

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Χρήση Αλγορίθμου Μηχανικής Μάθησης για την Εύρεση
Βέλτιστων Παραμέτρων Τρισδιάστατης Εκτύπωσης Νέων και
Βιώσιμων Υλικών**
Σιαβελή Άντζελα

Η ικανότητα των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης να προσφέρουν απαντήσεις σε προκλητικά ζητήματα έχει υποσχεθεί σημαντικά. Η προοπτική της μηχανικής μάθησης έχει εξελιχθεί αρκετά, όπως φαίνεται από ορισμένες από τις καθημερινές εφαρμογές, όπως η αναγνώριση ομιλίας, το φιλτράρισμα ανεπιθύμητων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, η αυτόματη μετάφραση κ.λπ. Χωρίς τεχνητή νοημοσύνη (AI) και μηχανική μάθηση (ML), θα μπορούσε χρειάζονται πολλά ακόμη χρόνια για να εξερευνήσετε και να χρησιμοποιήσετε νέα υλικά στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Καθώς χρειάζεται πολύς χρόνος και πολλή προσπάθεια για την εξερεύνηση και τη δημιουργία νέων υλικών για τεχνολογίες τρισδιάστατης (3D) εκτύπωσης, για αποτελεσματική κατασκευή εξαρτημάτων, κάθε νεοδημιουργημένο υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης απαιτεί συγκεκριμένες παραμέτρους εκτύπωσης για εκμάθηση, και λιγότερο από -Οι βέλτιστες ρυθμίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ελαττώματα ή αποτυχία κατασκευής. Για να λυθεί αυτό, αρχικά δημιουργείται μια σειρά πειραμάτων, εκτύπωση μονής γραμμής. Δεύτερον, χρησιμοποιώντας αλγόριθμο όρασης υπολογιστή το πλάτος της γραμμής εξάγεται ως μέρος της εξαγωγής χαρακτηριστικών. Το αποτέλεσμα τροφοδοτείται σε έναν αυτοδίδακτο αλγόριθμο που διαμορφώνει αυτόνομα τις παραμέτρους εκτύπωσης, με αποτέλεσμα την αντιστοίχιση των ρυθμίσεων εκτύπωσης με τις απαιτήσεις-στόχους.

Λέξεις κλειδιά

Μηχανική Μάθηση, Τρισδιάστατη Εκτύπωση, Βελτιστοποίηση, Βέλτιστοι Υπερπαραμέτροι,

Βιώσιμα Υλικά

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών – Κατασκευαστικός Τομέας

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

AM (Additive Manufacturing)	Κατασκευή με Εναπόθεση Υλικού
ML (Machine Learning)	Μηχανική Μάθηση
3D (3 Dimensions)	Τρισδιάστατη εκτύπωση
CAD (Computer Aided Design)	Σχεδίαση υποβοηθούμενη με Η/Υ
CAM (Computer Aided Manufacturing)	Κατασκευή υποβοηθούμενη με Η/Υ
FDM (Fused Deposition Modeling)	Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης
SLA (Stereolithography)	Στερεολιθογραφία
LCD (Liquid Crystal Display)	Εναπόθεση υγρών κρυστάλλων
DLP (Digital Light Processing)	Επεξεργασία Ψηφιακού Φωτός
PBF (Power Bed Fusion)	Σύντηξη υλικού σε μορφή σκόνης
SLS (Selective Laser Sintering)	Επιλεκτικός πολυμερισμός υλικού με εκπομπή ακτινοβολίας
LPBF (Laser Powder Bed Fusion)	Πολυμερισμός υλικού με εκπομπή ακτινοβολίας
EBM (Electron Beam Melting)	Τήξη δέσμης ηλεκτρονίων
DOD (Drop-on-demand)	Εναπόθεση κατά παραγγελία
NPJ (NanoParticle Jetting)	Εκτόξευση νανο-σωματιδίων
DED (Directed Energy Deposition)	Κατευθυνόμενη Εναπόθεση Ενέργειας
SL (Supervised Learning)	Εποπτευόμενη μηχανική μάθηση
ANNs (Artificial Neural Networks)	Νευρωνικά Δίκτυα
DL (Deep Learning)	Βαθιά Μηχανική Μάθηση
CV (Computer Vision)	Αναγνώριση Εικόνας από Η/Υ
DoS (Denial of service)	Άρνηση Υπηρεσίας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι επιτραπέζιοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές επιτρέπουν την παραγωγή σύνθετων πλαστικών αντικειμένων στη θέση του χρήστη και όχι σε εργοστάσιο. Η αξία αυτού του κλάδου αναμένεται να εκτιναχθεί στα ύψη τα επόμενα αρκετά χρόνια, μετρώντας τα λίγα τελευταία χρόνια εμφάνισης μεταξύ 23% και 26% ετήσια ανάπτυξη και αναμένεται να φτάσει περισσότερα από 44 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2027. Το θεμελιώδες δόγμα της πρωτοβουλίας είναι ότι Οι καταναλωτές μπορούν να φτιάχνουν τα δικά τους προϊόντα από ανακυκλωμένα υλικά, κάτι που μπορεί να τους βοηθήσει να εξοικονομήσουν χρήματα με διάφορους τρόπους, μεταξύ άλλων ξοδεύοντας λιγότερα σε εμπορικά πλαστικά προϊόντα και επιτυγχάνοντας χαμηλότερα περιβαλλοντικά έξοδα στη διαδικασία.

Η ποιότητα των τελικών προϊόντων μπορεί να επηρεαστεί από μια ποικιλία παραμέτρων διεργασίας που χρησιμοποιούνται στην ΑΜ, οι οποίες χρειάζονται διεπιστημονική κατανόηση θεμάτων όπως ιδιότητες υλικού, αλληλεπίδραση στερεού-υγρού, δυναμική ρευστών, ανάπτυξη κόκκων και θερμική-μηχανική αλληλεπίδραση. Αυτές οι αναλύσεις απαιτούν αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθούν. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να προσομοιωθεί ολόκληρη η διαδικασία ΑΜ χρησιμοποιώντας αριθμητικά μοντέλα βασισμένα στη φυσική γρήγορα και με ακρίβεια. Τα μοντέλα που βασίζονται σε δεδομένα μηχανικής μάθησης (ML) που βασίζονται στη φυσική κατανόηση των διαδικασιών ΑΜ είναι ζωτικής σημασίας επειδή επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ΑΜ ακόμη και όταν τα διαθέσιμα δεδομένα για τις διεργασίες ΑΜ είναι περιορισμένα ή ανακριβή.

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Πολλές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένης της λείανσης, της εξώθησης, της επανατήξης, της απολύμανσης και του καθαρισμού, χρησιμοποιούνται για την ανακύκλωση πολυμερών υλικών για τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα υλικοτεχνικά και οικονομικά στοιχεία αυτής της επιχείρησης είναι τα πιο δύσκολα μέρη της όλης διαδικασίας. Τα ευρήματα δείχνουν ότι δεν υπάρχει οικονομικό όφελος από την ανακύκλωση πόρων και ότι η τιμή ενός ανακυκλωμένου προϊόντος καθορίζεται από την αγοραία τιμή του νήματος από το οποίο κατασκευάστηκε αρχικά. Καυτό θέμα για την Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών – Κατασκευαστικός Τομέας

τρισδιάστατη εκτύπωση, στις μέρες μας, είναι το γεγονός ότι σε σύγκριση με τους συμβατικούς τρόπους κατασκευής, θα μπορούσε να εφαρμοστεί μια «παρακολουθούμενη» διαχείριση των απορριμμάτων υλικών. Είναι προφανές ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να παράγει απόβλητα με δύο τρόπους. Η μία πηγή απορριμμάτων είναι τα στηρίγματα που χρειάζονται για την εκτύπωσή του και η άλλη οι αποτυχημένες εκτυπώσεις. Μπορεί κανείς να συζητήσει ότι το υλικό που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη της εκτύπωσης έχει ήδη μειωθεί στο ελάχιστο σε σχέση και με τον χρόνο εκτύπωσης, κάτι που είναι επίσης σημαντικό. Από την άλλη πλευρά, οι αποτυχημένες εκτυπώσεις μετρούν το μεγαλύτερο μέρος του ποσοστού απορριμμάτων στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Επιπλέον, καθώς οι εκτυπώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εξαρτημάτων χωρίς τη βοήθεια μηχανημάτων ή άλλων εργαλείων, πολλά από αυτά αχρηστεύονται μετά από λίγες μόνο χρήσεις. Η ενεργή εκμάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να βοηθήσουν τη διαδικασία με τα απαραίτητα μέσα για την επίτευξη ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο και τη μείωση των αποτυχημένων εκτυπώσεων.

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Σύμφωνα με μια μελέτη, έως και το 90% των πλαστικών μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Επί του παρόντος, οι χώροι υγειονομικής ταφής περιέχουν έως και 80% πλαστικά απόβλητα, με ένα μικρό μόνο ποσοστό αυτών των απορριμμάτων να ανακυκλώνεται. Η πιο σημαντική αιτία ανησυχίας είναι η παραγωγή πλαστικών από υλικά όπως το HDPE, το LDPE (πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας), το PP (πολυπροπυλένιο) και το PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο), τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενώς από τους κατασκευαστές. Το υψηλό ποσοστό αυτών των υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής μπορεί ενδεχομένως να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία, να βλάψει το περιβάλλον και να αποτελέσει πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Τα δύο πολυμερή που χρησιμοποιούνται συχνότερα παγκοσμίως είναι το ABS και το PLA. Μεταξύ των υλικών που χρησιμοποιούνται είναι η πολυκαπρολακτόνη (PCL) και αρκετοί τύποι πολυαιθυλενίου (PE), όπως το χαμηλής πυκνότητας (LD), το γραμμικό χαμηλής πυκνότητας και το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HD). Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει υλικά όπως το πολυανθρακικό (PC), το πολυστυρένιο (PS), το πολυαιθεριμίδιο (PEI) και η πολυαιθραιθερκετόνη (PEEK) (PE υψηλής πυκνότητας). Αυτά τα είδη υλικών χρησιμοποιούνται συχνά στην παραγωγή μιας μεγάλης ποικιλίας έντυπων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων

παιχνιδιών για παιδιά, πρωτοτύπων για συσκευασία, πρωτοτύπων για μικρές κατασκευές και ανταλλακτικών για οχήματα. Ακόμα κι αν τα οφέλη της τρισδιάστατης εκτύπωσης υπερτερούν των μειονεκτημάτων, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλά σκουπίδια που παράγονται από τη διαδικασία. Τα ανακυκλωμένα νήματα PLA και ABS είναι ήδη ευρέως διαθέσιμα για χρήση στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Δυστυχώς, επί του παρόντος πολύ λίγα είναι γνωστά για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων νημάτων. Παρόλα αυτά, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη γενική ποιότητα του έντυπου υλικού. Ως εκ τούτου, για να βελτιωθεί η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης στο μέλλον, θα ήταν χρήσιμο να μελετήσουμε τα ποσοστά των ανακυκλωμένων νημάτων και να τα συγκρίνουμε με τα ποσοστά του παρθένου υλικού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η χρήση ανακυκλωμένων υλικών είναι λιγότερο δημοφιλής καθώς το κόστος μετά την ανακύκλωσή τους είναι υψηλότερο από το αρχικό τους κόστος. Παρόλο που δεν τιμολογούνται όλα τα πλαστικά πολυμερή στην αγορά με παρόμοιο τρόπο, για παράδειγμα το ανακυκλωμένο ABS είναι λιγότερο ακριβό από το ABS στην ακατέργαστη μορφή του, συνήθως ο επιπλέον χρόνος και η προσπάθεια που επενδύεται σε αυτά, απλώς για να γίνουν ξανά λειτουργικά, είναι αυτό που εξηγεί την αύξηση της τιμής. Σε αντίθεση με αυτό, ένα μικρό ποσοστό πολυμερών, κυρίως εκείνων που προέρχονται από φυτά, χάνουν τα χαρακτηριστικά τους μετά από περιορισμένο αριθμό ανακύκλωσης, καθιστώντας τα ακατάλληλα για περαιτέρω επαναχρησιμοποίηση. Ορισμένες νέες ιδέες έχουν προκύψει σε αυτό το πλαίσιο, ενώ ταυτόχρονα εξετάζεται ένα πιο βιώσιμο μέλλον. Πρώτον, είναι σημαντικό να βρούμε εναλλακτικές λύσεις σε υλικά όπως HDPE, LDPE, PP και PVC που έχουν γίνει πιο ανησυχητικά. Παρόλο που προτιμώνται σε μεγάλο βαθμό από τους κατασκευαστές λόγω των εξαιρετικών τους ιδιοτήτων, δυστυχώς αυτά τα λίγα υλικά δεν ανταγωνίζονται τα βιώσιμα. Τα βιοπολυμερή, από την άλλη πλευρά, είναι πολυμερείς ουσίες που παράγονται από βιολογική προέλευση. Έχουν ερευνηθεί για πολυάριθμες βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της ανανεώσιμης ικανότητας, της αφθονίας, της βιοδιασπασιμότητας και άλλων ειδικών ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των υψηλών ικανοτήτων προσρόφησης και της ευκολίας λειτουργικότητας.

Μια εναλλακτική λύση στα πολυμερή με βάση το πετρέλαιο είναι τα βιοπολυμερή. Η έννοια των βιοπολυμερών δεν είναι σχετικά νέα, η ίδια η τεχνολογία είναι μάλλον ουσιαστική και το κοινό έχει ήδη εκτεθεί στα βιοπολυμερή μέσω όλης της ποικιλίας της εφαρμογής τους. Επιπλέον, το Πολυγαλακτικό οξύ (PLA), το πιο γνωστό βιοπολυμερές, είναι το τυπικό υλικό μακράς διαρκείας

για επιτραπέζια εκτύπωση 3d. Αν και το θέμα χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση λόγω του υψηλού κόστους και της αναποτελεσματικότητάς τους, τα βιοπολυμερή δεν είναι πραγματικά μια βιώσιμη επιλογή για μεγάλης κλίμακας παραγωγή προσθέτων. Το Polymers Composites είναι η δεύτερη λύση στο ζήτημα της σύγχρονης χρήσης πλαστικού και του τεράστιου όγκου πλαστικών απορριμμάτων σε χωματερές και ωκεανούς παγκοσμίως. Εάν το δευτερεύον προϊόν είναι ένα «ολοκαίνουργιο» προϊόν με ανώτερα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το μητρικό/παρθένο πολυμερές, η ανακύκλωση πολυμερών με βάση το πετρέλαιο μπορεί να είναι πιο ελκυστική. Μέσω αυτής της στρατηγικής, δημιουργείται ένα κίνητρο για πιο βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων. Αντί να εναποτίθενται πλαστικά απόβλητα σε χωματερές ή τουλάχιστον να τα ανακυκλώνουν αλλά να χάνουν μέρος της αξίας τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για νέα και βελτιωμένα υλικά, όπως σύνθετα υλικά για μυριάδες ή εφαρμογές.

Recycled PP- Ocean rPPGF

Το Ocean rPPGF, ένα επαναστατικό υλικό που δημιουργήθηκε από τη Reflow, είναι μια απεικόνιση ενός νέου συστατικού που υποστηρίζει την επανάσταση των σύνθετων πολυμερών. Σύμφωνα με τους πρωτοπόρους, το σύνθετο υλικό που ονομάζεται Ocean rPPGF είναι κατασκευασμένο από ανακυκλωμένο δίκτυ ψαρέματος θερμοπλαστικό PP (73-75%) και είναι ενισχυμένο με ίνες γυαλιού. Προσφέρει αντοχή σε εφελκυσμό που πληροί τα πρότυπα μηχανικής, αντοχή στην κρούση και εξαιρετική αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία και τα χημικά. Κυρίως, το πολυπροπυλένιο είναι ένα ισχυρό πολυμερές που είναι ανοσοποιητικό στο νερό και τις ακτίνες UV, το οποίο χρησιμοποιείται συχνά με παρόμοιους τρόπους όπως το Πολυαιθυλένιο (PE). Λόγω της ακαμψίας και της μεγάλης αντοχής του σε εφελκυσμό, είναι γνωστό ότι είναι το καλύτερο υλικό για χρήση σε πιο δύσκολες συνθήκες ψαρέματος και λόγω της αντοχής του στη διάβρωση και τους ρύπους, είναι μια εξαιρετική επιλογή για χρήση στο ψάρεμα θαλασσινού νερού. Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα τράτας για παράκτια και υπεράκτια αλιεία καθώς και για υδατοκαλλιέργεια είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εφαρμογές. Ωστόσο, μετά την ολοκλήρωση της χρήσης, ένα σημαντικό ζήτημα με την ανακύκλωση PP είναι ότι προκαλεί το πολυμερές να είναι ασταθές και να γίνεται λιγότερο εύκαμπτο με κάθε κύκλο ανακύκλωσης.

allPHA

Τα PHA είναι πολυεστέρες, γνωστοί ως πολυυδροξυαλκανοϊκοί, που δημιουργούνται φυσικά από μια ποικιλία μικροβίων, συμπεριλαμβανομένων αυτών που ζυμώνουν υδατάνθρακες ή λίπη. Λειτουργούν ως αποθήκευση άνθρακα και πηγή ενέργειας όταν δημιουργούνται από βακτήρια. Μέσα σε αυτή την οικογένεια, περισσότερα από 150 διακριτά μονομερή μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν υλικά με εξαιρετικά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα βιοαποδομήσιμα πολυμερή χρησιμοποιούνται στη δημιουργία βιοπλαστικών. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτά μπορεί να είναι θερμοπλαστικά ή ελαστομερή, με τιμές τήξης που κυμαίνονται από 40 έως 180 °C. Το PHA μπορεί να αναμιχθεί, να τροποποιηθεί η επιφάνειά του ή να συνδυαστεί με άλλα πολυμερή, ένζυμα και ανόργανα υλικά για να αλλάξει τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τη βιοσυμβατότητά του, ανοίγοντας νέες δυνατότητες. Το πρώτο του τύπου που διατίθεται προς πώληση είναι το νήμα εκτύπωσης 3D PHA, ένα νέο προϊόν που βασίζεται εξ ολοκλήρου στο PHA. Προωθεί τη βιωσιμότητα, καθώς αποθηκεύεται σε καρούλι από χαρτόνι, ενώ παράλληλα τονίζει τη στιβαρότητα του νήματος. Το AllPHA είναι απαλλαγμένο από μικροπλαστικά, 100% βιοαποικοδομήσιμο. Εξοπλισμένοι με αυτή τη συναρπαστική νέα ουσία, οι καταναλωτές μπορούν να διεξάγουν γρήγορα και αβίαστα πειράματα για να εξακριβώσουν πώς αυτή η ειδική ουσία μπορεί να υποστηρίξει τους βιώσιμους στόχους τους. Διαθέτει συναρπαστικά απτικά και λεία υφή, ενώ έχει μηδενική επίδραση στο περιβάλλον.

COMPUTER VISION MODULE

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία προκαλούν μια «έκρηξη της Κάμβριας» στη δημιουργία νέων μεθόδων, εγκαινιάζοντας την εποχή της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στην οποία θα εισέλθει σύντομα ο κόσμος. Οι πιο πρόσφατες προσεγγίσεις AI έχουν δώσει στα συστήματα υπολογιστών τη δυνατότητα να βλέπουν και να κατανοούν το οπτικό περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, σε ορισμένες εργασίες, αυτά τα συστήματα υπολογιστών υπερτερούν των ανθρώπων όσον αφορά την ευφυΐα. Ένα σύστημα όρασης υπολογιστή, το οποίο περιλαμβάνει τους αλγόριθμους και τις υλοποιήσεις υλικού τους, είναι ουσιαστικά αυτό που μας επιτρέπει να εκπαιδεύσουμε έναν υπολογιστή ώστε να κατανοεί τον φυσικό κόσμο μέσω της όρασης. Ο στόχος των εργασιών όρασης υπολογιστή είναι η μίμηση της ανθρώπινης όρασης επιτρέποντας σε ένα Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών – Κατασκευαστικός Τομέας

σύστημα υπολογιστή να παρατηρεί, να αναγνωρίζει και να κατανοεί αυτόματα το οπτικό περιβάλλον. Οι ερευνητές όρασης υπολογιστών προσπάθησαν να δημιουργήσουν αλγόριθμους για αυτά τα είδη εργασιών οπτικής αντίληψης: ανίχνευση αντικειμένων, που εντοπίζει περιπτώσεις σημασιολογικών αντικειμένων μιας δεδομένης τάξης. αναγνώριση αντικειμένου, η οποία διαπιστώνει εάν τα δεδομένα εικόνας περιέχουν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. και κατανόηση σκηνής, που χωρίζει μια εικόνα σε σημαντικά τμήματα για ανάλυση. Οι προαναφερθείσες προκλήσεις στον τομέα της υπολογιστικής όρασης είναι αρκετά δύσκολες λόγω του ευρέος φάσματος των μαθηματικών που εξετάζονται και της θεμελιώδης δυσκολίας ανάκτησης αγνώστων από ανεπαρκείς πληροφορίες για τον πλήρη χαρακτηρισμό της λύσης. Είναι κρίσιμο να μελετηθούν αυτά τα ζητήματα από θεωρητική και πρακτική άποψη.

ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η όραση υπολογιστή προσεγγίζει την επεξεργασία εικόνας και ίσως χρησιμοποιούνται βαθμονομήσεις για τον προσδιορισμό των ακριβών χαρακτηριστικών ενός τρισδιάστατου εκτυπωμένου αντικειμένου χρησιμοποιώντας εικόνες ή πλαίσια. Η γενική προσέγγιση λειτουργεί ως εξής:

1. Βαθμονόμηση: Ξεκινά με τη βαθμονόμηση της κάμερας, προκειμένου να δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ των pixel και των πραγματικών μετρήσεων. Ένα αναγνωρισμένο αντικείμενο αναφοράς με γνωστές διαστάσεις πρέπει να φωτογραφηθεί από διάφορες προοπτικές και αποστάσεις για να επιτευχθεί αυτό. Ο στόχος είναι να μεταφραστούν οι τιμές των εικονοστοιχείων σε μετρήσεις που αντικατοπτρίζουν τον πραγματικό κόσμο χρησιμοποιώντας τεχνικές βαθμονόμησης.
2. Λήψη και Προεπεξεργασία εικόνας: Χρησιμοποιώντας συνδεδεμένη κάμερα, λαμβάνονται φωτογραφίες ή βίντεο του 3D-εκτυπωμένου αντικειμένου και σύμφωνα με την προεπεξεργασία, αφαιρείται ο θόρυβος από τις φωτογραφίες, αλλαγές στον φωτισμό και, εάν χρειάζεται, αυξάνεται η αντίθεση.
3. Τμηματοποίηση: Οι μέθοδοι τμηματοποίησης εικόνας χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του φόντου από το τρισδιάστατο εκτυπωμένο στοιχείο. Για αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατώφλι, ανίχνευση ακμών ή πιο εξελιγμένες μέθοδοι όπως η κατάτμηση

λεκάνης απορροής.

4. Ανίχνευση περιγράμματος: Βρίσκονται τα περιγράμματα της περιοχής ενδιαφέροντος και στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του σχήματος, των διαστάσεων ή των ορίων του τμήματος.
5. Πληροφορίες βάθους: Εάν η κάμερα υποστηρίζει τη λήψη πληροφοριών βάθους, αυτές οι πληροφορίες μπορεί να βοηθήσουν στον υπολογισμό του πάχους και να παρέχουν μια χρήσιμη εικόνα σχετικά με τα 3D μέρη και το ύψος τους χρησιμοποιώντας μόνο μία προβολή του εκτυπωτή.
6. Υπολογισμός πάχους: Αφού ληφθούν τα περιγράμματα του αντικειμένου, το πάχος είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ της επάνω και της κάτω επιφάνειας. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με επαναληπτική διασταύρωση των περιγραμμάτων, εντοπισμό του υψηλότερου και χαμηλότερου σημείου και υπολογισμού της απόστασης μεταξύ τους.
7. Εφαρμογή του παράγοντα βαθμονόμησης: Αφού καθοριστεί η σχέση μεταξύ εικονοστοιχείων και μονάδων μέτρησης, το πάχος μπορεί να εξαχθεί απευθείας στην πιο χρήσιμη μορφή.
8. Επικύρωση και βελτίωση: Παράγοντες όπως ο φωτισμός, η ανάλυση της κάμερας, η παραμόρφωση του φακού, η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του αντικειμένου μπορούν όλοι να έχουν αντίκτυπο στην ακριβή εκτίμηση του πάχους. Απαιτούνται πειραματισμοί και δοκιμές για την παροχή συνεπών ευρημάτων καθώς και για την επικύρωση της ακρίβειας της τεχνικής μέσω διασταύρωσης των αποτελεσμάτων με αντικείμενα με γνωστά πάχη. Με βάση τα αποτελέσματα, μπορεί να χρειαστούν ρυθμίσεις λεπτομέρειας, αλλαγές στο φωτισμό ή βελτίωση της τεχνικής επεξεργασίας εικόνας

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Χρησιμοποιούνται δύο κάμερες, η μία καταγράφει το επίπεδο του κρεβατιού και η άλλη δίνει την εικόνα από το μπροστινό μέρος του εκτυπωτή, καταγράφοντας το ύψος του προϊόντος. Ο αισθητήρας της κάμερας είναι CMOS, Sony IMX179, με επιλεγμένη μέγιστη ανάλυση 3264X2448 @ 15fps, συμβατός με το raspberry pi, προκειμένου να διασφαλιστεί η δημιουργία σύνδεσης μέσω OctoPrint. Στο Σχήμα 12, είναι ορατό ένα σκίτσο του εκτυπωτή και των τοποθετήσεων των καμερών. Πιο συγκεκριμένα για την κάμερα No. 1, η οποία καταγράφει το κρεβάτι του εκτυπωτή, επίπεδο xy, χρησιμοποιείται μια ήδη υπάρχουσα δομή για τη στερέωση της κάμερας. Η δομή ήταν παρούσα στο στήσιμο του εκτυπωτή από προηγούμενες δοκιμές, στερεώθηκε στις «ράγες 2020V» της βάσης του και είχε ύψος 150 mm πάνω από το επίπεδο του κρεβατιού. Η κάμερα No. 2 καταγράφει το ύψος της εκτύπωσης (πλάνο xz), διευκολύνοντας την τρισδιάστατη προβολή του προϊόντος. Χρησιμοποιήθηκαν οι βίδες στερέωσης του θερμαντικού κρεβατιού δίνοντας τη δυνατότητα εύκολα ρυθμιζόμενης γωνίας θέασης. Για την πραγματοποίηση της τοποθέτησης, σχεδιάστηκαν αρκετά μέρη των στηριγμάτων, τυπωμένα είτε σε νήμα PE με Creality Ender 3v2 είτε σε PLA με Artillery Genius Pro και η καταλληλότητά τους επικυρώθηκε έναντι του στόχου της δοκιμής παραμέτρων. Στη συνέχεια, η εικόνα λαμβάνεται όταν το κρεβάτι βρίσκεται σε θέση μηδενικής μετατόπισης ($y=0$) και το ακροφύσιο είναι κολλημένο στη δεξιά γωνία ($x=240$). Για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας, προστίθεται μια ακολουθία γραμμών στο προεπιλεγμένο τελικό τμήμα του G-code του εκτυπωτή, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι επιτυγχάνονται οι προκαθορισμένες τοποθετήσεις της κλίνης και της κεφαλής εξώθησης. Χρησιμοποιώντας την απομακρυσμένη πρόσβαση των καμερών που έχουν δημιουργηθεί μέσω του OctoPrint, λαμβάνεται ένα στιγμιότυπο και αποθηκεύεται με την ακριβή ημερομηνία-ώρα ως αρχείο ονόματος, το οποίο αργότερα θα χρησιμοποιηθεί για το τμήμα προεπεξεργασίας των δεδομένων. Κάθε εκτύπωση αποτελείται από τρία διαφορετικά σετ ρυθμίσεων, τρεις φορές το κάθε σετ, για συνολικό αριθμό εννέα γραμμών ανά εικόνα. Καθώς η κάμερα καταγράφει πολλές εικόνες, ο κώδικας εξάγει το μέσο πλάτος των τριών γραμμών ανά σύνολο παραμέτρων και το καταλογίζει σε σχέση με την ποιότητα του προϊόντος.

BAYESIAN ΥΠΕΡΠΑΡΑΓΩΝΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων είναι μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό της βέλτιστης συλλογής υπερπαραμέτρων για ένα δεδομένο μοντέλο. Χρησιμοποιεί πιθανοτικό συλλογισμό και προηγούμενες εκτιμήσεις για να επιλέξει τις πιο υποσχόμενες υπερπαραμέτρους για διερεύνηση στη συνέχεια, ελαχιστοποιώντας τους πόρους επεξεργασίας που απαιτούνται για τον εντοπισμό των βέλτιστων διαμορφώσεων. Ο αλγόριθμος μπορεί να δομηθεί μέσα σε μερικά διασυνδεδεμένα και σαφώς καθορισμένα βήματα. Πρώτον, λαμβάνει χώρα ο ορισμός του προβλήματος. Ένα πρόβλημα ή μια συμπεριφορά που παρουσιάζει ενδιαφέρον εμφανίζεται ενώ η συνάρτηση που περιγράφει το στοιχείο είναι από τη φύση του ένα μαύρο κουτί. Ως αποτέλεσμα, η έμφαση μετατοπίζεται στην οριοθέτηση μιας σχέσης εισόδου-εξόδου. Αυτή η συνάρτηση ονομάζεται δεδομένη ή αντικειμενική συνάρτηση, η οποία συνήθως μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται. Ξεκινώντας από τη δειγματοληψία, πραγματοποιείται η συλλογή των αρχικών τυχαίων σημείων. Αυτά τα σημεία είναι η έξοδος του προαναφερθέντος μαύρου κουτιού και χρησιμεύουν για τον υπολογισμό της υποκατάστατης συνάρτησης. Οι υποκατάστατες συναρτήσεις είναι εκτιμήσεις του στόχου που μπορούν να ενημερωθούν λαμβάνοντας υπόψη νέες πληροφορίες. Η ρουτίνα μπορεί να συνοψιστεί ως η βελτιστοποίηση της υποκατάστατης συνάρτησης σε σχέση με το υπολογιστικό κόστος και το αποδεκτό σφάλμα. Ειδικότερα, στη Bayesian βελτιστοποίηση, η υποκατάστατη βελτιστοποίηση αντιπροσωπεύει μια κατανομή πιθανοτήτων γύρω από τα αρχικά σημεία δειγματοληψίας. Ενσωματώνουν την αβεβαιότητα της συνάρτησης και δίνουν εκτιμήσεις των τιμών της σε μη παρατηρούμενες περιοχές στον χώρο αναζήτησης. Το μοντέλο όχι μόνο μπορεί να κάνει προβλέψεις αλλά και να διατηρεί ένα μέτρο αβεβαιότητας συνδεδεμένο με αυτές τις προβλέψεις.

Το επόμενο μέρος αποτελείται από μια επαναληπτική διαδικασία μεταξύ της συνάρτησης απόκτησης, της ενημέρωσης του υποκατάστατου και της επικύρωσης.

1. Δίνεται η συνάρτηση f που θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε ή να ελαχιστοποιήσουμε (συνάρτηση μαύρου κουτιού)
2. Αρχικό δείγμα: Ξεκινήστε επιλέγοντας τυχαία ένα περιορισμένο σύνολο σημείων δείγματος.

3. Υποκατάστατη συνάρτηση: Χρησιμοποιώντας τα αρχικά σημεία για τον υπολογισμό μιας υποκατάστατης συνάρτησης, σκοπός της οποίας είναι να έχουμε ένα μοντέλο με πρόβλεψη για μαύρο κουτί που σχετίζεται με την αβεβαιότητα αυτών των προβλέψεων, μοντέλο GP
4. Επανάληψη:
 - a. Συνάρτηση απόκτησης: συνάρτηση που παρέχει την καλύτερη περιοχή για το επόμενο σημείο δειγματοληψίας.
 - b. Ενημερώστε το μοντέλο: Επαναξιολογήστε την υποκατάστατη συνάρτηση. Η Bayesian βελτιστοποίηση κατευθύνει την αναζήτηση προς τμήματα του χώρου αναζήτησης που είναι πιθανό να περιέχουν την καλύτερη λύση ενημερώνοντας επαναληπτικά το υποκατάστατο μοντέλο με βάση τις παρατηρούμενες αξιολογήσεις συναρτήσεων.
 - c. Σημείο επικύρωσης: επαλήθευση εάν το ενημερωμένο υποκατάστατο f είναι σταθερό ή εάν η διακύμανση συγκλίνει σε ένα προκαθορισμένο όριο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τη στρατηγική δειγματοληψίας θα χρησιμοποιηθεί ένα γεγονός που αναφέρεται στο κεφάλαιο 2.2. Οι επιτραπέζιοι εκτυπωτές απαιτούν εξωθητή με ακροφύσιο 0,4 mm, ανεξάρτητα από τη διάμετρο του νήματος. Αν και μπορεί να φαίνεται λίγο αντιφατικό, η περαιτέρω μείωση της διαμέτρου είναι εφικτή και μπορεί ακόμη και να βελτιώσει την ποιότητα. Μια κοινή ρύθμιση από 100 έως 120% της διαμέτρου του ακροφυσίου χρησιμοποιείται από τους περισσότερους τεμαχιστές. Κάθε μοναδικός συνδυασμός πρέπει να εκτελείται 3 φορές για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία ή να ληφθεί υπόψη η μεταβλητότητα. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται το εύρος χρήσης για την κύρια ρύθμιση, που παρέχεται από τον κατασκευαστή.

Υπερπαράμετροι	Εύρος	Βημ	Τεστ*
Πάχψ γραμμής (%)	90-120	10	4

Θερμοκρασία Εκτύπωσης (°C)	PHA rPPGF	190-200	5	3
		200-240	10	5
Θερμοκρασία Τραπεζιού (°C)		35-45	5	3
		90-100	10	2
Βέλτιστη ταχύτητα εκτύπωσης		40-80	5	8
		25-45	5	4

Table 1. Εύρος Λειτουργίας

Μετά τη διεξαγωγή της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε αρχικά ο αλγόριθμος για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε εικόνα περιείχε πληροφορίες για 3 σετ ρυθμίσεων εκτύπωσης. Η κατασκευή των αντικειμενικών συναρτήσεων ήταν επιτυχής και μετά την εκπαίδευση του μοντέλου με το 80% των δεδομένων, έγινε η δοκιμή για το υπόλοιπο 20%. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι λόγω του περιορισμένου χρόνου για δοκιμή, το νήμα rPPGF δεν δοκιμάστηκε για το σύνολο του εύρους του, παρέχοντας έτσι περιορισμένο αριθμό δεδομένων. Παρόλα αυτά, ο αλγόριθμος διεξήχθη όπως περιγράφηκε προηγουμένως και τα αποτελέσματα για την ελεγχόμενη περιοχή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Επιθυμητό πάχος γραμμής (%)	Βέλτιστη θερμοκρασία εκτύπωσης (°C)	Βέλτιστη θερμοκρασία τραπεζιού (°C)	Βέλτιστη ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)
90	193.87	45	71.23
100	197.52	45	63.45
110	196.87	45	68.20
120	197.56	45	73.54

Table 2. PHA

Επιθυμητό πάχος γραμμής (%)	Βέλτιστη θερμοκρασία εκτύπωσης (°C)	Βέλτιστη θερμοκρασία τραπεζιού (°C)	Βέλτιστη ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)
90	205.4	93.5	21.23
100	210.85	98.5	35.5

Table 3. rPPGF

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως αποτέλεσμα, είναι γνωστό ένα πολύ ακριβές και αξιόπιστο σύνολο υπερπαραμέτρων για κάθε νήμα, λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε σειρά είναι για ένα συγκεκριμένο πλάτος εξώθησης στόχου. Για μελλοντικές εργασίες μπορούν να ληφθούν υπόψη περισσότερες παράμετροι, υγρασία περιβάλλοντος του νήματος κ.λπ. Το πιο χρονοβόρο κομμάτι είναι η δειγματοληψία του χώρου δεδομένων. Η Μπεϋζιανή προσέγγιση είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος δειγματοληψίας με στοχευμένο τρόπο, ελαχιστοποιώντας τον όγκο των μάταιων δοκιμών στην περιοχή που είναι ήδη καλά καθορισμένη από τα δεδομένα. Αυτή η μέθοδος που παρουσιάζεται εδώ, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως δοκιμή κλειστού βρόχου, με την παρέμβαση του χρήστη, μια περαιτέρω εξέλιξη θα μπορούσε να είναι η αυτοματοποίηση ολόκληρης της ρύθμισης δημιουργώντας έναν αυτόνομο τρόπο για τον καθαρισμό του πίνακα εκτύπωσης μετά από κάθε επανάληψη.