



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μέτρηση Απόστασης με Αισθητήρα Εικόνας»

Φοιτητής

ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
513134

Επιβλέπων

Δρ. Κυριάκος Τσιακμάκης

Ιούνιος 2023

Μέτρηση Απόστασης με Αισθητήρα Εικόνας

Κωδικός: 22317

Φοιτητής: Νικολαΐδης Χρήστος - Δημήτρης

Εισηγητής: Δρ Κυριάκος Τσιακμάκης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 30-10-2022

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 26-05-2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Νικολαΐδη Χρήστου - Δημήτριου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Περίληψη

Η εργασία αυτή αφορά την μέτρηση 2D απόστασης με χρήση επεξεργασίας εικόνας που λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο μέσω κάμερας. Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε είναι του esp32-cam και είναι χαμηλού κόστους, χαμηλής ανάλυσης και ταχύτητας. Ένας από τους κύριους στόχους της εργασίας είναι να μελετήσουμε και αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αναπτυξιακού και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα από τη μέτρηση απόστασης σε δισδιάστατο χώρο. Επίσης, η επιτυχία της μέτρησης της απόστασης από έναν μικροελεγκτή οδηγεί στην υλοποίηση πραγματικού χρόνου συστήματα μέτρησης χαρακτηριστικών κίνησης, όπως είναι ένας ρομποτικός βραχίονας ή ένας ενεργοποιητής-actuator. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο μικροελεγκτής μπορεί να λάβει μια εικόνα, να την επεξεργαστεί και στο τέλος να προβάλλει την μετρούμενη απόσταση με ικανοποιητική ακρίβεια αλλά με μεγάλο σφάλμα. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση ενός κινούμενου αντικειμένου και να μετρήσει τη σχετική μετακίνηση του αλλά με πολύ μικρή ταχύτητα λόγω χαμηλού frame rate της κάμερας.

« Distance Measurement with Image Sensor »

Abstract

This work concerns the 2D distance measurement using real-time camera image processing. The camera used is esp32-cam and is low cost, low resolution and speed. One of the main objectives of the work is to study and analyze the characteristics of the specific development and to analyze the results from the distance measurement in two-dimensional space. Also, the success of distance measurement by a microcontroller leads to the implementation of real-time motion characteristic measurement systems, such as a robotic arm or an actuator. The results showed that the microcontroller can receive an image, process it, and finally display the measured distance with satisfactory accuracy but with a large error. Also, it can be used to measure a moving object and measure its relative movement but at a very low frame rate ratio of the camera.

Ευχαριστίες

Να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τον επιβλέποντα κ. Τσιακμάκη για την πολύτιμη καθοδήγηση του.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract.....	v
Ευχαριστίες.....	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Δομή της εργασίας	3
Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα Μέτρησης Απόστασης.....	4
2.1 Μέτρηση Μεγάλων Αποστάσεων.....	4
2.2 Συστήματα Μέτρησης μικροαποστάσεων	6
2.3 Συστήματα Μέτρησης μικροαποστάσεων με κάμερα.....	8
Κεφάλαιο 3ο: Λογισμικό και Υλικό	10
3.1 Esp32.....	10
3.2 Esp32-CAM	16
3.2.1 Εγκατάσταση του	18
3.3 C για το esp32	20
Κεφάλαιο 4ο: Αλγόριθμοι και τεχνικές επεξεργασίας εικόνας.....	22
4.1 Είδη Καμερών	22
4.2 Τρόποι Βαθμονόμησης Κάμερας.....	25
4.3 Είδη βίντεο	27
4.4 Είδη Εικόνας	28
4.5 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών	29
4.6 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Σημείων ενδιαφέροντος.....	31
4.6.1 Αλγόριθμοι μέτρησης απόστασης	31
4.6.2 Αλγόριθμοι ανίχνευσης γωνιών.....	33
4.7 OpenCV	34
Κεφάλαιο 5ο: Το σύστημα μέτρησης μικρο απόστασης.....	37
5.1 Βαθμονόμηση Κάμερας	37

5.2 Αντιστοίχιση pixel σε mm.....	41
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις για βελτίωση	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	47
Α.1. Κώδικας Βαθμονόμησης	47
Α.2. Κώδικας Μέτρησης	49
Α.3. Κώδικας esp32-cam για λήψη frame by frame	52
Α.4. Κώδικας για ανίχνευση ακμών και μέτρηση απόστασης	55

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 3.1: Το esp32 με τους ακροδέκτες του	11
Εικόνα 3.2: Μπλοκ διάγραμμα για το esp32.....	13
Εικόνα 3.3: Το esp32-cam	16
Εικόνα 3.4: Οι ακροδέκτες του esp32-cam	17
Εικόνα 3.5: Σύνδεση του esp32-cam με το ftdi	19
Εικόνα 5.1: Σκακιέρα σε διάφορες στάσεις	38
Εικόνα 5.2: Αποτέλεσμα της βαθμονόμησης στη σκακιέρα	39
Εικόνα 5.3: Έτοιμος Ruler για οδηγός	42
Εικόνα 5.4: Εικόνες με αντικείμενο μέτρησης – έγχρωμη και greyscale.....	42
Εικόνα 5.5: Εικόνα με αντικείμενο μέτρησης για αντιστοίχιση pixels σε mm	43
Εικόνα 5.6: Εικόνα ανίχνευσης ακμών με Canny detector.....	43

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες κάμερας χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς, που κυμαίνονται από τη φωτογραφία έως τις εφαρμογές όρασης υπολογιστή. Έχουν εξελιχθεί για να γίνουν κάτι περισσότερο από συσκευές λήψης εικόνων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση μικροαποστάσεων και την εξαγωγή παραμέτρων κίνησης με ακρίβεια. Σε αυτήν την εργασία, θα διερευνήσουμε τις αρχές και τις τεχνικές πίσω από τη χρήση αισθητήρων κάμερας για τη μέτρηση μικροαποστάσεων και παραμέτρων κίνησης.

Ο αισθητήρας κάμερας είναι μια συσκευή που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία για να σχηματίσουν μια εικόνα. Αποτελείται από μια σειρά pixel, καθένα ικανό να ανιχνεύει την ένταση του φωτός. Η ανάλυση του αισθητήρα της κάμερας καθορίζει τον αριθμό των pixel που είναι διαθέσιμα για τη λήψη μιας εικόνας και οι υψηλότερες αναλύσεις επιτρέπουν τη λήψη λεπτότερων λεπτομερειών.

Μέγεθος και Απόσταση εικονοστοιχείων

Το μέγεθος pixel ενός αισθητήρα κάμερας παίζει καθοριστικό ρόλο στην ακριβή μέτρηση μικροαποστάσεων. Τα μικρότερα pixel επιτρέπουν υψηλότερη χωρική ανάλυση, επιτρέποντας τον εντοπισμό μικρότερων λεπτομερειών. Για τη μέτρηση μικροαποστάσεων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το μέγεθος του αντικειμένου ενδιαφέροντος σε σχέση με το μέγεθος των εικονοστοιχείων. Συγκρίνοντας την αλλαγή στη θέση του αντικειμένου σε πολλαπλά καρέ, η κάμερα μπορεί να συμπεράνει την απόσταση που διανύθηκε.

Η ακριβής μέτρηση των μικροαποστάσεων απαιτεί βαθμονόμηση. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας σχέσης μεταξύ της απόστασης που διανύει ένα αντικείμενο και της αντίστοιχης αλλαγής θέσης στον αισθητήρα της κάμερας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση αντικειμένων γνωστών διαστάσεων μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας και τη λήψη των εικόνων τους. Με την ανάλυση των λαμβανόμενων εικόνων, μπορεί να προσδιοριστεί ένας παράγοντας βαθμονόμησης, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις μικροαποστάσεων.

Η οπτική ροή είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κίνησης των αντικειμένων σε μια ακολουθία εικόνων που καταγράφονται από μια κάμερα. Αναλύοντας τις αλλαγές της έντασης των εικονοστοιχείων μεταξύ διαδοχικών καρέ, μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση και το μέγεθος της κίνησης του αντικειμένου. Με το συνδυασμό της μετρούμενης απόστασης και του χρόνου, μπορεί να εξαχθεί η ταχύτητα και η ταχύτητα ενός αντικειμένου. Η απόσταση που διανύει ένα αντικείμενο μπορεί να ληφθεί αναλύοντας τη μετατόπιση της θέσης του σε πολλαπλά πλαίσια. Το χρονικό διάστημα

μεταξύ των καρέ μπορεί να καθοριστεί με βάση τον ρυθμό καρέ της κάμερας. Η διαίρεση της απόστασης με το χρόνο παρέχει την ταχύτητα του αντικειμένου, ενώ λαμβάνοντας υπόψη την κατεύθυνση προκύπτει η ταχύτητά του. Η επιτάχυνση μπορεί να υπολογιστεί εξετάζοντας τη μεταβολή της ταχύτητας ενός αντικειμένου με την πάροδο του χρόνου. Μετρώντας τη μετατόπιση και το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών πλαισίων, μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα σε κάθε πλαίσιο. Η διαφορά στην ταχύτητα μεταξύ των πλαισίων διαιρούμενη με το χρονικό διάστημα αποδίδει την επιτάχυνση του αντικειμένου.

Οι αισθητήρες της κάμερας ενδέχεται να εισάγουν θόρυβο και παραμόρφωση στις ληφθείσες εικόνες, επηρεάζοντας την ακρίβεια των μετρήσεων. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη αυτοί οι παράγοντες κατά τα στάδια βαθμονόμησης και επεξεργασίας εικόνας. Τεχνικές όπως φίλτρα μείωσης θορύβου και αλγόριθμοι διόρθωσης παραμόρφωσης φακού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον μετριασμό αυτών των προβλημάτων.

Οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι σκιές, οι αντανακλάσεις ή ο ανομοιόμορφος φωτισμός μπορεί να δημιουργήσουν σφάλματα στην εκτίμηση των παραμέτρων απόστασης και κίνησης. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές ρύθμισης και κανονικοποίησης φωτισμού για την ελαχιστοποίηση αυτών των επιπτώσεων.

Η σταθερότητα της κάμερας είναι ζωτικής σημασίας για ακριβείς μετρήσεις. Οποιαδήποτε κίνηση ή δόνηση της κάμερας κατά τη λήψη εικόνας μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στους υπολογισμούς παραμέτρων απόστασης και κίνησης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές σταθεροποίησης, όπως η χρήση τρίποδων ή μηχανικών σταθεροποιητών για την εξασφάλιση συνεπών αποτελεσμάτων.

Η δυνατότητα μέτρησης μικροαποστάσεων και εξαγωγής παραμέτρων κίνησης χρησιμοποιώντας αισθητήρες κάμερας έχει πολυάριθμες πρακτικές εφαρμογές. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

Ρομποτική: Παρακολούθηση αντικειμένων και εκτίμηση κίνησης βάσει κάμερας για ρομποτικά συστήματα.

Επαυξημένη πραγματικότητα: Ακριβής παρακολούθηση εικονικών αντικειμένων σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου.

Εμβιομηχανική: Ανάλυση της κίνησης του ανθρώπου ή των ζώων για ανάλυση βάρδισης και αξιολόγηση κίνησης.

Βιομηχανική Επιθεώρηση: Ανίχνευση μικροελαττωμάτων ή αποκλίσεων στις διαδικασίες παραγωγής. συμέρασμα

Οι αισθητήρες κάμερας παρέχουν μια ευέλικτη πλατφόρμα για τη μέτρηση μικροαποστάσεων και την ακριβή εξαγωγή παραμέτρων κίνησης. Με την κατανόηση των αρχών πίσω από το μέγεθος των pixel, τη βαθμονόμηση και την ανάλυση οπτικής ροής, είναι δυνατό να αξιοποιηθούν οι αισθητήρες κάμερας

για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που απαιτούν ακριβή μέτρηση απόστασης και εξαγωγή παραμέτρων κίνησης. Λαμβάνοντας υπόψη προκλήσεις όπως ο θόρυβος της εικόνας, οι συνθήκες φωτισμού και η σταθερότητα της κάμερας, οι ερευνητές και σ

1.2 Δομή της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή, οι στόχοι και η δομή της πτυχιακής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η ποιότητα του αέρα σε ένα χώρο και η αξιοποίηση των περιβαντολογικών συνθηκών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται το λογισμικό και υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος μέτρησης, αποστολής και αποθήκευσης των δεδομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα μέτρησης ποιότητας αέρα, θερμοκρασίας και υγρασίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα Μέτρησης Απόστασης

2.1 Μέτρηση Μεγάλων Αποστάσεων

Ένα σύστημα μέτρησης απόστασης είναι ένα ζωτικής σημασίας εργαλείο που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς και βιομηχανίες, που κυμαίνονται από τις κατασκευές και την τοπογραφία έως τη ρομποτική και την πλοήγηση. Αυτό το σύστημα παρέχει ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις των αποστάσεων μεταξύ αντικειμένων ή σημείων, επιτρέποντας ακριβή ανάλυση, σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων. Τα συστήματα μέτρησης απόστασης χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και μεθόδους, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων που βασίζονται σε λέιζερ, αισθητήρων υπερήχων και δεκτών GPS. Αυτά τα συστήματα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ακρίβειας, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας σε πολλές εφαρμογές, καθιστώντας τα απαραίτητα στο σημερινό τεχνολογικό τοπίο.

Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα μέτρησης απόστασης είναι η τεχνολογία που βασίζεται σε λέιζερ, η οποία χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ για τον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου στόχου. Αυτά τα συστήματα εκπέμπουν μια δέσμη λέιζερ προς τον στόχο και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει η δέσμη στον αισθητήρα. Υπολογίζοντας την ταχύτητα του φωτός και τη χρονική καθυστέρηση, το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια την απόσταση. Τα συστήματα μέτρησης απόστασης που βασίζονται σε λέιζερ προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλες αποστάσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπως η τοπογραφία, η διάταξη κατασκευής και οι βιομηχανικές μετρήσεις.

Τα συστήματα μέτρησης απόστασης με υπερήχους, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα για τη μέτρηση αποστάσεων. Αυτά τα συστήματα εκπέμπουν υπερηχητικούς παλμούς και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να αναπηδήσουν τα ηχητικά κύματα από το αντικείμενο στόχο και να επιστρέψουν στον αισθητήρα. Χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του ήχου και τη χρονική καθυστέρηση, το σύστημα υπολογίζει την απόσταση με ακρίβεια. Τα συστήματα υπερήχων χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπου τα συστήματα που βασίζονται σε λέιζερ μπορεί να μην είναι κατάλληλα, όπως σε περιβάλλοντα με σκόνη, ομίχλη ή άλλους παράγοντες παρεμπόδισης. Βρίσκουν εφαρμογές στη ρομποτική, στα συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης και στην ανίχνευση εγγύτητας σε εγκαταστάσεις παραγωγής.

Οι δέκτες Global Positioning System (GPS) είναι ένας άλλος τύπος συστήματος μέτρησης απόστασης που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές εξωτερικού χώρου. Το GPS βασίζεται σε ένα δίκτυο

δορυφόρων για την παροχή ακριβών πληροφοριών εντοπισμού θέσης, συμπεριλαμβανομένων των μετρήσεων απόστασης. Τριγωνοποιώντας σήματα από πολλούς δορυφόρους, οι δέκτες GPS μπορούν να καθορίσουν την απόσταση μεταξύ του δέκτη και κάθε δορυφόρου, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης του δέκτη. Τα συστήματα μέτρησης απόστασης που βασίζονται στο GPS χρησιμοποιούνται συνήθως στη ναυσιπλοΐα, τη γεωδαισία και τη γεωργία ακριβείας, μεταξύ άλλων τομέων, όπου η ακριβής θέση και οι μετρήσεις απόστασης είναι ζωτικής σημασίας.

Τα συστήματα μέτρησης απόστασης που βασίζονται σε ραντάρ χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για την εκτίμηση των αποστάσεων. Αυτά τα συστήματα εκπέμπουν σήματα ραδιοσυχνότητας που αναπηδούν από το αντικείμενο στόχο και επιστρέφουν στον αισθητήρα. Αναλύοντας το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψουν τα σήματα πίσω, μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση. Τα συστήματα ραντάρ χρησιμοποιούνται εκτενώς στην αεροπορία, την παρακολούθηση καιρού, τον έλεγχο της κυκλοφορίας και τις στρατιωτικές εφαρμογές όπου απαιτούνται μετρήσεις μεγάλης εμβέλειας και ακριβείς αποστάσεις.

Με την ικανότητά τους να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις απόστασης, αυτά τα συστήματα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της επιτυχίας σε αμέτρητα πεδία και εφαρμογές.

Εύρος

Το σύστημα μέτρησης απόστασης θα πρέπει να έχει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων μέτρησης για να καλύψει διαφορετικά σενάρια και αποστάσεις. Θα πρέπει να μπορεί να μετρήσει τόσο μικρές αποστάσεις με υψηλή ανάλυση όσο και μεγάλες αποστάσεις με επαρκή ακρίβεια. Το εύρος πρέπει να είναι αρκετό για να καλύπτει τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις εφαρμογής.

Ακρίβεια

Η ακρίβεια αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος μέτρησης απόστασης να παρέχει σταθερά την ίδια μέτρηση για μια δεδομένη απόσταση. Είναι σημαντικό για τη λήψη επαναλαμβανόμενων αποτελεσμάτων και τη διασφάλιση της συνέπειας στις μετρήσεις. Ένα ακριβές σύστημα μειώνει τη μεταβλητότητα και επιτρέπει καλύτερη ανάλυση και λήψη αποφάσεων με βάση τις μετρούμενες αποστάσεις. Θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις, με ελάχιστα σφάλματα ή αβεβαιότητες. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπου απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις απόστασης, όπως στην τοπογραφία, την κατασκευή ή την επιστημονική έρευνα.

Ταχύτητα

Σε πολλές εφαρμογές, η δυνατότητα γρήγορης μέτρησης αποστάσεων είναι απαραίτητη. Το σύστημα μέτρησης απόστασης θα πρέπει να μπορεί να παρέχει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο ή με ελάχιστη καθυστέρηση, ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις. Οι γρήγορες μετρήσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε εφαρμογές όπως η ρομποτική, τα αυτόνομα οχήματα ή οι διαδικασίες κατασκευής.

Αξιοπιστία και ανθεκτικότητα

Το σύστημα μέτρησης απόστασης πρέπει να είναι αξιόπιστο και ανθεκτικό, ικανό να λειτουργεί με συνέπεια σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Θα πρέπει να είναι ανθεκτικό σε παράγοντες όπως διακυμάνσεις θερμοκρασίας, κραδασμούς ή ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Η αξιοπιστία και η ανθεκτικότητα διασφαλίζουν ότι το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απαιτητικές συνθήκες χωρίς συχνές βλάβες, μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και το κόστος συντήρησης.

Αν και αυτοί είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για ένα σύστημα μέτρησης απόστασης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες απαιτήσεις μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή. Ορισμένες εφαρμογές ενδέχεται να δίνουν προτεραιότητα σε ορισμένους παράγοντες περισσότερο από άλλες. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι συγκεκριμένες ανάγκες και οι περιορισμοί της προβλεπόμενης εφαρμογής κατά την επιλογή ενός συστήματος μέτρησης απόστασης.

2.2 Συστήματα Μέτρησης μικροαποστάσεων

Λείζερ

Η συμβολομετρία λέιζερ είναι μια μέθοδος υψηλής ακρίβειας για τη μέτρηση μικροθέσης. Περιλαμβάνει το διαχωρισμό μιας δέσμης λέιζερ σε δύο μονοπάτια και τον ανασυνδυασμό τους για τη δημιουργία ενός σχεδίου παρεμβολής. Μετρώντας τις μετατοπίσεις φάσης των κροσσών παρεμβολής, η μετατόπιση του αντικειμένου μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια μικρότερου του μικρού.

Capacitive Sensing

Η χωρητική ανίχνευση χρησιμοποιείται συνήθως για τη μέτρηση μικροθέσης. Βασίζεται στην αρχή των αλλαγών στην χωρητικότητα λόγω της σχετικής θέσης των αγώγιμων πλακών ή ηλεκτροδίων. Με τη μέτρηση των αλλαγών χωρητικότητας, μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η μετατόπιση του αντικειμένου.

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες - Piezoelectric Sensors

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, όπου ορισμένα υλικά δημιουργούν ηλεκτρικό φορτίο ως απόκριση στην εφαρμοσμένη μηχανική καταπόνηση. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση μικροθέσης προσαρτώντας τους στο αντικείμενο που μετράται. Καθώς το αντικείμενο κινείται, ασκεί πίεση στον αισθητήρα, δημιουργώντας ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα που αντιστοιχεί στη μετατόπιση.

Γραμμικοί μεταβλητοί διαφορικοί μετασχηματιστές (Linear Variable Differential Transformers-LVDT)

Οι LVDT είναι ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς που μπορούν να μετρήσουν τη γραμμική μετατόπιση. Αποτελούνται από ένα πρωτεύον πηνίο και δύο δευτερεύοντα πηνία τυλιγμένα σε έναν κυλινδρικό πυρήνα. Καθώς ο πυρήνας κινείται, η τάση που προκαλείται στα δευτερεύοντα πηνία αλλάζει αναλογικά, επιτρέποντας την ακριβή μέτρηση της μικροθέσης.

Οπτικοί κωδικοποιητές - Optical Encoders

Οι οπτικοί κωδικοποιητές χρησιμοποιούν αισθητήρες φωτός και φωτοηλεκτρικούς για τη μέτρηση της θέσης. Αποτελούνται από μια πηγή φωτός, έναν δίσκο με μοτίβο και αισθητήρες που ανιχνεύουν αλλαγές στην ένταση του φωτός καθώς περιστρέφεται ο δίσκος με μοτίβο. Αναλύοντας την έξοδο από τους αισθητήρες, μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η μικροθέση του αντικειμένου. Οι οπτικοί κωδικοποιητές χρησιμοποιούνται συνήθως σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ρομποτικής και της κατασκευής ακριβείας.

Time-of-Flight (TOF)

Η μέτρηση TOF υπολογίζει την απόσταση με βάση το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει ένα σήμα (συνήθως ένας παλμός φωτός) στο αντικείμενο και πίσω στον αισθητήρα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές όπως το LiDAR (Light Detection and Ranging) για ακριβείς μετρήσεις απόστασης.

Τριγωνοποίηση με επεξεργασία εικόνας

Αυτή η μέθοδος συνδυάζει αρχές τριγωνοποίησης με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Μια κάμερα καταγράφει εικόνες του αντικειμένου από διαφορετικές γωνίες και αναλύοντας τη μετατόπιση των χαρακτηριστικών στις εικόνες, το σύστημα μπορεί να υπολογίσει τη μικροαπόσταση με ακρίβεια.

2.3 Συστήματα Μέτρησης μικροαποστάσεων με κάμερα

Η ακριβής μέτρηση μικροαποστάσεων είναι ζωτικής σημασίας σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής, της ρομποτικής και της μετρολογίας. Τα συστήματα που βασίζονται σε κάμερα παρέχουν μια ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική λύση για τη μέτρηση μικροαποστάσεων. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνήσουμε τις αρχές, τις τεχνικές και τις εφαρμογές των συστημάτων μέτρησης μικροαποστάσεων που χρησιμοποιούν κάμερες.

Η τριγωνοποίηση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για τη μέτρηση αποστάσεων χρησιμοποιώντας κάμερες. Περιλαμβάνει τη λήψη εικόνων ενός αντικειμένου από δύο ή περισσότερες διαφορετικές οπτικές γωνίες. Αναλύοντας τη μετατόπιση της εικόνας του αντικειμένου μεταξύ των σημείων θέασης, η απόσταση από το αντικείμενο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας γεωμετρικές αρχές όπως η παράλλαξη.

Οι τεχνικές δομημένου φωτός χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό προβολής σχεδίου και ανάλυσης εικόνας για τη μέτρηση των αποστάσεων. Ένα γνωστό μοτίβο, όπως ένα πλέγμα ή ένα σύνολο δομημένων γραμμών, προβάλλεται πάνω στο αντικείμενο. Η κάμερα καταγράφει το παραμορφωμένο μοτίβο και αναλύοντας την παραμόρφωση, μπορεί να υπολογιστεί το τρισδιάστατο σχήμα και οι μικροαποστάσεις του αντικειμένου.

Οι κάμερες χρόνου πτήσης μετρούν τις αποστάσεις με βάση το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει το φως από την κάμερα στο αντικείμενο και πίσω. Αυτές οι κάμερες εκπέμπουν σύντομους παλμούς φωτός και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει το ανακλώμενο φως. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός, μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση από το αντικείμενο.

Η ακριβής βαθμονόμηση είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή μέτρηση μικροαποστάσεων με χρήση κάμερων. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των εγγενών παραμέτρων της κάμερας (εστιακή απόσταση, κύριο σημείο, κ.λπ.) και των εξωτερικών παραμέτρων (θέση και προσανατολισμός) σε σχέση με το αντικείμενο. Οι τεχνικές βαθμονόμησης, όπως η χρήση στόχων βαθμονόμησης και αλγορίθμων όπως η μέθοδος του Zhang, επιτρέπουν την ακριβή μέτρηση με τη διόρθωση της παραμόρφωσης του φακού και την εκτίμηση των παραμέτρων της κάμερας.

Η επεξεργασία και η ανάλυση εικόνας διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην εξαγωγή πληροφοριών μικροαπόστασης από εικόνες κάμερας. Τεχνικές όπως η ανίχνευση άκρων, η εξαγωγή χαρακτηριστικών και ο συσχετισμός εικόνας χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση συγκεκριμένων σημείων ή μοτίβων στο αντικείμενο. Αναλύοντας τη μετατόπιση ή την παραμόρφωση αυτών των χαρακτηριστικών, μπορούν να υπολογιστούν μικροαποστάσεις.

Η ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης μικρο-απόστασης που βασίζονται σε κάμερα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ανάλυση της κάμερας, η ποιότητα του φακού, η ακρίβεια βαθμονόμησης και οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας. Παράγοντες όπως οι συνθήκες φωτισμού, η

υφή της επιφάνειας και η ανακλαστικότητα των αντικειμένων μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ακρίβεια μέτρησης. Είναι σημαντικό να λάβετε υπόψη αυτούς τους περιορισμούς και να επιλέξετε κατάλληλες τεχνικές και παραμέτρους για να επιτύχετε την επιθυμητή ακρίβεια.

Τα συστήματα μέτρησης μικροαποστάσεων που βασίζονται σε κάμερα βρίσκουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως:

Βιομηχανική Μετρολογία: Μέτρηση μικροκενών, τραχύτητας επιφάνειας και διαστάσεων εξαρτημάτων στις διαδικασίες παραγωγής.

Ρομποτική: Ακριβής εντοπισμός αντικειμένων, εργασίες λαβής και συναρμολόγησης.

Ποιοτικός έλεγχος: Έλεγχος μικροεξαρτημάτων για ελαττώματα ή αποκλίσεις.

Βιοϊατρική Μηχανική: Μέτρηση μικροαποστάσεων στην ιατρική απεικόνιση, όπως η μικροσκοπία και η ενδοσκόπηση.

Η πρόοδος των τεχνολογιών κάμερας, όπως οι υψηλότερες αναλύσεις, οι ταχύτεροι ρυθμοί καρέ και οι βελτιωμένοι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας, θα συνεχίσουν να βελτιώνουν την ακρίβεια και τις δυνατότητες των συστημάτων μέτρησης μικροαποστάσεων. Η ενσωμάτωση με άλλες μεθόδους ανίχνευσης, όπως αισθητήρες βάθους ή τεχνικές μηχανικής μάθησης, έχει τη δυνατότητα για περαιτέρω προόδους στην ακρίβεια μέτρησης και σε εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο.

Τα συστήματα μέτρησης μικρο-απόστασης που βασίζονται σε κάμερα παρέχουν μια ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική λύση για ακριβείς μετρήσεις απόστασης σε διάφορες εφαρμογές. Αξιοποιώντας τεχνικές όπως ο τριγωνισμός, το δομημένο φως και ο χρόνος πτήσης, σε συνδυασμό με ακριβή βαθμονόμηση και εξελιγμένη επεξεργασία εικόνας, αυτά τα συστήματα επιτρέπουν αξιόπιστες και ακριβείς μετρήσεις μικρο-απόστασης. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, τα συστήματα που βασίζονται σε κάμερες θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στο να επιτρέπουν ακριβείς μετρήσεις σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων.

Κεφάλαιο 3ο: Λογισμικό και Υλικό

3.1 Esp32

Το ESP32 είναι ένας ισχυρός μικροελεγκτής και μονάδα Wi-Fi που ενσωματώνει δυνατότητες Wi-Fi και Bluetooth μαζί με επεξεργαστή διπλού πυρήνα. Χρησιμοποιείται εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές και επιχειρήσεις Internet of Things (IoT). Το ESP32 παρέχει στους προγραμματιστές ένα ευέλικτο πλαίσιο για την κατασκευή συνδεδεμένων συσκευών που ενσωματώνουν ασύρματη επικοινωνία, ενσωμάτωση αισθητήρων και ενεργειακή απόδοση. Χάρη στη σχεδίαση διπλού πυρήνα, επιτρέπει την αποτελεσματική εκτέλεση πολλαπλών εργασιών και τη βελτίωση της απόδοσης, καθιστώντας το κατάλληλο για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών που απαιτούν ασύρματη συνδεσιμότητα και προηγμένη επεξεργαστική ισχύ.

Στιβαρή σχεδίαση

Το ESP32 είναι ικανό να λειτουργεί αξιόπιστα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, με θερμοκρασία λειτουργίας που κυμαίνεται από -40°C έως $+125^{\circ}\text{C}$. Τροφοδοτούμενο από προηγμένα κυκλώματα βαθμονόμησης, το ESP32 μπορεί να αφαιρέσει δυναμικά τις ατέλειες του εξωτερικού κυκλώματος και να προσαρμοστεί στις αλλαγές των εξωτερικών συνθηκών.

Εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

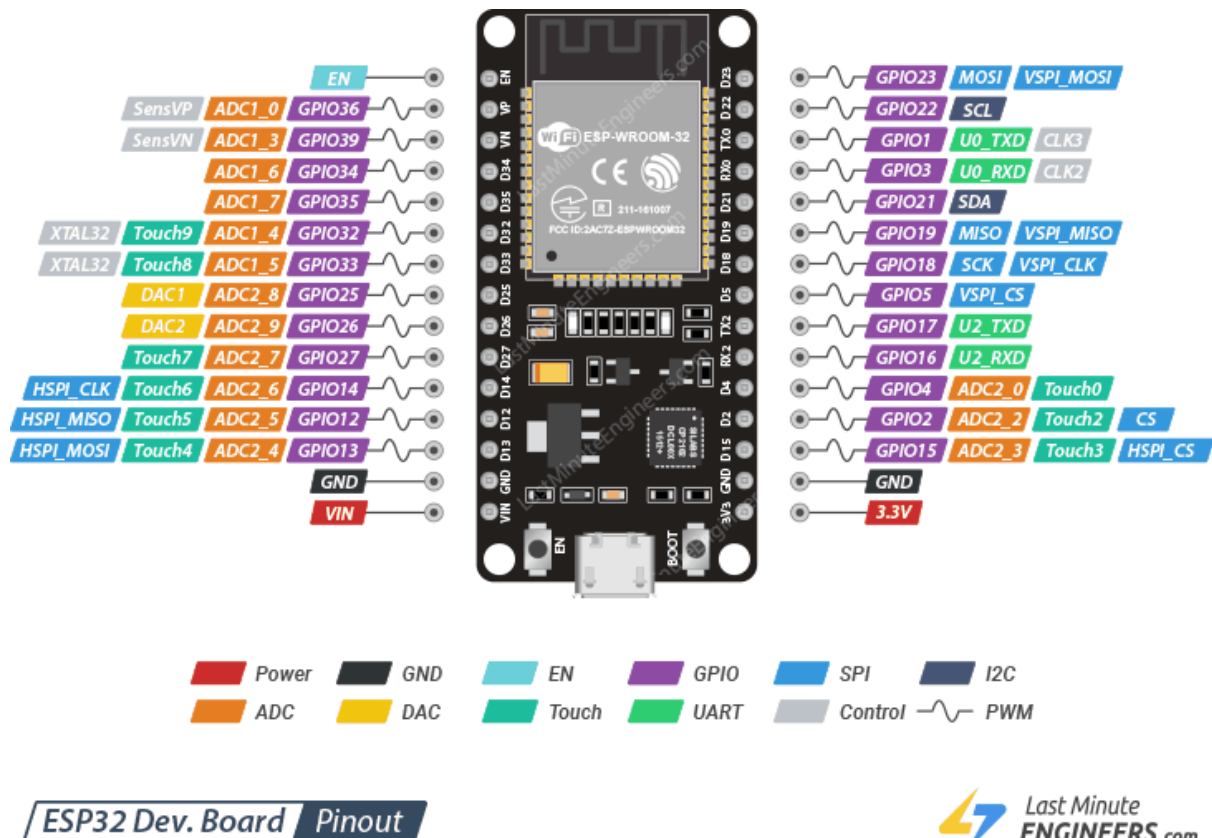
Σχεδιασμένο για φορητές συσκευές, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και εφαρμογές IoT, το ESP32 επιτυγχάνει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με συνδυασμό πολλών τύπων αποκλειστικού λογισμικού. Το ESP32 περιλαμβάνει επίσης χαρακτηριστικά αιχμής, όπως λεπτόκοκκο πύλη ρολογιού, διάφορες λειτουργίες τροφοδοσίας και δυναμική κλιμάκωση ισχύος.

Υψηλό Επίπεδο Ενσωμάτωσης

Το ESP32 είναι εξαιρετικά ενσωματωμένο με ενσωματωμένους διακόπτες κεραίας, RF balun, ενισχυτή ισχύος, ενισχυτή λήψης χαμηλού θορύβου, φίλτρα και μονάδες διαχείρισης ενέργειας. Το ESP32 προσθέτει ανεκτίμητη λειτουργικότητα και ευελιξία στις εφαρμογές σας με ελάχιστες απαιτήσεις πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB).

Υβριδικό τσιπ Wi-Fi & Bluetooth

Το ESP32 μπορεί να λειτουργήσει ως πλήρες αυτόνομο σύστημα ή ως βοηθητική συσκευή σε ένα κεντρικό MCU, μειώνοντας την επιβάρυνση της στοιβάς επικοινωνίας στον κύριο επεξεργαστή εφαρμογών. Το ESP32 μπορεί να διασυνδέεται με άλλα συστήματα για να παρέχει λειτουργίες Wi-Fi και Bluetooth μέσω των διασυνδέσεών του SPI / SDIO ή I2C / UART.



Εικόνα 3.1: Το esp32 με τους ακροδέκτες του

<https://lastminuteengineers.b-cdn.net/wp-content/uploads/iot/ESP32-Pinout.png>

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

Επεξεργαστές:

Κύριος επεξεργαστής: Μικροεπεξεργαστής Tensilica Xtensa 32-bit LX6

Πυρήνες: 2 ή 1 (ανάλογα με την παραλλαγή)

Όλα τα τσιπ της σειράς ESP32 είναι διπλού πυρήνα εκτός από το ESP32-S0WD, το οποίο είναι μονοπύρηνο.

Συχνότητα ρολογιού: έως 240 MHz

Απόδοση: έως 600 DMIPS

Συνεπεξεργαστής εξαιρετικά χαμηλής ισχύος: σας επιτρέπει να κάνετε μετατροπές ADC, υπολογισμούς και όρια επιπέδου ενώ βρίσκεστε σε βαθύ ύπνο.

Ασύρματη συνδεσιμότητα:

Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz έως 150 Mbit/s)

Bluetooth: v4.2 BR/EDR και Bluetooth Low Energy (BLE)

Μνήμη:

Εσωτερική μνήμη:

ROM: 448 KiB

Για εκκίνηση και βασικές λειτουργίες.

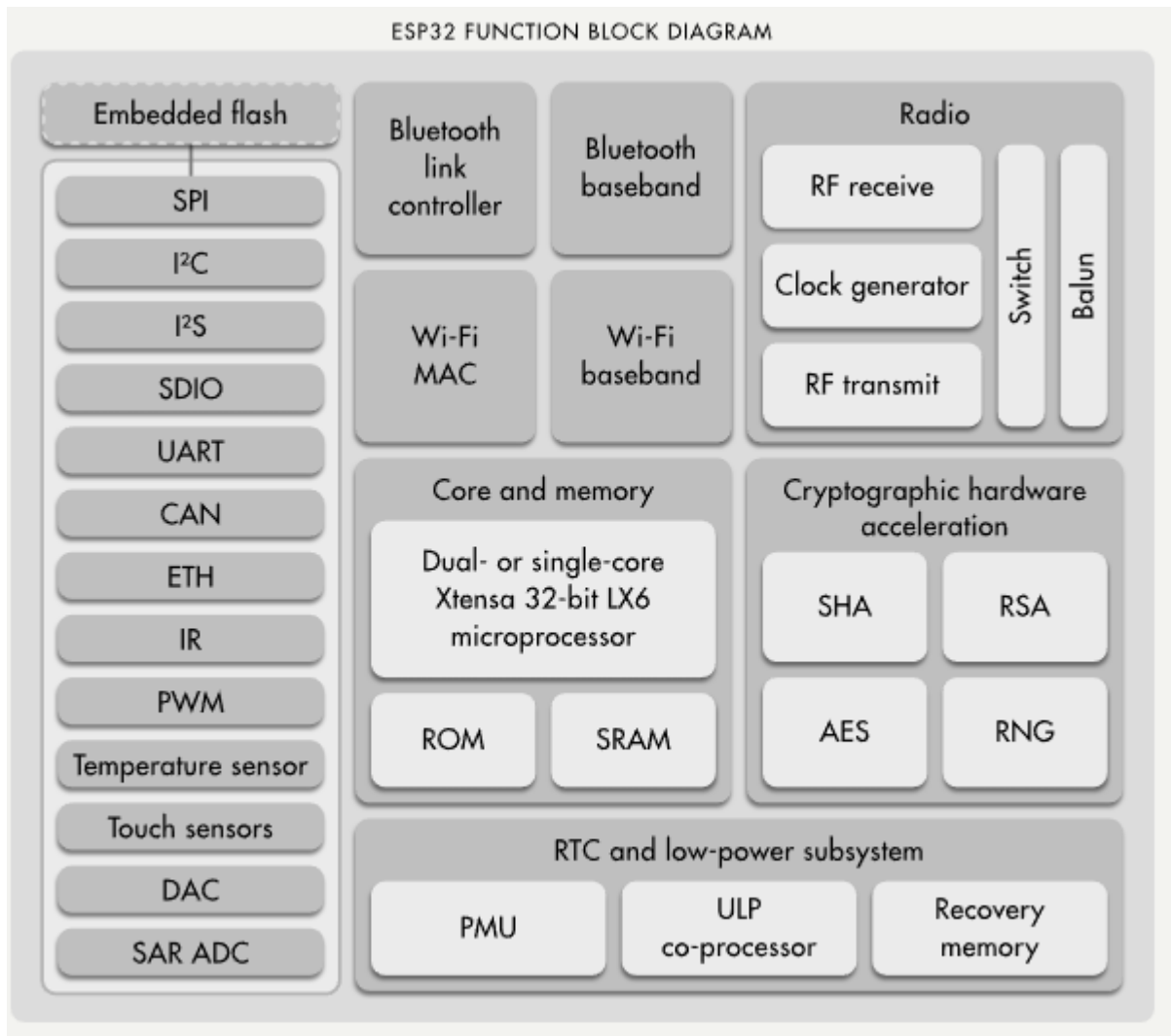
SRAM: 520 KiB

Για δεδομένα και οδηγίες.

RTC γρήγορο SRAM: 8 KiB

Για αποθήκευση δεδομένων και κύρια CPU κατά την εκκίνηση RTC από τη λειτουργία βαθιάς αναστολής.

RTC αργή SRAM: 8 KiB



Εικόνα 3.2: Μπλοκ διάγραμμα για το esp32

[<http://esp32.net/>]

Για πρόσβαση με συνεπεξεργαστή κατά τη λειτουργία βαθιάς αναστολής λειτουργίας.

eFuse: 1 Kibit

Από τα οποία 256 bit χρησιμοποιούνται για το σύστημα (διεύθυνση MAC και διαμόρφωση τσιπ) και τα υπόλοιπα 768 bit δεσμεύονται για εφαρμογές πελατών, συμπεριλαμβανομένων των Flash-Encryption και Chip-ID.

Ενσωματωμένο φλας:

Το Flash συνδέεται εσωτερικά μέσω IO16, IO17, SD_CMD, SD_CLK, SD_DATA_0 και SD_DATA_1 σε ESP32-D2WD και ESP32-PICO-D4.

0 MiB (τσιπ ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD και ESP32-S0WD)

2 MiB (τσιπ ESP32-D2WD)

4 MiB (μονάδα ESP32-PICO-D4 SiP)

Εξωτερικό flash & SRAM: Το ESP32 υποστηρίζει έως και τέσσερα εξωτερικά φλας QSPI 16 MiB και SRAM με κρυπτογράφηση υλικού βασισμένη σε AES για την προστασία των προγραμμάτων και των δεδομένων των προγραμματιστών. Το ESP32 μπορεί να έχει πρόσβαση στο εξωτερικό φλας QSPI και στη SRAM μέσω κρυφών μνήμων υψηλής ταχύτητας.

Έως και 16 MiB εξωτερικού φλας αντιστοιχίζονται στη μνήμη στον χώρο κωδικών της CPU, υποστηρίζοντας πρόσβαση 8-bit, 16-bit και 32-bit. Υποστηρίζεται η εκτέλεση κώδικα.

Έως και 8 MiB εξωτερικής μνήμης flash/SRAM αντιστοιχίζονται στο χώρο δεδομένων της CPU, υποστηρίζοντας πρόσβαση 8 bit, 16 bit και 32 bit. Η ανάγνωση δεδομένων υποστηρίζεται στο flash και στη SRAM. Η εγγραφή δεδομένων υποστηρίζεται στη SRAM.

Τα τσιπ ESP32 με ενσωματωμένο φλας δεν υποστηρίζουν την αντιστοίχιση διευθύνσεων μεταξύ εξωτερικού φλας και περιφερειακών.

Περιφερειακή είσοδος/έξοδος: Πλούσια περιφερειακή διεπαφή με DMA που περιλαμβάνει χωρητική αφή, ADC (μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό), DAC (μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό), I²C (Inter-Integrated Circuit), UART (καθολικός ασύγχρονος δέκτης/πομπός), CAN 2.0 (Δίκτυο περιοχής ελεγκτή), SPI (σειριακή περιφερειακή διασύνδεση), I²S (ενσωματωμένος ήχος Inter-IC), RMI (Μειωμένη διεπαφή ανεξάρτητη από τα μέσα), PWM (διαμόρφωση πλάτους παλμού) και άλλα.

Ασφάλεια:

Υποστηρίζονται όλες οι τυπικές λειτουργίες ασφαλείας IEEE 802.11, συμπεριλαμβανομένων των WPA, WPA/WPA2 και WAPI

Ασφαλής μπότα

Κρυπτογράφηση Flash

1024-bit OTP, έως 768-bit για πελάτες

Κρυπτογραφική επιτάχυνση υλικού: AES, SHA-2, RSA, κρυπτογραφία ελλειπτικής καμπύλης (ECC), γεννήτρια τυχαίων αριθμών (RNG)

Το ESP32 είναι ένας ισχυρός μικροελεγκτής και μονάδα Wi-Fi/Bluetooth που προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Κάποιες εφαρμογές του ESP32 είναι:

Συσκευές Internet of Things (IoT): Το ESP32 χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές IoT λόγω των ενσωματωμένων δυνατοτήτων Wi-Fi και Bluetooth. Μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο και να

επικοινωνήσει με άλλες συσκευές, καθιστώντας το κατάλληλο για οικιακούς αυτοματισμούς, έξυπνη διαχείριση ενέργειας, βιομηχανική παρακολούθηση και πολλά άλλα.

Οικιακός αυτοματισμός: Με τη συνδεσιμότητα Wi-Fi και τις ακίδες GPIO (General Purpose Input/Output), το ESP32 μπορεί να ελέγχει διάφορα συστήματα οικιακού αυτοματισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο φώτων, διακοπών, θερμοστατών, κλειδαριών θυρών και άλλων συσκευών, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργήσουν ένα έξυπνο οικιακό περιβάλλον.

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι ασύρματες δυνατότητες του ESP32 το καθιστούν κατάλληλο για την κατασκευή ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Μπορεί να συλλέξει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως θερμοκρασία, υγρασία, κίνηση και να μεταδώσει τις πληροφορίες ασύρματα σε έναν κεντρικό διανομέα ή διακομιστή cloud.

Φορητές συσκευές: Λόγω του μικρού μεγέθους, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της συνδεσιμότητας Bluetooth, το ESP32 χρησιμοποιείται συχνά σε φορητές συσκευές όπως ιχνηλάτες γυμναστικής, έξυπνα ρολόγια και συσκευές παρακολούθησης της υγείας. Μπορεί να συλλέγει δεδομένα αισθητήρων, να επικοινωνεί με smartphone ή άλλες συσκευές και να παρέχει δυνατότητες παρακολούθησης και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.

Ρομποτική και αυτοματισμός: Οι ακίδες GPIO και η προγραμματιζόμενη φύση του ESP32 το καθιστούν ιδανικό για έλεγχο και διασύνδεση με κινητήρες, αισθητήρες και ενεργοποιητές σε έργα ρομποτικής και αυτοματισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή αυτόνομων ρομπότ, τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων και αυτοματοποιημένων συστημάτων.

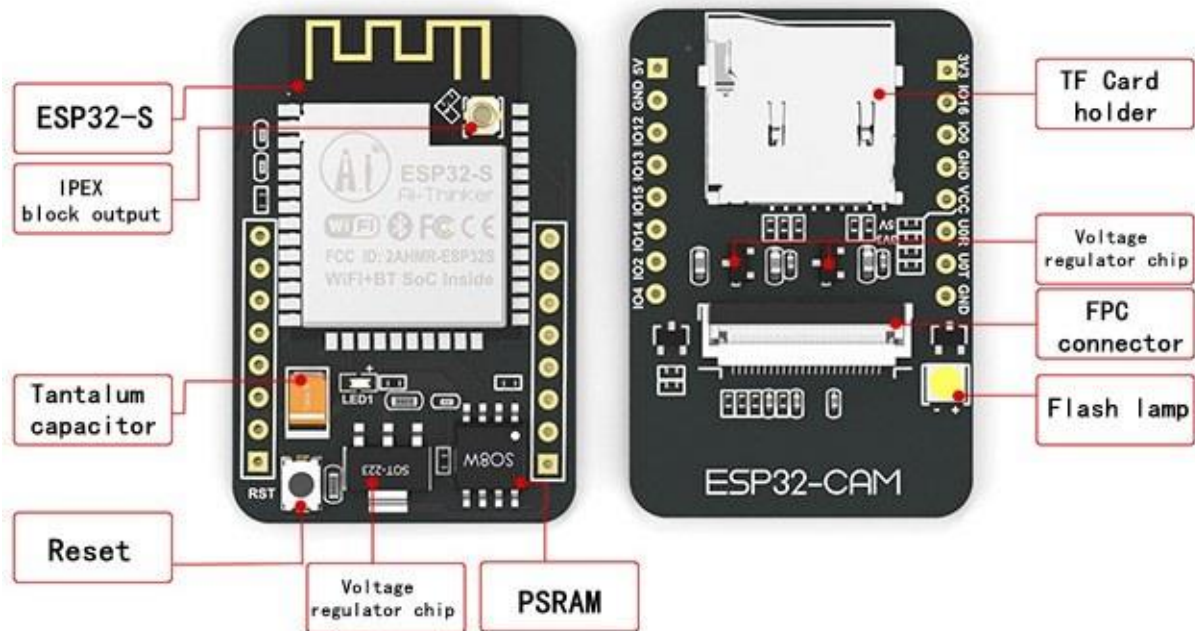
Καταγραφή και παρακολούθηση δεδομένων: Το ESP32 μπορεί να συλλέγει και να καταγράφει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες και να τα στέλνει σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή ή να τα αποθηκεύει τοπικά σε μια κάρτα SD. Αυτή η δυνατότητα είναι χρήσιμη σε εφαρμογές όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, οι μετεωρολογικοί σταθμοί και η καταγραφή βιομηχανικών δεδομένων.

Δημιουργία πρωτοτύπων και ανάπτυξη: Το ESP32 χρησιμοποιείται ευρέως για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Η ευκολία χρήσης, η διαθεσιμότητα των πινάκων

ανάπτυξης και οι εκτεταμένες βιβλιοθήκες λογισμικού το καθιστούν δημοφιλή επιλογή μεταξύ προγραμματιστών και χομπίστων.

3.2 Esp32-CAM

Το ESP32-CAM είναι μια πολύ μικρή μονάδα κάμερας με το τσιπ ESP32-S που κοστίζει περίπου \$10. Εκτός από την κάμερα OV2640 και πολλά GPIO για τη σύνδεση περιφερειακών, διαθέτει επίσης μια υποδοχή κάρτας microSD που μπορεί να είναι χρήσιμη για την αποθήκευση εικόνων που τραβήχτηκαν με την κάμερα ή για την αποθήκευση αρχείων για προβολή σε πελάτες.



Εικόνα 3.3: Το esp32-cam

[https://www.seeedstudio.com/media/catalog/product/cache/ef3164306500b1080e8560b2e8b5cc0f/b/a/bazaar1003542_esp32cam2.jpg]

Το ESP32-CAM δεν συνοδεύεται από υποδοχή USB, επομένως χρειάζεστε έναν προγραμματιστή FTDI για να ανεβάσετε κώδικα μέσω των ακίδων U0R και U0T (σειριακές ακίδες).

Ακολουθεί μια λίστα με τις δυνατότητες ESP32-CAM:

Η μικρότερη μονάδα 802.11b/g/n Wi-Fi BT SoC

CPU 32-bit χαμηλής ισχύος, μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει τον επεξεργαστή εφαρμογών

Ταχύτητα ρολογιού έως 160 MHz, συνοπτική υπολογιστική ισχύς έως 600 DMIPS

Ενσωματωμένη SRAM 520 KB, εξωτερική 4MPSRAM

Υποστηρίζει UART/SPI/I2C/PWM/ADC/DAC

Υποστήριξη καμερών OV2640 και OV7670, ενσωματωμένη λάμπα φλας

Υποστήριξη μεταφόρτωσης εικόνας WiFi

Υποστήριξη κάρτας TF

Υποστηρίζει πολλαπλές λειτουργίες ύπνου

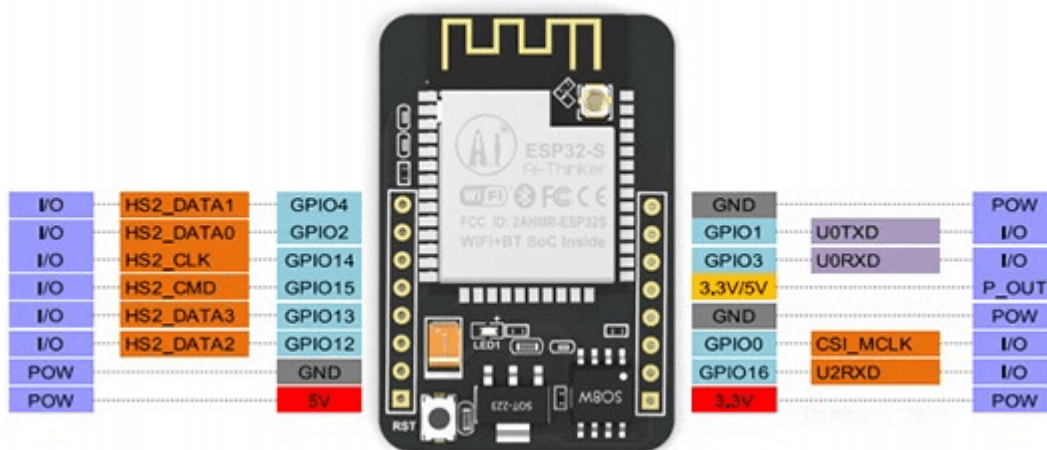
Ενσωματωμένα Lwip και FreeRTOS

Υποστηρίζει τη λειτουργία STA/AP/STA+AP

Υποστήριξη τεχνολογίας Smart Config/AirKiss

Υποστήριξη για τοπικές και απομακρυσμένες αναβαθμίσεις υλικολογισμικού σειριακής θύρας (FOTA)

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το pinout ESP32-CAM (μονάδα AI-Thinker).



Εικόνα 3.4: Οι ακροδέκτες του esp32-cam

[https://www.seeedstudio.com/media/catalog/product/cache/ef3164306500b1080e8560b2e8b5cc0f/b/a/bazaar1003541_esp32cam3.jpg]

Υπάρχουν τρεις ακίδες GND και δύο ακροδέκτες για τροφοδοσία: είτε 3,3V είτε 5V.

Το GPIO 1 και το GPIO 3 είναι οι σειριακές ακίδες. Χρειάζεστε αυτές τις καρφίτσες για να ανεβάσετε κώδικα στον πίνακα σας. Επιπλέον, το GPIO 0 παίζει επίσης σημαντικό ρόλο, καθώς καθορίζει εάν το ESP32 βρίσκεται σε λειτουργία αναβοσβήνει ή όχι. Όταν το GPIO 0 είναι συνδεδεμένο στο GND, το ESP32 βρίσκεται σε λειτουργία αναβοσβήνει.

Οι ακόλουθες ακίδες συνδέονται εσωτερικά στη συσκευή ανάγνωσης καρτών microSD:

GPIO 14: CLK

GPIO 15: CMD

GPIO 2: Δεδομένα 0

GPIO 4: Δεδομένα 1 (επίσης συνδεδεμένο με το ενσωματωμένο LED)

GPIO 12: Δεδομένα 2

GPIO 13: Δεδομένα 3

3.2.1 Εγκατάσταση του

Χρησιμοποιούμε Arduino IDE για να προγραμματίσουμε την πλακέτα ESP32-CAM. Επομένως, πρέπει να έχουμε εγκατεστημένο το Arduino IDE καθώς και το πρόσθετο ESP32.

Στο IDE του Arduino, μεταβείτε στο Αρχείο > Παραδείγματα > ESP32 > Κάμερα και ανοίξτε το παράδειγμα CameraWebServer.

Πριν ανεβάσετε τον κώδικα, πρέπει να εισαγάγετε τα διαπιστευτήρια του δικτύου σας στις ακόλουθες μεταβλητές:

```
const char* ssid = "REPLACE_WITH_YOUR_SSID";  
const char* password = "REPLACE_WITH_YOUR_PASSWORD";
```

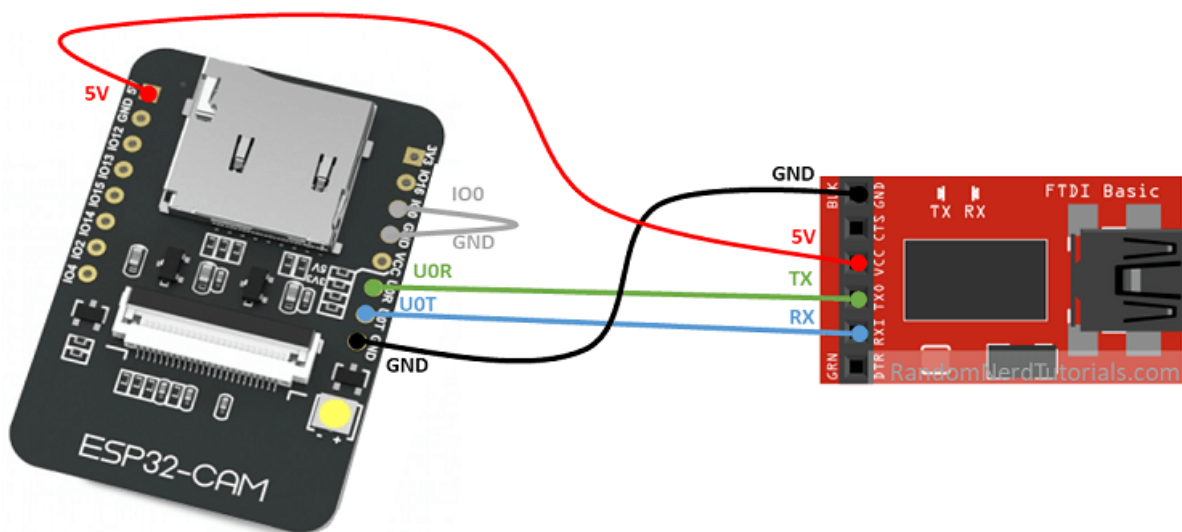
Στη συνέχεια, βεβαιωθείτε ότι έχετε επιλέξει τη σωστή μονάδα κάμερας. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιούμε το μοντέλο AI-THINKER.

```
// Select camera model  
//#define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT  
//#define CAMERA_MODEL_ESP_EYE
```

```
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER
```

Τώρα, ο κώδικας είναι έτοιμος για αποστολή στο ESP32.

Συνδέουμε την πλακέτα ESP32-CAM στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας έναν προγραμματιστή FTDI. Ακολουθούμε το επόμενο σχηματικό διάγραμμα:



Εικόνα 3.5: Σύνδεση του esp32-cam με το ftdi

[<https://i0.wp.com/randomnerdtutorials.com/wp-content/uploads/2019/12/ESP32-CAM-FTDI-programmer-5V-supply.png?w=750&quality=100&strip=all&ssl=1>]

Πολλοί προγραμματιστές FTDI διαθέτουν βραχυκυκλωτήρα που επιτρέπει να επιλέξουμε 3,3 V ή 5 V.

Για να ανεβάσουμε τον κώδικα, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- 1) Πάμε στο Tools > Board και επιλέγουμε AI-Thinker ESP32-CAM.
- 2) Πάμε στα Εργαλεία > Θύρα και επιλέγουμε τη θύρα COM στην οποία είναι συνδεδεμένο το ESP32.
- 3) Στη συνέχεια, κάνουμε κλικ στο κουμπί Upload.

3.3 C για το esp32

Η γλώσσα που χρησιμοποιείται συνήθως για παραδείγματα κώδικα ESP32-CAM είναι η C++ (συγκεκριμένα, το πλαίσιο Arduino). Το πλαίσιο Arduino παρέχει ένα απλοποιημένο και φιλικό προς τους αρχάριους περιβάλλον προγραμματισμού για τον μικροελεγκτή ESP32, ο οποίος είναι το βασικό στοιχείο της μονάδας ESP32-CAM. Ενώ το υποκείμενο υλικολογισμικό και οι βιβλιοθήκες του ESP32 είναι γραμμένα σε C και C++, τα παραδείγματα κώδικα που παρέχονται για τη μονάδα ESP32-CAM είναι συνήθως γραμμένα σε γλώσσα υψηλού επιπέδου χρησιμοποιώντας το πλαίσιο Arduino.

Η C είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή ESP32. Ο ESP32 είναι ένας ευέλικτος μικροελεγκτής που αναπτύχθηκε από την Espressif Systems, ο οποίος παρέχει συνδεσιμότητα Wi-Fi και Bluetooth μαζί με ισχυρές δυνατότητες επεξεργασίας.

Η C είναι μια γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου που επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στη μνήμη και τον έλεγχο υλικού. Αυτό είναι σημαντικό για ενσωματωμένα συστήματα όπως το ESP32, όπου πρέπει να αλληλεπιδράσετε με περιφερειακά, όπως ακροδέκτες GPIO (Είσοδος/Έξοδος γενικής χρήσης), χρονοδιακόπτες, UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit) κ.λπ. Το C παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία και σύνταξη για την αποτελεσματική διαχείριση αυτών των πόρων.

Το ESP32 έχει περιορισμένους πόρους, συμπεριλαμβανομένης της μνήμης και της ισχύος επεξεργασίας. Το C είναι γνωστό για την αποτελεσματικότητά του όσον αφορά τη χρήση μνήμης και την ταχύτητα εκτέλεσης. Χρησιμοποιώντας το C, μπορείτε να γράψετε κώδικα που βελτιστοποιεί την κατανομή μνήμης, ελαχιστοποιεί τα έξοδα και εκμεταλλεύεται πλήρως τις δυνατότητες του ESP32.

Η C είναι μια φορητή γλώσσα, που σημαίνει ότι ο κώδικας που είναι γραμμένος σε C μπορεί να μεταγλωττιστεί και να εκτελεστεί σε διαφορετικές πλατφόρμες με ελάχιστες τροποποιήσεις. Αυτό είναι επωφελές για το ESP32, καθώς σας επιτρέπει να αναπτύξετε κώδικα σε ένα σύστημα (π.χ. έναν υπολογιστή) και στη συνέχεια να τον μεταγλωττίσετε και να τον εκτελέσετε στο ESP32 χωρίς σημαντικές αλλαγές. Αυτή η φορητότητα επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης τυπικών βιβλιοθηκών C και της διαθεσιμότητας cross-compilers για διάφορες πλατφόρμες.

Η Espressif παρέχει ένα επίσημο kit ανάπτυξης λογισμικού (SDK) για την ανάπτυξη ESP32, το οποίο περιλαμβάνει βιβλιοθήκες C ειδικά για το υλικό ESP32. Αυτές οι βιβλιοθήκες παρέχουν λειτουργίες και API για εργασίες όπως συνδεσιμότητα Wi-Fi, επικοινωνία Bluetooth, δικτύωση TCP/IP, πρόσβαση σε σύστημα αρχείων και άλλα. Γράφοντας κώδικα C και χρησιμοποιώντας αυτές τις βιβλιοθήκες, μπορείτε να αξιοποιήσετε τις πλήρεις δυνατότητες του ESP32 και να απλοποιήσετε την ανάπτυξη.

Η C διαθέτει ένα τεράστιο οικοσύστημα με πολυάριθμες βιβλιοθήκες, πλαίσια και εργαλεία διαθέσιμα για διάφορους σκοπούς. Ομοίως, η κοινότητα ESP32 έχει αναπτύξει πολλές βιβλιοθήκες ανοιχτού κώδικα και παραδείγματα σε C που μπορείτε να αξιοποιήσετε για διαφορετικές εφαρμογές. Αυτό το σύστημα υποστήριξης σας βοηθά να επιταχύνετε την ανάπτυξη, να αντιμετωπίσετε προβλήματα και να μάθετε από τις εμπειρίες άλλων προγραμματιστών.

Ενώ η C χρησιμοποιείται συνήθως για προγραμματισμό ESP32, αξίζει να σημειωθεί ότι μπορείτε να το ενσωματώσετε και με άλλες γλώσσες. Για παράδειγμα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το C μαζί με το C++ για να επωφεληθείτε από τις αντικειμενοστρεφείς έννοιες προγραμματισμού. Επιπλέον, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε δεσμεύσεις C για διασύνδεση με γλώσσες υψηλότερου επιπέδου όπως η Python, επιτρέποντάς σας να συνδυάσετε την αποτελεσματικότητα της C με την ευελιξία άλλων γλωσσών.

Η C είναι μια ισχυρή και δημοφιλή γλώσσα προγραμματισμού για την ανάπτυξη ESP32 λόγω της πρόσβασης χαμηλού επιπέδου, της αποτελεσματικότητας, της φορητότητας, της διαθεσιμότητας SDK και βιβλιοθηκών, της υποστήριξης κοινότητας και της συμβατότητας με άλλες γλώσσες. Σας δίνει τη δυνατότητα να γράψετε αποτελεσματικό, βελτιστοποιημένο κώδικα που χρησιμοποιεί πλήρως τις δυνατότητες του ESP32, ενώ επωφελείται από ένα τεράστιο οικοσύστημα πόρων.

Κεφάλαιο 4ο: Αλγόριθμοι και τεχνικές επεξεργασίας εικόνας

4.1 Είδη Καμερών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι καμερών που διατίθενται σήμερα, καθένας από τους οποίους έχει σχεδιαστεί για διαφορετικούς σκοπούς και εφαρμογές. Ακολουθούν ορισμένοι συνηθισμένοι τύποι καμερών:

Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές: Αυτές οι κάμερες καταγράφουν εικόνες χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρονικό αισθητήρα εικόνας και τις αποθηκεύουν ψηφιακά. Κυμαίνονται από συμπαγείς κάμερες point-and-shoot έως φωτογραφικές μηχανές DSLR (Digital Single-Lens Reflex) υψηλής τεχνολογίας.

Κάμερες DSLR: Οι φωτογραφικές μηχανές DSLR είναι δημοφιλείς στους επαγγελματίες φωτογράφους. Χρησιμοποιούν εναλλάξιμους φακούς και προσφέρουν προηγμένους χειροκίνητους ελέγχους, επιτρέποντας στους χρήστες να έχουν ακριβή έλεγχο σε ρυθμίσεις όπως το διάφραγμα, η ταχύτητα κλείστρου και το ISO.

Κάμερες χωρίς καθρέφτη: Οι κάμερες χωρίς καθρέφτη είναι παρόμοιες με τις φωτογραφικές μηχανές DSLR, αλλά δεν διαθέτουν σύστημα οπτικού σκοπεύτρου. Αντίθετα, χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά σκόπευτρα (EVF) ή την πίσω οθόνη LCD της κάμερας για τη σύνθεση εικόνων. Οι κάμερες χωρίς καθρέφτη είναι γνωστές για το μικρό μέγεθος και την εξαιρετική ποιότητα εικόνας τους.

Κάμερες δράσης: Οι κάμερες δράσης είναι μικρές, ανθεκτικές κάμερες που έχουν σχεδιαστεί για να καταγράφουν περιπετειώδεις δραστηριότητες. Είναι ελαφριά, αδιάβροχα και συχνά εξοπλισμένα με σταθεροποιητή εικόνας και ευρυγώνιους φακούς. Η GoPro είναι μια πολύ γνωστή μάρκα σε αυτή την κατηγορία.

Συμπαγείς κάμερες: Οι κάμερες μικρού μεγέθους, γνωστές και ως κάμερες με σημείο και λήψη, είναι μικρές, ελαφριές και εύχρηστες. Διαθέτουν ενσωματωμένους φακούς και αυτόματες ρυθμίσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για casual φωτογράφιση.

Φωτογραφικές μηχανές: Οι φωτογραφικές μηχανές χρησιμοποιούν φωτογραφικό φιλμ για τη λήψη εικόνων. Αν και έχουν γίνει λιγότερο συνηθισμένες με την άνοδο της ψηφιακής φωτογραφίας, εξακολουθούν να έχουν αξία για τους ενθουσιώδεις και τους επαγγελματίες που εκτιμούν τη μοναδική αισθητική και τη διαδικασία που συνδέονται με τη λήψη σε φιλμ.

Κάμερες CCTV: Οι κάμερες κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης (CCTV) χρησιμοποιούνται κυρίως για σκοπούς επιτήρησης και ασφάλειας. Συχνά εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους, σπίτια και επιχειρήσεις για την παρακολούθηση δραστηριοτήτων και την αποτροπή πιθανής εγκληματικής συμπεριφοράς.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι καμερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση απόστασης, ανάλογα με συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Stereo Vision Cameras: Αυτές οι κάμερες χρησιμοποιούν δύο φακούς ή αισθητήρες εικόνας τοποθετημένους σε απόσταση μεταξύ τους για να προσομοιώνουν την αντίληψη του βάθους, παρόμοια με το πώς λειτουργούν τα μάτια μας. Αναλύοντας τη διαφορά μεταξύ των εικόνων που τραβήχτηκαν από τους δύο αισθητήρες, οι κάμερες στερεοφωνικής όρασης μπορούν να υπολογίσουν τις αποστάσεις από τα αντικείμενα στη σκηνή.

Κάμερες Time-of-Flight (ToF): Οι κάμερες ToF εκπέμπουν ένα παλμικό φωτεινό σήμα και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει το φως στην κάμερα μετά την αναπήδηση από αντικείμενα στη σκηνή. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός, η κάμερα μπορεί να υπολογίσει την απόσταση με βάση τη μέτρηση του χρόνου πτήσης.

Κάμερες LiDAR: Οι κάμερες LiDAR (Light Detection and Ranging) χρησιμοποιούν ακτίνες λέιζερ για τη μέτρηση αποστάσεων. Εκπέμπουν παλμούς λέιζερ και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψουν οι παλμοί μετά το χτύπημα αντικειμένων. Οι ανακλώμενες ακτίνες λέιζερ επιτρέπουν στην κάμερα να δημιουργήσει έναν λεπτομερή τρισδιάστατο χάρτη του περιβάλλοντος.

Κάμερες βάθους: Οι κάμερες βάθους, όπως το Microsoft Kinect, χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό τεχνολογιών όπως δομημένο φως ή ώρα πτήσης για να καταγράψουν πληροφορίες βάθους. Προβάλλουν ένα μοτίβο υπέρυθρου φωτός στη σκηνή και χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρήσουν την παραμόρφωση του σχεδίου, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης από τα αντικείμενα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι καμερών που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση παραμέτρων κίνησης, ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και εφαρμογές. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

Κάμερες υψηλής ταχύτητας: Αυτές οι κάμερες έχουν σχεδιαστεί για να καταγράφουν γρήγορα κινούμενα αντικείμενα ή γεγονότα υψηλής ταχύτητας με εξαιρετικά σύντομους χρόνους έκθεσης. Μπορούν να καταγράφουν κίνηση σε χιλιάδες ή και εκατομμύρια καρέ ανά δευτερόλεπτο, επιτρέποντας την ακριβή μέτρηση των παραμέτρων κίνησης όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και η θέση.

Κάμερες Time-of-Flight (ToF): Οι κάμερες ToF μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να περάσει το φως από την κάμερα στο αντικείμενο και πίσω. Υπολογίζοντας τη χρονική καθυστέρηση, οι κάμερες ToF μπορούν να προσδιορίσουν την απόσταση μεταξύ της κάμερας και του αντικειμένου. Χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές τρισδιάστατης παρακολούθησης κίνησης και αναγνώρισης χειρονομιών.

Stereo Vision Cameras: Οι κάμερες Stereo Vision χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερες κάμερες για τη λήψη εικόνων μιας σκηνής από ελαφρώς διαφορετικές γωνίες. Συγκρίνοντας τις διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων σημείων στις εικόνες, οι κάμερες στερεοφωνικής όρασης μπορούν να υπολογίσουν πληροφορίες βάθους και να ανασυνθέσουν μια τρισδιάστατη αναπαράσταση της σκηνής. Συχνά χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση κίνησης και ανίχνευση αντικειμένων.

Κάμερες υπέρυθρων (IR): Οι κάμερες υπέρυθρων μπορούν να ανιχνεύουν και να καταγράφουν τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από αντικείμενα. Είναι χρήσιμα για τη μέτρηση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και την ανάλυση της κατανομής θερμότητας σε εφαρμογές που σχετίζονται με την κίνηση, όπως η θερμική απεικόνιση για ανάλυση κίνησης ή η παρακολούθηση των υπογραφών θερμότητας κατά τη διάρκεια σωματικών δραστηριοτήτων.

Κάμερες μηχανικής όρασης: Οι κάμερες μηχανικής όρασης είναι σχεδιασμένες για εργασίες βιομηχανικού αυτοματισμού και επιθεώρησης. Είναι εξοπλισμένα με προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας και μπορούν να τραβήξουν εικόνες υψηλής ανάλυσης σε υψηλούς ρυθμούς καρέ. Οι κάμερες μηχανικής όρασης χρησιμοποιούνται συνήθως για ανάλυση κίνησης στην κατασκευή, τη ρομποτική και τις εφαρμογές ελέγχου ποιότητας.

Είναι σημαντικό να επιλέξετε μια κάμερα που ταιριάζει στις συγκεκριμένες απαιτήσεις σας όσον αφορά την ανάλυση, τον ρυθμό καρέ, την ακρίβεια και τον προϋπολογισμό. Επιπλέον, λάβετε υπόψη το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί η κάμερα, καθώς παράγοντες όπως οι συνθήκες φωτισμού, οι αποστάσεις και η θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της κάμερας.

4.2 Τρόποι Βαθμονόμησης Κάμερας

Η βαθμονόμηση μιας κάμερας είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση ακριβών μετρήσεων, ακριβούς απόδοσης εικόνας και σωστών γεωμετρικών σχέσεων σε εφαρμογές όρασης υπολογιστή και επεξεργασίας εικόνας.

Ορισμένες κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση μιας κάμερας είναι:

Βαθμονόμηση σκακιέρας

Αυτή είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική βαθμονόμησης. Περιλαμβάνει τη λήψη πολλαπλών εικόνων ενός μοτίβου σκακιέρας από διαφορετικές γωνίες και προσανατολισμούς. Αναλύοντας τις ανιχνευμένες γωνίες της σκακιέρας στις εικόνες, μπορούν να εκτιμηθούν οι εγγενείς και οι εξωτερικές παράμετροι της κάμερας.

Βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας επίπεδο σχέδιο

Παρόμοια με τη μέθοδο της σκακιέρας, αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη λήψη εικόνων ενός επίπεδου σχεδίου με γνωστές διαστάσεις, όπως ένα τυπωμένο πλέγμα βαθμονόμησης ή ένα σκακιέρα. Αναλύοντας τις ανιχνευμένες γωνίες ή χαρακτηριστικά στο μοτίβο, μπορούν να εκτιμηθούν οι παράμετροι της κάμερας.

Βαθμονόμηση με χρήση τρισδιάστατων αντικειμένων

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη λήψη εικόνων ενός γνωστού τρισδιάστατου αντικειμένου με καλά καθορισμένα χαρακτηριστικά, όπως ένας στόχος βαθμονόμησης ή ένα αντικείμενο βαθμονόμησης με ακριβή μετρημένα σημεία αναφοράς. Αντιστοιχίζοντας τα χαρακτηριστικά των εικόνων με τις γνωστές τρισδιάστατες συντεταγμένες, μπορούν να εκτιμηθούν οι παράμετροι της κάμερας.

Γεωμετρία πολλαπλής προβολής

Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τη λήψη εικόνων μιας σκηνής από διαφορετικές οπτικές γωνίες ή τη χρήση πολλαπλών καμερών ταυτόχρονα. Καθιερώνοντας αντιστοιχίες μεταξύ χαρακτηριστικών σε διαφορετικές προβολές, οι παράμετροι της κάμερας μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η τριγωνοποίηση, η επιπολική γεωμετρία ή η προσαρμογή δέσμης.

Αυτόματη βαθμονόμηση

Ορισμένες κάμερες και συστήματα όρασης διαθέτουν ενσωματωμένους αλγόριθμους για αυτοβαθμονόμηση. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές, όπως η μετακίνηση της κάμερας ή ενός γνωστού αντικειμένου, η ανάλυση του θαμπώματος κίνησης ή η εκμετάλλευση της δομής της σκηνής για την αυτόματη εκτίμηση των παραμέτρων της κάμερας.

Εργαλεία λογισμικού

Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πακέτα λογισμικού που παρέχουν λειτουργίες βαθμονόμησης κάμερας, όπως OpenCV, MATLAB και διάφορες βιβλιοθήκες όρασης υπολογιστή. Αυτά τα εργαλεία προσφέρουν φιλικές προς το χρήστη διεπαφές και αυτοματοποιημένες διαδικασίες για τη βαθμονόμηση της κάμερας.

Η βαθμονόμηση κάμερας είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των εγγενών και εξωτερικών παραμέτρων μιας κάμερας. Οι εγγενείς παράμετροι περιλαμβάνουν την εστιακή απόσταση, το κύριο σημείο και τους συντελεστές παραμόρφωσης του φακού, ενώ οι εξωτερικές παράμετροι περιγράφουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο. Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της κάμερας παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για διάφορες εργασίες όρασης υπολογιστή, όπως η ανακατασκευή 3D, η παρακολούθηση αντικειμένων και η επαυξημένη πραγματικότητα.

Κατά τη βαθμονόμηση της κάμερας, χρησιμοποιείται ένα μοτίβο βαθμονόμησης με γνωστές γεωμετρικές ιδιότητες, όπως ένα σκακιέρα ή ένα πλέγμα βαθμονόμησης. Καταγράφοντας πολλαπλές εικόνες του μοτίβου από διαφορετικές οπτικές γωνίες, το λογισμικό βαθμονόμησης μπορεί να αναλύσει τις αντιστοιχίες μεταξύ των σημείων του σχεδίου στο επίπεδο 2D εικόνας και των τρισδιάστατων τοποθεσιών τους στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει στο λογισμικό να εκτιμήσει τις παραμέτρους της κάμερας.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της κάμερας περιλαμβάνουν:

1. Εγγενείς Παράμετροι

Εστιακή απόσταση: Η εστιακή απόσταση του φακού της κάμερας σε pixel ή χιλιοστά.

Κύριο σημείο: Οι συντεταγμένες του κύριου σημείου, το οποίο αντιπροσωπεύει το οπτικό κέντρο του φακού της κάμερας.

Συντελεστές παραμόρφωσης φακού: Συντελεστές που μοντελοποιούν παραμορφώσεις φακού, όπως ακτινική παραμόρφωση και εφαπτομενική παραμόρφωση.

2. Εξωτερικές παράμετροι

Πίνακας περιστροφής: Περιγράφει την περιστροφή της κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο.

Διάνυσμα μετάφρασης: Καθορίζει τη μετάφραση ή τη θέση της κάμερας σε σχέση με το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων.

3. Σφάλμα επαναπροβολής

Το σφάλμα επαναπροβολής μετρά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης υπολογίζοντας την απόκλιση μεταξύ των προβαλλόμενων σημείων 3D βαθμονόμησης και των αντίστοιχων σημείων 2D εικόνας τους. Συνήθως αναφέρεται ως το ριζικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) σε pixel.

Η ακριβής μορφή και αναπαράσταση των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το λογισμικό βαθμονόμησης ή τη βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται. Αυτά τα αποτελέσματα είναι ζωτικής σημασίας για επακόλουθες εργασίες όρασης υπολογιστή που βασίζονται σε κάμερα, προκειμένου να συσχετιστούν με ακρίβεια οι μετρήσεις της εικόνας με τις συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου και να πραγματοποιηθούν ακριβείς γεωμετρικοί μετασχηματισμοί.

4.3 Είδη βίντεο

Η κάμερα λαμβάνει το βίντεο σε διάφορα format.

MP4 (MPEG-4 Part 14): Το MP4 είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή βίντεο που είναι συμβατή με τις περισσότερες συσκευές και πλατφόρμες. Προσφέρει συμπίεση βίντεο υψηλής ποιότητας και υποστηρίζει διάφορους κωδικοποιητές, καθιστώντας το ευέλικτο για διαφορετικούς τύπους βίντεο.

AVI (Audio Video Interleave): Το AVI είναι μια παλαιότερη μορφή βίντεο που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Παρέχει καλή ποιότητα βίντεο και ήχου, αλλά τείνει να έχει μεγαλύτερα μεγέθη αρχείων σε σύγκριση με πιο σύγχρονες μορφές. Τα αρχεία AVI είναι συμβατά με πολλές συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων.

MOV (QuickTime File Format): Το MOV είναι μια μορφή βίντεο που αναπτύχθηκε από την Apple και χρησιμοποιείται συνήθως για την αποθήκευση βίντεο σε συστήματα Mac. Υποστηρίζει πολλούς τύπους

πολυμέσων, συμπεριλαμβανομένων βίντεο, ήχου και κειμένου, και αναγνωρίζεται από διάφορες συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων.

MKV (Matroska Video): Το MKV είναι μια μορφή κοντέινερ βίντεο ανοιχτού κώδικα που μπορεί να αποθηκεύσει πολλά κομμάτια ήχου, βίντεο και υπότιτλων σε ένα μόνο αρχείο. Είναι γνωστό για την ευελιξία και την ικανότητά του να χειρίζεται περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας. Τα αρχεία MKV υποστηρίζονται ευρέως από συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων.

WMV (Windows Media Video): Το WMV είναι μια μορφή βίντεο που αναπτύχθηκε από τη Microsoft κυρίως για συστήματα Windows. Προσφέρει καλή συμπίεση και χρησιμοποιείται συχνά για ροή και διαδικτυακό περιεχόμενο βίντεο. Ενώ είναι συμβατό με το Windows Media Player, η υποστήριξη για αρχεία WMV ενδέχεται να διαφέρει σε άλλες πλατφόρμες.

Επειδή θέλουμε να μετρήσουμε στην εικόνα και αν μπορεί να γίνει όσο ταχύτερο γίνεται τότε προτιμούμε ένα βίντεο format το οποίο να είναι απλό και ασυμπίεστο ώστε να μην χρειάζεται να το αποσυμπιέσουμε και αν είναι εφικτό να δίνεται το κάθε frame σε raw ή απλή μορφοποίηση.

4.4 Είδη Εικόνας

Όσον αφορά τη λήψη καρέ από βίντεο, υπάρχουν πολλές κοινές μορφές:

JPEG (Joint Photographic Experts Group): Το JPEG είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή εικόνας που προσφέρει καλή ισορροπία μεταξύ ποιότητας εικόνας και μεγέθους αρχείου. Χρησιμοποιεί συμπίεση με απώλειες, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να υπάρξει κάποια απώλεια ποιότητας σε σύγκριση με το αρχικό πλαίσιο.

PNG (Portable Network Graphics): Το PNG είναι μια μορφή εικόνας χωρίς απώλειες που υποστηρίζει γραφικά υψηλής ποιότητας και διαφάνεια. Παράγει μεγαλύτερα μεγέθη αρχείων σε σύγκριση με το JPEG, αλλά διατηρεί την αρχική ποιότητα εικόνας χωρίς καμία απώλεια.

GIF (Graphics Interchange Format): Το GIF είναι μια ευρέως υποστηριζόμενη μορφή για σύντομες κινούμενες εικόνες και ακολουθίες βρόχου. Χρησιμοποιεί συμπίεση χωρίς απώλειες και υποστηρίζει τη διαφάνεια, αλλά η χρωματική παλέτα περιορίζεται στα 256 χρώματα, γεγονός που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ποιότητα για σύνθετες εικόνες.

BMP (Bitmap): Το BMP είναι μια απλή και μη συμπίεσμένη μορφή εικόνας που αποθηκεύει δεδομένα χρώματος για κάθε pixel ξεχωριστά. Δεν χρησιμοποιεί καμία συμπίεση, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα μεγέθη αρχείων, αλλά διατηρώντας την υψηλότερη δυνατή ποιότητα εικόνας.

TIFF (Μορφή αρχείου εικόνας με ετικέτα): Το TIFF είναι μια ευέλικτη και ευρέως υποστηριζόμενη μορφή που μπορεί να αποθηκεύσει εικόνες σε διάφορα σχήματα συμπίεσης, συμπεριλαμβανομένων επιλογών χωρίς απώλειες και απωλειών. Χρησιμοποιείται συνήθως για επεξεργασία και εκτύπωση εικόνας υψηλής ποιότητας.

RAW: Οι μορφές RAW αποθηκεύουν μη επεξεργασμένα και μη συμπιεσμένα δεδομένα εικόνας απευθείας από τον αισθητήρα της κάμερας. Προσφέρουν τη μεγαλύτερη ευελιξία για μετα-επεξεργασία, αλλά τείνουν να έχουν μεγαλύτερα μεγέθη αρχείων και απαιτούν εξειδικευμένο λογισμικό για προβολή και επεξεργασία.

4.5 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών

Αφού συλλέξουμε ένα frame τότε πρέπει να προχωρήσουμε σε επεξεργασία εικόνας και συγκεκριμένα στην ανίχνευση ακμών.

Οι πιο σημαντικοί αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών είναι:

Sobel Operator

Ο τελεστής Sobel είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος ανίχνευσης ακμών που υπολογίζει τη διαβάθμιση μιας εικόνας περιστρέφοντάς την με ένα μικρό φίλτρο. Υπολογίζει ανεξάρτητα τις οριζόντιες και κατακόρυφες διαβαθμίσεις και στη συνέχεια τις συνδυάζει για να αποκτήσει μια προσέγγιση του μεγέθους και της κατεύθυνσης των άκρων στην εικόνα.

Canny Edge Detection

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης άκρων Canny είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων. Ξεκινά με την εφαρμογή Gaussian εξομάλυνσης για τη μείωση του θορύβου στην εικόνα. Στη συνέχεια, υπολογίζει το μέγεθος της κλίσης και τον προσανατολισμό χρησιμοποιώντας τον τελεστή Sobel. Στη συνέχεια, εκτελεί μη μέγιστη καταστολή για να λεπτύνει τις άκρες και να διατηρήσει μόνο τις πιο σημαντικές. Τέλος, εφαρμόζει κατώφλι υστέρησης για τον προσδιορισμό των τελικών άκρων καταστέλλοντας αδύναμες ακμές που δεν συνδέονται με ισχυρές ακμές.

Laplacian of Gaussian (LoG)

Η Laplacian of Gaussian είναι ένας αλγόριθμος ανίχνευσης ακμών που συνδυάζει τον τελεστή Λαπλασιίας με Gaussian εξομάλυνση. Συγκεντρώνει την εικόνα με ένα φίλτρο Gauss για να επισημάνει τις άκρες και στη συνέχεια εφαρμόζει τον τελεστή Laplacian για να ανιχνεύσει μηδενικές διασταυρώσεις, οι οποίες υποδεικνύουν την παρουσία ακμών. Ο τελεστής LoG είναι πιο ευαίσθητος

στο θόρυβο σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους, επομένως συχνά ακολουθείται από όριο ή περαιτέρω επεξεργασία για την απόκτηση ακριβών ακμών.

Operator Roberts

Ο τελεστής Roberts είναι ένας απλός και υπολογιστικά αποδοτικός αλγόριθμος ανίχνευσης ακμών που χρησιμοποιεί ένα ζεύγος πυρήνων 2×2 για να υπολογίσει τις οριζόντιες και κάθετες διαφορές μεταξύ γειτονικών pixel. Υπολογίζει το μέγεθος της κλίσης παίρνοντας την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγωνικών διαφορών. Ο χειριστής Roberts είναι λιγότερο ανθεκτικός στον θόρυβο σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους, αλλά μπορεί να παρέχει λογικά αποτελέσματα ανίχνευσης άκρων σε ορισμένες περιπτώσεις.

Prewitt Operator

Ο τελεστής Prewitt είναι παρόμοιος με τον τελεστή Sobel αλλά χρησιμοποιεί έναν ελαφρώς διαφορετικό πυρήνα. Υπολογίζει τις οριζόντιες και κάθετες διαβαθμίσεις περιστρέφοντας την εικόνα με ξεχωριστούς πυρήνες 3×3 . Τα μεγέθη της κλίσης υπολογίζονται αθροίζοντας τις απόλυτες τιμές της οριζόντιας και κάθετης κλίσης. Ο τελεστής Prewitt χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση ακμών λόγω της απλότητας και της αποτελεσματικότητάς του.

Οι παραπάνω αλγόριθμοι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Sobel:

Πλεονεκτήματα: Απλό και υπολογιστικά αποδοτικό. Έχει καλή απόδοση στην ανίχνευση ακμών σε θορυβώδεις εικόνες.

Μειονεκτήματα: Επιρρεπής στην ανίχνευση παχιών άκρων και ανταποκρίνεται ελάχιστα σε διαγώνιες άκρες.

Canny Edge Detector:

Πλεονεκτήματα: Θεωρείται ο βέλτιστος αλγόριθμος ανίχνευσης άκρων λόγω της εξαιρετικής του απόδοσης.

Μειονεκτήματα: Σχετικά πολύπλοκο και υπολογιστικά εντατικό. Απαιτεί προσεκτική επιλογή ορίων.

Laplacian of Gaussian (LoG):

Πλεονεκτήματα: Ακριβές και ανθεκτικό στο θόρυβο. Ανιχνεύει άκρες σε πολλαπλές κλίμακες.

Μειονεκτήματα: Ευαίσθητο στην επιλογή παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της κλίμακας του φίλτρου Gauss.

Operator Roberts:

Πλεονεκτήματα: Απλό και υπολογιστικά αποδοτικό, ειδικά για τον εντοπισμό διαγώνιων ακμών.

Μειονεκτήματα: Ευαίσθητο στο θόρυβο, με αποτέλεσμα ψευδείς ανιχνεύσεις. Λιγότερο αποτελεσματικό στην ανίχνευση οριζόντιων και κάθετων άκρων.

Operator Prewitt:

Πλεονεκτήματα: Απλό και υπολογιστικά αποδοτικό. Αποδίδει καλά στην ανίχνευση άκρων στην οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση.

Μειονεκτήματα: Λιγότερο αποτελεσματικό στην ανίχνευση διαγώνιων άκρων. Ευαίσθητο στο θόρυβο.

Όσον αφορά την απόδοση, ο ανιχνευτής άκρων Canny θεωρείται γενικά ο πιο στιβαρός και ευέλικτος αλγόριθμος, παρέχοντας καλό εντοπισμό άκρων και στιβαρότητα θορύβου. Αποδίδει καλά στα περισσότερα σενάρια, αλλά απαιτεί προσεκτική ρύθμιση των παραμέτρων.

Ο Sobel Operator είναι μια δημοφιλής επιλογή για την απλότητα και την υπολογιστική του απόδοση, καθιστώντας τον κατάλληλο για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, μπορεί να μην χειρίζεται καλά τις διαγώνιες άκρες.

Το Laplacian of Gaussian (LoG) είναι αποτελεσματικό στην ανίχνευση ακμών σε πολλαπλές κλίμακες, αλλά απαιτεί προσεκτική επιλογή παραμέτρων, ειδικά την κλίμακα του φίλτρου Gauss.

Ο τελεστής Roberts και ο χειριστής Prewitt είναι απλοί τελεστές που έχουν καλή απόδοση στην ανίχνευση ακμών σε συγκεκριμένους προσανατολισμούς (διαγώνιο και οριζόντιο/κάθετο, αντίστοιχα), αλλά είναι πιο ευαίσθητοι στο θόρυβο σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους.

4.6 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Σημείων ενδιαφέροντος

4.6.1 Αλγόριθμοι μέτρησης απόστασης

Υπάρχουν μέθοδοι και αλγόριθμοι μέτρησης απόστασης σε μια εικόνα, όπως:

Ευκλείδεια Απόσταση

Αυτός είναι ο πιο βασικός αλγόριθμος μέτρησης απόστασης. Δεδομένων δύο σημείων (x_1, y_1) και (x_2, y_2) σε μια εικόνα 2D, η Ευκλείδεια απόσταση υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{απόσταση} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Αυτός ο αλγόριθμος υποθέτει έναν επίπεδο Ευκλείδειο χώρο και δεν λαμβάνει υπόψη καμία συμφραζόμενη πληροφορία από την εικόνα.

Απόσταση Manhattan

Γνωστός και ως απόσταση ταξί ή νόρμα L1, αυτός ο αλγόριθμος υπολογίζει την απόσταση αθροίζοντας τις απόλυτες διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων δύο σημείων:

$$\text{απόσταση} = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$$

Η απόσταση του Μανχάταν είναι χρήσιμη όταν η κίνηση μπορεί να συμβεί μόνο κατά μήκος οριζόντιων και κάθετων γραμμών, όπως σε περιβάλλοντα που βασίζονται σε πλέγμα.

Απόσταση σκακιέρας

Αυτός ο αλγόριθμος, γνωστός και ως η απόσταση Chebyshev ή L_∞ norm, υπολογίζει την απόσταση με βάση τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των συντεταγμένων x και y :

$$\text{απόσταση} = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|)$$

Η απόσταση σκακιέρας είναι κατάλληλη όταν επιτρέπεται η διαγώνια κίνηση.

Geodesic Distance

Αυτός ο αλγόριθμος εξετάζει τις χωρικές σχέσεις και τη συνδεσιμότητα μέσα στην εικόνα. Μετρά τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο σημείων, λαμβάνοντας υπόψη τα εμπόδια ή τις παραλλαγές στην εικόνα. Για τον υπολογισμό της γεωδαισιακής απόστασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αλγόριθμοι, όπως ο αλγόριθμος του Dijkstra.

Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Το SIFT είναι ένας αλγόριθμος ανίχνευσης χαρακτηριστικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ βασικών σημείων ή χαρακτηριστικών μέσα σε μια εικόνα. Προσδιορίζει διακριτικά χαρακτηριστικά στην εικόνα και τα αντιστοιχίζει μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών, παρέχοντας ένα μέτρο απόστασης με βάση τις διαφορές μεταξύ των περιγραφών χαρακτηριστικών.

Οπτική ροή

Οι αλγόριθμοι οπτικής ροής εκτιμούν την κίνηση των αντικειμένων μεταξύ διαδοχικών πλαισίων μιας ακολουθίας εικόνας. Παρακολουθώντας την κίνηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ή σημείων, μπορείτε να μετρήσετε την απόσταση που διανύουν αυτά τα χαρακτηριστικά.

4.6.2 Αλγόριθμοι ανίχνευσης γωνιών

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης γωνιών χρησιμοποιούνται ευρέως στην όραση υπολογιστή και στην επεξεργασία εικόνας για τον εντοπισμό των γωνιών ή των σημείων ενδιαφέροντος σε μια εικόνα. Οι γωνίες είναι διακριτικά χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές, όπως η αναγνώριση αντικειμένων, η καταχώρηση εικόνας, η παρακολούθηση και η τρισδιάστατη ανακατασκευή.

Ανίχνευση γωνίας Harris

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης γωνίας Harris είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους για τον εντοπισμό γωνιών. Υπολογίζει μια συνάρτηση απόκρισης γωνίας με βάση τις αλλαγές έντασης σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Οι γωνίες προσδιορίζονται ως τοπικά μέγιστα στη συνάρτηση απόκρισης γωνίας.

Ανίχνευση γωνίας Shi-Tomasi

Ο αλγόριθμος Shi-Tomasi είναι μια επέκταση του αλγόριθμου Harris και παρέχει καλύτερη επιλογή γωνιών. Χρησιμοποιεί την ελάχιστη ιδιοτιμή του πίνακα αυτοσυσχέτισης για να προσδιορίσει την ποιότητα των γωνιών. Ο αλγόριθμος επιλέγει γωνίες με υψηλότερες ιδιοτιμές, διασφαλίζοντας έναν πιο σταθερό και ακριβή εντοπισμό γωνιών.

FAST (Δυνατότητες από τη δοκιμή Accelerated Segment Test)

Το FAST είναι ένας γρήγορος και αποτελεσματικός αλγόριθμος ανίχνευσης γωνίας. Εξετάζει ένα σύνολο pixel σε κύκλο γύρω από κάθε pixel και καθορίζει εάν το pixel είναι μια γωνία με βάση την κατανομή των εντάσεων. Το FAST είναι γνωστό για την ταχύτητά του και χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο.

SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

Το SIFT είναι ένας αλγόριθμος ανίχνευσης χαρακτηριστικών που περιλαμβάνει τον εντοπισμό γωνίας ως ένα από τα βήματα του. Ανιχνεύει και περιγράφει σημεία-κλειδιά που είναι αμετάβλητα σε μετασχηματισμούς κλίμακας, περιστροφής και συγγένειας. Το SIFT χρησιμοποιείται ευρέως για εργασίες αναγνώρισης αντικειμένων και αντιστοίχισης εικόνας.

SURF (Speeded-Up Robust Features)

Το SURF είναι ένας άλλος δημοφιλής αλγόριθμος που συνδυάζει ανίχνευση γωνίας και περιγραφή χαρακτηριστικών. Χρησιμοποιεί μια σειρά από φίλτρα για τον εντοπισμό σημείων ενδιαφέροντος και τον υπολογισμό περιγραφών που είναι ανθεκτικοί σε μετασχηματισμούς εικόνας. Το SURF είναι γνωστό για την ταχύτητά του και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η αναγνώριση αντικειμένων.

4.7 OpenCV

Το OpenCV, συντομογραφία του Open Source Computer Vision Library, είναι μια βιβλιοθήκη λογισμικού ανοιχτού κώδικα υπολογιστών όρασης και μηχανικής εκμάθησης. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων, αλγορίθμων και λειτουργιών που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν εφαρμογές που σχετίζονται με την όραση υπολογιστή, την επεξεργασία εικόνας και τη μηχανική μάθηση.

Αρχικά αναπτύχθηκε από την Intel το 1999, το OpenCV έχει γίνει από τότε ένα συλλογικό έργο που υποστηρίζεται από πολλούς οργανισμούς και άτομα σε όλο τον κόσμο. Είναι γραμμένο σε C++ και διαθέτει διεπαφές για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των Python, Java και MATLAB/Octave, καθιστώντας το προσβάσιμο σε ένα ευρύ φάσμα προγραμματιστών.

Το OpenCV προσφέρει μια τεράστια συλλογή λειτουργιών και μονάδων που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να επεξεργάζονται εικόνες και βίντεο, να πραγματοποιούν ανίχνευση και εξαγωγή χαρακτηριστικών, να εφαρμόζουν διάφορα φίλτρα και μετασχηματισμούς, να παρακολουθούν αντικείμενα, να αναγνωρίζουν μοτίβα και πρόσωπα, να βαθμονομούν κάμερες και πολλά άλλα. Παρέχει επίσης αποτελεσματικές δομές δεδομένων και αλγόριθμους για εργασίες μηχανικής μάθησης, όπως ταξινόμηση, παλινδρόμηση, ομαδοποίηση και βαθιά νευρωνικά δίκτυα.

Η βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ρομποτικής, της επαυξημένης πραγματικότητας, των συστημάτων επιτήρησης, της ανάλυσης ιατρικών εικόνων, της επεξεργασίας βίντεο, ακόμη και των διαδραστικών καλλιτεχνικών εγκαταστάσεων. Η δημοτικότητά

του πηγάζει από την ευελιξία, τις επιδόσεις και την εκτεταμένη υποστήριξη της κοινότητας, καθιστώντας το πολύτιμο εργαλείο για τους επαγγελματίες όρασης υπολογιστών και μηχανικής μάθησης.

Πριν χρησιμοποιήσετε μια κάμερα για ακριβείς μετρήσεις, είναι απαραίτητο να τη βαθμονομήσετε. Η βαθμονόμηση κάμερας περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των εγγενών και εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας. Οι εγγενείς παράμετροι περιλαμβάνουν την εστιακή απόσταση, το κύριο σημείο και τους συντελεστές παραμόρφωσης του φακού. Οι εξωτερικές παράμετροι καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με τον κόσμο. Το OpenCV παρέχει λειτουργίες, όπως `cv::calibrateCamera()`, για την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιώντας ένα σύνολο εικόνων βαθμονόμησης και ένα γνωστό μοτίβο βαθμονόμησης.

Η παραμόρφωση του φακού μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων. Η βαθμονόμηση κάμερας του OpenCV υπολογίζει επίσης τους συντελεστές παραμόρφωσης του φακού, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση παραμορφώσεων της εικόνας. Η συνάρτηση `cv::undistort()` μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση παραμορφώσεων από εικόνες που τραβήχτηκαν από τη βαθμονομημένη κάμερα.

Το OpenCV παρέχει διάφορες τεχνικές φιλτραρίσματος και βελτίωσης εικόνων για την προεπεξεργασία εικόνων πριν από την εκτέλεση ανίχνευσης άκρων ή μέτρησης απόστασης. Τεχνικές όπως το θάμπωμα, η εξίσωση ιστογράμματος και η ρύθμιση αντίθεσης μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα των εικόνων και να βελτιώσουν την απόδοση των επόμενων βημάτων επεξεργασίας.

Η ανίχνευση άκρων είναι μια δημοφιλής τεχνική για τον εντοπισμό ακμών σε μια εικόνα. Είναι γνωστό για την ικανότητά του να παρέχει ακριβή ανίχνευση άκρων μειώνοντας παράλληλα τον θόρυβο. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει πολλά βήματα, συμπεριλαμβανομένης της εξομάλυνσης, του υπολογισμού της κλίσης, της μη μέγιστης καταστολής και του κατωφλίου. Η συνάρτηση `cv::Canny()` του OpenCV απλοποιεί την υλοποίηση αυτής της τεχνικής.

Για να εφαρμόσετε την ανίχνευση άκρων Canny χρησιμοποιώντας το OpenCV, ξεκινήστε μετατρέποντας την εικόνα σε κλίμακα του γκρι. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `cv::Canny()` για να εντοπίσετε ακμές με βάση τις κατάλληλες τιμές κατωφλίου. Η προκύπτουσα εικόνα άκρης τονίζει τα όρια των αντικειμένων ή τις μεταβάσεις στην ένταση εντός της εικόνας.

Η ανίχνευση άκρων Sobel είναι μια άλλη συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για την ανίχνευση ακμών σε εικόνες. Υπολογίζει το μέγεθος της κλίσης της έντασης της εικόνας περιστρέφοντας την εικόνα με πυρήνες Sobel στην οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση. Η προκύπτουσα εικόνα μεγέθους κλίσης μπορεί να οριστεί για να ληφθούν χάρτες ακμών.

Η συνάρτηση `cv::Sobel()` του OpenCV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή ανίχνευσης άκρων Sobel. Μετατρέψτε την εικόνα σε κλίμακα του γκρι και χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `cv::Sobel()` με

τις κατάλληλες παραμέτρους για να υπολογίσετε το μέγεθος της κλίσης. Στη συνέχεια, το κατώφλι μπορεί να εφαρμοστεί για τη λήψη δυαδικών χαρτών ακμών.

Μετά την ανίχνευση ακμών σε μια εικόνα, η απόσταση μεταξύ των αντικειμένων μπορεί να μετρηθεί με βάση τις σχετικές θέσεις τους στην εικόνα. Εάν η κάμερα είναι βαθμονομημένη, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη γνωστή σχέση μεταξύ των συντεταγμένων εικονοστοιχείων και των μετρήσεων του πραγματικού κόσμου για να υπολογίσετε με ακρίβεια τις αποστάσεις.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ένας μετασχηματισμός προοπτικής για να μετατραπεί η εικόνα άκρης σε αναπαράσταση παντοτινής όρασης ή να διορθωθεί η εικόνα. Το OpenCV παρέχει λειτουργίες όπως `cv::getPerspectiveTransform()` και `cv::warpPerspective()` για την εκτέλεση μετασχηματισμών προοπτικής.

Χρησιμοποιώντας τη βαθμονομημένη κάμερα και την εικόνα άκρων που έχει μετατραπεί σε προοπτική, μπορείτε να μετρήσετε τις αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων αναλύοντας τις συντεταγμένες pixel τους. Εφαρμόζοντας γεωμετρικές αρχές, όπως η εστιακή απόσταση και τα γνωστά μεγέθη αντικειμένων, μπορείτε να υπολογίσετε με ακρίβεια τις αποστάσεις του πραγματικού κόσμου.

Το OpenCV είναι μια ισχυρή βιβλιοθήκη που παρέχει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για βαθμονόμηση κάμερας, επεξεργασία εικόνας, ανίχνευση άκρων και μέτρηση απόστασης. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του OpenCV, μπορείτε να βαθμονομήσετε την κάμερά σας, να βελτιώσετε τις εικόνες, να εφαρμόσετε αλγόριθμους ανίχνευσης άκρων όπως οι Canny και Sobel και να μετρήσετε με ακρίβεια τις αποστάσεις. Αυτές οι τεχνικές είναι ανεκτίμητες σε πολλές εφαρμογές, όπως η ρομποτική, η επαυξημένη πραγματικότητα και ο ποιοτικός έλεγχος. Η εκτεταμένη τεκμηρίωση και η υποστήριξη της κοινότητας του OpenCV το καθιστούν πολύτιμο πόρο για ερευνητές και επαγγελματίες στον τομέα της όρασης υπολογιστών και της επεξεργασίας εικόνας.

Κεφάλαιο 5ο: Το σύστημα μέτρησης μικρο απόστασης

5.1 Βαθμονόμηση Κάμερας

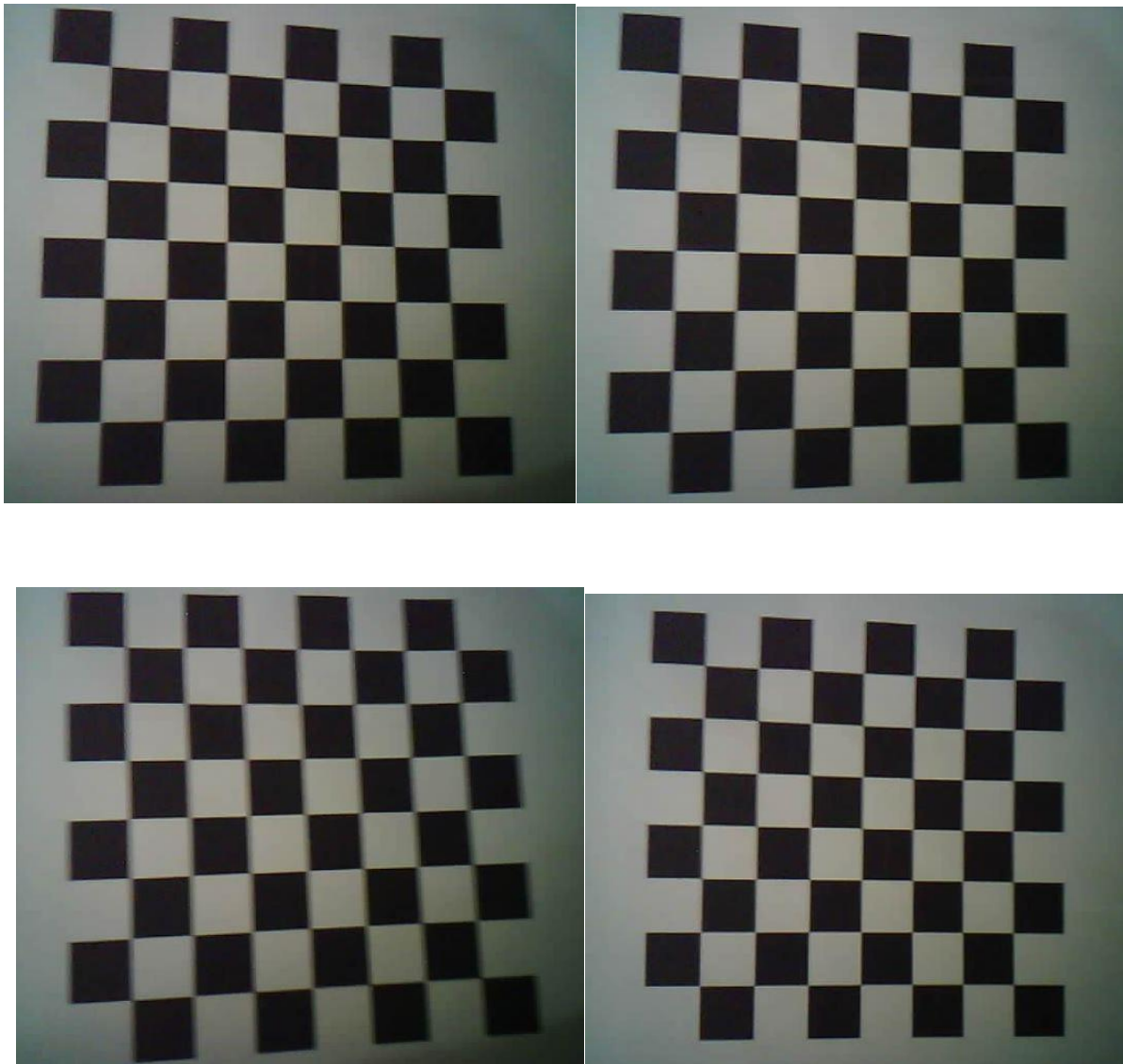
Η βαθμονόμηση της κάμερας του ESP32-CAM περιλαμβάνει την προσαρμογή των παραμέτρων της για να διασφαλιστεί η ακριβής και συνεπής λήψη εικόνας. Η διαδικασία συνήθως περιλαμβάνει την εύρεση των εγγενών και εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται βαθμονόμηση κάμερας.

Ακολουθεί μια μέθοδος για τη βαθμονόμηση της κάμερας:

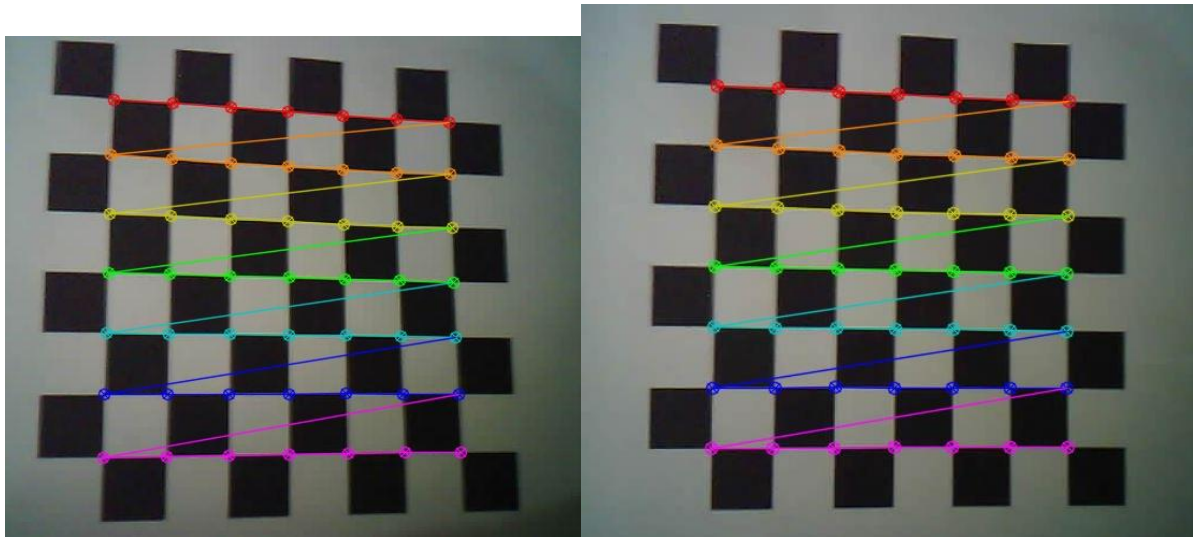
1. Χρησιμοποιούμε ένα εκτυπωμένο μοτίβο σκακιέρας ή έναν στόχο βαθμονόμησης με γνωστές διαστάσεις, έναν υπολογιστή με λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και το ESP32-CAM.
2. Τοποθετούμε το ESP32-CAM σε μια σταθερή επιφάνεια και το συνδέουμε στον υπολογιστή μας. Τραβάμε μια σειρά εικόνων βαθμονόμησης του σχεδίου ή του στόχου της σκακιέρας από διαφορετικές γωνίες και αποστάσεις. Βεβαιωνόμαστε ότι ολόκληρο το μοτίβο είναι ορατό σε κάθε εικόνα και καταγράφουμε μια σειρά από προσανατολισμούς και αποστάσεις.
3. Χρησιμοποιώντας λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, φορτώνουμε τις εικόνες βαθμονόμησης και εντοπίζουμε τις γωνίες του σχεδίου σκακιέρας σε κάθε εικόνα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες όπως το OpenCV.
4. Υπολογισμός εγγενών παραμέτρων: Με τις ανιχνευμένες γωνίες, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε έναν αλγόριθμο βαθμονόμησης (όπως τη λειτουργία `calibrateCamera` του OpenCV) για να υπολογίσετε τις εγγενείς παραμέτρους της κάμερας. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν την εστιακή απόσταση, το κύριο σημείο και τους συντελεστές παραμόρφωσης του φακού.
5. Υπολογισμός εξωτερικών παραμέτρων: Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις εξωγενείς παραμέτρους, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων για κάθε εικόνα βαθμονόμησης. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν την τρισδιάστατη ανακατασκευή και χαρτογράφηση.
6. Αφού λάβουμε τα αρχικά αποτελέσματα βαθμονόμησης, μπορεί να χρειαστεί να τα βελτιώσουμε περαιτέρω επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία βαθμονόμησης, τραβώντας

περισσότερες εικόνες ή προσαρμόζοντας τις ρυθμίσεις βαθμονόμησης. Αυτό το επαναληπτικό βήμα βοηθά στη βελτίωση της ακρίβειας της βαθμονόμησης.

7. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία βαθμονόμησης, θα έχουμε τις εγγενείς και εξωτερικές παραμέτρους του ESP32-CAM. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση της παραμόρφωσης στις εικόνες που τραβήχτηκαν ή για την εκτέλεση εργασιών ανακατασκευής 3D με ακρίβεια.



Εικόνα 5.1: Σκακιέρα σε διάφορες στάσεις



Εικόνα 5.2: Αποτέλεσμα της βαθμονόμησης στη σκακιέρα

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βαθμονόμησης θα διαφέρουν ανάλογα με την κάμερα και τον στόχο βαθμονόμησης που χρησιμοποιείται.

Οι εγγενείς παράμετροι θα περιλαμβάνουν τιμές όπως η εστιακή απόσταση, οι συντεταγμένες του κύριου σημείου και οι συντελεστές παραμόρφωσης.

Οι εξωτερικές παράμετροι θα αποτελούνται από πίνακες περιστροφής και μετάφρασης ή διανύσματα που αντιπροσωπεύουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο για κάθε εικόνα βαθμονόμησης.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διαδικασία βαθμονόμησης μπορεί να είναι περίπλοκη και ότι υπάρχουν διαθέσιμες βιβλιοθήκες και εργαλεία που απλοποιούν τη διαδικασία. Το OpenCV, για παράδειγμα, παρέχει ολοκληρωμένες λειτουργίες βαθμονόμησης κάμερας και παραδείγματα που μπορούν να προσαρμοστούν για το ESP32-CAM.

Αποτελέσματα:

Η βαθμονόμηση κάμερας είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των εγγενών και εξωτερικών παραμέτρων μιας κάμερας. Βοηθά στη διόρθωση των παραμορφώσεων του φακού και στη λήψη ακριβών μετρήσεων από τις εικόνες της κάμερας.

Μετά την επιτυχή βαθμονόμηση ενός ESP32-CAM, λαμβάνουμε ένα σύνολο παραμέτρων κάμερας. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τη μήτρα της κάμερας, τους συντελεστές παραμόρφωσης και πιθανώς τα διανύσματα περιστροφής και μετάφρασης.

Camera matrix (intrinsic parameters) - Πίνακας κάμερας (εγγενείς παράμετροι):

[fx 0 cx]

[0 fy cy]

[0 0 1]

[6.7718330030931088e+02, 0., 2.9875385710547732e+02, 0.,
6.7569125645413158e+02, 2.4095124379975738e+02, 0., 0., 1.]

Η μήτρα κάμερας καθορίζει τη σχέση μεταξύ των συντεταγμένων εικόνας της κάμερας και των συντεταγμένων του πραγματικού κόσμου. Αποτελείται από τις εστιακές αποστάσεις (f_x και f_y) κατά μήκος των αξόνων x και y , αντίστοιχα, και το οπτικό κέντρο (c_x , c_y) της εικόνας.

Distortion coefficients - Συντελεστές παραμόρφωσης:

[k1 k2 p1 p2 k3]
[3.0906027562479838e-01,
-1.5486468678641878e+00,
-6.9108839785743557e-03,
6.7584607091765126e-03,
1.3612547232455898e+00,]

Οι συντελεστές παραμόρφωσης αντιπροσωπεύουν παραμορφώσεις του φακού, όπως ακτινικές και εφαπτομενικές παραμορφώσεις. Βοηθούν στη διόρθωση της εικόνας για να γίνει πιο ακριβής και ευθύγραμμη. Οι συντελεστές k_1 , k_2 , k_3 αντιπροσωπεύουν την ακτινική παραμόρφωση, ενώ οι p_1 και p_2 αντιπροσωπεύουν την εφαπτομενική παραμόρφωση.

Rotation and translation vectors (extrinsic parameters) - Διανύσματα περιστροφής και μετάφρασης (εξωτερικές παράμετροι):

[R t]

rvecs: "(array([[-0.15982519],\n [-0.19655659],\n [0.00491252]]), array([[-0.07972062],\n [-0.21349311],\n [0.01412715]]), array([[-0.12349906],\n [-0.16410924],\n [-0.04075232]]), array([[-0.04509217],\n [-0.13020304],\n [0.01271535]]))"

tvecs: "(array([[-3.63070315],\n [-3.32900774],\n [12.57210083]]), array([[-3.54130966],\n [-3.12493996],\n [12.18280088]]), array([[-3.44895887],\n [-3.25600389],\n [12.25256972]]), array([[-3.5994286],\n [-3.36094353],\n [13.46899227]]))"

Αυτά τα διανύσματα περιγράφουν τον προσανατολισμό και τη θέση της κάμερας σε σχέση με ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Το R αντιπροσωπεύει τον πίνακα περιστροφής και το t αντιπροσωπεύει το διάνυσμα μετάφρασης.

Με αυτές τις παραμέτρους της κάμερας, μπορούμε να καταργήσουμε την παραμόρφωση των εικόνων που τραβήχτηκαν από το ESP32-CAM, να διορθώσουμε και να εκτελέσουμε διάφορες εργασίες όρασης υπολογιστή, όπως ανίχνευση αντικειμένων, παρακολούθηση και μέτρηση με βελτιωμένη ακρίβεια.

5.2 Αντιστοίχιση pixel σε mm

Για να προσδιορίσουμε την αντιστοιχία μεταξύ εικονοστοιχείων και χιλιοστών σε μια εικόνα, πρέπει να γνωρίζουμε την ανάλυση της εικόνας και το φυσικό μέγεθος του αντικειμένου που καταγράφεται.

Η ανάλυση μιας εικόνας συνήθως περιγράφεται σε pixel ανά ίντσα (PPI) ή σε κουκκίδες ανά ίντσα (DPI). Αντιπροσωπεύει τον αριθμό των pixel που υπάρχουν σε μία ίντσα της εικόνας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση, τόσο περισσότερα pixel ανά ίντσα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη λεπτομέρεια εικόνας.

Μπορούμε να υπολογίσουμε την αντιστοιχία μεταξύ pixel και χιλιοστών χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

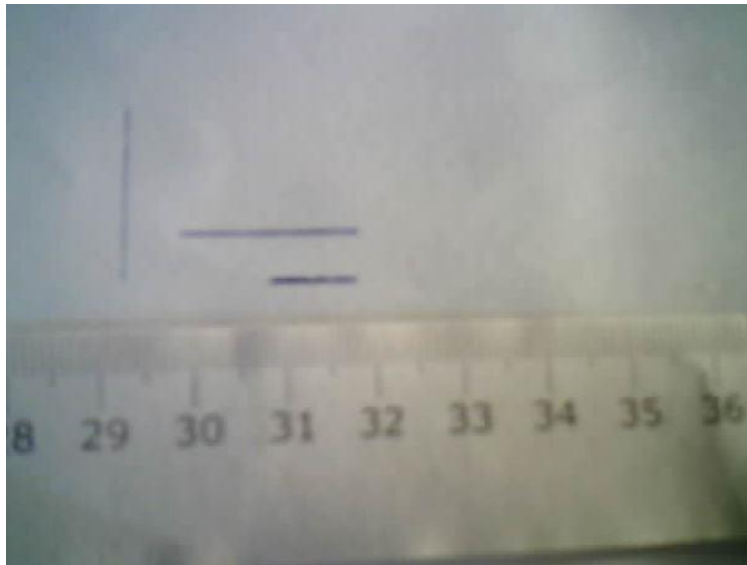
$$\text{Μέγεθος pixel (mm)} = \text{Φυσικό μέγεθος (mm)} / \text{Αριθμός pixel}$$

Σε μια εικόνα με ανάλυση 640 x 480 και θέλουμε να προσδιορίσουμε το μέγεθος pixel που αντιστοιχεί σε φυσικό μέγεθος 64 mm x 48 mm.

$$\text{Μέγεθος pixel (mm)} = 64 \text{ mm} / 640 \text{ pixel} = 0,12 \text{ mm ανά pixel}$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτός ο υπολογισμός προϋποθέτει έναν τετράγωνο λόγο διαστάσεων για τα εικονοστοιχεία. Εάν τα εικονοστοιχεία στην εικόνα σας δεν είναι τετράγωνα ή η εικόνα έχει κλιμακωθεί, το μέγεθος των εικονοστοιχείων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την κατεύθυνση (οριζόντια ή κατακόρυφα). Σε τέτοιες περιπτώσεις, ίσως χρειαστεί να εξετάσετε ξεχωριστούς υπολογισμούς για τις οριζόντιες και κάθετες διαστάσεις της εικόνας.

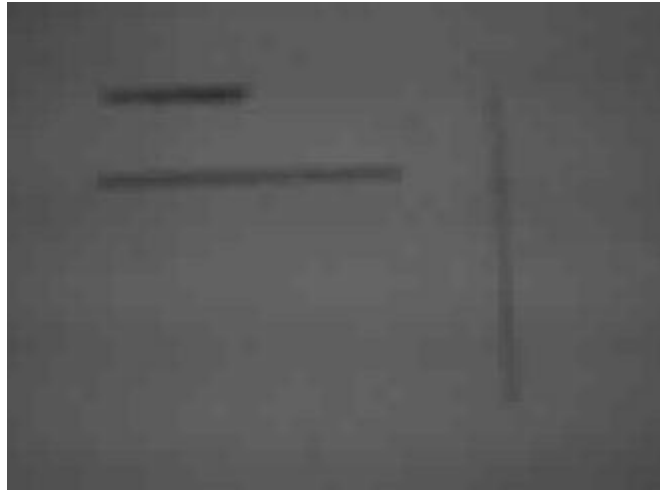
Για αυτό και το πεδίο που μελετάμε πρέπει να έχει ακριβώς η ίδια αναλογία.



Εικόνα 5.3: Έτοιμος Ruler για οδηγός



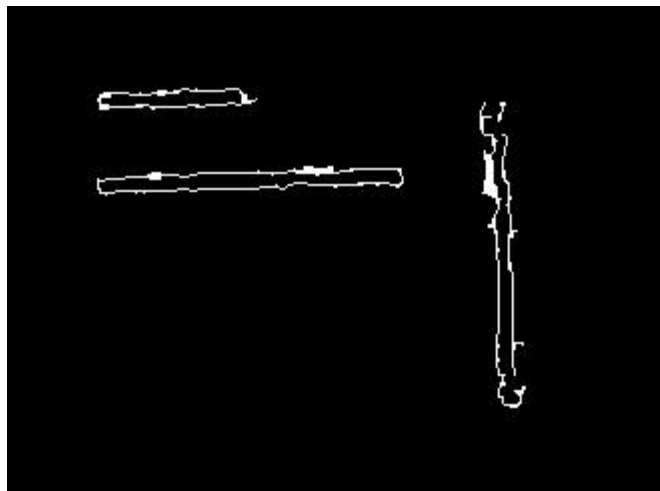
Εικόνα 5.4: Εικόνες με αντικείμενο μέτρησης – έγχρωμη και greyscale



Εικόνα 5.5: Εικόνα με αντικείμενο μέτρησης για αντιστοίχιση pixels σε mm

Για μέτρηση της αντιστοίχισης χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εικόνες όμοιες με την Εικόνα 5.4 όπου όλα τα ευθύγραμμα τμήματα είναι γνωστά σε μέγεθος.

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης ακμών με Canny detector έχει ως αποτέλεσμα την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.6: Εικόνα ανίχνευσης ακμών με Canny detector

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις για βελτίωση

Αυτή η μελέτη χρησιμοποιεί επεξεργασία εικόνας κάμερας σε πραγματικό χρόνο για τη μέτρηση αποστάσεων 2D. Το esp32-cam είναι ένα χαμηλού κόστους και έχει αργή κάμερα. Η μελέτη και η ανάλυση των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου αναπτυξιακού καθώς και των αποτελεσμάτων της μέτρησης της απόστασης σε δύο διαστάσεις είναι μερικοί από τους βασικούς στόχους της εργασίας. Ένας ρομποτικός βραχίονας ή ένας ενεργοποιητής είναι παραδείγματα συστημάτων μέτρησης χαρακτηριστικών κίνησης σε πραγματικό χρόνο που υλοποιούνται ως αποτέλεσμα της επιτυχίας της μέτρησης απόστασης από έναν μικροελεγκτή. Τα ευρήματα έδειξαν ότι ο μικροελεγκτής είναι ικανός να λάβει μια εικόνα, να την επεξεργαστεί και στη συνέχεια να εμφανίσει την εκτιμώμενη απόσταση με μεγάλη σφάλμα αλλά με αποδεκτή ακρίβεια. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση ενός κινούμενου αντικειμένου και τη μέτρηση της σχετικής κίνησής του, αλλά σε πολύ χαμηλή ταχύτητα λόγω μικρού ρυθμού καρέ της κάμερας.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

- <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- <http://esp32.net/>
- <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-video-streaming-face-recognition-arduino-ide/>
- Fraser, C. S. (1997). Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 52(4), 149-159.
- Remondino, F., & Fraser, C. (2006). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 266-272.
- Clarke, T. A., & Fryer, J. G. (1998). The development of camera calibration methods and models. *The Photogrammetric Record*, 16(91), 51-66.
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(11), 1330-1334.
- Weng, J., Cohen, P., & Herniou, M. (1992). Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 14(10), 965-980.
- Qi, W., Li, F., & Zhenzhong, L. (2010, May). Review on camera calibration. In *2010 Chinese control and decision conference* (pp. 3354-3358). IEEE.
- Zhang, Z. (2004). Camera calibration with one-dimensional objects. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 26(7), 892-899.
- Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, May). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Rai, P., & Rehman, M. (2019, January). ESP32 based smart surveillance system. In *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)* (pp. 1-3). IEEE.
- Pravalika, V., & Prasad, C. R. (2019). Internet of things based home monitoring and device control using Esp32. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(1S4), 58-62.
- Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, V. K., & Safargalin, I. N. (2021, November). Internet of things (IoT) security alarms on ESP32-CAM. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2096, No. 1, p. 012109). IOP Publishing.
- Purnamasari, A. I., & Setiawan, A. (2019). Pengembangan Passive Infrared Sensor (PIR) HC-SR501 dengan Microcontrollers ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT) dan Smart Home sebagai Deteksi Gerak untuk Keamanan Perumahan. *Prosiding SISFOTEK*, 3(1), 148-154.
- Yevsieiev, V., & Luchaninova, O. (2022). *Development of the Environmental Visualization System Based on ESP32-CAM* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).

- Kaur, A., Jadli, A., Sadhu, A., Goyal, S., & Mehra, A. (2021, November). Cloud Based Surveillance using ESP32 CAM. In *2021 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IoE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Reddy, V. S. N., Kumar, S. P., Venkat, B., & Priyanka, J. S. (2021, December). IoT based social distance checking robot using Esp32-Cam. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2407, No. 1, p. 020011). AIP Publishing LLC.
- Valocký, F., Drahoš, P., & Haffner, O. (2020). Measure distance between camera and object using camera sensor. In *2020 Cybernetics & Informatics (K&I)* (pp. 1-4). IEEE.
- Hofmeester, T. R., Rowcliffe, J. M., & Jansen, P. A. (2017). A simple method for estimating the effective detection distance of camera traps. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(2), 81-89.
- Xiaoming, L., Tian, Q., Wanchun, C., & Xingliang, Y. (2010, February). Real-time distance measurement using a modified camera. In *2010 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)* (pp. 54-58). IEEE.
- Firat, M. (2023). How chat GPT can transform autodidactic experiences and open education. *Department of Distance Education, Open Education Faculty, Anadolu Unive.*
- Qadir, J. (2023, May). Engineering education in the era of ChatGPT: Promise and pitfalls of generative AI for education. In *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1-9). IEEE.
- Yamaguti, N., Oe, S., & Terada, K. (1997, July). A method of distance measurement by using monocular camera. In *Proceedings of the 36th SICE annual conference. International session papers* (pp. 1255-1260). IEEE.
- Rahman, K. A., Hossain, M. S., Bhuiyan, M. A. A., Zhang, T., Hasanuzzaman, M., & Ueno, H. (2009, June). Person to camera distance measurement based on eye-distance. In *2009 Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering* (pp. 137-141). IEEE.
- Dharampal, V. M. (2015). Methods of image edge detection: A review. *J. Electr. Electron. Syst*, 4(2), 2332-0796.
- Dhankhar, P., & Sahu, N. (2013). A review and research of edge detection techniques for image segmentation. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2(7), 86-92.
- Spontón, H., & Cardelino, J. (2015). A review of classic edge detectors. *Image Processing On Line*, 5, 90-123.
- ZHANG, W. C., Kong, X. N., & Song, W. (2015). Review of image corner detection algorithms. *ACTA ELECTRONICA SINICA*, 43(11), 2315.
- Dutta, A., Kar, A., & Chatterji, B. N. (2008). Corner detection algorithms for digital images in last three decades. *IETE Technical Review*, 25(3), 123-133.
- Naimeng, C., & Wanjun, Y. (2020, November). A Review of Corner Detection Algorithms Based on Image Contour. In *2020 5th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)* (pp. 221-224). IEEE

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι κώδικες που χρησιμοποιηθήκαν.

A.1. Κώδικας Βαθμονόμησης

```
import numpy as np
import cv2
import glob

# termination criteria
criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS + cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 30, 0.001)
# prepare object points, like (0,0,0), (1,0,0), (2,0,0) ....., (6,5,0)
objp = np.zeros((7*7,3), np.float32)

objp[:, :2] = np.mgrid[0:7,0:7].T.reshape(-1,2)
# Arrays to store object points and image points from all the images.
objpoints = [] # 3d point in real world space
imgpoints = [] # 2d points in image plane.

images = glob.glob(r'chess*.jpg')

found = 0
for fname in images:
    print("in1 "+str(found))
    img = cv2.imread(fname)

    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Find the chess board corners
    ret, corners = cv2.findChessboardCorners(gray, (7,7), None)

    # If found, add object points, image points (after refining them)
    found = found + 1
```

```

if ret == True:
    objpoints.append(objp) # Certainly, every loop objp is the same, in 3D.

    corners2 = cv2.cornerSubPix(gray,corners,(7,7),(-1,-1),criteria)
    imgpoints.append(corners2)

    # Draw and display the corners
    img = cv2.drawChessboardCorners(img, (7,7), corners2, ret)
    # Enable the following 2 lines if you want to save the calibration images.
    filename = str(found) + ".jpg"
    cv2.imwrite(filename, img)

    found += 1

cv2.imshow('img', img)
#cv2.waitKey(5000)

cv2.destroyAllWindows()

ret, mtx, dist, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(objpoints, imgpoints, gray.shape[:-1], None, None)

# Python code to write the image (OpenCV 3.2)
fs = cv2.FileStorage('calibration.yml', cv2.FILE_STORAGE_WRITE)
fs.write('ret', ret)
fs.write('camera_matrix', mtx)
fs.write('dist_coeff', dist)
fs.write('rvecs', str(rvecs))
fs.write('tvecs', str(tvecs))
fs.release()

```

A.2. Κώδικας Μέτρησης

```
# USAGE

# python distance_between.py --image images/example_03.png --width 1

# import the necessary packages
from scipy.spatial import distance as dist
from imutils import contours
from imutils import perspective
import numpy as np
import imutils
import argparse
import cv2

def midpoint(ptA, ptB):
    return ((ptA[0] + ptB[0]) * 0.5, (ptA[1] + ptB[1]) * 0.5)

# construct the argument parse and parse the arguments
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-i", "--image", required=True,
                help="path to the input image")
ap.add_argument("-w", "--width", type=float, required=True,
                help="width of the left-most object in the image (in cm)")
args = vars(ap.parse_args())

# load the image, convert it to grayscale, and blur it slightly
image = cv2.imread(args["image"])
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
gray = cv2.GaussianBlur(gray, (7, 7), 0)

# perform edge detection, then perform a dilation + erosion to
# close gaps in between object edges
edged = cv2.Canny(gray, 5, 2)
```

```

#edged = cv2.Canny(gray, 14, 10)
edged = cv2.dilate(edged, None, iterations=1)
edged = cv2.erode(edged, None, iterations=1)

filename = "canny.jpg"
cv2.imwrite(filename, edged)

# find contours in the edge map
cnts = cv2.findContours(edged.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
                        cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cnts = imutils.grab_contours(cnts)

# sort the contours from left-to-right and, then initialize the
# distance colors and reference object
(cnts, _) = contours.sort_contours(cnts)
colors = ((0, 0, 255), (240, 0, 159), (0, 165, 255), (255, 255, 0),
          (255, 0, 255))
refObj = None

counter=0
# loop over the contours individually
for c in cnts:

    perimeter = cv2.arcLength(c,True)
    if perimeter < 1500:
        continue
    print(perimeter)
    counter = counter + 1

# compute the rotated bounding box of the contour
box = cv2.minAreaRect(c)
box = cv2.cv.BoxPoints(box) if imutils.is_cv2() else cv2.boxPoints(box)
box = np.array(box, dtype="int")

```

```

box = perspective.order_points(box)

# compute the center of the bounding box
cX = np.average(box[:, 0])
cY = np.average(box[:, 1])
if refObj is None:
    (tl, tr, br, bl) = box
    (tlblX, tlblY) = midpoint(tl, bl)
    (trbrX, trbrY) = midpoint(tr, br)

    D = dist.euclidean((tlblX, tlblY), (trbrX, trbrY))
    refObj = (box, (cX, cY), D / args["width"])
    print("D= ",D)
    print("1 pixel is = ",2.2/D, " cm") #640x480
    print("1 cm is = ",D/2.2, " pixel")
    print(refObj)
    continue

print("counter= ",counter)
if counter == 2:
    print("ruler= ",box)

# draw the contours on the image
orig = image.copy()
cv2.drawContours(orig, [box.astype("int")], -1, (0, 255, 0), 2)
cv2.drawContours(orig, [refObj[0].astype("int")], -1, (0, 255, 0), 2)

refCoords = np.vstack([refObj[0], refObj[1]])
objCoords = np.vstack([box, (cX, cY)])

```

A.3. Κώδικας esp32-cam για λήψη frame by frame

```
#include "esp_camera.h"
#include <WiFi.h>
#include "rBase64.h"
#include "base64.h"
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER

#include "camera_pins.h"

const char* ssid = "";
const char* password = " ";

const char* TCP_HOST = "192.168.2.14";

void startCameraServer();

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.setDebugOutput(true);
  Serial.println();

  camera_config_t config;
  config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
  config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
  config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
  config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
  config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
  config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
  config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
  config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
  config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
  config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
  config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
  config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
  config.pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
  config.pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
  config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
  config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
  config.xclk_freq_hz = 20000000;
  config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
  //config.pixel_format = PIXFORMAT_GRAYSCALE;

  //init with high specs to pre-allocate larger buffers
  if(psramFound()){
    config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA;
    //config.frame_size = FRAMESIZE_VGA;
```

```

    config.jpeg_quality = 10;
    config.fb_count = 2;
    Serial.println("yes psramFound");
} else {
    config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;
    config.jpeg_quality = 12;
    config.fb_count = 1;
    Serial.println("no psramFound");
}

#if defined(CAMERA_MODEL_ESP_EYE)
    pinMode(13, INPUT_PULLUP);
    pinMode(14, INPUT_PULLUP);
#endif

// camera init
esp_err_t err = esp_camera_init(&config);
if (err != ESP_OK) {
    Serial.printf("Camera init failed with error 0x%x", err);
    return;
}

sensor_t * s = esp_camera_sensor_get();
s->set_special_effect(s, 2);

//initial sensors are flipped vertically and colors are a bit saturated
if (s->id.PID == OV3660_PID) {
    s->set_vflip(s, 1);//flip it back
    s->set_brightness(s, 1);//up the blightness just a bit
    s->set_saturation(s, -2);//lower the saturation
}

#if defined(CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE)
    s->set_vflip(s, 1);
    s->set_hmirror(s, 1);
#endif

WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");

startCameraServer();

```

```

Serial.print("Camera Ready! Use 'http://");
Serial.print(WiFi.localIP());
Serial.println("' to connect");
}

void loop() {

    unsigned long StartTime = millis();
    camera_fb_t * fb = NULL;
    fb = esp_camera_fb_get();

    if (!fb) {
        Serial.println("Camera capture failed");
    }
    else {

        const char *data = (const char *)fb->buf;
        size_t size = fb->len;

        //Για αποστολή σε server
        String dataString = base64::encode(fb->buf, fb->len);
        //String serverName = "https://www.xxxxxxxxxxxxx.com//postthephoto";
        //http.begin(serverName.c_str());
        //http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
        //String httpRequestData = "image="+dataString;
        //int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);

        //Εδώ γίνεται επεξεργασία των δεδομένων της εικόνας για εύρεση του άκρου
        //Κώδικας A4

        unsigned long CurrentTime = millis();
        unsigned long ElapsedTime = CurrentTime - StartTime;

        Serial.print("ElapsedTime= ");
        Serial.println(ElapsedTime);

    }
    esp_camera_fb_return(fb);

    delay(2);
}

```

A.4. Κώδικας για ανίχνευση ακμών και μέτρηση απόστασης

```
fb = esp_camera_fb_get();
if (!fb)
return;

Image img(fb->width, fb->height);
memcpy(img.data, fb->buf, fb->len);

esp_camera_fb_return(fb);

cv::Mat frame(img.height, img.width, CV_8UC3, img.data);
cv::Mat grayFrame;
cv::cvtColor(frame, grayFrame, cv::COLOR_RGB2GRAY);
cv::Mat edges;
cv::Canny(grayFrame, edges, cannyThreshold1, cannyThreshold2);

// Measure distance on the line
cv::Point lineStart(lineX1, lineY1);
cv::Point lineEnd(lineX2, lineY2);

cv::LineIterator lineIterator(edges, lineStart, lineEnd);
int numPixels = lineIterator.count;
int distance = 0;

for (int i = 0; i < numPixels; ++i, ++lineIterator) {
    if (lineIterator.pos().x == lineIterator.pos().y) {
        distance = i;
        break;
    }
}

Serial.print("Apostasi stin grammi: ");
Serial.println(distance);
```