



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μηχανική Μάθηση και Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Σιαβελή Άντζελα

1059717

Λούτας Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ, 02/2024

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

1. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ

Η εκτύπωση 3D, επίσης γνωστή ως additive manufacturing, αναφέρεται σε μια σειρά διαδικασιών τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιεί διάφορα εργαλεία και υλικά. Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται σήμερα με την τεχνολογία 3D κυμαίνονται από πολύ απλές εφαρμογές όπως θήκες μολυβιών έως και πιο σύνθετες σε κινητήρες πυραύλων, οπότε ακόμα και αν η υποκείμενη τεχνολογία κάθε ενός είναι διαφορετική, υπάρχουν μερικές ομοιότητες. Αρχικά, επειδή η εκτύπωση 3D είναι αναγκαία ψηφιακή, όλες οι εκτυπώσεις ξεκινούν με ψηφιακά μοντέλα. Ψηφιακά αρχεία που δημιουργήθηκαν με λογισμικό CAD ή ανακτήθηκαν από αποθετήριο ψηφιακών εξαρτημάτων λειτουργούν ως τα πρώτα οικοδομικά στοιχεία για εξαρτήματα ή προϊόντα. Το αρχείο σχεδίασης στη συνέχεια εκτελείται μέσω εξειδικευμένου λογισμικού, το οποίο το χωρίζει σε φέτες ή στρώσεις για εκτύπωση 3D. Αυτό το πρόγραμμα διαιρεί το μοντέλο σε στρώσεις και παρέχει τις κατευθύνσεις διαδρομής εκτύπωσης για τον 3D εκτυπωτή, οι οποίες συνήθως είναι ειδικές για τον τύπο εκτύπωσης 3D και το εμπορικό σήμα του εκτυπωτή 3D (CAM). Οι τύποι του additive manufacturing μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με το τι δημιουργούν ή ποιο είδος υλικού χρησιμοποιούν. Η Διεθνής Οργάνωση Προτύπων (ISO) κατέταξε την προσθετική κατασκευή σε επτά ευρείες κατηγορίες για να φέρει δομή στην τεχνολογία παγκοσμίως. Αν και υπάρχει αυξανόμενος αριθμός υβριδικών και υποτύπων τεχνολογιών που αυτές οι επτά κατηγορίες εκτύπωσης 3D προσπαθούν να συμπεριλάβουν, τα περισσότερα από τα οποία είναι κατοχυρωμένα από ευρεσιτεχνίες από τις εταιρείες που παρέχουν τους συγκεκριμένους εκτυπωτές.

- Material Extrusion
- Vat Polymerization
- Powder Bed Fusion
- Material Jetting
- Binder Jetting
- Directed Energy Deposition
- Sheet Lamination

2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Η μηχανική μάθηση ορίζεται ως η διαδικασία μέσω της οποίας οι μηχανές μπορούν να αναπτύξουν αλγόριθμους χωρίς την ανάγκη να τους διδάξουν εξ αρχής προγραμματιστές. Χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων για τα οποία το κόστος ανάπτυξης αλγορίθμων από ανθρώπους μπορεί να αποδειχθεί απαγορευτικό. Η μηχανική μάθηση κατηγοριοποιείται κυρίως σε τέσσερις κατηγορίες: μάθηση υπό επίβλεψη, ανεπίβλεπτη μάθηση, ημι-επίβλεπτη μάθηση και ενισχυτική μάθηση. Ωστόσο, λόγω της ποικιλίας μεθόδων και αλγορίθμων που έχουν αναπτυχθεί για διάφορες εφαρμογές και προβλήματα, η λίστα των τεχνικών μηχανικής μάθησης είναι ανανεώνεται διαρκώς. Αυτές περιλαμβάνουν επίσης εξελικτική μάθηση, μάθηση συνόλου, (τεχνητά) νευρωνικά δίκτυα, μάθηση με βάση τα παραδείγματα, αλγόριθμους μείωσης διαστάσεων και υβριδική μάθηση.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Καθώς είναι ουσιαστικά πολύπλοκο, το additive manufacturing κάποιες φορές περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό συχνά αντιφατικών παραμέτρων. Ας πάρουμε για παράδειγμα τους εκτυπωτές τύπου extrusion, οι οποίοι είναι δημοφιλείς και εύκολα προσβάσιμοι στην κοινότητα των δημιουργών ως εκτυπωτές FDM και είναι σημαντικά απλοί να μετατραπούν σε συστήματα κλειστού βρόχου. Τα πιθανά αποτελέσματα από τη χρήση της Μηχανικής Μάθησης (ML) στην εκτύπωση FDM θα είναι ικανοποιητικά. Μελέτες έδειξαν 13 βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν μια εκτύπωση 3D για τα τυπικά συστήματα FDM. Ωστόσο, έχουν εμφανιστεί πολλά επιπλέον χαρακτηριστικά που παρέχουν ακόμα μεγαλύτερο έλεγχο στην ποιότητα των εξαρτημάτων καθώς το λογισμικό διακριτοποίησης (που δημιουργεί συγκεκριμένες εντολές εκτύπωσης από ένα μοντέλο 3D) συνεχίζει να αναπτύσσεται. Για παράδειγμα, το Ultimaker Cura, ένα δημοφιλές λογισμικό ανοικτού κώδικα για εκτύπωση 3D, προσφέρει στους χρήστες περισσότερες από 300 ρυθμίσιμες παραμέτρους για βελτιστοποίηση της εκτύπωσης (Ankita Sheoran, 2019).

Συνεπώς, αν χρησιμοποιηθούν μόνο 13 βασικές παράμετροι με πέντε επίπεδα (διαφορετικών παραμέτρων) σε ένα πλήρες πειραματικό σχεδιασμό παραγοντικού πειράματος, θα απαιτούνταν περισσότερες από ένα δισεκατομμύριο (5^{13}) δοκιμές για να συλλεχθούν δεδομένα για κάθε δυνατό συνδυασμό. Οι παραδοσιακές μη-επαναληπτικές συστηματικές προσεγγίσεις δεν είναι εφικτές για τη βελτιστοποίηση τόσων πολλών παραμέτρων, καθώς αυτό θα απαιτούσε έναν τεράστιο αριθμό δοκιμών εκτύπωσης. Επιπλέον, ένας μεγάλος αριθμός μη διαχειρίσιμων παραγόντων (όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος, η διακύμανση του υλικού από παρτίδα σε παρτίδα και η φθορά του συστήματος) μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ελαττωμάτων, κακής ποιότητας και μειωμένης παραγωγικότητας, επιβάλλοντας την επανάληψη της βελτιστοποίησης παραμέτρων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει σωστή ή λάθος συσχέτιση, αλλά υπάρχει μόνο μια λεπτή ρύθμιση μεταξύ των παραμέτρων εκτύπωσης και του επιθυμητού αποτελέσματος, στην οποία ένας αλγόριθμος κλειστού βρόχου μπορεί να επιτύχει ένα πιο αποδοτικό αντάλλαγμα.

Οι μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα στον τομέα της τεχνολογίας του additive manufacturing, χρησιμοποιώντας φθηνούς και απλούς μηχανισμούς ανατροφοδότησης με υψηλή προσβασιμότητα, προάγοντας ευρύτερη συνεργασία και ανεμπόδιστη έρευνα, κάνοντας τη συνεργασία πιο εύκολη και επιταχύνοντας τις ανακαλύψεις στην επιστήμη. Υπάρχουν ήδη συγκεκριμένες εφαρμογές, στις οποίες η βελτιστοποίηση της εκτύπωσης βασίζεται σε εξελεγχόμενες τεχνικές, ακόμα και σε εμπορικούς εκτυπωτές 3D, χρησιμοποιώντας αυτόματα λήψη εικόνων και ανάλυση ως άμεση ανατροφοδότηση σε έναν αλγόριθμο Μηχανικής Μάθησης κλειστού βρόχου.

Γενικά, οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης στη βιομηχανία της εκτύπωσης 3D αντιμετωπίζουν αρκετά σημαντικά θέματα που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του τελικού προϊόντος εκτύπωσης 3D και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σχεδίασης και κατασκευής. Εφαρμογές όπως η σχεδίαση για εκτύπωση 3D, η βελτιστοποίηση ποιότητας/διαδικασίας εξαρτήματος, η παρακολούθηση στην θέση της εκτύπωσης για έλεγχο ποιότητας, ο έλεγχος της εκτυπωτικής κατασκευασιμότητας, η επιτάχυνση της διακριτοποίησης, ο έλεγχος της τροχιάς του ακροφύσιου, η πλατφόρμα υπηρεσιών στο cloud, η αξιολόγηση των υπηρεσιών και η ασφάλεια κυβερνοεπιθέσεων είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της συνεργασίας που παρουσιάζονται παρακάτω.

4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Το ευρύ φάσμα χρήσης της εκτύπωσης 3D εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πλατφόρμα cloud. Πρόκειται για ένα μοντέλο υπολογιστών που βασίζεται σε διακομιστές και περιλαμβάνει τόσο λογισμικά όσο και υλικούς πόρους. Επιτρέπει την κοινή χρήση πόρων με ένα δημόσιο αποθετήριο, όπως 3D μοντέλα ή υπηρεσίες εκτύπωσης, και τους ενσωματώνει για να δημιουργήσει έναν μεγάλο πλούτο πόρων (Wang W, 2015). Με τη βοήθεια μιας λεπτομερούς αξιολόγησης των εκτυπωτών επιτραπέζιων υπολογιστών και ευφυούς διαχείρισης πόρων βασισμένης στην ακρίβεια εκτύπωσης, την ποιότητα, το κόστος και τον χρόνο, οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης μπορούν να μάθουν να πραγματοποιούν αξιολόγηση υπηρεσιών και να ανταποκρίνονται στη ζήτηση (Wu M, 2016) (Wu Y, 2016). Μπορεί να μειώσει το κατώτατο όριο για τους δημόσιους χρήστες, με αλγόριθμους κατανομής πόρων που αναπτύσσουν συλλογική και προσαρμοστική διαχείριση πόρων. Επιπλέον, η Μηχανική Μάθηση προσφέρει προτάσεις χαρακτηριστικών για τα σχέδια, επιτρέποντας έξυπνη εξατομίκευση των προϊόντων (Yao X, 2017).

Επιπλέον, στη βιομηχανία 4.0, η οποία πρόσφατα επικεντρώθηκε περισσότερο στον κοινό διαμοιρασμό αρχείων και την παραγωγή στο cloud, η εκτύπωση 3D παίζει σημαντικό ρόλο. Ενώ οι επιθέσεις στα συστήματα μπορεί να οδηγήσουν σε μη επιθυμητά σφάλματα στα προϊόντα μέσω του ελέγχου των παραμέτρων διαδικασίας, η κυβερνοασφάλεια για την εκτύπωση 3D γίνεται ένα σημαντικό ζήτημα. Η Μηχανική Μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απάντηση, για να αντιμετωπιστούν τέτοιες καταστάσεις.

5. ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ένα αναδυόμενο πεδίο της μηχανικής ιστών που ονομάζεται "βιοεκτύπωση" χρησιμοποιεί τεχνικές εκτύπωσης 3D για τη δημιουργία δομών που μοιάζουν με ιστό από βιο-μελάνες (Khan Z, 2019), (Mishbak HH, 2019). Με εκπαίδευση από ένα ευρύ φάσμα δεδομένων υλικών και σχεδιασμών, η Μηχανική Μάθηση μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των χαρακτηριστικών των υλικών των διαφόρων συνθέσεων των βιο-μελάνων, καθώς και στην ανάπτυξη νέων σχεδιασμών στηριγμάτων που προσαρμόζονται σε συγκεκριμένους σκοπούς. Οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της εκτύπωσης των βιο-μελάνων σε πολλούς στόχους. Για παράδειγμα, (Menon A, 2019) χρησιμοποίησε ιεραρχική μάθηση μηχανής για την ταυτόχρονη βελτίωση της διαμόρφωσης πρόσθετης κατασκευής ελαστομερών σιλικόνης, των παραγόντων διαδικασίας και του υλικού με ελεύθερη αναστρέψιμη ενσωμάτωση.

Δεν έχουν δημοσιευθεί πολλές μελέτες σχετικά με τη χρήση της μηχανικής μάθησης στη βιοεκτύπωση 3D. Η απουσία δεδομένων βιοεκτύπωσης, που είναι απαραίτητα για τη μηχανική μάθηση για να κάνει προβλέψεις και να βελτιστοποιήσει διαδικασίες, μπορεί να είναι η αιτία αυτού. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι, σε σύγκριση με την 3D εκτύπωση, η βιοεκτύπωση 3D είναι ακόμα σχετικά νέα, και υπάρχουν ακόμα πολλά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν με τη μέθοδο της βιοεκτύπωσης ίδια. Παρ' όλα αυτά, η μηχανική μάθηση θα προωθήσει σημαντικά τη βιοεκτύπωση στο μέλλον (Yu C., 2020).

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΟΙΚΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η συνδυασμένη χρήση της Μηχανικής Μάθησης και της Εκτύπωσης 3D στη βιομηχανία της κατασκευής και της οικοδομής μπορεί να αντιμετωπίσει μια ποικιλία θεμάτων, όπως υλικό, σχεδιασμός και διαδικασία (Lim CW, 2018), (Lao W, 2020). Εκπαιδεύοντας τους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης να αναγνωρίζουν χαρακτηριστικά και πρότυπα από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων διαθέσιμων ιδιοτήτων υλικών, είναι δυνατή η εύρεση νέων υλικών εκτύπωσης 3D με συγκεκριμένες επιδόσεις, όπως υψηλές θλιπτικές και εφελκυστικές ιδιότητες, αντοχή σε ρωγμές και αντοχή, σύντομο χρόνο στήριξης και υψηλή αντοχή στη στήριξη.

Η εκτίμηση ποσοτήτων μπορεί επίσης να γίνει πιο απλή με τη Μηχανική Μάθηση με τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από σχετικά παραδείγματα για να προβλέψει την ποσότητα του υλικού που απαιτείται και να προσφέρει ακριβές υπολογισμό του προϋπολογισμού για στοχευμένο έλεγχο του κόστους. Η προσέγγιση της Μηχανικής Μάθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία νέων και καινοτόμων σχεδιασμών βασισμένων σε δεδομένα αντικειμένων εκτύπωσης 3D που είναι πολυλειτουργικά και πιο πολύπλοκα (Sanjayan JG, 2019). Μια λεπτομερής κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς του εκχυμένου υλικού είναι απαραίτητη για τον προγραμματισμό της τροχιάς εργαλείων πολλαπλών ρομπότ για την εκτύπωση 3D, καθώς και για τον συγχρονισμό των ρομπότ (Al Jassmi H, 2018). Με τη σύγκριση των δαπανών εναλλακτικών σχεδίων, η Μηχανική Μάθηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μάθει ένα μεγάλο αριθμό σχεδίων διαδικασιών, να βελτιστοποιήσει τη χρήση υλικών και να μειώσει τους χρόνους κατασκευής.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε σύγκριση με τους ανθρώπους, τα υπολογιστικά συστήματα μάθησης κλειστού βρόγχου έχουν πολλά πλεονεκτήματα: μπορούν να παράγουν πλήρεις εγγραφές των διαδικασιών σκέψης τους, να ενσωματώνουν μεγάλους όγκους βασικής γνώσης, να χρησιμοποιούν περίπλοκα μοντέλα, να αναλύουν δεδομένα πιο γρήγορα.

Με την εκπαίδευση των αλγορίθμων να αναγνωρίζουν χαρακτηριστικά και πρότυπα από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων διαθέσιμων ιδιοτήτων υλικών, είναι δυνατή η αναζήτηση νέων υλικών εκτύπωσης 3D με πιο επιθυμητές ιδιότητες. Προς την κατεύθυνση μιας πλήρως αυτοματοποιημένης βιομηχανίας additive manufacturing, οι αλγόριθμοι πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύσσουν τις πρώτες υποθέσεις που προσδιορίζουν τους λόγους για τη διεξαγωγή των δοκιμών, καθώς και να μαθαίνουν από τα αποτελέσματα. Η μάθηση κλειστού βρόγχου, όπου ο υπολογιστής όχι μόνο αξιολογεί τα αποτελέσματα αλλά και μαθαίνει από αυτά και τροφοδοτεί τις αποτελεσματικές πληροφορίες πίσω στον επόμενο κύκλο της διαδικασίας, είναι απαραίτητη για την πλήρη αυτοματοποίηση της έρευνας.