήσουμε το κάθε υποσύστημα ξεχωριστά. Δηλαδή, θα εξετάσουμε πώς πηγαίνουμε από το πραγματικό πιάνο που βρίσκεται στο σπίτι μας, στην εικονική συναυλία.

Στο Κεφάλαιο 4, θα παρουσιάσουμε το αποτέλεσμα της υλοποίησης μας με τις απαραίτητες εικόνες και εξηγήσεις.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 θα εξαγάγουμε τα συμπεράσματά μας και θα προδιαγράψουμε και την μελλοντική μας εργασία.

Κεφάλαιο 2

Απαιτούμενη Γνώση και Τεχνολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε σχετικά με όλες τις απαραίτητες γνώσεις που πρέπει να έχει κάποιος για να μπορέσει να ασχοληθεί με αυτό το θέμα. Συγκεκριμένα θα μιλήσουμε για την αναγκαιότητα του να έχει κάποιος μουσικές γνώσεις για να μπορέσει να ολοκληρώσει επιτυχώς αυτό το θέμα, θα μιλήσουμε για μηχανές παιχνιδιών, για τρισδιάστατη μοντελοποίηση, για εικονικούς χαρακτήρες και για διάφορες τεχνικές character animation.

2.1 Πιάνο/Θεωρία της Μουσικής

Για να φέρει κάποιος εις πέρας Διατριβή της συγκεκριμένης μορφής, θα πρέπει να έχει σίγουρα γνώσεις στη Μουσική. Και αυτό γιατί μόνο έτσι θα ξέραμε αν αυτό που αναπτύσσουμε είναι, δείχνει και ακούγεται σωστό. Δηλαδή, ο δημιουργός πρέπει να είναι βέβαιος ότι η τοποθέτηση των χεριών και των δακτύλων είναι στις σωστές θέσεις όταν παίζονται οι νότες, καθώς επίσης ότι ακούγεται ο σωστός ήχος τις κάθε νότας. Ακόμη, για την δημιουργία του τρισδιάστατου εικονικού πιάνου, ο δημιουργός χρειάζεται να ξέρει πώς είναι στην πραγματικότητα κάποιο πιάνο ούτος ώστε να καταφέρει να το κάνει να δείχνει ρεαλιστικό.

2.2 Game Engines

Ο όρος «μηχανή παιχνιδιών» προέκυψε στα μέσα της δεκαετίας του 1990, αναφερόμενος σε παιχνίδια σκοποβολής πρώτου προσώπου (First-Person Shooter - FPS), όπως το πολύ δημοφιλές παιχνίδι “Doom” της id Software. Το Doom, σχεδιάστηκε με έναν αρκετά καλά

καθορισμένο διαχωρισμό μεταξύ των βασικών στοιχείων λογισμικού του (όπως το σύστημα απόδοσης τρισδιάστατων γραφικών, το σύστημα ανίχνευσης σύγκρουσης ή το σύστημα ήχου), τους κόσμους του παιχνιδιού και τους κανόνες παιχνιδιού. Η αξία αυτού του διαχωρισμού έγινε φανερή, καθώς οι προγραμματιστές άρχισαν να δημιουργούν νέα τέχνη, διατάξεις κόσμου, όπλα, χαρακτήρες, οχήματα και κανόνες παιχνιδιού με ελάχιστες μόνο αλλαγές στο λογισμικό «μηχανής». Αυτό σηματοδότησε τη γέννηση της «κοινότητας mod», όπου κατασκεύαζαν νέα παιχνίδια τροποποιώντας υπάρχοντα παιχνίδια, χρησιμοποιώντας δωρεάν εργαλείοθήκες που παρέχονταν από τους αρχικούς προγραμματιστές [9].

Σε αντίθεση με ένα παιχνίδι, μια μηχανή μπορεί να επεκταθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πολλαπλών παιχνιδιών.

Η μηχανή παιχνιδιών που χρησιμοποίησα για να αναπτύξω την εικονική συναυλία είναι το Unreal Engine (UE), και συγκεκριμένα το Unreal Engine 5 (UE5). Το Unreal Engine αναπτύχθηκε από την Epic Games, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο παιχνίδι “Unreal” το 1998. Τώρα, έχει εξαπλωθεί σε πάμπολλες βιομηχανίες όπως: Κινηματογράφος και Τηλεόραση, Αρχιτεκτονική, Αυτοκίνητα & Μεταφορές, Εκπομπές & ζωντανές εκδηλώσεις, Προσομοιώσεις. Ο λόγος που επιλέξαμε το Unreal Engine έναντι άλλων μηχανών παιχνιδιών, είναι ότι είναι το πιο προηγμένο εργαλείο δημιουργίας τρισδιάστατων ρεαλιστικών γραφικών σε πραγματικό χρόνο. Ακόμη, ειδικά με την έκδοση UE5, ανακοίνωσαν το Nanite το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε πολύ αποδοτικά παιχνίδια και κόσμους με τεράστιες ποσότητες γεωμετρικών λεπτομερειών και πολυγώνων, χωρίς να χάσουμε καθόλου από την επίδοσή μας σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, ένας ακόμη λόγος που μας έκανε να πάρουμε την απόφαση να χρησιμοποιήσουμε αυτή την μηχανή παιχνιδιών, είναι ότι με το UE5 ανακοίνωσαν το Lumen. Το Lumen, είναι μια πλήρως δυναμική λύση για global illumination και αντανακλάσεων που επιτρέπει στον έμμεσο φωτισμό να προσαρμόζεται εν κινήσει στις αλλαγές στον άμεσο φωτισμό ή στη γεωμετρία—για παράδειγμα, αλλάζοντας τη γωνία του ήλιου με την ώρα της ημέρας. Τέλος, πλέον δεν χρειάζεται να περιμένουμε να γίνει bake τα

lightmaps, ή να τοποθετήσουμε reflection probes (κάτι το οποίο είναι πολύ χρονοβόρο σε μεγάλες σκηνές) [10].

2.3 3D Modeling

Στα γραφικά υπολογιστών, ο όρος “3D modeling” αναφέρεται στη διαδικασία δημιουργίας μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό. Αυτή η αναπαράσταση, που ονομάζεται τρισδιάστατο μοντέλο, μπορεί να πάρει οποιοδήποτε μέγεθος, σχήμα και υφή του ορίσουμε [11]. Τα τρισδιάστατα αυτά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάρα πολλές εφαρμογές, όπως βιντεοπαιχνίδια, ταινίες, αρχιτεκτονική, μηχανική και εμπορική διαφήμιση. Η διαδικασία τρισδιάστατης μοντελοποίησης παράγει ένα ψηφιακό αντικείμενο ικανό να κινείται πλήρως, καθιστώντας το μια απαραίτητη διαδικασία για character animation και special effects [12].

Υπάρχουν πολλά εργαλεία σήμερα που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιος για τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Κάποια είναι δωρεάν, άλλα χρειάζεται να τα αγοράσεις ή να πληρώσεις συνδρομή για να αποκτήσεις δικαίωμα να τα χρησιμοποιείς. Για την εκπόνηση της Διατριβής μου, επέλεξα το Blender.

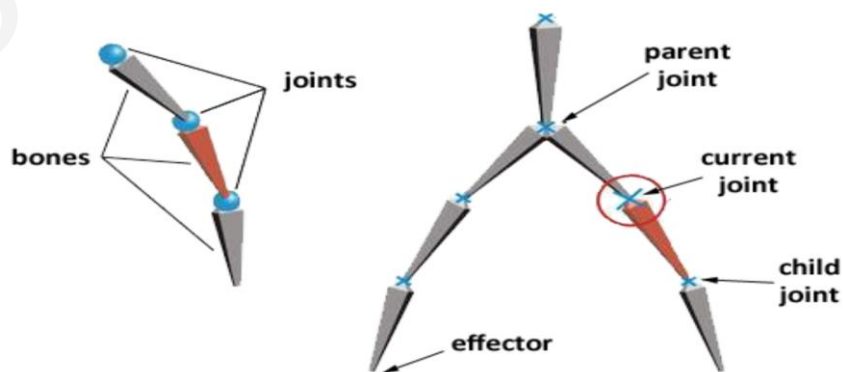
Το Blender είναι δωρεάν και ανοιχτού κώδικα σουίτα δημιουργίας τρισδιάστατων γραφικών, η οποία αναπτύχθηκε από το Blender Foundation, έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό που ιδρύθηκε το 2002. Υποστηρίζει όλο το σύνολο του 3D pipeline: μοντελοποίηση, rigging, κινούμενα σχέδια, προσομοίωση, rendering, παρακολούθηση κίνησης, μέχρι και επεξεργασία βίντεο και δημιουργία παιχνιδιών. Επιπρόσθετα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το API του Blender με την γλώσσα προγραμματισμού Python και να αναπτύξουμε εξειδικευμένα εργαλεία, όπου πολύ συχνά, αυτά περιλαμβάνονται στις μελλοντικές εκδόσεις του Blender [13].

2.4 Virtual Humans

Οι εικονικοί άνθρωποι υπάρχουν σε πάρα πολλές εφαρμογές όπως παιχνίδια, ταινίες, μέσα κοινωνικής δικτύωσης, κλπ.. Η χρήση τους σήμερα έχει επίσης επεκταθεί από τις τυπικές εφαρμογές απεικόνισης στην οθόνη σε άλλα περιβάλλοντα, όπως περιβάλλοντα Εικονικής Πραγματικότητας, Επαυξημένης Πραγματικότητας και Μικτής Πραγματικότητας (VR/AR/MR). Ταυτόχρονα, παρατηρούμε επίσης σημαντικές βελτιώσεις τόσο στην απόδοση σε πραγματικό χρόνο, καθώς και στο εξαιρετικό επίπεδο ρεαλισμού που έχουμε φτάσει [14].

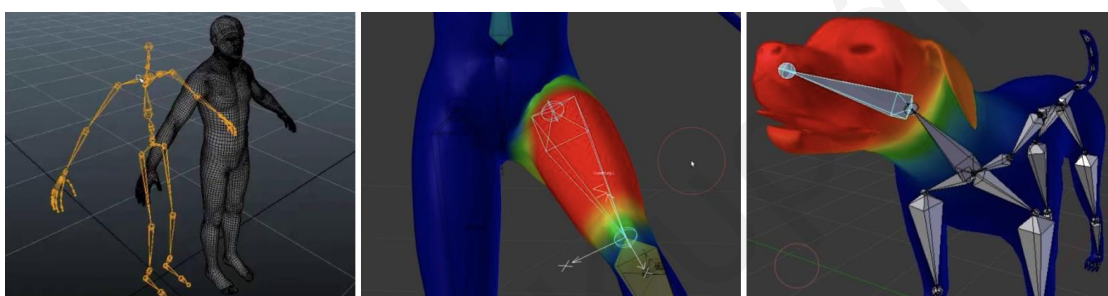
Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε και να αξιοποιήσουμε εικονικούς χαρακτήρες, χρειάζεται να κάνουμε τεχνικές που λέγονται “rigging” και “skinning”.

Rigging είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός σκελετού για ένα τρισδιάστατο μοντέλο (όχι κατ’ ανάγκη ανθρώπου) ώστε να μπορεί να κινηθεί. Το “rig” έχει πολλούς βαθμούς ελευθερίας/περιστροφής (DOFs - Degrees of Freedom) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κίνηση βάσης διαφόρων ιδιοτήτων του σκελετού. Ένα σκελετικό σύστημα (rig) αποτελείται από κινηματικές αλυσίδες όπου είναι ένα ιεραρχικό σύνολο διασυνδεδεμένων οστών. Μια αλυσίδα είναι στην ουσία ένας Γράφος σκηνης ο οποίος ξεκινά από τη ρίζα (root), έχει πολλαπλά κόκαλα (bones), συνδέεται με αρθρώσεις (joints) και τελειώνει με ένα τελικό τελεστή (end-effector). Παράδειγμα αυτής της ιεραρχίας φαίνεται στην Εικόνα 2.1. [15]



Εικόνα 2.1: Παράδειγμα από σκελετικό σύστημα (rig) [15]

Skinning είναι η διαδικασία προσάρτησης πλέγματος - mesh (“skin”) στο σκελετικό σύστημα του χαρακτήρα. Το skin αντιπροσωπεύεται ως πλέγμα πολυγώνων, π.χ. ένα σύνολο κορυφών, ή μια παραμετρική επιφάνεια. Κάθε κορυφή συνδέεται με ένα οστό στο σκελετό, και κινείται σε σχέση με το οστό. Κάθε κορυφή πολλαπλασιάζεται με αρκετούς "σταθμισμένους" πίνακες μετασχηματισμού που παρέχουν τον παράγοντα επιρροής που έχει κάθε οστό στην εκάστοτε κορυφή, και τα αποτελέσματα προστίθενται μαζί. Παράδειγμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στην Εικόνα 2.2. [15]



Εικόνα 2.2: Παράδειγμα τις διαδικασίας skinning. Τα χρώματα δείχνουν τον παράγοντα επιρροής κάθε οστού σε κάθε κορυφή [15]

2.5 Animation και Character Animation

Έχοντας ρυθμίσει και δεσμεύσει το σκελετικό σύστημα (rig) και το skin όπως εξηγήσαμε στο υποκεφάλαιο 2.4, ο χαρακτήρας τώρα μπορεί να κινηθεί.

2.5.1 Phi Phenomenon & Beta Movement

Αρχικά, το animation είναι η δημιουργία μιας σειράς εικόνων που, όταν εμφανίζονται, δίνουν την εντύπωση της κίνησης [16]. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο “Phi” και στην κίνηση “Beta”. Το φαινόμενο Phi είναι μια οπτική ψευδαισθήση που ορίστηκε από τον Max Wertheimer στην ψυχολογία Gestalt το 1912, όπου βασίζεται στην αρχή ότι το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται κίνηση από ξαφνικές αλλαγές του φωτός μεταξύ διαδοχικών εικόνων. Η

κίνηση Beta είναι η ψευδαίσθηση κίνησης που δημιουργείται στον εγκέφαλο όταν τα αντικείμενα αλλάζουν θέση σε μια γρήγορη ακολουθία εικόνων. Αντί να αντιλαμβανόμαστε ως μια σειρά από εικόνες, αντιλαμβανόμαστε την κίνηση [17].

2.5.2 Traditional Animation

Παραδοσιακά, στις ταινίες κινουμένων σχεδίων δημιουργούσαν εικόνες για κάθε καρτέ (frame) της ταινίας, όπου ο senior animator δημιουργούσε τα πιο σημαντικά καρτέ (frames) και οι υπόλοιποι animators συμπλήρωναν τα ενδιάμεσα. Όπως καταλαβαίνουμε, ήταν μια τεχνική η οποία ήταν πάρα πολύ χρονοβόρα και δύσκολη [16].

2.5.3 Keyframing

Στο Keyframing (παίρνοντας το όνομα από το κλασικό animation), ο animator ορίζει την κίνηση δηλώνοντας θέσεις κλειδιά για τον κινούμενο χαρακτήρα (ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο). Η διαφορά του keyframing με το παραδοσιακό animation, είναι ότι τώρα ο υπολογιστής κάνει παρεμβολή για να αναγνωρίσει τις θέσεις των ενδιάμεσων frames και δεν χρειάζεται να το κάνουν χειροκίνητα οι υπόλοιποι animators. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται "in-betweening" [16].

2.5.4 Motion Capture

Το Motion Capture (mocap) είναι η δειγματοληψία και η καταγραφή της κίνησης σε δεδομένα των ανθρώπων, ζώων και οποιοδήποτε άλλων αντικειμένων στο τρισδιάστατο χώρο. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της κίνησης ή για να δώσουν στα τρισδιάστατα μοντέλα υπολογιστών μια αίσθηση ζωής. Το Motion Capture επιτρέπει τη φωτορεαλιστική δυναμική σε ένα εικονικό περιβάλλον, χαρτογραφώντας την πραγματική κίνηση σε frames που δημιουργούνται από υπολογιστή [18].

Το Motion Capture έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπως:

- Αθλητική Θεραπεία
- Κινηματογράφο
- Παιχνίδια
- Στρατό

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για Motion Capture αλλά οι κύριες κατηγορίες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι ακόλουθες.

Οπτικά Συστήματα (Optical Systems)

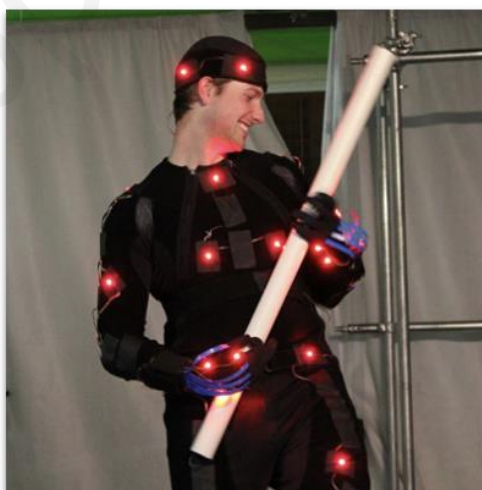
Ένα τυπικό οπτικό σύστημα αποτελείται από 4 έως 32 κάμερες, καθεμία από τις οποίες ελέγχεται από έναν υπολογιστή. Η πλειοψηφία των οπτικών συστημάτων απαιτεί από το καταγεγραμμένο άτομο ή αντικείμενο να φοράει δείκτες (markers), οι οποίοι είναι είτε ανακλαστικοί (παθητικοί) είτε εκπέμπουν φως (ενεργοί) [18].

Οι παθητικοί δείκτες (passive markers) είναι κατασκευασμένοι από ανακλαστικά υλικά και τα σχήματά τους είναι σφαιρικά, ημισφαιρικά ή κυκλικά. Τα σχήματα και τα μεγέθη των δεικτών καθορίζονται από το τι ανάλυση έχουν οι κάμερες, καθώς επίσης και το τι θέλουμε να καταγράψουμε (π.χ. μικρότεροι δείκτες χρησιμοποιούνται για καταγραφή προσώπου και χεριών). Οι παθητικοί δείκτες, είτε προσαρτώνται απευθείας στο δέρμα ενός ατόμου, είτε τοποθετούνται σε ένα κοστούμι mocap, το οποίο είναι μια ολόσωμη στολή κατασκευασμένη από ελαστικά υλικά όπως το spandex. Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) χρησιμοποιούνται σε κάμερες σε ένα παθητικό σύστημα δεικτών και το φως που εκπέμπεται από τα LED αντανακλάται από δείκτες. Παράδειγμα από ένα οπτικό σύστημα με παθητικούς δείκτες φαίνεται στην Εικόνα 2.3. [18]



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα οπτικού συστήματος mocap με passive markers [19], [20]

Από την άλλη μεριά, οι ενεργοί δείκτες (active markers), αντί να ανακλούν το φως που παράγεται εξωτερικά, οι ίδιοι οι δείκτες τροφοδοτούνται για να εκπέμπουν το δικό τους φως (LED). Οι δείκτες εκπέμπουν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται σε πραγματικό χρόνο. Κάθε LED εκχωρείται σε ένα αναγνωριστικό, το οποίο επιτρέπει στο λογισμικό λήψης κίνησης να μην συγχέει τους δείκτες μεταξύ τους, καθώς και να τους αναγνωρίζει αφού μπλοκαριστούν και εμφανιστούν ξανά στο πεδίο προβολής των καμερών. Παράδειγμα οπτικού συστήματος με ενεργούς δείκτες φαίνεται στην Εικόνα 2.4 [18]



Εικόνα 2.4: Παράδειγμα με active markers [21]

Αδρανειακά Συστήματα (Inertial Systems)

Στα αδρανειακά συστήματα χρησιμοποιούν αδρανειακούς αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων μικροσκοπικών γυροσκοπίων (gyroscopes) και επιταχυνσιόμετρων (accelerometers), που βρίσκονται μέσα στην στολή του συστήματος. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται στον υπολογιστή, όπου επεξεργάζονται και καταγράφονται. Το σύστημα καθορίζει όχι μόνο τη θέση του αισθητήρα αλλά και τη γωνία κλίσης του. Παράδειγμα στολής σε ένα αδρανειακό σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5: Παράδειγμα στολής από inertial system [22]

Video / Markerless

Το Facebook AI Research and Reality Labs παρουσίασαν ένα ολόκληρο σύστημα σύλληψης 3D κίνησης σώματος, που ονομάζεται FrankMocap, για την ταυτόχρονη εκτίμηση της τρισδιάστατης κίνησης του σώματος και των χεριών από βίντεο. Το σύστημά τους μας επιτρέπει να εκτελέσουμε μια ζωντανή επίδειξη καταγραφής κίνησης ολόκληρου του σώματος χρησιμοποιώντας μια μόνο κάμερα web RGB, όπως φαίνεται στα αριστερά της Εικόνας 2.6. Στα δεξιά της Εικόνας 2.6., παρουσιάζονται πολλά παραδείγματα αποτελεσμάτων σε βίντεο in-

the-wild, όπου δείχνουν τις εισερχόμενες εικόνες (αριστερά), τις εξόδους λήψης τρισδιάστατης κίνησης με το χέρι (μέση) και τις εξόδους λήψης κίνησης ολόκληρου του σώματος (δεξιά) [23].



Εικόνα 2.6: FrankMocap Demonstration [23]

Skeletal Animation

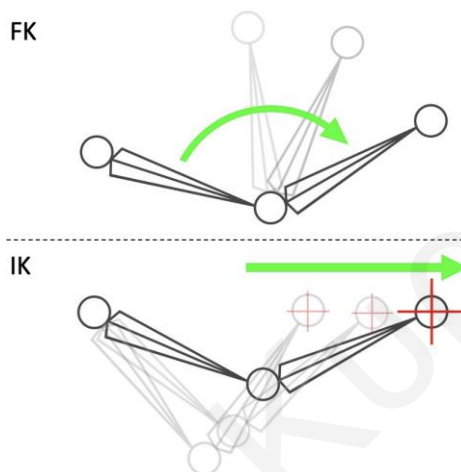
Αυτή η κατηγορία animation χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, οι οποίες είναι το Forward Kinematics (FK) και Inverse Kinematics (IK).

Το Forward Kinematics (FK) – Ευθεία Κινηματική μπορεί να οριστεί ως το πρόβλημα του εντοπισμού των θέσεων των τελικών τελεστών μετά την εφαρμογή γνωστών μετασχηματισμών στην αλυσίδα [15]. Λέγεται ευθεία κινηματική, επειδή ξεκινούμε τους μετασχηματισμούς από το πιο ψηλό επίπεδο στην ιεραρχία και προχωράμε προς το πιο χαμηλό. Για παράδειγμα αν θέλουμε να μετακινήσουμε ένα χέρι σε συγκεκριμένη στάση, μετακινούμε πρώτα το πάνω μέρος του χεριού στην τοποθεσία και προσανατολισμό που θέλουμε, στην συνέχεια κάνουμε το ίδιο για το κάτω μέρος του χεριού, και τέλος για τον καρπό.

Η Αντίστροφη Κινηματική – Inverse Kinematics (IK) είναι το πρόβλημα του προσδιορισμού μιας κατάλληλης διάταξης άρθρωσης για την οποία οι τελικοί τελεστές μετακινούνται στις επιθυμητές θέσεις (θέσεις στόχου), όσο πιο ομαλά, γρήγορα και ακριβέστερα [15], [24]. Λέγεται αντίστροφη κινηματική, επειδή ξεκινάμε από το χαμηλότερο επίπεδο στην ιεραρχία του σκελετού και ανεβαίνουμε προς το ψηλότερο. Για παράδειγμα, μετακινούμε τον καρπό στην επιθυμητή θέση και στον προσανατολισμό που θέλουμε, και γίνονται αυτόματα οι

υπολογισμοί για το υπόλοιπο χέρι. Υπάρχουν δύο πολύ γνωστές τεχνικές IK οι οποίες είναι το CCD και το FABRIK. Για την κίνηση των δακτύλων χρησιμοποιήσαμε το FABRIK αφού έχει χαμηλό υπολογιστικό κόστος και παράγει οπτικά ρεαλιστικές στάσεις [24].

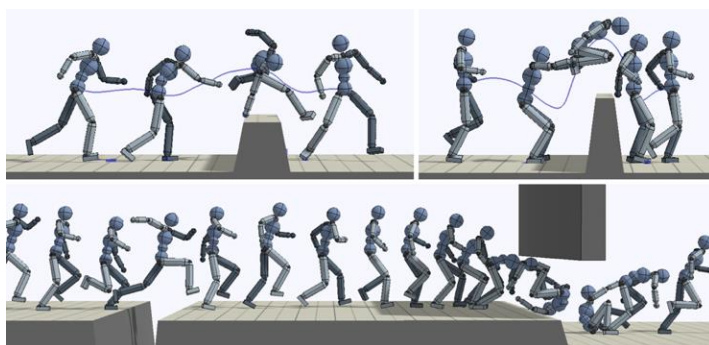
Παράδειγμα σύγκρισης FK και IK φαίνεται στην Εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.7: FK vs IK [25]

Reinforcement Learning Methods in Character Animation

Ο Ariel Kwiatkowski και οι υπόλοιποι, έκαναν έρευνα σχετικά με όλες τις μεθόδους ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement Learning) σε character animation. Ένα παράδειγμα από αυτά που παρουσιάζουν φαίνεται στην Εικόνα 2.8, όπου επιτρέπει την σύνθεση animation από motion capture δεδομένα χρησιμοποιώντας Imitation-based Learning [26], [27].



Εικόνα 2.8: Imitation-based Learning [26]

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την υλοποίηση του εικονικού μουσικού / μουσικής σκηνής. Θα δείξουμε με σχεδιάγραμμα την αρχιτεκτονική του συστήματος με τα επιμέρους υποσυστήματα και θα αναλύσουμε το καθένα ξεχωριστά.

3.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Στην Εικόνα 3.1, φαίνεται η αρχιτεκτονική του συστήματός μας, η οποία δείχνει τα υποσύστημα και τις μεταξύ τους επικοινωνίες.

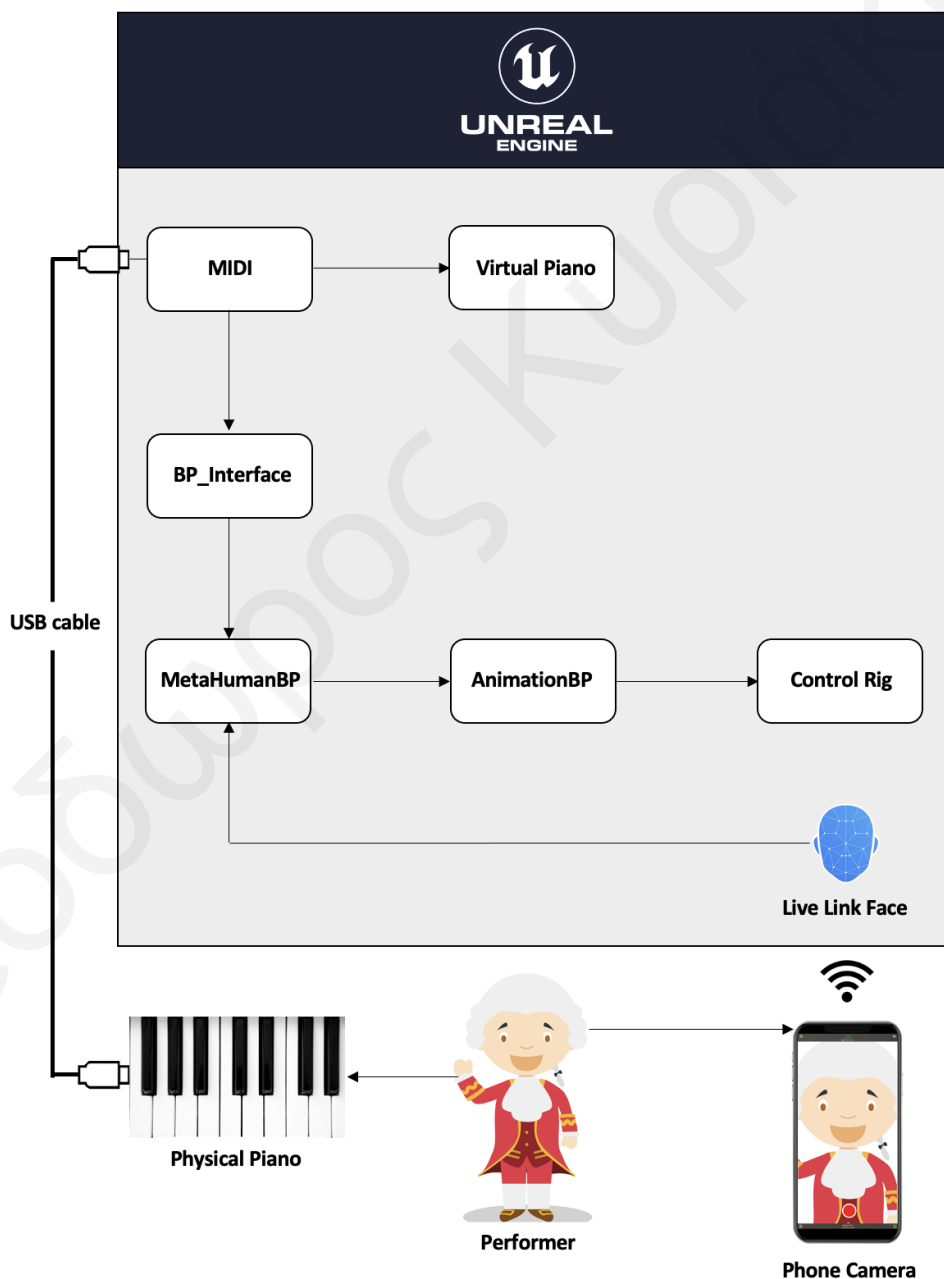
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1, ο “Performer” – Πιανίστας δίνει σαν είσοδο δύο δεδομένα στο σύστημά μας. Το πρώτο είναι το παίξιμό του στο αρμόνιο (“physical piano”) και το δεύτερο είναι η καταγραφή του προσώπου του από το τηλέφωνό του (“phone camera”).

Από την κάμερα του τηλεφώνου μέσω της εφαρμογής “LiveLink” καταγράφει το πρόσωπο και τις εκφράσεις του μουσικού, και τις στέλνει στο Unreal Engine μέσω WiFi. Το “LiveLink” στην συνέχεια επικοινωνεί με το “MetaHumanBP”, για να γίνεται το animation του προσώπου.

Το αρμόνιο του καλλιτέχνη (“physical piano”), ενώνεται με το Unreal Engine μέσω καλωδίου USB. Το MIDI τώρα ξέρει ποιες νότες παίζονται και επικοινωνεί με το εικονικό πιάνο

“VirtualPiano” για να γίνεται το animation του πιάνου καθώς μέσω του “BP_Interface” μπορεί να στείλει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες στο “MetaHumanBP”.

Το “MetaHumanBP” στέλνει όλες τις πληροφορίες που πήρε από το “MIDI” στο “AnimationBP”, όπου από εκεί τα δίνει σαν είσοδο στο “Control Rig”, το οποίο είναι υπεύθυνο για όλο το animation του σώματος του MetaHuman (γενική στάση του σώματος, ώμοι, αγκώνες, καρποί, δάκτυλα).



Εικόνα 3.1: Αρχιτεκτονική Συστήματος

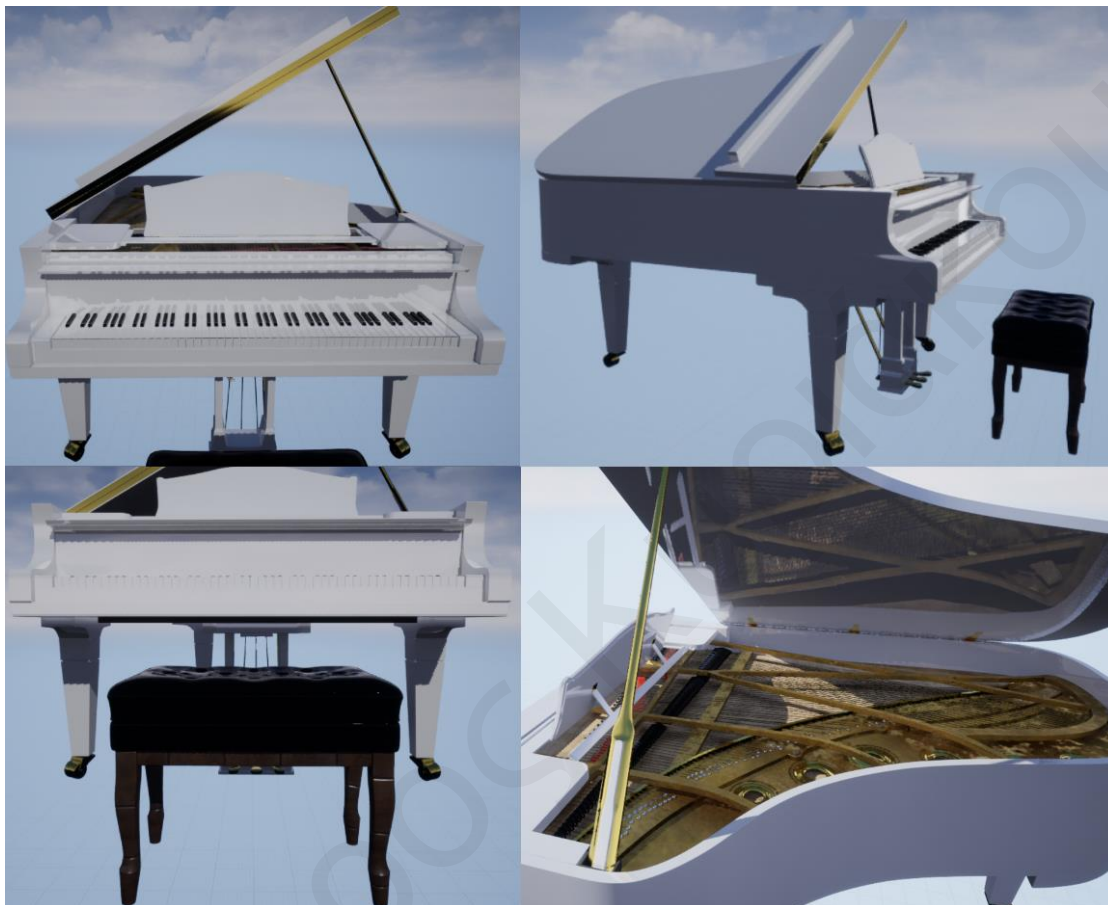
3.2 Τροποποίηση Πιάνου και Κατασκευή Πλήκτρων

Το πρώτο στάδιο της Διατριβής αυτής, ήταν φυσικά να ετοιμάσουμε το εικονικό πιάνο του μουσικού. Η αρχική μορφή του πιάνου που χρησιμοποίησα φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Το συγκεκριμένο πιάνο το πήραμε από το SketchFab όπου το δημιούργησε ο καλλιτέχνης “Amatsukast”. Αποτελείται από 1.3 εκατομμύρια τρίγωνα και 669 χιλιάδες κορυφές.



Εικόνα 3.2: Αρχικό 3D μοντέλο πιάνου [28]

Για να το φέρουμε όμως στα μέτρα μας και να ταιριάζει σε μια σύγχρονη μοντέρνα μουσική σκηνή / θέατρο, αλλάξαμε το υλικό τόσο του πιάνου όσο και του σκαμπό, και η τελική μορφή αυτού του τρισδιάστατου μοντέλου φαίνεται στην Εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3: Τροποποιημένο Πιάνο

Όμως, σε αυτό το τρισδιάστατο μοντέλο όλα τα πλήκτρα του ήταν ενωμένα σε ένα πλέγμα (mesh) και δεν μπορούσε έτσι να γίνει το animation των πλήκτρων. Οπότεν, ακολουθήσαμε διάφορα εκπαιδευτικά βίντεο στο διαδίκτυο σχετικά με το πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης Blender και κατασκευάσαμε τα δικά μας πλήκτρα. Έτσι, τώρα το κάθε πλήκτρο ξεχωριστά μπορεί να κινείται. Τα μοντέλο των πλήκτρων που δημιουργήσαμε φαίνεται πιο κάτω στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4: 3D Μοντέλο Πιάνου

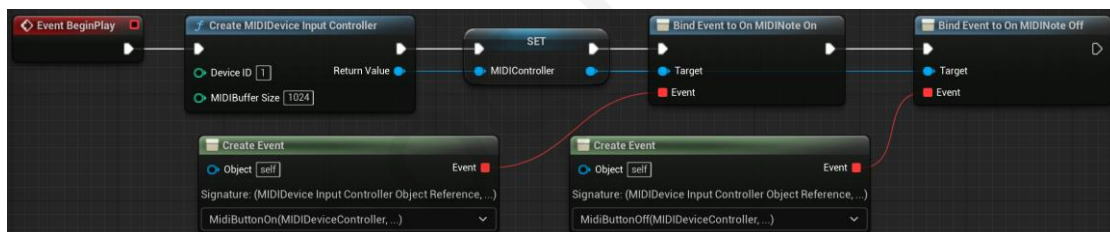
3.3 MIDI

Το MIDI (Musical Instrument Digital Interface) είναι ένα πρωτόκολλο δεδομένων (data protocol) σχεδιασμένο για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συσκευών υλικού ήχου, χρησιμοποιώντας μηνύματα MIDI. Αυτό χρησιμοποιείται συχνότερα για την επικοινωνία μεταξύ του Unreal Engine και εξωτερικού υλικού, όπως τα αρμόνια MIDI. Ένα μήνυμα MIDI ξεκινά με ένα byte που περιέχει τον τύπο του μηνύματος (a "status" byte), ακολουθούμενο από bytes δεδομένων. [29]

Για παράδειγμα, ένα από τα πιο κοινά μηνύματα MIDI είναι ένα μήνυμα "Note On", το οποίο αποτελείται από ένα byte κατάστασης που το δηλώνει ως μήνυμα "Note On", ένα byte για το κανάλι (channel) για το οποίο προορίζεται, ακολουθούμενο από ένα byte δεδομένων του τόνου (pitch) και μετά ένα byte δεδομένων της ταχύτητας (velocity). [29]

Για να ρυθμίσουμε το MIDI input, η ροή εργασίας που ακολουθήσαμε περιγράφεται παρακάτω και φαίνεται στην Εικόνα 3.5.

1. Δημιουργούμε ένα στιγμιότυπο ενός MIDI Device Controller, ώστε να χρησιμοποιηθεί για αλληλεπίδραση με μια συνδεδεμένη συσκευή MIDI (αρμόνιο).
2. Ρυθμίζουμε τη συσκευή εισόδου MIDI και την αποθηκεύουμε σε μια μεταβλητή “MIDIController”.
3. Κάνουμε bind όταν πατιέται κάποιο πλήκτρο στο αρμόνιο και δημιουργούμε event “MidiButtonOn”.
4. Κάνουμε bind όταν αφήνεται κάποιο πλήκτρο στο αρμόνιο και δημιουργούμε event “MidiButtonOff”.
5. Έτσι, όταν πατιέται ή αφήνεται κάποια νότα καλείται το κατάλληλο event.



Εικόνα 3.5: MIDI input set up

Κάνοντας την διαδικασία που εξηγήσαμε πιο πάνω μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες όπως αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 3.6. Με πράσινο χρώμα φαίνονται ποιες νότες πατιούνται καθώς και η ταχύτητά τους (πόσο δυνατά ή σιγανά ακούγονται). Με κόκκινο χρώμα φαίνονται ποιες νότες αφήνονται και η ταχύτητά τους.



Εικόνα 3.6: MIDI Input Example

3.4 Virtual Piano

Λόγω του ότι το MIDI είναι ένα πρωτόκολλο δεδομένων, όπως εξηγήσαμε και στο υποκεφάλαιο 3.3, ξέρουμε όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε αλλά πρέπει να ρυθμίσουμε παράλληλα τον ήχο καθώς και το animation του εικονικού πιάνου. Δηλαδή, όταν πατιούνται οι νότες να ακούγονται οι σωστές νότες μέσα από το Unreal Engine, καθώς επίσης να γίνεται και το animation των πλήκτρων που παίζονται.

3.4.1 Σύνδεση Κάθε Πλήκτρου με Ήχο

Για να το πετύχουμε αυτό, βρήκαμε όλες τις νότες του πιάνου ηχογραφημένες ξεχωριστά σε πάρα πολύ καλή ποιότητα από τον καλλιτέχνη “beskhu”, και τις ρυθμίσαμε έτσι ώστε όταν ο μουσικός παίζει στο αρμόνιό του, το MIDI να έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να ακούγεται και ο σωστός ήχος μέσα από το Unreal Engine. [30]

3.4.2 Animation Πλήκτρων

Έχοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που παίρνουμε από το MIDI που εξηγήσαμε στο υποκεφάλαιο 3.3, το animation γίνεται πολύ εύκολα σε πραγματικό χρόνο κάνοντας περιστροφή τα σωστά πλήκτρα.

Παράδειγμα από το αποτέλεσμα του εικονικού πιάνου φαίνεται στην Εικόνα 3.7, όπου ο Μουσικός παίζει τις νότες στο αρμόνιό του και μεταφέρονται στο εικονικό πιάνο (ήχος και κίνηση).



Εικόνα 3.7: Παράδειγμα Παιξίματος Εικονικού Πιάνου

3.5 Μουσική Σκηνή / Θέατρο

Το επόμενο βήμα που έπρεπε να γίνει ήταν η δημιουργία της Μουσικής Σκηνής / Θεάτρου. Έτσι, αγοράσαμε από το Sketchfab ένα τρισδιάστατο μοντέλο του καλλιτέχνη “Marcin Lubecki” το οποίο αποτελείται από 197.4 χιλιάδες τρίγωνα και 112.7 κορυφές. Κάνοντας κάποιες αλλαγές σε μερικά υλικά τις σκηνής και τροποποιώντας τον φωτισμό θα δείξουμε τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 4.

3.6 MetaHuman

Ο εικονικός χαρακτήρας (Μουσικός) που δημιουργήσαμε, προέκυψε από χρήση του MetaHuman Creator.

Το MetaHuman Creator είναι μια εφαρμογή cloud-streamed, η οποία σου επιτρέπει να δημιουργείς και να τροποποιείς σε πραγματικό χρόνο εικονικούς χαρακτήρες, με επίπεδο ποιότητας, πιστότητας και ρεαλισμού άνευ προηγουμένου. Όταν τελειώσουμε από τις τροποποιήσεις των χαρακτήρων μας, μπορούμε να τους εξαγάγουμε και να τους κατεβάσουμε. Έτσι, θα είναι έτοιμοι για animation στο Unreal Engine. [31]

Ο MetaHuman που δημιουργήσαμε φαίνεται στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: MetaHuman - Εικονικός Μουσικός

3.7 Blueprint Interface

Για να μπορέσει το Blueprint του MetaHuman να λαμβάνει τα δεδομένα από το MIDI όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1 της αρχιτεκτονικής του συστήματός μας, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε Blueprint Interface.

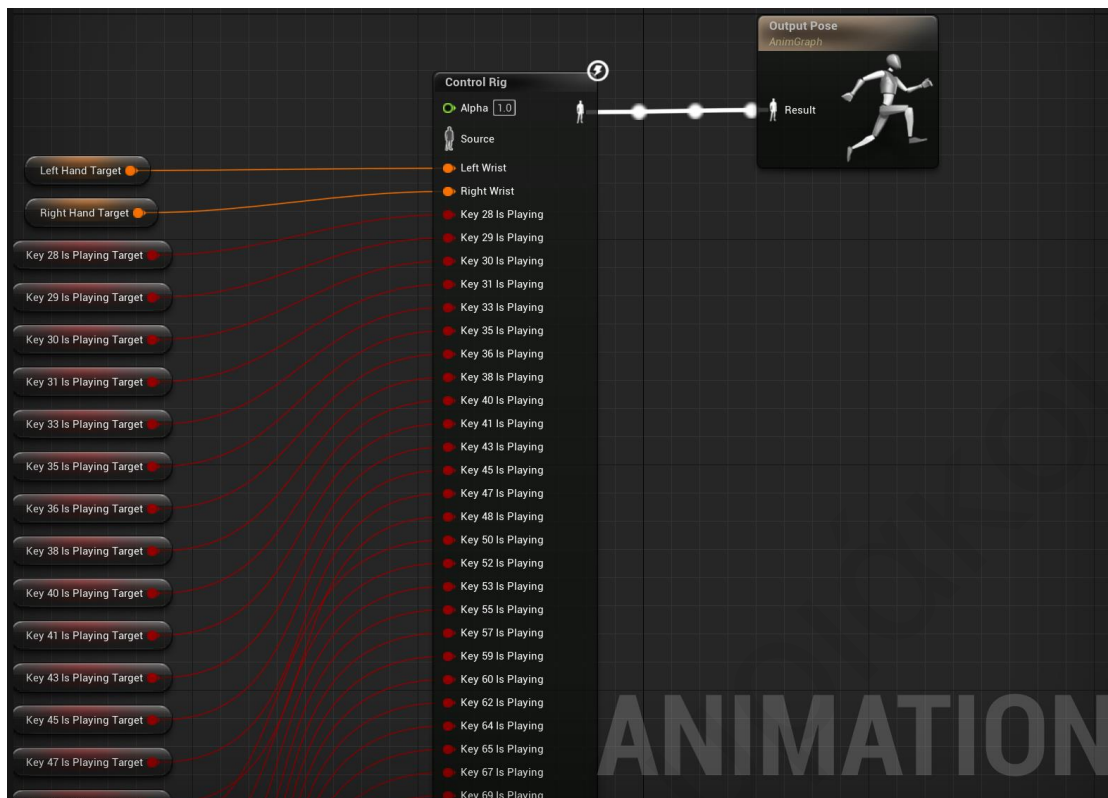
Το Blueprint Interface είναι μια συλλογή από μία ή περισσότερες συναρτήσεις που μπορούν να προστεθούν σε άλλα Blueprint. Σε κάθε Blueprint που έχει προστεθεί η διεπαφή είναι εγγυημένο ότι θα έχει αυτές τις λειτουργίες. Οι λειτουργίες της διεπαφής μπορούν να δώσουν

λειτουργικότητα σε καθένα από τα Blueprints που την προσέθεσαν. Αυτό είναι ουσιαστικά σαν την έννοια της διεπαφής στον γενικό προγραμματισμό, η οποία επιτρέπει σε πολλούς διαφορετικούς τύπους Αντικειμένων να τα μοιράζονται όλα και να έχουν πρόσβαση μέσω μιας κοινής διεπαφής. Με απλά λόγια, οι διεπαφές Blueprint επιτρέπουν σε διαφορετικά Blueprint να μοιράζονται και να στέλνουν δεδομένα μεταξύ τους [32]. Στη δική μας περίπτωση, το MIDI χρησιμοποιεί τις διάφορες συναρτήσεις που υλοποιήσαμε στην διεπαφή, έτσι ώστε να μεταφερθούν πληροφορίες που σχετίζονται με το ποιες νότες παίζονται στο Blueprint του Metahuman.

3.8 Animation Blueprint

Το Animation Blueprint είναι ένα εξειδικευμένο Blueprint που ελέγχει την κίνηση ενός Skeletal Mesh. Με το animation blueprint μπορούμε να κάνουμε animation blending, να ελέγξουμε απευθείας τα οστά ενός σκελετού ή να ρυθμίσουμε τη λογική που θα καθορίσει τελικά την τελική στάση κίνησης για ένα Skeletal Mesh που θα χρησιμοποιηθεί per frame. [33]

Ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήσαμε το animation blueprint φαίνεται στην Εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9: Animation Blueprint

Παίρνοντας σαν είσοδο όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε από το MIDI, τις περνούμε σαν είσοδο μέσα στο control rig, εκεί που θα γίνει όλο το animation του κορμιού.

3.9 Control Rig

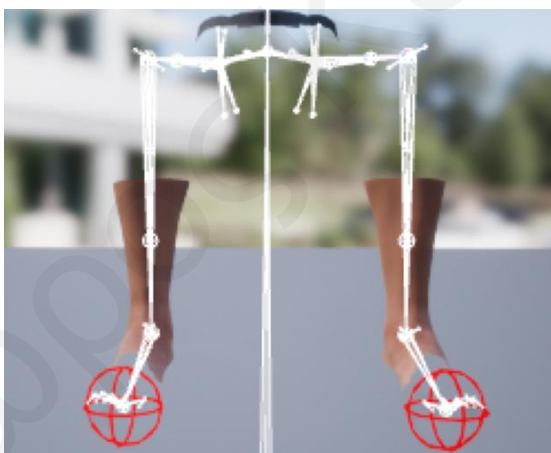
Το Control Rig είναι ένα σύστημα αρθρώσεων (rigging system) σχεδιασμένο με τρόπο που να παρέχει σε animators εργαλεία για τη δημιουργία ευέλικτων, δυναμικών και διαδικαστικών χαρακτήρων με διεπαφές φιλικές προς τον καλλιτέχνη. Σε αντίθεση με το Blueprint, το Control Rig χρησιμοποιεί το δικό του ελαφρύτερο VM που ονομάζεται RigVM και παρέχει εξαιρετικά αποδοτικούς υπολογισμούς πόζας. [34]

Η εισαγωγή ενός Skeletal Mesh θα δημιουργήσει ένα Rig Hierarchy. Τα οστά του Rig Hierarchy, μαζί με πρόσθετα οστά, spaces και controls που δημιουργούνται στο Control Rig

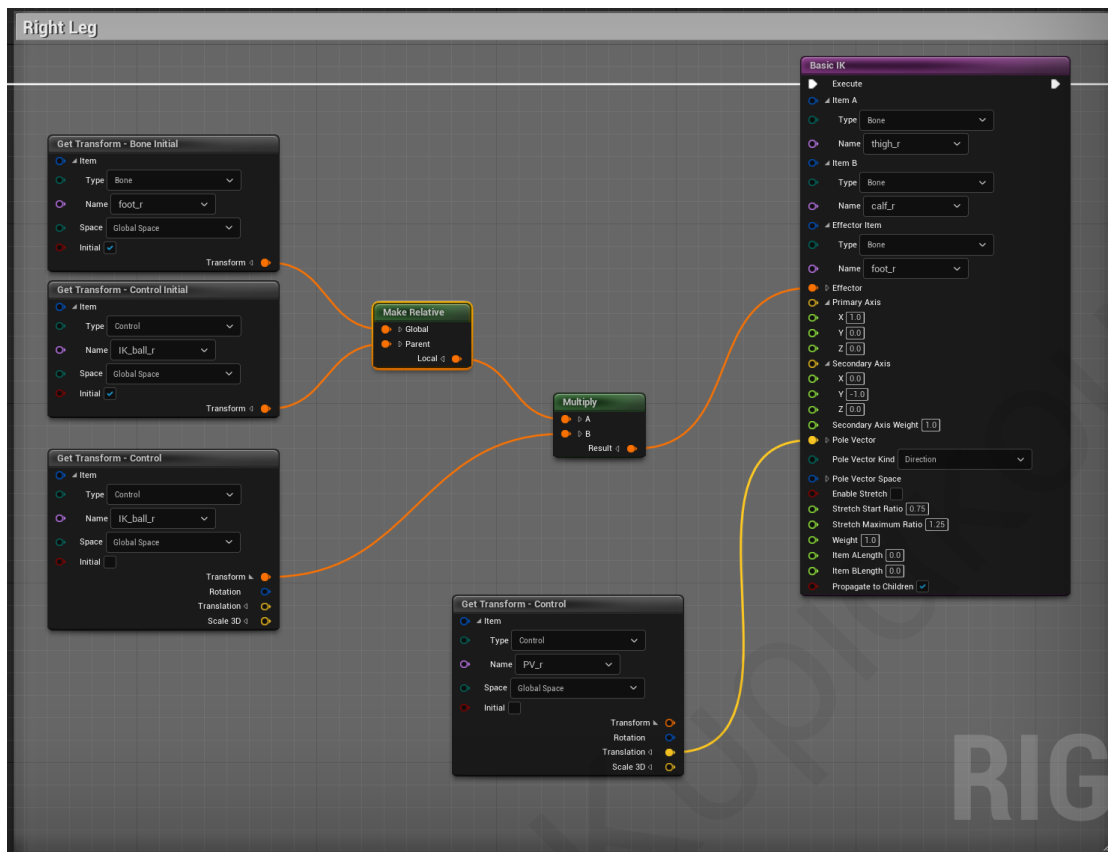
Editor, μπορούν να είναι είσοδοι ή έξοδοι σε Rig Units (δημιουργημένα animation rigs με σύνδεση κόμβων), παρόμοια με μια Pose που είναι είσοδος ή έξοδος Anim Nodes σε Animation Blueprint. [34]

Για να υλοποιήσουμε την κίνηση του σώματος του εικονικού μουσικού, χρησιμοποιήσαμε IK (Inverse Kinematics) μέσα στο Control Rig. Η πορεία που ακολουθήσαμε για να πετύχουμε το animation είναι αυτή που περιγράφεται πιο κάτω.

Αρχικά, έπρεπε να γίνει η υλοποίηση δύο Controls για τους αστραγάλους έτσι ώστε με την χρήση IK να μπορέσουμε να στήσουμε τα πόδια στην επιθυμητή στάση. Στην Εικόνα 3.10 φαίνεται η στάση των ποδιών μαζί με τα controls, καθώς επίσης στην Εικόνα 3.11 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται το IK για τα πόδια.



Εικόνα 3.10: Feet IK Controllers

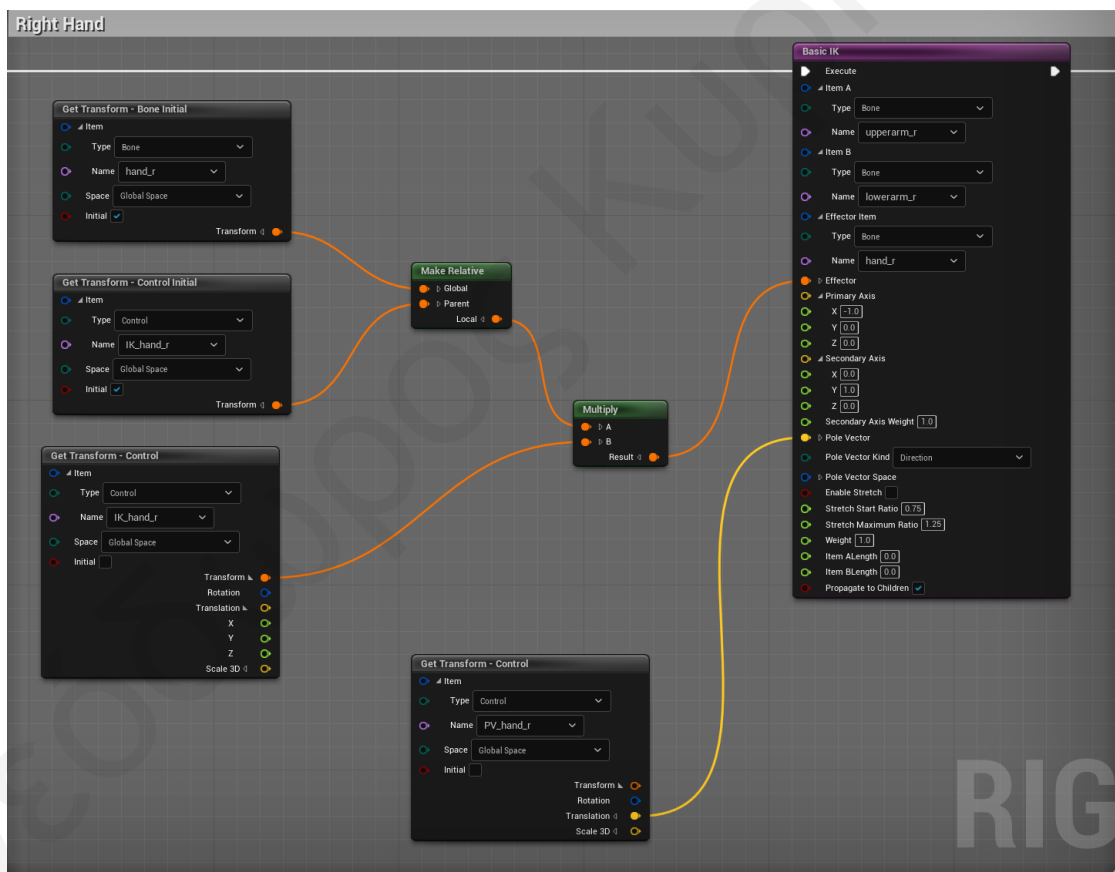


Εικόνα 3.11: Right Foot IK

Παρόμοια, έπρεπε να κάνουμε δύο controls για τους καρπούς των χεριών, έτσι ώστε με την χρήση IK, αρχικά να τοποθετήσουμε τα χέρια του εικονικού μουσικού στην επιθυμητή στάση και στην συνέχεια να ελέγξουμε και να πάρουμε τα χέρια στις θέσεις που πρέπει να πηγαίνουν. Αυτό θα επιτευχθεί σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνει από το MIDI. Τα controls των καρπών φαίνονται στην Εικόνα 3.12, ενώ ο τρόπος με τον οποίο γίνεται το IK για τους καρπούς φαίνεται στην Εικόνα 3.13.



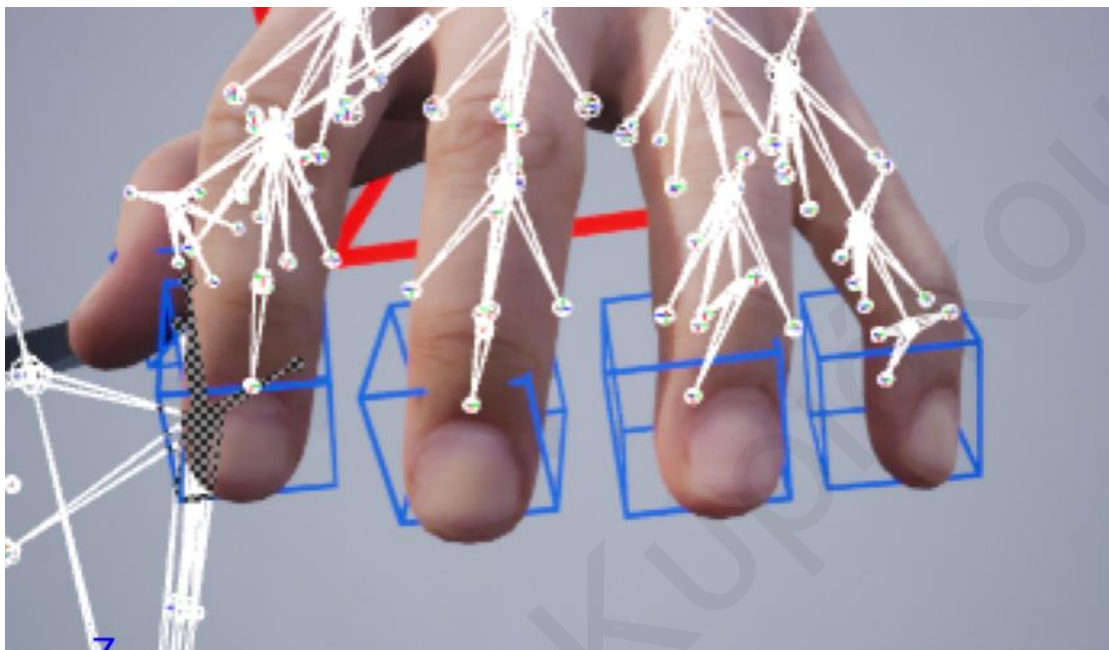
Εικόνα 3.12: Hands IK Controllers



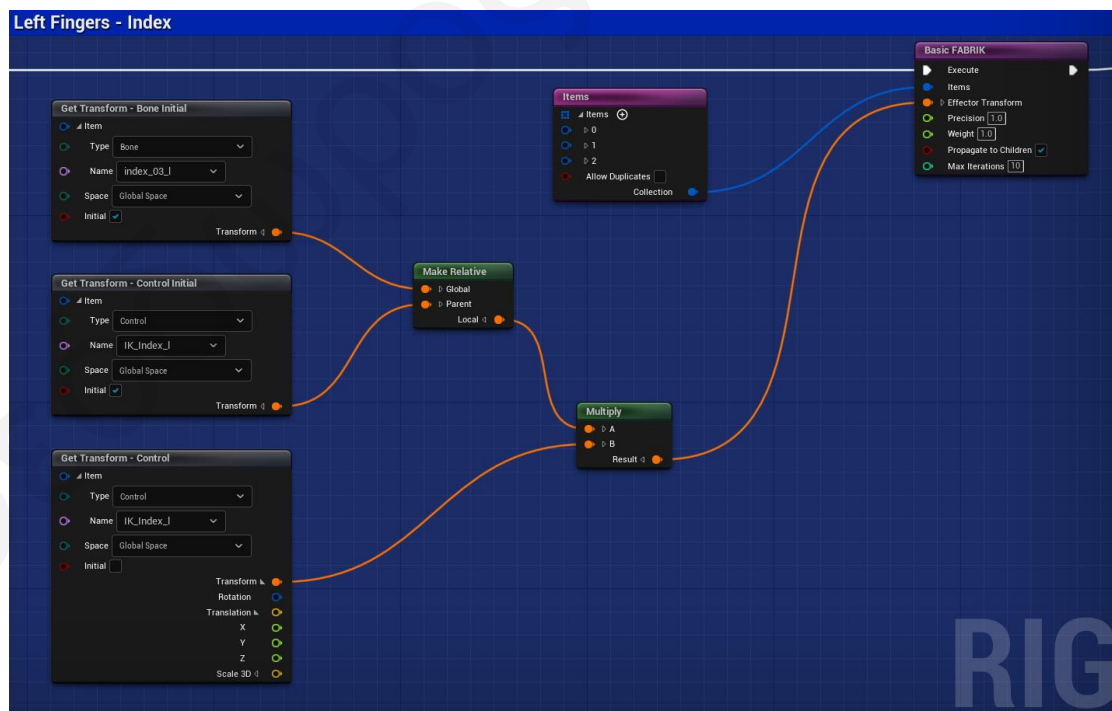
Εικόνα 3.13: Right Hand IK

Στη συνέχεια έπρεπε να δημιουργηθούν spaces (χώροι) – ένα space για όλη την περιοχή της κάθε παλάμης. Μέσα σε κάθε space έπρεπε να δημιουργηθούν controls για το κάθε δάκτυλο (αντίχειρα, δείκτη, μεσαίο δάκτυλο, παράμεσο, μικρό δάκτυλο), δηλαδή συνολικά 10 controls

και για τα δύο χέρια. Στην Εικόνα 3.14 φαίνονται τα controls των δακτύλων, καθώς και το πώς δημιουργήθηκε το IK στην Εικόνα 3.15.



Εικόνα 3.14: Left Fingers Controllers IK



Εικόνα 3.15: Index Finger IK

Έχοντας ρυθμίσει τα controls, spaces και IK, μπορούμε τώρα να ελέγξουμε σε πραγματικό χρόνο την κίνηση του εικονικού μουσικού. Αυτό το πετυχαίνουμε με τον εξής τρόπο. Αφού έχουμε τις πληροφορίες από το MIDI σχετικά με το ποιες νότες παίζονται, τις οποίες τις δίνει σαν είσοδο το Animation Blueprint συνεχώς στο Control Rig, δημιουργούμε συναρτήσεις που κάνουν υπολογισμούς για το ποιο δάκτυλο θα επιλεγεί για κάθε νότα που παίζεται, και υπολογίζοντας την απόσταση που έχει το κάθε δάκτυλο από το πλήκτρο που παίζεται. Έτσι, επιλέγεται το σωστό δάκτυλο και αφού ξέρουμε την θέση του πλήκτρου που παίζεται, με IK το παίρνουμε στην επιθυμητή θέση.

3.10 Καταγραφή Κίνησης Προσώπου – Live Link Face

Το Live Link Face μεταδίδει υψηλής ποιότητας animation προσώπου σε πραγματικό χρόνο, μέσω του τηλεφώνου σας απευθείας σε χαρακτήρες στο Unreal Engine. Για να γίνεται το tracking στο πρόσωπο ενός καλλιτέχνη, η εφαρμογή αξιοποιεί το ARKit της Apple και την μπροστινή κάμερα TrueDepth του τηλεφώνου, μεταδίδοντας αυτά τα δεδομένα απευθείας στο Unreal Engine μέσω WiFi. Η εφαρμογή αυτή, είναι σχεδιασμένη τόσο στα επαγγελματικά στάδια λήψης με πολλούς ηθοποιούς με στολές πλήρους λήψης κίνησης, όσο και στο γραφείο ενός καλλιτέχνη, όπου προσφέρει εκφραστικές και συγκινητικές ερμηνείες προσώπου σε οποιαδήποτε κατάσταση παραγωγής. [35]

Με το Live Link Face μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα περιστροφής κεφαλιού και λαιμού ως μέρος της ροής παρακολούθησης προσώπου, ώστε να παρέχει περισσότερη ελευθερία κινήσεων για τα ψηφιακά τους avatar. [35]

Στην Εικόνα 3.16, φαίνεται ένας καλλιτέχνης που χρησιμοποιεί το Live Link Face σε επαγγελματικό επίπεδο. Παράδειγμα με το Live Link Face στην δική μας υλοποίηση θα δείξουμε στο επόμενο κεφάλαιο.



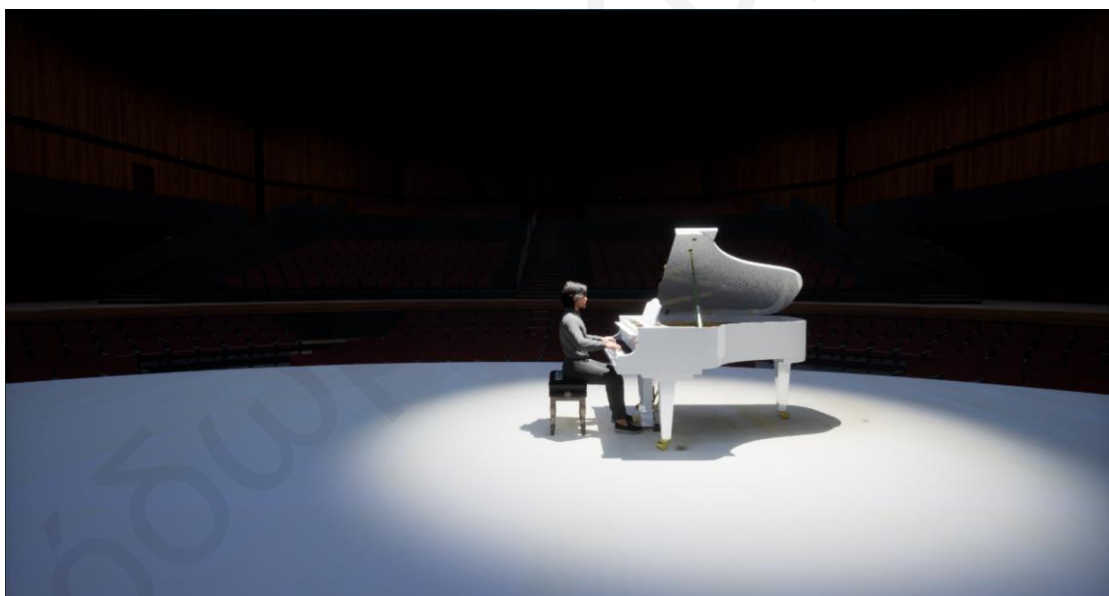
Εικόνα 3.16: Live Link Face in professional performance capture pipelines [35]

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα δούμε την υλοποίηση της εικονικής συναυλίας μέσα από διάφορες φωτογραφίες.

4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

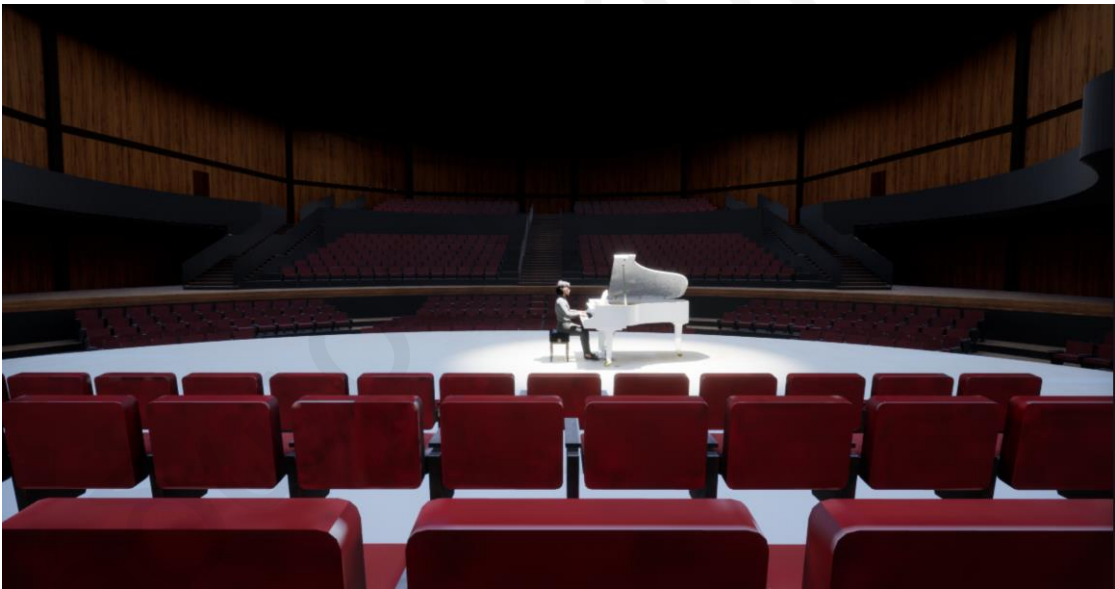


Εικόνα 4.1: Μεσαίας Απόστασης Πλάνο

Στις επόμενες 5 εικόνες (Εικόνα 4.2 - Εικόνα 4.6), φαίνονται διάφορα μακρινά πλάνα από ποικίλες γωνίες της μουσικής σκηνής μας.



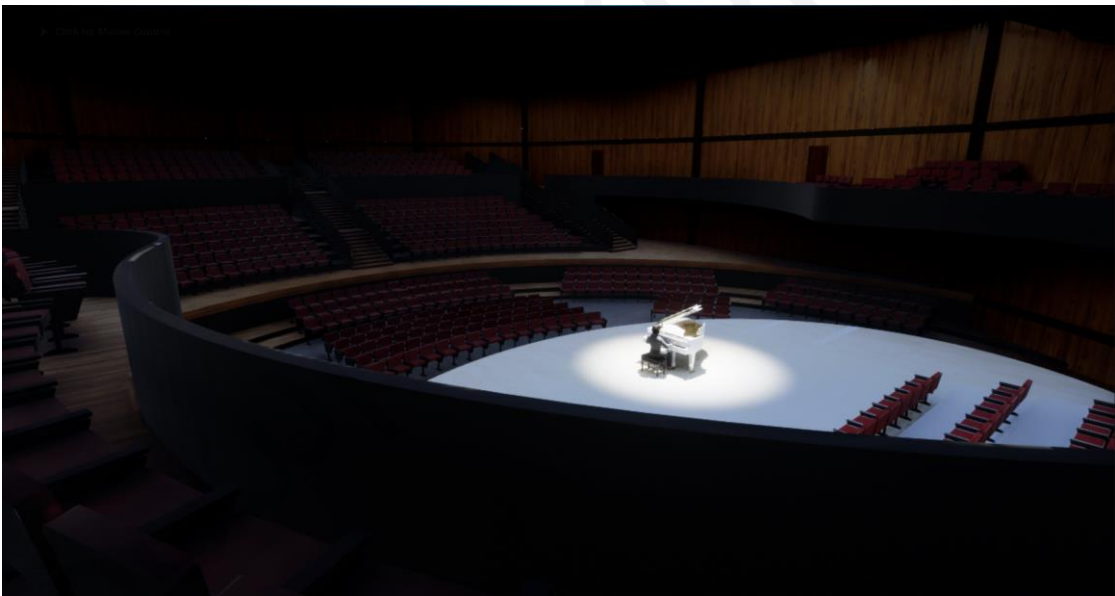
Εικόνα 4.2: Μακρινό Πλάνο 1



Εικόνα 4.3: Μακρινό Πλάνο 2



Εικόνα 4.4: Μακρινό Πλάνο 3

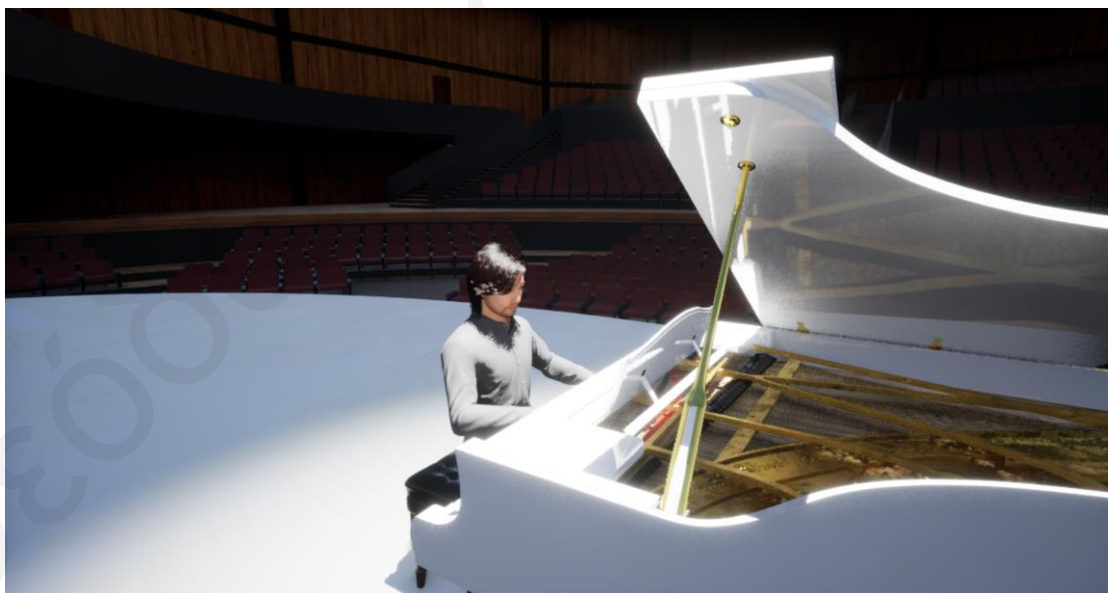


Εικόνα 4.5: Μακρινό Πλάνο 4



Εικόνα 4.6: Μακρινό Πλάνο 5

Στην εικόνα 4.7 και στην εικόνα 4.8, φαίνονται τα αποτελέσματα μας από κοντινές λήψεις. Στην εικόνα 4.8 συγκεκριμένα, στο κάτω δεξί μέρος φαίνεται το πραγματικό αρμόνιο που παίζουμε μουσική και σε πραγματικό χρόνο γίνεται όλο το animation.

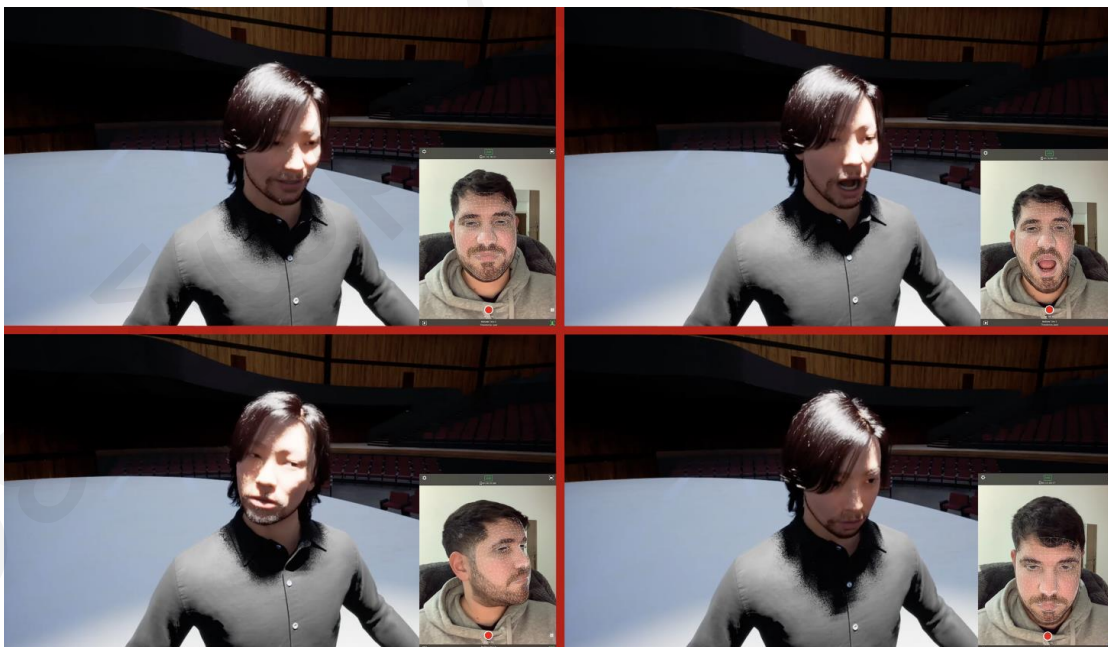


Εικόνα 4.7: Κοντινό Πλάνο



Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα Παιξίματος

Στην εικόνα πιο κάτω (Εικόνα 4.9), φαίνονται τα αποτελέσματα που παίρνουμε από το Live Link Face, σ όπου καταγράφει από την camera του τηλεφώνου τις εκφράσεις του προσώπου μας και σε πραγματικό χρόνο το μεταβιβάζει στον εικονικό μουσικό.

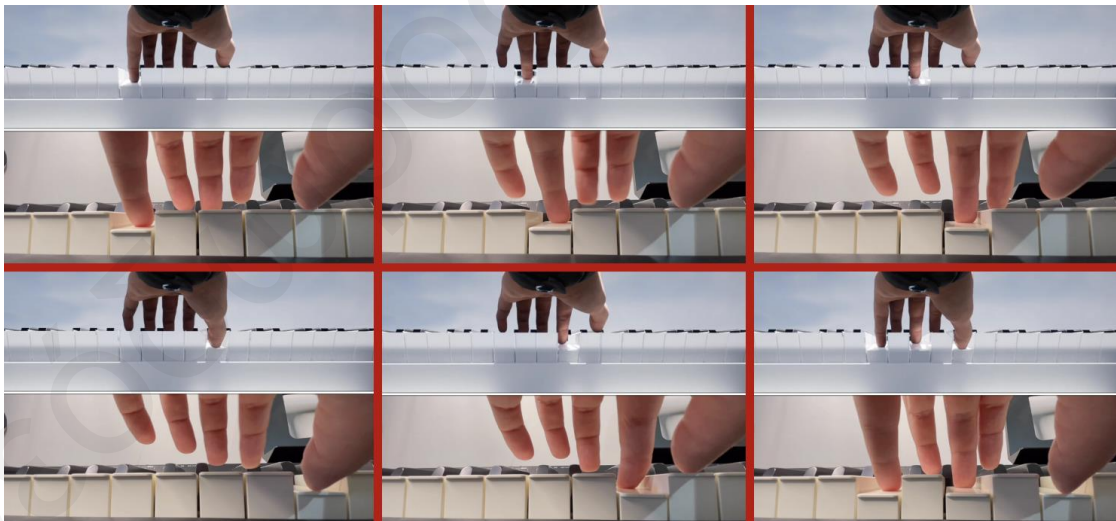


Εικόνα 4.9: Live Link Face



Εικόνα 4.10: Πλάνο πίσω από καλλιτέχνη

Στην πιο κάτω εικόνα (Εικόνα 4.11), στο κάτω μισό κάθε τετραγώνου φαίνεται το πραγματικό χέρι που παίζει το αρμόνιο, ενώ στο πάνω μισό κάθε τετραγώνου φαίνεται ο δακτυλισμός του εικονικού μουσικού.



Εικόνα 4.11: Δακτυλισμός

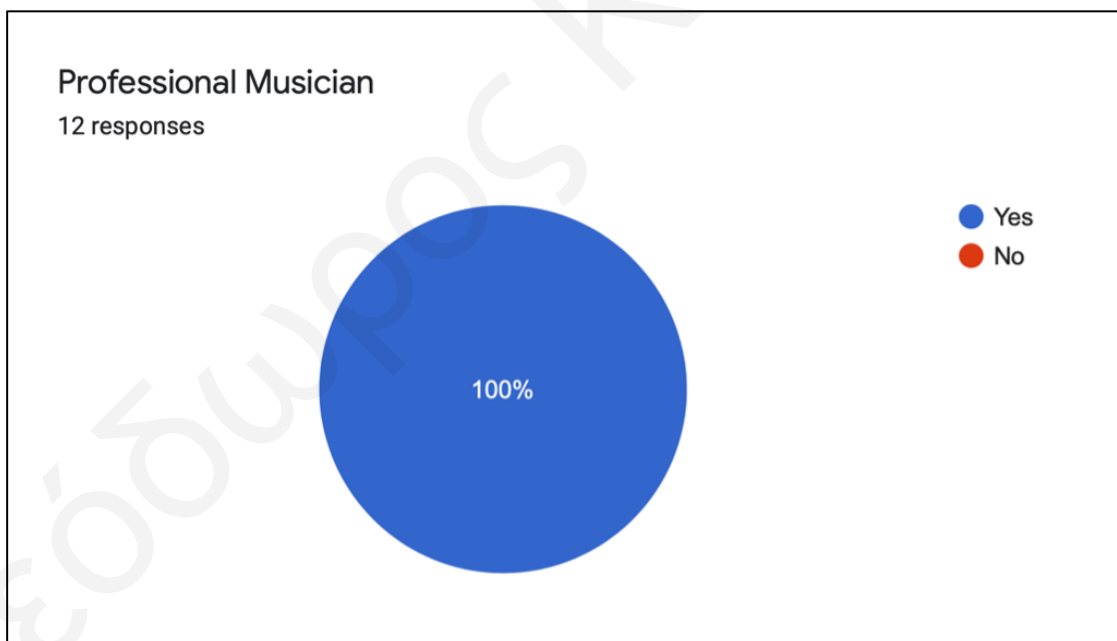
Κεφάλαιο 5

Αξιολόγηση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τις απαντήσεις που δόθηκαν από 12 επαγγελματίες πιανίστες σε ερωτηματολόγιο που έγινε μέσω Google Forms.

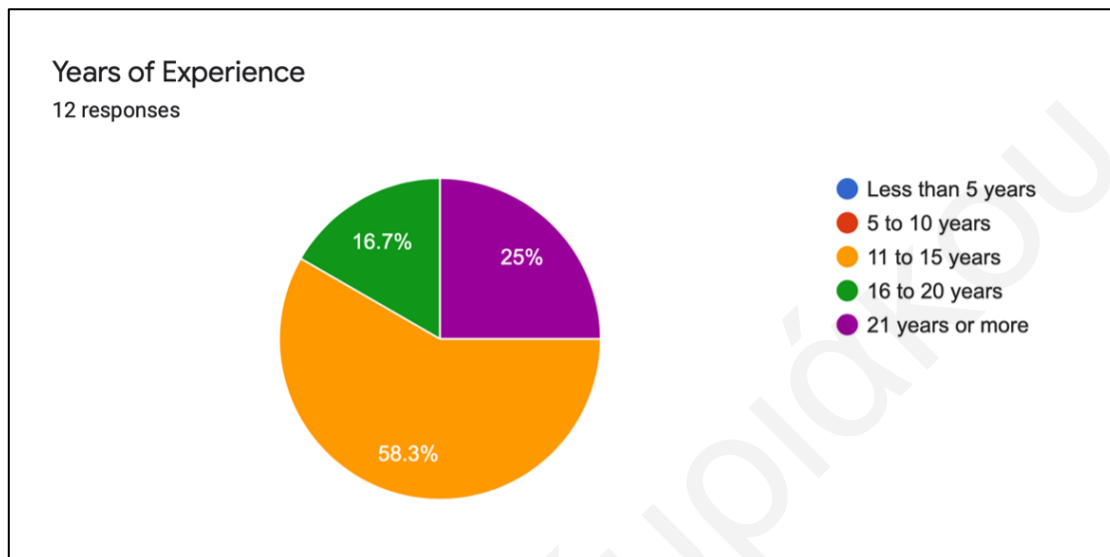
5.1 Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Στην Εικόνα 5.1, φαίνεται ότι όλοι όσοι απάντησαν είναι επαγγελματίες μουσικοί.



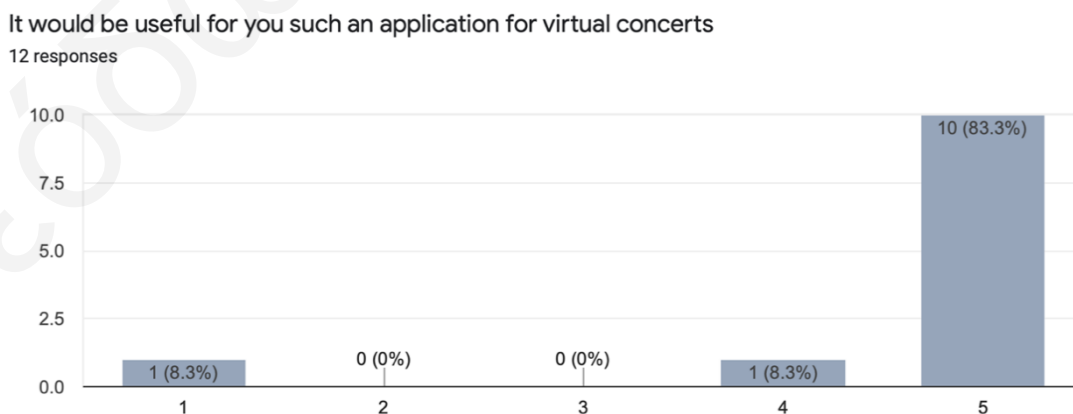
Εικόνα 5.1: Αποτέλεσμα Ερώτησης 1

Στην Εικόνα 5.2, φαίνεται ότι από τους μουσικούς που απάντησαν το ερωτηματολόγιο το 58.3% έχουν 11 – 15 χρόνια εμπειρία, το 25% έχει από 21 χρόνια εμπειρία και πάνω και το 16.7% έχουν 16 – 20 χρόνια εμπειρία.



Εικόνα 5.2: Αποτέλεσμα Ερώτησης 2

Στην ερώτηση αν θα τους ήταν χρήσιμες τέτοιου είδους εφαρμογές για εικονικές συναυλίες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3, το 91.6% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα) καθώς το 8.3% απάντησε αρνητικά.

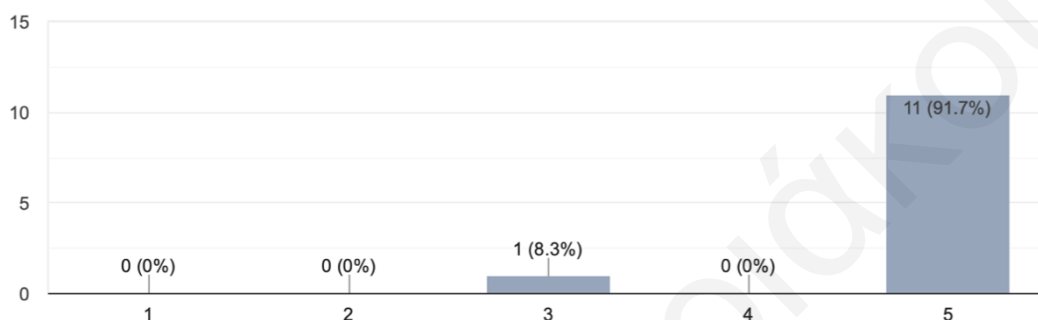


Εικόνα 5.3: Αποτέλεσμα Ερώτησης 3

Στην ερώτηση αν ο Κορονοϊός έχει επηρεάσει την δουλειά τους κατά την περίοδο της πανδημίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.4, το 91.7% απάντησε θετικά (Συμφωνώ Απόλυτα) καθώς το 8.3% απάντησε ουδέτερα.

Coronavirus has significantly affected your work (During the pandemic)

12 responses

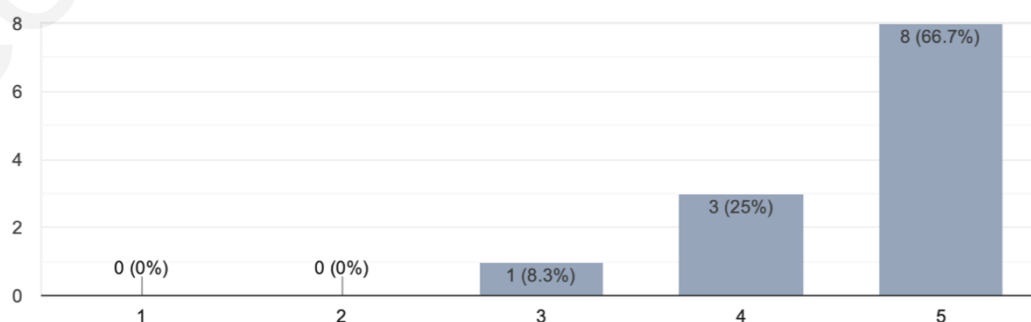


Εικόνα 5.4: Αποτέλεσμα Ερώτησης 4

Στην ερώτηση αν υπάρξει ξανά ολικό lockdown, κατά πόσο οι εικονικές συναυλίες θα ήταν ένας εναλλακτικός τρόπος για να κάνουν παραστάσεις και να πληρώνονται, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5, το 91.7% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα), ενώ το 8.3% απάντησε ουδέτερα.

If there is a complete lockdown again (as in the case of Covid-19), virtual concerts would be an alternative way to perform and get paid for it

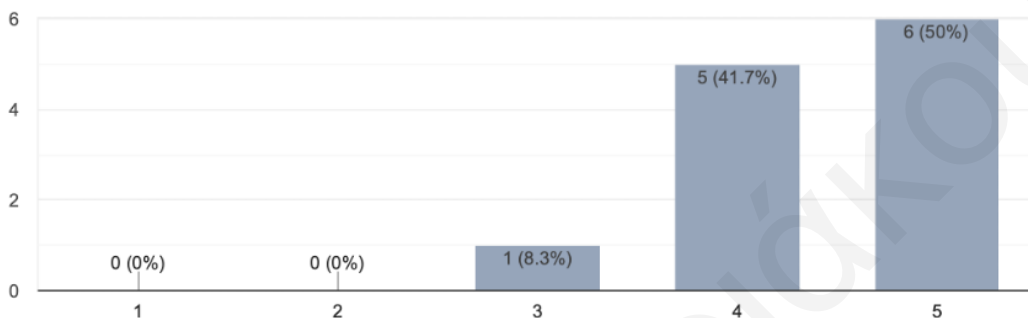
12 responses



Εικόνα 5.5: Αποτέλεσμα Ερώτησης 5

Στην ερώτηση αν τα γραφικά είναι αρκετά ρεαλιστικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.6, το 91.7% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα), ενώ το 8.3% απάντησε ουδέτερα.

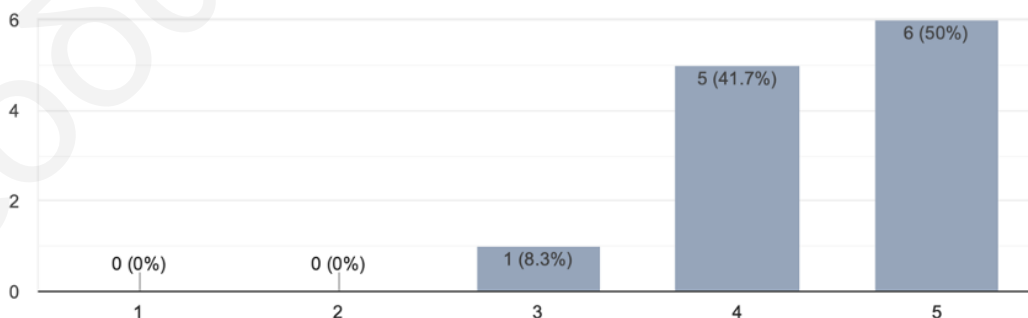
The graphics are pretty realistic
12 responses



Εικόνα 5.6: Αποτέλεσμα Ερώτησης 6

Στην ερώτηση αν το παίξιμο του εικονικού μουσικού είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.7, το 91.7% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα), ενώ το 8.3% απάντησε ουδέτερα.

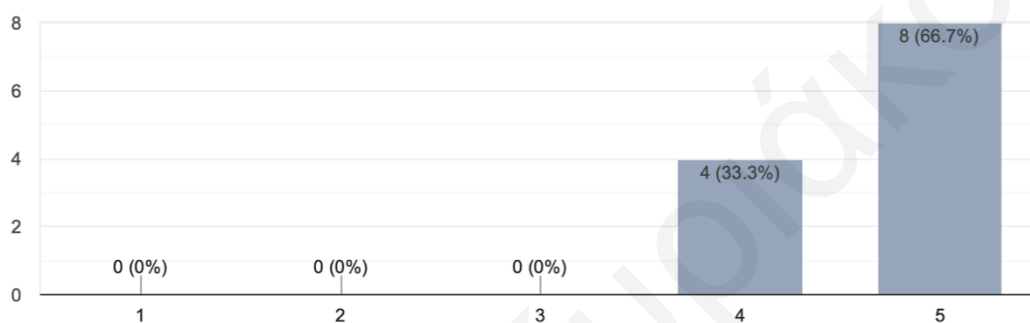
The pianist's playing is at a satisfactory level
12 responses



Εικόνα 5.7: Αποτέλεσμα Ερώτησης 7

Στην ερώτηση αν οι εκφράσεις καταγράφονται και μεταδίδονται με επιτυχία στον εικονικό μουσικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.8, και το 100% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα).

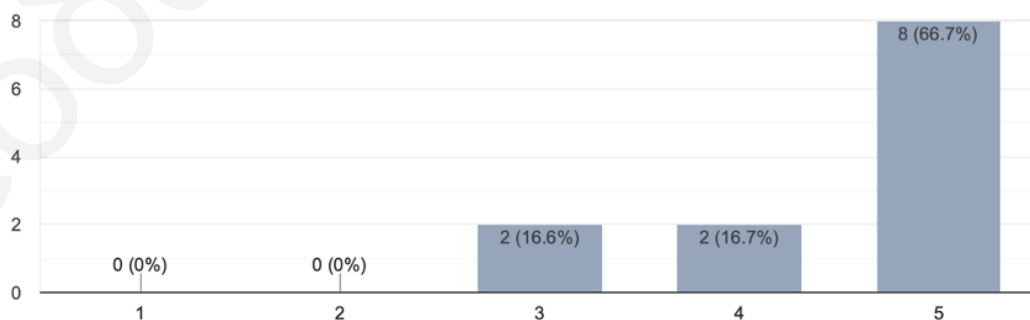
The pianist's facial expressions are successfully recorded
12 responses



Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα Ερώτησης 8

Στην ερώτηση αν το εικονικό πιάνο ακούγεται καλά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.9, το 83.4% απάντησε θετικά (Συμφωνώ + Συμφωνώ Απόλυτα), ενώ το 16.6% απάντησε ουδέτερα.

Virtual piano sounds good
12 responses



Εικόνα 5.9: Αποτέλεσμα Ερώτησης 9

Στην πεδίο που είχαν για να προτείνουν κάτι για να βελτιωθεί η εφαρμογή μας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.10, έδωσαν 5 απαντήσεις οι οποίες στην ουσία είναι να προσθέσουμε περισσότερα όργανα, να προσθέσουμε το πετάλι του πιάνου για να το πατά ο εικονικός μουσικός με το πόδι του και τέλος να προσθέσουμε τον δυναμισμό στις νότες (πιο δυνατά ή σιγανά).

Something you suggest for improvement
This would be a great idea for other instruments as well!
Maybe include the pedals as well?
Maybe if it could produce dynamics (playing louder or softer)
Add different instruments
Very interesting idea!

Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα Ερώτησης 10

5.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα που βγάλαμε βάση του ερωτηματολογίου που δόθηκε, η εμφάνιση της πανδημίας επηρέασε πάρα πολύ τη δουλειά των καλλιτεχνών. Επίσης, δείχνουν να ενδιαφέρονται για την περαιτέρω μελέτη τέτοιων ειδών εφαρμογών, καθώς τα αποτελέσματα φανερώσουν ότι τους αρέσει αυτή η υλοποίηση μας.

Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε βρίσκεται στο Παράρτημα Α.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα συμπεράσματα που προκύπτουν από την υλοποίηση της εικονικής μας συναυλίας, καθώς επίσης και στην μελλοντική εργασία που μπορεί να γίνει, έτσι ώστε να βελτιωθεί η υπάρχουσα υλοποίηση και να αναπτυχθεί με περαιτέρω λειτουργίες.

6.1 Τι πετύχαμε μέσα από την Διατριβή μας

Ο σκοπός της Διατριβής αυτής ήταν η δημιουργία ενός ρεαλιστικού Μουσικού σε ένα ρεαλιστικό θέατρο, όπου ο καλλιτέχνης να μπορεί να παίζει πιάνο από το σπίτι του και σε πραγματικό χρόνο να γίνονται τα animations του σώματος, του προσώπου και του εικονικού πιάνου, αλλά συνάμα και να ακούγεται η μουσική μέσα από την εφαρμογή μας. Όλα αυτά χωρίς να χρειάζεται κάποιος εξειδικευμένος εξοπλισμός, όπως αυτός της στολής Motion Capture.

Για να καταφέρουμε να το υλοποιήσουμε αυτό, αρχικά αναφερθήκαμε στο γιατί πρέπει κάποιος πρέπει να έχει γνώσεις πάνω στην Μουσική για να ασχοληθεί με αυτό το θέμα. Στην συνέχεια μελετήσαμε τις μηχανές παιχνιδιών και επιλέξαμε το Unreal Engine, αφού αν επιδιώκουμε τον ρεαλισμό, είναι αυτή η επιλογή. Έπειτα αναφερθήκαμε για 3D Modeling όπου μας χρειάστηκε για να δημιουργήσουμε τα πλήκτρα του εικονικού πιάνου με την χρήση του Blender. Μετά, ασχοληθήκαμε με Virtual Humans όπου δημιουργήσαμε τον δικό μας εικονικό μουσικό με το MetaHuman Creator όπου μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε πολύ εύκολα και απίστευτα

ρεαλιστικούς εικονικούς ανθρώπους. Στην συνέχεια μελετήσαμε διάφορα είδη για character animation και επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε IK, αφού με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται ο μουσικός να αγοράσει κάποιο ακριβό εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπως είναι η στολή motion capture για να γίνεται το animation.

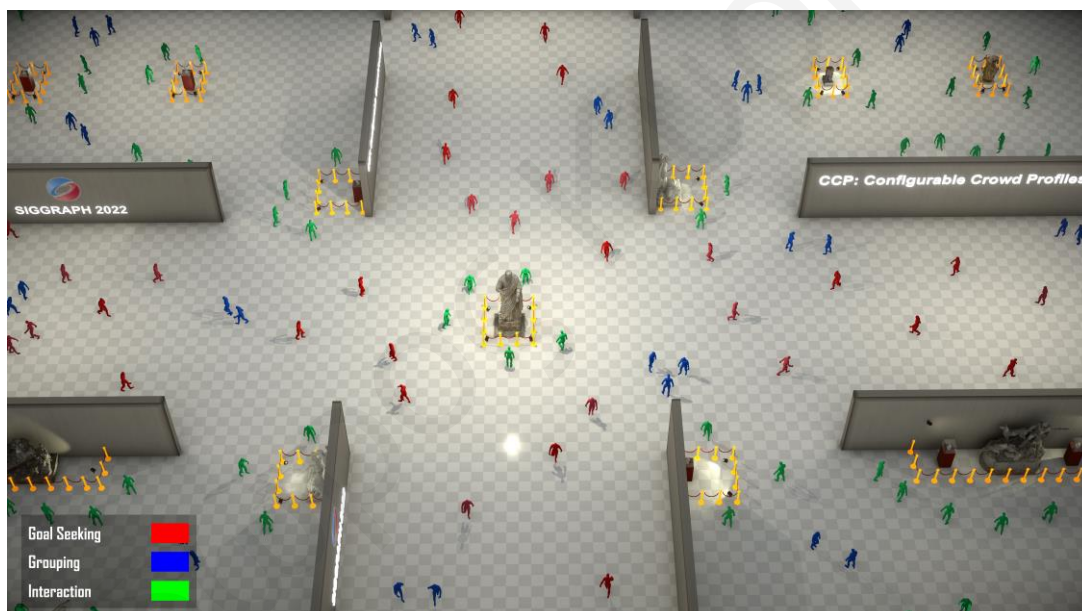
Στην συνέχεια δείξαμε την αρχιτεκτονική του συστήματος, δηλαδή από ποια υποσυστήματα αποτελείται και μετά αναλύσαμε το καθένα ξεχωριστά. Πρώτα τροποποιήσαμε το εικονικό πιάνο που βρήκαμε στο διαδίκτυο καθώς και την δημιουργία των πλήκτρων. Μετά εξηγήσαμε τον τρόπο που λειτουργεί το MIDI, καθώς και το ότι έπρεπε να γίνεται το animation του κάθε πλήκτρου και να ακούγεται η σωστή μουσική μέσα από το Unreal Engine. Ακολούθως, εξηγήσαμε πώς το Blueprint του Metahuman λαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από το Blueprint Interface, όπου τις μεταβιβάζει στο animation blueprint και τις δίνει σαν είσοδο στο Control Rig όπου είναι υπεύθυνο για το animation του σώματος του μουσικού, καθώς επίσης για το Live Link Face που είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των εκφράσεων του προσώπου.

6.2 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα που βλέπουμε στο Κεφάλαιο 4, συμπεραίνουμε ότι είναι εφικτός ο στόχος του να πραγματοποιηθεί μια εικονική συναυλία, αφού βλέπουμε ότι πετυχαίνουμε σε αρκετά μεγάλο βαθμό ρεαλισμό. Φυσικά, χρειάζονται περαιτέρω βελτιώσεις καθώς και περισσότερες λειτουργίες, τις οποίες θα προσπαθήσουμε να πετύχουμε σε μεταγενέστερη εργασία.

6.3 Μελλοντική Εργασία

Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να μελετηθεί και να υλοποιηθεί σε μελλοντική εργασία, είναι να φέρουμε εικονικό κόσμο στις θέσεις του εικονικού θεάτρου. Σχετική έρευνα με προσομοίωση πλήθους κάναμε με την ομάδα μας “V-EUPNEA” που δουλεύουμε μαζί στο Ερευνητικό Κέντρο “CYENS”, η οποία έχει γίνει αποδεκτή στο SIGGRAPH 2022 και έχει τίτλο: “CCP: Configurable Crowd Profiles”. Στιγμές από την υλοποίηση μας φαίνονται στις Εικόνες 6.1 – 6.4, όπου αλλάζουμε δυναμικά τις συμπεριφορές των χαρακτήρων μέσα σε ένα μουσείο. Το κομμάτι του animation το πετύχαμε με την χρήση του Motion Matching. [36]



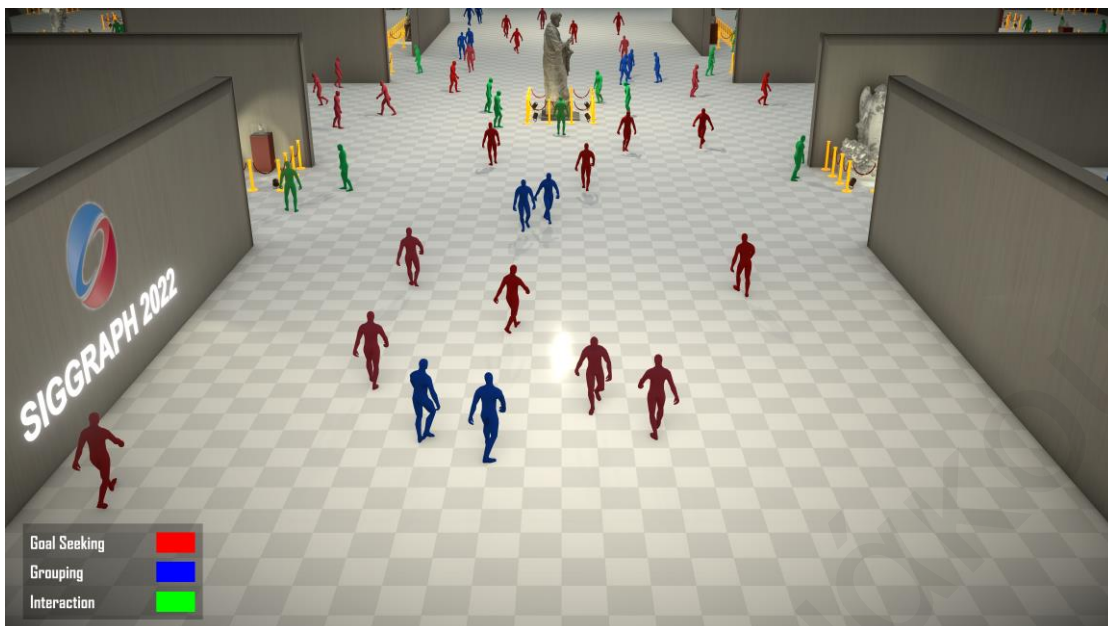
Εικόνα 6.1: CCP: Configurable Crowd Profiles



Εικόνα 6.2: CCP: Configurable Crowd Profiles



Εικόνα 6.3: CCP: Configurable Crowd Profiles



Εικόνα 6.4: CCP: Configurable Crowd Profiles

Επίσης, μπορούμε να φέρουμε εικονικούς θεατές που να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με την χρήση VR γυαλιών. Η αλληλεπίδραση είναι κάτι που είναι πολύ σημαντικό αφού είναι μια εμπειρία που βιώνουμε όλοι στις πραγματικές συναυλίες και έτσι θα πρέπει να την εξασφαλίσουμε και στις εικονικές συναυλίες.

Το δεύτερο πράγμα που θα πρέπει να γίνει, είναι να μελετηθούν ακόμα περισσότερα όργανα έτσι ώστε να πετύχουμε μια ολοκληρωμένη συναυλία όπου ο κάθε μουσικός που θα ενώνεται να έχει την επιλογή να διαλέξει το όργανο που θα θέλει να συνδέσει και να παίζει.

Εκτός από τις εικονικές συναυλίες με κόσμο, θα μπορούσαν οι Μουσικοί να ενώνονται σε ένα εικονικό studio για παράδειγμα, όπου θα μπορούν να κάνουν τις πρόβες τους και να αλληλοεπιδρούνε μεταξύ τους.

Τέλος, πρέπει να δοκιμαστούν και άλλοι τρόποι για το animation των μουσικών, όπως για παράδειγμα να εκπαιδύσουμε με μηχανική μάθηση ένα μοντέλο το οποίο να αναγνωρίζει τις νότες που παίζει ο μουσικός και να παράγει το σωστό animation σε πραγματικό χρόνο. Έτσι,

θα έχουμε να διαλέξουμε με ποιο τρόπο το animation να γίνεται, επιλέγοντας αυτό που φαίνεται πιο ρεαλιστικό καθώς και αυτό που θα είναι πιο αποδοτικό.

Θεόδωρος Κυριάκου

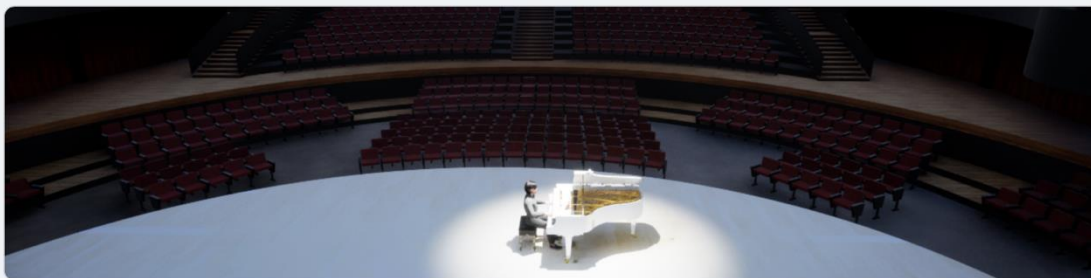
Βιβλιογραφία

- [1] A. M. Batula and Y. E. Kim, “Development of a mini-humanoid pianist,” in *2010 10th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 2010, pp. 192–197. doi: 10.1109/ICHR.2010.5686330.
- [2] V. Jaju, A. Sukhpal, P. Shinde, A. Shroff, and A. B. Patankar, “Piano playing robot,” in *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, 2016, pp. 223–226. doi: 10.1109/IOTA.2016.7562726.
- [3] J. A. E. Hughes, P. Maiolino, and F. Iida, “An anthropomorphic soft skeleton hand exploiting conditional models for piano playing,” *Science Robotics*, vol. 3, no. 25, Dec. 2018, doi: 10.1126/scirobotics.aau3098.
- [4] H. Xu, Y. Luo, S. Wang, T. Darrell, and R. Calandra, “Towards Learning to Play Piano with Dexterous Hands and Touch,” Jun. 2021.
- [5] X. Wang, “PPVR: Teaching and Learning to Play the Piano in Virtual Reality*.”
- [6] D. Salz and F. Azam, “Playing a Virtual Piano with Dynamics.”
- [7] E. Yılmaz, Y. Y. Çetin, Ç. E. Erdem, T. Erdem, and M. Özkan, “Music Driven Real-Time 3D Concert Simulation,” 2006, pp. 379–386. doi: 10.1007/11848035_51.
- [8] Jenske Verhamme, “Bringing back the ‘live’ into the digital: Semiotics on the emergence of live VR in music concerts,” LEUVEN, 2020.
- [9] J. Gregory, *Game Engine Architecture, Third Edition*. A K Peters/CRC Press, 2018. doi: 10.1201/9781315267845.
- [10] “Unreal Engine 5 - Unreal Engine.” <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5> (accessed May 17, 2022).
- [11] “What is 3D Modeling? | How 3D Modeling is Used Today.” <https://www.takeoffpros.com/2020/04/27/guide-to-3d-modeling/> (accessed May 17, 2022).
- [12] “What is 3D Modeling & What’s It Used For?” <https://conceptartempire.com/what-is-3d-modeling/> (accessed May 17, 2022).
- [13] “About — blender.org.” <https://www.blender.org/about/> (accessed May 17, 2022).
- [14] E. Zell, K. Zibrek, and R. McDonnell, “Perception of virtual characters,” in *ACM SIGGRAPH 2019 Courses*, Jul. 2019, pp. 1–17. doi: 10.1145/3305366.3328101.

- [15] Andreas Aristidou, “Εισαγωγή στην Κινησιογραφία.”
- [16] J. K. Hodgins, J. F. O’Brien, and R. E. Bodenheimer, “Computer Animation,” in *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999. doi: 10.1002/047134608X.W7507.
- [17] “Computer_Graphics”.
- [18] M. Kitagawa and B. Windsor, *MoCap for Artists*. Routledge, 2020. doi: 10.4324/9780080877945.
- [19] “What is Motion Capture, and How Does it Work in 2022?” <https://www.rokoko.com/insights/what-is-motion-capture-and-how-does-it-work-in-2022> (accessed May 17, 2022).
- [20] “Vicon MX Shows Dramatic Improvement for MoCap Technology | Animation World Network.” <https://www.awn.com/vfxworld/vicon-mx-shows-dramatic-improvement-mocap-technology> (accessed May 17, 2022).
- [21] “Mixamo Trip | Alex Bittner Animation.” <https://alexbittner.wordpress.com/2011/04/15/mixamo-trip/> (accessed May 17, 2022).
- [22] “Five steps to quickly set up your Xsens in-home mocap studio.” <https://www.xsens.com/blog/five-steps-to-set-up-your-xsens-in-home-studio> (accessed May 17, 2022).
- [23] Y. Rong, T. Shiratori, and H. Joo, “FrankMocap: Fast Monocular 3D Hand and Body Motion Capture by Regression and Integration,” Aug. 2020.
- [24] A. Aristidou and J. Lasenby, “FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem,” *Graphical Models*, vol. 73, no. 5, pp. 243–260, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.gmod.2011.05.003.
- [25] “IK Setups | Unreal Engine Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/IKSetups/> (accessed May 17, 2022).
- [26] X. bin Peng, P. Abbeel, S. Levine, and M. van de Panne, “DeepMimic: Example-Guided Deep Reinforcement Learning of Physics-Based Character Skills,” Apr. 2018, doi: 10.1145/3197517.3201311.
- [27] A. Kwiatkowski *et al.*, “A Survey on Reinforcement Learning Methods in Character Animation,” Mar. 2022.
- [28] “Grand Piano (Marble) - Download Free 3D model by Amatsukast (@Amatsukast) [8d4142b].” <https://sketchfab.com/3d-models/grand-piano-marble-8d4142b2c2d94dc7a314764f621845c6> (accessed May 17, 2022).
- [29] “MIDI in Unreal Engine | Unreal Engine Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithAudio/MIDI/> (accessed May 17, 2022).
- [30] “Freesound - beskhu.” <https://freesound.org/people/beskhu/> (accessed May 17, 2022).
- [31] “Digital Humans - Unreal Engine.” <https://www.unrealengine.com/en-US/digital-humans> (accessed May 17, 2022).
- [32] “Blueprint Interface | Unreal Engine Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/UserGuide/Types/Interface/> (accessed May 17, 2022).
- [33] “Animation Blueprints | Unreal Engine Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/4.27/en->

- US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/AnimBlueprints/ (accessed May 17, 2022).
- [34] “Control Rig | Unreal Engine Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/ControlRig/> (accessed May 17, 2022).
- [35] “New Live Link Face iOS App now available for real-time facial capture with Unreal Engine - Unreal Engine.” <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/new-live-link-face-ios-app-now-available-for-real-time-facial-capture-with-unreal-engine> (accessed May 17, 2022).
- [36] Andreas Panayiotou, Theodoros Kyriakou, Marilena Lemonari, Yiorgos Chrysanthou, and Panayiotis Charalambous, “CCP: Configurable Crowd Profiles,” *In Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Siggraph 2022. ACM, New York, NY, USA, 10 pages*, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3528233.3530712>

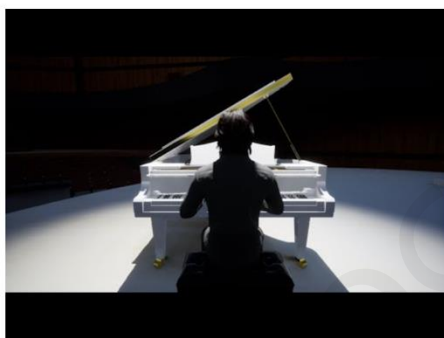
Παράρτημα Α



Virtual Concert - Thesis Evaluation

Please watch the demo below and answer the questions. It is a first sample where in future works we will add more musical instruments as well as an interacting audience.

Demo



Professional Musician *

- Yes
- No

Years of Experience *

- Less than 5 years
- 5 to 10 years
- 11 to 15 years
- 16 to 20 years
- 21 years or more

Virtual piano sounds *

1 2 3 4 5

Strongly Disagree Strongly Agree

Something you suggest for

Short answer text

© ΕΞΕΤΑΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΥ