



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκπαίδευση και αξιολόγηση μοντέλου Deformable Shape Tracking (DEST)
για στοίχιση σχήματος ψαριού**

ΜΑΡΙΝΟΠΟΥΛΟΥ ΙΟΥΛΙΑ

7177

[Όνοματεπώνυμο και βαθμίδα επιβλέποντος]

Πτυχιακή εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

ΠΑΤΡΑ, [μήνας/έτος]

Μαρινοπούλου Ιουλία

© Η' – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε

από την

Μαρινοπούλου Ιουλία

7177

την [ημέρα, μήνα, έτος]

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα. Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

**Εκπαίδευση και αξιολόγηση μοντέλου Deformable Shape Tracking (DEST) για στοίχιση
σχήματος ψαριού**

Μαρινοπούλου Ιουλία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μηχανική μάθηση (Machine Learning) και οι αλγόριθμοί της, όπως και η επιστήμη των υπολογιστών, αποτελούν τομείς ανάπτυξης στους οποίους έχουν επικεντρωθεί οι επιστήμονες και παρουσιάζουν συνεχώς πρόοδο με τη πάροδο του χρόνου. Κύριος στόχος των προσπαθειών αυτών είναι η διευκόλυνση διαφόρων διαδικασιών στη καθημερινότητα των εργαζομένων με τη χρήση νέων εργαλείων, αλλά και γενικότερα των ανθρώπων, μέσα από τη δημιουργία διαφόρων προγραμμάτων και εφαρμογών λογισμικού.

Ένας από τους τομείς που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι εκείνος της τεχνικής παρακολούθησης αλληλουχιών σχημάτων (Deformable Shape Tracking). Η Deformable Shape Tracking είναι μια τεχνική παρακολούθησης αντικειμένων είτε σε βίντεο, είτε και σε εικόνα, η οποία αποσκοπεί είτε στην ανίχνευση και την παρακολούθηση της κίνησης αντικειμένων που μπορούν να αλλάξουν σχήμα και να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της κίνησής τους, είτε αντίστοιχα για την εντοπισμό του σχήματος συγκεκριμένων αντικειμένων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως η αναγνώριση αντικειμένων σε βίντεο παρακολούθησης, η ρομποτική, η αυτόνομη οδήγηση και άλλα συστήματα που απαιτούν την παρακολούθηση αντικειμένων κατά τη διάρκεια της κίνησής τους.

Λέξεις κλειδιά

Μηχανική Μάθηση, Παρακολούθηση Αλληλουχιών Σχημάτων

**Deformable shape Tracking (DEST) model training and evaluation for fish shape
alignment**

Marinopoulou Ioulia

ABSTRACT

Machine learning and its algorithms, also like computer science, are areas of development that scientists have focused on and show continuous progress. The main objective of these efforts is to facilitate various processes in the everyday life of employees using new tools, but also people in general, through the creation of various software programs and applications.

One of the areas of particular interest is that of the Deformable Shape Tracking technique. Deformable Shape Tracking is an object tracking technique either in video or in image, which aims either to detect and track the movement of objects that can change shape and change during their movement, or to identify the shape of specific objects. This technique is used in many fields, such as object recognition in surveillance video, robotics, autonomous driving, and other systems that require tracking objects during their movement.

Machine Learning, Deformable Shape Tracking

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Τομείς συσχετιζόμενοι με τη μηχανική μάθηση	3
Σχήμα 2. Είδη Προβλημάτων	7
Εικόνα 3. Εγκατάσταση Visual Studio	27
Εικόνα 4. Επιλογή VS Community.....	27
Εικόνα 5. Στοιχεία εγκατάστασης DEST	29
Εικόνα 6. Εγκατάσταση OpenCV.....	29
Εικόνα 7. Βιβλιοθήκη Eigen.....	30
Εικόνα 8. Solution Explorer.....	31
Εικόνα 9. Δομή DEST	32
Εικόνα 10. Προσθήκη υπό-φακέλου.....	32
Εικόνα 11. Προσθήκη Item.....	32
Εικόνα 12. Τοποθεσία Items.....	33
Εικόνα 13. Επιλογή dest_train	33
Εικόνα 14. Command Arguements.....	34
Εικόνα 15. Μεταβλητές	34
Εικόνα 16. Ρυμίσεις για προχωρημένους	35
Εικόνα 17. Μεταβλητές Περιβάλλοντος.....	35
Εικόνα 18. Επιλογή μονοπατιών.....	36
Εικόνα 19. Προσθήκη Μονοπατιού.....	36
Εικόνα 20. VC++ Directories	37
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών	ix

Εικόνα 21. Επεξεργασία βιβλιοθηκών.....	37
Εικόνα 22. Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών	38
Εικόνα 23 Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών.2	38
Εικόνα 24. Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών.3	38
Εικόνα 25. Εντοπισμός βιβλιοθήκης OpenCV	39
Εικόνα 26. Προσθήκη επιπλέον βιβλιοθήκης.....	39
Εικόνα 27. Εντοπισμός επιπλέον βιβλιοθήκης	39
Εικόνα 28. Build του προγράμματος	40
Εικόνα 29. Επιλογή κατάλληλης λειτουργία	40
Εικόνα 30. Επιτυχές Build του προγράμματος.....	41
Εικόνα 31. Εργαλείο LAE	42
Εικόνα 32. Annotated dataset	43
Εικόνα 33. Συντεταγμένες landmarks.....	43
Εικόνα 34. Αριθμός Landmarks	44
Εικόνα 35. Τοποθέτηση landmarks	44
Εικόνα 36. Αποτέλεσμα εκπαίδευσης.....	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1. Ανάπτυξη Μηχανικής Μάθησης **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
- Πίνακας 2. Ενδεικτικές εφαρμογές μηχανικής μάθησης **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VI
ABSTRACT.....	VIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	IX
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	XII
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	XIV
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ – MACHINE LEARNING.....	3
1.1 Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	3
1.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	4
1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	6
1.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ	8
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	10
2. DEFORMABLE SHAPE TRACKING	13
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	13
2.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΥ DEFORMABLE SHAPE TRACKING	16
2.3 ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ DEFORMABLE SHAPE TRACKING ...	22
3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	26
3.1 ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DATASET	26
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	28
3.3 ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	31

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ FUTURE WORK.....	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εικονική ανάλυση και επεξεργασία εικόνων έχουν γνωρίσει μια εκθετική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, επιτρέποντας την εξαγωγή πληροφοριών και γνώσης από τις εικόνες που περιβάλλουν τον κόσμο μας. Με την αύξηση της διαθεσιμότητας ψηφιακών εικόνων και της υπολογιστικής ισχύος, οι μέθοδοι αναγνώρισης προτύπων και ανάλυσης μορφής έχουν εξελιχθεί σε σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση της περιεχομένης πληροφορίας σε εικόνες.

Ένας τομέας που έχει κερδίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας είναι η ευθυγράμμιση μορφής (shape alignment) σε εικόνες ψαριών. Η μορφή των ψαριών αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την ταξινόμηση, την αναγνώριση ειδών και την κατανόηση της φυσιολογίας τους. Η ευθυγράμμιση μορφής αποσκοπεί στην εύρεση μιας κοινής μορφής αναφοράς που θα ευθυγραμμίζει τις διάφορες μορφές των ψαριών σε μια συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό. Αυτή η διαδικασία μπορεί να διευκολύνει την ανάλυση και τη σύγκριση των ψαριών με βάση τη μορφολογία τους, καθιστώντας δυνατή την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών για τη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των ειδών.

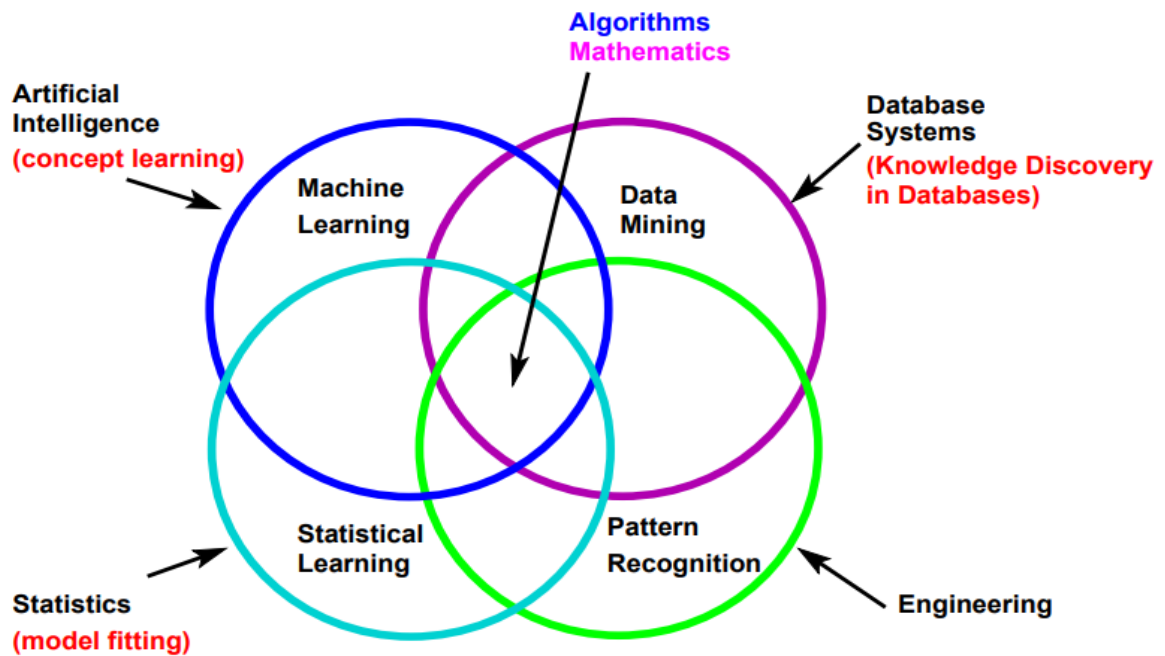
Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, εξετάζουμε την πρόκληση της ευθυγράμμισης μορφής σε εικόνες ψαριών και παρουσιάζουμε ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε για αυτόν τον σκοπό. Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Visual Studio 2019 και βασίστηκε σε σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης εικόνας και υπολογιστικής όρασης. Εξετάζουμε τις διάφορες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται κατά τη δημιουργία ενός τέτοιου προγράμματος και παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της απόδοσης του προγράμματος σε πραγματικές εικόνες ψαριών.

1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ – MACHINE LEARNING

1.1 Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

«Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέγεται ότι μαθαίνει από την εμπειρία E σε σχέση με κάποια εργασία T και κάποιο μέτρο απόδοσης P , εάν η απόδοσή του στο T , όπως μετρείται από το P , βελτιώνεται με την εμπειρία E ». Ο παραπάνω ορισμός, όπως δόθηκε από τον Tom M. Mitchell (1997), είναι ο πλέον ακριβής που εξηγεί το τι εστί μηχανική μάθηση.

A multi-domain view



Εικόνα 1. Τομείς συσχετιζόμενοι με τη μηχανική μάθηση

1.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης είναι μαθηματικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ενός υπολογιστικού συστήματος να αναγνωρίζει πρότυπα και συσχετίσεις στα δεδομένα. Με τη βοήθεια αυτών των αλγορίθμων, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν να εκπαιδευτούν για να αναγνωρίσουν τα μοτίβα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων και να κάνουν προβλέψεις ή να προτείνουν λύσεις σε προβλήματα. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών από δεδομένα χρησιμοποιώντας στατιστικές και αλγοριθμικές τεχνικές. Αναλόγως με τον τύπο των δεδομένων που επεξεργάζονται και το πρόβλημα που προσπαθούν να λύσουν, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι αλγορίθμων μηχανικής μάθησης..

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους ένας υπολογιστικός αλγόριθμος μπορεί να προσαρμοστεί ως αντίδραση στο αποτέλεσμα. Τα δεδομένα εισόδου μπορούν να επιλεγούν και να σταθμιστούν για να παρέχουν την πιο αποφασιστική έκβαση. Ο αλγόριθμος μπορεί να έχει μεταβλητές αριθμητικές παραμέτρους που προσαρμόζονται μέσω επαναληπτικής βελτιστοποίησης. Ακόμη, μπορεί να έχει ένα δίκτυο από πιθανά υπολογιστικά μονοπάτια που οργανώνει για να οδηγήσουν σε βέλτιστα αποτελέσματα. Επίσης, μπορεί να καθορίσει κατανομές πιθανότητας από τα δεδομένα εισόδου και να τα χρησιμοποιήσει για να προβλέψει τα αποτελέσματα.

Το ιδανικό της μηχανικής μάθησης είναι να μιμηθεί τον τρόπο με τον οποίο τα ανθρώπινα όντα (και άλλα αισθανόμενα πλάσματα) μαθαίνουν να επεξεργάζονται τα αισθητήρια (εισερχόμενα) σήματα για να επιτύχουν ένα στόχο. Ο στόχος αυτός θα μπορούσε να είναι μια εργασία στην αναγνώριση προτύπων, στην οποία ο εκπαιδευόμενος θέλει ξεχωρίσει τα μήλα από τα πορτοκάλια. Κάθε μήλο και πορτοκάλι είναι μοναδικό, αλλά είμαστε ακόμα ικανοί (συνήθως) να ξεχωρίσουμε το ένα από το άλλο. Αντί να προγραμματίσουμε με «σκληρό κώδικα» μια μηχανή με πάρα πολλές ακριβείς αναπαραστάσεις μήλων και πορτοκαλιών, μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να μάθει να τα διακρίνει μέσω επαναλαμβανόμενης εμπειρίας με πραγματικά μήλα και

πορτοκάλια. Αυτό είναι ένα καλό παράδειγμα εποπτευόμενης μάθησης, στην οποία κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης δεδομένων εισόδου (χρώμα, σχήμα, οσμή κλπ) συνδυάζεται με τη γνωστή ετικέτα ταξινόμησης (μήλο ή πορτοκάλι). Επιτρέπει δηλαδή στον αλγόριθμο να αντιμετωπίσει ομοιότητες και διαφορές όταν τα αντικείμενα που πρέπει να ταξινομηθούν έχουν πολλές μεταβλητές ιδιότητες μέσα στις κλάσεις, αλλά εξακολουθούν να έχουν θεμελιώδεις ιδιότητες που τα προσδιορίζουν. Για να μπορέσει να θεωρηθεί ένας αλγόριθμος επιτυχημένος, θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει ένα μήλο ή ένα πορτοκάλι που δεν έχει ξαναδεί.

Ένας δεύτερος τύπος μηχανικής μάθησης είναι ο λεγόμενος αλγόριθμος χωρίς επίβλεψη. Ο τύπος αυτός μπορεί να παρομοιαστεί με την προσπάθεια να πετύχει το κέντρο ενός στόχου με ένα βελάκι. Η συσκευή (ή ο άνθρωπος) έχει ποικίλους βαθμούς ελευθερίας στον μηχανισμό που ελέγχει το μονοπάτι που θα ακολουθήσει το βελάκι. Αντί να προσπαθήσει να προγραμματίσει ακριβώς την κινηματική εκ των προτέρων, ο εκπαιδευόμενος εξασκείται στη ρύθμιση του βέλους. Για κάθε δοκιμή, οι κινηματικοί βαθμοί ελευθερίας είναι ρυθμισμένοι έτσι ώστε το βέλος να πλησιάζει ολοένα και περισσότερο το κέντρο. Αυτό είναι μάθηση «χωρίς επίβλεψη» με την έννοια ότι η εκπαίδευση δεν συνδέει μια συγκεκριμένη κινηματική διαμόρφωση εισόδου με ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Ο αλγόριθμος βρίσκει τον δικό του τρόπο μέσα από τα δεδομένα εισόδου. Ιδανικά, ο εκπαιδευμένος θα είναι σε θέση να προσαρμόσει την μαθημένη κινηματική για να προσαρμόσει, για παράδειγμα, μια αλλαγή στη θέση του στόχου.

Ένας τρίτος τύπος μηχανικής μάθησης είναι η ημί-εποπτευόμενη μάθηση, όπου ένα μέρος των δεδομένων επισημαίνεται και άλλα μέρη δεν φέρουν ετικέτα. Σε ένα τέτοιο σενάριο, το επισημασμένο μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει την εκμάθηση του μη επισημασμένου μέρους. Αυτό το σενάριο προσφέρεται για τις περισσότερες διαδικασίες στη φύση και μιμούνται τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αναπτύσσουν τις δεξιότητές τους. Υπάρχουν δύο ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα σε έναν επιτυχημένο αλγόριθμο. Πρώτη, μπορεί να υποκαταστήσει την επίπονη και επαναλαμβανόμενη ανθρώπινη προσπάθεια. Δεύτερον, και πιο σημαντικό, μπορεί δυνητικά να μάθει πιο περίπλοκα και λεπτά μοτίβα στα δεδομένα εισόδου από ό, τι μπορεί να κάνει ο μέσος ανθρώπινος παρατηρητής. Αυτή η εξοικείωση, όμως, έχει τα όριά της και, κατά συνέπεια, υπάρχει αβεβαιότητα και μεταβλητότητα μεταξύ των παρατηρητών στα

προκύπτοντα πιθανά περιγράμματα. Είναι πιθανό ότι ένας αλγόριθμος για το περίγραμμα μπορεί να πάρει λεπτές αποχρώσεις της υφής ή μορφής σε μια εικόνα ή ταυτόχρονα να ενσωματώσει τα στοιχεία από τις παραπλήσιες πηγές. Η πολυπλοκότητα αυτών των διαδικασιών μπορεί να ποικίλει και να περιλαμβάνει διάφορα στάδια εξελιγμένων αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-μηχανής και λήψης αποφάσεων, τα οποία φυσικά ανοίγουν το δρόμο για τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης με στόχο τη βελτιστοποίηση και την αυτοματοποίηση αυτών των διαδικασιών (et. Issam El Naqa and Martin J. Murphy).

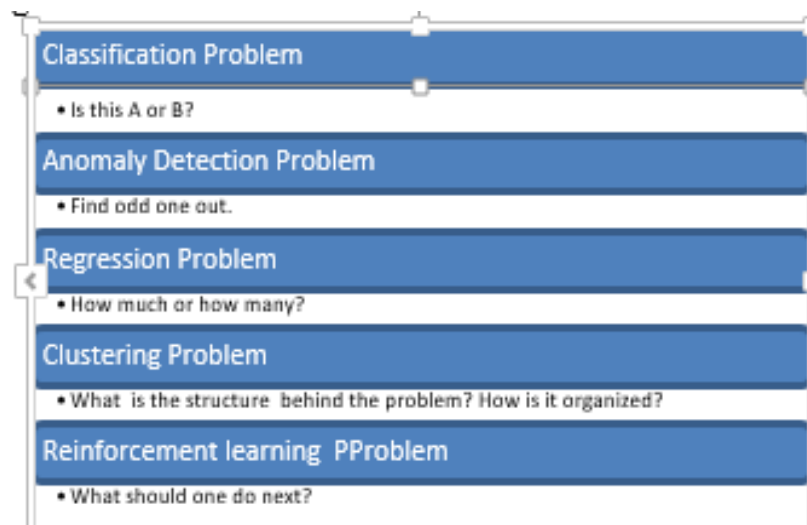
1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Η μηχανική εκμάθηση καλείται να κάνει τους υπολογιστές να εκτελούν αρμονικά το έργο τους χωρίς καμία παρέμβαση από τον άνθρωπο, αλλά με βάση τη γνώση και την εμπειρία που αποκτούν, να κατανοήσουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος και την ανάγκη να προσαρμοστούν ανάλογα και να το επιλύσουν. Οι Hayashi και Chikio (1998) ορίζουν την επιστήμη των δεδομένων ως «μια έννοια για την ενοποίηση στατιστικών, την ανάλυση δεδομένων, τη μηχανική μάθηση και τις σχετικές μεθόδους τους, προκειμένου να κατανοήσουν και να αναλύσουν τα πραγματικά φαινόμενα «με δεδομένα». Πριν από την επίλυση, το πρόβλημα πρέπει να κατηγοριοποιείται κατάλληλα έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί ο πιο κατάλληλος αλγόριθμος.

Έτσι, ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος, μπορεί να εφαρμοστεί μια κατάλληλη προσέγγιση μηχανικής μάθησης. Οι κυριότερες κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα προβλήματα αυτά είναι:

1. **Ταξινόμηση:** Η ταξινόμηση είναι η διαδικασία ταξινόμησης δεδομένων σε διάφορες κατηγορίες. Παραδείγματα αποτελούν η αναγνώριση αντικειμένων σε μια εικόνα, η κατηγοριοποίηση μιας εισόδου ως "συνηθισμένη" ή "εκτός συνήθους", ή η διαχωρισμός μηνυμάτων email σε ανεπιθύμητη αλληλογραφία και μη.

2. **Παλινδρόμηση:** Η παλινδρόμηση είναι η διαδικασία πρόβλεψης ενός συνεχούς αποτελέσματος, όπως η πρόβλεψη τιμών μιας μετοχής ή η πρόβλεψη της θερμοκρασίας της επόμενης ημέρας.
3. **Εντοπισμός ανωμαλιών:** Η μηχανική μάθηση επίσης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ανωμαλιών στα δεδομένα, όπως η ανίχνευση απάτης σε πιστωτικές κάρτες ή η αναγνώριση κακόβουλων εισβολών σε ένα δίκτυο υπολογιστών.
4. **Συσταδοποίηση:** Είναι μια τεχνική ανάλυσης δεδομένων που αναζητά τη δημιουργία ομάδων (συστάδες) από σύνολα δεδομένων, βάσει των ομοιοτήτων τους. Η ιδέα είναι να δημιουργηθούν ομάδες αντικειμένων ή παραδειγμάτων, τα οποία έχουν κοινά χαρακτηριστικά, ενώ τα μέλη κάθε ομάδας διαφέρουν σημαντικά από τα μέλη άλλων ομάδων.
5. **Πρόβλημα ενίσχυσης:** Στη μηχανική μάθηση αναφέρεται στη διαδικασία εκπαίδευσης ενός αλγορίθμου με τη χρήση μιας αλληλεπιδραστικής περιβάλλουσας. Στην εν λόγω περιβάλλουσα, ο αλγόριθμος δέχεται ενισχύσεις ή ποινές (rewards or penalties) ανάλογα με την επίδοσή του σε συγκεκριμένες ενέργειες.



Σχήμα 2. Είδη Προβλημάτων

1.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) χρησιμοποιείται για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων που απαιτούν εκμάθηση εκ μέρους του μηχανήματος. Ένα μαθησιακό πρόβλημα έχει τρία χαρακτηριστικά:

- **Τάξεις εργασιών** (Η εργασία που πρέπει να μάθει κάποιος)
- **Μέτρο απόδοσης που πρέπει να βελτιωθεί**
- **Η διαδικασία απόκτησης εμπειρίας**

Το γενικό μοντέλο της μηχανικής μάθησης αποτελείται από έξι συστατικά ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο που υιοθετήθηκε:

1. Συλλογή και προετοιμασία δεδομένων
2. Επιλογή χαρακτηριστικών
3. Επιλογή αλγορίθμου
4. Επιλογή μοντέλων
5. Εκπαίδευση
6. Αξιολόγηση του μοντέλου

Κάθε στοιχείο του μοντέλου έχει μια συγκεκριμένη εργασία που πρέπει να επιτευχθεί όπως περιγράφεται στη συνέχεια:

Συλλογή και προετοιμασία δεδομένων: Ο κύριος στόχος της διαδικασίας της μηχανικής μάθησης είναι η συλλογή και η προετοιμασία δεδομένων σε μορφή που να μπορεί να δοθεί ως είσοδος στον αλγόριθμο. Τα δεδομένα ιστού είναι συνήθως μη δομημένα και περιέχουν πολύ «θόρυβος», δηλαδή άσχετα δεδομένα καθώς και περιττά δεδομένα. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα πρέπει να καθαριστούν και να προ-επεξεργαστούν σε δομημένη μορφή.

Επιλογή χαρακτηριστικών: Τα δεδομένα που λαμβάνονται από το παραπάνω βήμα ενδέχεται να περιέχουν πολλά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν είναι όλα σχετικά με τη μαθησιακή διαδικασία. Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να καταργηθούν και πρέπει να ληφθεί ένα υποσύνολο των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών.

Επιλογή αλγορίθμου: Δεν είναι κατάλληλοι όλοι οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για όλων των ειδών τα προβλήματα. Η επιλογή του καλύτερου αλγορίθμου μηχανικής μάθησης για το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι επιτακτική για τη λήψη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων.

Επιλογή μοντέλων και παραμέτρων: Πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο μοντέλο μηχανικής μάθησης που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος. Τα διαθέσιμα μοντέλα περιλαμβάνουν αλγορίθμους επιβλεπόμενης μάθησης, αλγορίθμους μη επιβλεπόμενης μάθησης και αλγορίθμους ενίσχυσης.

Εκπαίδευση: Το μοντέλο μαθαίνει από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Στην επιβλεπόμενη μάθηση, το μοντέλο πρέπει να μάθει να προβλέπει τη σωστή απάντηση για κάθε είσοδο. Στη μη επιβλεπόμενη μάθηση, το μοντέλο πρέπει να ανακαλύψει τα κρυφά μοτίβα ή δομές στα δεδομένα εισόδου. Στην ενίσχυση, το μοντέλο πρέπει να μάθει μια στρατηγική που μεγιστοποιεί την ανταμοιβή του.

Αξιολόγηση απόδοσης: Το μοντέλο αξιολογείται σε ένα σύνολο δεδομένων ελέγχου για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση του στην επίλυση του προβλήματος. Αν το μοντέλο δεν παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, τότε πρέπει να προσαρμοστεί η δομή του μοντέλου ή οι παράμετροί του ή να επιλεγεί ένα άλλο μοντέλο.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Τα προβλήματα μηχανικής μάθησης κυμαίνονται από ένα απλό παιχνίδι έως τα αυτοκινούμενα οχήματα. Ο κάτωθι πίνακας περιλαμβάνει μερικές από τις δημοφιλείς εφαρμογές της μηχανικής μάθησης στη πράξη.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Ανεπιθύμητη Αλληλογραφία	Η μηχανική μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί για το φιλτράρισμα ανεπιθύμητων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Το μοντέλο που βασίζεται στη μηχανική μάθηση θα απομνημονεύει απλώς όλα τα μηνύματα που ταξινομούνται ως ανεπιθύμητα μηνύματα από τον χρήστη. Όταν φτάνει νέο email στα εισερχόμενα, το μοντέλο θα αναζητά, θα συγκρίνει και θα βασίζεται στα προηγούμενα μηνύματα spam. Εάν τα νέα μηνύματα ταιριάζουν με οποιοδήποτε από αυτά, θα επισημανθούν ως ανεπιθύμητα, διαφορετικά θα μετακινηθούν στα εισερχόμενα του χρήστη.
Ρομποτική & Τεχνητή Νοημοσύνη	Η μηχανική μάθηση θεωρείται ως η βελτιωμένη προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων. Χρησιμοποιώντας βασικές γνώσεις και δοκιμαστικά δεδομένα σε μοντέλα μηχανικής μάθησης, η πρόοδος αυξάνεται, και μπορεί να μεταφέρει τη ρομποτική και την τεχνητή νοημοσύνη σε επίπεδα επόμενης γενιάς.
Μέθοδοι Bayes	Το Θεώρημα του Bayes είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους για τον υπολογισμό των πιθανών καταστάσεων, δεδομένων των υποθέσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων επιστημονικού περιεχομένου και προβλημάτων analytics με την ενσωμάτωση διάφορων μοντέλων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Μερικά παραδείγματα που επιλύονται χρησιμοποιώντας τις μεθόδους του Bayes είναι:

	<ul style="list-style-type: none">• Προτάσεις στο Netflix• Αυτόματη διόρθωση• Ανίχνευση απάτης με πιστωτική κάρτα• Πρόγνωση του καιρού• Συστήματα διαπραγμάτευσης μετοχών• Αναγνώριση προσώπου
Αυτόνομα Οχήματα	Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης εφαρμόζονται και για την αυτόνομη οδήγηση αυτοκινήτων, drone κ.λπ., όπως είναι για παράδειγμα το Tesla. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης είναι επίσης πολύ αποτελεσματικές στον έλεγχο εφαρμογών που βασίζονται σε αισθητήρες.

Μπορεί η μηχανική μάθηση να βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα καταστάσεων που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος σήμερα, παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ακόμα προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Για παράδειγμα, δεν μπορούν να εντοπιστούν ακόμη με απόλυτη ακρίβεια τα ανεπιθύμητα μηνύματα αλληλογραφίας, οι απάτες μέσω πιστωτικών καρτών κ.οκ. Συνεπώς, όλοι αυτοί αλγόριθμοι επιδέχονται βελτίωσης ώστε να αντιμετωπίζουν την εκάστοτε κατάσταση με απόλυτη επιτυχία.

2. DEFORMABLE SHAPE TRACKING

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η παρακολούθηση του σχήματος είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία εικόνας και βίντεο για να ανιχνεύσει και να ανιχνεύσει αλλαγές στη θέση, το σχήμα και το μέγεθος των αντικειμένων στη σκηνή. Το συγκεκριμένο εγχείρημα αποτελεί ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα, καθώς απαιτεί την αντιμετώπιση πολλών προκλήσεων, όπως η παραμόρφωση του σχήματος, η αλλαγή φωτισμού, η παρουσία αντικειμένων με παρόμοια εμφάνιση και η εμφάνιση κρυμμένων αντικειμένων.

Η επίλυση αυτών των προκλήσεων οδήγησε στη δημιουργία της τεχνικής της παρακολούθησης του παραμορφωμένου σχήματος, γνωστής και ως "deformable shape tracking". Στο deformable shape tracking, οι μεταβολές του σχήματος του αντικειμένου στη σκηνή παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο σχήματος που είναι ευέλικτο και μπορεί να προσαρμοστεί σε αλλαγές του σχήματος του αντικειμένου.

Η ιστορική αναδρομή του deformable shape tracking ξεκινά στη δεκαετία του 1980, όταν δημιουργήθηκαν οι πρώτοι αλγόριθμοι για την παρακολούθηση του παραμορφωμένου σχήματος. Οι αρχικοί αλγόριθμοι βασίζονταν σε μοντέλα που χρησιμοποιούσαν κυκλικές ή ελλειπτικές καμπύλες για να περιγράψουν το σχήμα του αντικειμένου και χρησιμοποιούσαν μεθόδους όπως η κανονικοποίηση της διαδρομής (path normalization) και οι μέθοδοι βασισμένες σε συστάδες (clustering-based methods) για την παρακολούθηση του σχήματος.

Από τότε, η τεχνική του deformable shape tracking έχει εξελιχθεί πολύ, και έχουν δημιουργηθεί πολλά πιο σύγχρονα μοντέλα και αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως η μάθηση βαθιάς επιβλεπόμενης ή μη επιβλεπόμενης μάθησης και οι μέθοδοι βασισμένες σε μοντέλα χωρικού πεδίου (spatial field models). Αυτές οι πιο σύγχρονες προσεγγίσεις έχουν βελτιώσει σημαντικά την απόδοση της παρακολούθησης του σχήματος και έχουν επιτρέψει την επεξεργασία εικόνων και βίντεο με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Η τεχνική του deformable shape tracking έχει εφαρμοστεί σε πολλά πεδία, όπως η αναγνώριση προσώπων, η καταγραφή κίνησης, η ρομποτική και η ιατρική εικονική αποτύπωση.

Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρακολουθήσει το σχήμα του προσώπου κατά τη διάρκεια ενός βίντεο και να αναγνωρίσει τα χαρακτηριστικά του προσώπου, όπως οι μάτιες, τα χείλη και η μύτη. Στην ιατρική, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση και παρακολούθηση της μεταβολής του σχήματος μιας όγκου κατά τη διάρκεια της ακτινοθεραπείας. Γενικά, η τεχνική του deformable shape tracking είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την επεξεργασία εικόνων και βίντεο και έχει πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Ωστόσο, παραμένουν προκλήσεις όπως η αντιμετώπιση του θορύβου, η επαρκής εκπαίδευση του μοντέλου και η απόδοση σε πραγματικό χρόνο, και οι ερευνητές συνεχίζουν να επιδιώκουν βελτιώσεις στην τεχνική.

Οι πρώτες προσπάθειες επικέντρωσαν στην ανίχνευση αντικειμένων σε εικόνες, χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές του σχήματος του αντικειμένου στον χρόνο. Στα μέσα της δεκαετίας του '90, ξεκίνησαν να αναπτύσσονται πρώτες μέθοδοι παρακολούθησης του σχήματος αντικειμένων στον χρόνο, ενώ ταυτόχρονα αναπτύχθηκαν και άλλες τεχνικές για την εξαγωγή του σχήματος αντικειμένων από εικόνες. Μια από τις πρώτες τεχνικές που αναπτύχθηκαν ήταν η Active Shape Models (ASM), η οποία αναλύει την παρουσία ενός αντικειμένου σε μια εικόνα βάσει ενός μοντέλου που περιγράφει το σχήμα του αντικειμένου και τη διακύμανση των χρωμάτων του πάνω στο αντικείμενο. Η τεχνική ASM χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα, αλλά έχει εξελιχθεί σημαντικά.

Μια άλλη σημαντική τεχνική είναι η Active Appearance Models (AAM), η οποία χρησιμοποιεί ένα μοντέλο που περιγράφει τα σχήματα και τα χρώματα των αντικειμένων σε μια εικόνα και τα συνδυάζει για να δημιουργήσει μια πρόβλεψη του πώς αναμένεται να φαίνεται το αντικείμενο σε διαφορετικές θέσεις και στιγμές στον χρόνο. Το AAM επιτρέπει την παρακολούθηση αντικειμένων στον χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες της παραμόρφωσης του σχήματος και των χρωμάτων των αντικειμένων σε διαφορετικές θέσεις στον χρόνο. Πιο πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί και άλλες τεχνικές, όπως το Deformable Part Models (DPM), το οποίο χρησιμοποιεί μια συλλογή από μικρότερα τμήματα αντικειμένων που μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να παρακολουθήσουν το αντικείμενο. Το DPM χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές παρακολούθησης αντικειμένων σε βίντεο. Η τεχνική του deformable shape tracking έχει εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, όπως η παρακολούθηση

αντικειμένων σε βίντεο, η ρομποτική όραση, η ιατρική εικονικής αναπαράστασης, η αναγνώριση προσώπων και η ανίχνευση κινδύνων σε εικόνες ασφάλειας. Επιπλέον, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας και βελτιώνει την ποιότητα της αναπαράστασης των αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο.

Συνολικά, η τεχνική του deformable shape tracking επιτρέπει στους υπολογιστές να αναγνωρίζουν, να παρακολουθούν και να αντιλαμβάνονται αντικείμενα σε εικόνες και βίντεο. Η συνεχής βελτίωση των αλγορίθμων και η ανάπτυξη νέων τεχνικών έχουν καταστήσει το deformable shape tracking ένα απαραίτητο εργαλείο σε πολλούς τομείς και συνεχίζει να εξελίσσεται και να βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου.

2.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΥ DEFORMABLE SHAPE TRACKING

Το deformable shape tracking είναι μια σημαντική τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση κίνησης αντικειμένων σε βίντεο, η αναγνώριση χαρακτηριστικών προσώπων και η ανάλυση ιατρικών εικόνων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο deformable shape tracking συνεχώς εξελίσσονται και βελτιώνονται, και αναμένεται να παραμείνουν σημαντικές για την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στο μέλλον. Επιπλέον, η χρήση μηχανικής μάθησης και ειδικότερα της «βαθιάς μάθησης» (Deep learning) έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του deformable shape tracking.

Μερικά παραδείγματα εφαρμογών τού είναι:

- Παρακολούθηση της κίνησης αντικειμένων σε βίντεο: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρακολουθήσει την κίνηση αντικειμένων σε βίντεο, όπως η παρακολούθηση της κίνησης ενός ανθρώπου ή ενός οχήματος.
- Αναγνώριση χαρακτηριστικών προσώπων: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει τα χαρακτηριστικά του προσώπου, όπως τα μάτια, τα χείλη και η μύτη, σε διάφορες θέσεις και προσανατολίσεις.
- Ανάλυση ιατρικών εικόνων: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ιατρικών εικόνων, όπως εικόνες από μαγνητική τομογραφία και ακτινογραφίες, για την ανίχνευση και την παρακολούθηση αλλοιώσεων στα ιστολογικά και όργανα του σώματος.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο deformable shape tracking, μερικές από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- **Active Shape Models (ASM):** Το ASM είναι ένα προσαρμοστικό στατιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει την κίνηση των σημείων ενός αντικειμένου καθώς αλλάζει η θέση και η σχήμα του αντικειμένου. Το ASM συνήθως χρησιμοποιείται για την

αντιστοίχιση του αντικειμένου σε μια αρχική μορφή και μετά την παρακολούθηση της κίνησης του.

- **Active Appearance Models (AAM):** Το AAM είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της ποιότητας της εικόνας και του σχήματος του αντικειμένου. Η τεχνική αυτή συνδυάζει το ASM με μια διαδικασία που αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά του προσώπου και τα προσαρμόζει στο προσχηματισμένο μοντέλο. Το AAM στη συνέχεια χρησιμοποιεί το μοντέλο για να προσδιορίσει τη θέση και το σχήμα του αντικειμένου σε μια νέα εικόνα, και προσαρμόζει την ποιότητα της εικόνας για να ταιριάξει στο προσχηματισμένο μοντέλο.
- **Point Distribution Models (PDM):** Το PDM είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σχήματος ενός αντικειμένου σε μια εικόνα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα σύνολο από σημεία ενδιαφέροντος, γνωστά ως landmarks, για την αναπαράσταση του σχήματος του αντικειμένου. Το PDM στη συνέχεια χρησιμοποιεί την αναζήτηση των landmarks στην εικόνα για να προσδιορίσει τη θέση και το σχήμα του αντικειμένου.
- **Optical Flow:** Η τεχνική της Optical Flow χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της κίνησης των αντικειμένων σε μια εικόνα. Η τεχνική αυτή αναλύει το κάθε pixel της εικόνας και ανιχνεύει την κίνησή του με την πάροδο του χρόνου. Η κίνηση αυτή χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον προσδιορισμό του σχήματος και της θέσης του αντικειμένου στην εικόνα.

Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές μπορούν να συνδυαστούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή που απαιτεί τον παρακολούθηση της κίνησης ενός αντικειμένου στην εικόνα μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνική της Optical Flow σε συνδυασμό με την Active Shape Model για τον προσδιορισμό του

σχήματος του αντικειμένου. Επιπλέον, μια εφαρμογή που απαιτεί την αναγνώριση των χαρακτηριστικών ενός προσώπου μπορεί να χρησιμοποιήσει το Point Distribution Model σε συνδυασμό με την Active Appearance Model για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του προσώπου σε διάφορες θέσεις και προσανατολίσεις.

Μια άλλη τεχνική είναι η χρήση του Kalman filter, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κίνησης ενός αντικειμένου σε ένα βίντεο. Στην ουσία, ο Kalman filter είναι ένας αλγόριθμος πρόβλεψης κατάστασης, ο οποίος εκτιμά την τρέχουσα κατάσταση ενός συστήματος βασιζόμενος σε μια σειρά μετρήσεων κατά τη διάρκεια του χρόνου. Στην περίπτωση του Deformable Shape Tracking, ο Kalman filter χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τη θέση του αντικειμένου στον επόμενο χρόνο, βασιζόμενος στην προηγούμενη θέση και στις διαθέσιμες πληροφορίες για την κίνηση του αντικειμένου.

Άλλη μια επιπλέον τεχνική είναι η χρήση του Particle filter, ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος παρακολούθησης αντικειμένου που βασίζεται σε στατιστικούς υπολογισμούς. Στην περίπτωση του Deformable Shape Tracking, ο Particle filter χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει την πιθανή θέση του αντικειμένου στον επόμενο χρόνο, βασιζόμενος στην παρούσα θέση του αντικειμένου και στην πληροφορία για την κίνηση του αντικειμένου. Επίσης, μια ακόμη τεχνική είναι το Constrained Local Model (CLM), που αντιμετωπίζει το πρόβλημα της πολλαπλής ερμηνείας των παραμέτρων του μοντέλου προσαρμόζοντας τις παραμέτρους του μοντέλου στην εικόνα χρησιμοποιώντας περιορισμούς και περιθώρια ασφαλείας.

Επιπροσθέτως, υπάρχουν τεχνικές οι οποίες μπορεί να μην είναι τόσο διάσημες, αλλά παρουσιάζουν πάρα πολύ καλά αποτελέσματα κατά την εφαρμογή τους, όπως είναι το active contours, γνωστό και ως snakes. Το active contours αντιπροσωπεύει μια καμπύλη που προσαρμόζεται σε μια εικόνα, με τον στόχο να περικλείει μια περιοχή ενδιαφέροντος και να εξάγει τα χαρακτηριστικά της. Η καμπύλη προσαρμόζεται στην εικόνα με τη χρήση ενός ενεργού μοντέλου, το οποίο περιγράφει την ενέργεια της καμπύλης στο πλαίσιο μιας συνολικής ενεργητικότητας. Η ενεργητικότητα περιλαμβάνει την ενέργεια της καμπύλης (καμυλότητα, μήκος κ.λπ.) καθώς και την ενέργεια της εικόνας (εντοπισμός αντικειμένων, ανίχνευση ακμών κ.λπ.).

Τέλος, θα αναφερθούμε σε μία εξίσου σημαντική τεχνική με τις προηγούμενες, η οποία ονομάζεται graph cuts. Το graph cuts είναι μια τεχνική που ανήκει στην κατηγορία των βασισμένων σε ενέργεια μεθόδων. Ο στόχος του graph cuts είναι να εντοπίσει τον πιο πιθανό συνδυασμό ετικετών για τα pixels ενός εικονικού όγκου βάσει ενός μοντέλου ενέργειας που λαμβάνει υπόψη του τη γεωμετρία του αντικειμένου και το χρωματικό του προφίλ. Στο πλαίσιο αυτό, το graph cuts χρησιμοποιείται για να διαιρέσει την εικόνα σε δύο ή περισσότερα τμήματα, ανάλογα με το αν ένα pixel ανήκει στο αντικείμενο ή όχι. Η μέθοδος αρχικά καθορίζει μια αρχική πρόβλεψη του περιγράμματος του αντικειμένου και στη συνέχεια εκτελεί αλγόριθμους που βελτιστοποιούν την ενέργεια που αντιστοιχεί στην επιλογή των ετικετών για τα pixels. Με αυτό τον τρόπο, το αντικείμενο μπορεί να ανιχνευτεί στην εικόνα και να ακολουθείται κατά μήκος των πλαισίων της εικόνας. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου graph cuts είναι ότι είναι αρκετά γρήγορη σε σχέση με άλλες τεχνικές όπως η εφαρμογή δυναμικού προγραμματισμού, ενώ παράλληλα προσφέρει υψηλή ακρίβεια στα αποτελέσματα. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες διαστάσεις και σε προβλήματα που αφορούν την εύρεση ελάχιστου κόστους σε γενικούς γράφους, κάτι που καθιστά την μέθοδο ευέλικτη για διάφορα είδη προβλημάτων. Επίσης, η μέθοδος είναι επεκτάσιμη και μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά προβλήματα χρησιμοποιώντας διαφορετικές συναρτήσεις κόστους και περιορισμούς. Τέλος, η μέθοδος είναι ανοιχτού κώδικα και είναι εύκολα προσβάσιμη για πειραματισμό και προσαρμογή.

Στο σημείο αυτό, και έχοντας αναφερθεί σε αρκετές και διαφορετικές τεχνικές, θα αναφερθούμε και σε αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τη παρούσα διπλωματική εργασία. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Ensemble of Regression Trees (Σύνολο Παλινδρόμησης Δέντρων) και είναι μια μέθοδος μηχανικής μάθησης που συνδυάζει πολλαπλά δέντρα αποφάσεων για την πρόβλεψη συνεχών τιμών (παλινδρόμηση). Η τεχνική αυτή εμπίπτει στην κατηγορία των ensemble μοντέλων, όπου πολλά αδύναμα μοντέλα συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα ισχυρότερο μοντέλο.

Κάθε δέντρο αποφάσεων στο σύνολο παλινδρόμησης αντιπροσωπεύει ένα αδύναμο μοντέλο που μπορεί να καλύψει μόνο μια μικρή γεωμετρική περιοχή του χώρου των χαρακτηριστικών. Η συνδυασμένη πρόβλεψη του συνόλου των δέντρων χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξόδου.

Τα δέντρα αποφάσεων δημιουργούνται με τη χρήση αλγορίθμων ανάπτυξης δέντρων, όπως ο αλγόριθμος CART (Classification and Regression Trees) ή ο αλγόριθμος C4.5. Κάθε δέντρο εκπαιδεύεται σε ένα υποσύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης, όπου η επιλογή των δειγμάτων μπορεί να γίνει με τη χρήση μεθόδων όπως το bootstrap sampling. Η πρόβλεψη του συνόλου των δέντρων γίνεται με την υπολογιστική αναπαράσταση του μέσου ή της μέσης τιμής των προβλέψεων των δέντρων. Συγκεκριμένα, για προβλέψεις παλινδρόμησης, η τελική πρόβλεψη του ensemble μπορεί να είναι η μέση τιμή ή ο μέσος όρος των προβλέψεων των δέντρων.

Ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα όπου υπάρχουν πολλές συνθήκες ή εξαρτήσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών. Τα δέντρα αποφάσεων μπορούν να αναπαραστήσουν αυτές τις συνθήκες και να προβλέψουν την έξοδο με βάση τους κανόνες που έχουν μάθει από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Μια δημοφιλής εφαρμογή της τεχνικής Ensemble of Regression Trees είναι η τεχνική των Random Forests, όπου πολλά δέντρα αποφάσεων συνδυάζονται για την πρόβλεψη. Τα δέντρα του Random Forest εκπαιδεύονται σε διαφορετικά υποσύνολα των δεδομένων εκπαίδευσης και οι τελικές προβλέψεις γίνονται με βάση την πλειοψηφία των προβλέψεων των δέντρων. Συνολικά, η τεχνική Ensemble of Regression Trees παρέχει τα εξής οφέλη:

1. **Αποτελεσματικότητα πρόβλεψης:** Ο συνδυασμός πολλών δέντρων αποφάσεων βελτιώνει την ακρίβεια και την απόδοση του μοντέλου πρόβλεψης. Οι διάφορες αποφάσεις που λαμβάνονται από τα δέντρα συνήθως αντισταθμίζουν τις αδυναμίες και τις περιορισμένες γεωμετρικές κάλυψεις τους.
2. **Ανθεκτικότητα στην ανεπιθύμητη επίδραση των outliers:** Η χρήση ενός συνόλου δέντρων αποφάσεων μειώνει την επίδραση των outliers (ακραίων τιμών) στην τελική πρόβλεψη. Καθώς κάθε δέντρο μπορεί να επηρεάζεται διαφορετικά από τα outliers, ο μέσος όρος ή η μέση τιμή των προβλέψεων του συνόλου μπορεί να προσφέρει μια πιο ανθεκτική πρόβλεψη.

3. **Ερμηνευσιμότητα:** Τα δέντρα αποφάσεων είναι σχετικά ευανάγνωστα και μπορούν να παράσχουν κατανοητές αποφάσεις. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην εξήγηση του μοντέλου πρόβλεψης και την αντίληψη του πώς τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν την έξοδο.

2.3 ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ DEFORMABLE SHAPE TRACKING

Οι εφαρμογές του Deformable Shape Tracking είναι πολλές και ποικίλες και καλύπτουν διάφορους τομείς, όπως η ρομποτική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροναυπηγική, η ιατρική, η ανάλυση δεδομένων, η ασφάλεια και η επιτήρηση. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε ορισμένες από αυτές εκτενέστερα, και αυτές είναι οι εξής:

1. Ιατρική: Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης του ανθρώπινου σώματος κατά τη διάρκεια εγχειρήσεων ή αποκαταστάσεων, καθώς και για την αναγνώριση αρρυθμιών στην κίνηση.

2. Επεξεργασία εικόνων: Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης αντικειμένων σε βίντεο, για την αναγνώριση προσώπων και για τη βελτίωση της ποιότητας των εικόνων.

3. Ρομποτική: Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης των ρομπότ κατά τη διάρκεια εργασιών, και για τον έλεγχο της θέσης των εργαλείων των ρομπότ.

4. Αυτόνομα οχήματα: Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης των αυτόνομων οχημάτων, και για τον έλεγχο της θέσης και της κίνησής τους.

5. Βιομηχανία: Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης των εξαρτημάτων στις γραμμές παραγωγής, για τη βελτίωση της ακρίβειας της παραγωγής και τη μείωση των σφαλμάτων κατασκευής.

Συνολικά, το deformable shape tracking αποτελεί μια αξιόλογη τεχνολογία που βοηθά στην παρακολούθηση της κίνησης αντικειμένων και στην αναγνώριση της μορφής τους. Με τη βοήθεια των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στο deformable shape tracking, μπορούν να επιτευχθούν ακριβείς και αξιόπιστες αναγνώριση και παρακολούθηση αντικειμένων σε διάφορους τομείς. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του deformable shape tracking στον τομέα της υγείας,

όπως για παράδειγμα στην εντοπισμός και παρακολούθηση της κίνησης των οργάνων κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης, στην παρακολούθηση της κίνησης των κοιλιακών οργάνων κατά τη διάρκεια ενός απεικονιστικού ελέγχου, και στην ανίχνευση παθήσεων και ανωμαλιών στο δέρμα.

Στον τομέα της ρομποτικής, η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κίνησης των ρομπότ και τη βελτίωση της ακρίβειας τους κατά την εκτέλεση διαφόρων εργασιών. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, για την παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων και την αναγνώριση των αντικειμένων στο περιβάλλον τους. Τέλος, στον τομέα της εικόνας και του βίντεο, η τεχνική deformable shape tracking χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση αντικειμένων και σχημάτων σε σειρές εικόνων ή βίντεο. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση και την παρακολούθηση κινούμενων αντικειμένων σε βίντεο, όπως αυτοκίνητα, πεζούς, ζώα κ.λπ. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και την ανάλυση κινήσεων σε εικόνες και βίντεο, όπως η κίνηση του ανθρώπινου σώματος ή η κίνηση των οχημάτων.

Η τεχνική Deformable Shape Tracking είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου τα πρόσωπα ή τα αντικείμενα που πρέπει να παρακολουθηθούν έχουν πολλαπλά σχήματα ή αλλάζουν σχήμα κατά τη διάρκεια της κίνησής τους. Η τεχνική αυτή μπορεί να βοηθήσει στην ακριβή αναγνώριση και παρακολούθηση τους, ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχουν περιορισμοί όπως η παρουσία σκιών, η αλλαγή φωτισμού ή η αλλοίωση των χρωμάτων του.

Συνολικά, οι εφαρμογές του deformable shape tracking είναι ευρείας κλίμακας και καλύπτουν πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως η ρομποτική, η ιατρική, η επεξεργασία εικόνας και βίντεο και η αυτόνομη οδήγηση. Η τεχνολογία αυτή έχει σημαντική συνεισφορά στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ανίχνευσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς και εφαρμογές. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και περιορισμοί στη χρήση του deformable shape tracking. Για παράδειγμα, η ακρίβεια της παρακολούθησης μπορεί να μειωθεί αν οι συνθήκες φωτισμού δεν είναι επαρκείς ή αν υπάρχουν αντικείμενα που εμποδίζουν την αναγνώριση του σχήματος. Επιπλέον, η επεξεργασία των δεδομένων που

απαιτούνται για την παρακολούθηση μπορεί να είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα, ενώ απαιτείται συχνά η χρήση εξειδικευμένων υπολογιστικών πόρων.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, οι τεχνικές deformable shape tracking συνεχίζουν να εξελίσσονται και να βελτιώνονται και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς. Με την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων και τεχνικών επεξεργασίας εικόνας και βίντεο, η ακρίβεια και η απόδοση των συστημάτων παρακολούθησης και ανίχνευσης συνεχίζει να βελτιώνεται.

Στη ρομποτική, οι τεχνικές deformable shape tracking χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και την ακολούθηση αντικειμένων, καθώς και για την αποφυγή εμποδίων και την αυτόνομη πλοήγηση των ρομπότ. Στην ιατρική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κίνησης των οστών ή των ιμάντων σε έναν ασθενή κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης ή ακόμα και για την αυτόματη ανίχνευση κακοήθων όγκων στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, στην επεξεργασία εικόνας και βίντεο, οι τεχνικές deformable shape tracking χρησιμοποιούνται για την αυτόματη ανίχνευση και αναγνώριση προσώπων, την ανίχνευση αντικειμένων σε βίντεο και την παρακολούθηση της κίνησης των αντικειμένων σε πραγματικές συνθήκες, όπως η αναγνώριση της κίνησης του οχήματος σε ένα οδικό δίκτυο ή η παρακολούθηση του καταναλωτή σε ένα κατάστημα για σκοπούς ανάλυσης δεδομένων και εμπορικής στρατηγικής.

Συνολικά, οι τεχνικές deformable shape tracking έχουν μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε και αλληλεπιδρούμε με την τεχνολογία. Με τη δυνατότητα ακριβούς παρακολούθησης αντικειμένων και την αυτόματη αναγνώριση και ανίχνευση σε εικόνες και βίντεο, οι τεχνικές αυτές έχουν διευκολύνει την εργασία σε πολλούς τομείς και έχουν βελτιώσει την απόδοση των συστημάτων ανίχνευσης και παρακολούθησης.

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της ρομποτικής, οι τεχνικές Deformable Shape Tracking χρησιμοποιούνται για την αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση αντικειμένων από τους ρομπότ. Έτσι, τα ρομπότ μπορούν να αναγνωρίζουν και να ακολουθούν αντικείμενα σε ένα περιβάλλον και να εκτελούν εργασίες όπως η αυτόνομη συλλογή δεδομένων ή η επιτήρηση ενός χώρου.

Επιπλέον, στην αυτοκινητοβιομηχανία, οι τεχνικές Deformable Shape Tracking χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και παρακολούθηση των επιμέρους στοιχείων του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια της κατασκευής και του ελέγχου ποιότητας. Επίσης, χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση αντικειμένων σε ένα οδικό δίκτυο και την πρόβλεψη τους κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

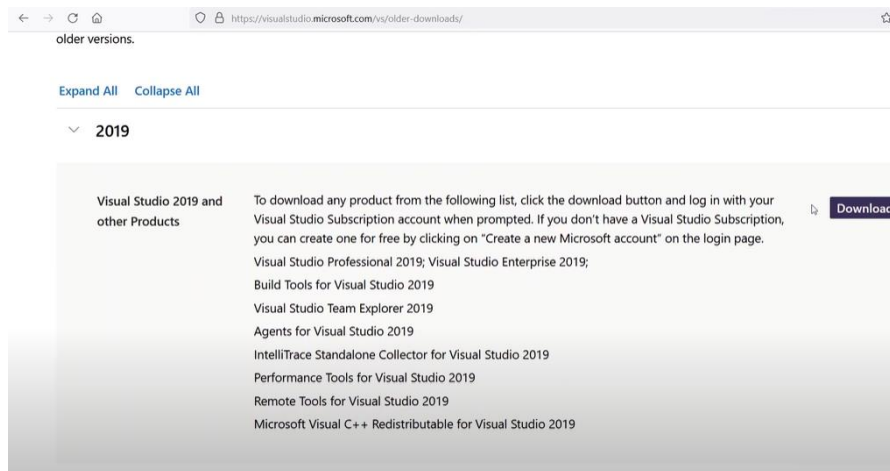
3.1 ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DATASET

Αρχικά, θα αναφερθούμε στο πρόγραμμα με το εκτελέστηκε το πρόγραμμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το Visual Studio είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που παρέχει τα εργαλεία και τις δυνατότητες για τη δημιουργία, την επεξεργασία, την αποσφαλμάτωση και τη διαχείριση εφαρμογών. Αναπτύσσεται από τη Microsoft και είναι ευρέως αποδεκτό ως ένα από τα πιο ισχυρά και πλήρη IDE για διάφορες πλατφόρμες ανάπτυξης, όπως την ανάπτυξη εφαρμογών για τα Windows, τον ιστό, τον υπολογισμό στον νέφος και την ανάπτυξη κινητών εφαρμογών.

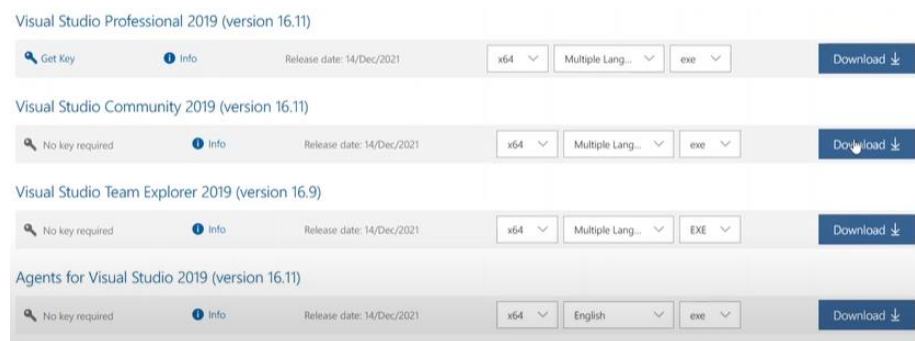
Το Visual Studio υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των C#, Visual Basic.NET, C++, F#, Python και πολλών άλλων. Με τη βοήθεια του Visual Studio, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν γρήγορα και αποτελεσματικά εφαρμογές για διάφορες πλατφόρμες, χρησιμοποιώντας τα διάφορα εργαλεία, τους επεξεργαστές κώδικα, τα συστήματα ομαδικής εργασίας και τις δυνατότητες αποσφαλμάτωσης που παρέχονται. Ένα κύριο χαρακτηριστικό του Visual Studio είναι η ολοκληρωμένη ανάπτυξη λογισμικού (Integrated Development Environment), όπου οι προγραμματιστές μπορούν να δουλεύουν με τον κώδικα, να διαχειρίζονται τα αρχεία του έργου, να παρακολουθούν την πρόοδο της ανάπτυξης και να εκτελούν και να αποσφαλματώνουν τις εφαρμογές, όλα από ένα ενιαίο περιβάλλον. Το Visual Studio παρέχει επίσης ισχυρά εργαλεία για τη διαχείριση της ομαδικής εργασίας, την οργάνωση των αρχείων κώδικα, την έλεγχο των αλλαγών, τη διαχείριση των εξαρτήσεων και την αυτόματη δημιουργία αναφορών και τεκμηρίωσης.

Το Visual Studio λειτουργεί σε συνεργασία με διάφορες τεχνολογίες και πλατφόρμες, παρέχοντας εκτελέσιμες εφαρμογές για το λειτουργικό σύστημα Windows, διαδικτυακές εφαρμογές, υπηρεσίες στον νέφος, εφαρμογές κινητών συσκευών και πολλές άλλες πλατφόρμες. Το IDE παρέχει επίσης πρόσβαση σε εκτελέσιμες εφαρμογές ανάπτυξης μέσω ενσωματωμένων εργαλείων συνεργασίας και διαμοιρασμού κώδικα, επιτρέποντας την εύκολη συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας ανάπτυξης.

Συνολικά, το Visual Studio είναι ένα πανίσχυρο και πλήρες περιβάλλον ανάπτυξης που παρέχει τα εργαλεία και τις δυνατότητες για τη δημιουργία επαγγελματικών και ποιοτικών εφαρμογών σε διάφορες πλατφόρμες. Με τη συνδυασμένη δύναμη του Visual Studio και της Microsoft, οι προγραμματιστές έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν εφαρμογές υψηλής ποιότητας με αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Ο κώδικας του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε είναι γραμμένος σε C++. Το πρόγραμμα για τη διεξαγωγή της εργασίας εγκαταστάθηκε από το site της Microsoft, και ήταν η έκδοση 2019 Community.



Εικόνα 3. Εγκατάσταση Visual Studio



Εικόνα 4. Επιλογή VS Community

Το dataset το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του προγράμματος αποτελείται από εικόνες ψαριών διαφόρων ειδών (Red Mullet, Sea Bass, Shrimp, Trout κ.α.) με διαστάσεις εικόνας 590x445 . Από το dataset επιλέχθηκαν 3 είδη (Gilt Head Bream, Red Mull, Sea Bass), και από τις εικόνες των οποίων ένα μέρος (σ.σ. 50) επιλέχθηκε για εκπαίδευση.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ο αλγόριθμος του Deformable Shape Tracking (DEST) αποτελεί μια μέθοδο για την ανίχνευση και την παρακολούθηση αντικειμένων σε βίντεο. Ο σκοπός του αλγορίθμου είναι να εντοπίσει τις αλλαγές στη μορφή του αντικειμένου καθώς αυτό κινείται στον χώρο του βίντεο. Βασίζεται στη χρήση μοντέλων σχήματος (shape models) και την αναπαράσταση του αντικειμένου με ένα σύνολο σημείων (landmarks) που αντιπροσωπεύουν την μορφή του. Αρχικά, το αρχικό σχήμα του αντικειμένου επιλέγεται στο πρώτο καρέ του βίντεο. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος παρακολουθεί την εξέλιξη του σχήματος καθώς αυτό κινείται στα επόμενα καρέ.

Ο DEST αξιοποιεί μια σειρά τεχνικών για την εύρεση της βέλτιστης ευθυγράμμισης μεταξύ του τρέχοντος σχήματος και του αντικειμένου στο επόμενο καρέ. Αυτές οι τεχνικές μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης, όπως οι μέθοδοι Gauss-Newton ή η ανακατασκευή του σχήματος με βάση την ανάλυση ιδιοτήτων εικόνας. Ο αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος για να είναι αποδοτικός και ακριβής, προσφέροντας τη δυνατότητα ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Έχει εφαρμοστεί σε πολλές εφαρμογές, όπως την ανίχνευση προσώπων, την παρακολούθηση αντικειμένων σε βίντεο και την ανάλυση κίνησης.

Για τις ανάγκες της εργασίας, έγινε η χρήση ενός Landmark Annotator, ο τρόπος εφαρμογής του οποίου αναλύεται εκτενώς. Επιπλέον, από το DEST χρησιμοποιήθηκαν τα «κομμάτια» dest_train και dest_align. Προκειμένου να μπορεί αν «τρέξει» το DEST, απαραίτητη

υπόθεση ήταν η εγκατάσταση της βιβλιοθήκης eigen καθώς και του CMake. Ως προς την βιβλιοθήκη eigen, επιλέχθηκε η έκδοση Eigen 3.3.8.

Building from source

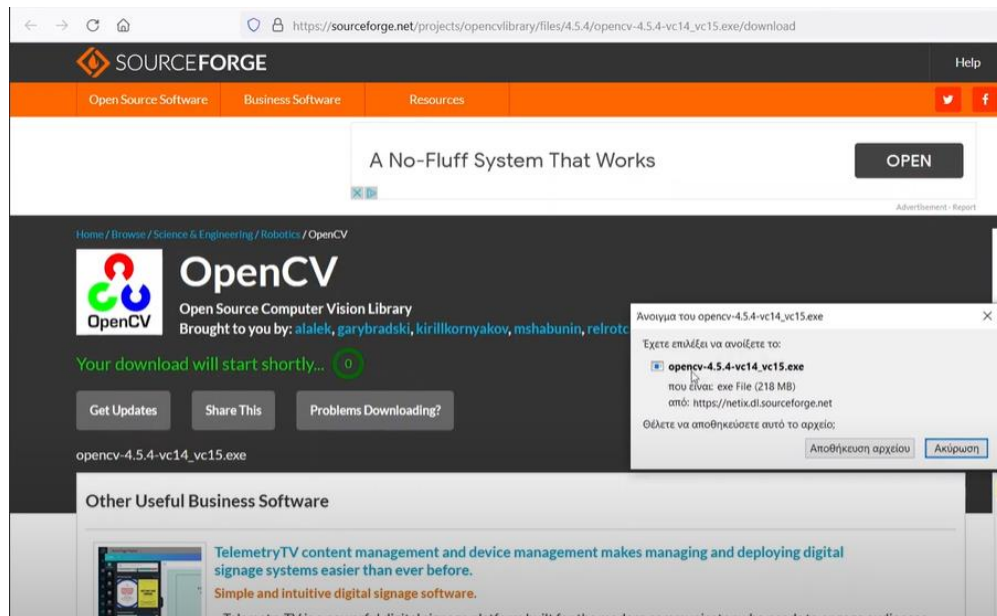
DEST requires the following pre-requisites

- [CMake](#) - for generating cross platform build files
- [Eigen 3.x](#) - for linear algebra calculations

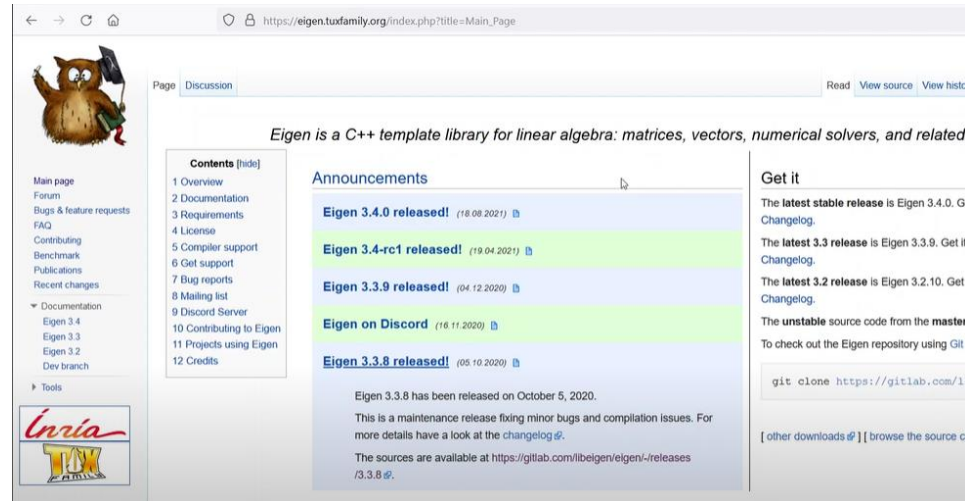
Optionally, you need

- [OpenCV 2.x / 3.x](#) - for image processing related functions
- A compiler with [OpenMP](#) capabilities.

Εικόνα 5. Στοιχεία εγκατάστασης DEST



Εικόνα 6. Εγκατάσταση OpenCV

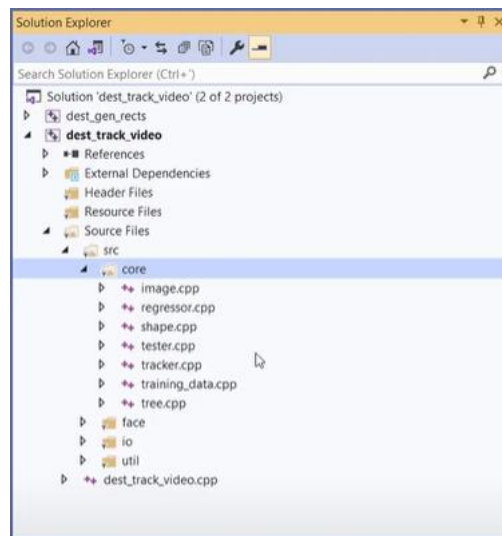


Εικόνα 7. Βιβλιοθήκη Eigen

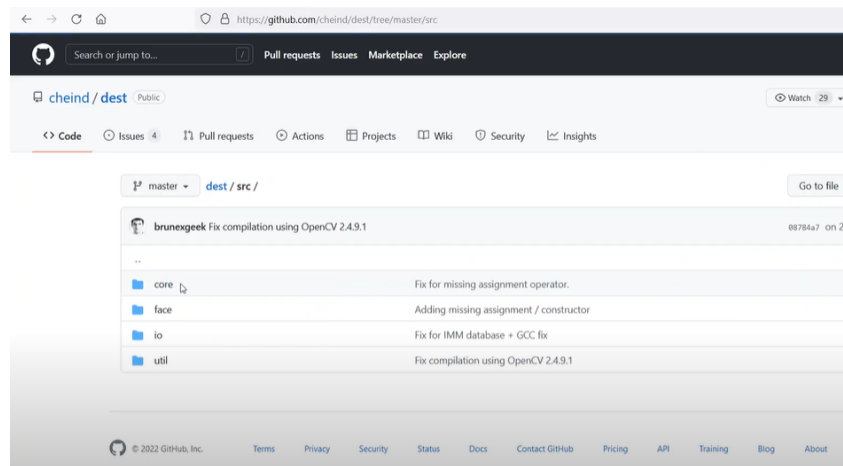
Για την εύρυθμη λειτουργία των προγραμμάτων και των βιβλιοθηκών που εγκαταστάθηκαν, τοποθετείται ο φάκελος eigen μέσα στον φάκελο του dest-master, μέσα στον οποίο βρίσκεται και το repository του DEST.

3.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

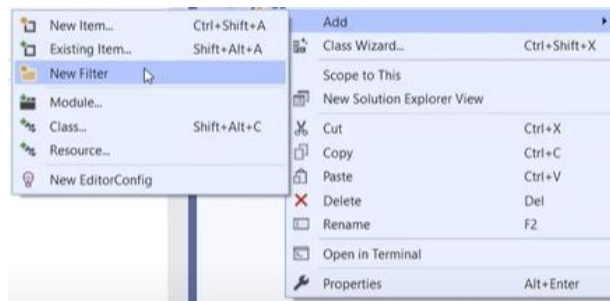
Περνώντας στο περιβάλλον στο οποίο εκτελέστηκε το πρόγραμμα, χρήζει αναφοράς η διαδικασία που ακολουθήθηκε, και η οποία θα αναλυθεί βήμα προς βήμα. Αρχικά φορτώνουμε το πρόγραμμα στο Solution Explorer του περιβάλλοντος του Visual Studio. Έπειτα φορτώνουμε τους υπό-φάκελους που ανήκουν στα source files, με την επιλογή Add → New Filter, και έπειτα οτιδήποτε μέσα σε αυτούς, από την επιλογή Add → Existing Item, και τα οποία βρίσκονται μέσα στους φακέλους που ήδη έχουν δημιουργηθεί στον υπολογιστή. Κάθε ένα τα βήματα αυτά γίνεται προκειμένου να δημιουργηθεί η ίδια δομή που υπάρχει στο DEST εξαρχής. Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται στα παρακάτω στιγμιότυπα:



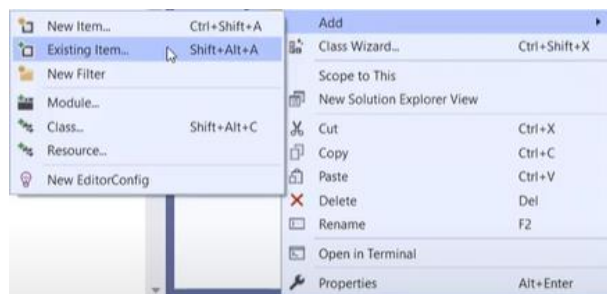
Εικόνα 8. Solution Explorer



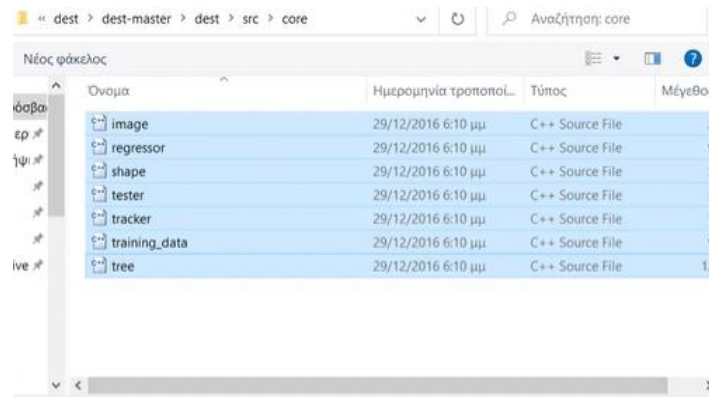
Εικόνα 9. Δομή DEST



Εικόνα 10. Προσθήκη υπό-φακέλου

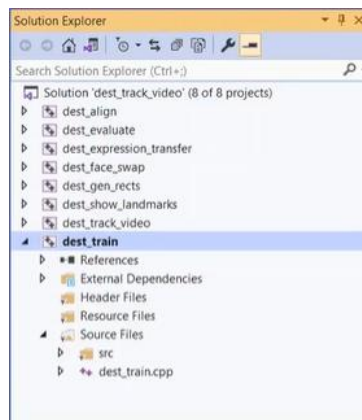


Εικόνα 11. Προσθήκη Item



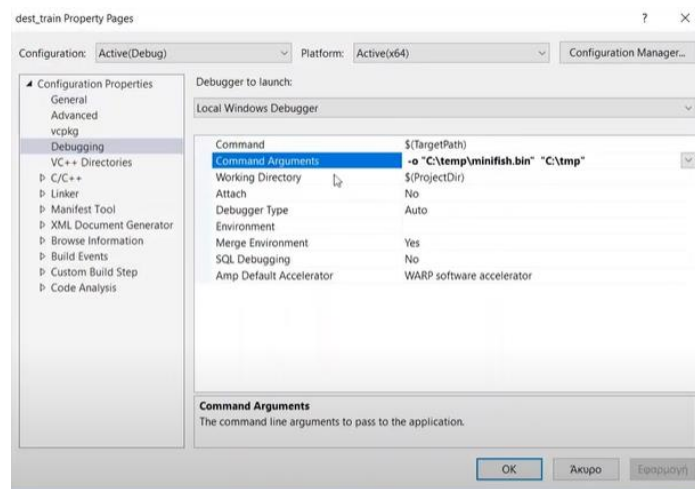
Εικόνα 12. Τοποθεσία Items

Έπειτα, επιλέγονται οι κατάλληλες λειτουργίες τις οποίες επιθυμεί ο χρήστης να χρησιμοποιήσει από την βιβλιοθήκη . Για την δικιά μας εργασία, χρειάστηκε το `dest_train` και το `dest_align`, τα οποία είναι έτοιμες σουίτες εργαλείων τροποποιήθηκαν για να αποθηκευτούν οι συντεταγμένες .

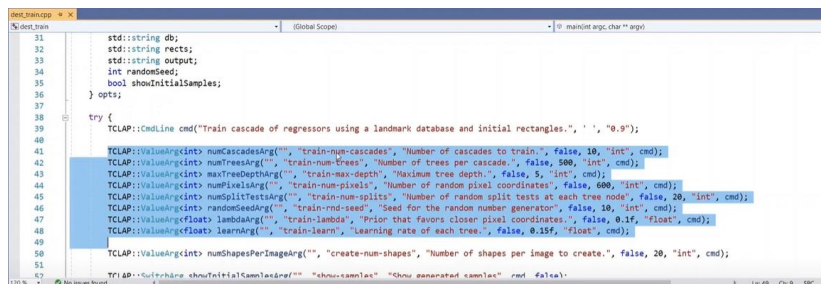


Εικόνα 13. Επιλογή `dest_train`

Στη συνέχεια, πατώντας δεξί κλικ στο μέρος της βιβλιοθήκης, και επιλέγοντας της ρυθμίσεις, συμπληρώνεις τα κατάλληλα Command Arguments που απαιτούνται. Επιπροσθέτως, εφόσον θέλει ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί κάποιες μεταβλητές των δένδρων που δημιουργούνται μέσα από το κώδικα, και τα οποία μπορούν να εντοπιστούν όπως φαίνεται στην εικόνα 15.

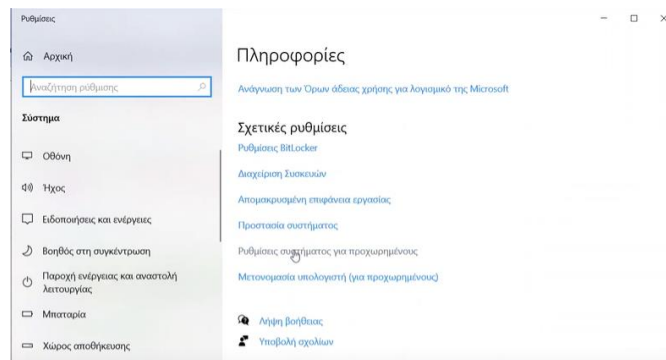


Εικόνα 14. Command Arguments

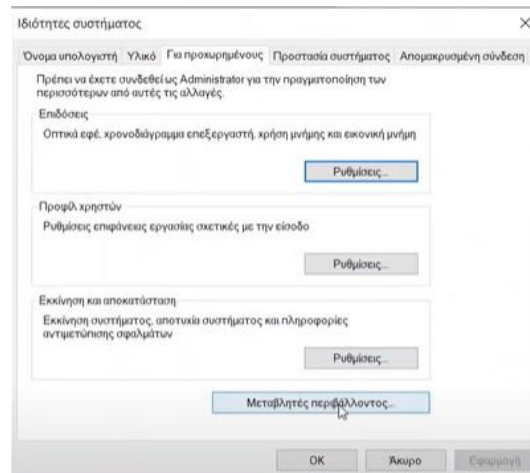


Εικόνα 15. Μεταβλητές

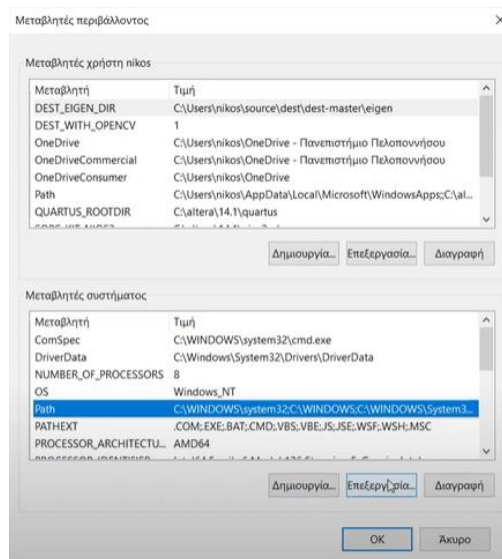
Ακόμη, θα πρέπει προτού συνεχίσει η περιγραφή της διαδικασίας, να αναφερθεί το ότι θα πρέπει ο χρήστης, μέσα από τις ρυθμίσεις για προχωρημένους που παρέχει ο προσωπικός του υπολογιστής, να συμπληρώσει στις μεταβλητές περιβάλλοντος το μονοπάτι το οποίο οδηγεί στο OpenCV.



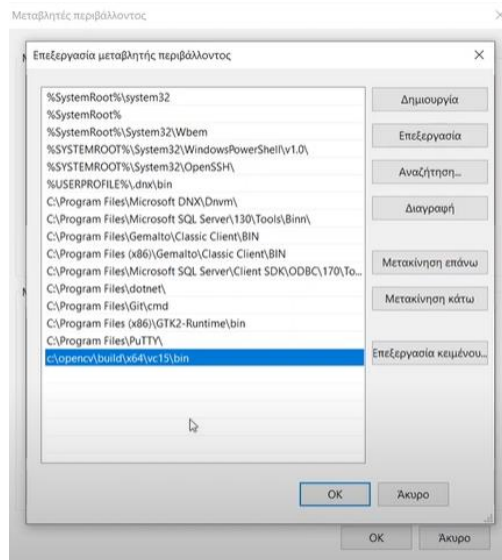
Εικόνα 16. Ρυθμίσεις για προχωρημένους



Εικόνα 17. Μεταβλητές Περιβάλλοντος

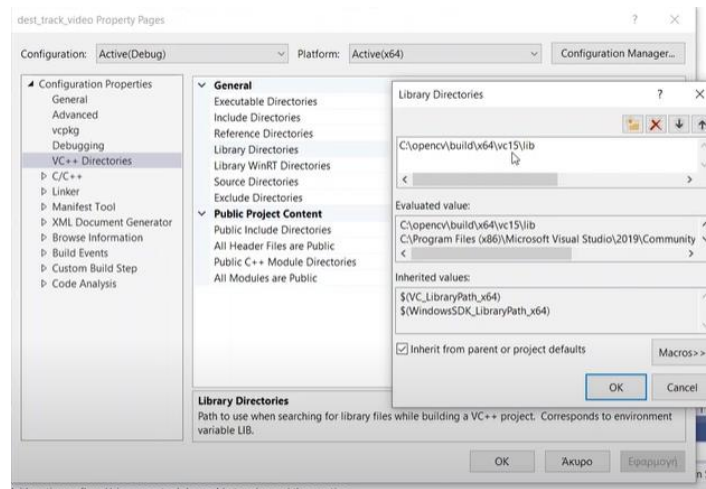


Εικόνα 18. Επιλογή μονοπατιών

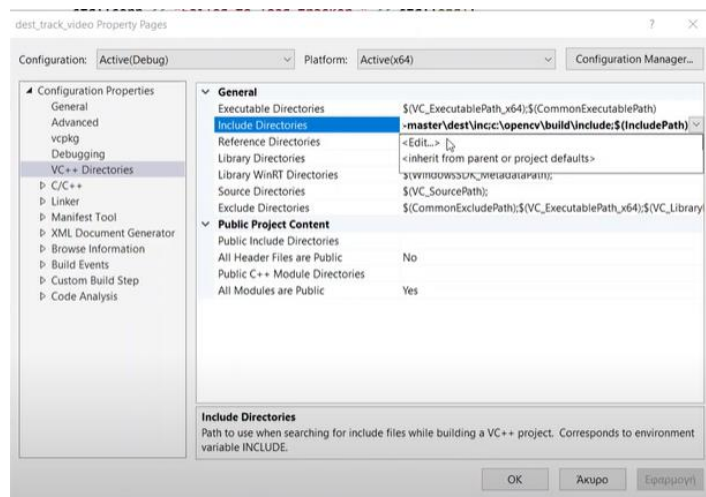


Εικόνα 19. Προσθήκη Μονοπατιού

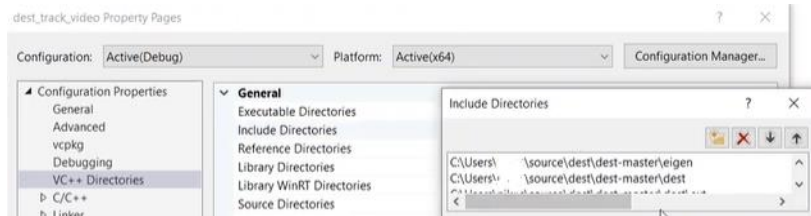
Συνεχίζοντας από εκεί που είχαμε μείνει, θα αναφερθούμε στα επόμενα βήματα στο περιβάλλον του Visual Studio. Από τις ρυθμίσεις του υπό-προγράμματος, και επιλέγοντας την κατηγορία VC++ Debugging, αρχικά εντοπίζει το ότι έχει συμπεριληφθεί στη βιβλιοθήκη το OpenCV. Έπειτα, από την επεξεργασία των βιβλιοθηκών, προσθέτει ο χρήστης όσες είναι απαραίτητες. Για παράδειγμα, για την διεξαγωγή του προγράμματος μας, χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες `dest-master\dest`, `dest-master\dest\ext`, `dest-master\dest\eiigen`, `dest-master\dest\inc`, και `opencv\build\include`. Τέλος, επιλέγεται ως επιπλέον βιβλιοθήκη `opencv.worldlib`, όπως φαίνεται στην εικόνα 26.



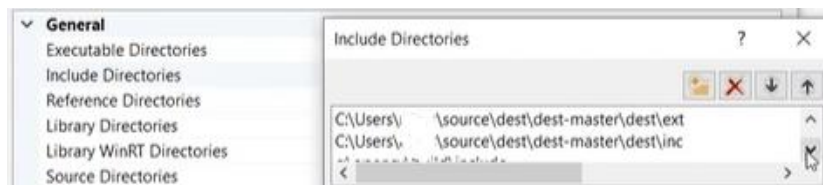
Εικόνα 20. VC++ Directories



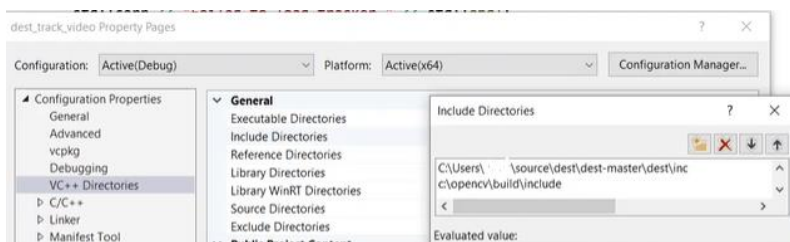
Εικόνα 21. Επεξεργασία βιβλιοθηκών



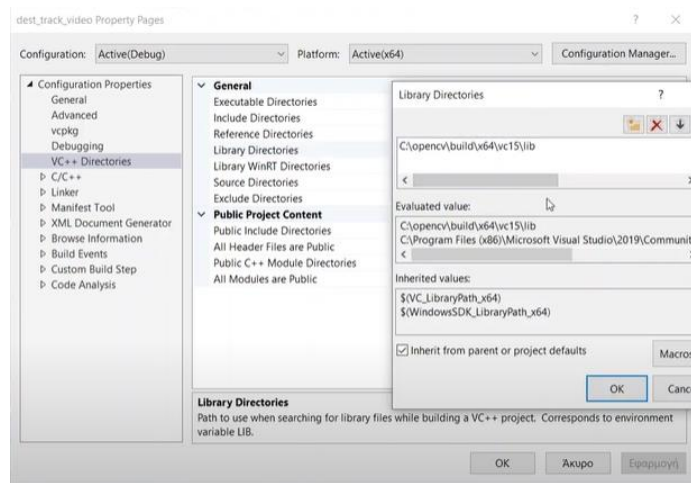
Εικόνα 22. Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών



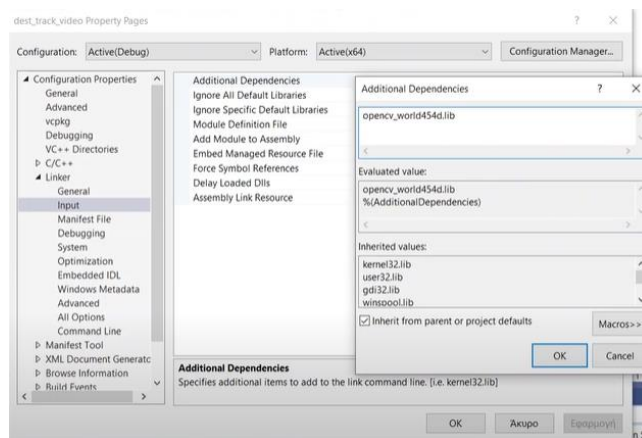
Εικόνα 23 Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών.2



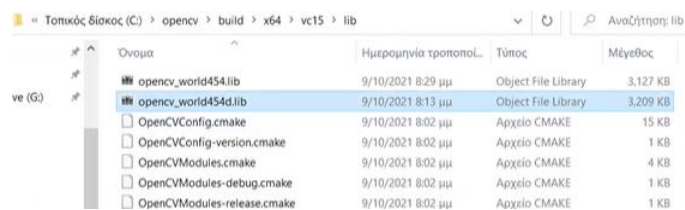
Εικόνα 24. Προσθήκη απαραίτητων βιβλιοθηκών.3



Εικόνα 25. Εντοπισμός βιβλιοθήκης OpenCV

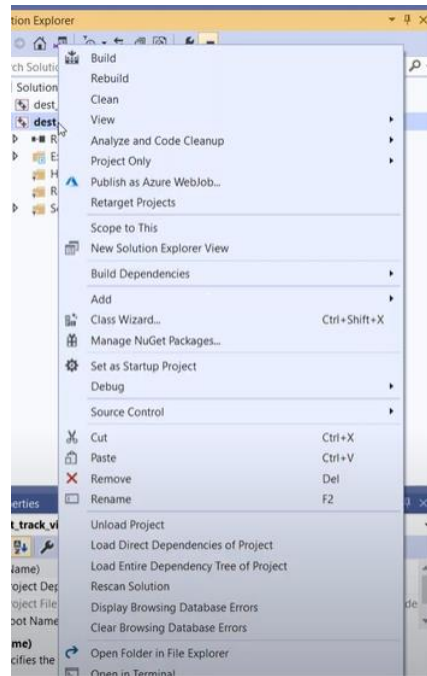


Εικόνα 26. Προσθήκη επιπλέον βιβλιοθήκης

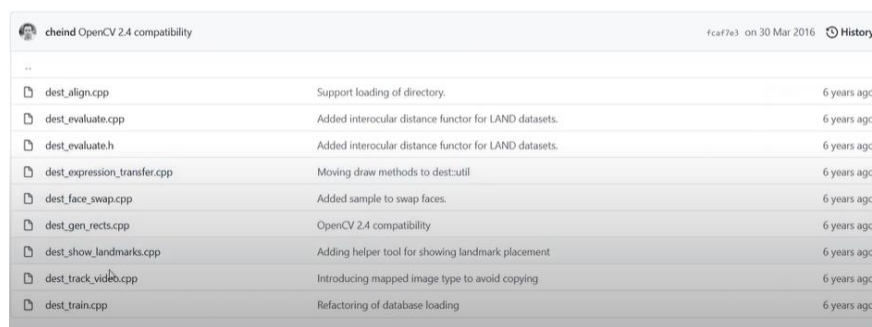


Εικόνα 27. Εντοπισμός επιπλέον βιβλιοθήκης

Τέλος, δεν μένει παρά μόνο να κάνουμε Build το πρόγραμμά μας. Μπορεί ο εκάστοτε χρήστης να προσθέσει οποιαδήποτε λειτουργία του είναι απαραίτητη μέσα από github όπου είναι ανερτημένη η βιβλιοθήκη.

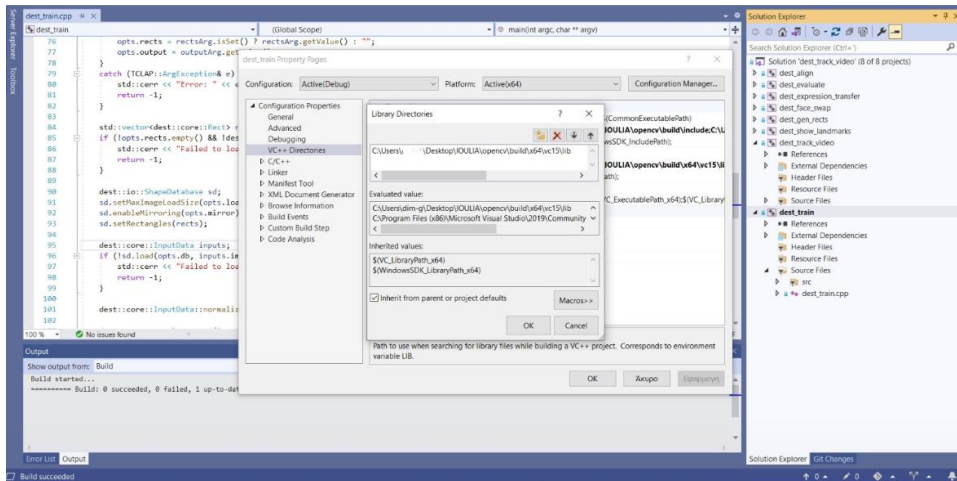


Εικόνα 28. Build του προγράμματος



Εικόνα 29. Επιλογή κατάλληλης λειτουργία

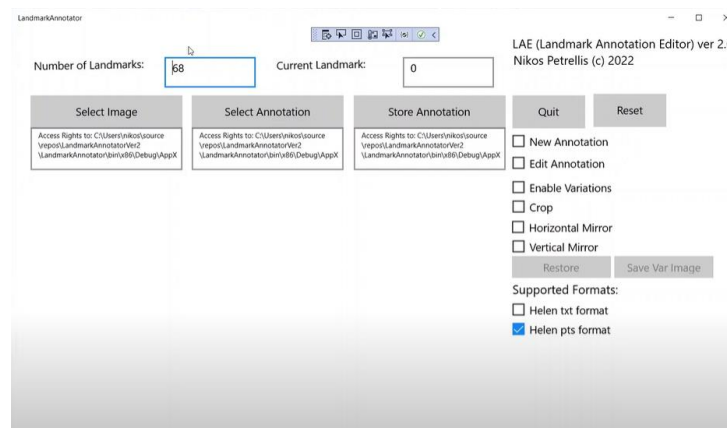
Εφόσον όλα έχουν συμπληρωθεί καταλλήλως, τότε στο παράθυρο μηνύματος θα μας εμφανιστεί το μήνυμα Build Succeeded.



Εικόνα 30. Επιτυχές Build του προγράμματος

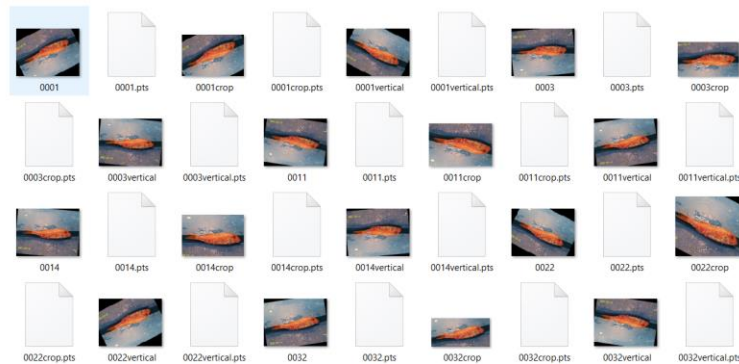
3.4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε είχε ως στόχο το shape alignment αντικειμένων διαφορετικών από το ανθρώπινο πρόσωπο, και συγκεκριμένα ψάρια. Αρχικά, έγινε η προσθήκη ενός νέου Landmark Annotator Tool, το οποίο ονομάζεται LAE και στηρίζεται στη τεχνολογία Ensemble of Regression Trees. Αξίζει να σημειωθεί επίσης, πως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο από αυτά τα εργαλεία αυτόνομα, αλλά όλα μαζί σε ένα περιβάλλον όπως το Visual Studio.



Εικόνα 31. Εργαλείο LAE

Από τις εικόνες των ψαριών που θα χρησιμοποιηθούν, θα δημιουργηθεί το annotated dataset, το οποίο θα αποτελείται από τις εικόνες των ψαριών, παρέα με τις συντεταγμένες των σημείων που θα ορίσουμε μέσω του εργαλείου LAE. Θεωρήθηκε επίσης ότι το αντικείμενο του οποίου ορίσαμε τις συντεταγμένες των landmarks περικλείονται πλήρως στην εικόνα. Επομένως, είναι λογικό για πραγματικές εφαρμογές να πραγματοποιείται πρώτα μια προ-επεξεργασία του συνόλου δεδομένων για σωστή τμηματοποίηση των εικόνων.

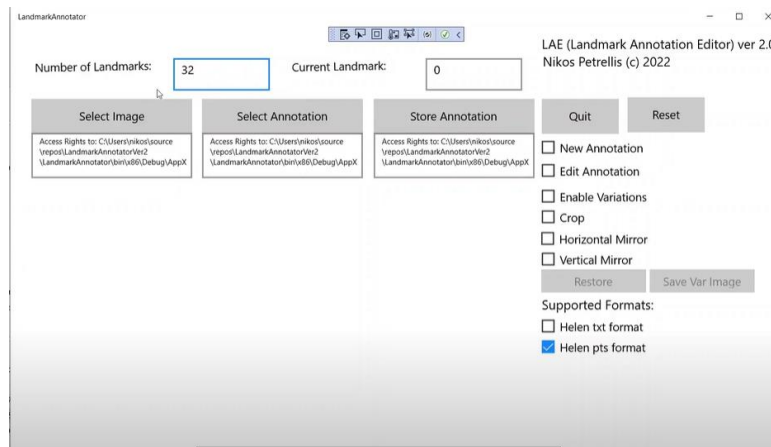


Εικόνα 32. Annotated dataset

```
version: 1
n_points: 32
{
164.2676 411.9727
155.5762 377.207
154.707 324.1895
164.2676 290.293
179.9121 253.7891
204.248 220.7617
232.0605 190.3418
278.125 153.8379
315.498 129.502
373.7305 106.9043
405.8887 97.34375
497.1484 10.42969
485.8496 51.2793
524.0918 40.84961
454.5605 109.5117
426.748 126.0254
416.3184 176.4355
405.0195 204.248
379.9453 239.0137
356.3477 281.6016
328.5352 318.9746
300.7227 345.918
272.9102 367.6465
235.5371 393.7207
232.9297 363.3008
219.8926 322.4512
194.6875 299.1152
253.7891 323.3203
277.2559 194.6875
228.584 302.4609
159.9219 345.918
166.0059 354.6094
}
```

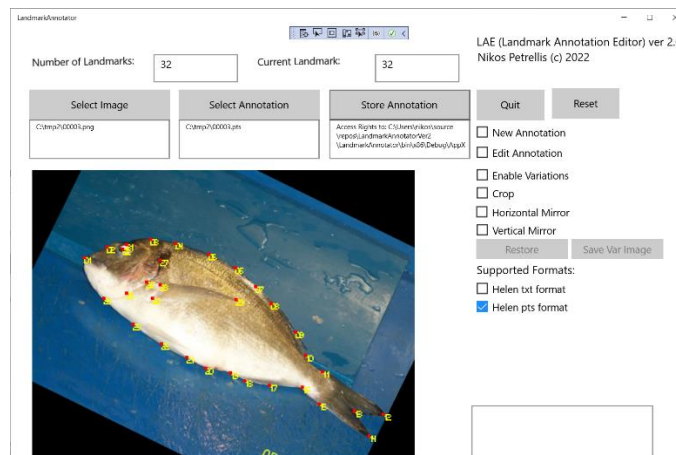
Εικόνα 33. Συντεταγμένες landmarks

Προχωρώντας στη διαδικασία δημιουργίας του annotated dataset, ορίζουμε τον επιθυμητό αριθμό landmarks, και φορτώνουμε την φωτογραφία που επιθυμούμε.



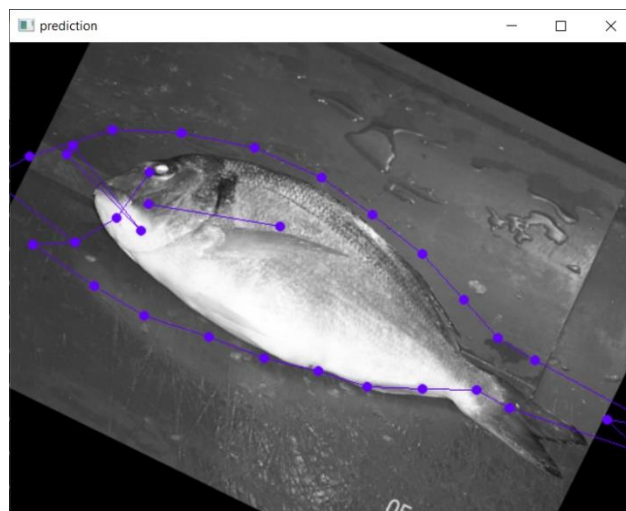
Εικόνα 34. Αριθμός Landmarks

Αφού φορτώσει η εικόνα, επιλέγουμε ένα προς ένα τα σημεία του ψαριού στα οποία θέλουμε να ορίσουμε τα 32 landmarks. Τα περισσότερα τοποθετήθηκαν στο περίγραμμα του ψαριού, ώστε να γίνει το δυνατόν πιο εύκολη η αναγνώριση του είδους του ψαριού. Επιπλέον, landmarks τοποθετήθηκαν στο μάτι του ψαριού, καθώς στα πτερύγιά του.



Εικόνα 35. Τοποθέτηση landmarks

Το αποτέλεσμα που προέκυψε από την εκπαίδευση του dataset παρουσιάζεται στην κάτωθι εικόνα. Το πρόγραμμα προσπαθεί, και μερικώς επιτυγχάνει να αναγνωρίσει το σχήμα και τη κατεύθυνση του ψαριού. Παρ' όλα αυτά, δεν επιτυγχάνει ακριβώς να εντοπίσει το σχήμα του, γεγονός που δικαιολογείται, λόγω του σχετικά χαμηλού αριθμού (108) φωτογραφιών του συγκεκριμένου είδους ψαριού που δημιουργήθηκαν στο annotated dataset.



Εικόνα 36. Αποτέλεσμα εκπαίδευσης

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ FUTURE WORK

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με τον τομέα του shape alignment σε εικόνες ψαριών, με σκοπό την ανάπτυξη ενός προγράμματος με τη χρήση του Visual Studio 2019. Ο σκοπός ήταν να ανιχνεύσουμε και να ευθυγραμμίσουμε τις μορφές των ψαριών σε διάφορες εικόνες, προκειμένου να επιτύχουμε ακριβέστερη ανάλυση και σύγκριση ανάμεσά τους.

Μετά από εκτενή ανάλυση της θεωρίας και της υπάρχουσας βιβλιογραφίας στον τομέα του shape alignment, αναπτύξαμε ένα πρόγραμμα στο Visual Studio 2019 για την αυτόματη ευθυγράμμιση των μορφών των ψαριών σε εικόνες. Ακολουθήσαμε μία βήμα προς βήμα προσέγγιση για την επίτευξη αυτού του στόχου. Αρχικά, χρησιμοποιήσαμε μεθόδους επεξεργασίας εικόνας για την εξαγωγή και τον προσδιορισμό των σημείων (landmarks) σε κάθε εικόνα ψαριού. Η διαδικασία αυτή, εκτελέστηκε με τη χρήση ενός νέου εργαλείου Landmark Annotator (LAE), το οποίο και δημιουργήθηκε από τον καθηγητή και επιβλέπων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, Πετρέλλη Νικόλαο.. Αυτά τα σημεία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός annotated dataset, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να αλγόριθμος να εκπαιδευτεί στο να εντοπίζει το σχήμα των συγκεκριμένων ειδών ψαριών στις εικόνες.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ένας αλγόριθμος ευθυγράμμισης μορφών, ο οποίος βασίζεται στη μετατόπιση, την κλιμάκωση και την περιστροφή των μορφών των ψαριών (DEST). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη μορφή αναφοράς ως οδηγό για την ευθυγράμμιση των υπόλοιπων εικόνων.

Για την αξιολόγηση της απόδοσης του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο δοκιμαστικών εικόνων. Ο αλγόριθμος παρουσίαζε προβλήματα όσον αφορά την επεξεργασία του dataset, καθώς λόγω λαθών, υπήρχαν annotations τα οποία ήταν κενά, και συνεπώς έπρεπε να αφαιρεθούν προκειμένου να τρέχει ομαλά η εκπαίδευση του αλγορίθμου. Επιπλέον, μετά την εκπαίδευση, πέτυχε επαρκώς υψηλά ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας, και η εκτέλεσή του έδειξε πως βρίσκεται στην σωστή κατεύθυνση για την επίτευξη ακριβέστερης ανάλυσης και σύγκρισης των μορφών των ψαριών. Από τα αποτελέσματα του προγράμματός μας, εντοπίσαμε και ορισμένα σημεία-προκλήσεις, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και να λυθούν

προκειμένου η λειτουργία shape alignment και οι εφαρμογές της να παρουσιάσουν εκτενέστερη βελτίωση. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- i. **Αναγνώριση και εξαγωγή σημείων ενδιαφέροντος:** Ο ακριβής εντοπισμός και εξαγωγή των σημείων ενδιαφέροντος, όπως landmarks, από τις εικόνες μπορεί να είναι απαιτητική. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αρκετά ακριβείς για να ανιχνεύουν τα σημεία με ακρίβεια, ακόμη και σε περιπτώσεις παραμόρφωσης ή παρουσία θορύβου.
- ii. **Ευθυγράμμιση μορφών:** Η ευθυγράμμιση των μορφών μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια πρόκληση, ειδικά όταν οι μορφές διαφέρουν σημαντικά σε κλίμακα, περιστροφή ή μετατόπιση. Η ανάγκη για αλγόριθμους που μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις παραλλαγές παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον.
- iii. **Πολυπλοκότητα υπολογισμών:** Η διεξαγωγή των απαραίτητων υπολογισμών για την ευθυγράμμιση των μορφών μπορεί να είναι χρονοβόρα και απαιτητική σε πόρους. Απαιτούνται αποτελεσματικοί αλγόριθμοι και τεχνικές βελτιστοποίησης για την εξασφάλιση αποδοτικής εκτέλεσης του προγράμματος.
- iv. **Επεξεργασία εικόνων με θόρυβο:** Οι εικόνες ψαριών μπορεί να περιέχουν θόρυβο ή ατέλειες, που μπορούν να δυσκολέψουν τη διαδικασία του shape alignment. Οι αλγόριθμοι πρέπει να είναι ανθεκτικοί σε θόρυβο και να μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις παραμέτρους που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια του αποτελέσματος.

Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν συνεχή έρευνα και ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνικών για τη βελτίωση της ακρίβειας και της απόδοσης των προγραμμάτων shape alignment. Υπάρχουν όμως επίσης και αρκετά πιθανά μελλοντικά πεδία έρευνας και ανάπτυξης για τις εργασίες που

σχετίζονται με το shape alignment σε εικόνες ψαριών. Ορισμένες από τις πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντικές εργασίες περιλαμβάνουν:

- i. **Βελτίωση της ακρίβειας ευθυγράμμισης:** Μια σημαντική πρόκληση είναι η αύξηση της ακρίβειας των αλγορίθμων ευθυγράμμισης. Μπορεί να εξεταστούν νέες τεχνικές μηχανικής μάθησης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, για τη βελτίωση της ακρίβειας και της ανθεκτικότητας σε θόρυβο των αλγορίθμων ευθυγράμμισης.
- ii. **Αυτόματη αναγνώριση ειδών ψαριών:** Ένα ενδιαφέρον μελλοντικό έργο θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων που θα μπορούν να αναγνωρίζουν αυτόματα τα είδη των ψαριών βασισμένοι στις μορφές τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και εκπαίδευσης των αλγορίθμων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων εικόνων ψαριών.
- iii. **Ανάλυση συμπεριφοράς ψαριών:** Ένα επίσης ενδιαφέρον πεδίο έρευνας θα μπορούσε να είναι η σύνδεση του shape alignment με την ανάλυση της συμπεριφοράς των ψαριών. Με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών ανίχνευσης και παρακολούθησης, θα μπορούσε να γίνει ανάλυση των κινήσεων και των συμπεριφορών των ψαριών βασισμένη στο shape alignment.
- iv. **Εφαρμογές σε περιβάλλοντα υγείας:** Τέλος, ένα ακόμη ενδιαφέρον πεδίο για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η εφαρμογή του shape alignment σε περιβάλλοντα υγείας. Με τη χρήση εικόνων ψαριών και την ανάλυση των μορφών τους, θα μπορούσαν να ανιχνευθούν παθήσεις ή ανωμαλίες στην υγεία των ψαριών, προβλέποντας έτσι πιθανά προβλήματα σε υδατοκαλλιέργειες ή υδάτινα οικοσυστήματα.

Αυτές είναι μερικές από τους δυνατούς τομείς για μελλοντικό έργο που μπορεί να αναπτυχθεί σε σχέση με το shape alignment σε εικόνες ψαριών. Η συνεχής έρευνα και καινοτομία σε αυτούς τους τομείς μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη πιο ακριβείς και εφαρμοσμένες λύσεις για την ανάλυση και την κατανόηση των εικόνων ψαριών.

5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βιβλιοθήκη dest: <https://github.com/cheind/dest>

Αλγόριθμος dest_train:

```
/**  
  
This file is part of Deformable Shape Tracking (DEST).  
  
Copyright(C) 2015/2016 Christoph Heindl  
  
All rights reserved.  
  
This software may be modified and distributed under the terms  
of the BSD license. See the LICENSE file for details.  
  
*/  
  
#include <dest/dest.h>  
  
#include <dest/io/database_io.h>  
  
#include <dest/face/face_detector.h>  
  
#include <dest/util/draw.h>  
  
#include <dest/util/convert.h>  
  
#include <iostream>  
  
#include <opencv2/opencv.hpp>  
  
#include <tclap/CommandLine.h>
```

```
int main(int argc, char **argv)
{
    struct {
        dest::core::TrainingParameters trainingParams;
        dest::core::SampleCreationParameters createParams;
        int loadMaxSize;
        bool mirror;
        std::string db;
        std::string rects;
        std::string output;
        int randomSeed;
        bool showInitialSamples;
    } opts;
    try {
        TCLAP::CmdLine cmd("Train cascade of regressors using a landmark database and
initial rectangles.", ' ', "0.9");
        TCLAP::ValueArg<int> numCascadesArg("", "train-num-cascades", "Number of
cascades to train.", false, 10, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> numTreesArg("", "train-num-trees", "Number of trees per cascade.", false, 500, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> maxTreeDepthArg("", "train-max-depth", "Maximum tree depth.", false, 5, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> numPixelsArg("", "train-num-pixels", "Number of random pixel coordinates", false, 400, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> numSplitTestsArg("", "train-num-splits", "Number of random split tests at each tree node", false, 20, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> randomSeedArg("", "train-rnd-seed", "Seed for the random number generator", false, 10, "int", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<float> lambdaArg("", "train-lambda", "Prior that favors closer pixel coordinates.", false, 0.1f, "float", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<float> learnArg("", "train-learn", "Learning rate of each tree.", false, 0.08f, "float", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> numShapesPerImageArg("", "create-num-shapes", "Number of shapes per image to create.", false, 20, "int", cmd);
```

```
TCLAP::SwitchArg showInitialSamplesArg("", "show-samples", "Show generated samples", cmd, false);
```

```
TCLAP::ValueArg<std::string> rectsArg("", "rectangles", "Initial detection rectangles to train on.", false, "rectangles.csv", "string", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<std::string> outputArg("o", "output", "Trained regressor  
output.", false, "dest.bin", "string", cmd);
```

```
TCLAP::ValueArg<int> maxImageSizeArg("", "load-max-size", "Maximum size of  
images in the database", false, 2048, "int", cmd);
```

```
TCLAP::SwitchArg mirrorImageArg("", "load-mirrored", "Additionally mirror each  
database image, shape and rects.", cmd, false);
```

```
TCLAP::UnlabeledValueArg<std::string> databaseArg("database", "Path to database  
directory to load", true, "./db", "string", cmd)
```

```
cmd.parse(argc, argv);
```

```
opts.createParams.numShapesPerImage = numShapesPerImageArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.numCascades = numCascadesArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.numTrees = numTreesArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.maxTreeDepth = maxTreeDepthArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.numRandomPixelCoordinates = numPixelsArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.numRandomSplitTestsPerNode = numSplitTestsArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.exponentialLambda = lambdaArg.getValue();
```

```
opts.trainingParams.learningRate = learnArg.getValue();
```

```
opts.randomSeed = randomSeedArg.getValue();
```

```
    opts.loadMaxSize = maxImageSizeArg.getValue();
    opts.mirror = mirrorImageArg.getValue();

    opts.showInitialSamples = showInitialSamplesArg.getValue();
    opts.db = databaseArg.getValue();
    opts.rects = rectsArg.isSet() ? rectsArg.getValue() : "";
    opts.output = outputArg.getValue();
}
catch (TCLAP::ArgException &e) {
    std::cerr << "Error: " << e.error() << " for arg " << e.argId() << std::endl;
    return -1;
}
std::vector<dest::core::Rect> rects;
if (!opts.rects.empty() && !dest::io::importRectangles(opts.rects, rects)) {
    std::cerr << "Failed to load rectangles." << std::endl;
    return -1;
}
dest::io::ShapeDatabase sd;
sd.setMaxImageLoadSize(opts.loadMaxSize);
sd.enableMirroring(opts.mirror);
sd.setRectangles(rects);
```

```
dest::core::InputData inputs;

if (!sd.load(opts.db, inputs.images, inputs.shapes, inputs.rects)) {

    std::cerr << "Failed to load database." << std::endl;

    return -1;

}

dest::core::InputData::normalizeShapes(inputs);

dest::core::SampleData td(inputs);

td.params = opts.trainingParams;

dest::core::SampleData::createTrainingSamples(td, opts.createParams);

if (opts.showInitialSamples) {

    size_t i = 0;

    bool done = false;

    while (i < td.samples.size() && !done) {

        dest::core::SampleData::Sample &s = td.samples[i];

        cv::Mat tmp = dest::util::drawShape(td.input->images[s.inputIdx],

s.shapeToImage * s.estimate.colwise().homogeneous(), cv::Scalar(0, 255, 0));

        dest::core::Rect r = s.shapeToImage *

dest::core::unitRectangle().colwise().homogeneous();

        dest::core::Shape target = s.shapeToImage * s.target.colwise().homogeneous();
```

```
dest::util::drawShape(tmp, target, cv::Scalar(255,255,255));  
  
dest::util::drawRect(tmp, r, cv::Scalar(0,255,0));  
  
cv::imshow("Samples - Press ESC to skip", tmp);  
if (cv::waitKey() == 27)  
    done = true;  
    ++i;  
}  
}  
  
dest::core::Tracker t;  
  
t.fit(td);  
  
std::cout << "Saving tracker to " << opts.output << std::endl;  
  
t.save(opts.output);  
  
return 0;  
}
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Petrellis, Nikos, et al. "Fish Monitoring from Low Contrast Underwater Images." (2023).
2. Petrellis, Nikos, et al. "High Speed Implementation of the Deformable Shape Tracking Face Alignment Algorithm." 2021 24th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD). IEEE, 2021.
3. Kazi Imran Moin, Dr. Qazi Baseer Ahmed / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) Vol. 2, Issue 2, Mar-Apr 2012, pp. 738-742
4. Szeliski, Richard. Computer vision: algorithms and applications. Springer Nature, 2022.
5. Kaehler, Adrian, and Gary Bradski. Learning OpenCV 3: computer vision in C++ with the OpenCV library. " O'Reilly Media, Inc.", 2016.
6. Gonzalez, Rafael C., and Richard E. Woods. "Digital image processing addison-wesley." Reading, Ma (1992).
7. Jafar Alzubi, Anand Nayyar, Akshi Kumar, Machine Learning from Theory to Algorithms: An overview, Second National Conference on Computational Intelligence (NCCI 2018), IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 112 (2018) 012012
8. Tom M. Mitchell, Does Machine Learning Really Work? , AI Magazine Volume 18 Number 3 (1997)
9. Prince, Simon JD. Computer vision: models, learning, and inference. Cambridge University Press, 2012.
10. Forsyth, David A., and Jean Ponce. Computer vision: a modern approach. prentice hall professional technical reference, 2002.
11. Yang, Xian, et al. "Real-time tracking via deformable structure regression learning." 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition. IEEE, 2014.
12. Shu, Guang, et al. "Part-based multiple-person tracking with partial occlusion handling." 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2012.
13. Singh, Yogesh, Pradeep Kumar Bhatia, and Omprakash Sangwan. "A review of studies on machine learning techniques." International Journal of Computer Science and Security 1.1 (2007): 70-84.

14. Pham, Duc T., and Ashraf A. Afify. "Machine-learning techniques and their applications in manufacturing." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 219.5 (2005): 395-412.
15. Baggio, Daniel Lélis. *Mastering OpenCV with practical computer vision projects*. Packt Publishing Ltd, 2012.
16. Suarez, Gloria Bueno García Oscar Deniz. *Learning image processing with OpenCV*. 2013.
17. Yuk, Jacky SC, et al. "Real-time multiple head shape detection and tracking system with decentralized trackers." *Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. Vol. 2. IEEE, 2006.
18. Hayashi, Chikio (1998-01-01). "What is Data Science? Fundamental Concepts and a Heuristic Example". *Data Science, Classification, and Related Methods. Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization*. Springer Japan. pp. 40–51. doi:10.1007/978-4-431-65950-1_3. ISBN 9784431702085
19. Perales, Francisco Jose, et al. "Pattern recognition and image analysis." *Lecture notes in computer science*, Berlin, Germany Springer-verlag Berlin Heidelberg (2003): 134-141.
20. Kazemi, Vahid, and Josephine Sullivan. "One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2014.
21. Wang, Hui. "Shape-guided interactive image segmentation." (2012).