



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΑ & ΤΣ  
ΕΔΙΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ

ΕΠΑνΕΚ 2014-2020  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



ΕΣΠΑ  
2014-2020  
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## AUGMENTED REALITY POLIS STORIES



ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ-4  
ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΕΝΑΓΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – 4.2  
AUGMENTED REALITY ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ

δι@δρασις

ανάπτυξη εφαρμογών  
web • mobile • multimedia

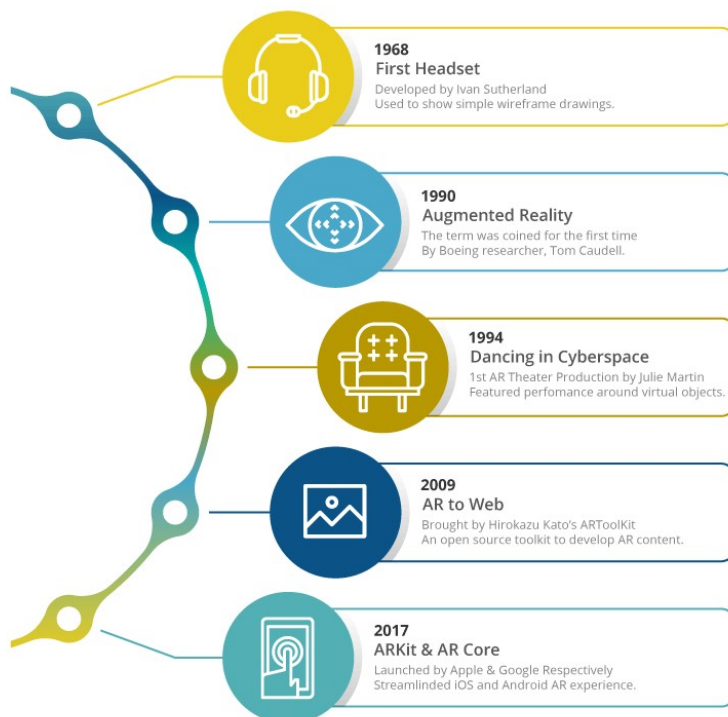
## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή .....	4
2	Τεχνολογίες .....	5
2.1	Image Recognition and Tracking.....	7
2.1.1	Επαυξημένη πραγματικότητα : Είδη Στόχων .....	7
2.1.2	Ανίχνευση των χαρακτηριστικών σε μια εικόνα (Feature Detection) .....	12
2.1.3	Feature Extraction .....	16
2.1.4	Natural Feature Tracking .....	16
2.1.5	Fiducial Marker Tracking.....	20
3	Πλατφόρμες .....	21
3.1	ARToolkit SDK .....	21
3.1.1	ARToolkit Computer Vision Αλγόριθμος.....	22
3.2	ARkit SDK .....	23
3.3	ARCore SDK .....	24
3.4	EasyAR SDK .....	25
3.5	Vuforia SDK .....	27
3.5.1	Παράμετροι αξιολόγησης απόδοσης vuforia.....	29
3.5.2	Απόδοση βάσει των κριτηρίων .....	30
3.6	Wikitude AR SDK .....	32
3.7	DroidAR SDK.....	33
3.8	Σύνοψη .....	33
4	Bibliography.....	36



# 1 Εισαγωγή

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα αποτελεί ένα ταχέως αναπτυσσόμενο ερευνητικό πεδίο. Με τον όρο επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality ή AR) γίνεται αναφορά στην τεχνολογία που «επεκτείνει» τον φυσικό κόσμο με ψηφιακή πληροφορία, «εμπλουτίζοντάς» τον. Ο όρος εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1990, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1 (Sciforce, n.d.) , αλλά με την άνοδο του Διαδικτύου και των smartphones, η AR έχει πλέον πραγματικό αντίκτυπο στις συνήθειες, την κοινωνική ζωή και τη βιομηχανία της ψυχαγωγίας. Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά εφαρμογών Επαυξημένης πραγματικότητας είναι ο συνδυασμός του πραγματικού κόσμου με τον εικονικό, η αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο καθώς και η ευθυγράμμιση των εικονικών αντικειμένων με τα πραγματικά ώστε να δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι τα δυο προαναφερθέντα στοιχεία συνυπάρχουν αρμονικά.



Εικόνα 1: Εξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας

## 2 Τεχνολογίες

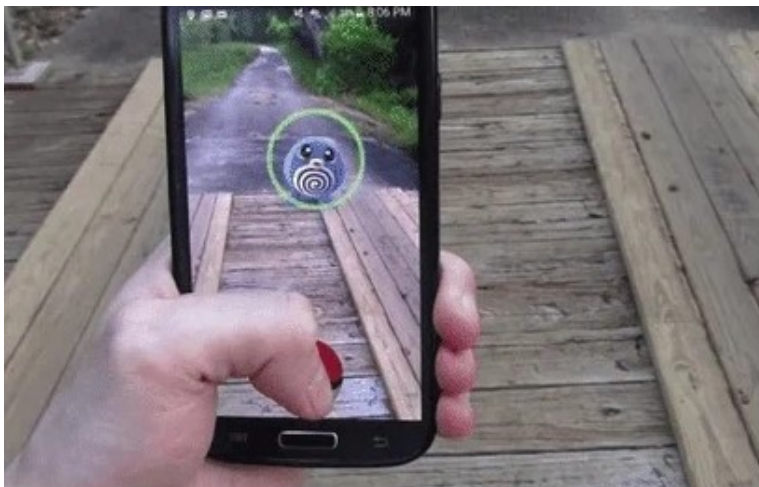
Η επαυξημένη πραγματικότητα – Augmented Reality ή αλλιώς AR χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως στην ιατρική, στην αρχιτεκτονική, στη στρατιωτική εκπαίδευση, στην εκπαίδευση για όλες τις ηλικίες, στα παιχνίδια, στην ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, στον τουρισμό κ.α. Για αναπτυχθεί ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας πρέπει να αξιοποιηθεί κάποιο SDK (Software Development Kit) επαυξημένης πραγματικότητας. Το βασικά ερωτήματα που προκύπτουν κατά την επιλογή του SDK αφορούν το περιβάλλον θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη της AR εφαρμογής, το είδος του ψηφιακού περιεχομένου που θα προβληθεί καθώς και το που θα προβληθεί το εν λόγω περιεχόμενο. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται η αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων στο χώρο ενώ σε άλλες απλά μια τοποθεσία. Σε γενικές γραμμές τα AR SDK επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας που εμπίπτουν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Geo – located augmented reality

Σε αυτές της εφαρμογές η επαυξημένη πραγματικότητα προκύπτει από τη γεωγραφική θέση του χρήστη που λαμβάνεται από αισθητήρες όπως το GPS και το IMU <sup>1</sup>(μετεξέλιξη των γυροσκοπίων). Μια πολύ γνωστή location - based εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας είναι το Pokemon Go.

---

<sup>1</sup> Οι αδρανειακοί αισθητήρες Inertial Measurement Unit (IMU) συνήθως εμπεριέχουν τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια και είναι μικροί σε μέγεθος, έχουν χαμηλή κατανάλωση και χαμηλό κόστος λόγω των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας MEMS (Micro-Electro-Mechanical Sensors). Ένα IMU σύστημα αισθητήρων λειτουργεί μέσω του εντοπισμού της επιτάχυνσης, χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα επιταχυνσιόμετρα και επίσης ανιχνεύει μεταβολές στη περιστροφική κίνηση ενός μέσου με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων γυροσκοπίων. (Νερούτσος, 2012)



*Εικόνα 2:Pokemon GO*

- Marker – based augmented reality

Σε αυτού του είδους επαυξημένης πραγματικότητας απαιτείται ο εντοπισμός ενός marker. Ο marker (στόχος) αυτός, μπορεί να είναι μια δισδιάστατη εικόνα, η οποία αποτελείται από χαρακτηρισικά που ένας αλγόριθμος μπορεί εύκολα να εξάγει, ή ένα αντικείμενο του πραγματικού κόσμου (Cheng, 2017). Υπάρχει, με άλλα λόγια, άμεση συσχέτιση των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου με το ψηφιακό περιεχόμενο. Για παράδειγμα, αν σε μια συγκεκριμένη σελίδα ενός βιβλίου αναμένεται να προβάλει κάποιο κινούμενο γραφικό μια AR εφαρμογή τότε πρέπει πρώτα η εν λόγω εφαρμογή να αναγνωρίσει τη σελίδα μέσω κάμερας (πχ. μέσω αναγνώριση εικόνας/κειμένου) και στη συνέχεια να προβάλει σε αυτή το ψηφιακό περιεχόμενο. Για τον εντοπισμό των markers συνήθως χρησιμοποιούνται τεχνικές computer vision και image processing.

- Marker – less augmented reality

Αυτού του είδους η επαυξημένη πραγματικότητα δεν απαιτεί τον εντοπισμό κάποιου αντικειμένου ώστε να προκύψει επαύξηση της πραγματικότητας. Με άλλα λόγια, επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε ή και όλων των τμημάτων του φυσικού περιβάλλοντος ως στόχου ή βάση για την τοποθέτηση ψηφιακών εικονικών/αντικειμένων (Waruwu, 2015). Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους AR

αποτελεί μια εφαρμογή διακόσμησης σπιτιού όπου ο χρήστης τοποθετεί εικονικά έπιπλα στο σπίτι του. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση χαρακτηριστικών στην σκηνή είναι τεχνικές feature tracking και model-based tracking που συνδυάζονται με μεθόδους αναγνώρισης προτύπων (Ζαχαρόπουλος, 2017).

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία παρουσιάζονται ένα πλήθος εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Στην ενότητα αυτή θα χαρτογραφηθούν πλατφόρμες AR καθώς και οι μέθοδοι και τεχνικές αναγνώρισης των αντικειμένων που αυτές χρησιμοποιούν ώστε να επιτευχθεί η επαυξημένη πραγματικότητα

## **2.1 Image Recognition and Tracking**

Η αναγνώριση και παρακολούθηση μιας εικόνας ή ενός αντικειμένου αποτελεί μια λειτουργία AR που επιτρέπει στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας να αναγνωρίζουν και να παρακολουθούν συγκεκριμένους στόχους, είτε αυτοί είναι δισδιάστατοι είτε τρισδιάστατοι και να τοποθετήσουν σωστά το ψηφιακό περιεχόμενο επάνω τους. Η ικανότητα ευθυγράμμισης του πραγματικού κόσμου με την ψηφιακή πληροφορία θα μπορούσε, μάλιστα, να θεωρηθεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μιας εφαρμογής AR.

Για να επιτευχθεί μια ικανοποιητική ψευδαίσθηση συνύπαρξης πραγματικού και εικονικού κόσμου, χρησιμοποιούνται προηγμένες Computer Vision μεθόδους αναγνώρισης εικόνων και αντικειμένων ώστε να αναγνωριστούν και να «παρακολουθηθούν» τα πραγματικά αντικείμενα. Οι εν λόγω μέθοδοι αποτελούνται συνήθως από δύο μέρη, το Feature detection και το Feature Extraction. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν ...

### **2.1.1 Επαυξημένη πραγματικότητα : Είδη Στόχων**

Η πιο «παραδοσιακή» μορφή επαυξημένης πραγματικότητας στηρίζεται στην αναγνώριση αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο μέσω μιας συσκευής. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση μιας απλής κάμερας και ενός λογισμικού μπορεί πολύ εύκολα να επιτευχθεί η αναγνώριση ενός «στόχου» στο φυσικό περιβάλλον, ο προσδιορισμός

---

του προσανατολισμού του σε σχέση με την κάμερα και η δημιουργία έτσι μιας ψευδαίσθησης ότι εικονικά αντικείμενα συνυπάρχουν με τα φυσικά. Οι στόχοι που μπορούν πλέον να αναγνωριστούν μπορεί να είναι απλοί δείκτες (markers), εικόνες, κείμενο, τρισδιάστατα αντικείμενα καθώς και με τους πλέον σύγχρονους αλγορίθμους SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης και χαρτογράφησης όλου του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατηγορίες των διαφόρων στόχων που μπορούν να αναγνωριστούν από AR εφαρμογές.

### 2.1.1.1 Δείκτες – Markers

Οι πιο απλοί στόχοι επαυξημένης πραγματικότητας είναι οι Δείκτες (markers) που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3. Οι δείκτες αυτοί αποτελούνται συνήθως από ένα ορθογώνιο με ένα μαύρο παχύ περίγραμμα και στο εσωτερικό τους περιλαμβάνουν κάποιο σχήμα, ασπρόμαυρο ή μη.



Εικόνα 3: Δείγματα δεικτών που αναγνωρίζει το ARToolkit

Οι εν λόγω δείκτες τυπώνονται σε ένα κομμάτι χαρτί ή σε μια λεία επιφάνεια. Κατά τη φάση της αναγνώρισης εικόνας το σύστημα αναζητά το προαναφερθέν μαύρο ορθογώνιο και όταν το εντοπίσει, εξετάζει το εσωτερικό του περιγράμματος για να προσδιορίσει τον δείκτη. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι τοποθετημένο το περίγραμμα (πχ. αν είναι λοξό) το σύστημα μπορεί να εξάγει τη θέση και τον προσανατολισμό του δείκτη σε σχέση με την κάμερα. Ένας τέτοιος απλός δείκτης έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αναγνωριστεί με μεγάλη ευκολία από μια AR εφαρμογή, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο η εφαρμογή να μην λειτουργήσει όπως, για παράδειγμα, λόγω κακού φωτισμού.



Ένα άλλο παράδειγμα από απλούς markers του Vuforia SDK παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Το Vuforia περιλαμβάνει ένα ισχυρό marker system, το VuMark, το οποίο καθιστά πολύ εύκολο να δημιουργηθούν δείκτες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι δείκτες μπορεί στο εσωτερικό του περιγράμματος να διαφέρουν αλλά έχουν όλοι ένα εξωτερικό περίγραμμα για να επιτυγχάνεται ο εντοπισμός τους.

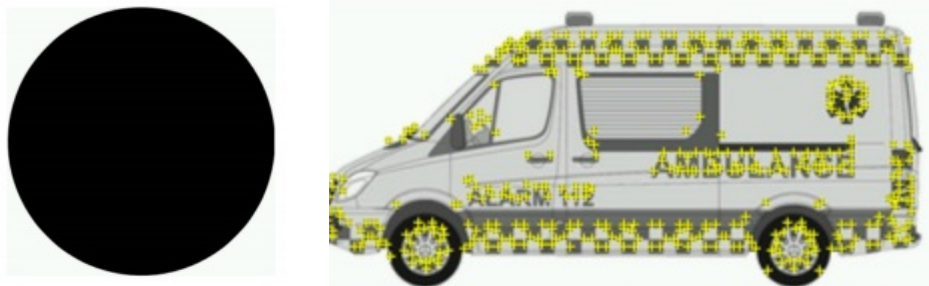


Εικόνα 4: Vuforia Markers

### 2.1.1.2 Στόχος - Εικόνα

Πέραν από τους απλούς markers που παρουσιάστηκαν παραπάνω, μπορούν να αναγνωριστούν και «κανονικές» εικόνες. Η ικανότητα αναγνώρισης τέτοιων εικόνων αποτέλεσε ένα μεγάλο βήμα για τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας καθώς πλέον δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία/διανομή custom markers, σαν αυτούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω, μαζί με τις AR εφαρμογές. Οι στόχοι εικόνες σε αρκετές περιπτώσεις ονομάζονται natural feature tracking markers (NFT markers) και σε αντίθεση με τους δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι στόχοι εικόνες δεν χρειάζονται ειδικές ασπρόμαυρες περιοχές ή κωδικούς για να εντοπιστούν από μια AR εφαρμογή. Αυτό καθίσταται δυνατόν μέσω του Natural Feature Tracking (NFT) που θα παρουσιαστεί αναλυτικά στη συνέχεια. Το NFT είναι αποτελεί, ουσιαστικά, μια τεχνική ανίχνευσης χαρακτηριστικών που βρίσκονται στις εικόνες (AnyMotion, n.d.).

Υπάρχουν, βέβαια, αρκετοί περιορισμοί κατά την επιλογή της κατάλληλης εικόνας στόχου. Για να επιτυγχάνεται η σωστή ανίχνευση/παρακολούθηση αυτών των στόχων θα πρέπει μια εικόνα να αποτελείται από πολλά στοιχεία που είναι διατεταγμένα με ιδιαίτερο και μοναδικό τρόπο και έχουν έντονες χρωματικές αντιθέσεις. Για παράδειγμα, το

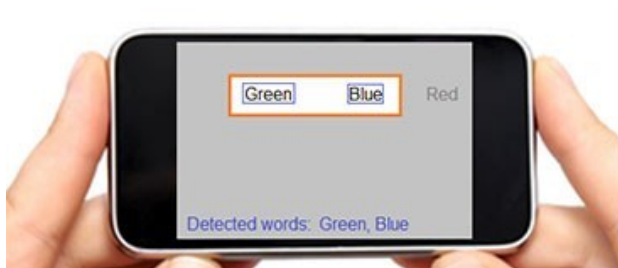


ασθενοφόρο στην Εικόνα 5 (Ivar, 2017) έχει υψηλό βαθμό ανιχνευσιμότητας, όπως φαίνεται από τους κίτρινους σταυρούς που αντιπροσωπεύουν τα εντοπισμένα χαρακτηριστικά. Από την άλλη πλευρά, ο κύκλος αποτελεί μια κακή εικόνα-στόχο.

*Εικόνα 5: Κακός στόχος-εικόνα Vs καλός στόχος- εικόνα*

### **2.1.1.3 Στόχος - Κείμενο**

Μια άλλη λειτουργία που υποστηρίζεται από ορισμένες πλατφόρμες επαυξημένης πραγματικότητας είναι η αναγνώριση κειμένου. Ο στόχος στην περίπτωση αυτή είναι το κείμενο το οποίο αναγνωρίζεται μέσω κάμερας και αντιστοιχίζεται με ένα λεξικό. Το Vuuforia SDK αποτελεί ένα παράδειγμα βιβλιοθήκης που υποστηρίζει τέτοιου είδους στόχο. Ένα παράδειγμα αναγνώρισης κειμένου φαίνεται στην Εικόνα 3.



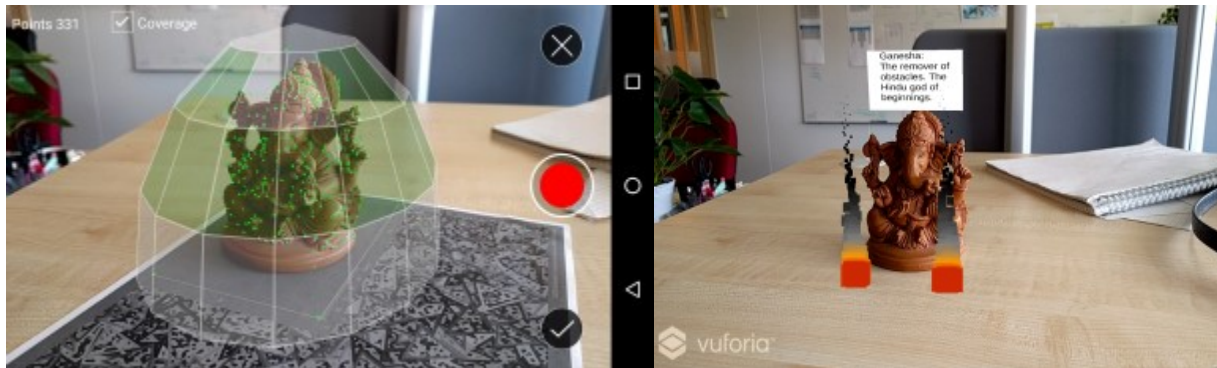
Εικόνα 6: Στόχος - κείμενο

#### 2.1.1.4 Στόχοι - Σχήματα

Ένας ακόμη στόχος που μπορεί να αναγνωριστεί από μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας είναι βασικά σχήματα όπως κύβοι, κώνοι και κύλινδροι. Ένας στόχος-σχήμα μπορεί να διακριθεί από έναν άλλο τόσο από το σχήμα όσο και από τις διαστάσεις.

#### 2.1.1.5 Αντικείμενα

Τα τρισδιάστατα αντικείμενα αποτελούν έναν ακόμη τύπο στόχου που μπορεί να αναγνωριστεί από ορισμένες πλατφόρμες επαυξημένης πραγματικότητας. Για να επιτευχθεί η αναγνώρισης/παρακολούθησης 3D αντικειμένων, όπως συμβαίνει και με τις δισδιάστατες εικόνες, πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Για παράδειγμα, το 3D αντικείμενο δεν πρέπει να είναι διαφανές, τα χαρακτηριστικά του πρέπει να έχουν έντονη αντίθεση μεταξύ τους, καθώς επίσης να μην παραμορφώνεται το σχήμα του. Οι στόχοι - αντικείμενα επιτρέπουν στους χρήστες να βλέπουν τη ψηφιακή πληροφορία να προβάλλεται στο πραγματικό τρισδιάστατο αντικείμενο από όποια οπτική γωνία και αν το κοιτάζουν. Πριν προκύψει όμως η «επαύξηση» σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο αυτό πρέπει να σαρωθεί με κάποιο τρόπο. Το Vuforia, για παράδειγμα, έχει αναπτύξει έναν σαρωτή που είναι σε θέση να σαρώσει σχετικά μικρά 3D αντικείμενα χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο "επίπεδο σάρωσης", πάνω στο οποίο τοποθετείται τα εν λόγω τρισδιάστατα αντικείμενα (Ivar, 2017). Στις εικόνες 5 και 6 παρουσιάζεται η σάρωση και η επαύξηση ενός 3D αντικειμένου κάνοντας χρήση του Vuforia SDK.



Εικόνα 7: Vuforia Object Scanning

Εικόνα 8 Vuforia Object Augmentation

### **2.1.2 Ανίχνευση των χαρακτηριστικών σε μια εικόνα (Feature Detection)**

Αυτό είναι το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα κατά την αναγνώριση μιας εικόνας, η ανίχνευση των χαρακτηριστικών της αξιοποιώντας έναν ανιχνευτή χαρακτηριστικών (keypoint detector). Το feature detection εστιάζει στην εύρεση σημείων ενδιαφέροντος σε μια εικόνα. Τα σημεία αυτά (features) μπορεί να είναι συγκεκριμένες χαρακτηριστικά σε μια εικόνα όπως σημεία (points), άκρα(edges) και γωνίες(corners).

Οι πιο βασικοί τύποι ανίχνευσης χαρακτηριστικών είναι οι εξής :

- Edge detection

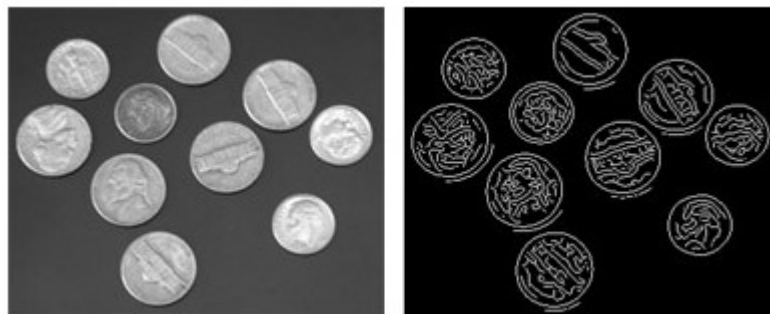
Η ανίχνευση ακμών(edge detection) αποτελεί είναι μια τεχνική επεξεργασίας εικόνας η οποία στοχεύει στην εύρεση των ορίων των αντικειμένων που βρίσκονται σε μια εικόνα. Η τεχνική αυτή λειτουργεί ανιχνεύοντας ασυνέχειες στη φωτεινότητα σε μια εικόνα. Οι άκρες που εντοπίζονται συσχετίζονται συχνά με τα όρια αντικειμένων σε μια σκηνή. Το Edge detection χρησιμοποιείται για την κατάτμηση και την εξαγωγή δεδομένων από μια εικόνα και αξιοποιείται σε μια πληθώρα τομέων όπως στην επεξεργασία εικόνας, στο Computer Vision και στο Machine Vision (MathWorks, n.d.). Οι πιο συχνοί αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών παρουσιάζονται στις εικόνες Εικόνα 9, Εικόνα 10, Εικόνα 11.



Εικόνα 9: Κατάτμηση εικόνας με τη μέθοδο Sobel



Εικόνα 10: Κατάτμηση εικόνας με τη μέθοδο Canny

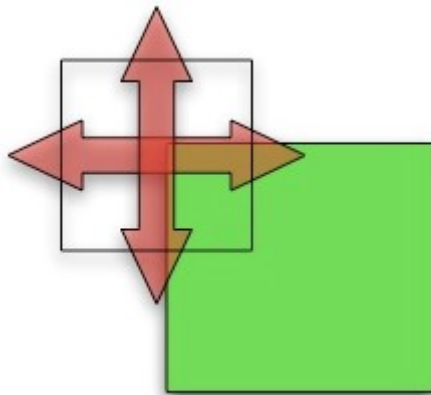


Εικόνα 11: Κατάτμηση εικόνας με μέθοδο Fuzzy Logic

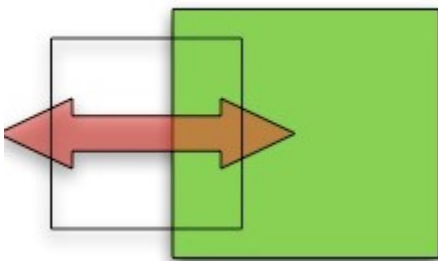
- Corner detection

Η μέθοδος ανίχνευσης γωνιών (corner detection) αποτελεί μια computer vision προσέγγιση για την αναγνώριση ορισμένων χαρακτηριστικών μιας εικόνας. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την περιγραφή και την αναγνώριση σχημάτων. Η λογική της έγκειται στην αρχή ότι εάν τοποθετηθεί ένα μικρό παράθυρο πάνω σε μια εικόνα, εάν το παράθυρο τοποθετηθεί σε μια γωνία, τότε εάν μετακινηθεί σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, θα υπάρξει μεγάλη αλλαγή στην ένταση (intensity) (Εικόνα 12). Εάν το παράθυρο είναι πάνω από μια άκρη (edge),

θα υπάρξει αλλαγή έντασης μόνο εάν το παράθυρο μετακινηθεί προς μία κατεύθυνση (Εικόνα 13) ενώ αν δεν συμβαίνει τίποτα από τα παραπάνω τότε δε θα υπάρξει καμία αλλαγή σε οποιαδήποτε κίνηση.

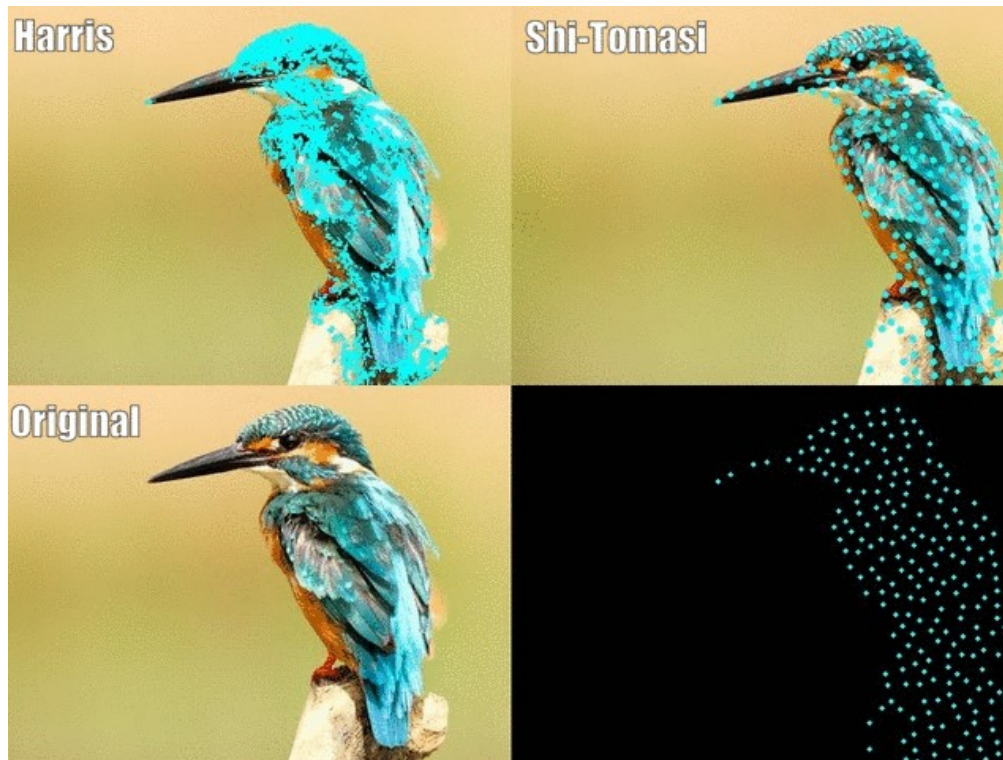


Εικόνα 12: Κατευθύνσεις όπου υπάρχει αλλαγή όταν υπάρχει γωνία



Εικόνα 13: Κατευθύνσεις όπου υπάρχει αλλαγή όταν δεν υπάρχει γωνία

Ιδιαίτερα δημοφιλείς αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας είναι ο [Harris Corner Detector](#) και ο [Shi-Tomasi Corner Detector](#). Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της απόδοσης των δύο προαναφερθέντων αλγορίθμων. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά της εικόνας είναι αυτά που παρουσιάζονται στην κάτω δεξιά φωτογραφία.



- Blob detection

Το Blob αποτελεί μια περιοχή μιας εικόνας που έχει σταθερές ή

*Εικόνα 14:Harris VS Shi-Tomasi corner detection algorithms*

περίπου σταθερές ιδιότητες εικόνας. Είναι, ουσιαστικά ένα σύνολο συνεχόμενων στοιχείων (περιοχή) που ικανοποιούν ένα κριτήριο. Όλα τα σημεία σε ένα blob θεωρείται ότι είναι παρόμοια μεταξύ τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά της εικόνας, που «μοιάζουν» τόσο σε φωτεινότητα όσο και σε χρώμα, χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης για τις περιοχές που τα περιβάλλουν (Desai, 2017). Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από Blob detection. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι με τον όρο blob γίνεται αναφορά σε μια οντότητα χωρίς καθορισμένο σχήμα. Για τον λόγο αυτό δε θα πρέπει να ταυτίζεται με τον κύκλο.



Εικόνα 15: Παράδειγμα Blob Detection

### **2.1.3 Feature Extraction**

Το Feature Extraction έπεται του Feature detection και αφορά την επεξεργασία περιοχών που περιβάλλουν σημεία ενδιαφέροντος (points of interest). Ενώ το Feature detection εστιάζει στον εντοπισμό περιοχών σε μια εικόνα που έχουν μοναδικό περιεχόμενο, όπως γωνίες και blobs, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν σημεία ενδιαφέροντος που μπορούν να αξιοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία, το Feature Extraction στοχεύει στον υπολογισμό ενός descriptor συνήθως σε περιοχές που επικεντρώνονται γύρω από εντοπισμένα χαρακτηριστικά (Mathworks, n.d.).

Οι προαναφερθέντες descriptors βασίζονται στην επεξεργασία εικόνας για να μετατρέψουν μια «γειτονιά» εικονοστοιχείων (pixels) σε ένα διάνυσμα. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η σύγκριση διαφορετικών «περιοχών» από την κλίμακα ή τον προσανατολισμό τους. Το αποτέλεσμα από το Feature extraction είναι τα Feature Vectors/Descriptors της εικόνας.

Οι κατηγορίες Visual Tracking που προκύπτουν από τις διαφορετικές μεθόδους Feature Detection και Feature Extraction που επιλέγονται είναι η Natural Feature Tracking και η Fiducial Marker Tracking (Τζιώνας, 2009).

### **2.1.4 Natural Feature Tracking**

Το Natural Feature Tracking αποτελεί μια image-based τεχνική που ανιχνεύει χαρακτηριστικά που βρίσκονται στις εικόνες του φυσικού περιβάλλοντος. Αποτελεί μια



ιδιαίτερα δημοφιλή μέθοδο για tracking σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας καθώς επιτρέπει την αναγνώριση και την παρακολούθηση στόχων μέσω μια απλής κάμερας, χωρίς να απαιτείται δαπανηρή υλικοτεχνική υποδομή.

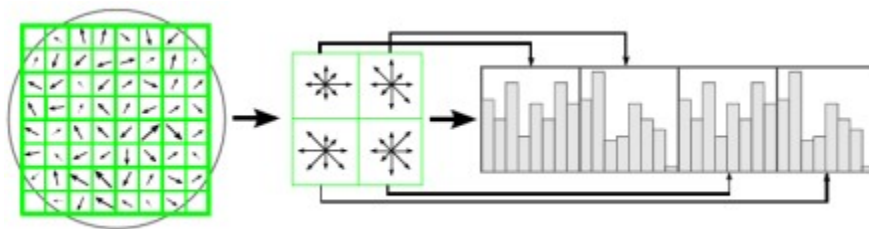
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται Feature Descriptors που ώστε να ξεπεραστούν απρόβλεπτοι παράγοντες κατά την αναγνώριση/παρακολούθηση εικόνας στον πραγματικό κόσμο. Ορισμένα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν και μια AR εφαρμογή πρέπει να έχει την ικανότητα να αντιμετωπίσει είναι ο θόρυβος σε μια εικόνα, οι παραμορφώσεις, η μερικά επικάλυψη, οι αλλαγές φωτισμού κλπ.

Οι πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις του NFT, επιτυγχάνονται με την χρήση των παρακάτω descriptors.

- Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Ο SIFT αποτελεί τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο τεχνητής όρασης εξαγωγής χαρακτηριστικών καθώς εξάγει χαρακτηριστικά από εικόνες με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Έχει, έως τώρα, χρησιμοποιηθεί σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως η αναγνώριση αντικείμενων, πλοήγησης ρομπότ, η αναγνώριση χειρονομιών, κλπ. Ο αλγόριθμος SIFT αποτελείται από τα παρακάτω τέσσερα βήματα (Desai, 2017):

- I. Ανίχνευση χώρου της κλίμακας (scale-space)
- II. Key point localization και filtering
- III. Orientation assignment
- IV. Κατασκευή του descriptor



Εικόνα 16 : SIFT Descriptor

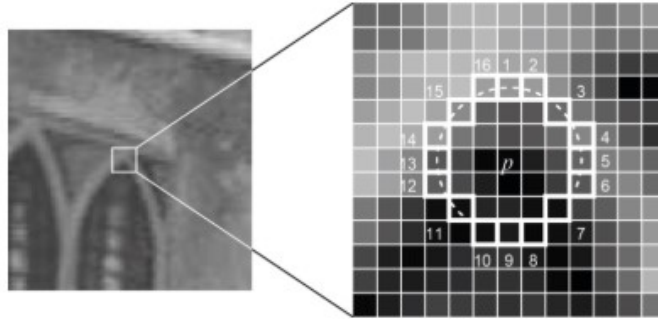
- Speeded-Up Robust Features (SURF)

Ο SURF θεωρείται ένας αξιόπιστος ανιχνευτής τοπικών χαρακτηριστικών ο οποίος αξιοποιείται σε ένα εύρος εργασιών Computer Vision όπως η αναγνώριση αντικειμένων και η ανακατασκευή τριών διαστάσεων. Συγκριτικά με τον αλγόριθμο SIFT είναι αρκετά πιο βελτιωμένος όσον αφορά τη ταχύτητα. Ο αλγόριθμος του βασίζεται στην ίδια αλγοριθμική αρχή με τον SIFT, αλλά αξιοποιεί διαδικασίες που απαιτούν λιγότερους υπολογισμούς, γεγονός που οδηγεί και στη ενίσχυση της ταχύτητας επεξεργασίας. Ως εκ τούτου, επιτυγχάνεται η δυνατότητα εξαγωγής χαρακτηριστικών σε σχεδόν πραγματικό, εάν όχι σε πραγματικό χρόνο. Ο SURF αποτελείται από τα εξής βήματα:

- I. Interest Point Detection: Ταχεία ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος
- II. Local Neighbourhood Description
- III. Matching Process: διαδικασία αντιστοίχισης μέσω ενός γρήγορου αλγόριθμου αντιστοίχισης, χρησιμοποιώντας έναν Laplacian operator.

- Features from Accelerated Segment Test (FAST)

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί έναν corner detector ο οποίος βασίζεται στην φωτεινότητα των εικονοστοιχείων σε μια γειτονιά ακτίνας 16 pixels, γύρω από την υποψήφια γωνία ώστε να επιτευχθεί η ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος. Ο αλγόριθμος αυτός είναι αρκετά αποδοτικός αλλά είναι ευαίσθητος στις μεταβολές κλίμακας των εικόνων.



Εικόνα 17: Ο αλγόριθμος FAST

- Binary Scalable (BRISK)
- BRISK



σημείων σε μια

επιηρεάζεται από μεταβολές στη κλίμακα ούτε εάν περιστραφεί μια εικόνα. Σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους, ο BRISK είναι ταχύτερος κατά την ταυτοποίηση στοιχείων και δεν απαιτεί πολύ μνήμη ταχύτητα ταυτοποίησης του BRISK είναι ταχύτερη και η μνήμη αλλά μπορεί να θεωρηθεί λιγότερο «δυνατός» (Liu Y, 2018).

Robust Invariant Keypoints

αποτελεί έναν αλγόριθμο ανίχνευσης και περιγραφής ενδιαφέροντος εικόνα που δεν

*Εικόνα 18: Keypoints detection με τον αλγόριθμο BRISK*

### **2.1.5 Fiducial Marker Tracking**

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ανίχνευση δεικτών αναφοράς (Fiducial Markers), οι οποίοι τοποθετούνται στο χώρο και μπορούν να ανιχνευτούν εύκολα. Τέτοιου είδους δείκτες είναι ευρέως διαδεδομένοι σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας καθώς μπορούν να αναγνωριστούν και σε πολύ δύσκολες συνθήκες, διασφαλίζοντας έτσι την αποδοτικότητα του συστήματος. Η ανίχνευση βασισμένη στους δείκτες επιτρέπει στην AR εφαρμογή αναγνωρίσει/παρακολουθήσει markers σε πραγματικό χρόνο καθώς και προχωρήσει σε εκτίμηση της ακριβούς θέσης της κάμερας σε σχέση με αυτούς. Με άλλα λόγια, ένας marker δίνει μια ταυτότητα σε ένα αντικείμενο. Το κόστος και ο χρόνος σχεδίασης για την ανάπτυξη των εν λόγω δεικτών αποτελούν ένα ακόμη πλεονέκτημα για τη χρήση τους.

## 3 Πλατφόρμες

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν μερικά από τα πιο διαδεδομένα SDK για την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Ο όρος SDK αποτελεί ένα ακρωνύμιο για το “Software Development Kit”. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου SDKs επαυξημένης πραγματικότητας όπως οι κατηγορίες AR που υποστηρίζουν (Geo-located AR, Marker based AR, Markerless AR και SLAM: ταυτόχρονη τοποθέτηση και χαρτογράφηση), το είδος της άδειας(δωρεάν ή εμπορική), τα περιβάλλοντα ανάπτυξης AR εφαρμογών στα οποία μπορούν να «συνδεθούν» καθώς και τις συσκευές στις οποίες μπορούν να εγκατασταθούν οι AR εφαρμογές που θα αναπτυχθούν.

### 3.1 ARToolkit SDK

Το ARToolkit αρχικά αναπτύχθηκε από τον Dr. Hirokazu Kato το 1999 και υποστηρίζει την ανίχνευση τρισδιάστατων και δισδιάστατων στόχων με ασπρόμαυρα χαρακτηριστικά (Ζαχαρόπουλος, 2017). Αποτελεί τη πρώτη βιβλιοθήκη για τη δημιουργία AR εφαρμογών και είναι μέχρι και σήμερα ένα ιδιαίτερα δημοφιλές SDK για ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας, το οποίο διατίθεται ελεύθερα για μη εμπορική χρήση (GNU General Public License) (Demidova, 2016). Σήμερα το ARToolKit έχει επεκταθεί με την ανάπτυξη βιβλιοθηκών για τη δημιουργία AR εφαρμογών όπως το ARToolKitPro (C / C ++ marker based tracking library παρακολούθησης), FLARToolKit (η έκδοση Flash του ARToolKit), ARToolKit για iOS (θύρα iPhone του ARToolKit Pro). Υποστηρίζει πολλές πλατφόρμες :Android, iOS, Linux, Windows, Mac OS, Smart Glasses και Unity (Thinkmobiles, 2019). Το κάνοντας χρήση Computer Vision αλγορίθμων μπορεί να υπολογίσει τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με ένα αντικείμενο του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο. Υπολογίζει έτσι την οπτική γωνία του χρήστη κατά τη θέαση ενός αντικείμενου ώστε να προσφερθεί επιτυχημένη AR εμπειρία.

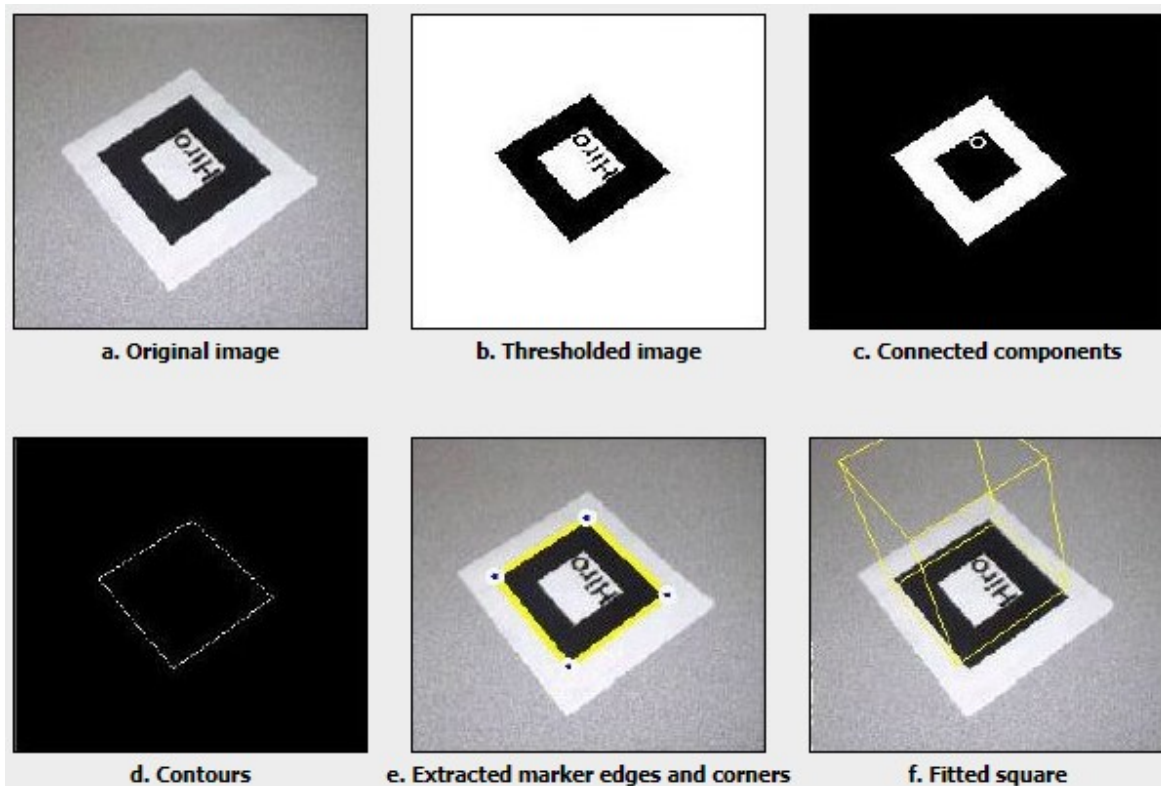
Το ARToolkit SDK υλοποιεί έναν μεγάλο αριθμό λειτουργιών, ιδιαίτερα χρήσιμων για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας όπως η αναγνώριση/ παρακολούθηση δισδιάστατων εικόνων (libKPM (Martinez, 2018)), η αναγνώριση «στόχων» σε βίντεο,

εντοπισμός και παρακολούθηση απλών μαύρων τετραγώνων, αναγνώριση/παρακολούθηση θέσης/προσανατολισμού κάμερας και η προβολή 3D ψηφιακού περιεχομένου σε μια «σκηνή». Καθώς το ARToolKit SDK έχει μια πληθώρα λειτουργιών και δυνατοτήτων, καθίσταται πιο δύσκολη η ενσωμάτωσή του και η χρήση του (Αποστολόπουλος, 2019).

### **3.1.1 ARToolkit Computer Vision Αλγόριθμος**

Το ARToolKit βασίζεται στην μέθοδο ανίχνευσης γωνίας (corner detection approach) σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο εκτίμησης της θέσης της κάμερας. Η μέθοδος ανίχνευσης γωνιών αποτελεί μια computer vision προσέγγιση για την αναγνώριση ορισμένων χαρακτηριστικών μιας εικόνας. Ο αλγόριθμος αναγνώρισης των στόχων (markers) παρουσιάζεται στην εικόνα και αποτελείται από τα εξής βήματα

- a. Αναγνώριση μέσω κάμερας μιας αρχικής εικόνας (ασπρόμαυρος, τετράγωνος marker)
- b. Χρήση ενός threshold για τη μετατροπή της προαναφερθείσας εικόνας σε δυαδική εικόνα.
- c. Ορισμός ομάδων με βάση ενωμένα pixels που προσδιορίζουν διαφορετικές περιοχές στον εκάστοτε στόχο, ώστε να απορριφθούν οι μικρές/μεγάλες ομάδες
- d. Εξαγωγή ενός περιγράμματος του marker.
- e. Εντοπισμός ακμών (edges) και γωνιών corners του marker



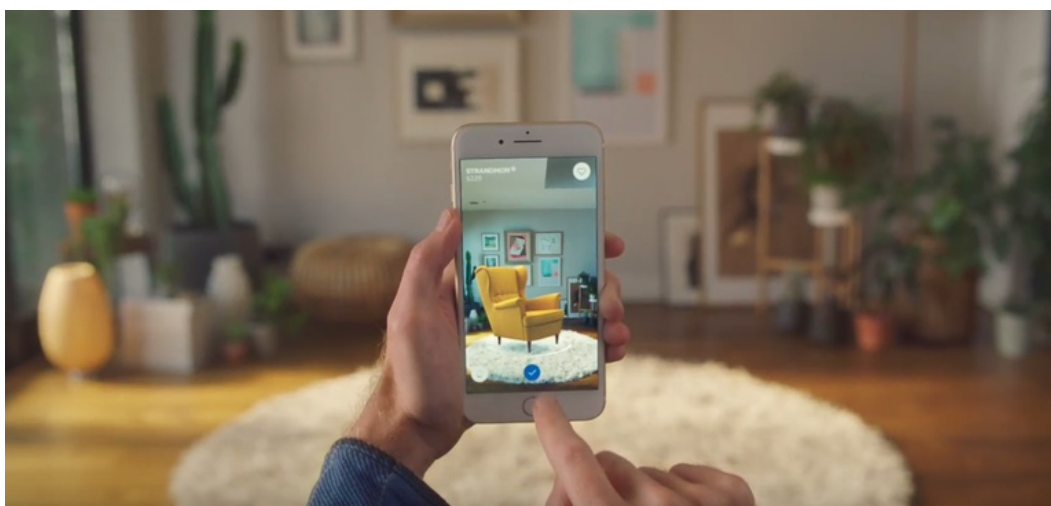
Εικόνα 19: Βήματα του αλγορίθμου που αξιοποιεί το ARToolkit

Μετά τον εντοπισμό των γωνιών του marker που παρουσιάστηκε παραπάνω, «σαρώνεται» το εσωτερικό του, το οποίο περιέχει διαβαθμίσεις του γκρι, με ένα πλέγμα από  $N \times N$  scanlines. Το δiάνυσμα που θα προκύψει θα συγκριθεί με όλα τα αποθηκευμένα διανύσματα που αντιστοιχούν στο κάθε στόχο της εφαρμογής. Βάσει της εν λόγω σύγκρισης προκύπτει μια τιμή (confidence factor) που προσδιορίζει κατά πόσο αναγνωρίστηκε ο στόχος ή όχι.

### 3.2 ARkit SDK

Τον Ιούνιο του 2017 η Apple Inc. Έκανε την είσοδό της στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας κυκλοφορώντας το ARKit SDK για την ανάπτυξη AR εφαρμογών για iPhones και iPads. Η βιβλιοθήκη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη AR εφαρμογών με Swift, Objective-C καθώς και με περιβάλλοντα όπως το Unity. Υποστηρίζει την αναγνώριση δισδιάστατων και τρισδιάστατων αντικειμένων στον χώρο

(I. Permozer and T. Orehovački, 2019). Το ARKit υποστηρίζει την ανίχνευση και παρακολούθηση εικόνων δύο διαστάσεων (πχ. εικόνες, markers, αφίσες), την αναγνώριση του περιβάλλοντος γύρω από το χρήστη, την αναγνώριση τρισδιάστατων αντικειμένων καθώς και την τοποθέτηση εικονικών αντικειμένων σε επιφάνειες. Επίσης με την τεχνολογία People Occlusion μπορεί να τοποθετήσει τα ψηφιακά αντικείμενα πίσω από ανθρώπους καθώς και να ανιχνεύσει/ μοντελοποιήσει ανθρώπινη κίνηση. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα χρήσης του εν λόγω SDK είναι η εφαρμογή Ikea Place, όπου ο χρήστης μπορεί να τοποθετεί εικονικά έπιπλα στον δικό του πραγματικό χώρο.



Εικόνα 20: Ikea Place

### 3.3 ARCore SDK

Το ARCore SDK παρουσιάστηκε το 2017 από την Google και αποτελεί μια πλατφόρμα ανάπτυξης AR εφαρμογών για συσκευές Android. Το ARCore, το οποίο έχει τις ρίζες του το Tango (Matney, 2017), στοχεύει να παρέχει στους developers τα εργαλεία που χρειάζονται για να αναπτύξουν εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας που συνδυάζουν άψογα τον ψηφιακό και τον φυσικό κόσμο. Η πλατφόρμα αυτή, όπως και το ARKit, αξιοποιεί μια 2D έγχρωμη κάμερα για την αναγνώριση του φυσικού κόσμου. Τα περιβάλλοντα ανάπτυξης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη εφαρμογών με το ARCore SDK είναι : Android, Unity, Unreal, iOS (ARCore, 2020). Επιπλέον, οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που αναπτύσσονται με αυτό το



SDK υποστηρίζονται από μια πληθώρα android συσκευών καθώς και από όσες iOS συσκευές είναι συμβατές με εφαρμογές που αναπτύσσονται με το ARKit. Αναλυτικά η λίστα των εν λόγω συμβατών συσκευών παρουσιάζεται εδώ : [ARCore supported devices](#) . Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τους computer vision αλγορίθμους που χρησιμοποιεί το ARCore, παρά μόνο μη τεκμηριωμένες εικασίες.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του ARCore είναι η ανίχνευση και παρακολούθηση προσώπων σε κινούμενες εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, έχει «δανειστεί» αρχιτεκτονικά στοιχεία από το Face API της Google και δύναται να ανιχνεύσει ορόσημα του προσώπου (σημεία ενδιαφέροντος στο πρόσωπο) να τα ταξινομήσει και διαπιστώσει εάν τα μάτια είναι ανοιχτά ή κλειστά καθώς και εάν ένα πρόσωπο χαμογελά



Εικόνα 21: Ανίχνευση περιοχών στο πρόσωπο με ARCore

ή όχι.

### 3.4 EasyAR SDK

Το EasyAR SDK αποτελεί μια ακόμη πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας οι οποία διατίθεται ελεύθερα (Personal Edition), για επαγγελματίες και για επιχειρήσεις (EasyAR, EasyAR SDK, 2020). Η βιβλιοθήκη αυτή παρέχει μια πληθώρα δυνατοτήτων στους developers AR εφαρμογών και υποστηρίζει τις πλατφόρμες Android, iOS, Universal Windows Platform (UWP), Windows, Mac καθώς και τον Unity

Editor. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει το λογισμικό αυτό είναι το SLAM, η αναγνώριση και παρακολούθηση 3D αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, καταγραφή οθόνης, αναγνώριση/ παρακολούθηση δισδιάστατων εικόνων και η αναγνώριση/ παρακολούθηση πολλαπλών στόχων ταυτόχρονα. Επιπλέον, η τελευταία έκδοση, που έχει μετονομαστεί από EasyAR SDK σε EasyAR Sense, υποστηρίζει επιπλέον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Sparse Spatial Map: Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν εφαρμογές που βασίζονται στον πραγματικό χώρο σε πραγματικό χρόνο, όπως εγχειρίδια AR και εφαρμογές πλοήγησης AR.
- Dense Spatial Map: Επιτρέπει την ανάπτυξη διαδραστικών εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Μέσω της «ανοικοδόμησης» του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο, επιτυγχάνονται διαδραστικές συγκρούσεις μεταξύ του εικονικού περιεχομένου και φυσικού κόσμου προσφέροντας μια ρεαλιστική AR εμπειρία.

Άλλα χαρακτηριστικά είναι το Motion Tracking, η δυνατότητα ενσωμάτωση με το ARKit/ARCore ενώ έχουν υπάρξει αρκετές βελτιώσεις στο EasyAR Sense Unity Plugin (EasyAR, EasyAR v4 Release Notes, n.d.).



Εικόνα 22: SpatialMap & Surface Tracking

### 3.5 Vuforia SDK

Το Vuforia software development kit (SDK) σχεδιάστηκε από την Qualcomm για την ανάπτυξη AR εφαρμογών για κινητές συσκευές και αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή SDK για την ανάπτυξη εφαρμογών AR σε μια μεγάλη ποικιλία συσκευών. Αξιοποιεί Computer Vision τεχνολογία για τον εντοπισμό δισδιάστατων εικόνων ή απλών τρισδιάστατων αντικειμένων στο χώρο σε πραγματικό χρόνο. Το εν λόγω SDK επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως plugin στο Unity. Πιο συγκεκριμένα, το Vuforia software development kit (SDK) χρησιμοποιεί τεχνολογία Computer Vision ώστε να ανιχνεύσει «στόχους» οι οποίοι μπορεί να είναι απλές εικόνες ή τρισδιάστατα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. Ο προγραμματιστής αξιοποιώντας το SDK αυτό μπορεί να εντοπίσει τα πραγματικά αντικείμενα και να τοποθετήσει σε σχέση με αυτά εικονικά αντικείμενα και μοντέλα 3D, τα οποία είναι ορατά μέσω της κάμερας μιας κινητής συσκευής (marker – based AR) (Ritvik & Vanitha, 2019). Επιπλέον, το Vuforia υποστηρίζει και markerless AR.

Καθώς το Vuforia SDK δεν είναι ανοιχτού κώδικα, δεν υπάρχει σαφής γνώση των αλγορίθμων που χρησιμοποιεί για να εντοπίσει τους «στόχους». Ο αλγόριθμος που κατά κύριο λόγο όμως χρησιμοποιεί για την αναγνώριση των στόχων, είτε δισδιάστατους είτε τρισδιάστατους είναι κάποια παραλλαγή του natural feature tracking (Ζαχαρόπουλος, 2017) (Ivar, 2017). Το natural feature tracking αποτελεί μια ιδανική μέθοδο για AR εφαρμογές καθώς δεν απαιτείται τίποτα περισσότερο παρά μια μόνο κάμερα, η οποία λαμβάνει την οπτική πληροφορία με τρόπο που μπορεί να παρομοιαστεί με αυτόν που ένας άνθρωπος αντιλαμβάνεται το φυσικό περιβάλλον. Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου όπως αιχμηρά στοιχεία, σημεία με έντονες χρωματικές αντιθέσεις κλπ (Vuforia, n.d.). Αυτή η τεχνική εντοπισμού αντικειμένων επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας χωρίς να απαιτείται η χρήση υλικοτεχνικής υποδομής όπως εξοπλισμός RFID, Wifi κεραιές κλπ. Το Vuforia SDK στη διεθνή βιβλιογραφία αξιοποιείται τα τελευταία χρόνια για την ανάπτυξη AR εφαρμογών

μέσω Unity σε πληθώρα αντικειμένων όπως η εκπαίδευση, σε παιχνίδια, σε τουριστικές εφαρμογές (Baloch, 2018) (G. Wu, 2019) (Waruwu, 2015). Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες βασικές δυνατότητες του Vuforia SDK που χρησιμοποιούνται ευρέως για ανάπτυξη AR εφαρμογών για κινητές συσκευές καθώς και ορισμένοι περιορισμοί – χαρακτηριστικά τους .

- **Αναγνώριση Εικόνας:** Η αναγνώριση εικόνας επιτυγχάνεται με τον Target Manager, που θεωρητικά μπορεί να εντοπίσει μια οποιαδήποτε εικόνα «στόχο». Ο όρος «στόχο» αναφέρεται σε ένα μοτίβο χαρακτηριστικών που προκαθορίζεται από τον προγραμματιστή ή τον χρήστη. Για να εντοπίσει το Vuforia μια δισδιάστατη εικόνα ή ένα τρισδιάστατο αντικείμενο θα πρέπει να γνωρίζει ποια μοτίβα να αναζητήσει (marker - based). Ένας καλός «στόχος» για το Vuforia αποτελείται από πολλά στοιχεία που είναι διατεταγμένα με ιδιαίτερο και μοναδικό τρόπο. Ο image tracker του Vuforia μπορεί να αποτύχει να εντοπίσει στόχους που δεν έχουν πολλές άκρες (edges), πολλές λεπτομέρειες και περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενα σχέδια και μοτίβα (Ritvik & Vanitha, 2019). Για παράδειγμα ένας κύκλος δεν αποτελεί καλό «στόχο» για το Vuforia. Ένας ακόμη περιορισμός του Vuforia SDK είναι ότι μπορεί να εντοπίσει ταυτόχρονα μέχρι πέντε «στόχους».
- **Αναγνώριση Αντικειμένων:** Το Vuforia SDK επιτρέπει την αναγνώριση τρισδιάστατων αντικειμένων. Όταν ο «στόχος» είναι ένα 3D αντικείμενο, πρέπει ο χρήστης να μπορεί να βλέπει την ψηφιακή πληροφορία να προβάλλεται στο πραγματικό αντικείμενο από όποια οπτική γωνία και αν το κοιτάζει. Πριν προκύψει όμως η «επαύξηση» σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο αυτό πρέπει να σαρωθεί. Το Vuforia επιτρέπει 20 3D αντικείμενα στη βάση δεδομένων μιας συσκευής.
- **Αναγνώριση Κειμένου:** Η αναγνώριση κειμένου στοχεύει στον “ανάγνωση” λέξεων μέσω κάμερας και στην αντιστοίχισή τους με τη σωστή λέξη από ένα λεξικό. Η αναγνώριση κειμένου του Vuforia ανιχνεύει 100.000 αγγλικές λέξεις στις πιο συνηθισμένες γραμματοσειρές serif και sans serif ενώ ο αριθμός αυτός μπορεί να επεκταθεί με την χρήση επιπλέον λιστών λέξεων ώστε να υποστηρίζονται επιπλέον

10.000 λέξεις. Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί ότι δεν υποστηρίζεται η αναγνώριση χειρόγραφου κειμένου από αυτό χαρακτηριστικό.

- **Video Playback:** Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Vuforia είναι η δυνατότητα δημιουργίας επαυξημένης πραγματικότητας με βίντεο. Το εν λόγω βίντεο μπορεί να αναπαραχθεί σε πλήρη οθόνη ή σε ένα texture, το οποίο όμως υποστηρίζεται από Android 4.0+ . Επιπλέον είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αναπαραγωγή βίντεο εφαρμόζεται σε στόχους δισδιάστατης εικόνας.

### **3.5.1 Παράμετροι αξιολόγησης απόδοσης vuforia**

Το Vuforia, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για την ανάπτυξη εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας. Για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αξιολογηθούν οι δυνατότητες που προσφέρει. Μια προσπάθεια να επιτευχθεί αυτή η αξιολόγηση γίνεται στο άρθρο (Ivar, 2017), όπου ο συγγραφέας προσπαθεί να αξιολογήσει Vuforia με βάση το frame rate καθώς και τη μπαταρία που καταναλώνει. Η παρούσα έρευνα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα καθώς εστιάζει μόνο σε εφαρμογές που δημιουργήθηκαν με το Unity3D για Android συσκευές. Ακόμη, σε μια πληθώρα άρθρων μπορούν να εντοπιστούν παρατηρήσεις σχετικά με την αποδοτικότητα του εν λόγω SDK []. Στην υπο-ενότητα αυτή παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στοιχεία που αφορούν την αποδοτικότητα του Vuforia SDK σε βασικά χαρακτηριστικά του και με βάση διαφορετικά κριτήρια.

Αρχικά, είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητές ορισμένες παράμετροι με τις οποίες θα αξιολογηθεί η απόδοση του Vuforia SDK.

**Frame Rate:** Το frame rate σχετίζεται άμεσα με την εμπειρία του χρήστη, που μπορεί να θεωρηθεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά σε μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας. Το frame rate αφορά την ταχύτητα με την οποία μια συσκευή εναλλάσσει τα frames στην οθόνη. Για παράδειγμα ένα frame rate των 20 Hz σημαίνει ότι 20 frames “παράγονται” κάθε δευτερόλεπτο. Εάν το frame rate είναι πολύ χαμηλό τότε η ψευδαίσθηση ενός εικονικού αντικειμένου «χαλαεί». Σύμφωνα με μελέτες, το frame rate

πρέπει να διατηρείται πάνω από 20 Hz για να θεωρείται «επιτυχημένη» η αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα εικονικό στοιχείο που προβάλλεται σε μια εφαρμογή AR.

**Κατανάλωση Ενέργειας :** Το ποσοστό της μπαταρίας που καταναλώνεται κατά τη χρήση μια εφαρμογής σε μια κινητή συσκευή είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Στις σύγχρονες κινητές συσκευές όπου η μπαταρία αποφορτίζεται με ταχύτατους ρυθμούς καθώς ο αριθμός των εφαρμογών, των λειτουργιών και των δυνατοτήτων των συσκευών αυτών αυξάνεται, οι επιδόσεις του Vuforia όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

**Ταχύτητα :** Πόσο γρήγορα αναγνωρίζεται ο στόχος και τι επηρεάζει την ταχύτητα αυτή.

**Γωνία προβολής:** Η γωνία από την οποία η κάμερα της συσκευής δύναται να αναγνωρίσει τους στόχους.

Με βάση τα παραπάνω, είναι σαφές ότι είναι βασικό να προσφέρεται υψηλό frame rate ενώ ταυτόχρονα η κατανάλωση μπαταρίας να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα σε μια εφαρμογή Augmented Reality για κινητές συσκευές. Επιπλέον, ο χρόνος αναγνώρισης των στόχων μπορεί να μεταβάλει αισθητά την εμπειρία χρήστη ενώ η αδυναμία εντοπισμού των στόχων, ενώ αυτοί είναι ορατοί με το ανθρώπινο μάτι μέσω τις κάμερας, μπορεί επίσης να «διαταράξει» την εμπειρία της επαυξημένης πραγματικότητας. Για το λόγο αυτό η αξιολόγηση του Vuforia SDK αναφορικά με τα προαναφερθέντα στοιχεία κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική.

### **3.5.2 Απόδοση βάσει των κριτηρίων**

**Αναγνώριση εικόνας :** Όπως προαναφέρθηκε, το Vuforia SDK μπορεί να εντοπίσει ταυτόχρονα από έναν έως και πέντε στόχους. Τα εμπειρικά αποτελέσματα έδειξαν ότι κάθε φορά που προστίθεται ένας στόχος το frame rate μειώνεται κατά λίγα Hz. Μάλιστα, κατά τον εντοπισμό και των πέντε στόχων ταυτόχρονα το frame rate έχει πέσει κάτω από 20 Hz. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το User Experience (UX) να μην το αναμενόμενο. Ενώ όμως το frame rate πέφτει σε σημείο που πιθανώς επηρεαστεί η εμπειρία χρήστη

αρνητικά καθώς προστίθενται στόχοι, η κατανάλωση ισχύος αυξάνεται ελαφρά. Η απόδοση στον τομέα αυτό, με άλλα λόγια παραμένει ικανοποιητική.

**Αναγνώριση Αντικειμένων:** Το πείραμα της αναγνώρισης αντικειμένων περιλάμβανε τον εντοπισμό έως δύο στόχων ταυτόχρονα. Και εδώ η προσθήκη ενός επιπλέον στόχου έριξε το frame rate αλλά όχι κάτω από τα 20Hz. Ακόμη, η κατανάλωση μπαταρίας αυξήθηκε ελαφρά, χωρίς αυτό να αποτελεί ιδιαίτερο μειονέκτημα.

**Αναγνώριση Κειμένου:** Στην αναγνώριση κειμένου η πτώση του frame rate καθώς αυξάνεται ο αριθμός των λέξεων που καλείται να εντοπίσει το Vuforia SDK είναι ιδιαίτερα αισθητή. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν καθώς μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση μιας Augmented Reality εφαρμογής. Η κατανάλωση μπαταρίας, από την άλλη πλευρά δεν αυξάνεται αρκετά ώστε να αποτελεί μειονέκτημα. Ακόμη, ένα μικρό πρόβλημα αποδοτικότητας παρατηρείται όταν αυξάνονται οι λέξεις που πρέπει να εντοπιστούν καθώς ένα μικρό ποσοστό από αυτές αναγνωρίζονται μετά από κάποια δευτερόλεπτα. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αναγνωστούν λέξεις που δεν υφίσταντο ή να αναγνωριστεί μόνο το ένα σκέλος μιας σύνθετης λέξης.

**Video Playback:** Σχετικά με την αναπαραγωγή βίντεο, το frame rate όταν αναπαράγεται ένα μόνο βίντεο είναι αρκετά ικανοποιητικό και δύναται να προσφέρει μια πολύ καλή εμπειρία χρήστη. Όσο όμως ο αριθμός των βίντεο που αναπαράγονται ταυτόχρονα ανεβαίνει, το frame rate μειώνεται αισθητά. Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι σε ορισμένες android κινητές συσκευές ένας περιορισμένος αριθμός από βίντεο μπορεί εν τέλει να αναπαραχθεί ταυτόχρονα. Η κατανάλωση μπαταρίας, από την άλλη πλευρά δεν έχει σημαντική αύξηση καθώς προστίθενται βίντεο.

Η απόδοση του Vuforia SDK μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω γίνεται σαφές ότι σε γενικές γραμμές τόσο το frame rate όσο και η κατανάλωση μπαταρίας είναι σε αποδεκτά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το frame rate προβλήματα μπορεί να προκύψουν όταν αυξάνονται οι «στόχοι» που καλείται να εντοπίσει μια εφαρμογή. Επίσης, πρέπει να δοθεί

---

ιδιαίτερη προσοχή στο πόσο περίπλοκη είναι η ψηφιακή πληροφορία που προβάλλεται μέσω της εφαρμογής. Τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν από σχετικά απλή ψηφιακή πληροφορία. Για το λόγο αυτό κρίνεται προτιμότερο κατά την ανάπτυξη AR εφαρμογών για smartphones όπου τα γραφικά είναι πολύπλοκα να μην απαιτείται ο εντοπισμός πολλών στόχων ταυτόχρονα. Ακόμη, σε περίπτωση όπου ο χρήστης μπορεί να αυξήσει την γωνία της κάμερας μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα τόσο στην αναγνώριση των στόχων όσο και στην ταχύτητα που αυτό θα γίνει.

Επιπλέον, η απόδοση του χαρακτηριστικού αναπαραγωγής βίντεο που προσφέρεται από το Vuforia SDK εξαρτάται από την κινητή συσκευή στην οποία εκτελείται η εφαρμογή. Ορισμένες συσκευές μπορεί να μην μπορούν να παίξουν ταυτόχρονα πολλά βίντεο, κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψιν όταν χρησιμοποιείται το χαρακτηριστικό αυτό.

Όσον αφορά την μπαταρία που απαιτείται για την εκτέλεση AR εφαρμογών σε κινητές συσκευές με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι σε γενικές γραμμές αποδεκτή. Άλλωστε, δεν παρατηρείται συχνά η ανάγκη για εκτεταμένη χρήση AR εφαρμογών σε smartphones.

### **3.6 Wikitude AR SDK**

Το Wikitude ήταν πρώτο ανοιχτό SDK που προσέφερε location – based AR εφαρμογές και κατέκτησε έναν μεγάλο αριθμό βραβείων, όπως το Android Developers Challenge το 2008 (Rautenbach, 2016). Ακόμα και σήμερα συγκαταλέγεται στις SDK που προσφέρουν ένα πλήθος δυνατοτήτων για την ανάπτυξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας. Το SDK του Wikitude λειτουργεί σε έναν μεγάλο αριθμό από πλατφόρμες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη εφαρμογών AR για Windows, iOS, Android καθώς και για ορισμένα smart glasses. Ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά που παρέχει στους προγραμματιστές είναι :

- αναγνώριση εικόνας(marker-based AR): υποστηρίζεται η αναγνώριση και ο εντοπισμός μίας και περισσότερων εικόνων



- εντοπισμός 3D αντικειμένων (marker-based AR) : η μέθοδος για τον εντοπισμό τρισδιάστατων αντικειμένων περιλαμβάνει την φωτογράφιση ενός αντικειμένου, την αποθήκευση των εν λόγω φωτογραφιών στο Wikitude Studio από όπου μπορούν να ενσωματωθούν στην AR εφαρμογή.
- Αναγνώριση χώρου: αποτελεί μια εξέλιξη της τεχνολογίας εντοπισμού αντικειμένων καθώς υποστηρίζει την αναγνώριση και την «παρακολούθηση» χώρων, κτιρίων, τοπίων, βιομηχανικών χώρων, πολύπλοκων μηχανημάτων και αντικειμένων μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, χρησιμοποιεί τεχνολογία GPS για εντοπίζει τον χρήστη με μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Instant tracking : επιτρέπει στις εφαρμογές AR να προβάλουν ψηφιακό περιεχόμενο σε φυσικές επιφάνειες χωρίς να εντοπιστεί κάποιος «στόχος». Με άλλα λόγια υποστηρίζεται το markerless AR. Αυτό το χαρακτηριστικό του Wikitude (Wikitude Slam : simultaneous localization and mapping) μπορεί να συνδεθεί δυναμικά με το ARKit και το ARCore (Wikitude SMART) (Wikitude, n.d.).

### **3.7 DroidAR SDK**

Το DroidAR, το οποίο αναπτύχθηκε το 2010, αποτελεί ένα SDK ανοιχτού κώδικα (open source) για ανάπτυξη AR εφαρμογών για Android συσκευές μόνο. Το framework αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας οι οποίες μπορεί να είναι τόσο location-based, δηλαδή να βασίζονται στην τοποθεσία του χρήστη, ή marker-based, δηλαδή να βασίζονται στον εντοπισμό μέσω κάμερας ενός «στόχου» στον πραγματικό κόσμο, ώστε να δημιουργήσουν ένα ψηφιακό στοιχείο και να επιτρέψουν την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό μέσω μιας mobile εφαρμογής . Επιπλέον επιτρέπει την αναγνώριση χειρονομιών,

### **3.8 Σύνοψη**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκαν αρκετές πλατφόρμες που, εκτός από το DroidAR SDK, αποτελούν μερικές από τις πιο δημοφιλείς πλατφόρμες αυτή τη χρονική στιγμή. Υπάρχουν αρκετές ακόμη πλατφόρμες για ανάπτυξη AR εφαρμογών για κινητές συσκευές που θα μπορούσαν να παρουσιαστούν, το οποίο όμως δεν γίνεται λόγω

---

χρονικού περιορισμού. Ενδεικτικά, αναφέρονται ορισμένες από αυτές όπως το Maxst το οποίο επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο Unity, το DeepAR, το lumen, Layar SDK κ.α.

Το "καλύτερο" εργαλείο ανάπτυξης AR διαφέρει ανάλογα με την περίπτωση. Βασικά χαρακτηριστικά που μπορούν να προσδιορίσουν την καλύτερη επιλογή είναι οι απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής όσον αφορά την πλατφόρμα στην οποία θα τρέχει, το περιβάλλον με το οποίο θα αναπτυχθεί, τον διαθέσιμο προϋπολογισμό για την ανάπτυξη της και κυρίως τι είδους εφαρμογή AR θα είναι. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο Πίνακας 1 που στοχεύει στην κατηγοριοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι πλατφόρμες που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Πίνακας 1: Συγκριτική μελέτη των SDK που παρουσιάστηκαν για την υλοποίηση AR εφαρμογών για κινητές συσκευές.

Πλατφόρμα	2D Tracking	3D Object Tracking	SLAM: Simultaneous Localization and Mapping	Open Source	Υποστηριζόμενα Περιβάλλοντα	Κόστος
ARToolkit	✓	✗	✗	✓	Android, iOS, Linux, Windows, Mac OS, Smart Glasses, Unity	Free
ARKit	✓	✓	✓	✗	iOS, Unity, Unreal Engine,	Free
ARCore	✓	Δεν	✓	✗	Android, Unity,	Free

		είναι σαφές <sup>2</sup>			Unreal, iOS
EasyAR	✓	✓	✓	✗	Android, iOS, Free, Windows, Mac Commercial OS, Unity
Wikitude	✓	✓	✓	✗	Android, iOS, Commercial Windows, Smart Glasses, Unity
Vuforia	✓	✓	✓	✗	Android, iOS, Free, Windows, UWP, Commercial Unity

<sup>2</sup> Ορισμένοι συγγραφείς σε ιστοσελίδες υποστηρίζουν ότι εντοπίζονται 3D αντικείμενα με το Arcore, ενώ άλλοι πως όχι. Στο documentation του Arcore δεν παρουσιάζεται κάπου το 3D Object recognition.

## 4 Bibliography

- AnyMotion. (n.d.). *AnyMotion*. Ανάκτηση από What are augmented reality markers ?:  
<https://anymotion.com/en/wissensgrundlagen/augmented-reality-marker>
- ARCore. (2020). Ανάκτηση από <https://developers.google.com/ar>
- Baloch, S. &. (2018). Augmented Reality, a Tool to Enhance Conceptual Understanding for Engineering Students.
- Cheng, J. &. (2017). Comparison of marker-based AR and markerless AR: A case study on indoor decoration system.
- Delianidi, M. &. (2016). A Mobile Augmented Reality (mAR) Blended Learning Application for Primary School Pupils.
- Demidova, L. (2016). Augmented Reality and ARToolkit for Android: the First Steps. *SHS Web of Conferences*.
- Desai, A. (2017). Feature Extraction in Augmented Reality.
- EasyAR. (2020). *EasyAR SDK*. Ανάκτηση από <https://www.easyar.com/view/sdk.html>
- EasyAR. (n.d.). *EasyAR v4 Release Notes*. Ανάκτηση από <https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/v4/ReleaseNotes/EasyAR-Release-Notes-4.0.0.html>
- G. Wu, M. Q. (2019). Research and Development of Augmented Reality Children's Puzzle Game Based on Vuforia. *14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, (σσ. 354-359). Toronto, ON, Canada.
- I. Permozer and T. Orehovački. (2019). Utilizing Apple's ARKit 2.0 for Augmented Reality Application Development. *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. Croatia: IEEE.
-

Ivar, G. (2017). "The Vuforia SDK and Unity3D Game Engine: Evaluating Performance on Android Devices." (2017).

Liu Y, Z. H. (2018, November 13). A FAST-BRISK Feature Detector with Depth Information. Basel: Sensors .

Martinez, E. M. (2018). *Read me for ARToolkit*. Ανάκτηση από <https://gitlab.scss.tcd.ie/>: <https://gitlab.scss.tcd.ie/safernan/AR-Project/blob/8e8c0c528f27adab43eb5f4c1243e2e7c54868fd/ARToolkit5/README.txt>

Mathworks. (n.d.). *Mathworks*. Ανάκτηση από [https://www.mathworks.com:https://www.mathworks.com/help/vision/ug/local-feature-detection-and-extraction.html?s\\_tid=answers\\_rc2-1\\_p4\\_BOTH](https://www.mathworks.com:https://www.mathworks.com/help/vision/ug/local-feature-detection-and-extraction.html?s_tid=answers_rc2-1_p4_BOTH)

MathWorks. (n.d.). *MathWorks*. Ανάκτηση από Edge detection methods for finding object boundaries in images: <https://www.mathworks.com/discovery/edge-detection.html>

Matney, L. (2017, December 16). Ανάκτηση από Google kills its Tango augmented reality platform, shifting focus to ARCore: [https://techcrunch.com/2017/12/15/google-kills-its-tango-augmented-reality-platform-shifting-focus-to-arcore/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAGnOjUwuwVIMJdp4hQ-dmgnLdUFfh5YeJN39wldlMZpb9NCb1eNmTjTQ-YQlhsv](https://techcrunch.com/2017/12/15/google-kills-its-tango-augmented-reality-platform-shifting-focus-to-arcore/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAGnOjUwuwVIMJdp4hQ-dmgnLdUFfh5YeJN39wldlMZpb9NCb1eNmTjTQ-YQlhsv)

Rautenbach, V. C. (2016). Results of an evaluation of augmented reality mobile development frameworks for addresses in augmented reality. .

Ritvik, K., & Vanitha, M. (2019). Augmented Reality Based IOT Controller. *2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (VITECoN)* (σσ. 1-5). Vellore, India: IEEE.

---

- Sciforce. (n.d.). *What is inside of Augmented Reality?* Ανάκτηση από [https://medium.com/: https://medium.com/sciforce/what-is-inside-of-augmented-reality-96ef03b37ada](https://medium.com/:https://medium.com/sciforce/what-is-inside-of-augmented-reality-96ef03b37ada)
- Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker based augmented reality.
- Thinkmobiles. (2019). *Thinkmobiles* . Ανάκτηση από [https://thinkmobiles.com: https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/](https://thinkmobiles.com:https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/)
- Vuforia, L. (n.d.). <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html>.
- Waruwu, A. &. (2015). Augmented Reality Mobile Application of Balinese Hindu Temples: DewataAR. *International Journal of Computer Network and Information Security*, σσ. 59-66.
- Wikitude. (n.d.). *Wikitude instant trackong*. Ανάκτηση από <https://www.wikitude.com/augmented-reality-instant-tracking/>.
- Αποστολόπουλος, Δ. (2019). Υλοποίησης Εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας σε Κινητές Συσκευές. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής.
- Ζαχαρόπουλος, Χ. (2017). *Σύνθεση Προσωποποιημένης Σκηνής Επαυξημένης Πραγματικότητας*. Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.
- Νερούτσος, Π. (2012). Ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής χαρακτηριστικών δονήσεων με χρήση αδρανειακών αισθητήρων. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
- Τζιώνας, Δ. (2009, 11 9). Ευέλικτοι αλγόριθμοι ανίχνευσης markers σε εικόνα: Εφαρμογή στην Επαυξημένη Πραγματικότητα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
-

Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
(Τομέας Τηλεπικοινωνιών).

ΧΡΗΣΤΟΣ, Σ. (2018). Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας Μέσω Αναγνώρισης  
Κειμένου. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.