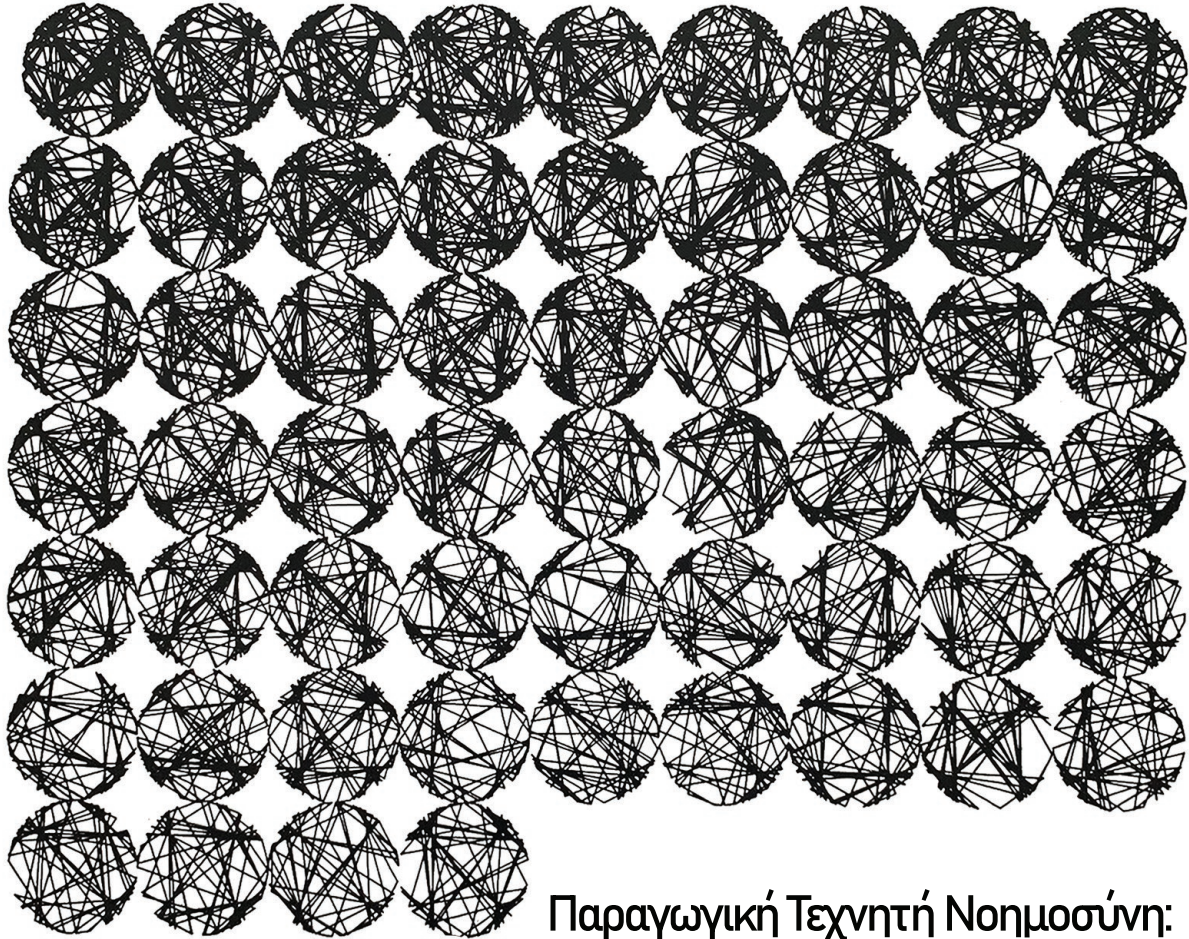


Πολυτεχνείο Κρήτης - Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών



Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη:
επαναπροσδιορίζοντας τη δημιουργικότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό

Ερευνητική Εργασία - Απρίλιος 2025

Επιμέλεια | Καρβουνάκη Βασιλική
Επιβλέπων | Βαζάκας Αλέξανδρος-Θεοχάρης

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ | ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ακαδημαϊκό έτος 2024-2025

**Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη:
Επαναπροσδιορίζοντας τη Δημιουργικότητα στον Αρχιτεκτονικό Σχεδιασμό**

Generative Artificial Intelligence: Redefining Creativity in Architectural Design

Ερευνητική Εργασία

Απρίλιος 2025

Καρβουνάκη Βασιλική

Επιβλέπων: Βαζάκας Αλέξανδρος-Θεοχάρης

Περίληψη

Στην παρούσα ερευνητική εργασία εξετάζεται η σχέση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (Generative AI) με την αρχιτεκτονική δημιουργία. Αρχικά, μελετάται η ιστορική εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης στην επιστήμη των υπολογιστών, επισημαίνοντας τις προκλήσεις που αντιμετώπισε και τις άμεσες επιρροές της, με σημαντική αναφορά στην αλγοριθμική τέχνη και στους γενετικούς αλγόριθμους στην αρχιτεκτονική. Στη συνέχεια, η μελέτη επικεντρώνεται γύρω από τις ευρύτερες έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής και της βαθιάς μάθησης, όπου αναλύονται οι διάφορες τεχνικές μάθησης, πάνω στις οποίες στηρίζονται οι εφαρμογές Generative AI για την παραγωγή νέων δεδομένων στο σχεδιασμό. Διερευνάται η ικανότητα των συγκεκριμένων εφαρμογών να παράγουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα για την σχεδιαστική διαδικασία, με αναφορά σε σύγχρονα παραδείγματα από διακεκριμένους αρχιτέκτονες, καθώς και σε προσωπικούς πειραματισμούς της γράφουσας που έχουν ενταχθεί στη μελέτη. Για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, επιχειρείται σύγκριση μεταξύ των διαφόρων αρχιτεκτονικών παραδειγμάτων και απαριθμούνται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των νέων αυτών μεθόδων στην αρχιτεκτονική πρακτική, ενώ παράλληλα, αξιολογείται ο πιθανόν αρνητικός αντίκτυπός τους στο ρόλο του αρχιτέκτονα. Τέλος, τονίζεται ότι η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη ως νέο τεχνολογικό εργαλείο έχει τη δυνατότητα να αναδείξει και να ενισχύσει το έργο του αρχιτέκτονα, λαμβάνοντας υπόψιν πως για την επίτευξη αυτού είναι απαραίτητη η ορθολογική σκέψη.

Abstract

This research study explores the relationship between Generative Artificial Intelligence (Generative AI) and architectural creation. Firstly, the historical development of AI in computer science is studied, highlighting the challenges it has faced and its direct influences, with significant reference to algorithmic art and genetic algorithms in architecture. Subsequently, the study focuses on the broader concepts of AI, such as machine learning and deep learning, analyzing the various learning techniques that form the basis of generative AI applications and platforms for the generation of new design data in architecture. The ability of these applications to generate useful results for the architectural design process was also investigated, with reference to contemporary examples of distinguished architects and personal experiments that were incorporated into the study. To achieve a comprehensive analysis, a comparison between the different architectural examples is attempted and the advantages and disadvantages of using these new methods in architectural practice are listed, while their potential negative impact on the role of the architect is evaluated. Finally, it is emphasized that generative AI, as a new technological tool, has the potential to highlight and enhance the architects’ work, if rational and critical thinking are employed to obtain this.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βαζάκα Αλέξανδρο, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συζητήσεις καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της ερευνητικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη, την κατανόηση και την υπομονή τους. Τέλος, τις φίλες μου, Άργη, Δήμητρα, Σμαράγδα, Σταυρούλα, για τα ατελείωτα ξενύχτια και τη συμπαράσταση και τη Μάιρα, που είναι πάντα δίπλα μου κι ας είναι μακριά.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή //10

1.1. Αντικείμενο – Στόχος – Ερευνητικά Ερωτήματα – Μεθοδολογία – Λέξεις Κλειδιά

2. Τεχνητή Νοημοσύνη & Αλγόριθμοι: από το 1940 μέχρι σήμερα //14

2.1. Οι πρώτες εμφανίσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης 15

2.1.1. Η γέννηση της Τεχνητής Νοημοσύνης 15

2.1.2. Νόμος του Moore 19

2.1.3. Οι «χειμώνες» της Τεχνητής Νοημοσύνης 20

2.1.4. Deep Blue – Kismet – AlphaGo 20

2.1.5. Συμπεράσματα – Χρονοδιάγραμμα Εξελίξεων 21

2.2. Αυτόνομα Παραγωγικά Συστήματα: Η εμφάνιση της Αλγοριθμικής Τέχνης 24

2.2.1. Αλγόριθμος 24

2.2.2. Max Bense & Αισθητική της Πληροφορίας 25

2.2.3. Οι Καλλιτέχνες της Αλγοριθμικής Τέχνης 26

2.2.4. Συμπεράσματα 40

2.3. Γενετικοί Αλγόριθμοι & Αρχιτεκτονική Δημιουργία 41

2.3.1. Γενετικός αλγόριθμος 41

2.3.2. Deleuze & Γενετικοί Αλγόριθμοι 43

2.3.3. DeLanda & Αρχιτεκτονική Δημιουργία 44

2.3.4. Greg Lynn 46

2.3.5. Bernard Cache 50

2.3.6. Kas Oosterhuis 53

2.3.7. Συμπεράσματα 57

3. Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη //60

3.1. Εισαγωγικές έννοιες: Τεχνητή Νοημοσύνη, Machine Learning, Deep Learning, Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη 61

3.1.1. Νοημοσύνη 61

3.1.2. Τεχνητή Νοημοσύνη 62

3.1.3. Είδη Λογικής 64

3.1.4. Νευρωνικά δίκτυα 65

3.1.5. Δομή Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (ΤΝΔ) 67

3.1.6. Πράκτορας 68

3.1.7. Μηχανική μάθηση 69

3.1.8. Βαθιά μάθηση 71

3.1.9. Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη 72

3.1.10. Generative Adversarial Networks (GANs) – Παραγωγικό Αντιπαραθετικό Δίκτυο 73

3.1.11. Autoencoders (AEs) – Αυτοκωδικοποιητές 74

3.1.12. Variational Autoencoders (VAEs) – Μεταβλητοί Αυτοκωδικοποιητές 76

3.1.13. Diffusion Models (DMs) – Μοντέλα Διάχυσης 77

3.1.14. Σύγκριση GANs-VAEs-DMs 81

3.1.15. Χάρτης Τεχνητής Νοημοσύνης 83

3.2. Οι δυνατότητές τους στην Αρχιτεκτονική Πρακτική 84

3.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα 87

4. Εφαρμογές της Παραγωγικής ΤΝ στον τομέα της Αρχιτεκτονικής //94

4.1. MVRDV 95

4.2. Foster & Partners 99

4.3. Coop Himmelb(l)au – Deep Himmelblau 101

4.4. Zaha Hadid Architects (Patrik Schumacher, Tim Fu, Refik Anadol) 106

4.5. Άλλες Εφαρμογές: MoMA (Refik Anadol) 110

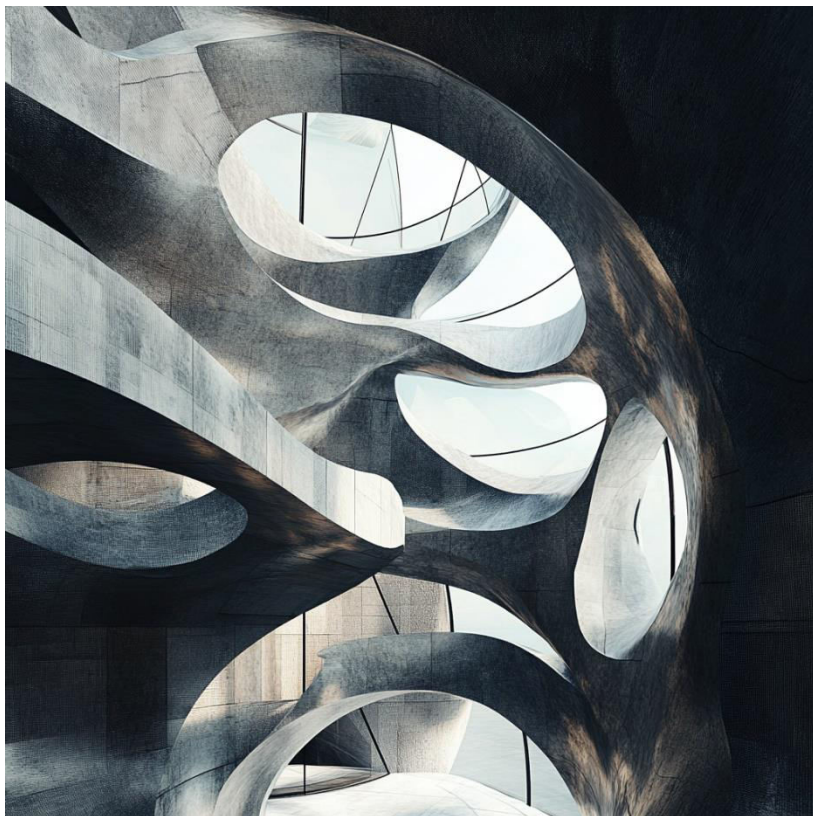
4.6. Προσωπικοί πειραματισμοί (Midjourney, Stable Diffusion, Tripo3D) 113

4.7. Συμπεράσματα 117

5. Συγκρίσεις //120

6. Συμπεράσματα //126

7. Βιβλιογραφία & Κατάλογος Εικόνων //131



1. Εισαγωγή

Αντικείμενο – Στόχος – Ερευνητικά Ερωτήματα

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN ή AI) έχει αναδειχθεί ως μία από τις πιο επαναστατικές τεχνολογίες της εποχής της, επηρεάζοντας σχεδόν κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ιδιαίτερα μια υποκατηγορία της τεχνητής νοημοσύνης, η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη (generative AI), έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό τον άνθρωπο και κατ' επέκταση τους αρχιτέκτονες και τους καλλιτέχνες την τελευταία δεκαετία. Η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί έναν κλάδο της TN που εστιάζει στη δημιουργία νέου περιεχομένου μέσω πολυάριθμων μεθόδων μηχανικής μάθησης (machine learning) που βασίζονται σε στοιχεία λογικής, πιθανότητες, μαθηματικά και συλλογιστική. Χρησιμοποιεί βάσεις δεδομένων με συγκεκριμένες τεχνικές μάθησης και αλγόριθμους, για να παράγει πρωτότυπα κείμενα, ήχους, εικόνες, μορφές, και σχέδια που μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν αδύνατο να δημιουργηθούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Στους τομείς της αρχιτεκτονικής και της τέχνης, οι οποίοι είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την οπτική απόδοση ενός έργου, η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να λειτουργήσει

όχι απλά ως εργαλείο, αλλά ακόμη και ως «συνεργάτης», γεγονός το οποίο δημιουργεί νέες δυνατότητες, αλλά ταυτόχρονα και πολλαπλά ερωτήματα, σχετικά με την αυθεντικότητα, την πρωτοτυπία, την επιρροή που ασκεί και άλλα ζητήματα που θα αναλυθούν.

Με αφορμή τη διαμόρφωση αυτών των νέων τεχνολογικών συνθηκών, αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης και του αρχιτέκτονα, καθώς και των νέων δυνατοτήτων που αυτή προσφέρει στο έργο του. Πιο συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία θα επιχειρηθούν να απαντηθούν είναι:

- Πως η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης και των αλγορίθμων επηρέασαν την αρχιτεκτονική και την τέχνη διαχρονικά;
- Τι είναι η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη και πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αρχιτεκτονική;
- Σε ποιο βαθμό η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να παράγει αυτόνομα αρχιτεκτονική; Θα μπορούσε να αντικαταστήσει τον αρχιτέκτονα; Αν

ναι, τι επιπλέον μπορεί να προσφέρει ο αρχιτέκτονας και το έργο του, το οποίο δεν μπορεί να προσφέρει πλήρως η τεχνητή νοημοσύνη;

- Πως η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στο έργο του αρχιτέκτονα;

Σκοπός της έρευνας είναι να γίνουν κατανοητές αυτές οι έννοιες και οι λειτουργίες γύρω από το ευρύτερο φάσμα της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης, έτσι ώστε στη συνέχεια, να αναδειχθεί το πως αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα νέο εργαλείο έμπνευσης και δημιουργίας στον τομέα της αρχιτεκτονικής.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συλλογή δεδομένων γύρω από το αντικείμενο της εργασίας είναι η βιβλιογραφική έρευνα, καθώς και προσωπικά πειράματα της γράφουσας που πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογές παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης.

Πιο συγκεκριμένα, θα καταγραφούν τα πρώτα ιστορικά δείγματα της τεχνητής νοημοσύνης, αρχικά στην επιστήμη των υπολογιστών και ύστερα στην τέχνη και την αρχιτεκτονική, από τα μέσα του 20ου αιώνα μέχρι και σήμερα. Από τη δεκαετία του 60,

ήδη οι αλγόριθμοι και τα πρώτα αυτόνομα παραγωγικά συστήματα είχαν αρχίσει να επηρεάζουν εμφανώς τον τομέα της τέχνης, με πολλούς καλλιτέχνες άλλα και επιστήμονες ή μαθηματικούς να πειραματίζονται και να εξερευνούν τους δημιουργικούς τομείς της τεχνητής νοημοσύνης.

Θα αναλυθούν συγκεκριμένες έννοιες που αφορούν γενικότερα την τεχνητή νοημοσύνη, όπως και η ίδια η έννοια της τεχνητής νοημοσύνης, οι μορφές και οι υποκατηγορίες της, ώστε να γίνουν κατανοητοί οι τρόποι με τους οποίους αυτή λειτουργεί. Στη συνέχεια, η μελέτη θα επικεντρωθεί ειδικά στην έννοια, τις μορφές και τις λειτουργίες της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης και τις δυνατότητες που αυτή προσφέρει, ιδιαίτερα στον τομέα της αρχιτεκτονικής. Θα μελετηθεί κατά πόσο η χρήση της στον συγκεκριμένο τομέα έχει θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο και θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο η παραγωγική ΤΝ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο. Παράλληλα, θα γίνουν αναφορές σε συγκεκριμένες εφαρμογές και σύγχρονα παραδείγματα χρήσης της στην αρχιτεκτονική. Θα συμπεριληφθούν και προσωπικοί πειραματισμοί που προέκυψαν από τη χρήση διάφορων εφαρμογών.

Συμπερασματικά, η μελέτη θα αναλύσει σε βάθος ιστορικά αλλά και λειτουργικά την έννοια της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης, ώστε να υποστηρίξει μέσα από την βιβλιογραφική έρευνα και τα παραδείγματα, πως μπορεί να αποτελέσει μια νέα παράμετρο στη σχεδιαστική διαδικασία, με την προϋπόθεση ότι αυτή χρησιμοποιείται ορθά και κατανοείται ο τρόπος που λειτουργεί.

Λέξεις κλειδιά

Τεχνητή Νοημοσύνη, Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη, Τεχνητή Νοημοσύνη & Αρχιτεκτονική, Παραγωγική Τέχνη, Παραγωγικός σχεδιασμός

Artificial Intelligence, Generative Artificial Intelligence, AI & Architecture, Generative art, Generative Design



2.1. Οι πρώτες εμφανίσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η έννοια της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) δεν είναι καινούρια. Η μελέτη και η ανάπτυξή της έχει ιστορικές ρίζες που εκτείνονται έως τη δεκαετία του 1940 και έχει διαμορφωθεί σταδιακά μέσα από πολυετείς θεωρητικές και τεχνολογικές εξελίξεις. Οι πρώτες προσεγγίσεις επικεντρώθηκαν στη δημιουργία μηχανών ικανών να εκτελούν γνωστικές λειτουργίες, ενώ οι μεταγενέστερες εξελίξεις ενσωμάτωσαν προηγμένες τεχνικές, όπως η μηχανική μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα. Οι πρωτοπόροι της επιστήμης των υπολογιστών με το έργο τους καθόρισαν αυτές τις εξελίξεις και έθεσαν τη βάση για την έρευνα γύρω από την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η ιστορική εξέλιξη, με αναφορές σε σημαντικά γεγονότα και επιστήμονες που συνέβαλαν ενεργά στην έρευνα αυτή.

2.1.1. Η γέννηση της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η απαρχή της ερευνητικής δραστηριότητας γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται να το τοποθετείται χρονικά λίγο μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, με την εμφάνιση των πρώτων υπολογιστών. Σε αυτό το πλαίσιο, η πρώτη έρευνα που καταγράφεται ως ΤΝ (1943) προήλθε από τους Warren McCulloch και Walter Pitts και αφορούσε την πρόταση ενός μοντέλου τεχνητών νευρώνων, βασισμένο στη φυσιολογία και τη λειτουργία των νευρώνων του εγκεφάλου. Σύμφωνα με αυτήν την έρευνα, οι τεχνητοί αυτοί νευρώνες μπορούσαν να συνδέονται

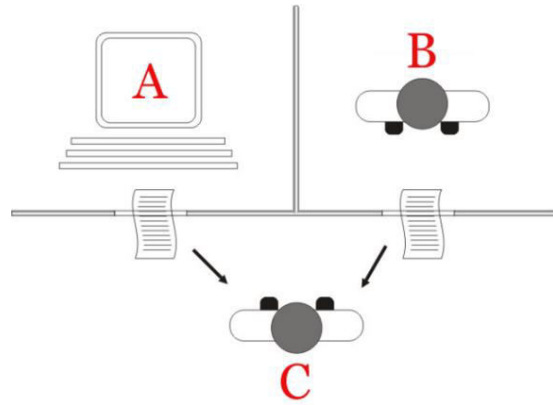
σχηματίζοντας δικτυακές δομές, όπου αν ήταν κατάλληλα ορισμένες, είχαν τη δυνατότητα να μαθαίνουν.¹

Το 1950 ο Άγγλος μαθηματικός Alan Turing, στη μελέτη του με τίτλο “Computing Machinery and Intelligence”, εξετάζει την μαθηματική πιθανότητα της ύπαρξης τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ). Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκε για πρώτη φορά η ικανότητα της μηχανής να «σκέφτεται» και προτάθηκε από τον Turing ένα «παιχνίδι μίμησης» (Imitation Game), το οποίο είναι γνωστό σήμερα ως Turing Test και μπορεί να εξετάσει αν οι μηχανές μπορούν να επιδείξουν ευφυή συμπεριφορά. Στο συγκεκριμένο τεστ,

¹ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γ. Ρεφανίδη, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 47

συμμετέχουν ένας ανθρώπινος κριτής, ένας άνθρωπος και μία μηχανή. Ο κριτής κάνει ερωτήσεις μέσω γραπτού κειμένου, και αν δεν μπορεί να καταλάβει ποιος από τους δύο είναι η μηχανή, μέσω των γραπτών απαντήσεων που θα λάβει, τότε θεωρείται ότι η μηχανή επιδεικνύει ευφυΐα παρόμοια με του ανθρώπου. Ακόμη, ο Turing αναπτύσσει την ιδέα των «μηχανών που μαθαίνουν», υποστηρίζοντας ότι οι μηχανές μπορούν να μάθουν από την εμπειρία, παρόμοια με τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Υποστηρίζει ότι για να δημιουργηθεί μια έξυπνη μηχανή, θα πρέπει να προσομοιωθεί η διαδικασία μάθησης του ανθρώπινου εγκεφάλου. Προβλέπει ότι έως το τέλος του 20^{ου} αιώνα, οι υπολογιστές θα είναι σε θέση να περάσουν το Turing Test, δείχνοντας ευφυΐα παρόμοια με εκείνη των ανθρώπων.² Για να περάσουν το Turing Test θα πρέπει να επιδεικνύουν επεξεργασία φυσικής γλώσσας, αναπαράσταση γνώσης, αυτοματοποιημένη συλλογιστική, μηχανική μάθηση.³ Επιπλέον ο Turing είχε ήδη εισάγει από το 1936 την έννοια της καθολικότητας και της καθολικής μηχανής, δηλαδή, ότι μια μηχανή θα μπορεί να εξυπηρετήσει πολλές

λειτουργίες ταυτόχρονα και δεν θα χρειαζόμαστε μια διαφορετική μηχανή για κάθε μια ξεχωριστά.⁴



Εικόνα 1: Turing Test, παιχνίδι μίμησης, A (μηχανή), B (άνθρωπος), C (ανθρώπινος κριτής)

Βέβαια η πρόβλεψη του Turing δεν ήταν ρεαλιστική, καθώς οι υπολογιστές το 1950 δεν διέθεταν ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερα βασικό, ώστε να μπορεί η τεχνητή νοημοσύνη να υλοποιηθεί: μνήμη. Οι υπολογιστές της συγκεκριμένης εποχής είχαν τη δυνατότητα μόνο να υλοποιούν εντολές και όχι να τις αποθηκεύουν. Ένα

δεύτερο ζήτημα, το οποίο εμπόδισε την γρηγορότερη ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης ήταν το μεγάλο κόστος των υπολογιστών και του εξοπλισμού.

Το 1956 οι Allen Newell, Cliff Shaw και Herbert Simon ανέπτυξαν αυτό που θεωρήθηκε ως το πρώτο πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης, το Logic Theorist, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Research and Development Corporation (RAND). Το Logic Theorist (LT) ήταν ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό να μιμείται τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων που έχει ο άνθρωπος. Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα αυτό ήταν σε θέση να αποδεικνύει θεωρήματα προτασιακού λογισμού⁵ από το Principia Mathematica⁶. Το πρόγραμμα κατάφερε να αποδείξει τα πρώτα 38 από τα 52 θεωρήματα των τόμων και μάλιστα σε ένα από τα θεωρήματα αυτά

(Θεώρημα 2.85) πρότεινε μια νέα, καλύτερη απόδειξη-λύση.⁷

Το Logic Theorist παρουσιάστηκε στο δίμηνο πρόγραμμα Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence (DSRPAI) που οργανώθηκε από τους επιστήμονες John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester (σχεδιαστής πρώτου εμπορικού υπολογιστή της εταιρείας IBM) και Claude Shannon (επινοητής θεωρίας της πληροφορίας). Το συγκεκριμένο συνέδριο αποδεικνύεται καθοριστικό, καθώς συμμετείχαν συνολικά 10 επιστήμονες, ο όρος «τεχνητή νοημοσύνη» επινοήθηκε για πρώτη φορά και υποστηρίχθηκε ομόφωνα πως η τεχνητή νοημοσύνη είναι κάτι υλοποιήσιμο.⁸ Ο βασικός στόχος του θερινού αυτού προγράμματος σύμφωνα με τον Stuart Russell⁹ ήταν:

«Η μελέτη θα προχωρήσει με βάση την παραδοχή ότι κάθε πτυχή της

⁵ Προτασιακός λογισμός (προτασιακή λογική/λογική Boole) είναι ο κλάδος της μαθηματικής λογικής ο οποίος μελετά τις λογικές προτάσεις (αν είναι αληθείς ή ψευδείς) που σχηματίζονται από άλλες προτάσεις με τη χρήση των λογικών συνδέσμων, και το πώς η αληθοτιμή των πρώτων εξαρτάται από εκείνη των τελευταίων.

⁶ Έργο τριών τόμων από τους μαθηματικούς-φιλόσοφους Alfred North Whitehead και Bertrand Russell για τα θεμέλια των μαθηματικών, το οποίο εκδόθηκε το 1910-1913, με σκοπό την απόδειξη της λογικής βάσης των μαθηματικών με ένα σύστημα συμβόλων που επινόησαν οι δύο συγγραφείς.

⁷ <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=742>

⁸ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γ. Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 48

⁹ Russell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 19

² Turing, Alan M., *Computing Machinery and Intelligence*, Mind Vol. 49, No. 236, Εκδόσεις Oxford University Press, 1950, σελ. 433-460

³ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γ. Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 33

⁴ Russell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 56

μάθησης και οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό της νοημοσύνης δύναται κατ’ αρχάς να περιγραφεί με τόση ακρίβεια ώστε να γίνει εφικτή η προσομοίωσή της από μια μηχανή. Θα καταβληθεί προσπάθεια να βρεθεί ο τρόπος ώστε οι μηχανές να χρησιμοποιούν τη γλώσσα, να σχηματίζουν αφηρημένες ιδέες και έννοιες, να επιλύουν είδη προβλημάτων-που τώρα επιλύονται μόνο από ανθρώπους- και να αυτοβελτιώνονται. Πιστεύουμε ότι μπορεί να σημειωθεί σημαντική πρόοδος σε ένα ή περισσότερα από αυτά τα προβλήματα εάν μια προσεκτικά επιλεγμένη ομάδα επιστημόνων συνεργαστεί επί τούτου για ένα καλοκαίρι.»

Παρόλο που πραγματοποιήθηκε το συγκεκριμένο δίμηνο πρόγραμμα, δεν προέκυψε από αυτό κάποια καταλυτική ανακάλυψη και ούτε επιτευχθήκαν όλοι οι στόχοι που είχαν τεθεί, όπως βέβαια ήταν αναμενόμενο. Αυτό το οποίο προέκυψε όμως, ήταν η γνωριμία και η σύνδεση πολλών πρωτοπόρων επιστημόνων των υπολογιστών, οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στις εξελίξεις που

ακολούθησαν μέσα στις επόμενες δεκαετίες.

Ύστερα από αυτό το συνέδριο, ο John Alan Robinson ανέπτυξε τον αλγόριθμο επίλυσης, που μπορεί να αποδείξει οποιαδήποτε ακολουθία του συνόλου λογικών ισχυρισμών πρώτης τάξης και δεν απαιτούσε τη μετατροπή στην προτασιακή λογική. Ο Arthur Lee Samuel ανέπτυξε ένα πρόγραμμα που έπαιζε ντάμα και έμαθε μόνο του να νικά το δημιουργό του και ήταν η αφορμή της επινόησης, για πρώτη φορά, του όρου “machine learning” (μηχανική μάθηση).¹⁰

Σε μια συνέχεια του Logic Theorist, οι Newell, Shaw, Simon ανέπτυξαν ένα νέο πρόγραμμα υπολογιστή, το General Problem Solver (GPS), το 1957, το οποίο λειτουργούσε ως μια μηχανή επίλυσης προβλημάτων, μιμούμενο την προσέγγιση της «ανθρώπινης σκέψης». Ο Joseph Weizenbaum δημιούργησε στο MIT το πρώτο chatbot με το όνομα ELIZA, προσομοιώνοντας τη συζήτηση μεταξύ ανθρώπου-μηχανής, με τη μηχανή να λαμβάνει τη θέση του ψυχοθεραπευτή. Το πρόγραμμα ELIZA αποτέλεσε μια πρώιμη δοκιμή του Turing Test.¹¹ Το 1965 ο Edward Feigenbaum και ο Joshua Lederberg

ανέπτυξαν τα expert systems στο Πανεπιστήμιο Stanford. Επρόκειτο για ένα λογισμικό που προσομοίωνε την λήψη αποφάσεων σε συγκεκριμένους τομείς, αφού πρώτα δημιουργούσε μια βάση δεδομένων με πληροφορίες που είχαν δοθεί από ανθρώπους ειδικούς πάνω στον κάθε τομέα, μέσω ερωτήσεων και παρατηρήσεων. Έτσι, είχε τη δυνατότητα κάποιος να λάβει πληροφορίες και συμβουλές για ένα συγκεκριμένο θέμα, χωρίς να είναι ειδικός σε αυτό.¹²

2.1.2. Νόμος του Moore

Ωστόσο, το 1965 διατυπώθηκε από τον Gordon Moore, ο Νόμος του Moore, σύμφωνα με τον οποίο: *ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα θα διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια με ελάχιστη αύξηση του κόστους*. Πρακτικά αυτό σημαίνει η υπολογιστική ισχύς θα διπλασιάζεται κάθε περίπου 1 χρόνο, για τα επόμενα 10 χρόνια, ενώ παράλληλα το κόστος δεν θα μεταβάλλεται ιδιαίτερα. Το 1975 επαναδιατύπωσε το νόμο και υποστήριξε ότι ο διπλασιασμός γίνεται κάθε

περίπου 2 χρόνια.¹³ Αυτή η εμπειρική παρατήρηση θα ισχύει μέχρι περίπου το 2025, αλλά με μικρότερο ρυθμό. Έτσι, καταλαβαίνουμε πως οι ταχύτητες και κατ’ επέκταση η αποτελεσματικότητα των υπολογιστικών συστημάτων τα παλαιότερα χρόνια περιορίζονταν από την ποσότητα θερμότητας που παράγουν τα τρανζίστορ πυριτίου.¹⁴ Ο Νόμος του Moore επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη της ΤΝ στα πρώτα χρόνια της εξέλιξής της, καθώς η υπολογιστική ισχύς είναι αυτή που καθορίζει την πορεία της. Η έλλειψη απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος σημαίνει βραδύτερη ανάπτυξη της ΤΝ και επομένως, αναμονή στις έρευνες μέχρι να συμβαδίσουν οι ικανότητες των υπολογιστών με τις απαιτήσεις των νέων λογισμικών.

“Το γεγονός ότι ένα πρόγραμμα μπορεί θεωρητικά να βρει μια λύση δε σημαίνει ότι το πρόγραμμα περιέχει κανέναν από τους μηχανισμούς που απαιτούνται για να βρει τη λύση πραγματικά.”¹⁵

¹⁰ ό.π. , σελ. 20

¹¹ Bassett, Caroline, “The computational therapeutic: exploring Weizenbaum’s ELIZA”, *AI & Society*, Springer, 2018, Vol. 34, σελ. 803-812

¹² <https://www.britannica.com/technology/expert-system> (Πρόσβαση 2/12/24)

¹³ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/moores-law.html> (Πρόσβαση 2/12/24)

¹⁴ Russell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 59

¹⁵ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γ. Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 53

2.1.3. Οι «χειμώνες» της Τεχνητής Νοημοσύνης

Το 1970 ο Marvin Minsky δήλωσε στο Life Magazine πως σε *τρία έως οκτώ χρόνια θα υπάρχει μια μηχανή με τη γενική νοημοσύνη του μέσου ανθρώπου*. Για ακόμη μια φορά μια τέτοια πρόβλεψη δεν ήταν ρεαλιστική, αφού δεν επαρκούσε η υπολογιστική ισχύς και ήταν αδύνατον να αποθηκευτεί μεγάλο πλήθος πληροφοριών της υπολογιστές. Έτσι ακολούθησαν οι περίοδοι που σημειώθηκαν από τους ερευνητές ως «χειμώνες της ΤΝ», τα διαστήματα 1974-1980 και 1987-1993. Τα ποσά από τις χρηματοδοτήσεις μειώθηκαν και έτσι η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης έγινε με πολύ πιο αργούς ρυθμούς. Περίπου στα μέσα του 1980 και ενώ οι προσδοκίες για την ΤΝ δεν είχαν ικανοποιηθεί, έγιναν μελέτες πάνω στα πιθανοτικά συστήματα συλλογισμού μεγάλης κλίμακας και τις πρώτες προσεγγίσεις του deep learning (βαθιά μάθηση).¹⁶

2.1.4. Deep Blue – Kismet – AlphaGo

Παρ' όλα αυτά, η στιγμή που μια μηχανή κέρδισε και «ξεπέρασε» τον άνθρωπο δεν άργησε, καθώς το 1997, ο υπολογιστής Deep Blue της εταιρείας IBM κατάφερε να

κερδίσει τον παγκόσμιο πρωταθλητή σκακιού, Gary Kasparov. Αυτό το γεγονός αν και ιδιαίτερα σημαντικό, δεν ήταν κάτι καινούριο, καθώς από το 1950 ήδη ο Claude Shannon είχε προτείνει το βασικό σχέδιο για τους αλγόριθμους που παίζουν σκάκι.¹⁷



Εικόνα 2: Παγκόσμιος πρωταθλητής σκακιού Gary Kasparov ενάντια στον Deep Blue της IBM, 1997

Την ίδια περίοδο, η Cynthia Breazeal ανέπτυξε το ρομπότ Kismet στο MIT AI Lab, στα πλαίσια της διδακτορικής της εργασίας. Το Kismet ήταν το πρώτο ρομπότ που είχε προγραμματιστεί, έτσι ώστε να αναγνωρίζει και να μιμείται συναισθήματα μέσω των εκφράσεων του προσώπου,

εμπνευσμένο από την κοινωνική ανάπτυξη ενός βρέφους.¹⁸

Το 2011, μέσω των τεχνικών της βαθιάς μάθησης, επιτεύχθηκαν η αναγνώριση ομιλίας, η οπτική αναγνώριση αντικειμένων και η μηχανική μετάφραση. Το chatbot Eugene Goostman, που παριστάνει ένα δεκατριάχρονο αγόρι από την Ουκρανία, ήταν το πρώτο που θεωρήθηκε ότι πέρασε το Turing Test το 2014, πείθοντας το 33% των κριτών ότι είναι άνθρωπος, έπειτα από μια συζήτηση πέντε λεπτών.¹⁹ Το 2016-2017, η μηχανή AlphaGo της εταιρείας DeepMind της Google κέρδισε στο Go τους πρωταθλητές Lee Sedol και Ke Jie.²⁰

2.1.5. Συμπεράσματα

Όλα τα παραπάνω επιτεύγματα είναι μόνο μερικές από τις σημαντικότερες εξελίξεις της επιστήμης των υπολογιστών, σε ότι αφορά την τεχνητή νοημοσύνη. Παρά το γεγονός ότι οι έρευνες είχαν ξεκινήσει ήδη από το 1943, οι εκτιμήσεις όλων των επιστημόνων για επίτευξη της ΤΝ δεν επιβεβαιώθηκαν και μάλιστα χρειάστηκαν 71 χρόνια για να θεωρηθεί ότι μια «μηχανή», συγκεκριμένα το Eugene Goostman,



Εικόνα 3: Kismet, Cynthia Breazeal, MIT AI Lab, 2000



Εικόνα 4: Lee Sedol ενάντια AlphaGo στο παιχνίδι Go

¹⁶ ό.π., σελ. 21

¹⁷ ό.π., σελ. 95

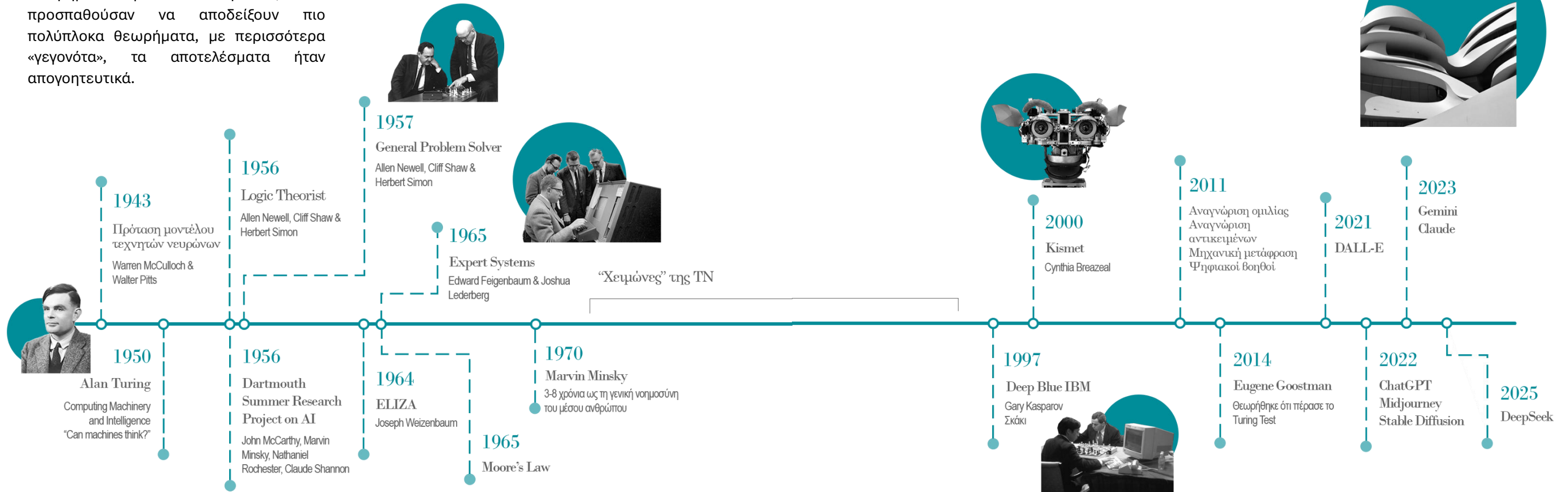
¹⁸ <https://web.media.mit.edu/~cynthiab/research/robots/kismet/overview/overview.html> (Πρόσβαση 2/12/24)

¹⁹ <https://www.bbc.com/news/technology-27762088>

²⁰ Russell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 21

«περνάει» το Turing Test (2014). Αυτό όπως προαναφέρθηκε, οφειλόταν κυρίως στην απουσία του απαραίτητου υλισμικού, δηλαδή περισσότερης μνήμης και υπολογιστικής ισχύος, ώστε να στηρίξει να αναπτυσσόμενα λογισμικά. Ενώ οι ερευνητές επιτύγχαναν στην απόδειξη θεωρημάτων μέσω υπολογιστών, όταν προσπαθούσαν να αποδείξουν πιο πολύπλοκα θεωρήματα, με περισσότερα «γεγονότα», τα αποτελέσματα ήταν απογοητευτικά.

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



ΕΞΕΛΙΞΕΩΝ



2.2. Αυτόνομα Παραγωγικά Συστήματα: Η εμφάνιση της Αλγοριθμικής Τέχνης

Με αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις από το 1950, δόθηκε το βήμα για να αναπτυχθεί η αλγοριθμική ή αλλιώς υπολογιστική τέχνη (Algorithmic/Computer Art), με μερικούς από τους βασικούς πρωτοπόρους του τομέα των υπολογιστών που πειραματίστηκαν στην παραγωγή τέχνης, να είναι ο Frieder Nake, ο Georg Nees και ο Michael Noll (ή αλλιώς γνωστοί ως 3Ns), ο Harold Cohen, ο Herbert Franke, ο Charles Csuri, ο Manfred Mohr, η Vera Molnar, καθώς και πολλοί άλλοι. Οι Nake, Nees και Noll ήταν από τους πρώτους μαθηματικούς και επιστήμονες που δημιούργησαν λογισμικά για μια αρχική μορφή αυτόνομων παραγωγικών συστημάτων. Με τον όρο αυτόνομα παραγωγικά συστήματα, εννοούμε υπολογιστικά συστήματα που παράγουν αυτόνομα περιεχόμενο, ακολουθώντας κανόνες, αλγορίθμους ή μοντέλα χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Συχνά βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα ή αλγόριθμους, για να βελτιώνουν ή να ποικίλλουν τα αποτελέσματά τους. Εφαρμόζονται σε τομείς όπως η παραγωγική τέχνη (generative art).

2.2.1. Αλγόριθμος

Αρχικά, για την ορθότερη κατανόηση της έννοιας «αλγοριθμική τέχνη», αξίζει να αναφερθεί ο ορισμός της έννοιας του αλγορίθμου. *Η κεντρική έννοια στην επιστήμη των υπολογιστών είναι ο αλγόριθμος, ο οποίος είναι μια επακριβώς ορισμένη μέθοδος για να υπολογίζουμε κάτι.* Ένας αλγόριθμος μπορεί να εκφραστεί μέσα από λόγια ή μαθηματικό συμβολισμό, όμως για την εφαρμογή του απαιτείται μια κωδικοποίηση υπό τη μορφή

προγράμματος, μέσα από τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού. Είναι δυνατή η δημιουργία πολύπλοκων αλγορίθμων μέσα από τη χρήση απλούστερων αλγορίθμων ως δομικές μονάδες, που καλούνται αλλιώς και ως «υπορουτίνες». Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η ανάπτυξη συστημάτων λογισμικού (software) με μεγάλη πολυπλοκότητα.²¹ Έτσι, ως αλγοριθμική τέχνη ορίζεται η τέχνη η οποία δημιουργείται μέσω της χρήσης των αλγορίθμων, ως σύνολο κανόνων-διαδικασιών που εκτελούνται από έναν

υπολογιστή ή και ένα άλλο σύστημα γενικότερα. Πρόκειται για μια μορφή τέχνης που δεν παράγεται άμεσα από τον καλλιτέχνη, αλλά παρεμβάλλεται ένας υπολογιστικός κώδικας, που ο ίδιος ο καλλιτέχνης έχει ορίσει.

2.2.2. Max Bense & Αισθητική της Πληροφορίας

Μέσα στα βασικότερα θεωρητικά πλαίσια που διαμόρφωσαν, στο μεγαλύτερο βαθμό της, την αλγοριθμική τέχνη ανήκουν οι θεωρίες που ανέπτυξε ο Max Bense για την αισθητική. Ο Max Bense ήταν Γερμανός φιλόσοφος, συγγραφέας, επιστήμονας και θεωρητικός της αισθητικής, που ανέπτυξε τις αρχές της Αισθητικής της Πληροφορίας μέσα από τη σειρά βιβλίων “Aesthetica”. Η σειρά βιβλίων “Aesthetica” αποτελείται από τέσσερις τόμους οι οποίοι δημοσιεύθηκαν στα γερμανικά, μεταξύ 1954-1960:

- Aesthetica I: Metaphysische Beobachtungen am Schönen (Μεταφυσικές Παρατηρήσεις για το Ωραίο)
- Aesthetica II: Aesthetische Information (Αισθητική Πληροφορία)
- Aesthetica III: Ästhetik und Zivilisation (Αισθητική και Πολιτισμός)
- Aesthetica IV: Programmierung des Schönen (Προγραμματισμός του Ωραίου)



Εικόνα 5: Τόμος Aesthetica του Max Bense

Σε αυτούς τους τόμους ο Max Bense εισήγαγε την έννοια της Αναλυτικής Αισθητικής (Exakte Ästhetik), σύμφωνα με την οποία, η αισθητική μπορεί περιγραφεί μαθηματικά και να χαρακτηριστεί ως επιστημονική και μετρήσιμη. Συγκεκριμένα, μέσα από την έννοια αυτή, ο Bense επιχειρεί να βγάλει την αισθητική από το φιλοσοφικό, υποκειμενικό και μεταφυσικό πλαίσιο στο οποίο άνηκε για αιώνες και να την εντάξει στο πλαίσιο των εφαρμοσμένων

²¹ Rusell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ, 58

μαθηματικών και της πληροφορίας.²² Στο μανιφέστο του, “Projekte generativer ästhetik” (1965), αναφέρεται στην Γενετική Αισθητική (Generativer Ästhetik), δηλαδή την αλγοριθμική παραγωγή αισθητικών έργων, ως μια μορφή αναλυτικής αισθητικής. Η αναλυτική αισθητική χρησιμοποιεί τέσσερις μεθόδους για την παραγωγή αισθητικών δομών:

- α. τη σημειωτική (semiotik), αφορά την ταξινόμηση σημείων
- β. τη μετρική (metrik), χρήση αριθμητικών δεδομένων για τη μορφή, το σχήμα και τη δομή ενός έργου τέχνης
- γ. τη στατιστική (statistik), σχετίζεται με τις πιθανότητες εμφάνισης στοιχείων και την οργάνωσή τους σε ένα έργο τέχνης
- δ. την τοπολογική (topologie), διαμορφώνει τις σχέσεις μεταξύ του συνόλου όλων των στοιχείων στο έργο τέχνης

Σύμφωνα με τον Bense *στόχος της γενετικής αισθητικής είναι η τεχνητή παραγωγή πιθανοτήτων καινοτομίας ή απόκλισης από τον κανόνα.*²³ Με τους τόμους “Aesthetica”, καθώς και τις υπόλοιπες δημοσιεύσεις του, ο Bense επιθυμεί να «μαθηματοποιήσει» την έννοια της αισθητικής μέσω της φιλοσοφίας, της θεωρίας της πληροφορίας

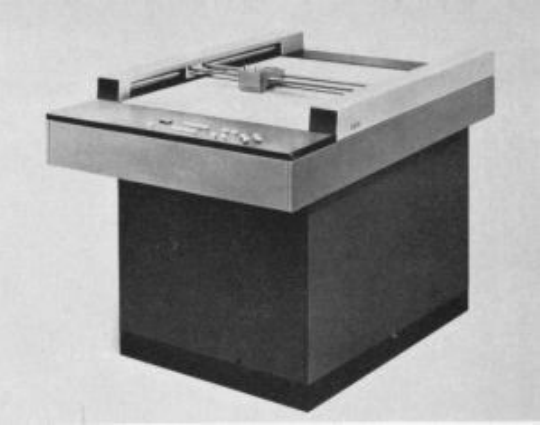
(Claude Shannon), της κυβερνητικής, της σημειωτικής, των μαθηματικών και του προγραμματισμού. Αυτές οι θεωρίες αποτέλεσαν τη βάση της αλγοριθμικής τέχνης και επηρέασαν βαθιά τους επιστήμονες, που αργότερα έγιναν οι πρωτοπόροι της. Ο Max Bense ως καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης άσκησε μεγάλη επιρροή στους μαθητές του εκφράζοντας τις απόψεις του μέσα από τις διαλέξεις του, εκτός από τις δημοσιεύσεις που πραγματοποίησε, γεγονός το οποίο δημιουργήσε μια μορφή καλλιτεχνικού κινήματος στη Γερμανία.

2.2.3. Οι Καλλιτέχνες της Αλγοριθμικής Τέχνης

Frieder Nike

Ο Frieder Nike είναι Γερμανός μαθηματικός, επιστήμονας πληροφορικής και πρωτοπόρος της αλγοριθμικής τέχνης, καθώς και επικεφαλής του “compArt: Center of Excellence Digital Art”. Δημιούργησε τα πρώτα του έργα το 1963, χρησιμοποιώντας ψηφιακό υπολογιστή και μηχανή σχεδίασης. Πιο συγκεκριμένα, η μηχανή σχεδίασης που χρησιμοποιούσε

είναι η Zuse Graphomat²⁴ (ή Graphomat Z64), σχεδιασμένη από τον Konrad Zuse τη δεκαετία του 1960, και αποτελεί μια από τις αρχικές συσκευές σχεδίασης (plotters).



Εικόνα 6: Σχεδιαστική μηχανή (plotter) Zuse Graphomat

Κατά την κυκλοφορία της Zuse Graphomat, υπήρχε περιορισμένη πρόσβαση σε αυτήν, καθώς επρόκειτο για ιδιαίτερα εξεζητημένο και ακριβό εξοπλισμό για την εποχή. Πρόσβαση σε αυτήν την σχεδιαστική μηχανή είχαν μόνο κάποια πανεπιστήμια και

κάποιες μεγάλες εταιρείες. Ως φοιτητής στο τμήμα των Μαθηματικών, ο Nike δούλευε σε ρόλο βοηθού στο Υπολογιστικό Κέντρο του Πανεπιστημίου της Στουτγκάρδης, όπου του ζητήθηκε να γράψει λογισμικό για τη συγκεκριμένη μηχανή σχεδίασης, καθώς το Πανεπιστήμιο θα την αποκτούσε. Παράλληλα, την ίδια περίοδο οι Georg Nees (Siemens, Γερμανία) και Michael Noll (Αμερική), προσπαθούσαν και οι ίδιοι να γράψουν λογισμικό για την ίδια σχεδιαστική μηχανή. Σε αυτό το πλαίσιο, ο Nike πραγματοποιούσε δοκιμές με το λογισμικό το οποίο είχε αναπτύξει, αρχικά μέσω μαθηματικών συναρτήσεων και σταδιακά, αποφάσισε και ο ίδιος να εμπλακεί στην καλλιτεχνική δημιουργία χρησιμοποιώντας τη μηχανή και προσθέτοντας την παράμετρο της τυχαιότητας.²⁵ Εξέθεσε για πρώτη φορά τα σχέδιά του στην Galerie Wendelin Niedlichin Stuttgart το 1965.²⁶ Ο Frieder Nike ήταν βαθιά επηρεασμένος από τον Max Bense, που όπως αναφέρθηκε, συνδυάζει την πληροφορική, τη μαθηματική σκέψη και τις τέχνες, και

²² Klütsch, Christoph, *Computergrafik: Ästhetische Experimente zwischen zwei Kulturen. Die Anfänge der Computerkunst in den 1960er Jahren*, Εκδόσεις Springer-Verlag Vienna, 2007

²³ Bense, M., Nees, G., “Projekte generativer Ästhetik”, *Rot 19: Computer-grafik*, Stuttgart, 1965

²⁴ Ήταν μια επίπεδη μηχανή σχεδίασης εξοπλισμένη με τη δυνατότητα ελέγχου έως και τεσσάρων στυλό ή άλλων εργαλείων για σχέδιο ή κοπή. Λειτουργούσε με ακρίβεια 1/16 χλστ. Οι κινήσεις της κεφαλής σχεδίασης πραγματοποιήθηκαν από δύο άξονες διατεταγμένους σε ορθογώνιες κατευθύνσεις. Οι δύο κινητήρες που οδηγούσαν τους άξονες ελέγχονταν από μια διάτρητη χαρτοταινία. Αυτή η ταινία δημιουργήθηκε από ένα πρόγραμμα που εκτελείται σε ψηφιακό υπολογιστή.

²⁵ Συνέντευξη Frieder Nike, *Συνέδριο Generative Art Summit Berlin – art meets science*, Academy of Arts Berlin, 3-6 Ιουνίου 2024

²⁶ <https://spalterdigital.com/artists/frieder-nake/> (Πρόσβαση 11/12/24)

εξετάζει πώς οι πληροφορίες μπορούν να αναπαρίστανται ή να εκφράζονται με καλλιτεχνικό τρόπο.²⁷

Ο Nake σε δημοσίευσή του με τίτλο “Paragraphs on Computer Art, Past and Present”, αναφέρει ότι *κάθε μεμονωμένο έργο αλγοριθμικής τέχνης δεν είναι παρά μόνο μια μόνο περίπτωση από τις δυνητικά άπειρες από την τάξη των έργων που ορίζει ο αλγόριθμος. Το τραγικό είναι ότι ο αλγόριθμος δεν παρουσιάζει συχνά οπτικές ιδιότητες. Οι ιδιότητές του είναι η*

δυνατότητα να παράγει οπτικά έργα. Αλλά κάθε ένα από τα οπτικά του προϊόντα είναι μια σκιά μόνο του αλγορίθμου. Επιπλέον, αναφέρονται και πολλά άλλα σημαντικά σημεία που αφορούν την αλγοριθμική τέχνη, όπως το γεγονός ότι οι κριτικοί τέχνης δεν την αναγνώριζαν ως μια μορφή τέχνης και το ευρύτερο κοινό την υποβάθμιζε με τον όρο «υπολογιστική τέχνη», στηρίζοντας πως είναι στην πραγματικότητα προγραμματισμός. Υποστηρίζεται από τον

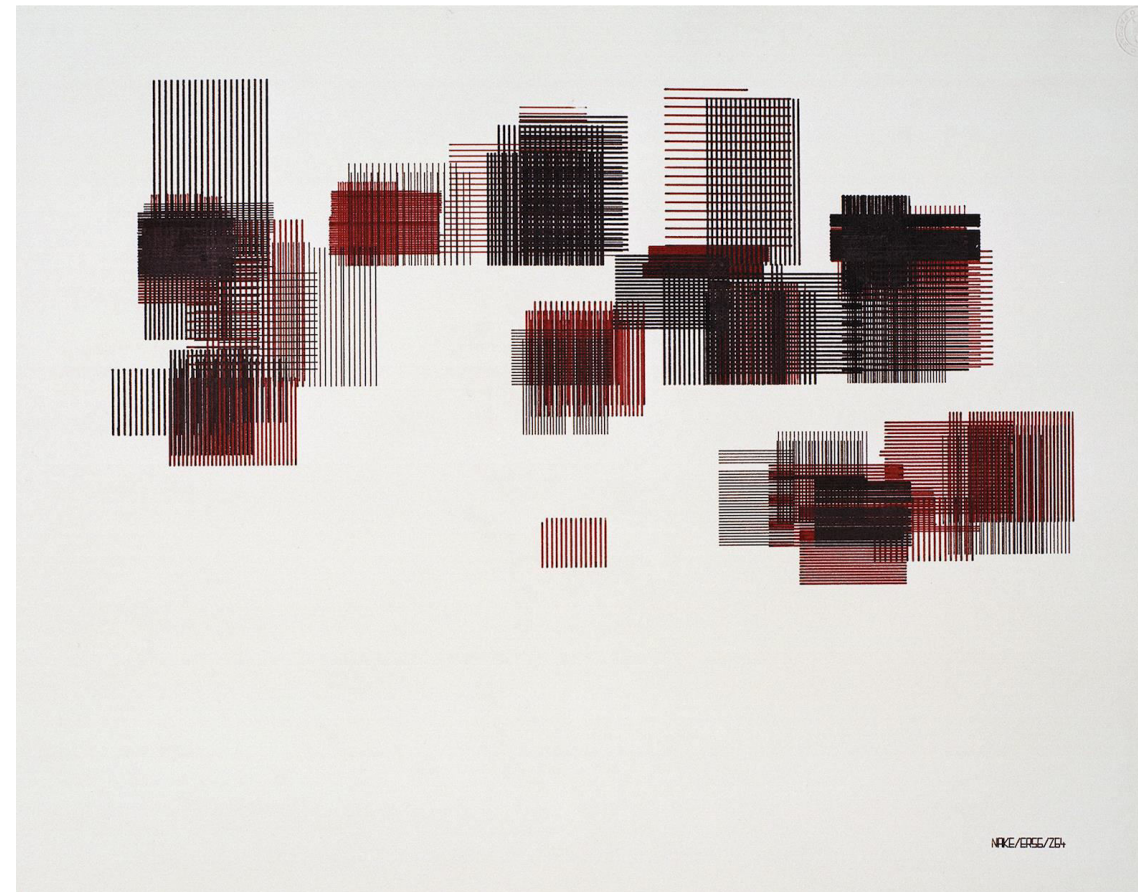


Εικόνα 7: No title, Frieder Nake, 1967



Εικόνα 8: Τμήμα του έργου Matrizenmultiplikation Serie 29 (Matrix Multiplication), Frieder Nake, 1967

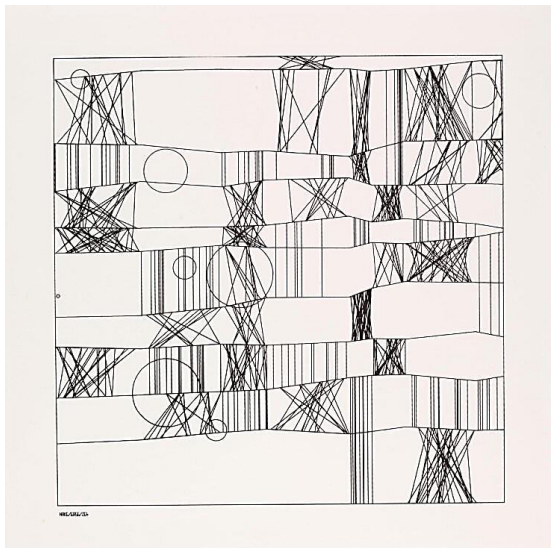
²⁷ Franke, Herbert W., *Computer Graphics-Computer Art - Second, Revised and Enlarged Edition*, Εκδόσεις Springer-Verlag, Germany, 1985, σελ. 154-156



Εικόνα 9: Boxes with rectangular hatchings Nr. 6 (02/09/1965), Frieder Nake, 1965

ίδιο πάντως, πως αποτελεί μια μορφή τέχνης η οποία δημιουργείται με το μυαλό, καθώς δεν υπάρχουν τα υλικά μέσα και η δεξιότητα που απαιτείται στις συμβατικές τέχνες. Υπό αυτό το πρίσμα, ο καλλιτέχνης-προγραμματιστής εργάζεται με τις

δυνατότητες και τις πιθανότητες και το έργο που παράγει είναι απλά μια εκδοχή από τις άπειρες που μπορεί να εξάγει ένας αλγόριθμος και δεν μπορεί να θεωρηθεί «αριστούργημα» με την παραδοσιακή έννοια του όρου. Έτσι, η αλγοριθμική τέχνη



Εικόνα 10: *Hommage à Paul Klee, 13/9/65 Nr.2*, Frieder Nake, 1965

είναι μια εννοιολογική τέχνη, η οποία εστιάζει περισσότερο στην ιδέα, τη σκέψη, το νόημα πίσω από το έργο, παρά στο τελικό υλικό αποτέλεσμα.²⁸

Σε συνέντευξή του σε συνέδριο το 2024, ο Nake εκφράζει την άποψή του πάνω στα σημερινά δεδομένα της generative art που έχει πλέον διαμορφωθεί με τη βοήθεια εργαλείων TN, λέγοντας πως η δημιουργία εντυπωσιακών και περίπλοκων εικόνων αποτελεί γεγονός σχεδόν τετριμμένο, χάρη



Εικόνα 11: *Walk Through Raster Series 7.3.3-4*, Frieder Nake, 1967

στην τεράστια ποικιλία λογισμικών που έχουν αναπτυχθεί και είναι πλήρως προσβάσιμα. Αναφέρει πως η αντίληψη πίσω από τον τρόπο δημιουργίας αυτών των εικόνων είναι επιφανειακή και υποστηρίζει ότι ένας καλλιτέχνης μπορεί να αποκαλείται καλλιτέχνης μόνο όταν αναζητά και γνωρίζει τις βασικές αρχές, τον πυρήνα πίσω από την τέχνη του.²⁹

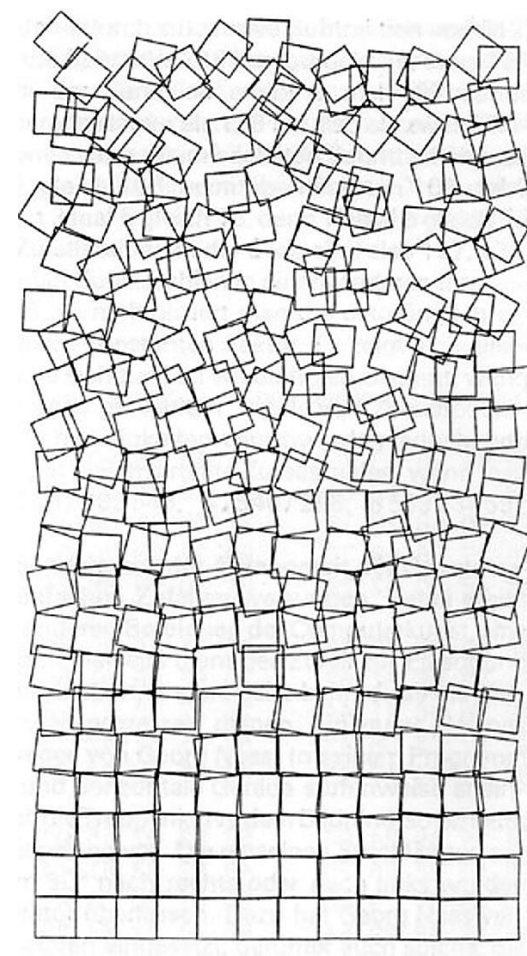
²⁸ Nake, F., “Paragraphs on Computer Art, Past and Present”, *Cat 2010. Ideas before Their Time: Connecting the Past and Present in Computer Art*, British Computer Society, London, 2010, σελ. 55–63

²⁹ Συνέντευξη Frieder Nake, *Συνέδριο Generative Art Summit Berlin – art meets science*, Academy of Arts Berlin, 3-6 Ιουνίου 2024

Georg Nees

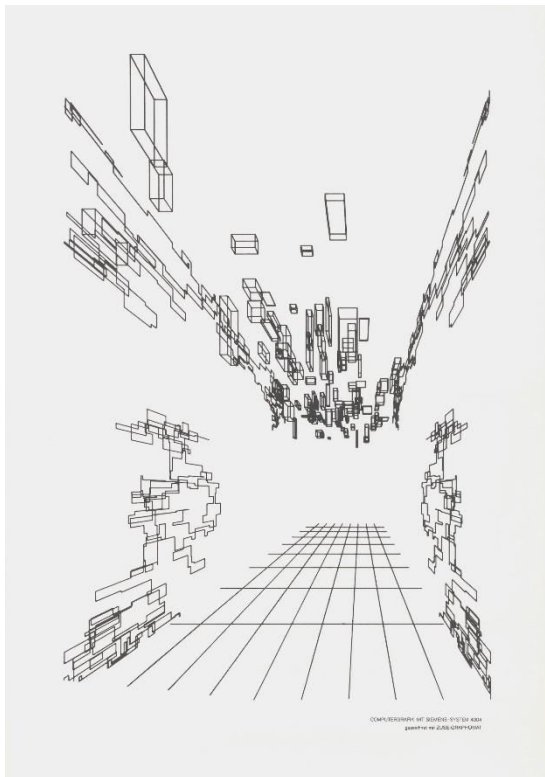
Ο Georg Nees (1926-2016) ήταν μαθηματικός, φυσικός, φιλόσοφος και πρωτοπόρος της αλγοριθμικής τέχνης, δραστηριοποιήθηκε στη Γερμανία, όπως και ο Frieder Nake. Εργαζόταν ως προγραμματιστής λογισμικού στην εταιρεία Siemens, όπου και του δόθηκε η ευκαιρία να δουλέψει με την σχεδιαστική μηχανή Zuse Graphomat.³⁰ Ο Nees ήρθε σε επαφή με τον Max Bense και τα γραφικά έργα του συμπεριλήφθηκαν σε ένα άρθρο που δημοσιεύτηκε, στο επιστημονικό περιοδικό από το ινστιτούτο του Bense, με τίτλο “Rot 19: Computer-grafik”. Παρουσίασε τα πρώτα του έργα αλγοριθμικής τέχνης το 1965, στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης, στην έκθεση με τίτλο “Georg Nees: Computergrafik”. Για τη δημιουργία των έργων του χρησιμοποιούσε την γλώσσα προγραμματισμού ALGOL³¹. Σε συνεργασία με τον Bense, τα έργα του από την έκθεση εκδόθηκαν σε φυλλάδια όπου περιλαμβάνονταν ψευδοκώδικας για τα

Εικόνα 12: *Schotter (Gravel Stones)*, Georg Nees, 1968



³⁰ <https://www.katevassgalerie.com/blog/georg-nees-computer-art-and-graphics> (Πρόσβαση 11/12/24)

³¹ Η ALGOL είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υπολογιστών που δημιουργήθηκε το 1958–60 από τη διεθνή επιτροπή Association of Computing Machinery (ACM). Η ονομασία ALGOL προέρχεται από τα αρχικά Algorithmic Language. Η ALGOL είχε αναδρομικά υποπρογράμματα—διαδικασίες που μπορούσαν να επικαλεστούν τον εαυτό τους για να λύσουν ένα πρόβλημα μειώνοντάς το σε μικρότερο πρόβλημα του ίδιου είδους. Η ALGOL εισήγαγε τη δομή μπλοκ, η οποία έγινε ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία μεγάλων προγραμμάτων από μικρά στοιχεία. Η συγκεκριμένη γλώσσα προοριζόταν για επιστημονικούς υπολογιστές.



Εικόνα 13: *Flur Korridor (Hall Corridor)*, Georg Nees, 1965

σχέδια του. Ο Nees, με σύμβουλο τον Max Bense, πραγματοποίησε την διδακτορική διατριβή του στη φιλοσοφία με τίτλο “Generative Computergrafik” το 1969, η οποία πιθανολογείται πως ήταν η πρώτη

διατριβή παγκοσμίως με θέμα την τέχνη των υπολογιστών.³²

Michael Noll

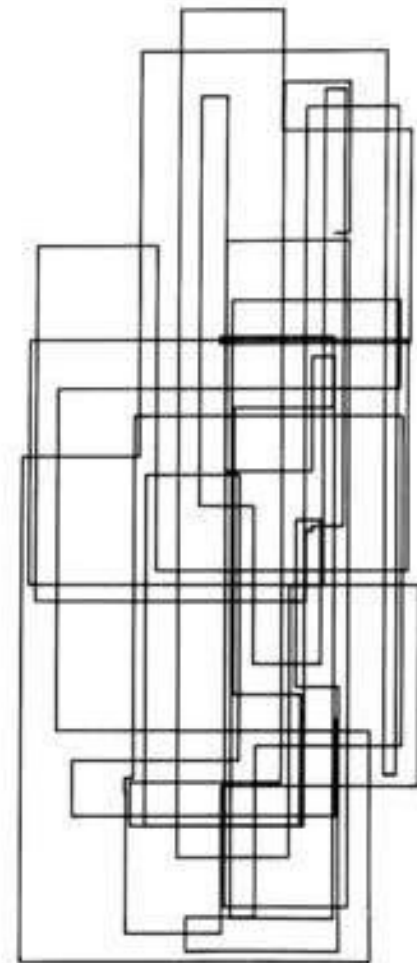
Ο Michael Noll είναι μαθηματικός, μηχανικός, επιστήμονας και πρωτοπόρος της υπολογιστικής τέχνης που δραστηριοποιήθηκε στην Αμερική. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην πορεία του παρουσιάζει η έρευνα και οι πειραματισμοί που πραγματοποίησε, πάνω στη δημιουργία του εικαστικού έργου “Computer Composition with Lines” (1964) με ψηφιακό υπολογιστή και έναν microfilm plotter, το οποίο ήταν βασισμένο στο έργο “Composition with Lines” (1917) του Piet Mondrian. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος, στο οποίο αναφέρεται εκτενώς στο επιστημονικό του άρθρο “Human or Machine” (1966), ήταν να δημιουργήσει αλγοριθμικά μια σύνθεση παρόμοια με του Piet Mondrian. Στα πλαίσια αυτού του πειράματος, δόθηκαν ερωτηματολόγια σε 100 υπαλλήλους της Bell Telephone Laboratories, που είχαν ως στόχο να εξακριβώσουν αν είναι αντιληπτή από τον άνθρωπο η διαφορά μεταξύ του πρωτότυπου και αλγοριθμικού έργου και ποια είναι «πιο προτιμητέα» ανάμεσα τις δυο επιλογές. Αξίζει να σημειωθεί ότι το

αλγοριθμικό έργο προτιμήθηκε με ποσοστό 59%, ενώ μόνο το 28% αναγνώρισε ποιο ήταν το πρωτότυπο έργο του Mondrian.³³

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη του Noll πάνω στη δημιουργία των πρώτων γραφικών για μπαλέτο που παράχθηκε από υπολογιστή με ονομασία “Computer-Generated Ballet”. Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός υπολογιστής για τη δημιουργία κινουμένων σχεδίων με φιγούρες πάνω σε εικονική σκηνή. Ο κώδικας που έχει αναπτυχθεί μεταφερόταν σε μαγνητική ταινία, η ταινία με τη σειρά της μεταδίδει το πρόγραμμα σε μια αυτόματη συσκευή που παράγει τις εικόνες, οι οποίες προβάλλονται σε σωλήνα καθοδικών ακτίνων. Οι εικόνες παράγονται frame by frame και δημιουργείται το τελικό αποτέλεσμα «κινουμένων σχεδίων».³⁴

Harold Cohen

Ο Harold Cohen (1928-2016) ήταν Βρετανός καλλιτέχνης και καθηγητής στο τμήμα Εικαστικών Τεχνών του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια. Είναι ο δημιουργός αυτού που

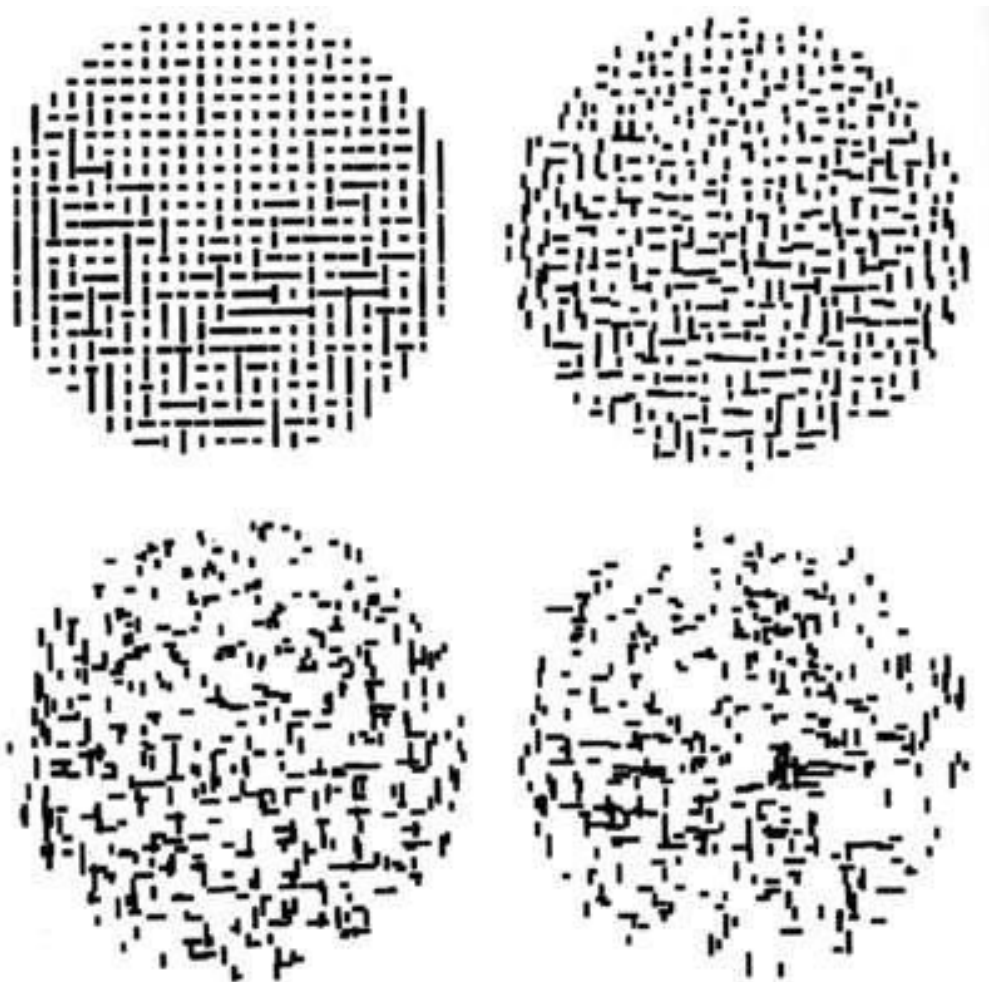


Εικόνα 14: *Vertical-Horizontal Number 3*, Michael Noll, 1964

³² <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/15> (Πρόσβαση 11/12/24)

³³ Noll, M., “Human or Machine: A subjective comparison of Piet Mondrian’s “Composition with Lines” (1917) and a computer-generated picture”, *The Psychological Record*, New Jersey, 1966, Vol. 16, σελ. 1-10

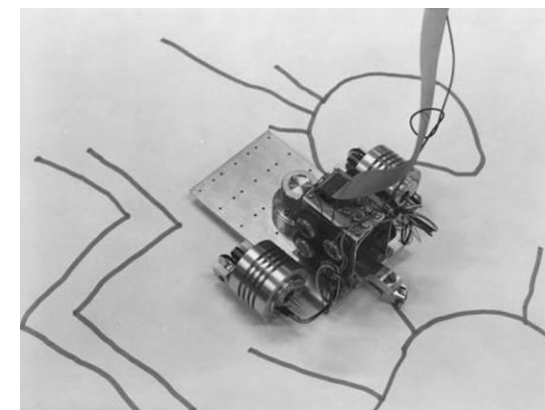
³⁴ <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/16> (Πρόσβαση 11/12/24)



Εικόνα 15: Computer Composition With Lines, Michael Noll, 1964

θεωρείται σήμερα ως πρώτο αυτόνομο παραγωγικό σύστημα TN, του AARON, ένα πρόγραμμα υπολογιστή για την παραγωγή τέχνης. Ο Cohen ξεκίνησε την πορεία του αρχικά ως καλλιτέχνης και έπειτα έμαθε προγραμματισμό στην Καλιφόρνια στα τέλη της δεκαετίας του '60. Η απάντηση στο ερώτημα του «τι θα χρειαζόταν να γνωρίζει ένας υπολογιστής έτσι ώστε να δημιουργήσει τέχνη;» ήταν το πρόγραμμα AARON.

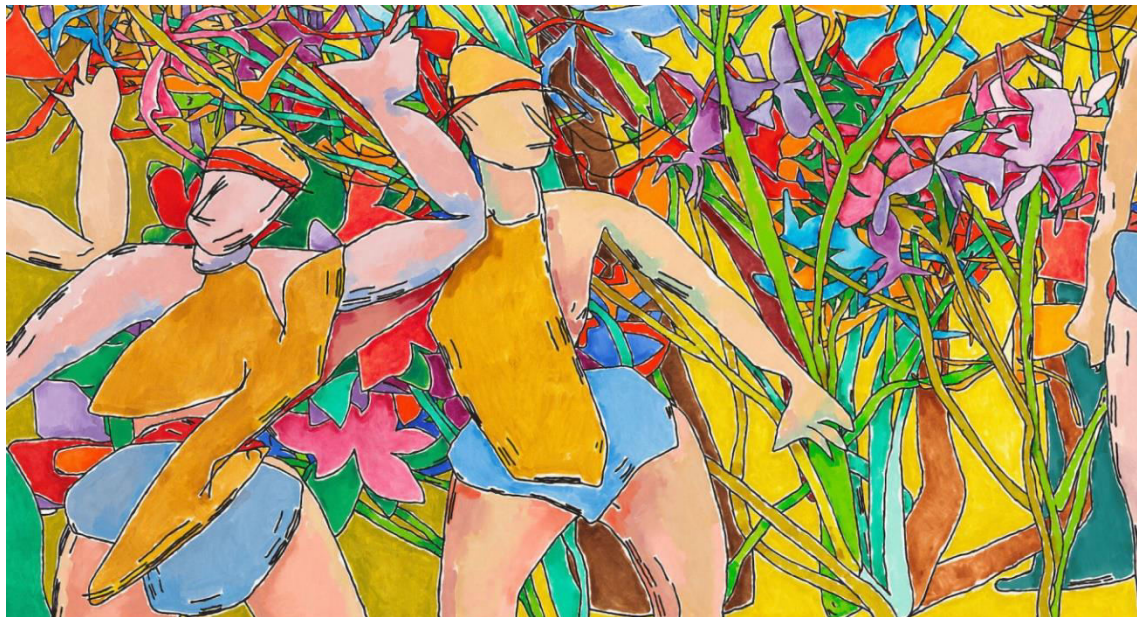
Ο σκοπός του AARON ήταν να δημιουργεί νέες εικόνες και όχι να αντιγράφει τις εικόνες ή να μετατρέπει μια δεδομένη είσοδο σε εικόνα. Το πρόγραμμα AARON χρησιμοποιούταν για να ελέγχει ένα ρομπωτικό μηχάνημα ζωγραφικής ή ένα



Εικόνα 16: AARON robot

σχεδιογράφο (plotter). Αρχικά, τα σχέδια που παρήγαγε ήταν μονοχρωματικά, ασπρόμαυρα αποτελούμενα από ασταθείς γραμμές, που ο Cohen επέλεγε να χρωματίζει ο ίδιος, αλλά οι νεότερες εκδοχές του μπορούν να χρησιμοποιούν χρώματα και να σχεδιάζουν αυτόνομα. Ο Cohen υποστηρίζει πως τόσο τα έργα που παράγει το AARON, όσο και το ίδιο το AARON είναι πραγματικά έργα τέχνης και όπως ο ίδιος αναφέρει «η συμπεριφορά μου, μέσω του προγραμματισμού μιας μηχανής για προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς στη δημιουργία της τέχνης, είναι από μόνη της μια καλλιτεχνική συμπεριφορά». Στη δημοσίευσή του, “Parallel to Perception: Some Notes on the Problem of Machine-Generated Art”, ο Cohen αναλύει την ανάπτυξη του AARON, χρησιμοποιώντας «γνωστικά πρωτόκολλα», δηλαδή κάποια μοτίβα γραμμών που θεωρούνται καθολικές στην ανθρώπινη αναπαράσταση (μια μορφή βάσης δεδομένων), αλλά και κάποιες «συμπεριφορικές λειτουργίες», όπως για παράδειγμα η ανατροφοδότηση του προγράμματος με βάση το αποτέλεσμα που έχει παραχθεί.³⁵ Μέσα από αυτήν την προσπάθεια του Cohen, να προγραμματίσει έναν υπολογιστή να παράξει αυτόνομα σχέδια και ζωγραφιές με καλλιτεχνική αξία,

³⁵ Mealing, Stuart, *Computers & Art*, Εκδόσεις Intellect Books, 1997, σελ. 55-59



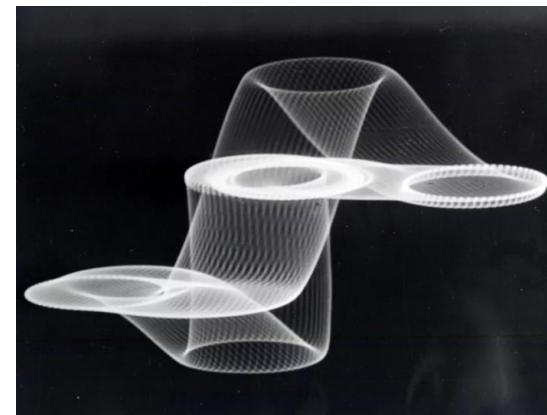
Εικόνα 17: *Coming to a lighter place*, Harold Cohen, 1988

αναφέρει το σημαντικότερο σημείο που του δημιούργησε εντυπωσιασμό είναι η ικανότητα του AARON να δομεί μια πρωτογενή διαδικασία λήψης αποφάσεων, μεταβαίνοντας από την μια στην άλλη, με τέτοιο τρόπο που μοιάζει αξιοσημείωτα με τον τρόπο που λειτουργούν οι ανθρώπινες λογικές διεργασίες στην τέχνη.³⁶

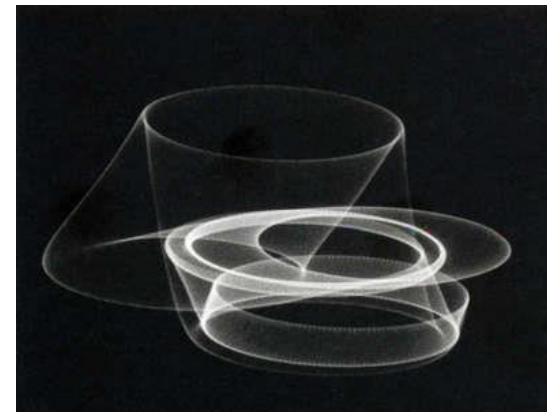
Herbert W. Franke

Ο Herbert Franke (1927-2022) είχε σπουδάσει φυσική, μαθηματικά, χημεία, ψυχολογία και φιλοσοφία στο Πανεπιστήμιο της Βιέννης. Εργάστηκε μεταξύ 1952-1957 στην εταιρεία Siemens και ασχολήθηκε στην εξάσκηση της πειραματικής φωτογραφίας.³⁷ Για την δημιουργία των έργων του χρησιμοποιούσε φωτογραφική

μηχανή, αναλογικό³⁸ ή ψηφιακό υπολογιστή και παλμογράφο καθοδικών ακτινών. Στο βιβλίο του, “Computer Graphics – Computer Art”, περιγράφεται η διαδικασία με την οποία παρήγαγε τα έργα του. Πιο αναλυτικά, η δέσμη ηλεκτρονίων μέσα από τον καθοδικό σωλήνα ακτινών, εμφανίζεται μέσω μιας διαδικασίας, στην οθόνη φθορισμού της συσκευής και μεταβάλλοντας το σήμα εισόδου, η φωτεινή αυτή δέσμη σχηματίζει γραφικές παραστάσεις – καμπύλες. Στη συνέχεια, ο Franke χρησιμοποιούσε αυτές τις γραφικές παραστάσεις και οπτικοποιούσε τα έργα του μέσω φωτογραφικής μηχανής και τις αναλογικές ή ψηφιακές συσκευές. Μέσω της συγκεκριμένης συσκευής είναι δυνατόν να σχηματιστούν καμπύλες Lissajous.³⁹



Εικόνα 18: *Elektronische Grafik*, Herbert W. Franke, 1962



Εικόνα 19: *Elektronische Grafik*, Herbert W. Franke, 1962

Charles Csuri

Ο Charles Csuri ήταν καλλιτέχνης και καθηγητής Καλών Τεχνών στο Πανεπιστήμιο του Οχάιο. Πειραματίστηκε στη δημιουργία γραφικών μέσα από τη χρήση υπολογιστών, αλλά και κινουμένων σχεδίων (animation) στη συνέχεια. Τα πρώτα του έργα τα

³⁶ Βασιλάκος, Αθανάσιος, *Ψηφιακές Μορφές Τέχνης*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2008, σελ. 220-221

³⁷ <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/188> (Πρόσβαση 5/1/25)

³⁸ Ο αναλογικός υπολογιστής είναι ένας τύπος υπολογιστή που επεξεργάζεται πληροφορίες μέσω συνεχών φυσικών μεγεθών, όπως τάση, ρεύμα ή περιστροφή μηχανικών εξαρτημάτων. Αντίθετα, ένας ψηφιακός υπολογιστής βασίζεται σε αριθμητικούς υπολογισμούς και δυαδική λογική. Οι αναλογικοί υπολογιστές λειτουργούν με συνεχή δεδομένα, ενώ οι ψηφιακοί υπολογιστές λειτουργούν με διακριτά δεδομένα.

³⁹ Franke, Herbert W., *Computer Graphics-Computer Art - Second, Revised and Enlarged Edition*, Εκδόσεις Springer-Verlag, Germany, 1985, σελ. 11-13, 94-99



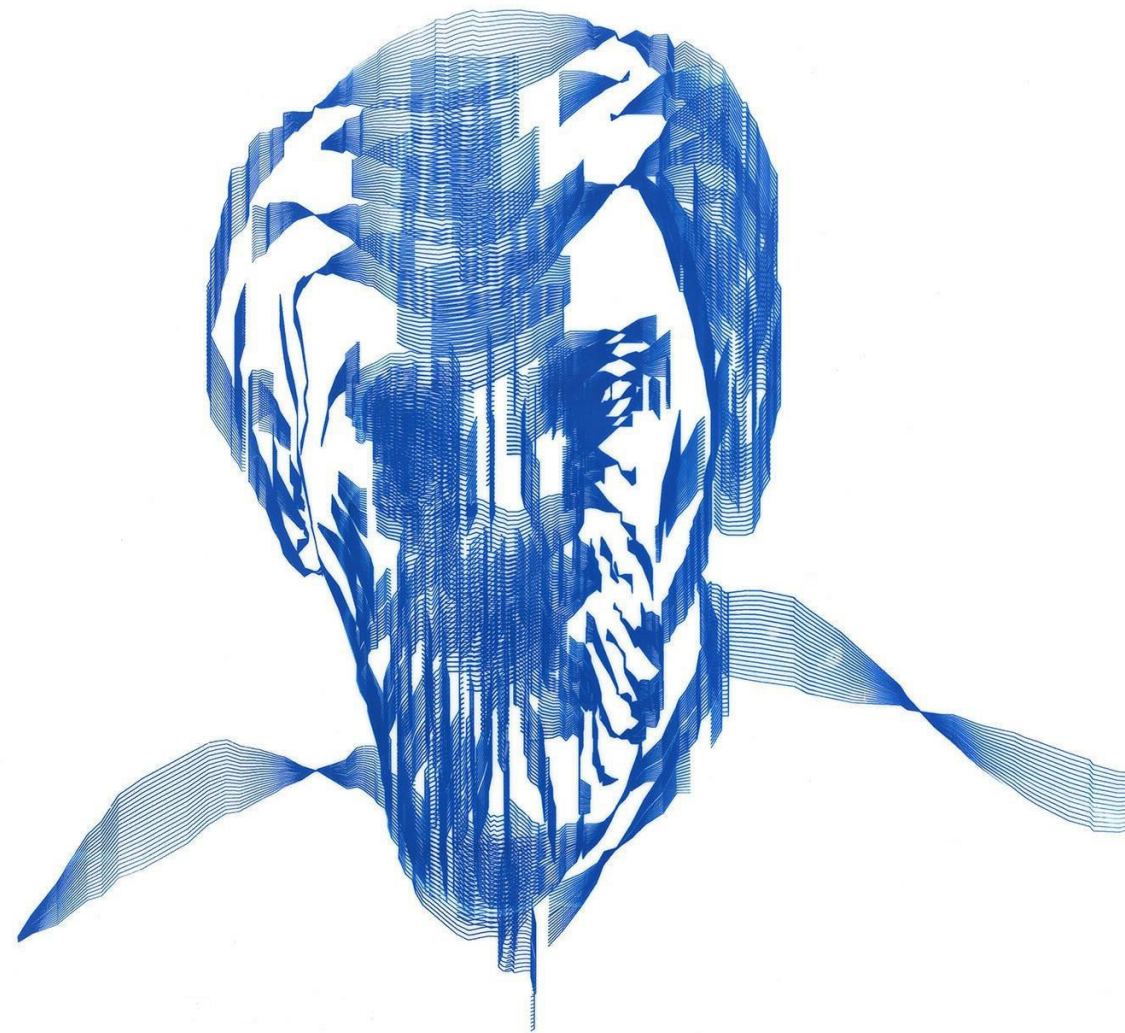
Εικόνα 20: Elektronische Grafik, Herbert W. Franke, 1970

δημιούργησε το 1963 με τον αναλογικό υπολογιστή IBM 7094 και με το Cal Comp drum plotter, καθώς μόνο μέσα από τους plotters ήταν εφικτή η οπτικοποίηση των έργων, αφού δεν υπήρχαν οθόνες. Χρησιμοποιούσε διάτρητες ταινίες (punched tape) και κάρτες (punched cards)

⁴⁰ <https://www.charlescsuri.com/> (Πρόσβαση: 10/202025)

⁴¹ Franke, Herbert W., Computer Graphics-Computer Art - Second, Revised and Enlarged Edition, Εκδόσεις Springer-Verlag, Germany, 1985, σελ. 105

ως μέσα αποθήκευσης δεδομένων των έργων του, καθώς έτσι μετέτρεπε τις γραμμές στα σχέδια του σε μια μορφή κώδικα, που έπειτα εισήγαγε σε αναλογικό υπολογιστή και τα αναπαρήγαγε μέσω των plotters.⁴⁰ Το έργο “Sine Curve Man”, που δημιούργησε σε συνεργασία με τον προγραμματιστή James Shaffer, κέρδισε το πρώτο βραβείο σε διαγωνισμό αλγοριθμικής τέχνης το 1967 και δημοσιεύτηκε στο εξώφυλλο του περιοδικού “Computation and Automation”. Η παραγωγή αυτού αλλά και πολλών άλλων έργων μέσα από τη συνεργασία τους, προέκυψε χάρη σε αλγόριθμους και περίπλοκες μαθηματικές διαδικασίες που ανέπτυξαν και τους επέτρεπαν να μετασχηματίζουν γεωμετρικά σχέδια και σχήματα στα έργα. Για αυτά τα έργα χρησιμοποιούταν η κλιμάκωση, περιστροφή και καμπύλωση των γραμμών για να επιτευχθεί μια παραλλαγή του αρχικού αποτελέσματος του εκάστοτε έργου.⁴¹



Εικόνα 21: Sine Curve Man, Charles Csuri, 1967

2.2.4. Συμπεράσματα

Οι εξελίξεις στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης αναπόφευκτα τροφοδότησε τους καλλιτέχνες την δεκαετία του 1960. Η αλγοριθμική τέχνη αμφισβήτησε τη θέση του καλλιτέχνη ως μοναδικού δημιουργού ενός έργου και έδωσε νέα διάσταση στο ρόλο των καλλιτεχνών. Οι αλγόριθμοι αποτέλεσαν το κυρίαρχο μέσο αναπαράστασης στην υπολογιστική-αλγοριθμική τέχνη, αλλά και το μέσο μαθηματοποίησης της αισθητικής. Οι φιλοσοφικές προσεγγίσεις του Max Bense σχετικά με την ανάγκη ένταξης της αισθητικής και στην επιστήμη των εφαρμοσμένων μαθηματικών, ήταν το γεγονός που τροφοδότησε τους καλλιτέχνες της αλγοριθμικής τέχνης για τον πειραματισμό με νέα τεχνολογικά μέσα. Η ανάπτυξη αλγορίθμων για την παραγωγή τέχνης ήταν η αρχή της δημιουργίας των αυτόνομων παραγωγικών συστημάτων. Σε αυτό το σημείο αξίζει να εντοπίσουμε τα χαρακτηριστικά που συνδέουν την αλγοριθμική τέχνη και τους αλγορίθμους με την παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη, καθώς κατά μια έννοια η αλγοριθμική τέχνη θα μπορούσε να θεωρηθεί ο προάγγελος της σημερινής παραγωγικής τέχνης και του παραγωγικού σχεδιασμού. Και στις δύο περιπτώσεις αμφισβητούνται τα όρια μεταξύ ανθρώπινης και μηχανικής

δημιουργίας. Η δημιουργία ξεκινώντας από μια ελεγχόμενη διαδικασία (αλγοριθμική τέχνη) εξελίσσεται σε μια αυτόνομη, πιθανοτική διαδικασία (παραγωγική ΤΝ). Ωστόσο, τόσο οι αλγόριθμοι, όσο και η παραγωγική ΤΝ, βασίζονται στις πιθανοτικές διαδικασίες, ακόμη και αν στην περίπτωση της αλγοριθμικής τέχνης το τελικό αποτέλεσμα ήταν ελεγχόμενο σε μεγαλύτερο βαθμό. Σε κάθε περίπτωση, τίθεται ως ζήτημα το κεντρικό δίλημμα της ανθρώπινης μοναδικότητας έναντι της τεχνολογικής αυτονομίας. Όμως, αυτό που αξίζει να τονιστεί είναι ότι η αλγοριθμική τέχνη είναι ένα παράδειγμα που αποδεικνύει, ότι η συμβολή της τεχνολογίας σε τομείς όπως η τέχνη μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα και να ενισχύσει τη δημιουργικότητα, εφόσον ο καλλιτέχνης εμπλέκεται άμεσα στην διαδικασία και έχει την απαραίτητη γνώση, ώστε να καθορίσει το τελικό του αποτέλεσμα.

2.3. Γενετικοί Αλγόριθμοι & Αρχιτεκτονική Δημιουργία

Έχοντας αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο την έντονη επιρροή που δέχτηκε ο χώρος της τέχνης από τις εξελίξεις στην επιστήμη των υπολογιστών και συγκεκριμένα, από τη χρήση των αλγορίθμων ως κυρίαρχο μέσο για την ανάπτυξη παραγωγικών συστημάτων, σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η σχέση των αλγορίθμων με την αρχιτεκτονική δημιουργία. Ο αλγόριθμος αποτελώντας ένα μέσο για την επίτευξης της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης έχει ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγική διαδικασία, τόσο στην τέχνη, όσο και στην αρχιτεκτονική. Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις προς αυτήν την κατεύθυνση στον αρχιτεκτονικό χώρο, έπειτα από την εισαγωγή των ψηφιακών μέσων στον σχεδιασμό, είναι η χρήση των γενετικών αλγορίθμων και της γενετικής διαδικασίας. Μέσω της ανάλυσης συγκεκριμένων φιλοσοφικών πλαισίων, που επηρέασαν τις αρχιτεκτονικές εξελίξεις, επιχειρείται η σύγκριση και ανάμεσα στην έννοια του διαγράμματος και των αλγορίθμων, καθώς και το πως η σχέση των δύο εννοιών αποτέλεσε μια κατεύθυνση προς τη χρήση των ψηφιακών μέσων στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.

2.3.1. Γενετικός αλγόριθμος

Στην επιστήμη των υπολογιστών, ένας γενετικός αλγόριθμος (Genetic Algorithm – GA) είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης εμπνευσμένος από τη φυσική επιλογή και τη βιολογική εξέλιξη. Χρησιμοποιείται στην επιστήμη των υπολογιστών για την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν αναζήτηση της καλύτερης δυνατής λύσης μέσα σε έναν μεγάλο χώρο πιθανών λύσεων. Οι γενετικοί αλγόριθμοι βασίζονται στις αρχές της φυσικής επιλογής και της εξέλιξης, όπως αυτές περιγράφηκαν από τον Κάρολο Δαρβίνο. Ακολουθούν μια διαδικασία που μιμείται την εξέλιξη των ζωντανών

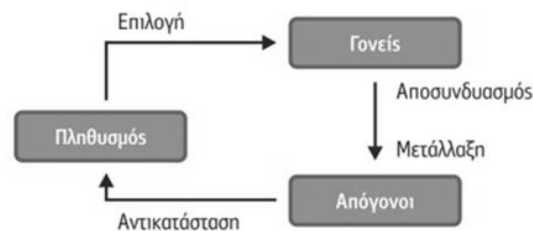
οργανισμών. Πιστεύεται ότι κάποιο πρόγραμμα κώδικα, αφού περνούσε από μια σειρά μικρών μεταλλάξεων, θα ήταν σε θέση να εξάγει καλά αποτελέσματα για οποιαδήποτε απλή εργασία, αφού μέσα από αυτή τη διαδικασία επιλέγεται να διατηρηθούν οι πιο «χρήσιμες» μεταλλάξεις. Οι γενετικοί αλγόριθμοι βοηθούν στην βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής των νευρωνικών δικτύων (βλ. Κεφ. 3.1), δηλαδή στον εντοπισμό της καλύτερης δυνατής δομής και των κατάλληλων παραμέτρων για ένα νευρωνικό δίκτυο, ώστε να έχει τη μέγιστη απόδοση σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα.

Το πρώιμο στάδιο των γενετικών αλγορίθμων, ήταν η μηχανική εξέλιξη, σύμφωνα με την οποία η πραγματοποίηση μιας κατάλληλης σειράς μικρών μεταλλάξεων σε ένα πρόγραμμα κώδικα μηχανής, ήταν δυνατόν να δώσει ένα πρόγραμμα με καλή απόδοση για οποιαδήποτε συγκεκριμένη απλή εργασία. Αυτό βέβαια στα πρώτα στάδια πειραματισμού δεν έδωσε την αναμενόμενη πρόοδο, αντίθετα με τους σημερινούς γενετικούς αλγορίθμους.⁴²

Στους γενετικούς αλγορίθμους υπάρχει ένα αρχικό σύνολο καταστάσεων που ονομάζονται «πληθυσμός». Με την διαδικασία που ακολουθείται γίνεται μια επιλογή «γονέων» μέσα από τον πληθυσμό και μέσω της ανταλλαγής χαρακτηριστικών

και της μετάλλαξης παράγεται η επόμενη γενιά καταστάσεων, οι απόγονοι. Οι απόγονοι αξιολογούνται με μια συνάρτηση αξιολόγησης που καλείται συνάρτηση καταλληλότητας ή απόδοσης ή προσαρμογής και έτσι γίνεται η τελική επιλογή αυτών που θα «επιβιώσουν» σε επόμενη γενιά. Αυτός είναι ο κύκλος ενός εξελικτικού αλγορίθμου (Evolutionary Algorithms).⁴³

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και αναζήτησης. Μέσα από τον εξελικτικό κύκλο ενός γενετικού αλγορίθμου γίνεται αναζήτηση και εύρεση της καλύτερης πιθανής λύσης. Αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο στην παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη για την εύρεση των ιδανικότερων λύσεων και ήδη χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια στην επιστήμη των υπολογιστών, όπως παράδειγμα για την εξέλιξη των λογισμικών (Windows 95 drivers). Αυτό το οποίο πρέπει να αναφερθεί βέβαια, είναι ότι στην επιστήμη των υπολογιστών, αλλά και σε άλλους κλάδους, όπως για παράδειγμα η μηχανική, η επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος συνήθως διαθέτει μια και



Διάγραμμα 1: Εξελικτικός κύκλος των Γενετικών Αλγορίθμων

⁴² Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γιάννης Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 53

⁴³ Γεωργούλη, Κατερίνα, *Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, σελ. 178

μοναδική λύση, στην οποία μπορεί να οδηγηθούν πολλά διαφορετικά άτομα. Αντιθέτως, στον τομέα της αρχιτεκτονικής η επίλυση ενός προβλήματος ποικίλει ανάλογα με τις προσεγγίσεις των ατόμων και επομένως δεν μπορεί να υπάρξει μια μόνο ιδανική λύση. Ωστόσο, αξίζει να αναλυθεί η σχέση των γενετικών διαδικασιών με την αρχιτεκτονική, μέσα από την προσέγγιση του Manuel DeLanda (2002), που συνέδεσε τις θεωρίες του φιλοσόφου Gilles Deleuze (1925-1995) και την χρήση των γενετικών αλγορίθμων στην αρχιτεκτονική.

2.3.2. Deleuze & Γενετικοί Αλγόριθμοι

Όπως αναφέρεται από τον Manuel DeLanda, ο Gilles Deleuze μέσα από τις φιλοσοφικές θεωρίες που ανέπτυξε, επιχείρησε να επαναερμηνεύσει την κατανόηση του υλικού κόσμου (new materialism). Σε αντίθεση με την ερμηνεία άλλων φιλοσόφων για την ύλη, ο Deleuze υποστήριξε πως η ύλη είναι ενεργή και τα γονίδια δεν είναι απλά μια αναπαράσταση μιας ιδεατής μορφής, αλλά αποτελούν μόνο ένα μέρος αυτής της τελικής μορφής, ένα προσχέδιο. Με αυτή τη λογική, κάθε γονίδιο διαθέτει μορφογενετικές ιδιότητες και η εξέλιξη οφείλεται σε αυτές. Έτσι ο Deleuze σύνδεσε τρία είδη συλλογιστικής στην θεωρία του: σκέψη σε πληθυσμούς

(population thinking), εντατική σκέψη (intensive thinking), τοπολογική σκέψη (topological thinking). Κάθε είδος συλλογιστικής προέρχεται από διαφορετικό επιστημονικό κλάδο.

Η σκέψη σε πληθυσμούς (population thinking), προέρχεται από την εξελικτική βιολογία, από τις θεωρίες του Δαρβίνου και του Μέντελ. Μέσα από αυτή τη συλλογιστική, υποστηρίζεται ότι για να υπάρξει εξέλιξη είναι απαραίτητος ένας μεγάλος αναπαραγωγικός πληθυσμός. Ενώ σύμφωνα με την Αριστοτέλεια φιλοσοφία, ο πληθυσμός έχει μια έμφυτη τάση προς μια «ιδανική» ή «τέλεια» μορφή, η σκέψη σε πληθυσμούς υποστηρίζει το αντίθετο, καθώς οι διαφοροποιήσεις σε ένα πληθυσμό είναι χαρακτηριστικά ζωτικής σημασίας για την ετερογένεια και άρα για την εξέλιξη. Μάλιστα, η εξέλιξη αποτελεί μια αυτόματη διαδικασία αναζήτησης, όπως ακριβώς ένας γενετικός αλγόριθμος στην επιστήμη των υπολογιστών αποτελεί έναν αλγόριθμο αναζήτησης. Συμπερασματικά, ένας πληθυσμός παρέχει ένα χώρο πιθανοτήτων.

Η εντατική σκέψη (intensive thinking), προέρχεται από την θερμοδυναμική και

υποστηρίζει ότι οι εντατικές ιδιότητες⁴⁴ (θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα) είναι ενεργές και μπορούν να επιφέρουν διαφοροποιήσεις στην ύλη, σε αντίθεση με τις εκτατικές ιδιότητες (μήκος, εμβαδόν, όγκος) που είναι ανενεργές και στατικές. Αυτές οι διαφοροποιήσεις στην ύλη, διαμορφώνουν νέες καταστάσεις και ποικιλομορφία της ύλης, γεγονός που καθιστά τις εντατικές διαφορές ως «παραγωγικές».

Η τοπολογική σκέψη (topological thinking), προέρχεται από τον κλάδο των μαθηματικών. Σε αντίθεση με τα μαθηματικά, που ορίζονται σε έναν συγκεκριμένο μετρικό χώρο, η τοπολογική σκέψη υποστηρίζει ότι υπάρχει ένας ιδεατός, μη μετρικός χώρος-πεδίο μέσα στο οποίο οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων είναι πιο σημαντικές από τις ακριβείς θέσεις τους. Μέσα σε αυτόν τον ιδεατό χώρο είναι δυνατόν να εντοπιστούν τα κοινά χαρακτηριστικά των στοιχείων για να αποκτηθεί μια γενικότερη εικόνα του συνόλου.

Ο DeLanda υποστηρίζει ότι είναι σημαντικό να εισαχθούν στοιχεία από τις

θεωρίες υλισμού του Deleuze στη χρήση των υπολογιστών.⁴⁵

2.3.3. DeLanda & Αρχιτεκτονική Δημιουργία

Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία, ο DeLanda, υποστηρίζει πως οι φιλοσοφικές ιδέες του Deleuze για την γένεση των μορφών σε συνδυασμό με τους γενετικούς αλγορίθμους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αρχιτεκτονική - όπως και στην τέχνη- για τη δημιουργία μορφών μέσω διαδικασιών αναπαραγωγής, μετάλλαξης και επιλογής. Αντί λοιπόν, οι αρχιτέκτονες να σχεδιάζουν τις μορφές, τους δίνεται έμμεσα, μέσα από εξελικτικές διαδικασίες, η δυνατότητα της μορφογένεσης. Αυτές οι θεωρίες, όπως διατυπώθηκαν το 2002, μεταβάλλουν σημαντικά τον ρόλο του αρχιτέκτονα, χωρίς βέβαια να τον εξαλείφουν, αφού είναι μια από τις σημαντικότερες θεωρίες βάσει των οποίων ο αρχιτέκτονας χρησιμοποιεί την τεχνολογία για να παραχθούν νέες μορφές.

Συγκεκριμένα, με βάση όσα προαναφέρθηκαν, η πρωτοτυπία και η καινοτομία των αρχιτεκτονικών μορφών

που θα δημιουργηθούν εξαρτάται από την ποικιλομορφία σε επίπεδο πληθυσμού (population thinking). Η εξέλιξη των μορφών προκύπτει μέσα από την ύπαρξη πληθυσμού, άρα αντί να σχεδιάζεται μια μεμονωμένη μορφή, μπορεί να δημιουργηθεί ένας πληθυσμός μορφών, οι οποίες μέσα από διαδικασίες αναπαραγωγής μετάλλαξης και επιλογής εξελίσσονται. Μέσα από αυτή τη διαδικασία δημιουργείται ένας χώρος πιθανοτήτων.

Με την εντατική σκέψη (intensive thinking), αυτό που τονίζεται είναι ότι στη γένεση μιας αρχιτεκτονικής μορφής δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι εκτατικές ιδιότητες (γεωμετρικά χαρακτηριστικά, επιφάνειες, κλπ), αλλά και οι εντατικές, δηλαδή στην περίπτωση των κτηρίων οι κατανομές φορτίων, η δομική σταθερότητα, η αλληλεπίδραση των στοιχείων τους με το περιβάλλον. Επίσης, εντατικές διαφορές στην αρχιτεκτονική μπορεί να επιφέρει και η κίνηση.

Τέλος, με την τοπολογική σκέψη (topological thinking), δίνεται έμφαση στο ότι οι αρχιτεκτονικές μορφές πρέπει να βασίζονται σε τοπολογικά διαγράμματα, που λειτουργούν όπως τα «σχέδια σώματος» (body plans) στη βιολογία. Σύμφωνα με αυτό, οι αρχιτεκτονικές

μορφές πρέπει να βασίζονται σε ευέλικτα αφαιρετικά διαγράμματα, που ορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων τους και όχι αυστηρώς την θέση και την γεωμετρία τους. Έτσι, μέσα από αυτά τα διαγράμματα παρέχεται η δυνατότητα να αναπτύσσονται ευέλικτα και να μπορούν εύκολα να υποστούν μετασχηματισμούς σύμφωνα με το περιβάλλον και τις λειτουργίες τους.⁴⁶

Το ερώτημα που εγείρεται σε αυτήν την περίπτωση της χρήσης των γενετικών αλγορίθμων για την μορφογένεση στην αρχιτεκτονική, είναι το κατά πόσο ο αρχιτέκτονας εξακολουθεί να έχει δημιουργικό ρόλο. Το συγκεκριμένο ερώτημα υπάρχει αντίστοιχα και στην χρήση της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στην αρχιτεκτονική. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση χρήσης των γενετικών αλγορίθμων ο αρχιτέκτονας διατηρεί σημαντικά το ρόλο του καθώς ο ίδιος: α) ορίζει τον πληθυσμό και το χώρο αναζήτησης, β) καθορίζει τα κριτήρια επιλογής, γ) διαμορφώνει τα τοπολογικά διαγράμματα με τα οποία ορίζονται οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του σχεδιασμού. Έτσι, παρά το γεγονός ότι υπάρχει μορφογένεση μέσω μιας εξελικτικής διαδικασίας και το τελικό

⁴⁴ Εντατικές αποκαλούνται οι ιδιότητες της ύλης που δεν μπορούν να διαιρεθούν χωρικά. Αντίθετα, οι εκτατικές ιδιότητες όπως το μήκος ή το εμβαδόν μπορούν να διαιρεθούν χωρικά. Για παράδειγμα, αν διαθέτουμε μια ράβδο μήκους 1 μέτρου και την κόψουμε στη μέση θα έχουμε ως αποτέλεσμα 2 ράβδους των 50 εκατοστών.

⁴⁵ DeLanda, Manuel, Διάλεξη: “*Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*”, Art and Technology Lecture Series, Columbia University, 2004

⁴⁶ DeLanda, Manuel, *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, 2002

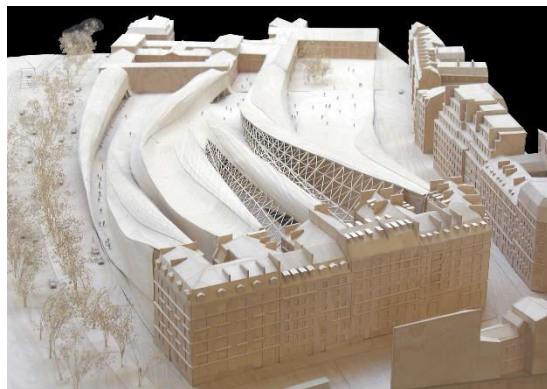
αποτέλεσμα δεν προκύπτει από τον άμεσο σχεδιασμό του αρχιτέκτονα, ο ίδιος είναι αυτός που καθορίζει, ελέγχει και κατευθύνει όλη τη διαδικασία, έμμεσα μέσω του αλγόριθμου. Σε αυτό το σημείο παρατηρούμε τα κοινά στοιχεία που υπάρχουν και με την αλγοριθμική τέχνη. Αυτή η προσέγγιση, θα μπορούσε να θεωρηθεί η βάση της παραγωγής αρχιτεκτονικών μορφών μέσα από τους γενετικούς αλγόριθμους. Επίσης, θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτές οι εξελίξεις έδωσαν το βήμα για αυτό που γνωρίζουμε σήμερα ως παραγωγικό σχεδιασμό (generative design), αφού οι γενετικοί αλγόριθμοι θα μπορούσαν να θεωρηθούν ένα προγενέστερο στάδιο της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.

Το έργο των αρχιτεκτόνων Greg Lynn, Bernard Cache, Kas Oosterhuis επηρεάστηκε βαθιά από αυτό το φιλοσοφικό πλαίσιο του Deleuze και τις διαδικασίες της μορφογένεσης. Μέσα από δημοσιεύσεις τους επιχειρούν και οι ίδιοι να προσεγγίσουν φιλοσοφικά την αρχιτεκτονική δημιουργία, υποστηρίζοντας ότι μέσα από διάφορους τρόπους η αρχιτεκτονική μπορεί να μεταβάλλεται, να αποκτά δυναμική δομή και κίνηση, να είναι

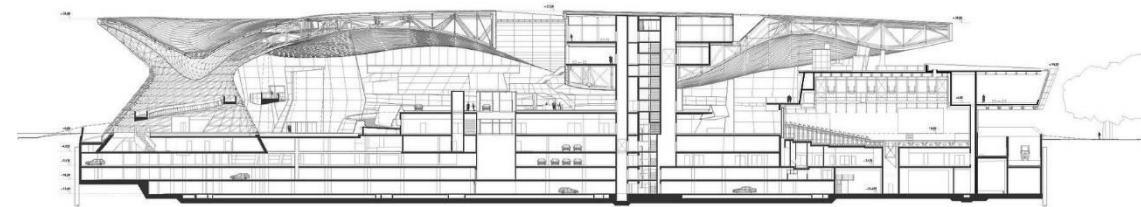
διαδραστική και να ξεφεύγει από το πλαίσιο της στατικότητας που ορίζεται από την ύλη.

2.3.4. Greg Lynn

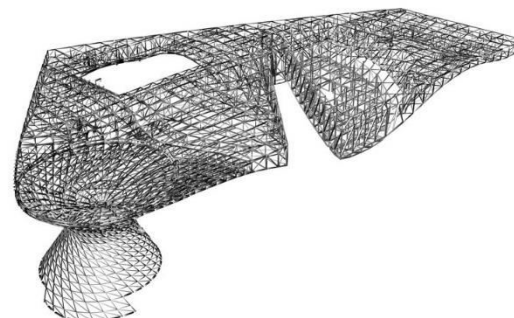
Ως συντάκτης στο περιοδικό “AD: Folding in Architecture”, ο Greg Lynn διερευνά την έννοια της αναδίπλωσης (folding) ως μετασχηματιστική και γενεσιουργό διαδικασία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Το κύριο θέμα περιστρέφεται γύρω από τη μετάβαση από τις παραδοσιακές, άκαμπτες και κατακερματισμένες αρχιτεκτονικές μορφές σε πιο ρευστές, συνεχείς και σύνθετες γεωμετρίες που περιλαμβάνουν ομαλές μεταβάσεις, περίπλοκες συνδέσεις και οργανικές ευαισθησίες. Αποτυπώνει μια στιγμή στην αρχιτεκτονική θεωρία και



Εικόνα 22: Musée des Arts et des Civilisations-Musée du Quai Branly (1999), Paris, Peter Eisenman



Εικόνα 23: BMW Welt (2001), Τομή, Munich, Coop Himmelb(l)au



Εικόνα 24: BMW Welt (2001), Δομικός Σκελετός, Munich, Coop Himmelb(l)au

πρακτική λίγο πριν από την ευρεία υιοθέτηση των ψηφιακών εργαλείων, τα οποία αργότερα θα έφερναν επανάσταση στον τομέα. Υποστηρίζει ότι, απομακρυνόμενοι από τις άκαμπτες, κατακερματισμένες μορφές και υιοθετώντας πιο ρευστές, δυναμικές και οργανικές γεωμετρίες, οι αρχιτέκτονες

μπορούν να δημιουργήσουν χώρους που ανταποκρίνονται καλύτερα στο περιβάλλον τους και εκφράζουν περισσότερο την πολυπλοκότητα της σύγχρονης ζωής. Προβλέπει επίσης τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο των ψηφιακών εργαλείων στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, υποδηλώνοντας ότι το μέλλον της αρχιτεκτονικής έγκειται στην εξερεύνηση σύνθετων, βασισμένων στον υπολογισμό μορφών που μπορούν να υλοποιηθούν μόνο μέσω υπολογιστικών μεθόδων.

Η έννοια της αναδίπλωσης εισάγεται ως μεταφορά και στρατηγική σχεδιασμού που επιτρέπει στους αρχιτέκτονες να κινηθούν πέρα από τα άκαμπτα, καρτεσιανά πλέγματα και τις κατακερματισμένες μορφές του μοντερνισμού και του αποδομητισμού. Η αναδίπλωση θεωρείται ως ένας τρόπος δημιουργίας συνεχών, ομαλών και σύνθετων χωρικών

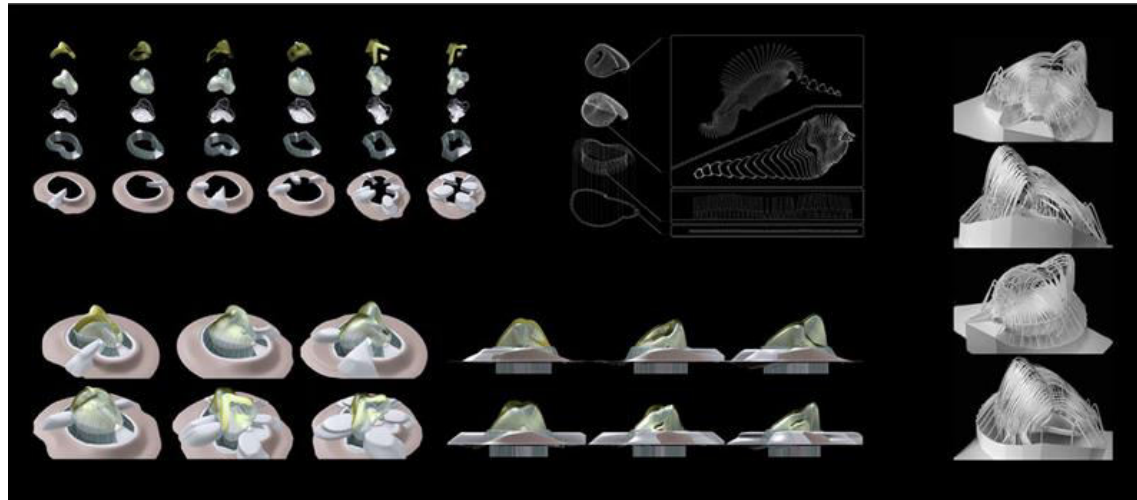
οργανώσεων που ενσωματώνουν διαφορετικά στοιχεία σε ένα συνεκτικό σύνολο, χωρίς να καταφεύγουν σε ιεραρχικές ή αρθρωτές δομές.

Οι απόψεις που διατυπώνει ο Greg Lynn βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε φιλοσοφικές ιδέες, κυρίως σε αυτές του Gilles Deleuze, ο οποίος έγραψε για την αναδίπλωση στο βιβλίο του “The fold: Leibniz and the Baroque”. Η αντίληψη του Deleuze για την αναδίπλωση ως μια συνεχή, διαφορεική διαδικασία εφαρμόζεται στην αρχιτεκτονική για τη δημιουργία μορφών

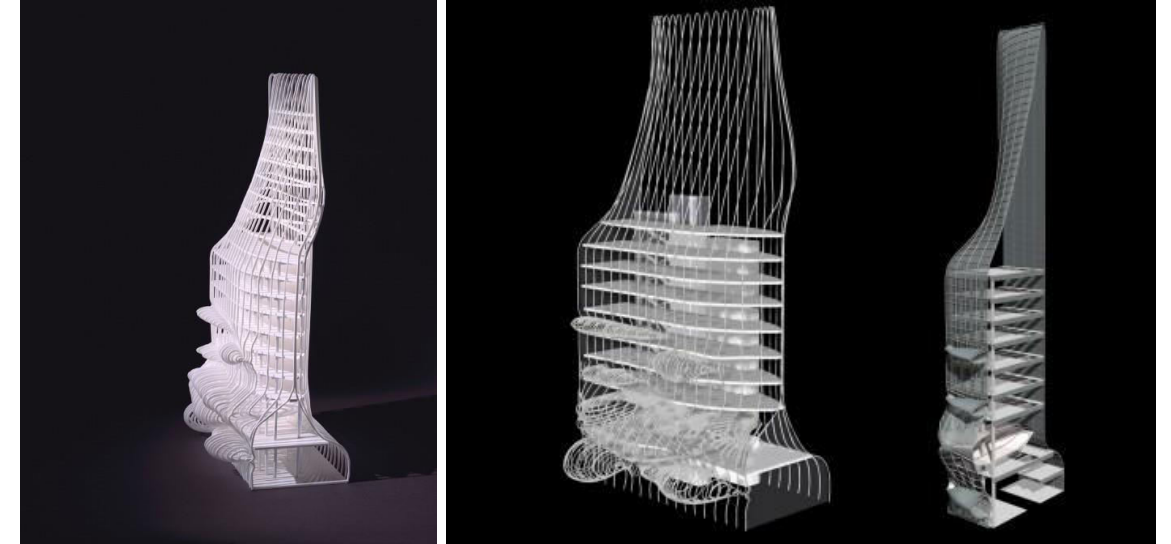
που είναι ρευστές, δυναμικές και ανταποκρίνονται στις εξωτερικές δυνάμεις.

Αναφέρεται σε διάφορες μελέτες περιπτώσεων και έργα αρχιτεκτόνων όπως ο Peter Eisenman, ο Frank Gehry και ο Bahram Shirdel, οι οποίοι πειραματίζονταν με την αναδίπλωση και τις πολύπλοκες γεωμετρίες στο έργο τους.⁴⁷

Σε μια παρόμοια προσέγγιση, στο βιβλίο “Animate Form”, ο Greg Lynn εξετάζει τη διαδικασία της αρχιτεκτονικής σύλληψης (concept), μέσα από τη χρήση



Εικόνα 25: Embryological House (1998), Greg Lynn, Διερεύνηση γένεσης μορφών με βάση τις αρχές του “Animate Form” (Χρήση Microstation και Maya)



Εικόνα 26: Eyebeam Museum of Art and Technology Competition(2001), NY, Greg Lynn, Rebeca Mendez Communication Design and Skidmore, Owings & Merrill

προγραμμάτων animation, με σκοπό αυτή να προέλθει από ένα δυναμικό χώρο κίνησης, αντί ενός στατικού περιβάλλοντος. Ο Lynn εισάγει την έννοια της «κινούμενης μορφής», η οποία αναφέρεται στη χρήση λογισμικού και τεχνικών κινούμενης εικόνας για τη δημιουργία αρχιτεκτονικών μορφών. Υποστηρίζει ότι οι παραδοσιακές στατικές γεωμετρίες, όπως τα ευκλείδεια σχήματα και ο σχεδιασμός αποκλειστικά σε χώρο καρτεσιανών συντεταγμένων είναι περιορισμένα και ότι οι δυναμικές, ρευστές μορφές μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στις σύνθετες συνθήκες και τα

πλαίσια, όπως αυτά που παρέχοντα από τα σύγχρονα ψηφιακά μέσα.

Διερευνά πώς η κίνηση και ο χρόνος μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία σχεδιασμού, επιτρέποντας στους αρχιτέκτονες να σκέφτονται τα κτίρια ως δυναμικές οντότητες και όχι ως στατικά αντικείμενα. Μια από τις βασικές μεθόδους που υποστηρίζεται ότι μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη αρχιτεκτονικών δυναμικών μορφών, είναι η αντιμετώπιση του σχεδιασμού ως μια κινούμενη εικόνα, που χάρη στο ψηφιακό χώρο στον οποίο βρίσκεται, υπάρχει η δυνατότητα παύσης του χρόνου για την εξαγωγή «στιγμιότυπων»

⁴⁷ Lynn, Greg, *AD: Folding in Architecture*, Wiley-Academy, 1993, σελ. 14-22, 33-36, 40-41, 60

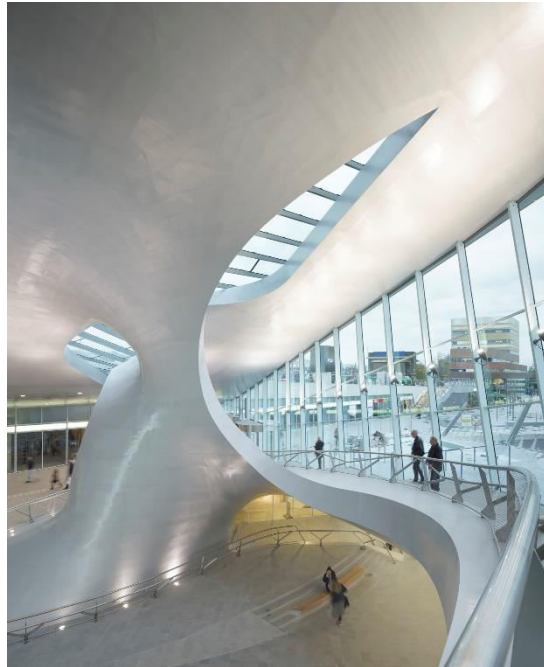
(frames). Αυτά τα «στιγμιότυπα» χρησιμοποιούνται ως πληθυσμός μορφών, μέσα από τον οποίο διαμορφώνεται ο τελικός σχεδιασμός, χάρη σε μετασχηματισμούς, τροποποιήσεις και συνδυασμούς των μορφών αυτών. Επομένως, γίνεται μια προσπάθεια να ενσωματωθούν πολλές πληροφορίες από διαφορετικές παραλλαγές του πληθυσμού που είχε διαμορφωθεί στην ίδια τελική μορφή.⁴⁸

2.3.5. Bernard Cache

Αντίστοιχα, το βιβλίο “Earth moves: The Furnishing of Territories” του Bernard Cache, επικεντρώνεται στον επαναπροσδιορισμό της αρχιτεκτονικής και τη σχέση της με το χώρο, την κίνηση και την έννοια της εικόνας. Ο Cache αμφισβητεί τις παραδοσιακές αντιλήψεις για την αρχιτεκτονική ως μια στατική, αναπαραστατική μορφή τέχνης και αντιθέτως προτείνει μια δυναμική, ρευστή κατανόηση της αρχιτεκτονικής πρακτικής. Το βιβλίο είναι βαθιά επηρεασμένο από τη φιλοσοφία του Gilles Deleuze, ιδίως από τις έννοιες της αναδίπλωσης (fold), της κάμψης (inflection) και του κάδρου (frame), τις

οποίες ο Cache χρησιμοποιεί για να επανεξετάσει την αρχιτεκτονική.

Υποστηρίζει ότι η αρχιτεκτονική δεν αφορά απλώς την κατασκευή κτιρίων αλλά την πλαισίωση χώρων και εικόνων. Επαναπροσδιορίζει την αρχιτεκτονική ως χειρισμό των κάδρων (frames), ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο στα κτίρια



Εικόνα 27: Arnhem Central (2015), The Netherlands, UN Studio. Η έννοια της κάμψης ως δομικό και χωρικό στοιχείο.



Εικόνα 28: Εικόνα 28: Arnhem Central (2015), The Netherlands, UN Studio. Η έννοια της κάμψης ως δομικό και χωρικό στοιχείο.

αλλά και σε άλλες μορφές τέχνης, όπως η ζωγραφική και ο κινηματογράφος. Το πλαίσιο δεν είναι απλώς ένα φυσικό όριο αλλά ένα εννοιολογικό εργαλείο που οργανώνει και επιλέγει στοιχεία μέσα σε έναν χώρο. Εισάγει μια νέα αντίληψη της εικόνας, την οποία περιγράφει ως μια δυναμική οντότητα και όχι ως μια στατική αναπαράσταση. Οι εικόνες δεν είναι απλές

αντανακλάσεις της πραγματικότητας, αλλά ενεργά συμμετέχουσες στη δημιουργία του χώρου και της κίνησης. Βασίζεται στις ιδέες του Henri Bergson και του Gilles Deleuze, για να υποστηρίξει ότι οι εικόνες αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου, διασυνδεδεμένου κόσμου αντίληψης και δράσης, όπου αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους. Η κάμψη (inflection) είναι

⁴⁸ Χαΐρης, Θανάσης, *Ερευνητική Εργασία: Χωρική Δυνητικότητα: διαγραμματικές προσεγγίσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΠΚ, Χανιά, 2010, σελ. 93-96

κεντρική έννοια του βιβλίου, που αναφέρεται στα σημεία αλλαγής καμπυλότητας σε μια επιφάνεια ή γραμμή. Ο Cache χρησιμοποιεί την κάμψη για να περιγράψει πώς η αρχιτεκτονική μπορεί να δημιουργήσει κίνηση και παραλλαγή μέσα σε έναν χώρο. Τα σημεία καμπής δεν είναι σταθερά αλλά δυναμικά, επιτρέποντας τον συνεχή μετασχηματισμό και την αναδιαμόρφωση του χώρου. Η ιδέα αυτή συνδέεται στενά με την έννοια της αναδίπλωσης (fold) του Deleuze, όπου οι επιφάνειες και οι χώροι βρίσκονται συνεχώς σε κίνηση. Ασκεί κριτική στην παραδοσιακή αντιμετώπιση για την αναπαράσταση στην αρχιτεκτονική, όπου τα κτίρια θεωρούνται ως στατικά αντικείμενα που αναπαριστούν ορισμένες ιδέες ή μορφές. Κατά τον Cache, η αρχιτεκτονική δεν αφορά μόνο τη δημιουργία χώρων για το σώμα, αλλά την πλασίωση και την οργάνωση του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και αλληλοεπιδρούμε με τον κόσμο.

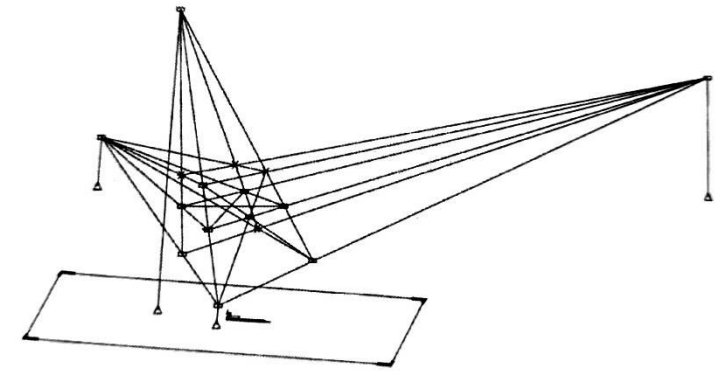
Διερευνά τη σχέση μεταξύ αρχιτεκτονικής και γεωγραφίας-εδάφους, υποστηρίζοντας ότι η αρχιτεκτονική δεν πρέπει να θεωρείται ξεχωριστή από το γεωγραφικό της πλαίσιο. Αντίθετα, η αρχιτεκτονική είναι ένας τρόπος οργάνωσης και αλληλεπίδρασης με το

έδαφος, δημιουργώντας νέες συνδέσεις και δυνατότητες.

Αναφέρεται στον αντίκτυπο των νέων τεχνολογιών, ιδίως των ψηφιακών εργαλείων, στην αρχιτεκτονική πρακτική. Υποστηρίζει ότι οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν ένα νέο είδος κονστρουκτιβισμού, όπου οι αρχιτέκτονες μπορούν να δημιουργούν σύνθετες, μεταβλητές μορφές που ανταποκρίνονται στη δυναμική φύση της σύγχρονης ζωής. Αυτός ο νέος κονστρουκτιβισμός δεν αφορά την επανάληψη παλαιών μορφών, αλλά τη δημιουργία νέων δυνατοτήτων για τη χωρική οργάνωση και την αλληλεπίδραση.⁴⁹



Εικόνα 29: Philibert De L'Orme Pavilion (2001), Bernard Cache. Παραμετρικό περίπτερο που σχεδιάστηκε με βάση το διάγραμμα του προβολικού κύβου με 3 τεχνητά σημεία φυγής



Εικόνα 30: Διάγραμμα προβολικού κύβου με 3 τεχνητά σημεία φυγής

Γενικότερα, αυτό που τονίζεται στο έργο του Cache είναι ότι ο ρόλος του αρχιτέκτονα δεν είναι -όπως εσφαλμένα πιστεύεται- ο σχεδιασμός συγκεκριμένων στατικών αντικειμένων, αλλά η δημιουργία ενός συνόλου σχέσεων. Προτείνει τη χρήση των ψηφιακών εργαλείων ως ένα μέσο πλήρους παραμετροποίησης του σχεδιασμού και της κατασκευής. Η δημιουργία αφαιρετικών διαγραμμάτων, σχέσεων και παραμέτρων στο σχεδιασμό μπορούν να συμβάλλουν σε αυτή τη διαδικασία παραμετροποίησης και καθιστούν ευκολότερες τις προσαρμογές των μορφών στο εκάστοτε περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Cache, τα διαγράμματα σχέσεων είναι ικανά να παράγουν πολλές διαφορετικές μορφές (πληθυσμό) και παραλλαγές, σε αντίθεση με το σχεδιασμό μιας τελικής μορφής που δεν είναι

προσαρμόσιμη. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση εφαρμογών με προγραμματισμό, μέσα από τις οποίες είναι εφικτό να οριστεί πλήθος παραμέτρων, όπου μεταποιώντας τις θα προσαρμόζεται η κάθε αρχιτεκτονική μορφή.⁵⁰

2.3.6. Kas Oosterhuis

Στο δημοσίευμα “Hyperbodies: Towards An E-motive Architecture” του αρχιτέκτονα Kas Oosterhuis, περιγράφεται ο μετασχηματισμός της αρχιτεκτονικής στην ψηφιακή εποχή, δίνοντας έμφαση στη μετάβαση από τις στατικές, παραδοσιακές αρχιτεκτονικές πρακτικές, στις δυναμικές, καθοδηγούμενες από δεδομένα και διαδραστικές διαδικασίες σχεδιασμού.

⁴⁹ Cache, Bernard, *Earth moves: The Furnishing of Territories*, Writing Architecture, MIT Press, 1995

⁵⁰ Χαϊρης, Θανάσης, *Ερευνητική Εργασία: Χωρική Δυνητικότητα: διαγραμματικές προσεγγίσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΠΚ, Χανιά, 2010, σελ. 97-100

Διερευνά πως η αρχιτεκτονική μπορεί να εξελιχθεί σε μια πιο ρευστή, ευέλικτη και εξελικτική διαδικασία, βασισμένη σε δεδομένα και ροές πληροφοριών, με σκοπό τη δημιουργία αυτού που ονομάζει “Hyperbody”, μια έξυπνη προσαρμοστική αρχιτεκτονική δομή που αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον και τους χρήστες της. Σε αυτό το πλαίσιο της χρήσης τεχνολογικών εργαλείων με στόχο τη διαμόρφωση μιας δυναμικής αρχιτεκτονικής, εξετάζει τις σχέσεις μεταξύ του ρόλου του αρχιτέκτονα, της αρχιτεκτονικής εκπαίδευσης, των χώρων-κτιρίων, των χρηστών και των δεδομένων.

Ο Kas Oosterhuis υποστηρίζει ότι ο σημερινός αρχιτέκτονας είναι ένας αρχιτέκτονας πληροφοριών που έχει πρόσβαση στη βάση δεδομένων ενός έργου, επεξεργάζεται τα δεδομένα και ενεργεί διαισθητικά και λογικά. Συγκρίνει το σύγχρονο αρχιτέκτονα με έναν “idiot savant”, δηλαδή κάποιον που διαθέτει εξαιρετικές ικανότητες σε συγκεκριμένους τομείς, αλλά δεν μπορεί να κατανοήσει συνολικά το περιβάλλον. Κατά τη γνώμη του, ένας καινοτόμος αρχιτέκτονας δεν φοβάται τις νέες τεχνολογίες, αλλά εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες που αυτές προσφέρουν, διερευνά και ασκεί την αρχιτεκτονική ως χώρο συναλλαγών σε πραγματικό χρόνο. Ο σύγχρονος αρχιτέκτονας δεν σχεδιάζει μόνο φόρμες

αλλά διαδράσεις, πληροφοριακές ροές και δυναμικά περιβάλλοντα.

Περιγράφει την αρχιτεκτονική ως ένα σύστημα που λειτουργεί σε «σμήνος» (Swarm Architecture) στο οποίο ανήκουν άνθρωποι, αντικείμενα, κτήρια, δομικά στοιχεία, δεδομένα και πληροφορίες που όλα αλληλοεπιδρούν και επικοινωνούν μεταξύ τους. Όλα τα στοιχεία που ανήκουν στο «σμήνος» είναι φορείς δεδομένων (data carriers), που μεταφέρουν και ανταλλάσσουν δεδομένα, καθιστώντας την αρχιτεκτονική έναν ζωντανό πληροφοριακό οργανισμό. Σύμφωνα με αυτό, η



Εικόνα 31: E-motive House (2002), ONL, Research work. Το E-Motive House είναι ένα ερευνητικό έργο, που πειραματίζεται με την έννοια της αλληλεπίδρασης του χώρου. Αποτελείται από ένα μακρύ κινητό χώρο με δύο στερεά μπλοκ και στα δύο άκρα. Ο ενδιάμεσος χώρος αλλάζει σχήμα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την κίνηση των κατοίκων του, μεταβάλλοντας έτσι τη γεωμετρία του.

αρχιτεκτονική είναι ένας μηχανισμός διαχείρισης της πληροφορίας και ο αρχιτέκτονας είναι ένας αρχιτέκτονας πληροφοριών (Information Architect). Η αρχιτεκτονική πρακτική μεταβάλλεται από μια στατική προσέγγιση σε μια δυναμική προσέγγιση με τη συμβολή των τεχνολογικών μέσων, αφού βασίζεται σε δυναμικά, ψηφιακά μοντέλα που μέσω των αλγορίθμων και των δεδομένων (data-driven) μπορούν να μετασχηματίζονται και να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο. Με βασικά εργαλεία τους γενετικούς αλγόριθμους, τα προσαρμοστικά μοντέλα, τα έξυπνα δεδομένα και με τη σχεδίαση ως μια συνεργατική και συμμετοχική διαδικασία που συνδέεται άμεσα με την παραγωγή, γίνεται αναφορά σε μια εξελικτική αρχιτεκτονική ως αρχιτεκτονική του μέλλοντος.

Αναφέρει ότι σε ένα επόμενο βήμα η αρχιτεκτονική μπορεί να χαρακτηριστεί ως E-motive, δηλαδή όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες να χρησιμοποιούνται μέσω τεχνολογικών μηχανισμών (αισθητήρων, κοινωνικές πλατφόρμες, αλγόριθμους, κτλ), επιτρέποντας στους χρήστες να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση και τη συνεχή προσαρμογή των χώρων και των περιβαλλόντων τους (direct democracy). Η συμμετοχική αρχιτεκτονική (participatory architecture) γίνεται το κλειδί για τη δημιουργία χώρων που ανταποκρίνονται

πραγματικά στις ανάγκες της κοινωνίας. Κατά τον Oosterhuis, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος της συνεχούς αυτής προσαρμογής των χώρων.

Διαμορφώνει τις απόψεις του και πάνω στην αρχιτεκτονική πρακτική, υποστηρίζοντας εργαλεία της νέας εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι τα λογισμικά σχεδιασμού με βάση τον προγραμματισμό και οι φοιτητές θα πρέπει να είναι σε θέση να μαθαίνουν να χρησιμοποιούν γλώσσες προγραμματισμού και αλγορίθμους. Με αυτόν τον τρόπο, οι φοιτητές θα ξεφύγουν από τη λογική της δημιουργίας μιας στατικής φόρμας και θα μπορούν και οι ίδιοι να διαχειρίζονται τις ροές πληροφοριών. Έτσι, η αρχιτεκτονική εκπαίδευση θα λειτουργεί μέσω του «κώδικα» (scripted design), όπου θα αναπτύσσονται διάφορες παράμετροι και κανόνες και το τελικό αποτέλεσμα σχεδιασμού θα προκύπτει μέσα από την αλληλεπίδραση αυτών. Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά: ο αρχιτέκτονας *καλείται να εργαστεί μέσα στη διαδικασία, να ενεργεί μέσα στη ροή* (πληροφοριών). *Η αποστολή του σύγχρονου αρχιτέκτονα είναι να σχεδιάζει τους κανόνες του παιχνιδιού.*

Εισάγει την έννοια των Building Bodies, δηλαδή των κτιρίων που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σαν οργανικά σώματα, με συνδεδεμένες, δυναμικές και προσαρμοστικές δομές. Τα κτίρια δεν είναι

πλέον στατικά αντικείμενα, αλλά ζωντανά, αλληλεπιδραστικά και παραμετρικά συστήματα. Τα Building Bodies λειτουργούν ως ενιαίες, αλληλένδετες δομές, όπως τα σώματα των οργανισμών. Ο σχεδιασμός βασίζεται στη συνέχεια και τη ροή μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. Τα Building Bodies απαιτούν «μαζική προσαρμογή» (mass customization), δηλαδή τη δυνατότητα παραγωγής μοναδικών στοιχείων σε μεγάλη κλίμακα. Κάθε κτίριο μπορεί να έχει μοναδική γεωμετρία και προσαρμοσμένες παραμέτρους χωρίς αύξηση κόστους.

Το κτίριο μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας «εγκέφαλος» που λαμβάνει και επεξεργάζεται δεδομένα. Η αρχιτεκτονική



Εικόνα 33: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL. Βασίζεται στην ιδέα της ροής δεδομένων και της διαδραστικής αρχιτεκτονικής.

δεν είναι πλέον στατική, αλλά γίνεται ένα δικτυωμένο, αλληλεπιδραστικό σύστημα. Ο Kas Oosterhuis αναλύει την έννοια των κτιρίων ως συσκευές εισόδου-επεξεργασίας-εξόδου (Input > Processing > Output Devices). Προτείνει ότι η αρχιτεκτονική πρέπει να αντιμετωπίζεται όχι ως στατικό αντικείμενο, αλλά ως ένα συστηματικό μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών, όπως ένας υπολογιστής ή ένα βιολογικό κύτταρο. Τα σύγχρονα κτίρια μπορούν να λειτουργούν όπως τα δίκτυα δεδομένων:

- Λαμβάνουν πληροφορίες από αισθητήρες (input).



Εικόνα 32: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL, Εσωτερικό περιπτέρου



Εικόνα 34: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL, Εσωτερικό περιπτέρου

- Επεξεργάζονται δεδομένα μέσω αλγορίθμων και τεχνητής νοημοσύνης (processing).
- Ανταποκρίνονται προσαρμόζοντας τη λειτουργία τους (output).

Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει προσαρμοστικά, «έξυπνα» κτίρια που αντιδρούν σε πραγματικό χρόνο στις ανάγκες των χρηστών.⁵¹

2.3.7. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τις πληροφορίες που αναφέρθηκαν, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οδηγούμαστε σε μια νοητή σύγκριση ανάμεσα στην έννοια του αρχιτεκτονικού διαγράμματος και του αλγορίθμου. Τόσο ένα αρχιτεκτονικό διάγραμμα, όσο και ένας αλγόριθμος, αποτελεί μια συγκεκριμένη μέθοδο αντιμετώπισης ενός προβλήματος, μέσα από την οποία ορίζονται σχέσεις μεταξύ επί μέρους στοιχείων και παράμετροι για αυτές τις σχέσεις. Από το ίδιο διάγραμμα-αλγόριθμο τροποποιώντας αυτές τις παραμέτρους, μπορούμε να λάβουμε διαφορετικά αποτελέσματα,

⁵¹ Oosterhuis, Kas, *Hyperbodies: Towards An E-motive Architecture*, Birkhäuser, Basel, 2003, σελ. 5-27, 46-61

διαφορετικές παραλλαγές, από τις οποίες ορίζεται ο πληθυσμός. Με εξελικτικές διαδικασίες, δηλαδή με συνδυασμό των μελών του πληθυσμού, μπορούν να συνδυαστούν οι παράμετροι και οι σχέσεις και να οριστεί το τελικό αποτέλεσμα. Το διάγραμμα και ο αλγόριθμος αποτελούν μια δυναμική δομή σχέσεων και αλληλεπιδράσεων που μπορούν να δώσουν ένα πλήθος αποτελεσμάτων. Αυτή η λογική στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, δίνει τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να μετατοπίσουν το βάρος από τις τυποποιήσεις μιας συγκεκριμένης τελικής στατικής μορφής, στην παραγωγή μιας σειράς-οικογένειας μορφών που προκύπτουν από την παραμετροποίηση μιας δομής σχέσεων. Έτσι, συσχετίζεται ο τρόπος λειτουργίας του αρχιτεκτονικού διαγράμματος με τους αλγορίθμους και κατ' επέκταση τους γενετικούς και εξελικτικούς αλγορίθμους.

Αξίζει να αναφερθεί πως οι θεωρίες που ανέπτυξαν οι Lynn, Cache και Oosterhuis προκύπτουν από την χρήση των νέων τεχνολογικών μέσων στην αρχιτεκτονική. Χωρίς τη συμβολή αυτών των εργαλείων η παραγωγή ρευστών, δυναμικών μορφών και η δημιουργία και μεταβολή των παραμέτρων δεν θα ήταν το ίδιο εύκολη. Ο ρόλος των ψηφιακών μέσων στη μετάβαση από μια στατική σε μια δυναμική παραγωγή μορφών ήταν ζωτικός. Με χρήση αυτών

των ψηφιακών μέσων δόθηκε η ευκαιρία στους αρχιτέκτονες να εξερευνήσουν πολύπλοκες γεωμετρίες και να σχεδιάσουν πρωτότυπες μορφές. Οι φιλοσοφικές θεωρίες που διατύπωσε ο Deleuze για την ρευστότητα και τη δυναμικότητα της ύλης, σε συνδυασμό με την εμφάνιση των νέων μέσων, κατάφεραν να αλλάξουν την αντιμετώπιση των κτιρίων ως στατικές οντότητες.

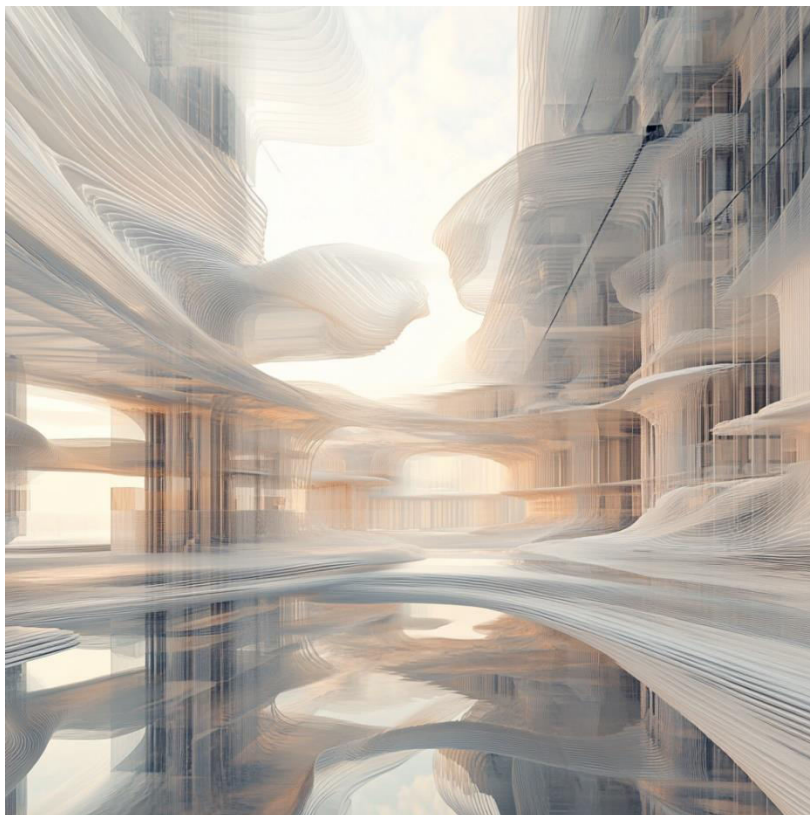
Επίσης βασικό σημείο, που εντοπίζεται τόσο στις θεωρίες του Deleuze, όσο και σε αυτές των Lynn, Cache και Oosterhuis είναι το γεγονός ότι η μορφή μπορεί πλέον να έχει την ικανότητα να μεταβάλλεται. Ο παραμετρικός σχεδιασμός ήταν μια νέα αντιμετώπιση στο σχεδιασμό, που θα μπορούσαμε να πούμε πως ήταν απόρροια των θεωριών αυτών σε συνδυασμό με τα τεχνολογικά εργαλεία που εμφανίστηκαν την περίοδο 1995-2005.

Αυτό που μπορεί να αναφερθεί και σχετίζεται άμεσα με τη χρήση της παραγωγικής TN στο σχεδιασμό, είναι η διαφορά της ψηφιοποιημένης με την ψηφιακή αρχιτεκτονική. Ενώ στην ψηφιοποιημένη αρχιτεκτονική τα ψηφιακά μέσα χρησιμοποιούνται απλά ως τρόποι αναπαράστασης στο σχεδιασμό, στην ψηφιακή αρχιτεκτονική τα ψηφιακά μέσα και ο σχεδιασμός λειτουργούν και αναπτύσσονται παράλληλα, αξιοποιώντας

όλες τις δυνατότητες και τις πληροφορίες που παρέχονται και δημιουργώντας αναπόσπαστες σχέσεις.⁵² Είναι σημαντικό να διερευνηθούν και να ενσωματωθούν οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει η παραγωγική TN στο σχεδιασμό, όπως αυτό έγινε στο παρελθόν με την ανάπτυξη του παραμετρικού σχεδιασμού, για να μην καταλήξει ως ένα απλό μέσο αναπαράστασης.

Τέλος, αυτό που επίσης τονίζεται από τις προσεγγίσεις των DeLanda, Lynn, Cache και Oosterhuis είναι ότι ο αρχιτέκτονας πρέπει να εμπλακεί άμεσα και να κατευθύνει τις ροές των πληροφοριών, των δεδομένων και των τεχνολογικών μέσων. Για να μπορέσει να χρησιμοποιεί τα τεχνολογικά εργαλεία με το μέρος του και μέσα στα πλαίσια της ψηφιακής αρχιτεκτονικής είναι απαραίτητο να μπει ο ίδιος στη διαδικασία και να δημιουργήσει τους κανόνες και τις παραμέτρους, που αργότερα θα ορίσουν το σχεδιασμό του. Είναι εμφανές πως η ίδια αντιμετώπιση θα πρέπει να υπάρξει και με τη χρήση ενός τεχνολογικού εργαλείου, όπως η παραγωγική TN.

⁵² Χαΐρης, Θανάσης, *Ερευνητική Εργασία: Χωρική Δυνητικότητα: διαγραμματικές προσεγγίσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΠΚ, Χανιά, 2010, σελ. 69



3.1. Εισαγωγικές έννοιες: Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, Βαθιά Μάθηση, Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη

Η κατανόηση της έννοιας της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης και τον τρόπο με τον οποίο αυτή λειτουργεί απαιτεί μια στοχευμένη ανάλυση κι άλλων συγγενών εννοιών, όπως αυτή της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής και της βαθιάς μάθησης. Η τεχνητή νοημοσύνη ως μια γενικότερη έννοια ανήκει στην επιστήμη των υπολογιστών, όπως και έχει αναφερθεί. Η μηχανική μάθηση είναι μια υποκατηγορία και ένας από τους μηχανισμούς με τους οποίους υλοποιείται η ΤΝ, με περαιτέρω εξέλιξη της τη βαθιά μάθηση. Η παραγωγική ΤΝ συνδέεται άρρηκτα με όλες τις παραπάνω έννοιες και τις λειτουργίες τους, καθώς στηρίζεται σε αυτές. Παρακάτω επιχειρείται η ανάλυση όλων αυτών των εννοιών και των υποκατηγοριών τους, από τις γενικότερες στις ειδικότερες, με στόχο την ερμηνεία των σχέσεων που έχουν μεταξύ τους, αλλά και την εύρεση και κατανόηση των μοντέλων μάθησης που χρησιμοποιεί η παραγωγική ΤΝ για τη δημιουργία δεδομένων στο χώρο της αρχιτεκτονικής.

3.1.1. Νοημοσύνη

Η νοημοσύνη ως έννοια έχει διατυπωθεί ανά τους καιρούς με πολλούς διαφορετικούς τρόπους από τους επιστήμονες των υπολογιστών, προσπαθώντας να εντοπίσουν τα κοινά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου και της ανθρώπινης συμπεριφοράς με τις λειτουργίες των υπολογιστών. Έτσι, σύμφωνα με τον Russell Stuart η νοημοσύνη μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα ενός συστήματος να επιτυγχάνει

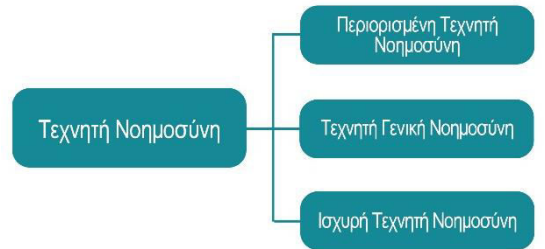
τους στόχους του μέσω των πράξεων του. Στην περίπτωση των ανθρώπων, η νοημοσύνη εκδηλώνεται στον βαθμό που οι πράξεις τους οδηγούν στην επίτευξη των στόχων τους. Αντίστοιχα, οι μηχανές θεωρούνται νοήμονες και ωφέλιμες στο βαθμό που οι πράξεις τους οδηγούν στην επίτευξη των στόχων τους.⁵³ Σε μια άλλη προσέγγιση από τον Max Tegmark, νοημοσύνη είναι η ικανότητα επίτευξης πολύπλοκων στόχων.⁵⁴

⁵³Rusell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 25-28, 40

⁵⁴ Tegmark, Max, *Life 3.0: Τι θα σημαίνει να είσαι άνθρωπος την εποχή της τεχνητής νοημοσύνης*;, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2018, σελ. 84

3.1.2. Τεχνητή Νοημοσύνη

Όπως και για την έννοια της νοημοσύνης, έτσι και για την τεχνητή νοημοσύνη (TN), οι επιστήμονες είχαν δώσει ποικίλες ερμηνείες. Σύμφωνα με τους Avron Barr και Edward Feigenbaum, η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που επικεντρώνεται στη δημιουργία ευφυών υπολογιστικών συστημάτων. Πρόκειται για συστήματα που διαθέτουν χαρακτηριστικά συνδεδεμένα με τη νοημοσύνη, όπως αυτά που παρατηρούνται στην ανθρώπινη συμπεριφορά, όπως η επίλυση προβλημάτων, η αντίληψη μέσω της όρασης, η μάθηση, η εξαγωγή συμπερασμάτων, η κατανόηση της φυσικής γλώσσας, κ.ά. Σε μια γενικότερη ερμηνεία,



Διάγραμμα 2: Κατηγορίες της Τεχνητής Νοημοσύνης

τεχνητή νοημοσύνη αποτελείται από αναπαράσταση γνώσης και αναζήτηση.⁵⁵

Η Τεχνητή Νοημοσύνη TN χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τις δυνατότητες της:

1. Περιορισμένη Τεχνητή Νοημοσύνη (Weak/Narrow Artificial Intelligence)

Πρόκειται για τη μόνη πρακτική υλοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στις μέρες μας.

Στην Περιορισμένη TN είναι δυνατή η επίτευξη ενός περιορισμένου συνόλου στόχων. Αναφέρεται σε συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που έχουν σχεδιαστεί και προγραμματίζεται για την εκτέλεση συγκεκριμένων, εξειδικευμένων εργασιών. Σε αντίθεση με τις άλλες μορφές TN, η Περιορισμένη TN δεν έχει την ικανότητα να γενικεύει της γνώσεις της και λύνει προβλήματα εκτός του πεδίου που έχει εκπαιδεύει.

Για παράδειγμα, ένα πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης βασισμένο σε μοντέλα επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, όπως είναι το ChatGPT, μπορεί με μεγάλη επιτυχία να παράγει κάθε είδους πληροφορία σε μορφή κειμένου, όμως δεν μπορεί να παίζει σκάκι

ή Go, όπως το Stockfish και το AlphaGo αντίστοιχα, διότι απλούστατα δεν έχει προγραμματιστεί σε αυτόν τον τομέα.

Ενώ αυτή η κατηγορία τεχνητής νοημοσύνης παρέχει περιορισμένες δυνατότητες, κάθε νέα εφαρμογή ή πρόγραμμα TN συμβάλλει σημαντικά για την επίτευξη της Τεχνητής Γενικής Νοημοσύνης που αποτελεί και την επόμενη κατηγορία τεχνητής νοημοσύνης.

2. Τεχνητή Γενική Νοημοσύνη (General Artificial Intelligence/ Artificial General Intelligence, AGI)

Πρόκειται για υποθετικό σενάριο τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί προς το παρόν.

Η Γενική TN αναφέρεται στην ανάπτυξη τεχνητών συστημάτων που έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν οποιαδήποτε νοητική εργασία μπορεί να εκτελέσει ένας άνθρωπος. Αντίθετα με την Περιορισμένη TN, η Γενική TN δεν εξειδικεύεται μόνο σε συγκεκριμένες εργασίες, καθώς έχει τη δυνατότητα να μαθαίνει, να κατανοεί, να γενικεύει γνώσεις και να προσαρμόζεται σε νέα περιβάλλοντα και καταστάσεις. Έτσι, η Γενική TN έχει μπορεί να εκτελεί πολλαπλές πολύπλοκες εργασίες, να λαμβάνει αποφάσεις και να λύνει προβλήματα χωρίς εξωτερική καθοδήγηση, να μαθαίνει και να προσαρμόζεται σε νέα καθήκοντα.

Για να μπορέσει η Γενική TN να θεωρηθεί υλοποιήσιμη θα πρέπει πρώτα να αντιμετωπιστούν συγκεκριμένες προκλήσεις, όπως είναι η τεράστια υπολογιστική ισχύς και τα ποσά δεδομένων που απαιτούνται, η ανάπτυξη αλγορίθμων μάθησης που θα μπορούν να προσομοιώσουν με ακρίβεια τον ανθρώπινο εγκέφαλο, καθώς και τα ερωτήματα που εγείρονται γύρω από την χρήση και τον έλεγχο μιας τέτοιας τεχνολογίας. Σε κάθε περίπτωση, η προσέγγιση η οποία έχει προταθεί για την υλοποίησή της είναι η αντιγραφή του ανθρώπινου εγκεφάλου, κάτι που προς το παρόν αποτελεί μια ακόμη πρόκληση, καθώς ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν έχει χαρτογραφηθεί πλήρως και η χαρτογράφηση του απαιτεί εξοπλισμό που δεν υπάρχει ακόμη και σύμφωνα με εκτιμήσεις δεν θα υπάρξει για τα επόμενα 5-25 χρόνια.

3. Ισχυρή Τεχνητή Νοημοσύνη ή Τεχνητή Υπερνοημοσύνη (Superintelligent AI/Artificial Superintelligence)

Πρόκειται για υποθετικό σενάριο τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί.

Η Ισχυρή TN ή Υπερνοημοσύνη είναι μια υποθετική μορφή τεχνητής νοημοσύνης που υπερβαίνει σημαντικά τη γνωστική ικανότητα των πιο ευφυών ανθρώπων.

⁵⁵ Βλαχάβας, Ι., Κεφαλός, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2006, σελ. 1

Πρόκειται για μια κατάσταση στην οποία η ΤΝ όχι μόνο μιμείται την ανθρώπινη νοημοσύνη αλλά την ξεπερνά σε κάθε πτυχή της, όπως η δημιουργικότητα, η επίλυση προβλημάτων, η λήψη αποφάσεων, ακόμα και η συναισθηματική νοημοσύνη. Επίσης υποστηρίζεται από αρκετούς ερευνητές ότι δεν είναι σίγουρο αν θα μπορέσει να επιτευχθεί ένα τέτοιο στάδιο της ΤΝ. Σύμφωνα με όσα αναφέρει ο Nick Bostrom, στο έργο του «Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies», η υπερνοημοσύνη θα μπορούσε να ξεφύγει από τον έλεγχο, προκαλώντας καταστροφικές συνέπειες, αν οι στόχοι της δεν ευθυγραμμίζονται με τα ανθρώπινα συμφέροντα.⁵⁶

3.1.3. Είδη Λογικής

Σύμφωνα με τους Russell και Norvig για να θεωρηθεί η τεχνητή νοημοσύνη ως μια τυπική επιστήμη θα πρέπει να γίνει η μαθηματική τυποποίησή της σε τρεις βασικούς τομείς: λογική, θεωρία υπολογισμού και πιθανότητες.⁵⁷ Η πρώτη κωδικοποίηση της «ορθής σκέψης», δηλαδή της διαδικασίας του συλλογισμού έγινε από

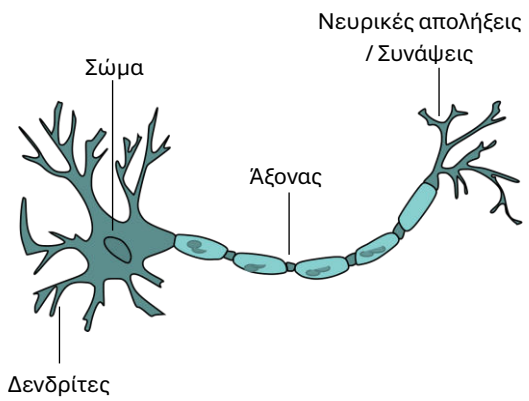
τον Αριστοτέλη (348-322 π.Χ.). Οι κανόνες για τη διαδικασία του συλλογισμού που όρισε αποτέλεσαν τη βάση για το ερευνητικό πεδίο της λογικής.⁵⁸

Στην επιστήμη των υπολογιστών υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη λογικής σήμερα. Δύο από τα σημαντικότερα είδη λογικής αποτελούν η προτασιακή λογική ή λογική Boole και η λογική πρώτου βαθμού (First-Order Logic, FOL). Η προτασιακή λογική ή λογική Boole είναι η γλώσσα της πύλης AND και της πύλης NOT από τις οποίες μάλιστα αποτελούνται τα κυκλώματα στα τσιπ των υπολογιστών. Για παράδειγμα, μια σύγχρονη κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) θα μπορούσε να θεωρηθεί μια πολύ μεγάλης έκτασης μαθηματική έκφραση γραμμένη στη γλώσσα της προτασιακής λογικής. Η προτασιακή λογική χρησιμοποιεί προτάσεις που μπορεί να είναι είτε αληθείς (true) είτε ψευδείς (false). Η λογική πρώτου βαθμού όμως, είναι αυτή η οποία προτάθηκε από τον McCarthy να χρησιμοποιηθεί για την ΤΝ. Η γλώσσα της λογικής πρώτου βαθμού αποτελεί μια πολύ πιο εκφραστική γλώσσα σε σύγκριση με την προτασιακή λογική. Η λογική πρώτου

βαθμού περιλαμβάνει μεταβλητές που αναφέρονται σε αντικείμενα ενός πεδίου ορισμού, κατηγορήματα (predicates) που εκφράζουν ιδιότητες ή σχέσεις μεταξύ αντικειμένων και ποσοδείκτες (quantifiers) [όπως \forall (για κάθε) και \exists (υπάρχει)]. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει η δυνατότητα έκφρασης προβλημάτων ευκολότερα και γρηγορότερα μέσω της λογικής πρώτου βαθμού. Ο Αυστριακός επιστήμονας Kurt Friedrich Gödel απέδειξε το 1930 ότι: *Για «οποιαδήποτε συλλογή γνώσης» και για «οποιοδήποτε ερώτημα» που μπορεί να εκφραστεί με λογισμό πρώτου βαθμού, ο αλγόριθμος θα της δώσει την απάντηση στο ερώτημα – εάν αυτή υπάρχει.*⁵⁹

3.1.4. Νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα ή τεχνητά νευρωνικά δίκτυα στην επιστήμη των υπολογιστών βασίζονται δομικά και λειτουργικά στα νευρωνικά δίκτυα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ένας νευρώνας αποτελείται από τον κυτταρικό κορμό/σώμα που περιέχει τον πυρήνα, τους δενδρίτες και έναν άξονα που καταλήγει σε μια διακλάδωση με συνάψεις. Ο κάθε νευρώνας συνδέεται με τους άλλους



Εικόνα 35: Δομή βιολογικού νευρώνα

νευρώνες μέσω των συνάψεων. Τα σήματα δίνονται από νευρώνα σε νευρώνα με μια πολύπλοκη ηλεκτροχημική αντίδραση. Τα σήματα αυτά ελέγχουν την εγκεφαλική δραστηριότητα και θεωρείται ότι αποτελούν τη βάση της μάθησης στον εγκέφαλο.⁶⁰

Στην επιστήμη των υπολογιστών, ένα νευρωνικό δίκτυο, ως προσαρμόσιμη μηχανή, λειτουργεί ως ένας μεγάλης κλίμακας παράλληλος επεξεργαστής με κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Αποτελείται από απλές μονάδες επεξεργασίας, γνωστές ως νευρώνες, και έχει την ικανότητα να αποθηκεύει εμπειρική γνώση, καθιστώντας

⁵⁶ Μπάμπουκα, Ολυμπιάδα, *Ερευνητική Εργασία: Η αρχιτεκτονική ως 4η κατηγορία μηχανής και η επίτευξή της μέσω της τεχνητής νοημοσύνης*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Σχολής ΑΠΘ, 2022, σελ. 59-65

⁵⁷ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γιάννης Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 38

⁵⁸ Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2006, σελ. 5-6

⁵⁹ Rusell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021, σελ. 80-81

⁶⁰ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γιάννης Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 42

την διαθέσιμη για μελλοντική χρήση. Τα κοινά του σημεία με τον ανθρώπινο εγκέφαλο είναι:

1. Η γνώση προσλαμβάνεται από το περιβάλλον του δικτύου, μέσω μιας διαδικασίας μάθησης.
2. Η ισχύς των συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων, που αποκαλείται συναπτικό βάρος, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της γνώσης που αποκτιέται.

Η μάθηση σε ένα νευρωνικό δίκτυο πραγματοποιείται μέσω ενός αλγορίθμου μάθησης, ο οποίος προσαρμόζει τα συναπτικά βάρη του δικτύου με τρόπο που το καθοδηγεί προς την επίτευξη του επιθυμητού στόχου.⁶¹

Οι πρώτοι πειραματισμοί για τη δημιουργία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, όπως αναφέρθηκε στο 1ο Κεφάλαιο, έγινε από τους Warren McCulloch και Walter Pitts το 1943, με την πρόταση ενός μοντέλου τεχνητών νευρώνων. Ο κάθε νευρώνας χαρακτηριζόταν ως ενεργός/ανενεργός (“on”/“off”) και ενεργοποιείται έπειτα από τη διέγερση επαρκούς αριθμού γειτονικών

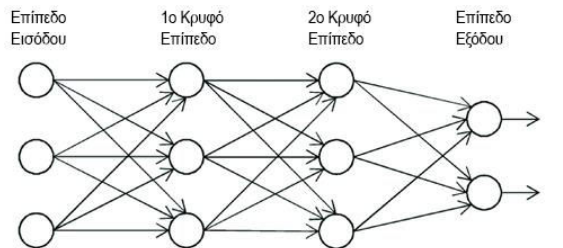
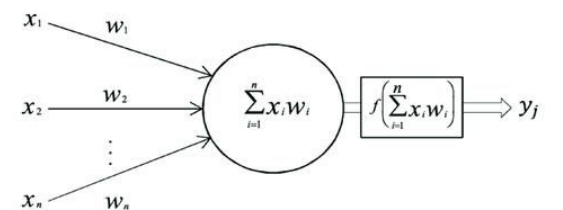
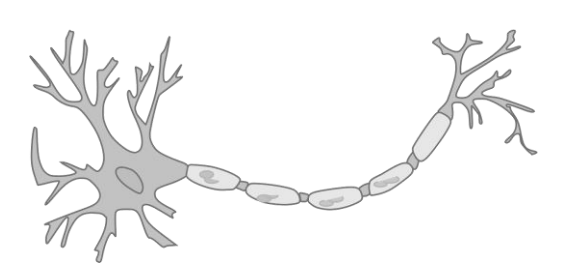
νευρώνων. Έτσι, μια οποιαδήποτε υπολογίσιμη συνάρτηση μπορούσε να υπολογιστεί από κάποιο δίκτυο συνδεδεμένων νευρώνων. Το 1949 ο Donald Hebb πρότεινε μια μέθοδο εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων, την λεγόμενη μάθηση Hebb (Hebbian learning). Ο πρώτος υπολογιστής νευρωνικού δικτύου (SNARC) κατασκευάστηκε το 1951 από τους Marvin Minsky και Dean Edmonds και προσομοίωνε ένα δίκτυο 40 νευρώνων.⁶²

Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι πρακτικά μια ομάδα διασυνδεδεμένων νευρώνων που επηρεάζονται μεταξύ τους. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει 100 δισεκατομμύρια νευρώνες και ο κάθε νευρώνας δημιουργεί συνάψεις με περίπου 1000 νευρώνες. Αυτό σημαίνει ισχύ 100 τρισεκατομμυρίων συνάψεων.⁶³ Σαφώς, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο δεν θα μπορούσε να πλησιάσει με μεγάλη ακρίβεια την λειτουργικότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου, καθώς ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο διαθέτει μερικές χιλιάδες νευρώνες

και ένα μέγιστο συνάψεων της τάξης του ενός εκατομμυρίου.⁶⁴

3.1.5. Δομή Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (ΤΝΔ)

Τα ΤΝΔ οργανώνονται σε επίπεδα/στρώματα (layers). Κάποιες φορές υπάρχουν και κάποια ενδιάμεσα επίπεδα, τα κρυμμένα επίπεδα (hidden layers). Τα επίπεδα αποτελούνται από έναν αριθμό μονάδων (units) ή κόμβων (nodes) και συνδέονται μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο ώστε μια μονάδα να είναι συνδεδεμένη με τις μονάδες του ίδιου ή άλλου επιπέδου. Τα ΤΝΔ επεξεργάζονται πληροφορίες ανταποκρινόμενα δυναμικά σε εξωτερικά ερεθίσματα (εισόδους). Κάθε τεχνητός νευρώνας αποτελείται από τις εισόδους και μία μόνο έξοδο. Οι μονάδες μεταξύ τους διεγείρουν ή αναστέλλουν την ενεργοποίησή τους. Κάθε μονάδα λαμβάνει στο σταθμισμένο άθροισμα όλων των εισόδων (με τη συνάρτηση αθροίσματος/summation function) μέσω των συνδέσμων και με μια συνάρτηση, τη συνάρτηση μετάβασης (transfer function), η μονάδα αυτή παράγει μια μοναδική έξοδο, αν το άθροισμα ξεπερνάει μια ορισμένη τιμή κατωφλίου (threshold value). Οι είσοδοι



Εικόνα 36: Δομή τεχνητού νευρωνικού δικτύου, Βιολογικό νευρωνικό δίκτυο (πάνω), Συνάρτηση μετάβασης (μέση), Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης με 2 κρυφά επίπεδα και 1 επίπεδο εξόδου(κάτω)

⁶¹ Haykin, Simon, *Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανική Μάθηση*, απόδοση Γκαγκάτσιου Ε., Εκδόσεις Παπασπηριού, Αθήνα, 2010, σελ. 2

⁶² Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γιάννης Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 47

⁶³ Tegmark, Max, *Life 3.0: Τι θα σημαίνει να είσαι άνθρωπος την εποχή της τεχνητής νοημοσύνης*;, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2018, σελ. 115

⁶⁴ Μπάμπουκα, Ολυμπιάδα, *Ερευνητική Εργασία: Η αρχιτεκτονική ως 4η κατηγορία μηχανής και η επίτευξη της μέσω της τεχνητής νοημοσύνης*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Σχολής ΑΠΘ, 2022, σελ. 75

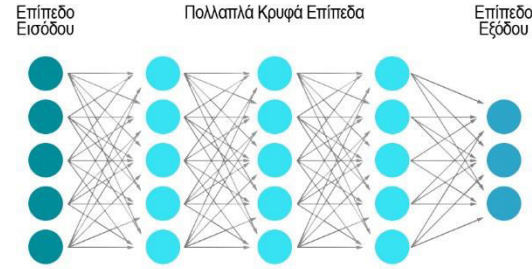
παρουσιάζονται μέσω του επιπέδου εισόδου (input layer) και αυτό επικοινωνεί με ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα, τα οποία εν συνεχεία συνδέονται με το επίπεδο εξόδου (output layer), όπου εξάγεται και η απάντηση.⁶⁵

Η πιο απλή δομή ΤΝΔ είναι από τον στοιχειώδη Perceptron (basic Perceptron) και αποτελείται από έναν μοναδικό νευρώνα και διαθέτει μόνο ένα επίπεδο.

Όταν στη δομή ενός ΤΝΔ υπάρχουν πολλαπλά κρυφά επίπεδα, τότε αυτό χαρακτηρίζεται ως βαθύ νευρωνικό δίκτυο (deep neural network). Έχει προκύψει από μελέτες ότι τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα είναι πολύ πιο αποτελεσματικά από τα ρηγά.⁶⁶ Συνήθως, ένα νευρωνικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως βαθύ, όταν στη δομή του περιέχονται παραπάνω των 2 κρυφών επιπέδων.

3.1.6. Πράκτορας

Πράκτορας (agent) είναι οτιδήποτε μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του (environment) μέσω αισθητήρων (sensors), και επενεργεί σε



Εικόνα 37: Βαθύ νευρωνικό δίκτυο

*αυτό το περιβάλλον μέσω μηχανισμών δράσης (actuators).*⁶⁷ Ο πράκτορας αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον και επιλέγει συγκεκριμένες ενέργειες και το περιβάλλον με τη σειρά του, του παρουσιάζει νέες καταστάσεις (states) και του δίνει ανταμοιβές (rewards) για τις ενέργειες του, με μακροπρόθεσμο σκοπό τη μεγιστοποίηση των ανταμοιβών. Οι πράκτορες, στην πραγματικότητα, αποτελούν τη βάση στην οποία στηρίζεται η ενισχυτική μάθηση. Έτσι, οι πράκτορες ως ένας μηχανισμός της ΤΝ έχουν τις κυρίαρχες εφαρμογές τους στη ρομποτική, στα αυτοκινούμενα οχήματα, στα

βιντεοπαιχνίδια για NPCs (Non-Player Characters), κ.ά.⁶⁸

Πχ: Στην περίπτωση του αυτοκινούμενου οχήματος, το όχημα διαθέτει κάμερες, radar, GPS ως αισθητήρες. Μέσω των αισθητήρων λαμβάνει την κατάσταση του περιβάλλοντος στην οποία βρίσκεται, δηλαδή το δρόμο, τις λωρίδες, τους πεζούς και τα άλλα οχήματα που κινούνται γύρω του, τα εμπόδια, την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσει. Με βάση τη δεδομένη κατάσταση που επικρατεί οδηγείται στη λήψη της κατάλληλης απόφασης, που εξαρτάται από την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα αλλά και τους περιορισμούς (πχ: όρια ταχύτητας). Έπειτα από τη λήψη απόφασης, ακολουθεί η δράση του η οποία ελέγχεται μέσω εντολών στα συστήματα του οχήματος (τιμόνι, γκάζι, φρένο, φλας, φώτα, κλπ). Το αυτοκινούμενο όχημα έχει τη δυνατότητα να «μαθαίνει» ποιες αποφάσεις είναι καλύτερες μακροπρόθεσμα και να βελτιώνεται με βάση τις προηγούμενες εμπειρίες.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί πως τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται από τους πράκτορες ως ένα εργαλείο για την επεξεργασία πολύπλοκων δεδομένων και

τη λήψη αποφάσεων, δηλαδή ως «υποκείμενος εγκέφαλος» του πράκτορα.

3.1.7. Μηχανική μάθηση

Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning/ ML) αποτελεί μια υποκατηγορία της Τεχνητής Νοημοσύνης που επικεντρώνεται στη δημιουργία συστημάτων ικανών να μαθαίνουν και να βελτιώνονται χωρίς να έχουν προγραμματιστεί ρητά για κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα. Οι δύο έννοιες είναι αλληλένδετες, καθώς η μηχανική μάθηση αποτελεί τον βασικό τρόπο επίτευξης της ΤΝ. Όπως και για την ΤΝ, έτσι και για την μηχανική μάθηση έχουν διατυπωθεί πολλοί ορισμοί, μερικοί από τους οποίους είναι:

*Μηχανική μάθηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σύστημα βελτιώνει την απόδοσή του κατά την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να προγραμματιστεί εκ νέου.*⁶⁹

Μηχανική μάθηση είναι η μελέτη υπολογιστικών μεθόδων για την απόκτηση της γνώσης, νέων δεξιοτήτων και νέων τρόπων οργάνωσης της υπάρχουσας γνώσης. (Jaime Carbonell, 1987)

⁶⁵ Γεωργούλη, Κατερίνα, *Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, σελ. 155-159

⁶⁶ Μπάμπουκα, Ολυμπιάδα, *Ερευνητική Εργασία: Η αρχιτεκτονική ως 4η κατηγορία μηχανής και η επίτευξή της μέσω της τεχνητής νοημοσύνης*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Σχολής ΑΠΘ, 2022, σελ. 76

⁶⁷ Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γιάννης Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005, σελ. 64

⁶⁸ Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2006, σελ. 366-369

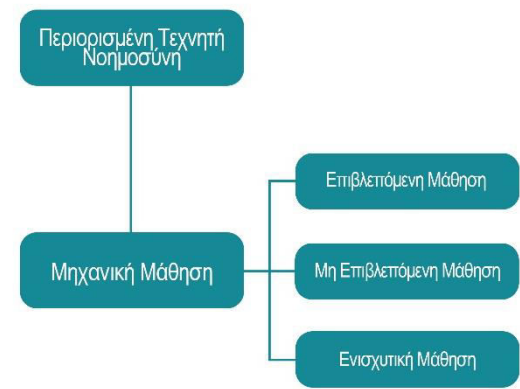
⁶⁹ Γεωργούλη, Κατερίνα, *Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, σελ. 127-130

Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέγεται ότι μαθαίνει από εμπειρία *E* σε σχέση με μια κατηγορία εργασιών *T* και μια μετρική απόδοσης *P*, αν η απόδοσή του σε εργασίες της *T*, όπως μετριοούνται από την *P*, βελτιώνεται με την εμπειρία *E*. (Tom Mitchell, 1997)

Κάτι μαθαίνει όταν αλλάζει η συμπεριφορά του, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδει καλύτερα στο μέλλον. (Witten & Frank, 2000)⁷⁰

Ο άνθρωπος επιδιώκει να κατανοήσει το περιβάλλον του μέσω της παρατήρησης και της διαμόρφωσης μιας απλοποιημένης, αφαιρετικής αναπαράστασής του, γνωστής ως μοντέλο (model). Η διαδικασία δημιουργίας ενός τέτοιου μοντέλου ονομάζεται επαγωγική μάθηση (inductive learning), ενώ η γενικότερη μεθοδολογία αναφέρεται ως επαγωγή (induction). Παράλληλα, ο άνθρωπος διαθέτει την ικανότητα να οργανώνει και να συνδέει τις εμπειρίες και τις αντιληπτικές του παραστάσεις, σχηματίζοντας νέες δομές που αποκαλούνται πρότυπα (patterns). Στον τομέα της υπολογιστικής επιστήμης, η διαδικασία κατά την οποία ένα υπολογιστικό σύστημα δημιουργεί μοντέλα ή αναγνωρίζει πρότυπα από δεδομένα είναι

γνωστή ως μηχανική μάθηση (machine learning).⁷¹ Ως συμπέρασμα των παραπάνω ως μηχανική μάθηση ορίζεται η ικανότητα του υπολογιστικού συστήματος να δημιουργεί μοντέλα ή πρότυπα από ένα σύνολο δεδομένων.



Διάγραμμα 3: Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης

Η Μηχανική Μάθηση οργανώνεται σε τρεις κατηγορίες τρόπων μάθησης:

1. Επιβλεπόμενη Μάθηση (Supervised Learning)

Η διαδικασία όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει μια συνάρτηση που

απεικονίζει δεδομένες εισόδους (σύνολο εκπαίδευσης) σε γνωστές επιθυμητές εξόδους, με στόχο τη γενίκευση της συνάρτησης της και για εισόδους με άγνωστη έξοδο. Η επιβλεπόμενη μάθηση εφαρμόζεται σε προβλήματα ταξινόμησης (classification), πρόγνωσης (prediction) και διερμηνείας (interpretation).

2. Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση (Unsupervised Learning)

Η διαδικασία όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει ένα μοντέλο για κάποιο σύνολο εισόδων χωρίς να γνωρίζει τις επιθυμητές εξόδους. Ο αλγόριθμος αναλύει τα δεδομένα και αναγνωρίζει τις ομοιότητές/μοτίβα τους, κατηγοριοποιώντας τα σε ομάδες. Η μη επιβλεπόμενη μάθηση εφαρμόζεται σε προβλήματα ανάλυσης συσχετισμών (association analysis), ομαδοποίησης (clustering), εκτίμησης πυκνότητας (density estimation), μείωσης διαστάσεων (dimensionality reduction).

3. Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning)

Η διαδικασία όπου ο αλγόριθμος μαθαίνει μια στρατηγική ενεργειών μέσα από άμεση αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και βασίζεται στην ανατροφοδότηση μέσω

ανταμοιβών και ποινών. Η ενισχυτική μάθηση εφαρμόζεται κυρίως σε προβλήματα σχεδιασμού (planning), όπως για παράδειγμα ο έλεγχος κίνησης ρομπότ και η βελτιστοποίηση εργασιών σε εργοστασιακούς χώρους.⁷²

3.1.8. Βαθιά μάθηση

Η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning) αποτελεί ένα τομέα της Μηχανικής Μάθησης που βασίζεται στα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) και πιο συγκεκριμένα στα **βαθιά νευρωνικά δίκτυα (deep neural networks)**. Στη βαθιά μάθηση, όπως ακριβώς και στη μηχανική μάθηση, υπάρχουν οι τρεις κατηγορίες τρόπων μάθησης, η επιβλεπόμενη, μη επιβλεπόμενη και ενισχυτική μάθηση. Η βαθιά μάθηση περιλαμβάνει την αυτόματη εκμάθηση πολλαπλών διαδοχικών επιπέδων από τα δεδομένα εκμάθησης, αντίθετα με την απλή μηχανική μάθηση, η οποία επικεντρώνεται στην εκμάθηση ενός ή δύο επιπέδων αναπαραστάσεων δεδομένων. Απλούστερα, το βάθος του μοντέλου μάθησης ορίζεται από τον αριθμό των επιπέδων (layers), όπως αναλύθηκαν

⁷⁰ Βλαχάβας, Ι., Κεφαλός, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2006, σελ. 336

⁷¹ ό.π.

⁷² Γεωργούλη, Κατερίνα, *Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, σελ. 128

παραπάνω, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των δεδομένων.⁷³

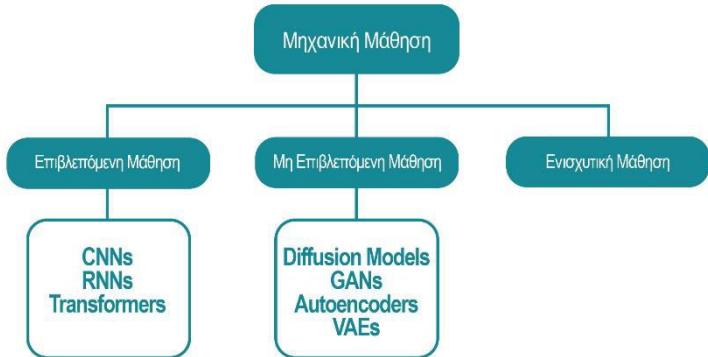
3.1.9. Παραγωγική TN

Η Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη (Generative Artificial Intelligence), η οποία αποτελεί το κυρίαρχο αντικείμενο ενασχόλησης της παρούσας εργασίας, είναι μια υποκατηγορία της Βαθιάς Μάθησης, καθώς βασίζεται σε τεχνικές βαθιάς μάθησης, οι οποίες επικεντρώνονται στη δημιουργία νέου περιεχομένου (δεδομένων). Πρακτικά χρησιμοποιούνται μοντέλα βαθιάς μάθησης, που από υπάρχοντα δεδομένα παράγουν νέα δεδομένα όπως κείμενο, εικόνα, ήχο,

βίντεο, κώδικα, κ.ά. Αντί να εκτελεί μόνο ανάλυση δεδομένων ή ταξινόμηση, η παραγωγική TN χρησιμοποιεί μοντέλα βαθιάς μάθησης, για να μάθει τις στατιστικές κατανομές των δεδομένων εκπαίδευσης και να συνθέσει νέες, πρωτότυπες πληροφορίες που ακολουθούν παρόμοια πρότυπα.

Οι κυρίαρχες μορφές νευρωνικών δικτύων, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην παραγωγική TN σήμερα είναι:

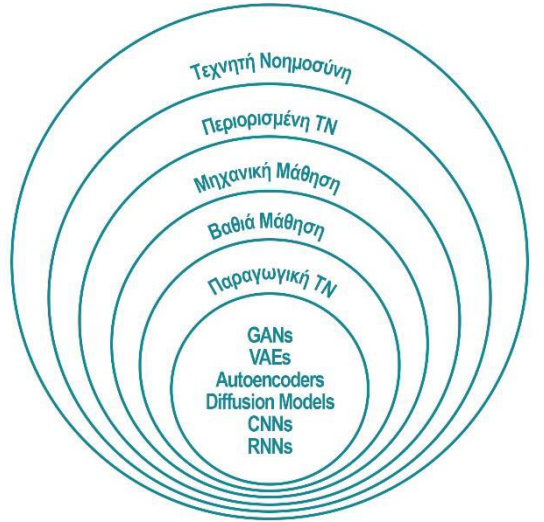
1. **Generative Adversarial Networks (GANs)** – Παραγωγικά Αντιπαραθετικά Δίκτυα
2. **Autoencoders** (Aes) – Αυτοκωδικοποιητές
3. **Variational Autoencoders (VAEs)** – Μεταβλητοί Αυτοκωδικοποιητές
4. **Diffusion Models (DMs)** – Μοντέλα Διάχυσης
5. **Transformers** – Μετασχηματιστές
6. **Autoregressive Models** – Αυτοπαλινδρομικά Μοντέλα



Διάγραμμα 4: Κατηγοριοποίηση μοντέλων μάθησης

⁷³ Μπάμπουκα, Ολυμπιάδα, *Ερευνητική Εργασία: Η αρχιτεκτονική ως 4η κατηγορία μηχανής και η επίτευξή της μέσω της τεχνητής νοημοσύνης*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Σχολής ΑΠΘ, 2022, σελ. 81

7. **Convolutional Neural Networks (CNNs)** – Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα
8. **Recurrent Neural Networks (RNNs)** – Επαναλαμβανόμενα Νευρωνικά Δίκτυα



Διάγραμμα 5: Ταξινόμηση κατηγοριών της TN

Δομή και Λειτουργία των παραπάνω μοντέλων

Επιλέγονται να αναλυθούν τα παρακάτω νευρωνικά δίκτυα, καθώς είναι αυτά που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην διαδικασία του generative design σήμερα

και αποτελούν τη βάση πολλών εφαρμογών. Σημειώνεται όμως, ότι οι περισσότερες εφαρμογές και πλατφόρμες που παράγουν εικόνες, βίντεο, 3D χρησιμοποιούν συνδυασμούς όλων των παραπάνω και πολλών άλλων μεθόδων μηχανικής μάθησης.

3.1.10. Generative Adversarial Network (GAN) – Παραγωγικό Αντιπαραθετικό Δίκτυο

Μοντέλο Μη Επιβλεπόμενης Μάθησης
Προτάθηκαν για πρώτη φορά το 2014 από τον Ian Goodfellow και εξελίχθηκαν ραγδαία στα μετέπειτα χρόνια.⁷⁴

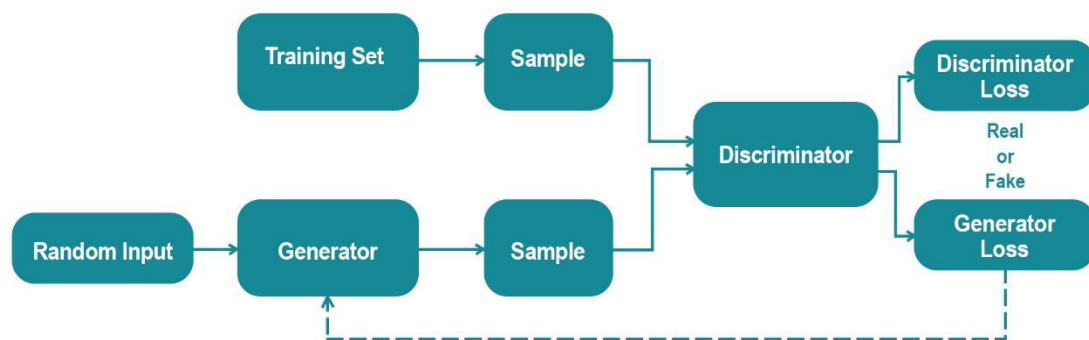
Τα GANs αποτελούνται από δύο βασικά μέρη – δύο νευρωνικά δίκτυα:

1. Generator (γεννήτρια)
2. Discriminator (διαχωριστής)

Generator (γεννήτρια): Μαθαίνει να παράγει αληθοφανή δεδομένα. Τα παραγόμενα παραδείγματα γίνονται αρνητικά παραδείγματα εκπαίδευσης για τον διαχωριστή.

Discriminator (διαχωριστής): Μαθαίνει να διακρίνει τα ψεύτικα δεδομένα της

⁷⁴ Leach, Neil, *Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects*, Bloomsbury Visual Arts, 2022, σελ. 26



Διάγραμμα 6: Δομή και λειτουργία ενός Αντιπαραθετικού Δικτύου (GAN)

γεννήτριας από τα πραγματικά δεδομένα. Ο διαχωριστής «τιμωρεί» τη γεννήτρια για την παραγωγή ψευδών αποτελεσμάτων.

Διαδικασία:

Όταν αρχίζει η εκπαίδευση, η γεννήτρια παράγει προφανώς ψεύτικα δεδομένα και ο διαχωριστής μαθαίνει γρήγορα να διακρίνει ότι πρόκειται για ψεύτικα δεδομένα. Καθώς η εκπαίδευση εξελίσσεται, η γεννήτρια πλησιάζει στην παραγωγή εξόδου που μπορεί να ξεγελάσει τον διαχωριστή. Τέλος, αν η εκπαίδευση της γεννήτριας πηγαίνει καλά, ο διαχωριστής αδυνατεί σταδιακά να ξεχωρίσει τη διαφορά μεταξύ αληθινού και ψεύτικου. Αρχίζει να ταξινομεί τα ψεύτικα δεδομένα ως πραγματικά και η ακρίβειά του μειώνεται.⁷⁵

Παράδειγμα:

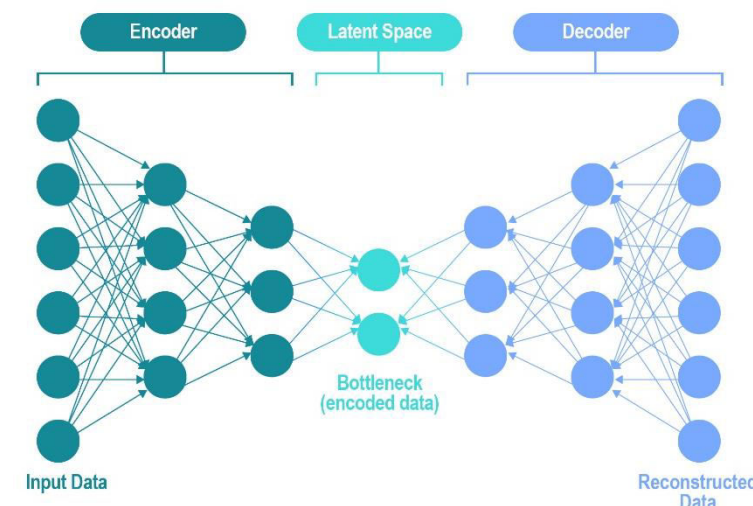
Μπορούμε να εισάγουμε τις εικόνες αρχιτεκτονικών σχεδίων ή κτιρίων στο GAN. Ο Generator δημιουργεί νέες εικόνες κτιρίων, ενώ ο Discriminator προσπαθεί να καταλάβει αν αυτές οι εικόνες είναι «αληθινές» ή «ψεύτικες». Το GAN εκπαιδεύεται μέσω αυτής της διαδικασίας και στη συνέχεια δημιουργεί πολύ ρεαλιστικές, καινοτόμες εικόνες κτιρίων που μοιάζουν με τις πραγματικές, αλλά είναι μοναδικές και πρωτότυπες.

3.1.11. Autoencoders (AEs) – Αυτοκωδικοποιητές

Μοντέλο Μη Επιβλεπόμενης Μάθησης

Τα Autoencoders είναι ένας τύπος νευρωνικού δικτύου που αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

1. Encoder (κωδικοποιητής): Νευρωνικό δίκτυο που μαθαίνει να απομονώνει τις σημαντικές λανθάνουσες μεταβλητές από τα δεδομένα εκπαίδευσης, λαμβάνοντας μια είσοδο και τη μετατρέποντας την σε μια μικρότερη, πυκνή αναπαράσταση/συμπιέζει τα δεδομένα εισόδου σε έναν λανθάνων χώρο (latent space) μικρότερης διάστασης.
2. Bottleneck: Είναι τόσο το στρώμα εξόδου του encoder όσο και το στρώμα εισόδου του decoder. Περιέχει τον λανθάνοντα χώρο (latent space), δηλαδή την πλήρως συμπιεσμένη, μικρότερης διάστασης ενσωμάτωση των δεδομένων εισόδου.
3. Decoder (αποκωδικοποιητής): Νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιεί αυτές τις λανθάνουσες μεταβλητές για να ανακατασκευάσει τα αρχικά δεδομένα εισόδου.⁷⁶



Διάγραμμα 7: Δομή και λειτουργία Αυτοκωδικοποιητών (AE)

⁷⁵ https://developers.google.com/machine-learning/gan/gan_structure (Πρόσβαση 19/1/25)

⁷⁶ <https://www.ibm.com/think/topics/variational-autoencoder> (Πρόσβαση 19/1/25)

Οι περισσότερες αρχιτεκτονικές αυτοκωδικοποιητών κωδικοποιούν μια διακριτή, σταθερή αναπαράσταση των λανθανουσών μεταβλητών. Αυτό που διακρίνει τους διάφορους τύπους αυτοκωδικοποιητών μεταξύ τους είναι η συγκεκριμένη στρατηγική που χρησιμοποιούν για την εξαγωγή της κάθε πληροφορίας και οι περιπτώσεις χρήσης για τις οποίες η αντίστοιχη στρατηγική της είναι καταλληλότερη.⁷⁷

3.1.12. Variational Autoencoders (VAEs) – Μεταβλητοί Αυτοκωδικοποιητές

Μοντέλο Μη Επιβλεπόμενης Μάθησης

Τα VAEs αποτελούν υποσύνολο της ευρύτερης κατηγορίας των Autoencoders (AEs) και επομένως βασίζονται στην ίδια δομή. Η σημαντική διαφορά στη λειτουργία των VAEs σε σύγκριση με τους απλούς AEs είναι ότι κωδικοποιούν μια συνεχή,

πιθανοτική αναπαράσταση αυτού του λανθάνοντος χώρου (latent space), μέσω δύο παραμέτρων, της μέσης τιμής (mean) και της διακύμανσης (variance). Αυτό επιτρέπει σε έναν VAE, όχι μόνο να ανακατασκευάζει με ακρίβεια την ακριβή αρχική είσοδο, αλλά και να παράγει νέα δείγματα δεδομένων που μοιάζουν με τα αρχικά δεδομένα εισόδου. Με συγκεκριμένες μεθόδους μάθησης και βελτιστοποίησης (Reconstruction Loss, Kullback-Leibler divergence, Evidence lower bound – ELBO, Reparameterization Trick)⁷⁸, τα VAEs μπορούν όχι μόνο να συμπιέζουν δεδομένα, αλλά και να δειγματοληπτούν από τον λανθάνων χώρο για να παράγουν νέα δεδομένα.⁷⁹

Παράδειγμα:

Με χρήση των VAEs μπορούμε να εισάγουμε τις εικόνες αρχιτεκτονικών σχεδίων ή κτιρίων στο μοντέλο. Το μοντέλο μαθαίνει τα κοινά χαρακτηριστικά αυτών των κτιρίων (π.χ. σχήματα, υλικά, δομές).

⁷⁷ <https://www.ibm.com/think/topics/variational-autoencoder> (Πρόσβαση 19/1/25)

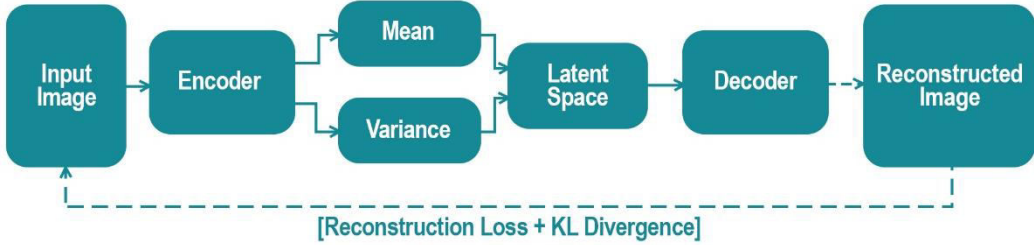
⁷⁸ Reconstruction Loss: Αξιολογεί πόσο καλά το μοντέλο μπορεί να ανακατασκευάσει τα αρχικά δεδομένα από τον συμπιεσμένο κωδικό του (όπως στους απλούς Autoencoders).

KL Divergence: Εισάγει την έννοια της πιθανότητας, πιέζοντας την κατανομή του κωδικού να προσεγγίσει μια απλή προκαθορισμένη κατανομή. Αυτό είναι κάτι που δεν υπάρχει στους απλούς Autoencoders.

ELBO: Συνδυάζει τα παραπάνω σε μια ενιαία συνάρτηση κόστους, εξισορροπώντας την ακρίβεια της ανακατασκευής με την κανονικοποίηση του latent space.

Reparameterization Trick: Επιτρέπει την εκπαίδευση μέσω backpropagation (αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης), παρά την τυχαιότητα που εισάγεται με τη δειγματοληψία.

⁷⁹ <https://www.ibm.com/think/topics/variational-autoencoder> (Πρόσβαση 19/1/25)



Διάγραμμα 8: Δομή και λειτουργία ενός Μεταβλητού Αυτοκωδικοποιητή (VAE)

Στη συνέχεια, ζητάμε από το μοντέλο να δημιουργήσει νέες εικόνες κτιρίων. Έτσι, παράγονται νέες, μοναδικές αρχιτεκτονικές εικόνες που μοιάζουν με τις αρχικές, αλλά είναι εντελώς διαφορετικές και πρωτότυπες.

3.1.13. Diffusion Models (DMs) – Μοντέλα Διάχυσης

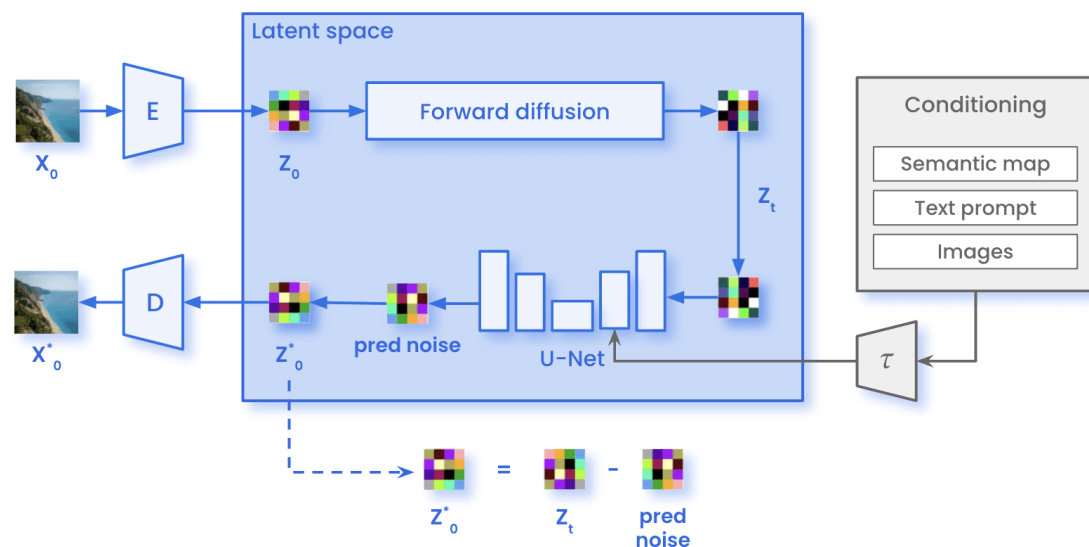
Μοντέλο Μη Επιβλεπόμενης Μάθησης

Η αρχιτεκτονική του Diffusion Model ως νευρωνικού δικτύου είναι σχεδιασμένη για να χειρίζεται την προσθήκη και αφαίρεση θορύβου από δεδομένα και είναι βασισμένη στην αρχιτεκτονική U-Net και συγκεκριμένα U-Net Backbone.⁸⁰ Στην πραγματικότητα, τα

Diffusion Models μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με τα Autoencoders δομικά και λειτουργικά, καθώς αποτελούνται από:

1. Encoder: Περιλαμβάνει πολλαπλά επίπεδα συνελκτικών (convolutional) μπλοκ, τα οποία μειώνουν διαδοχικά τη χωρική ανάλυση της εισόδου, προσθέτει θόρυβο στα δεδομένα. Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί ομαδοποιημένη κανονικοποίηση (group normalization) για σταθερότητα εκπαίδευσης.
2. Decoder: Καθώς αναδομεί την εικόνα, κάθε επίπεδο αυξάνει τη χωρική ανάλυση, αφαιρεί θόρυβο για να αναδημιουργήσει τα

⁸⁰ Το U-Net backbone είναι μια αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου (ανήκει στην κατηγορία των CNN), αρχικά σχεδιασμένη για εφαρμογές στην ιατρική επεξεργασία εικόνων (biomedical image segmentation), όπως η ανάλυση εικόνων από μικροσκόπιο. Ονομάζεται "U-Net" λόγω του σχήματος της, που μοιάζει με το γράμμα "U". Το U-Net είναι μια αρχιτεκτονική σχεδιασμένη για τη μοντελοποίηση σύνθετων συσχετίσεων σε εικόνες. Στα diffusion models, χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του θορύβου.



Διάγραμμα 9: Δομή και λειτουργία ενός Μοντέλου Διάχυσης (DM), συγκεκριμένα ενός Latent Diffusion Model (LDM)

δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά από τον encoder συνδέονται με αυτά του decoder, παρέχοντας λεπτομέρειες από τα αρχικά δεδομένα.

Τα Diffusion Models λειτουργούν καταστρέφοντας τα δεδομένα εκπαίδευσης μέσω της διαδοχικής προσθήκης Γκαουσιανού θορύβου (Gaussian noise)⁸¹

και στη συνέχεια μαθαίνοντας να ανακτούν τα δεδομένα αντιστρέφοντας αυτή τη διαδικασία θορύβου. Μετά την εκπαίδευση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Diffusion Model για να δημιουργήσουμε δεδομένα περνώντας απλώς τυχαία δειγματοληπτικό θόρυβο μέσω της μαθημένης διαδικασίας αποθορυβοποίησης.

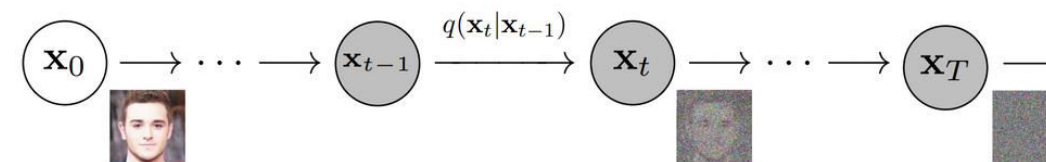
⁸¹ Ο Γκαουσιανός θόρυβος (Gaussian noise) αναφέρεται σε τυχαίο θόρυβο που έχει γκαουσιανή κατανομή (Gaussian distribution) στις τιμές του. Αυτός ο τύπος θορύβου χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα επεξεργασίας σήματος, επεξεργασίας εικόνας και μηχανικής μάθησης για την προσομοίωση ατελειών ή τυχαίων μεταβολών του πραγματικού κόσμου.

Συγκεκριμένα, ένα Diffusion Model είναι ένα μοντέλο λανθάνουσας μεταβλητής το οποίο απεικονίζει τον λανθάνων χώρο χρησιμοποιώντας μια σταθερή αλυσίδα Markov (Μαρκοβιανή αλυσίδα)⁸². Αυτή η αλυσίδα προσθέτει σταδιακά θόρυβο στα δεδομένα, όπου x_1, \dots, x_T είναι οι λανθάνουσες μεταβλητές με την ίδια διαστατικότητα όπως το x_0 (Διάγραμμα 10).⁸³

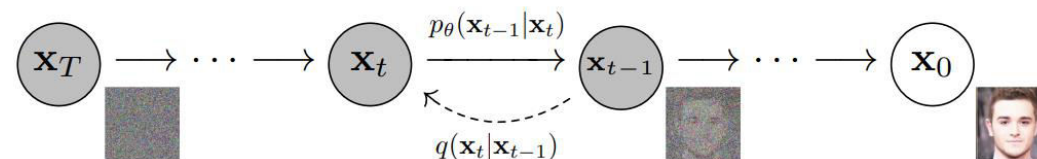
Έτσι, σταδιακά η εικόνα μετασχηματίζεται σε καθαρό γκαουσιανό θόρυβο. Ο στόχος της εκπαίδευσης ενός diffusion model είναι να «μάθει» την αντίστροφη διαδικασία και διατρέχοντας προς τα πίσω κατά μήκος αυτής της αλυσίδας, μπορούμε να δημιουργήσουμε νέα δεδομένα (Διάγραμμα 11).⁸⁴

Παράδειγμα:

Έτσι, αν θέλουμε να διερευνήσουμε ιδέες για μια πρόσοψη, μπορούμε να



Διάγραμμα 10: Λειτουργία Diffusion Model, Στάδιο διαδικασίας προσθήκης θορύβου (Forward diffusion)



Διάγραμμα 11: Λειτουργία Diffusion Model, Στάδιο αποθορυβοποίησης (Denoising), αντίστροφη διαδικασία

⁸² Η Μαρκοβιανή αλυσίδα είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει ένα σύστημα που εξελίσσεται διαδοχικά, από κατάσταση σε κατάσταση, με τρόπο που εξαρτάται μόνο από την τρέχουσα κατάσταση και όχι από το πώς έφτασε εκεί. Είναι ένα θεμελιώδες εργαλείο στην πιθανοθεωρία και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, από τη φυσική μέχρι τη μηχανική μάθηση.

⁸³ Ho, J., Jain, A., Abbeel, P., *Denoising Diffusion Probabilistic Models*, 2020, σελ. 1-9

⁸⁴ ό.π.

δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων με διάφορες εικόνες από προσόψεις κτηρίων. Το diffusion model μαθαίνει να προσθέτει και να αφαιρεί θόρυβο από τις εικόνες, ώστε να κατανοήσει τις δομές και τα χαρακτηριστικά τους. Μέσα από μια επιπλέον μέθοδο που ονομάζεται conditional generation, μπορούν να

καθοριστούν επιπλέον συνθήκες ή πληροφορίες που θα επηρεάσουν τη διαδικασία δημιουργίας. Οι συνθήκες αυτές που μπορούν να οριστούν είναι: κείμενο (text prompts) και χρήση ετικετών (labels) – πχ. “πρόσοψη επηρεασμένη από την αρχιτεκτονική της Zaha Hadid”, εικόνες αναφοράς (image conditioning) – πχ.

Είδος Νευρωνικού Δικτύου	Υποκατηγορία Μάθησης	Δομή	Ευρύτερη Κατηγορία / Υποκατηγορίες	Εφαρμογές
Generative Adversarial Networks (GANs)	Μη επιβλεπόμενη	Generator – Discriminator Ανταγωνισμός μεταξύ 2 νευρωνικών δικτύων για παραγωγή αληθοφανών δεδομένων	DCGAN, StyleGAN, CycleGAN, VQGAN, BigGAN, VAE-GAN, cGAN	Artbreeder DeepArt Runway ML
Variational Autoencoders (VAEs)	Μη επιβλεπόμενη	Encoder – Decoder Συμπίεση και αποσυμπίεση δεδομένων σε μια συνεχή, πιθανοτική αναπαράσταση και δημιουργία νέων δεδομένων	Ανήκει στους Autoencoders Conditional VAEs (CVAE), Beta-VAE, VAE-GAN, VQVAE, Disentangled VAEs, Gaussian VAE, Attention-based VAEs	Artbreeder DeepArt Runway ML
Diffusion Models (DMs)	Μη επιβλεπόμενη	U-Net – Encoder – Decoder Κωδικοποίηση-Αποκωδικοποίηση δεδομένων με αύξηση-μείωση γκαουσιανού θορύβου	Denoising Diffusion Probabilistic Models (DDPM), Latent Diffusion Models (LDM), Conditional Diffusion Models, Flow-based Diffusion Models, Multi-modal Diffusion Models	Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion, Lookxai
Transformers	Επιβλεπόμενη	Encoder - Decoder	Ανήκει στα LLMs (Large Language Models) GPT, BERT, T5	ChatGPT, Gemini, Claude, Deepseek

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά των μοντέλων μάθησης και εφαρμογές

δίνουμε μια εικόνα από την πρόσοψη του κτηρίου σε μορφή clay render και προσθέτουμε “πρόσθεσε υλικά”.

Όπως προαναφέρθηκε, οι περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν συνδυασμούς των παραπάνω νευρωνικών δικτύων ή και άλλων, μαζί με διάφορους αλγορίθμους και τεχνικές μηχανικής μάθησης. Στον παραπάνω πίνακα έχει σημειωθεί η βασική αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων που στηρίζεται κάθε εφαρμογή, όμως στις περισσότερες περιπτώσεις οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν πάνω από ένα είδος νευρωνικού δικτύου, πχ. οι εφαρμογές Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion, πέρα από diffusion models χρησιμοποιούν και transformers (τα οποία ανήκουν στα Large Language Models), αφού στηρίζουν την μετατροπή text-to-image (txt2img) με text prompt ή και το αντίστροφο και μέσω κειμένου μπορούν να παραχθούν εικόνες.

3.1.14. Σύγκριση GANs-VAEs-DMs

Ως προς την αρχιτεκτονική τους τα GANs και τα VAEs έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, καθώς και τα δύο αποτελούνται από δύο νευρωνικά δίκτυα generator-discriminator και encoder-decoder αντίστοιχα και σταδιακά μέσα από την εκπαίδευσή τους έχουν τη δυνατότητα να διαφοροποιούν τα δεδομένα εξόδου τους, παράγοντας νέα πρωτότυπα

δεδομένα. Χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στην σύνθεση εικόνων, παρ’ όλα αυτά παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατά περίπτωση. Τα GANs μπορούν να παράγουν εικόνες υψηλότερης ανάλυσης, όμως λόγω της αρχιτεκτονικής τους είναι ασταθής στην εκπαίδευση και ενδέχεται να περιορίζουν την ποικιλομορφία των παραγόμενων εικόνων, μπορεί να καταρρεύσει ο τρόπος λειτουργίας τους (mode collapse). Αντιθέτως, τα VAEs μπορούν να εκπαιδευτούν ευκολότερα, όμως οι εικόνες που παράγουν τείνουν να είναι πιο θολές και λιγότερο ευκρινείς. Από την άλλη πλευρά τα Diffusion Models, πέρα από την διαφορετική δομή τους που βασίζεται σε αρχιτεκτονική U-Net, ο διαχωρισμός ανάμεσα σε encoder-decoder είναι ασαφής, καθώς λειτουργούν με τη θορυβοποίηση και την αποθορυβοποίηση σαν μια αντίστροφη διαδικασία. Ωστόσο, τα diffusion models έχουν τη δυνατότητα σύνθεσης εικόνων με πολύ υψηλή ανάλυση και ιδιαίτερα ρεαλιστικές, παρέχουν πολλές παραλλαγές, διατηρούν το αρχικό νόημα της εισόδου και μπορούν να συνθέσουν τόσο «σταθερές» όσο και κινούμενες εικόνες. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο για να παράγουν αποτελέσματα, καθώς παράγουν μεγάλο αριθμό δειγμάτων που αξιολογούνται, προκειμένου να δημιουργηθεί η τελική

έξοδος και ως φυσικό επόμενο απαιτούν και πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ. Μπορούν εύκολα όμως να βελτιωθούν μέσω κατάλληλων αλγορίθμων.⁸⁵

Με βάση τα σημεία που αναλύθηκαν προκύπτει ο Πίνακας 2.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι τα Diffusion Models είναι ο τύπος νευρωνικού δικτύου που χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο

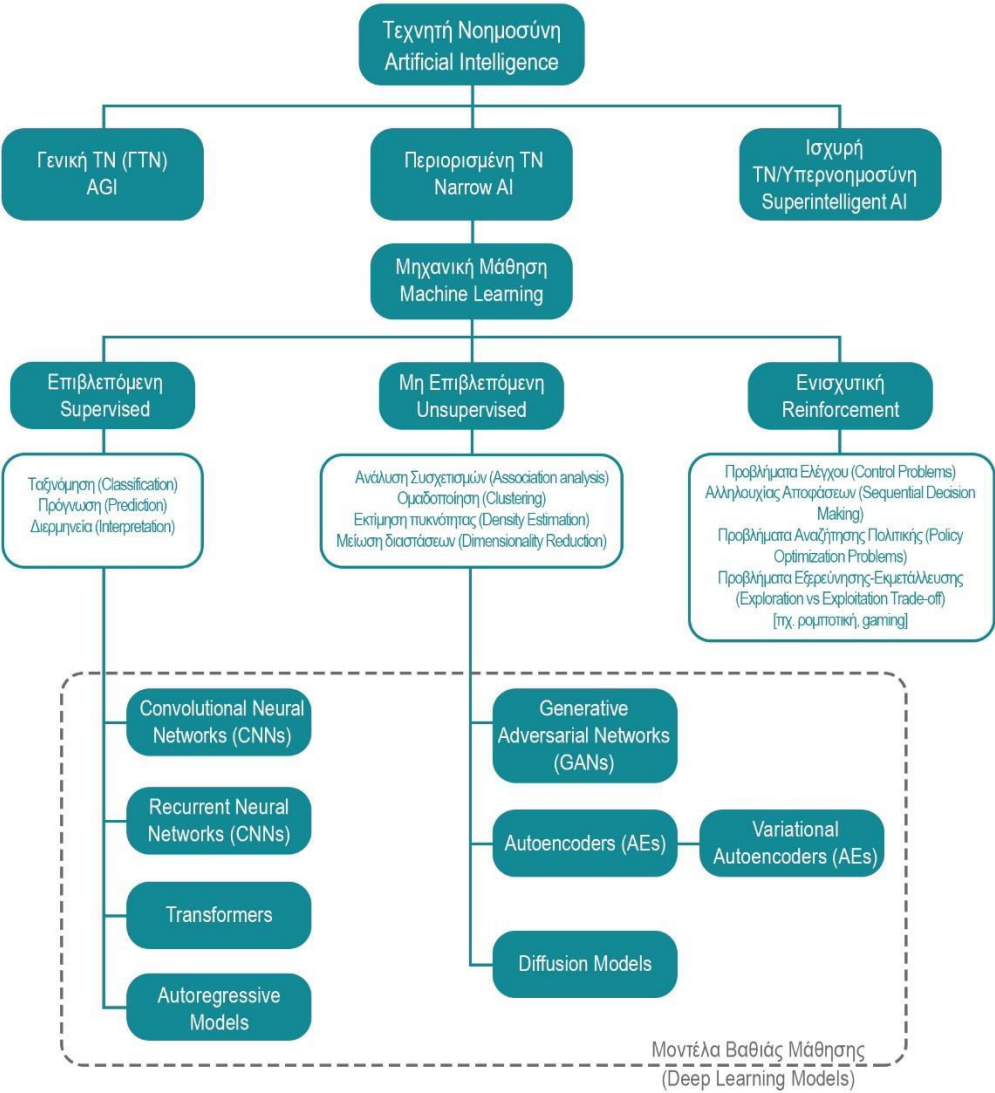
μέρος των περιπτώσεων για εφαρμογές, ιδιαίτερα για παραγωγή δεδομένων στην αρχιτεκτονική, καθώς παράγουν τα δεδομένα με την καλύτερη ποιότητα, έχουν δυνατότητα για περισσότερες παραλλαγές και είναι πιο σταθερά στην εκπαίδευση.

Χαρακτηριστικά	GANs	VAEs	Diffusion Models
Προσέγγιση μάθησης	Ανταγωνιστική εκπαίδευση (Generator-Discriminator)	Πιθανοτική αναπαράσταση λανθάνοντος χώρου (Encoder-Decoder)	Προοδευτική προσθήκη και αφαίρεση θορύβου (U-Net, Encoder-Decoder, Gaussian Noise)
Αποδοτικότητα εκπαίδευσης	Γρήγορη αλλά ασταθής εκπαίδευση	Σταθερή αλλά μερικές φορές λιγότερο ρεαλιστικά δείγματα	Αργή αλλά υψηλής ποιότητας δείγματα
Ποιότητα παραγόμενων δεδομένων	Πολύ ρεαλιστικά, αλλά μπορεί να εμφανίσει mode collapse	Συχνά λιγότερο ρεαλιστικά από GANs	Υψηλής ποιότητας δείγματα, ειδικά σε εικόνες
Δυσκολία εκπαίδευσης	Ασταθές, δυσκολία στην εκπαίδευση του	Σχετικά εύκολο	Υπολογιστικά απαιτητικό

Πίνακας 2: Σύγκριση των χαρακτηριστικών μεταξύ GANs-VAEs-DMs

⁸⁵ Vivekananthan, Sanchayan, *Comparative Analysis of Generative Models: Enhancing Image Synthesis with VAEs, GANs, and Stable Diffusion*, Department of Computer Science - Huddersfield University, UK, 2024

3.1.15. Χάρτης Τεχνητής Νοημοσύνης



3.2. Οι δυνατότητές τους στην Αρχιτεκτονική Πρακτική

Έχοντας αναλύσει τις γενικότερες έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας συγκεκριμένων μοντέλων που χρησιμοποιούνται για παραγωγικό σχεδιασμό (generative design), μπορούν να αναφερθούν οι δυνατότητες που έχουν στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και πως αυτοματοποιούν συγκεκριμένες διαδικασίες. Για την αρχιτεκτονική πρακτική θα μπορούσαν να διαμορφωθούν κάποιες κατηγορίες, στις οποίες έχει εφαρμογές η χρήση της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης και των μοντέλων που αναφέρθηκαν στον προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτές είναι: α) σκίτσα, β) γραμμικά σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές, αξονομετρικά, προοπτικά), γ) φωτορεαλιστικές απεικονίσεις, δ) ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα. Σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες-στάδια σχεδιασμού είναι δυνατόν να συμβάλλει η παραγωγική ΤΝ. Ακόμη, αυτό που πρέπει να αναφερθεί είναι πως οι ψηφιακές εφαρμογές και τα εργαλεία που χρησιμοποιούν παραγωγική ΤΝ έχουν συγκεκριμένες επιλογές εισόδου-εξόδου σε κάθε περίπτωση. Οι επιλογές εισόδου και εξόδου αντίστοιχα μπορούν να είναι κείμενο (txt), εικόνα (img), βίντεο (vid), τρισδιάστατο (fbx, obj, usd, glb, κλπ). Υπάρχουν βέβαια και οι περιπτώσεις που μοντέλα παραγωγικής ΤΝ εισάγονται με μορφή διασύνδεσης (plug-in) σε ήδη υπάρχοντα προγράμματα σχεδιασμού (CAD, BIM, κλπ). Είναι εφικτό να γίνουν αρκετοί διαφορετικοί συνδυασμοί μορφών εισόδου-εξόδου, για παράδειγμα κείμενο σε εικόνα (txt2img), εικόνα σε εικόνα (img2img), εικόνα σε βίντεο (img2vid), εικόνα σε τρισδιάστατο (img2fbx), κ.ο.κ.

Σκίτσα

Στην περίπτωση αυτή, σε αρχικά ή και μετέπειτα στάδια σχεδιασμού μπορούν να διερευνηθούν κάποιες ιδέες σχεδιασμού (concepts) χρησιμοποιώντας ως είσοδο εικόνες σκίτσων. Είναι εφικτό με την είσοδο μιας εικόνας ενός αφαιρετικού σκίτσου να υπάρξει η αντίστοιχη έξοδος σε μια άλλη εικόνα αφαιρετικού ή αναλυτικού σχεδίου,

φωτορεαλιστικής απεικόνισης, ή ακόμα και σε τρισδιάστατη μορφή.

Γραμμικά σχέδια

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εικόνες γραμμικών σχεδίων ενός σχεδιασμού, για παράδειγμα μιας όψης ή ενός αξονομετρικού και ως έξοδο να

ληφθούν εικόνες όψεων ή αξονομετρικών με υλικότητες, σκιάσεις, ή ακόμη και μορφές τρισδιάστατων μοντέλων. Ακόμη, στην περίπτωση των γραμμικών σχεδίων, η πιο σημαντική χρήση της παραγωγικής ΤΝ είναι μέσω της εισαγωγής plug-in σε ήδη υπάρχοντα προγράμματα CAD και BIM. Μέσα από μια τέτοια χρήση plug-in υπάρχει μεγαλύτερος έλεγχος των αποτελεσμάτων εξόδου σε ένα πρόγραμμα, καθώς ο χρήστης μπορεί να κατευθύνει τα αποτελέσματα μέσα από την ρύθμιση πολλών διαφορετικών παραμέτρων. Για παράδειγμα, η εφαρμογή Finch3D, που έχει σχεδιαστεί από αρχιτέκτονες στη Σουηδία, βασίζεται σε μαθηματικούς αλγορίθμους, γραφικές παραστάσεις και διάφορα μοντέλα μηχανικής μάθησης και λειτουργεί με μορφή plug-in σε προγράμματα όπως το Grasshopper σε συνδυασμό με Rhino ή και άλλα, καθιστώντας δυνατή την παραμετροποίηση και τροποποίηση στοιχείων της κάτοψης, του τρισδιάστατου μοντέλου και γενικότερα των στοιχείων σχεδιασμού του προγράμματος. Ακόμη, μέσα από τη χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής ή και άλλων παρεμφερών εφαρμογών μπορούν να εξαχθούν και χρήσιμα διαγράμματα σχετικά με βιοκλιματικά και ενεργειακά στοιχεία ή παθητικότητα του κτηρίου, που μπορούν να βοηθήσουν ώστε να ληφθούν υπόψιν όλες οι σχεδιαστικοί παράμετροι.

Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις

Με την εισαγωγή εικόνων σκίτσων, σχεδίων, διαγραμματικών μακετών ή και φωτορεαλιστικών ή τρισδιάστατων απεικονίσεων χωρίς ή και με υλικότητες μπορούν να ληφθούν νέες φωτορεαλιστικές εικόνες εμπνευσμένες από τις εισόδους. Σε κάποιες περιπτώσεις, υπάρχει και η δυνατότητα εισαγωγής τρισδιάστατων απεικονίσεων χωρίς υλικότητες (clay renders), ώστε μέσα από τις εφαρμογές να γίνει μια επιλογή και επεξεργασία υλικότητων σε πραγματικό χρόνο, επιταχύνοντας έτσι τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχει η επιλογή μεγαλύτερου ελέγχου των υλικότητων και της εφαρμογής τους πάνω στις επιφάνειες. Ακόμη, με την είσοδο φωτορεαλιστικών απεικονίσεων είναι δυνατή η έξοδος σε μορφή βίντεο.

Ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα

Είναι εφικτό μέσα από την εισαγωγή εικόνων μακέτας, που έχουν ληφθεί από μία ή και παραπάνω οπτικές, να δημιουργηθεί ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο είναι αρκετά πιστό στις αρχικές φωτογραφίες. Σαφώς αυτό δεν είναι κάτι εντελώς καινούριο, καθώς μέσω του 3d scanning μπορεί να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα. Τη βασική διαφορά σε αυτή τη

σύγκριση όμως, αποτελεί το γεγονός ότι στη μια περίπτωση η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου γίνεται μέσα από μια εφαρμογή ή πλατφόρμα μέσα από τη χρήση απλών εικόνων μορφής jpeg, ενώ στην άλλη απαιτείται συγκεκριμένος τεχνολογικός εξοπλισμός.

Συμπεράσματα

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι τρόποι χρήσης των εφαρμογών παραγωγικού σχεδιασμού οδηγούν σε ένα βαθμό σε αυτοματοποίηση και επιτάχυνση κάποιων διαδικασιών. Επιπλέον, πέρα από την εισαγωγή αρχείων είναι εφικτή και επιπρόσθετη προσθήκη οδηγιών και προτιμήσεων σε μορφή κειμένου, με σκοπό να κατευθυνθεί περισσότερο το τελικό αποτέλεσμα της εξόδου. Παρόλα αυτά, τα τελικά αποτελέσματα δεν είναι πάντα εύκολο να κατευθυνθούν από τον χρήστη των εφαρμογών, στην περίπτωση μας από τον αρχιτέκτονα, καθώς οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται, εμπεριέχουν ένα μεγάλο ποσοστό που βασίζεται στις πιθανότητες και στην τυχαιότητα. Για να υπάρχει μεγαλύτερος έλεγχος και κατεύθυνση των εξόδων που λαμβάνει ο αρχιτέκτονας, πρέπει να έχει πρόσβαση στα δεδομένα εκπαίδευσης του

εκάστοτε μοντέλου, αλλά και στη βάση δεδομένων από την οποία το μοντέλο αντλεί όλες τις πληροφορίες για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, πράγμα που απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Με άλλα λόγια, όσο κι αν επιταχύνονται κάποιες χρονοβόρες διαδικασίες στο κομμάτι του σχεδιασμού, υπάρχει η πιθανότητα αυτών των μοντέλων, να περιορίσουν το φάσμα των ιδεών και των δυνατοτήτων του αρχιτέκτονα, αφού σε πολλές περιπτώσεις μπορεί τα αποτελέσματα να μην είναι παραμετροποιήσιμα.



Εικόνα 38: Εικόνα AI-Generated, Midjourney

3.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η ενσωμάτωση της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό προσφέρει μια νέα δυναμική στη δημιουργία, τη βελτιστοποίηση και την υλοποίηση του έργου των αρχιτεκτόνων. Ωστόσο, όπως κάθε νέα τεχνολογία, παρόλο που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις και περιορισμούς. Η εξέταση τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών πτυχών της είναι απαραίτητη για μια ισορροπημένη και υπεύθυνη ενσωμάτωσή της στην αρχιτεκτονική πρακτική.

Πλεονεκτήματα

- **Δυνατότητα διερεύνησης πολλών διαφορετικών εναλλακτικών και ιδεών ταχύτερα.** Με τη μετατροπή εικόνων σκίτσων, διαγραμματικών μακετών και αφαιρετικών σχεδίων σε εικόνες εμπνευσμένες από τα δεδομένα εισόδου, οι αρχιτέκτονες μπορούν να διερευνούν μια ιδέα (concept) του σχεδιασμού τους με πιο γρήγορους ρυθμούς και πιθανώς, να εντοπίσουν παραμέτρους στον σχεδιασμό τους που ενδέχεται να μην είχαν εντοπίσει με τις συμβατικές μεθόδους. Αυτό επιταχύνει τη διαδικασία των αρχικών σταδίων του σχεδιασμού και μάλιστα μπορεί να δώσει στον αρχιτέκτονα την ευκαιρία να διερευνήσει πολλές διαφορετικές ιδέες, στον ίδιο χρόνο που θα διερευνούσε μόνο μερικές. Συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις χρήσης των γενετικών αλγορίθμων είναι δυνατή η παραγωγή πολλών διαφορετικών μορφών, που έχουν

συνδυαστεί από προηγούμενες αρχικές ιδέες του αρχιτέκτονα, επιτρέποντάς του να μετασχηματίσει τις ιδέες του και να παράξει πρωτότυπες μορφές. Με αυτή τη χρήση, η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αποτελέσει εργαλείο μορφογένεσης.

- **Ταχύτητα σε χρονοβόρες διαδικασίες.** Επιταχύνεται η διαδικασία σε επαναλαμβανόμενες εργασίες του σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα οι δοκιμές ανοιγμάτων και υλικών στις όψεις, οι δοκιμές υλικών και υφών σε φωτορεαλιστικές απεικονίσεις. Επιπλέον, μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων γίνεται ταχύτερα, δίνοντας την ευκαιρία στον αρχιτέκτονα να επικεντρωθεί σε σημαντικότερα και πιο δημιουργικά στάδια του σχεδιασμού του.

- **Η μετατροπή φυσικών μακετών (διαγραμματικών ή τελικών) σε ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα,** μπορεί να

αποτελέσει τρόπο δημιουργίας ενός ψηφιακού αρχείου του σχεδιασμού. Αυτά τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για περαιτέρω διερεύνηση του σχεδιασμού.

- **Διευκόλυνση στον σχεδιασμό και τον υπολογισμό παραμέτρων σε περίπλοκες γεωμετρίες.** Ένας από τους σημαντικότερους αυτοματισμούς που παρέχει η παραγωγική TN είναι οι δυνατότητες που δίνονται για το σχεδιασμό πολύπλοκων γεωμετρικών ή οργανικών μορφών.

- **Βελτιστοποίηση της ροής εργασίας των αρχιτεκτονικών γραφείων, παραγωγή μεγαλύτερου όγκου εργασίας ταχύτερα.** Η αυτοματοποίηση και η επιτάχυνση της σχεδιαστικής διαδικασίας μέσω των παραπάνω δυνατοτήτων, μπορούν να δώσουν την ευκαιρία σε ένα αρχιτεκτονικό γραφείο να περιορίσει το χρονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο υλοποιείται ένα έργο. Κατ’ επέκταση, ο χρόνος που εξοικονομείται μπορεί να αφιερωθεί σε άλλα έργα.

- **Δυνατότητα για τους αρχιτέκτονες να επικεντρώνονται σε πιο δημιουργικά κομμάτια ενός σχεδιασμού,** αφού τα διεκπεραιωτικά και χρονοβόρα τμήματα θα καταναλώνουν λιγότερο από το χρόνο τους. Εναλλακτικά, αντί ο ίδιος χρόνος που εξοικονομείται να αφιερώνεται σε διαφορετικά έργα, μπορεί αντί αυτού να

αφιερώνεται στο ίδιο έργο, με περαιτέρω διερεύνηση των αρχιτεκτονικών μορφών και ιδεών και έτσι οι αρχιτέκτονες επικεντρώνονται στις πιο δημιουργικές διαδικασίες.

- **Δυνατότητα παραγωγής κώδικα (scripts) για χρήση σε σχεδιαστικά προγράμματα.** Μέσα από την παραγωγική TN, είναι εφικτή η εξατομικευμένη δημιουργία κώδικα στην επιθυμητή γλώσσα προγραμματισμού, για την μετέπειτα χρήση του σε σχεδιαστικά προγράμματα, όπως το Grasshopper. Με αυτή τη χρήση, οι αρχιτέκτονες μπορούν να χρησιμοποιούν παρόμοια προγράμματα παραμετρικού σχεδιασμού πιο αποτελεσματικά και ευέλικτα.

Μειονεκτήματα

Παρά το πλήθος των θετικών επιπτώσεων της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στην αρχιτεκτονική, θα ήταν δύσκολο να αγνοηθούν και οι περιορισμοί που εμφανίζει, τόσο στην αρχιτεκτονική, όσο και σε κάθε τομέα δραστηριοποίησης των ανθρώπων, επηρεάζοντάς τους δραστικά σε ορισμένες περιπτώσεις. Παρακάτω αναλύονται οι αρνητικές επιπτώσεις και οι περιορισμοί που προκύπτουν από τη χρήση εφαρμογών παραγωγικής TN.

- **Λανθασμένα αποτελέσματα και εσφαλμένες προβλέψεις.** Παρόλο που τα νέα δεδομένα που εξάγονται μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαίνονται ρεαλιστικά και αληθινά, πολλές φορές ενδέχεται αυτά να είναι λανθασμένα και παραπλανητικά για τον χρήστη. Αυτό οφείλεται στο ότι τα μοντέλα παραγωγικής νοημοσύνης είναι πιθανοτικά, δηλαδή στηρίζονται στις πιθανότητες για να δημιουργήσουν νέα δεδομένα, πράγμα που σημαίνει ότι παράγουν την πιο πιθανή απάντηση σε μια προτροπή (prompt), αλλά αυτή δεν είναι απαραίτητα η πιο σωστή. Αυτή η τάση των μοντέλων μηχανικής μάθησης, που στηρίζονται σε πιθανοτικούς αλγόριθμους να παράγουν αληθοφανή δεδομένα, τα οποία στην πραγματικότητα είναι μη λογικά ή λανθασμένα, αποκαλείται “hallucinations” (ψευδαισθήσεις)⁸⁶. Η δυνατότητα ενός μοντέλου να παράγει αληθή δεδομένα εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσής του και από τη διαδικασία μάθησης. Επιπλέον, ιδιαίτερα στα πιο προηγμένα μοντέλα AI είναι δύσκολο να προβλέψουμε και να προσδιορίσουμε το τελικό αποτέλεσμα εξόδου, γεγονός που οφείλεται στην λογική μεσολάβησης ενός «μαύρου κουτιού» (black-box) που έχουν τα μοντέλα και δεν

γνωρίζουμε ποια ακριβώς κριτήρια ορίζουν την τελική εικόνα.⁸⁷

- **Ζητήματα μεροληψίας και δικαιοσύνης.** Κάποια από τα μοντέλα AI τείνουν να ενισχύουν προκαταλήψεις που υπάρχουν στα δεδομένα εκπαίδευσης και δημιουργούν στερεότυπα, διακρίσεις και σε κάποιες περιπτώσεις άδικες αποφάσεις. Αν τα δεδομένα εκπαίδευσης περιέχουν κοινωνικές, πολιτικές ή φυλετικές προκαταλήψεις ή αν υπάρχει εκπαίδευση των μοντέλων από ανθρωπίνη ανατροφοδότηση και σχόλια, τότε είναι πολύ πιθανόν οι προκαταλήψεις να ενισχυθούν στα αποτελέσματα εξόδου της εκάστοτε εφαρμογής.

- **Ζητήματα πνευματικών δικαιωμάτων, νομικά, ιδεολογικά.** Τα μοντέλα παραγωγικής TN είναι πολύ πιθανόν να δημιουργήσουν περιεχόμενο που να μοιάζει με υπάρχοντα κτήρια, έργα τέχνης, εικόνες, ήχο, κείμενο, κώδικα, εγείροντας νομικά ζητήματα σχετικά με τα πνευματικά δικαιώματα και την ιδιοκτησία. Τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων στις περισσότερες, αν όχι σε όλες τις περιπτώσεις περιέχουν υλικό και δεδομένα που ανήκει σε τρίτους, χωρίς την άδειά τους, καθώς σαρώνονται και αντλούνται

⁸⁶ Leach, Neil, *Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects*, Bloomsbury Visual Arts, 2022, σελ. 85

⁸⁷ Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., Zschech, P., *Generative AI*, Springer, 2023

από το διαδίκτυο (webscraping). Έτσι, δεν μπορεί να εξακριβωθεί ποιος είναι ο πραγματικός δημιουργός των έργων που έχουν προκύψει από τη χρήση AI, καθώς πολλές φορές τα αποτελέσματα είναι όμοια με δημοσιευμένα έργα, χωρίς να έχουν αντιγραφεί πλήρως, γεγονός το οποίο δημιουργεί αβεβαιότητα. Ένα σημαντικό ζήτημα πάνω σε αυτό το πρόβλημα είναι ότι το νομοθετικό πλαίσιο για περιεχόμενο που έχει δημιουργηθεί με AI δεν είναι πλήρως καθορισμένο ακόμη.⁸⁸ Επιπλέον, πιθανόν έργα που έχουν προκύψει αποκλειστικά με τη χρήση AI ενδέχεται να μην προστατεύονται με πνευματικά δικαιώματα ή να μην είναι απόλυτα σαφής η κατοχή και τα πνευματικά δικαιώματα πάνω στα συγκεκριμένα έργα.⁸⁹ Φυσικά όλα τα παραπάνω δημιουργούν ερωτήματα και ως προς την ηθική χρήση της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης. Πιθανές λύσεις σε αυτά τα ζητήματα είναι ενδεχομένως: α. η δημιουργία εξατομικευμένης βάσης δεδομένων από το χρήστη, από την οποία αντλείται υλικό για τα δεδομένα εκπαίδευσης, β. η θέσπιση κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου, γ. η σήμανση με

υδατογράφημα ή με κάποιο παρόμοιο τρόπο ώστε να αναγνωρίζεται το AI generated περιεχόμενο.

- **Σημαντικός περιβαλλοντικός αντίκτυπος.** Ένα μείζον ζήτημα αποτελεί επίσης και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που έχει η ανάπτυξη και η εκπαίδευση μοντέλων AI εξαιτίας στους τεράστιους υπολογιστικούς πόρους που απαιτούν. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε μεγάλης κλίμακας νευρωνικά δίκτυα και για τη λειτουργία τους αντλούν υπέρογκα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και νερού με μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα. Τα δεδομένα εκπαίδευσης αντλούνται από βάσεις δεδομένων που υπάρχουν με φυσική μορφή κτηρίων ανά τον κόσμο και για τη λειτουργία τους απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και νερό το οποίο χρησιμοποιείται με συγκεκριμένους τρόπους για την ψύξη των συστημάτων που θερμαίνονται. Για παράδειγμα, το GPT-3 της εταιρείας OpenAI εκτιμάται ότι εκπέμπει περίπου 552 τόνους διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο⁹⁰ και καταναλώνει 700.000 λίτρα νερό στην φάση εκπαίδευσής του⁹¹. Για να υπάρχει συγκριτικό μέτρο

αρκεί να αναλογιστούμε πως ένας άνθρωπος εκπέμπει περίπου 7,2 τόνους διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο, σύμφωνα με δεδομένα της Eurostat για την ΕΕ από το 2017.⁹²

- **Η παραγωγή εικόνων καθιστά το αποτέλεσμα αρκετά τελικό,** δεν υπάρχει μεγάλη δυνατότητα τροποποιήσεων και μετατροπών στο τελικό αποτέλεσμα. Ως μια νέα τεχνολογία, η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη στο σχεδιασμό εξάγει αποτελέσματα, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι αρκετά τελικά και παρακάμπτουν αρκετά στάδια του σχεδιασμού. Για παράδειγμα, η μετατροπή μιας εικόνας σκίτσου ως είσοδο, σε μια εικόνα φωτορεαλιστικής απεικόνισης ως έξοδο, δεν μπορεί να είναι γόνιμη και χρήσιμη σε έναν αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, καθώς παρακάμπτονται πολλά ενδιάμεσα στάδια μετάβασης από την μια εικόνα στην άλλη. Αυτό μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες, τόσο στη δημιουργικότητα του αρχιτέκτονα όσο και στην ομαλή εξέλιξη ενός σχεδιασμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλα τα ενδιάμεσα στάδια από τα οποία προκύπτει ένας σχεδιασμός, όπως επίσης να υπάρχει και η δυνατότητα ο αρχιτέκτονας να κατευθύνει και να παραμετροποιεί την

διαδικασία από όπου προκύπτει η τελική έξοδος. Η οποιαδήποτε αντίστροφη ροή, όπου η ίδια η εφαρμογή κατευθύνει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, μπορεί να αποβεί καταστροφική σε πολλά επίπεδα.

- **Οι εφαρμογές παραγωγικής ΤΝ δεν είναι εύκολα προσβάσιμες για όλους τους αρχιτέκτονες,** η παραμετροποίησή τους απαιτεί αρκετές φορές έρευνα. Για να μπορεί ο αρχιτέκτονας να κατευθύνει τα αποτελέσματα, απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού, καθώς μόνο έτσι μπορεί να τροποποιηθούν οι μέθοδοι με τις οποίες μια εφαρμογή οδηγείται στο τελικό αποτέλεσμα. Αυτός μπορεί να είναι ο μόνος εγγυημένος τρόπος, ώστε ο αρχιτέκτονας να έχει τον έλεγχο και να προσαρμόζει τη παραγωγική ΤΝ ως εργαλείο σχεδιασμού. Η παραγωγική ΤΝ στον σχεδιασμό είναι μια αρκετά πρόσφατη τεχνολογική εξέλιξη, που δεν έχει ωριμάσει ακόμη και βρίσκεται σε πειραματικά στάδια, με αποτέλεσμα να μην έχουν βρεθεί ακόμα οι πιο αποτελεσματικές χρήσεις και οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει στο σχεδιασμό.

- **Η παραγωγική ΤΝ προσφέρει μια μόνο λύση από τις δυνητικά άπειρες που ορίζουν οι αλγόριθμοι.** Είναι γεγονός πως όλες οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην

⁸⁸ Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., Zschech, P., Generative AI, Springer, 2023

⁸⁹ https://intellectual-property-helpdesk.ec.europa.eu/news-events/news/artificial-intelligence-and-copyright-use-generative-ai-tools-develop-new-content-2024-07-16-0_en

⁹⁰ Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., Zschech, P., Generative AI, Springer, 2023

⁹¹ Shaji, G., Hovan, G., Gabrio, M., *The Environmental Impact of AI: A Case Study of Water Consumption by Chat GPT*, Partners Universal International Innovation Journal, Vol. 01, Issue 02, 2023, 93

⁹²https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr19_18/sr_greenhouse_gas_emissions_el.pdf?utm_source=chatgpt.com

TN χρησιμοποιούν πιθανοτικές διαδικασίες, από τις οποίες ορίζονται τα αποτελέσματα εξόδου. Όπως έχει αναφερθεί, τόσο στην αλγοριθμική τέχνη όσο και στην αρχιτεκτονική που έχει επηρεαστεί από τις θεωρίες του Deleuze και τις εξελικτικές διαδικασίες, δεν μπορεί να υπάρξει μια μοναδική ιδανική λύση στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Τα αποτελέσματα εξόδου που λαμβάνουμε από εφαρμογές παραγωγικού σχεδιασμού είναι ελάχιστα σε σχέση με το ευρύτερο σύνολο των άπειρων παραλλαγών που μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα αρχιτεκτονικό πρόβλημα.

- **Δεν λαμβάνονται υπόψιν όλες οι παράμετροι.** Κάποια από τα παραπάνω μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν, μας οδηγούν έμμεσα σε αυτό που πρόκειται να αναλυθεί: προς το παρόν, με την περιορισμένη τεχνητή νοημοσύνη να κινεί τα νήματα στον παραγωγικό σχεδιασμό, είναι αδύνατον να ληφθούν υπόψιν όλες οι παράμετροι ενός αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, ενός αρχιτεκτονικού προβλήματος. Επομένως, αυτό μας οδηγεί και πάλι στο προηγούμενο ερώτημα: πως μπορεί μια λύση, η οποία έχει προκύψει χρησιμοποιώντας αυτά τα τεχνολογικά εργαλεία, να θεωρείται ιδανική ή έστω κατάλληλη; Όσο βρισκόμαστε ακόμη στο στάδιο της Περιορισμένης TN και όχι της Γενικής TN ή της Υπερνοημοσύνης, την

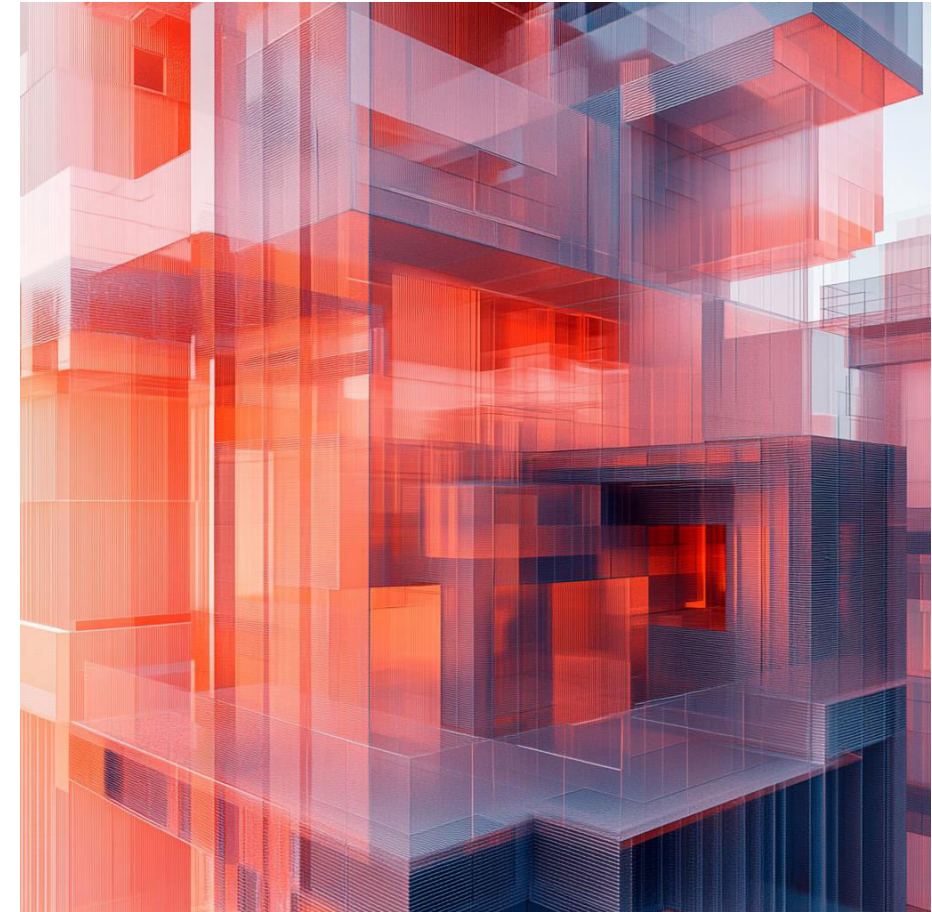
απάντηση σε αυτό το ερώτημα μπορεί να την δίνει αποκλειστικά και μόνο ο άνθρωπος-αρχιτέκτονας.

- **Ασυμβατότητα μορφών αρχείων.** Πολλές εφαρμογές παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης παρέχουν ως έξοδο εικόνες, που αποτελούνται από pixels, όπου συνήθως δεν είναι συμβατές για περαιτέρω επεξεργασία ή προσαρμογή, καθώς οι αρχιτέκτονες συνήθως εργάζονται με προγράμματα που στηρίζονται σε vectors.

- **Απώλεια θέσεων εργασίας σε συγκεκριμένους τομείς.** Είναι γεγονός πως παρά το ότι βρισκόμαστε ακόμη στο στάδιο της περιορισμένης TN, ορισμένες θέσεις εργασίας σε συγκεκριμένους τομείς μπορεί να αντικατασταθούν από την TN ή την παραγωγική TN, ή έχουν ήδη αντικατασταθεί. Επαγγέλματα όπως οι μεταφραστές, οι διερμηνείς, οι ηθοποιοί μεταγλωττίσεων, έχουν ήδη αρχίσει να αντικαθίστανται σε ένα βαθμό από την παραγωγική TN, εδώ και κάποιο καιρό. Στον χώρο της αρχιτεκτονικής ωστόσο, χρησιμοποιείται ακόμη για βελτίωση ή διευκόλυνση συγκεκριμένων διαδικασιών ή και διερεύνηση. Όμως όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν βρίσκεται ακόμη σε ώριμο στάδιο και σίγουρα δεν λαμβάνονται υπόψιν πολλές παράμετροι, ώστε να μπορεί να δημιουργήσει αυτόνομα αρχιτεκτονική. Και πάλι αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι

στο χώρο της αρχιτεκτονικής, όσο δεν έχει επιτευχθεί η γενική TN, ως TN ανώτερη του ανθρώπου, δεν είναι δυνατόν να

αντικατασταθεί πλήρως ο ρόλος των αρχιτεκτόνων.



Εικόνα 39: Εικόνα AI-Generated, Midjourney



4. Εφαρμογές της Παραγωγικής ΤΝ στον τομέα της Αρχιτεκτονικής

Καθώς η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη συνεχίζει να εξελίσσεται, όλο και περισσότερα αρχιτεκτονικά γραφεία την ενσωματώνουν στις διαδικασίες σχεδιασμού τους, αξιοποιώντας τις δυνατότητές της για τη δημιουργία καινοτόμων και αποδοτικών λύσεων. Από τη γρήγορη παραγωγή εναλλακτικών σχεδίων έως την ανάλυση πολύπλοκων δεδομένων, η τεχνολογία αυτή επηρεάζει ριζικά τη σύγχρονη αρχιτεκτονική πρακτική. Φυσικά, όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, ότι αυτή η σταδιακή ενσωμάτωση του παραγωγικού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική πρακτική είναι μόνο κάποιες πρωτόλειες προσεγγίσεις και πειραματισμοί προς αυτήν την κατεύθυνση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παραδείγματα γραφείων που αξιοποιούν την ΤΝ, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους τη χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν τη δημιουργικότητα, την ακρίβεια και την αποδοτικότητα των έργων τους.

4.1. MVRDV

Το αρχιτεκτονικό γραφείο MVRDV με έδρα το Ρότερνταμ, είναι γνωστό για την καινοτομία του πάνω στη χρήση της τεχνολογίας και των προηγμένων ψηφιακών εργαλείων στον τομέα της αρχιτεκτονικής, με παραδείγματα όπως το MetaCity/DataTown που πρόκειται για «τοπία δεδομένων / datascapes», το RoofScape για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης των δωμάτων σε κτίσματα των πόλεων και το CarbonScape για την αξιολόγηση του αποτυπώματος άνθρακα ή της απόδοσης βιωσιμότητας των κτιρίων. Για περαιτέρω διερεύνηση αυτών

των ψηφιακών εργαλείων δημιουργήθηκε και μια ομάδα εμπειρογνομόνων αποκαλούμενη ως MVRDV NEXT (New EXperimental Technologies). Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό γραφείο έχει ήδη ασχοληθεί με projects που ενσωματώνουν την τεχνολογία στην αρχιτεκτονική και τον αστικό σχεδιασμό, αποτελεί λογική εξέλιξη η ενασχόληση του με δημιουργικές προσεγγίσεις και πειραματισμούς για την ένταξη της τεχνητής νοημοσύνης στο σχεδιασμό.⁹³

Ο Fredy Fortich, αρχιτέκτονας και AI specialist του γραφείου MVRDV, υποστηρίζει ότι η χρήση εργαλείων

⁹³ <https://www.mvrdv.com/stack-magazine/4425/leo-stuckardt-mvrdv-next-data-ai-metaverse-technology> (Πρόσβαση 5/1/25)



Εικόνα 40: Χρήση διαγραμματικών μακετών για δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων

τεχνητής νοημοσύνης μειώνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για μια εργασία σε σύγκριση με τα συμβατικά μέσα σχεδίασης.

Το αρχιτεκτονικό γραφείο κατά τη διάρκεια σχεδίασης χρησιμοποιεί τα λογισμικά Midjourney και Stable Diffusion. Στην πρώτη φάση υλοποίησης ενός έργου, ύστερα από την επικοινωνία με τον κύριο του έργου, γίνεται χρήση των συγκεκριμένων λογισμικών για διερεύνηση ιδεών, οι οποίες στη συνέχεια τροποποιούνται. Για τις μελέτες κατασκευάζονται και διαγραμματικές μακέτες, οι οποίες στη συνέχεια εισάγονται

στα λογισμικά Midjourney και Stable Diffusion και πραγματοποιείται πειραματισμός μέσω επικαλύψεων διαφορετικών τύπων προσόψεων, από όπου προκύπτουν φωτορεαλιστικές απεικονίσεις της συγκεκριμένης ιδέας. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να μελετηθούν εναλλακτικές συνθετικές ιδέες, υλικά, όψεις και χωρικές οργανώσεις, με ταχύτερο ρυθμό από ότι θα γινόταν χωρίς τη χρήση αυτών των λογισμικών. Σύμφωνα με τον Cas Esbach, project leader των MVRDV, αυτό δίνει τη ευκαιρία στους αρχιτέκτονες του γραφείου να επικεντρωθούν στο δημιουργικό κομμάτι του σχεδιασμού και να

μην αναλώνεται χρόνος σε επαναλαμβανόμενες διαδικασίες.⁹⁴

Ωστόσο, σημαντικό ζήτημα το οποίο προκύπτει είναι αυτό των πνευματικών δικαιωμάτων, καθώς πολλά λογισμικά παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης, αντλούν πληροφορίες και εικόνες από το διαδίκτυο (webscraping) και δεν είναι σαφές κατά πόσο η παραγωγή νέων εικόνων από τέτοιες βάσεις δεδομένων παραβιάζουν τους ηθικούς περιορισμούς. Η επίλυση σε αυτό το ζήτημα, όπως περιγράφεται από τον Fredy Fortich, είναι η χρήση λογισμικών που αντλούν πληροφορίες από συγκεκριμένα σύνολα δεδομένων –

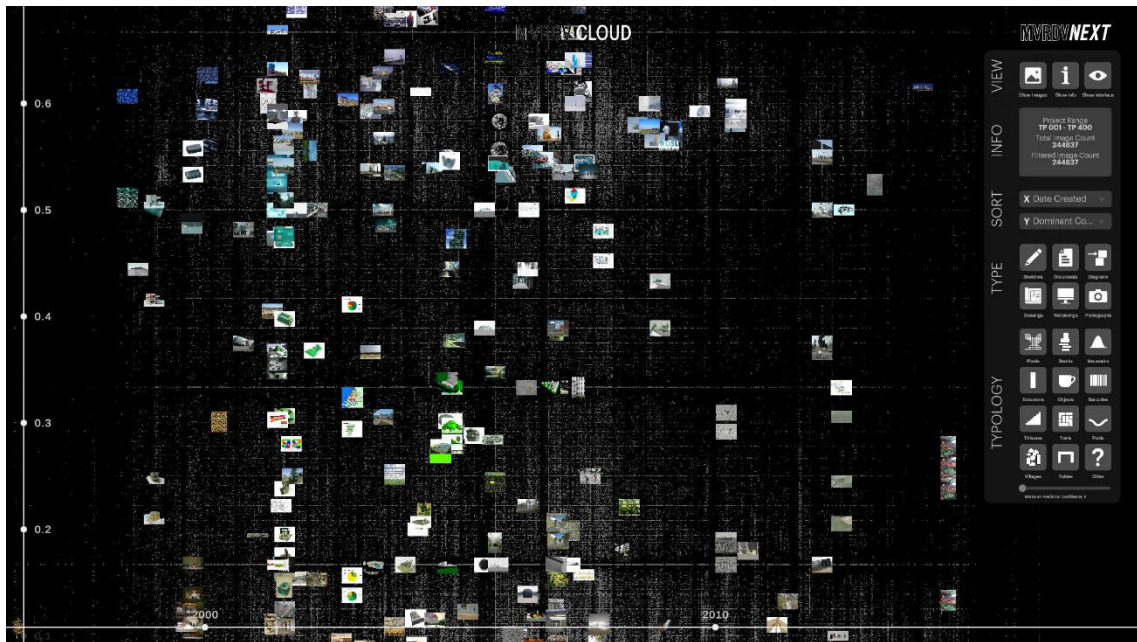
datasets. Έτσι, το γραφείο έχει αναπτύξει δική του βάση δεδομένων, μέσα στην οποία ανήκουν εικόνες με πνευματικά δικαιώματα των MVRDV, χρησιμοποιώντας τη για να εκπαιδεύσουν μοντέλα TN στην παραγωγή νέων εικόνων.

Η παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται από το γραφείο με τη χρήση μοντέλων TN είναι: brainstorming, έρευνα και προσαρμογή, AI rendering. Το Midjourney χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο του brainstorming και δοκιμάζονται παραλλαγές



Εικόνα 41: Προσθήκη υλικότητας και τροποποιήσεις σε φωτορεαλιστική απεικόνιση με τη χρήση των μοντέλων Stable Diffusion και Control Net

⁹⁴ AI-Driven Design Practice – Stable Diffusion in Architecture (Cas Esbach / MVRDV) https://www.youtube.com/watch?v=FCKhn42cxHk&ab_channel=ParametricArchitecture



Εικόνα 42: Το MVRDV Cloud, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της έκθεσης MVRDVHNI το 2021, χρησιμοποιεί computer vision και την metadata analytics για να χαρτογραφήσει το περιεχόμενο του ψηφιακού αρχείου των MVRDV για να παράγει νέες προοπτικές και να υποστηρίξει την ανάπτυξη μελλοντικών έργων των MVRDV.

και στο Stable Diffusion, συχνά εισάγοντας φωτογραφίες διαγραμματικών μακετών. Στη συνέχεια με διάφορες ενσωματώσεις (embeddings) στα AI μοντέλα ρυθμίζεται η γραφιστική απόδοση και λεπτομέρειες που βοηθούν την τελική εικόνα να συμβαδίζει με το γενικότερο αρχιτεκτονικό ύφος του γραφείου. Μια από τις ενσωματώσεις που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος LoRA training (Low-Rank Adaptation of Large Language Models) και βοηθάει στην καλύτερη προσαρμογή και τελειοποίηση

των εικόνων που παράγονται από τα AI μοντέλα, αλλάζοντας μόνο συγκεκριμένα επιθυμητά σημεία στην εικόνα και όχι ολόκληρη την εικόνα. Τέλος, για το rendering χρησιμοποιούνται Stable Diffusion και Control Net. Παράγεται η αρχική μορφή του render χωρίς υλικότητες (clay render) και με το Control Net διατηρείται η γεωμετρία και προστίθενται πάνω στις επιφάνειες υλικά ή μεταβάλλεται η γραφιστική απόδοση. Είναι εφικτό μέσα από το Control Net να ρυθμιστεί το denoising strength, δηλαδή το

κατά πόσο αυξάνεται ή μειώνεται η «δημιουργικότητα» που επηρεάζει το render, ώστε να διατηρείται το ρεαλιστικό ύφος της απεικόνισης.⁹⁵

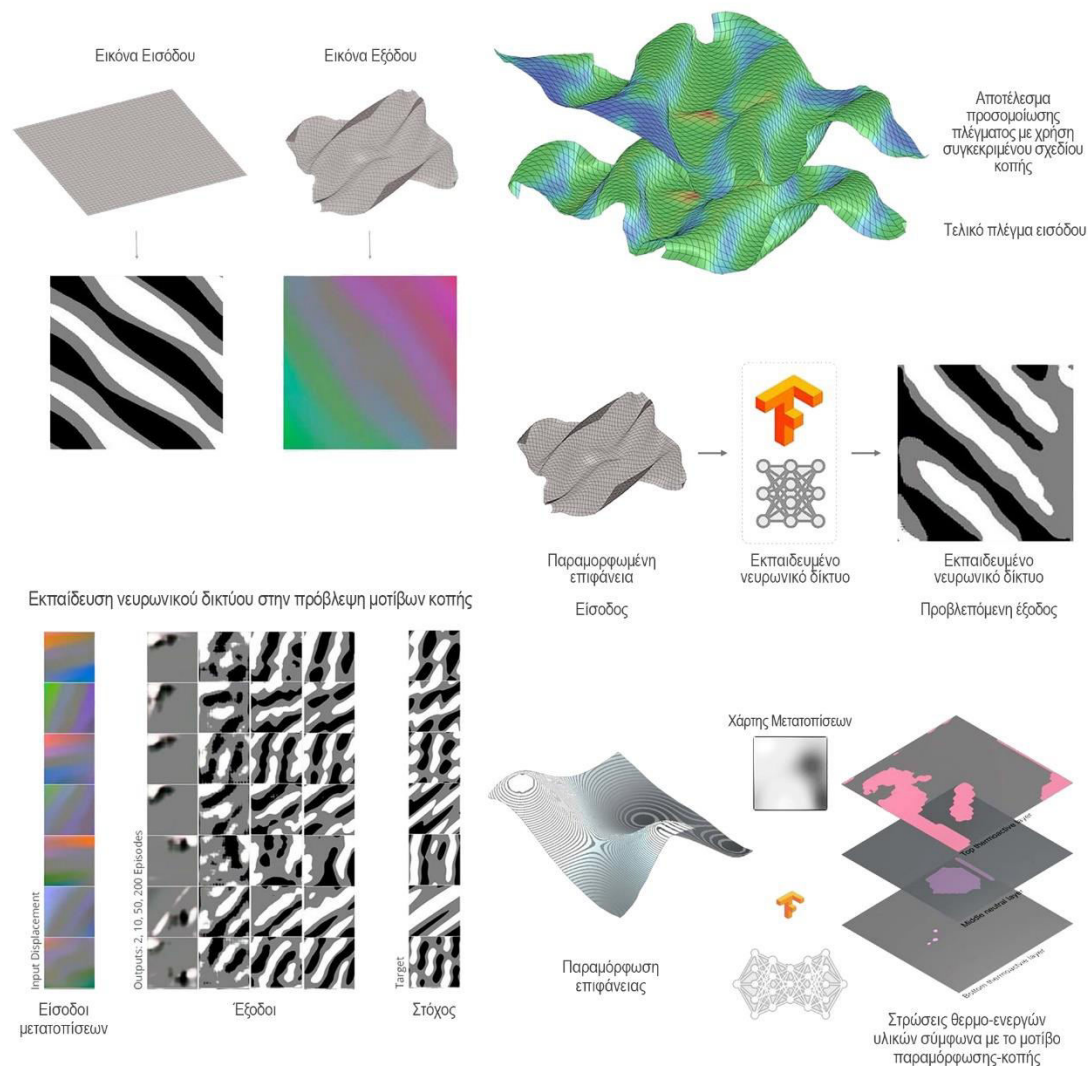
4.2. Foster & Partners

Το αρχιτεκτονικό γραφείο Foster+Partners είναι ένα ακόμη από τα γραφεία, που με την ομάδα ARD (Applied Research and Development), επικεντρώνεται στην έρευνα και την ανάπτυξη εφαρμοσμένων τεχνολογιών, όπως η μηχανική μάθηση, για την ενσωμάτωσή τους στον σχεδιασμό και την κατασκευή. Η ομάδα αυτή εξετάζει νέες και καινοτόμες προσεγγίσεις που ενισχύουν τη διαδικασία σχεδιασμού, με στόχο τη βελτίωση των αποτελεσμάτων και της αποδοτικότητας του αρχιτεκτονικού έργου.⁹⁶ Πιο αναλυτικά, μια από τις δύο περιπτώσεις για τις οποίες χρησιμοποιούν μοντέλα μηχανικής μάθησης, συγκεκριμένα GANs, με την αφορμή ενός ερευνητικού project σε συνεργασία με την Autodesk, είναι για την διερεύνηση αυτοπαραμορφούμενων προσόψεων μέσω της προσομοίωσης παραμορφώσεων θερμο-ενεργών ελασμάτων. Χάρη στα εργαλεία μηχανικής μάθησης και στα νέα υλικά, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας

σύνθετων σχημάτων που βασίζονται σε φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες με σκοπό μια προσαρμοστική, παθητικά ενεργοποιούμενη πρόσοψη βασισμένη στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα χωρίς την ανάγκη μηχανικής ή ηλεκτρικής ενεργοποίησης. Το αρχιτεκτονικό γραφείο αντιμετώπισε δυσκολίες στη διαχείριση και βελτιστοποίηση πολύπλοκων γεωμετρικών μορφών και σχεδιαστικών διαδικασιών, που απαιτούσαν μεγάλους υπολογιστικούς πόρους και χρόνο. Αναπτύχθηκε ένα παραμετρικό μοντέλο που δημιουργούσε έναν αριθμό ελασμάτων και προσομοίωνε την παραμόρφωσή τους. Στη συνέχεια, το σύνολο των δεδομένων παραμορφώσεων που είχαν δημιουργηθεί χρησιμοποιήθηκαν από ένα GAN, ώστε να μάθει να προβλέπει τα σωστά μοτίβα παραμόρφωσης των επιφανειών. Η χρήση μοντέλων μηχανικής μάθησης, όπως τα GANs, επιλέχθηκε για να αυτοματοποιήσει και να επιταχύνει αυτές τις διαδικασίες, προσφέροντας προσεγγίσεις που συνδυάζουν την καινοτομία με την αποδοτικότητα. Έτσι, ενώ με παραδοσιακές μεθόδους απαιτούνται επαναλαμβανόμενες δοκιμές (trial-and-error) για τον προσδιορισμό των

⁹⁵ ό.π.

⁹⁶ <https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/towards-artificial-intelligence-in-architecture-how-machine-learning-can-change-the-way-we-approach-design> (Πρόσβαση 5/1/25)



Εικόνα 43: Στάδια σχεδιασμού παραμορφώσεων θερμο-ενεργών ελασμάτων με τη χρήση GAN, Foster+Partners

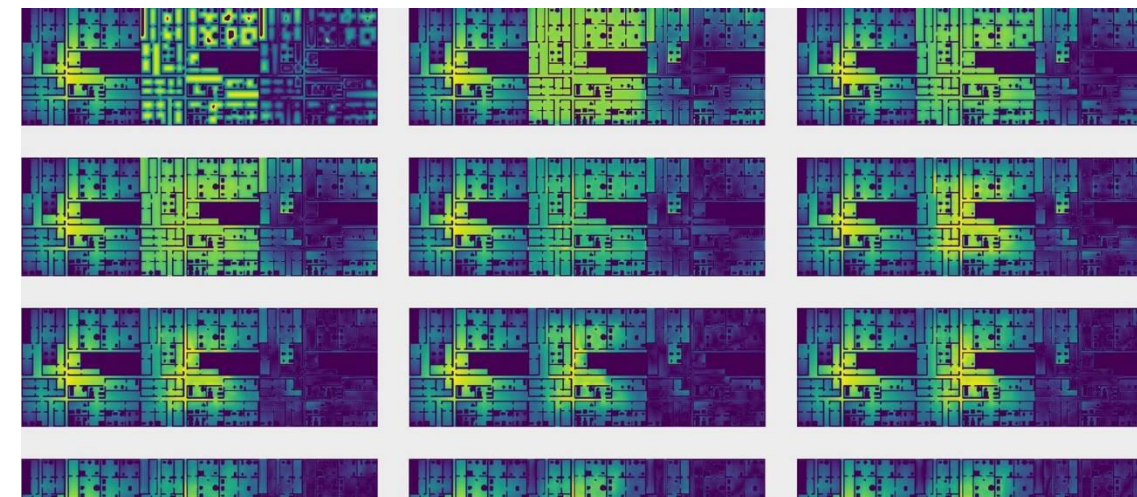
κατάλληλων υλικών και γεωμετρικών μοτίβων που οδηγούν στην επιθυμητή παραμόρφωση, με τη χρήση GANs αυτοματοποιείται η πρόβλεψη των ιδιοτήτων των υλικών και των γεωμετρικών διατάξεων.⁹⁷

Η δεύτερη περίπτωση, όπου επιλέχθηκε η μηχανική μάθηση είναι για τη δημιουργία διαγραμμάτων οπτικής και χωρικής συνδεσιμότητας σε επίπεδο κατόψεων, εργασία την οποία συνηθίζει να κάνει το

αρχιτεκτονικό γραφείο και χωρίς τη βοήθεια εργαλείων TN, αποτελεί μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία.⁹⁸

4.3. Coop Himmelb(l)au – Deep Himmelblau

Το αρχιτεκτονικό γραφείο Coop Himmelb(l)au με επικεφαλής τον Wolf Prix και έδρα τη Βιέννη, πειραματίζεται με τις δυνατότητες που προσφέρουν τα εργαλεία

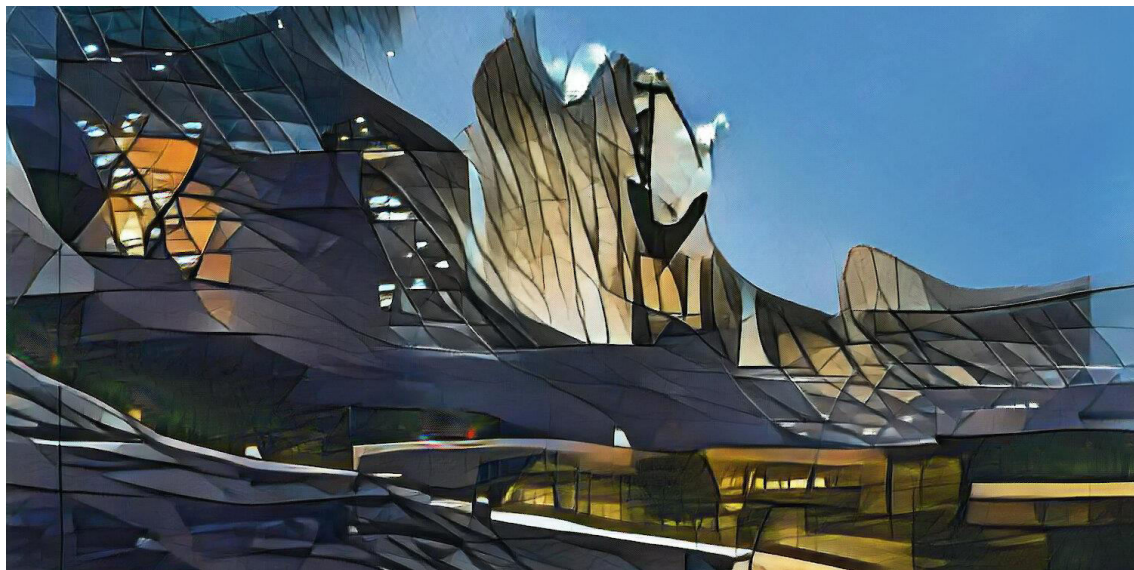


Εικόνα 44: Διαγράμματα οπτικής και χωρικής συνδεσιμότητας κατόψεων κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του GAN (από αριστερά προς τα δεξιά), Foster+Partners

⁹⁷ Abdel-Rahman, A., Kosicki, M., Michalatos, P., Tsigkari, M., “Design of thermally deformable laminates using machine learning”, *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications*, Taylor & Francis Group, London, 2019, σελ. 1016–1021

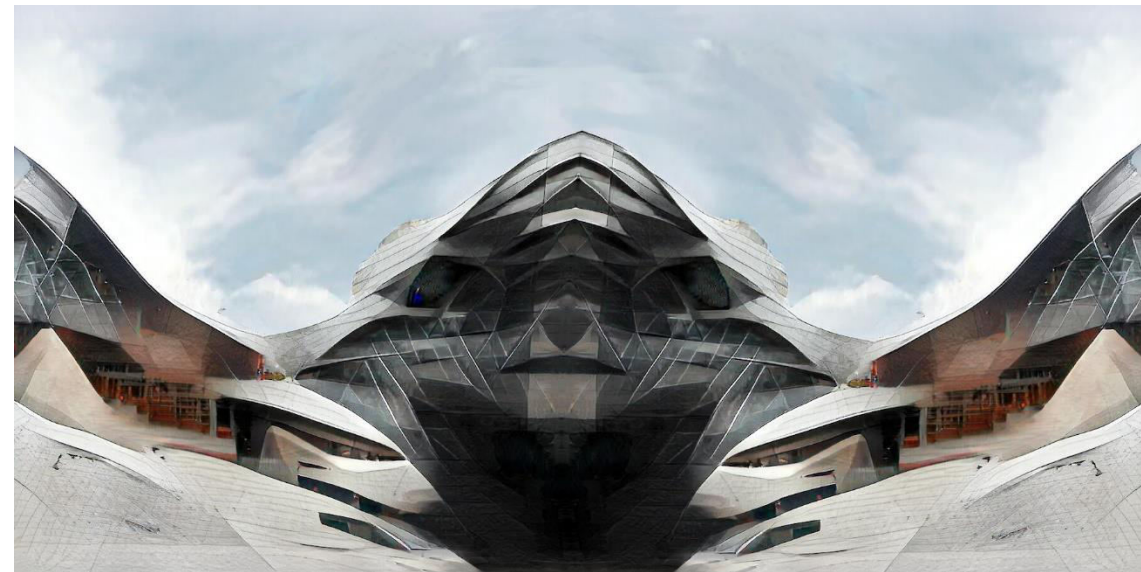
⁹⁸ <https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/towards-artificial-intelligence-in-architecture-how-machine-learning-can-change-the-way-we-approach-design> (Πρόσβαση 5/1/25)

TN, μέσα στο πλαίσιο του έργου “Deer Himmelblau”. Το έργο αυτό είναι μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν CycleGANs και άλλες μορφές GANs, για την παραγωγή πιθανών μορφών νέων κτηρίων. Τα CycleGANs λειτουργούν με δύο διαφορετικά μη συνδεδεμένα σύνολα δεδομένων (unpaired datasets). Στην περίπτωση του Deer Himmelblau, το πρώτο dataset βασίζεται σε εικόνες διάφορων γεωμορφολογικών σχηματισμών, ενώ το δεύτερο βασίζεται σε έργα που έχουν υλοποιηθεί από το αρχιτεκτονικό γραφείο Coop Himmelb(l)au. Το αποτέλεσμα που προκύπτει ως έξοδος



Εικόνα 45: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deer Himmelblau, Coop Himmelb(l)au

είναι ένα βίντεο ενός «φανταστικού τοπίου» που προκύπτει από κτηριακές μορφές εμπνευσμένες από την αρχιτεκτονική του γραφείου. Πιο απλά, έχει δημιουργηθεί βάση δεδομένων με όλα τα αρχιτεκτονικά έργα του γραφείου, από την οποία αντλούνται οι πληροφορίες για την παραγωγή νέων εικόνων και μορφών. Οι μορφές που προκύπτουν από την παραγωγή αυτών των βίντεο φαίνεται να είναι συνεχώς εναλλασσόμενες, ρευστές, αφηρημένες. Αυτό που εκμεταλλεύεται το Deer Himmelblau είναι η δημιουργία νέων αρχιτεκτονικών μορφών μέσα από το χαρακτηριστικό των GANs να δημιουργεί τις



Εικόνα 46: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deer Himmelblau, Coop Himmelb(l)au

ψευδαισθήσεις (hallucinations), όπως έχουν αναφερθεί και σε παραπάνω κεφάλαιο. Ωστόσο, αυτό που αναφέρεται μέσα από τη συγκεκριμένη χρήση των GANs, είναι ότι οι παραγόμενες εικόνες που προέρχονται από το βίντεο, είναι απλώς δισδιάστατες εικόνες. Εκφράζεται ότι για μια πιο ολιστική προσέγγιση είναι απαραίτητη η μετάβαση σε επεξεργασία τρισδιάστατων μορφών με εργαλεία TN.⁹⁹ Έτσι, το αρχιτεκτονικό γραφείο έχει πειραματιστεί και σε αυτό το κομμάτι,

χρησιμοποιώντας εφαρμογές βασισμένες στη λογική της επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Σε αυτήν την περίπτωση, με τη χρήση εξοπλισμού εισάγεται σε πραγματικό χρόνο οπτικό υλικό από φυσικές μακέτες και μέσα από την εφαρμογή εξάγονται προτεινόμενες όψεις βασισμένες στην γεωμετρία της μακέτας.¹⁰⁰

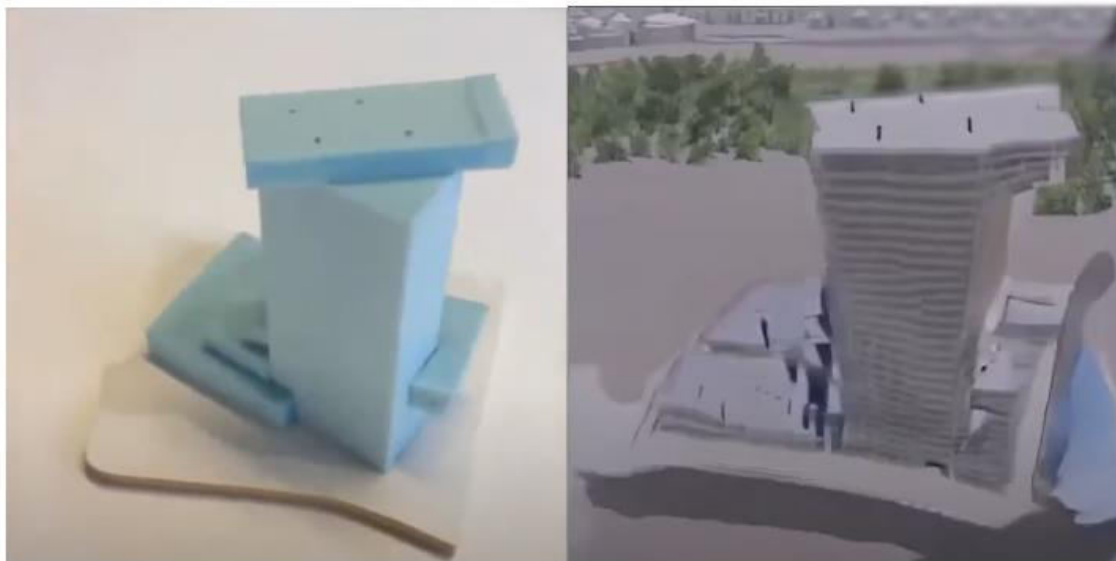
Παρά την προσπάθεια ενσωμάτωσης εφαρμογών TN στην αρχιτεκτονική πρακτική, ο Wolf Prix δεν διστάζει να

⁹⁹ Leach, Neil, Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects, Bloomsbury Visual Arts, 2022, σελ. 101-105

¹⁰⁰ <https://coop-himmelblau.at/method/deep-himmelblau/> (Πρόσβαση 5/1/25)

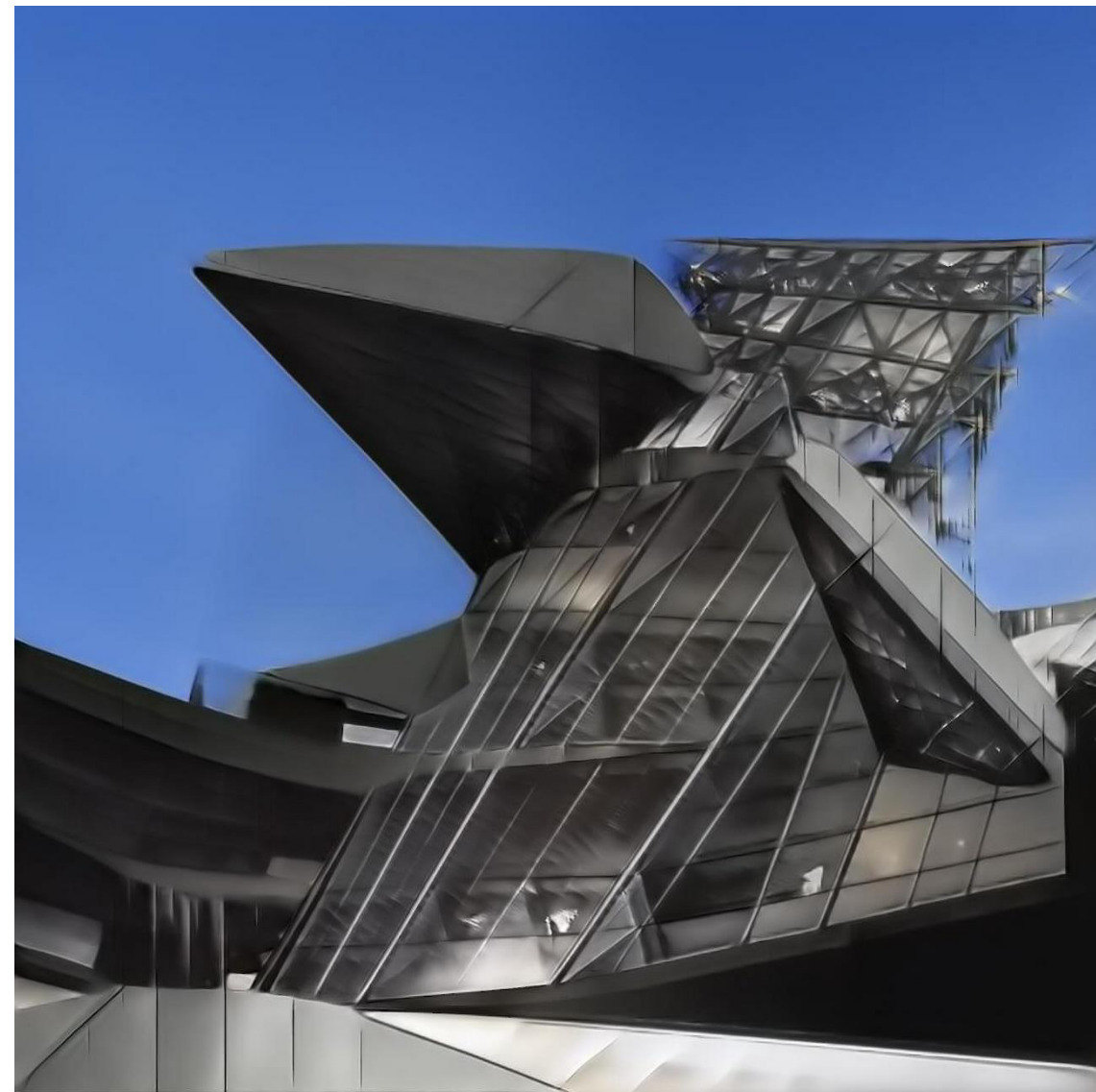
εκφράσει τις επιθυμίες του για αυτές τις εφαρμογές. Αναγνωρίζει ότι η ΤΝ μπορεί να παρέχει σημαντικές δυνατότητες στην αρχιτεκτονική δημιουργία και να βελτιστοποιήσει το έργο του αρχιτέκτονα, όμως υποστηρίζει πως η χρήσης της ΤΝ ενδέχεται επηρεάσει αρνητικά το έργο και τον τρόπο σκέψης του αρχιτέκτονα. Ο Prix σε μια γενικότερη στάση, τάσσεται υπέρ της χρήσης των τεχνολογικών μέσων στην αρχιτεκτονική διαδικασία, αλλά στην περίπτωση της ΤΝ προτείνει την κριτική της

χρήση και υποστηρίζει ότι ο αρχιτέκτονας είναι αυτός που πρέπει να ηγείται της διαδικασίας και να καθορίζει όλα της τα στάδια. Αναφέρει χαρακτηριστικά πως «ο αρχιτέκτονας οφείλει να παραμένει στο μπροστινό κάθισμα και η ΤΝ στο πίσω».¹⁰¹



Εικόνα 47: Χρήση διαγραμματικής μακέτας ως είσοδο για τον πειραματισμό όψεων ως έξοδο σε πραγματικό χρόνο με εργαλεία ΤΝ, Coop Himmelb(l)au

¹⁰¹ Leach, Neil, Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects, Bloomsbury Visual Arts, 2022, σελ. 101-105



Εικόνα 48: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deep Himmelblau, Coop Himmelb(l)au

4.4. Zaha Hadid Architects (Patrik Schumacher, Tim Fu, Refik Anadol)

Patrik Schumacher

Σε αντίθεση με άλλους αρχιτέκτονες, ο επικεφαλής του γραφείου Zaha Hadid Architects (ZHA), Patrik Schumacher, δεν επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τα εργαλεία που παρέχει η TN για την επιτάχυνση της σχεδιαστικής διαδικασίας και τη βελτιστοποίηση των συμβατικών μεθόδων σχεδίασης. Σε μια διαφορετική αρχιτεκτονική προσέγγιση, ο Schumacher ενδιαφέρεται περισσότερο στο πως η οργάνωση του χώρου επηρεάζει την κοινωνική συμπεριφορά και το αντίστροφο και στο πως η TN μπορεί να συμβάλλει σε αυτήν την έρευνα. Σε αυτήν την εναλλακτική εφαρμογή της TN, που προέκυψε μέσα από τη διδακτορική έρευνα του Daniel Bolojan με την καθοδήγηση του Patrik Schumacher (Parametric Semiology Study – 2017), χρησιμοποιούνται τεχνητοί πράκτορες (agents), που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των ανθρώπων μέσα σε έναν χώρο, ώστε να κατανοηθεί το πώς οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις επηρεάζονται από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Πιστεύει πως οι χώροι δεν είναι απλώς φυσικά όρια, αλλά περιέχουν σημασιολογικές πληροφορίες (semiology) που επηρεάζουν

τη συμπεριφορά των ανθρώπων. Οι πράκτορες σε αυτές τις προσομοιώσεις έχουν τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται σε κοινωνικούς κώδικες και ιεραρχίες (πχ. Ιεραρχίες μέσα σε ένα εταιρικό περιβάλλον). Η έρευνα αυτή, αντί να βασίζεται σε βίντεο καταγραφής της ανθρώπινης συμπεριφοράς (ζητήματα ιδιωτικότητας), χρησιμοποιεί υπολογιστικά μοντέλα για προσομοίωση κοινωνικών σεναρίων και εναλλακτικών χωρικών οργανώσεων.¹⁰²

Tim Fu

Ο αρχιτέκτονας Tim Fu στο αρχιτεκτονικό γραφείο Zaha Hadid Architects στο Λονδίνο (2021-2023), εξειδικεύεται στον αλγοριθμικό σχεδιασμό και την έρευνα πάνω στην TN, στην ομάδα υπολογιστικής έρευνας ZHACODE. Για τα έργα του χρησιμοποιεί Midjourney, DALL-E 2, LookX και Stable Diffusion. Σε πρώτο στάδιο, κατά την εργασία του στο αρχιτεκτονικό γραφείο ήταν ένας από τους αρχιτέκτονες που ήταν υπεύθυνος για τον εξορθολογισμό και την τροποποίηση των όψεων, παραμετρικό σχεδιασμό και χρησιμοποιούσε προγράμματα όπως το Maya, το Grasshopper αλλά και προγραμματισμό,

αλγοριθμικό σχεδιασμό σε διάφορες φάσεις του σχεδιασμού. Το 2022 ξεκίνησε να εστιάζει στη μελέτη των δυνατοτήτων εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Αυτό που προσπάθησε να κάνει χρησιμοποιώντας μοντέλα TN, όπως το Midjourney, είναι να διερευνήσει κατά πόσο μπορεί να προσανατολίσει τα τελικά αποτελέσματα που παράγουν, έτσι ώστε να μπορούν να είναι υλοποιήσιμα και κατασκευάσιμα. Το 2023 αποχώρησε από το γραφείο ZHA και

ίδρυσε το δικό του γραφείο Tim Fu Studio, όπου προσπαθεί να εντάξει σε μεγάλο βαθμό την TN στη σχεδιαστική του διαδικασία, καθώς και να ενσωματώσει την TN σε BIM.¹⁰³

Refik Anadol

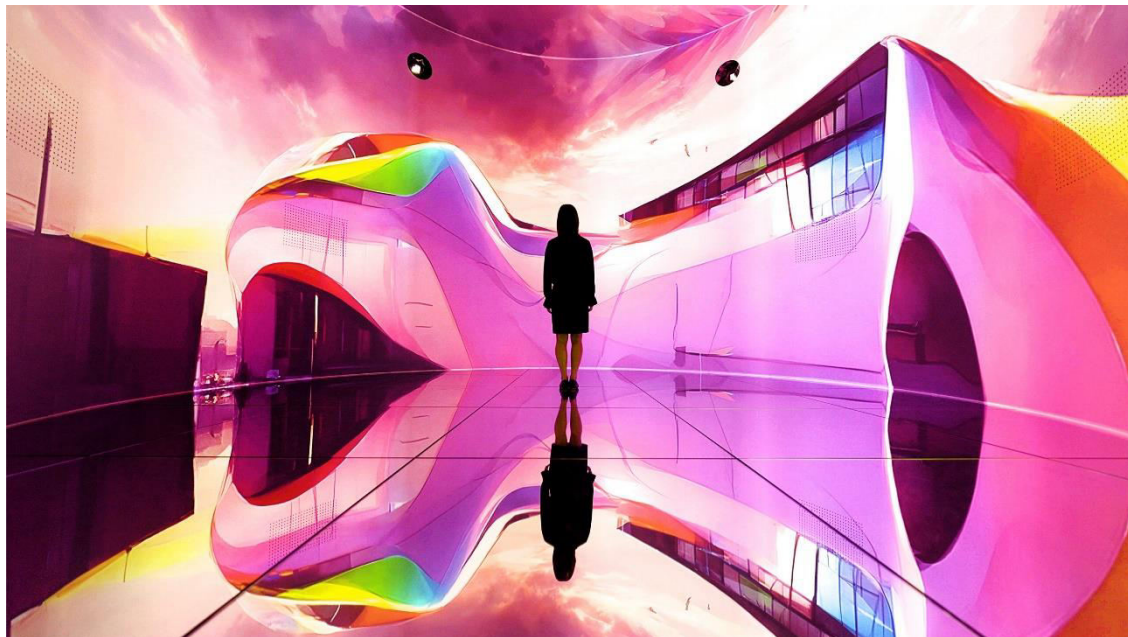
Το 2022 με συνεργασία του Patrik Schumacher (ZHA) και του καλλιτέχνη Refik Anadol (Refik Anadol Studio), δημιουργήθηκε η καλλιτεχνική έκθεση



Εικόνα 49: Εγκατάσταση Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα

¹⁰² Leach, Neil, Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects, Bloomsbury Visual Arts, 2022, σελ. 108-110

¹⁰³ <https://timfu.com/stf-labs/> (Πρόσβαση 5/1/25)



Εικόνα 50: Εγκατάσταση Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα

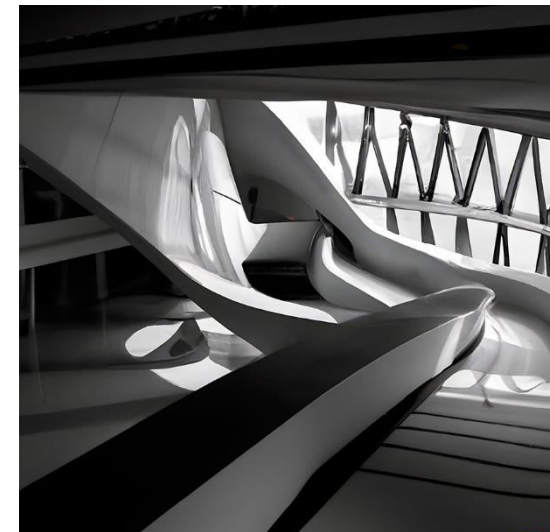
“Meta Horizons: The Future Now” που συμπεριλαμβάνει την εγκατάσταση “Architecting the Metaverse” ανάμεσα σε άλλα έργα που έχουν δημιουργηθεί με εργαλεία μηχανικής μάθησης. Πρόκειται για μια έκθεση που απεικονίζει ολόκληρη τη βάση δεδομένων αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης στο έργο του γραφείου ZHA. Η παραγωγή όλων των έργων και η εγκατάσταση που έχει προκύψει, βασίζεται στο σύνολο δεδομένων της αρχιτεκτονικής

του γραφείου. Η ανάλυση και επεξεργασία των εικόνων και του κώδικα έγινε με τη χρήση πολλαπλών αλγοριθμικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης. Τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων προβάλλονται στους κατοπτρικούς τοίχους του “Architecting Metaverse”, μιας δομής Infinity Room που σχεδιάστηκε ειδικά για την έκθεση.¹⁰⁴ Για τη δημιουργία της έκθεσης έχει χρησιμοποιηθεί και το DALL-E 2 της OpenAI.¹⁰⁵

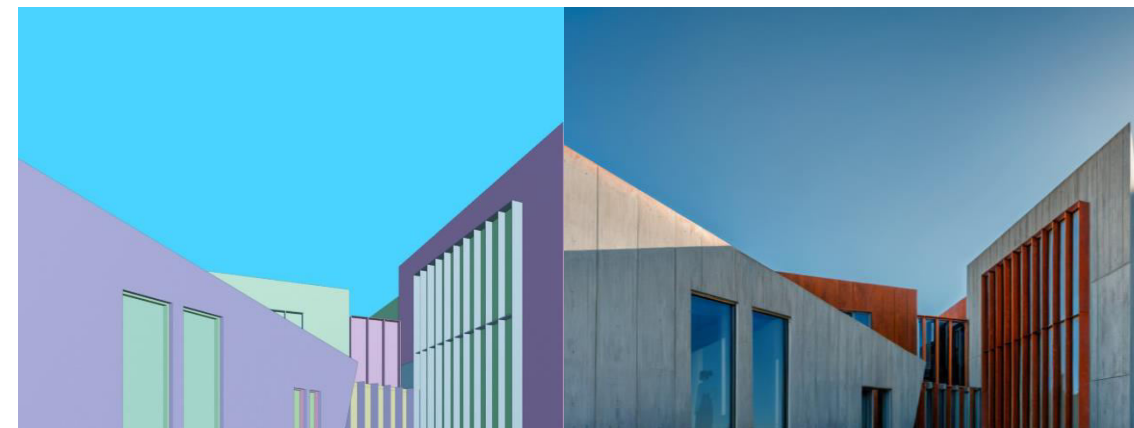
¹⁰⁴ <https://refikanadolstudio.com/projects/architecting-the-metaverse/> (Πρόσβαση 5/1/25)

¹⁰⁵ <https://www.zaha-hadid.com/design/architecting-the-metaverse/> (Πρόσβαση 5/1/25)

Μια ακόμα πλατφόρμα που χρησιμοποιεί μοντέλα AI, η οποία χρησιμοποιείται από το γραφείο ZHA είναι το Gendo. Το Gendo AI πέρα από την παραγωγή εικόνας από κείμενο, δίνει τη δυνατότητα μετατροπής σκίτσων σε φωτορεαλιστικές απεικονίσεις – render, επιλογή υλικών αλλά και γραφιστικής απόδοσης. Γραφεία όπως το αρχιτεκτονικό γραφείο David Chipperfield Architects και το KPF (Kohn Pedersen Fox Associates) ανήκουν στη λίστα χρηστών της συγκεκριμένης εφαρμογής.¹⁰⁶



Εικόνα 51: Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα



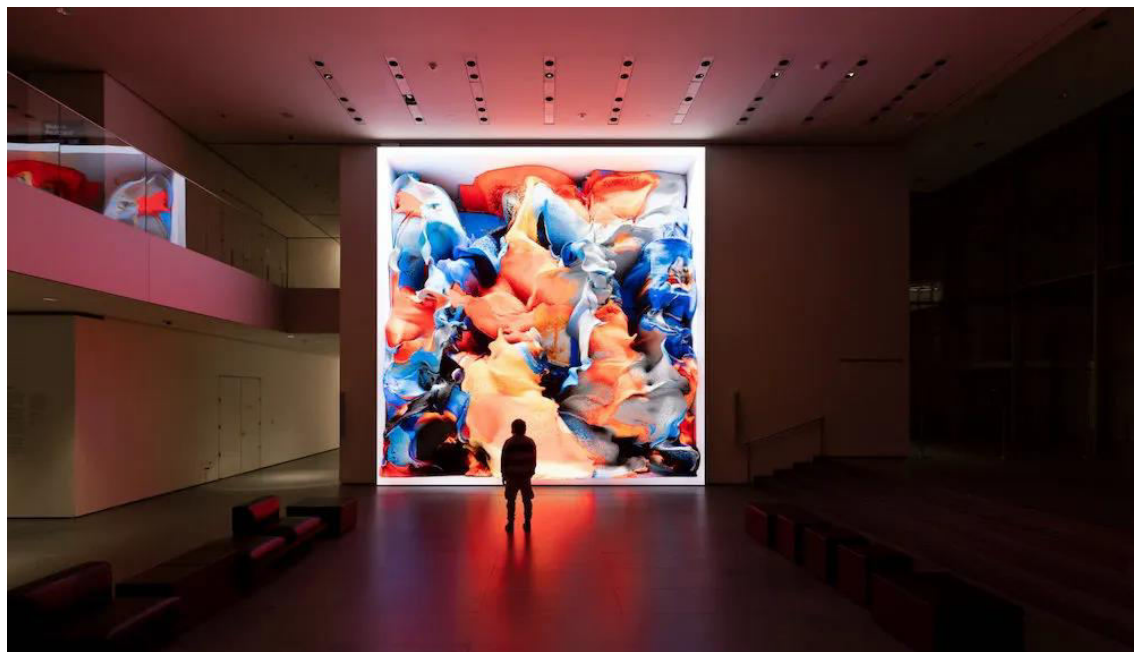
Εικόνα 52: Μετατροπή ψηφιακού τρισδιάστατου μοντέλου σε φωτορεαλιστική απεικόνιση με το Gendo AI

¹⁰⁶ <https://www.archdaily.com/1018474/how-gendos-generative-ai-platform-is-transforming-architectural-visualizations> (Πρόσβαση 17/1/25)

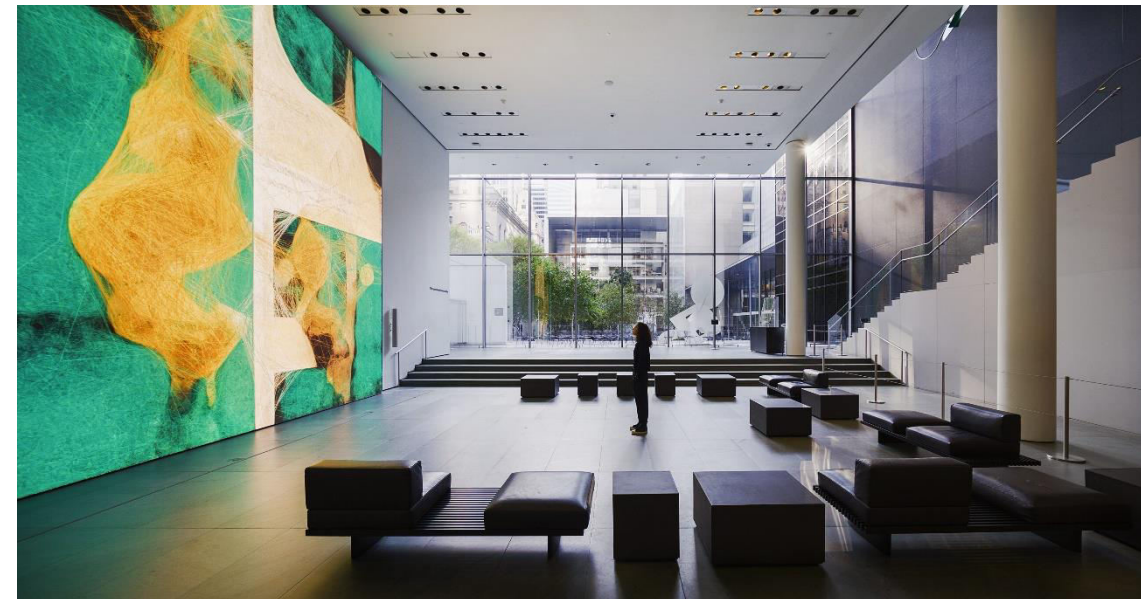
4.5. Άλλες Εφαρμογές: MoMA (Refik Anadol)

Μια από τις ενδιαφέρουσες εφαρμογές της ΤΝ στη σύγχρονη τέχνη αποτελεί η έκθεση-εγκατάσταση “Unsupervised – Machine Hallucinations” στο MoMA, από τον καλλιτέχνη Refik Anadol και την ομάδα του. Πρόκειται για μια καλλιτεχνική εγκατάσταση στο Gund Lobby του μουσείου, η οποία είναι ένα μεγάλης κλίμακας, live animation, που μεταβάλλεται σε πραγματικό χρόνο, με απρόβλεπτες και μη προκαθορισμένες οπτικοποιήσεις. Αυτό που καθιστά την

καλλιτεχνική εγκατάσταση ιδιαίτερη είναι το γεγονός ότι έχει δημιουργηθεί μέσω ενός λογισμικού ανοιχτού κώδικα και μοντέλων μηχανικής μάθησης. Με τη βοήθεια αυτού του λογισμικού (UMAP algorithm - Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction), αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων με όλα τα δημοσίως διαθέσιμα έργα τέχνης της συλλογής του MoMA σε μια μορφή σύνθετου χωρικού χάρτη. Με τη χρήση του μοντέλου μηχανικής μάθησης GAN (Generative Adversarial Network, NVIDIA StyleGAN 2



Εικόνα 53: Εγκατάσταση Unsupervised - Machine Hallucinations, MoMA, Gund Lobby



Εικόνα 54: Εγκατάσταση Unsupervised - Machine Hallucinations, MoMA, Gund Lobby

ADA with RAS Latent Space Browser), γίνεται περιήγηση σε αυτόν τον χωρικό χάρτη και με τη βοήθεια ενός προσαρμοσμένου λογισμικού rendering και ενός supercomputer (open-source software VVVV; Pytorch; and the NVIDIA DGX System), παράγονται νέες, διαρκώς μεταβαλλόμενες μορφές που έχουν προκύψει από το αρχείο συλλογής του ίδιου του μουσείου.^{107 108}

Έχοντας αναφέρει και αναλύσει τους ποικίλους τρόπους που χρησιμοποιούνται τα μοντέλα μηχανικής μάθησης στην αρχιτεκτονική, αλλά και στην καλλιτεχνική δημιουργία, παρατίθεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας με τις διαφορετικές εφαρμογές ΤΝ και τα χαρακτηριστικά τους, αλλά και τα αρχιτεκτονικά γραφεία – αρχιτέκτονες που τα χρησιμοποιούν. Συμπεριλαμβάνονται και κάποια επιπλέον αρχιτεκτονικά γραφεία, τα οποία δεν αναλύθηκαν παραπάνω.

¹⁰⁷ <https://www.moma.org/magazine/articles/821#fnref:3> (Πρόσβαση 5/1/25)

¹⁰⁸ <https://refikanadolstudio.com/projects/unsupervised-machine-hallucinations-moma/> (Πρόσβαση 5/1/25)

Όνομα Εφαρμογής	Μοντέλο Μηχανικής Μάθησης	Τύπος (πχ. txt2img)	Χρήσεις	Αρχιτεκτονικά Γραφεία
Midjourney	Diffusion models	Txt2img Img2txt Img2img	Renders, Διερεύνηση αρχικών ιδεών	ZHA MVRDV SaSi Studio Gray Pukсанд ZGF Architects Tim Fu
Stable Diffusion	Diffusion models	Txt2img Img2img	Renders, Διερεύνηση αρχικών ιδεών	ZHA MVRDV SaSi Studio ZGF Architects Tim Fu
DALL-E	Diffusion models	Txt2img Img2txt Img2img	Renders, Διερεύνηση αρχικών ιδεών	ZHA SaSi Studio ZGF Architects Tim Fu
ControlNet		Txt2img Img2img	Επιλεγμένες τροποποιήσεις σε υλικά, χρώματα, υφές	MVRDV
Gendo	Diffusion models	Txt2img Img2img	Renders, Τροποποίηση υλικών σε renders	ZHA David Chipperfield KPF Benoy
LookX AI	Diffusion models	Txt2img Img2img Txt2vid Img2vid Vid2vid	Renders, Διερεύνηση αρχικών ιδεών, Δημιουργία Video, Επεξεργασία εικόνας, Μετατροπή σκίτσου σε render σε πραγματικό χρόνο	Tim Fu
Finch3D	Graph-based	Plug-in Grasshopper, Rhino	Κατόψεις Διαγράμματα	Herzog & de Meuron White Arkitekter
Tripo3D		Txt2fbx, obj, etc Img2fbx, obj, etc	Τρισδιάστατα αρχεία, Μετατροπή μακέτας σε ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο	

Πίνακας 3: Εφαρμογές που βασίζονται σε μοντέλα μηχανικής μάθησης και οι χρήσεις τους από τα αρχιτεκτονικά γραφεία

4.6. Προσωπικοί πειραματισμοί

Σε αυτό το κεφάλαιο συγκεντρώνονται κάποιοι προσωπικοί πειραματισμοί που πραγματοποιήθηκαν μέσα από πλατφόρμες και εφαρμογές που χρησιμοποιούν μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης για την παραγωγή εικόνων, αλλά και τρισδιάστατων αρχείων. Στο πλαίσιο αυτών των πειραματισμών, έχει αξιοποιηθεί υλικό που προήλθε από εργασίες προηγούμενων ετών, κατά τη διάρκεια της φοίτησής της γράφουσας. Συγκεκριμένα, τα μοντέλα TN που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή νέου υλικού είναι τα εξής: Stable Diffusion (Control Net extension), Midjourney, Tripo3D.

To Stable Diffusion είναι ένα μοντέλο TN για τη δημιουργία εικόνων από κείμενο ή εικόνα (txt2img /img2img generation) της εταιρείας Stability AI. Πρόκειται για ένα μοντέλο ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε Diffusion Models και μπορεί να εγκατασταθεί και να εκτελεστεί τοπικά από έναν υπολογιστή, σε αντίθεση με άλλες πλατφόρμες που εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό. Ένα από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι διαθέτει αρκετές επιλογές για τη ρύθμιση παραμέτρων κατά την παραγωγή εικόνων, όπως επίσης και ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέγει ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα εκπαίδευσης (checkpoints) για την παραγωγή εικόνων,

WebUI (user interface), αλλά και ενσωματώσεις ή extensions. Τα checkpoints, όπως αναφέρθηκαν, είναι εκπαιδευμένα μοντέλα που προστίθενται στο βασικό μοντέλο του Stable Diffusion, με σκοπό τις πιο εξειδικευμένες δημιουργίες. Για παράδειγμα, η δημιουργία εικόνων κτηρίου μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική όταν χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο που τα δεδομένα εκπαίδευσής του βασίζονται αποκλειστικά σε εικόνες κτηρίων.

Για τα αποτελέσματα που ακολουθούν εγκαταστάθηκε τοπικά σε υπολογιστή το Stable Diffusion με το WebUI “Automatic1111” και extension το Control Net, για περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων. Ως checkpoints εγκαταστάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τα εκπαιδευμένα μοντέλα “ArchitectureRealMix”, “epiCRealism” και “DreamShaper” που αντλήθηκαν από το site CivitAI.

To Midjourney είναι πλατφόρμα TN για δημιουργία περιεχομένου (txt2img /img2img/img2txt generation). Σε αντίθεση με το Stable Diffusion, πρόκειται για ένα μοντέλο κλειστού κώδικα και η τεχνική του λειτουργία δεν είναι απολύτως διαφανής. Αυτό σημαίνει ότι αν και οι χρήστες του MidJourney μπορούν να δημιουργήσουν εικόνες μέσω του εργαλείου, δεν μπορούν να κατεβάσουν ή να εκπαιδεύσουν τα μοντέλα του ή να τα τροποποιήσουν.

Ωστόσο, η πλατφόρμα χρησιμοποιεί ως βασικά μοντέλα της τα Diffusion Models. Το MidJourney λειτουργεί κυρίως μέσω ενός web interface, συγκεκριμένα μέσω του Discord, όπου οι χρήστες μπορούν να αλληλοεπιδρούν με το bot του MidJourney, δίνοντάς του περιγραφές και παραμέτρους για να δημιουργούν εικόνες.

Το Tripo3D είναι πλατφόρμα TN για την μετατροπή εικόνων και κειμένου σε τρισδιάστατα μοντέλα (img2glb, fxb, obj/txt2glb, fxb, obj). Ένας από τους σκοπούς που εξυπηρετεί η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι παρόμοιος με το 3D scanning, καθώς η χρήση πολλών εικόνων ενός αντικειμένου, για παράδειγμα μιας μακέτας, μπορούν να δημιουργήσουν ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο με ορθές αναλογίες και υλικότητες κοντά στις πραγματικές.

Για τα παραδείγματα που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν τα αρχιτεκτονικά σχέδια και η μακέτα από το μάθημα «Αρχιτεκτονική Μικρής Κλίμακας και Σχεδιασμός Αντικειμένων». Αρχικά, έγιναν χρήσεις των φωτογραφιών της μακέτας για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου σε μορφή .glb μέσω της πλατφόρμας Tripo3D. Για κάθε μοντέλο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιήθηκε μια φωτογραφία (για εισαγωγή περισσότερων από μια φωτογραφίες απαιτούταν συνδρομή) και αυτός είναι και ο λόγος που το μοντέλο που

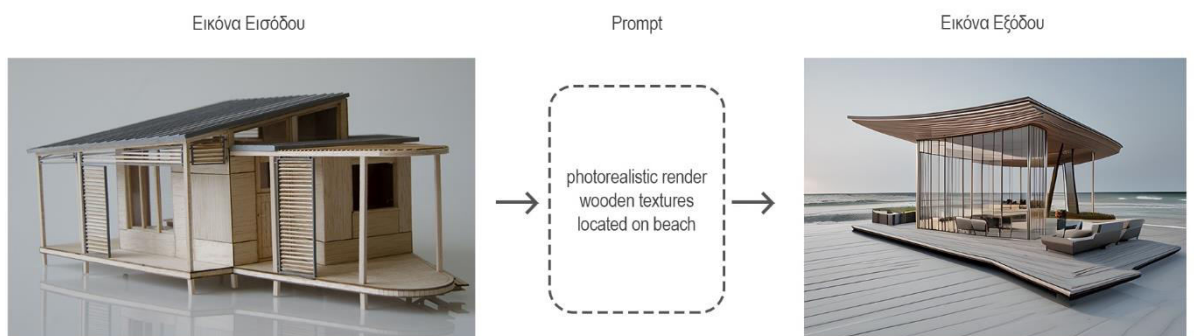
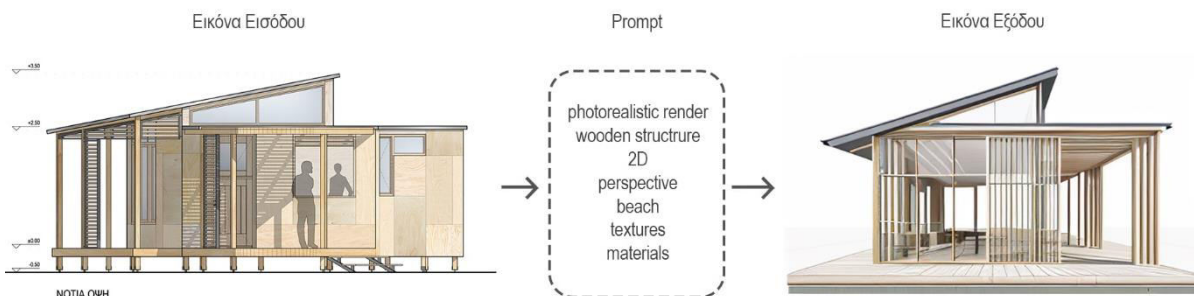
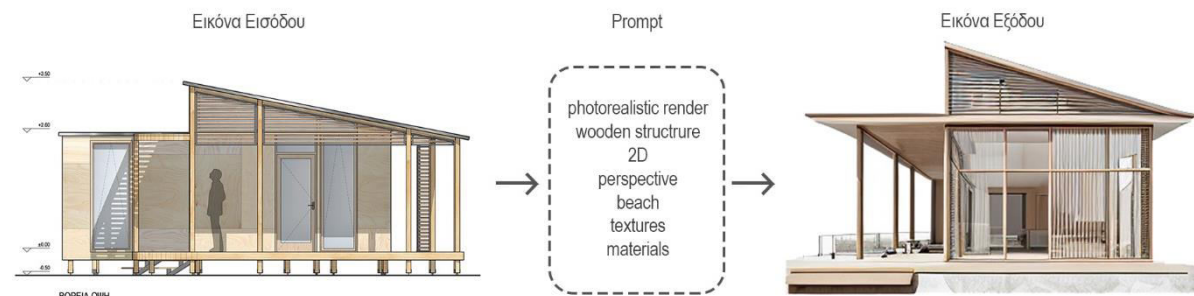
προέκυψε είναι έγκυρο μόνο από την οπτική που εμφανίζεται στην κάθε φωτογραφία, όπως και είναι λογικό.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το Stable Diffusion με την αξιοποίηση τόσο σχεδίων όσο και φωτογραφίες μακετών, με την επιλογή img2img και τη χρήση text prompts για την παραγωγή φωτορεαλιστικών απεικονίσεων και προοπτικών, εμπνευσμένων από τις αρχικές εικόνες εισόδου. Σε κάθε περίπτωση, οι εικόνες εισόδου λειτουργούν ως έμπνευση για την εικόνα εξόδου και δεν ακολουθούνται πιστά για τη δημιουργία του νέου αποτελέσματος. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να αξιοποιηθεί περισσότερο στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, που γίνεται πειραματισμός και δεν είναι απαραίτητη η πιστή αναπαράσταση συγκεκριμένων αρχιτεκτονικών σχεδίων. Ωστόσο, με τις επιλογές InPaint και το extension Control Net είναι δυνατή η τροποποίηση συγκεκριμένων σημείων ή περιοχών στην εικόνα εξόδου, χωρίς να είναι απαραίτητη η εκ νέου δημιουργία, που μπορεί να μην διατηρήσει όλα τα στοιχεία της προηγούμενης generated εικόνας.

Τέλος, στο Midjourney χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφίες της μακέτας για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων. Ως ένα εργαλείο κλειστού κώδικα, το Midjourney, παρήγαγε



Εικόνα 55: Πειραματισμοί για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με τη χρήση φωτογραφιών μακέτας με το Tripo3D

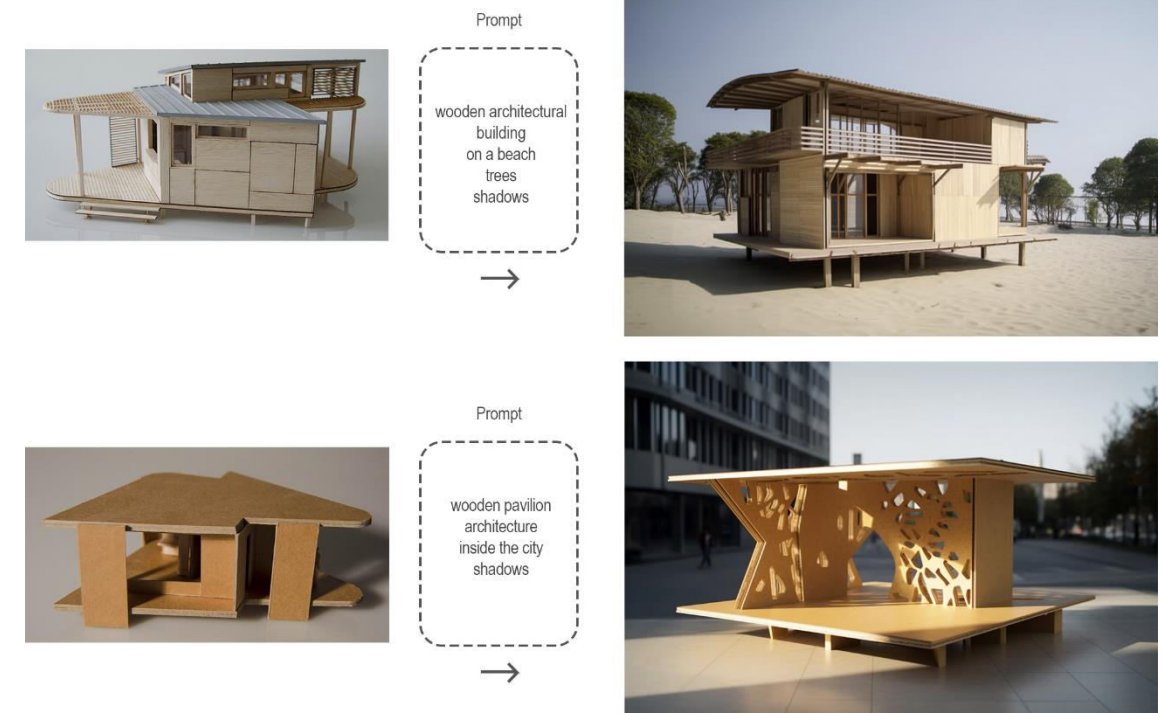


Εικόνα 56: Πειραματισμοί για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών και προοπτικών απεικονίσεων με το Stable Diffusion

τελικό αποτέλεσμα και δεν υπήρχε η δυνατότητα για τροποποιήσεις ή ορισμού περισσότερων παραμέτρων, όπως υπήρχε στο Stable Diffusion. Αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφίες τελικήςμακέτας και text prompt για τις εικόνες που δημιουργήθηκαν.

4.7. Συμπεράσματα

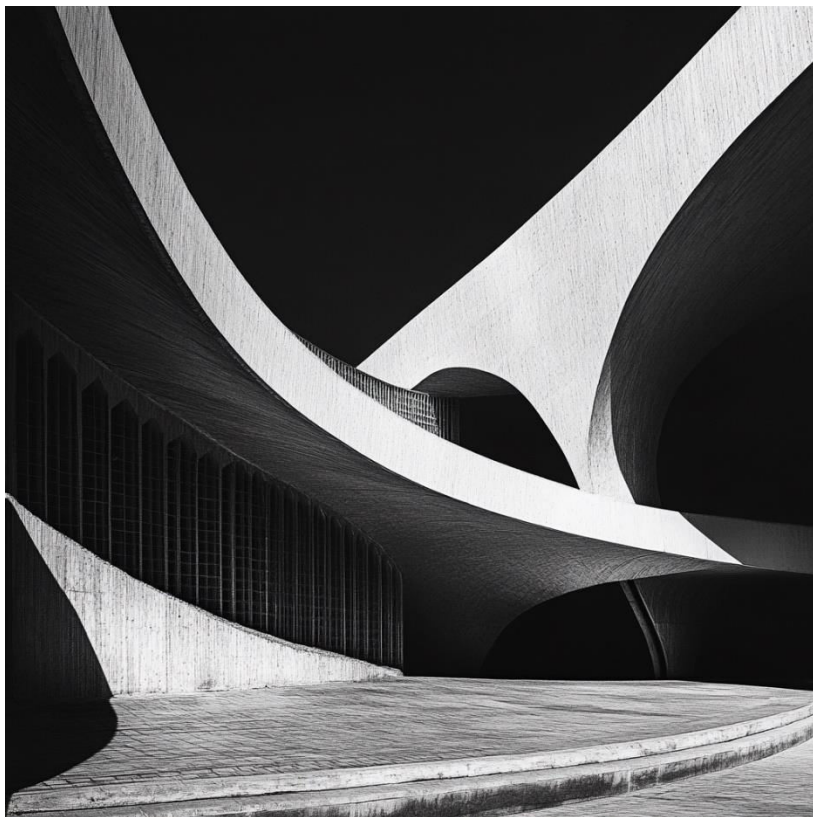
Γίνεται αντιληπτό, από τα αρχιτεκτονικά παραδείγματα που προαναφέρθηκαν, πως οι προσεγγίσεις σχετικά με τη χρήση των εργαλείων της ΤΝ στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό ποικίλλουν σημαντικά. Η κάθε προσέγγιση διαφοροποιείται ανάλογα με τους στόχους που θέτει το εκάστοτε αρχιτεκτονικό γραφείο και τις μεθόδους που επιλέγει να ακολουθήσει. Αναφέρθηκαν



Εικόνα 57: Πειραματισμοί για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων στο Midjourney

περιπτώσεις, όπου μοντέλα μηχανικής μάθησης χρησιμοποιήθηκαν για την βελτιστοποίηση και την επιτάχυνση της ροής εργασίας των αρχιτεκτονικών γραφείων (MVRDV, Coop Himmelb(l)au, Tim Fu), για την διαφοροποίηση και την παραγωγή νέων σχεδιαστικών επιλογών (MVRDV, Coop Himmelb(l)au, Tim Fu), για την διερεύνηση και το σχεδιασμό πολύπλοκων γεωμετρικών μορφών (Foster+Partners), για την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων νέων υλικών (Foster+Partners), για τη δημιουργία διαγραμμάτων και για την προσομοίωση κοινωνικών σεναρίων και χωρικών οργανώσεων (ZHA-Peter Schumacher). Κάθε μια από αυτές τις προσεγγίσεις αποτελεί μια προσπάθεια ενσωμάτωσης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων της TN στο σχεδιασμό. Μέσα από αυτό, καταλαβαίνουμε πως δεν υπάρχει καθορισμένος τρόπος χρήσης των συγκεκριμένων εργαλείων και ότι η TN μπορεί να προσαρμοστεί από τους χρήστες της – τους αρχιτέκτονες – για την επίλυση διαφορετικών αρχιτεκτονικών προβλημάτων. Τα μοντέλα και η μέθοδος που επιλεχθεί να χρησιμοποιηθούν αυτά είναι αποκλειστικά στην ευχέρεια του αρχιτέκτονα.

Επιπλέον, μέσα από τους προσωπικούς πειραματισμούς διαπιστώθηκε ότι τα εργαλεία που μπορούν να χαρακτηριστούν ως τα πιο αποτελεσματικά είναι τα μοντέλα ανοιχτού κώδικα, που επιτρέπουν στους χρήστες τις προσαρμογές, τροποποιήσεις και ορισμό παραμέτρων, σε αντίθεση με εφαρμογές και μοντέλα κλειστού κώδικα που τα αποτελέσματα είναι τελικά και μη τροποποιήσιμα



5. Συγκρίσεις

Με αναφορά στα παραδείγματα αρχιτεκτονικών γραφείων που αναφέρθηκαν, σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρείται η σύγκριση με άλλο αρχιτεκτονικό παράδειγμα, στο οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί παραγωγική ΤΝ. Ο στόχος αυτής της σύγκρισης είναι να αναδείξει τα μοναδικά χαρακτηριστικά στο έργο του αρχιτέκτονα, τα οποία είναι πιθανό η ΤΝ να μην μπορεί να αναπαράγει. Μέσω αυτής της αντίθεσης, επιδιώκεται να τονιστεί η διαφορά ανάμεσα στην ανθρώπινη δημιουργία και τη μηχανική παραγωγή, υπογραμμίζοντας τη σημασία του ανθρώπινου παράγοντα στην αρχιτεκτονική πρακτική. Τα πιο σημαντικά από αυτά τα χαρακτηριστικά του αρχιτέκτονα κρίνεται ότι είναι η ικανότητά του για **συνεργασία, διαίσθηση, καινοτομία και η διαχείριση πλήθους πληροφοριών**. Η αρχιτεκτονική που συνεισφέρει θετικά δεν έχει ως κυρίαρχο στόχο τη μείωση του χρόνου παραγωγής και δημιουργίας, την αύξηση του κέρδους, την διεκπεραίωση μεγαλύτερου όγκου εργασίας. Αντιθέτως, η αρχιτεκτονική οφείλει να είναι ανθρωποκεντρική.

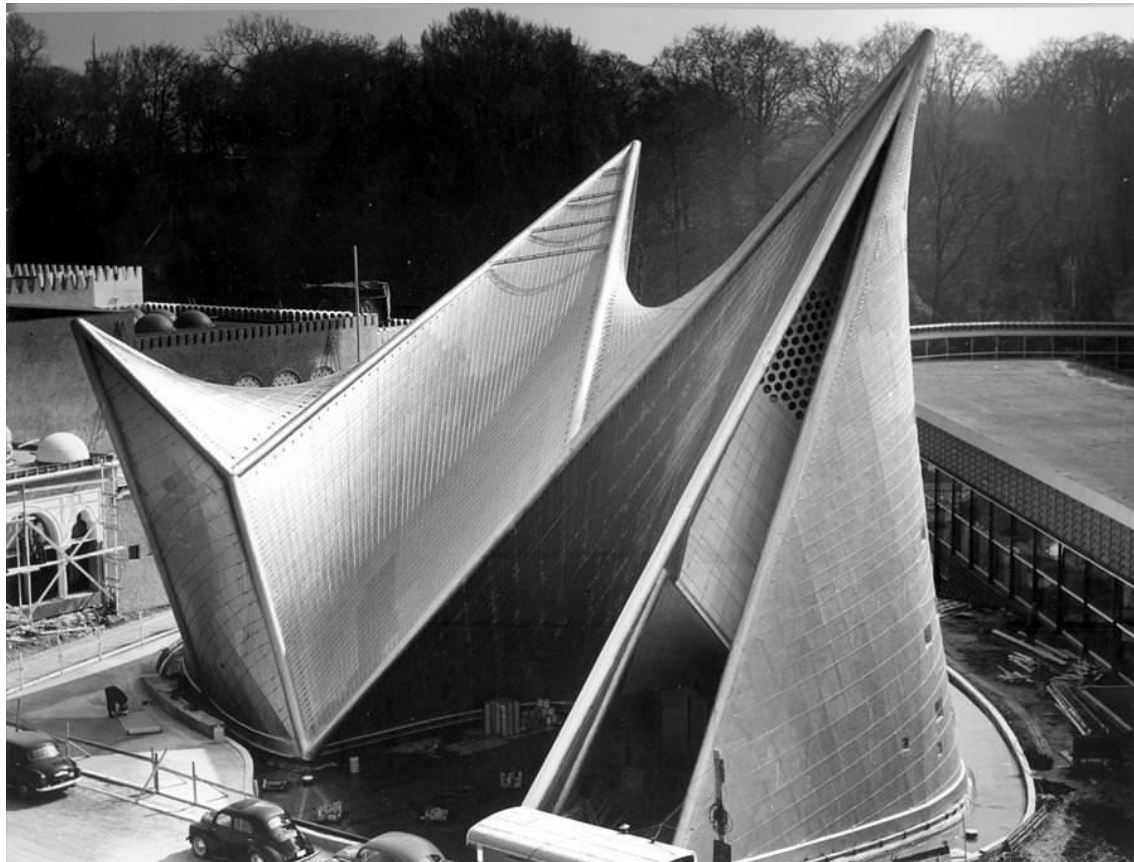
“Poème électronique”: Philips Pavilion – Le Corbusier, Ιάννης Ξενάκης

Το «Poème électronique» (ηλεκτρονικό ποίημα): Philips Pavilion είναι το πρώτο, ηλεκτρονικό-χωρικό περιβάλλον που συνδυάζει αρχιτεκτονική, κινηματογράφο, φως και μουσική σε μια συνολική εμπειρία. Το περίπτερο σχεδιάστηκε από τους Le Corbusier και Ιάννη Ξενάκη, για την Παγκόσμια Έκθεση Expo 1958 στις Βρυξέλλες, σε συνεργασία με την εταιρεία Philips. Κατά τη διάρκεια των τεσσάρων μηνών της Έκθεσης, στεγάζει μια οπτικοακουστική παράσταση πολυμέσων που αναδεικνύει την τεχνολογική πρόοδο της μεταπολεμικής περιόδου. Πρόκειται για

μια πολυαισθητηριακή εμπειρία που είχε σκοπό να αναδείξει τις τεχνολογικές δυνατότητες της εποχής. Υπό την καθοδήγηση του Le Corbusier, η ιδέα και η γεωμετρία του Ιάννη Ξενάκη διαμόρφωσαν τον εκθεσιακό χώρο χρησιμοποιώντας μαθηματικές συναρτήσεις. Η κάτοψη του περιπτέρου διέθετε σχήμα που παρομοιάστηκε με «στομάχι». Η αρχιτεκτονική του βασίστηκε σε μαθηματικά μοντέλα και συγκεκριμένα στη χρήση της υπερβολικής παραβολοειδούς (hyperbolic paraboloid) γεωμετρίας. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία ενός δυναμικού, οργανικού σχήματος που έδινε την αίσθηση κίνησης και ήχου. Για τη χωρική εμπειρία στο εσωτερικό, ο μουσικοσυνθέτης Edgar

Varèse συνέθεσε ένα μουσικό κομμάτι (Poème électronique) 8 λεπτών, που συνοδευόταν από την προβολή μιας ταινίας. Η σύνθεση των εικόνων της ταινίας και του φωτισμού έγινε με την επιμέλεια του Le Corbusier. Επιπλέον, ο Ξενάκης συνέθεσε

και ο ίδιος ένα μουσικό κομμάτι 2 λεπτών (Concret PH ή αλλιώς Interlude Sonore, 1958), βασισμένο στα μαθηματικά δεδομένα της κατασκευής του περιπτέρου, το οποίο οι επισκέπτες άκουγαν κατά την είσοδο τους στο χώρο. Για τη δημιουργία



Εικόνα 58: “Poème électronique”: Philips Pavilion – Le Corbusier, Ιάννης Ξενάκης, Expo 1958, Βρυξέλλες

αυτής της χωρικής εμπειρίας χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα 325 ηχείων, αλλά και άλλοι εξοπλισμοί για την προβολή και το φωτισμό.^{109 110}

Το συγκεκριμένο περίπτερο αποτελεί ένα από τα πρώτα παραδείγματα παραμετρικού σχεδιασμού. Η ελεύθερη, μαθηματικά οριζόμενη μορφή ξεπερνά το γνωστό γεωμετρικό συντακτικό της εποχής. Στόχος του έργου ήταν να δημιουργήσει μια μεταβαλλόμενη ατμόσφαιρα και ένα οπτικοακουστικό περιβάλλον εμπύθισης. Πρόκειται για ένα έργο που ενοποιεί την αρχιτεκτονική, τις τέχνες και τα νέα τεχνολογικά μέσα και γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια του χρόνου και τη δημιουργία μιας «αρχιτεκτονικής τη μετάθεσης»¹¹¹ όπως αυτή έχει οριστεί από τον Ιάννη Ξενάκη.¹¹²

Με το παραπάνω παράδειγμα γίνεται αντιληπτή η σημασία που έχουν η

συνεργασία, η διαίσθηση και η καινοτομία ως κύρια χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής δημιουργίας. Ο συνδυασμός της αρχιτεκτονικής, των τεχνών, της τεχνολογίας και τον μαθηματικών είναι αυτά, που στη συγκεκριμένη περίπτωση, είχαν ως αποτέλεσμα την καινοτομία, μέσα από την συνεργασία πολλών διαφορετικών ανθρώπων. Η αρχιτεκτονική δεν είναι ένα μεμονωμένο πεδίο, αλλά ένα πολύπλευρο σύστημα σκέψης και δράσης, που συνδυάζει διαφορετικούς τομείς γνώσης. Η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη, αλλά και η τεχνητή νοημοσύνη γενικότερα, στο στάδιο που βρίσκεται τώρα, σαφώς μπορεί να συνδυάσει κάποιες παραμέτρους και να

¹⁰⁹ <https://www.iannis-xenakis.org/en/pavillon-philips-bruxelles/>

¹¹⁰ <https://www.fondationlecorbusier.fr/en/work-architecture/achievements-philips-pavilion-brussels-belgium-1957-1958/>

¹¹¹ Η έννοια της «αρχιτεκτονικής της μετάθεσης» (architecture of shifting) που ανέπτυξε ο Ιάννης Ξενάκης αφορά τη σχέση μεταξύ μουσικής και αρχιτεκτονικής, βασισμένη στη μετατόπιση και τη συνεχή ροή μορφών στον χώρο και τον χρόνο. Ο Ξενάκης αντιλαμβανόταν την αρχιτεκτονική όχι ως μια στατική μορφή, αλλά ως μια δυναμική διαδικασία, όπου οι όγκοι και οι επιφάνειες δημιουργούνται μέσω μετατοπίσεων γεωμετρικών και μαθηματικών μοτίβων. Αυτή η ιδέα προκύπτει από τις συνθετικές του τεχνικές στη μουσική, όπου χρησιμοποιούσε στοχαστικές διαδικασίες και μαθηματικά μοντέλα για να παράγει ήχους που εξελίσσονται στον χρόνο.

¹¹² Παπαδημητρίου, Σπύρος Ι., Παρουσίαση στα πλαίσια της Ημερίδας “PHILIPS PAVILION, LE CORBUSIER - ΙΑΝΝΗΣ ΞΕΝΑΚΗΣ, EXPO/ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ - ΒΕΛΓΙΟ, 1958”

<https://www.doma.archi/conferences/presentations/philips-pavilion-le-corbusier>

συνεισφέρει σε πολλές εργασίες, όμως θα ήταν παράλογο να υποστηριχτεί ότι θα μπορούσε να συνδέσει τόσους

διαφορετικούς τομείς ταυτόχρονα και να χρησιμοποιήσει τη «διαίσθηση» για την παραγωγή αρχιτεκτονικής καινοτομίας.



Εικόνα 59:: “Poème électronique”: Philips Pavilion – Le Corbusier, Ιάωνης Ξενάκης, Expo 1958, Βρυξέλλες

Μπορεί να αναλύσει υπάρχοντα μοτίβα και να προτείνει νέες λύσεις στη βάση μαθηματικών αλγορίθμων, αλλά δεν έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται αφηρημένες έννοιες, αισθητικές αποφάσεις ή συναισθηματικές ποιότητες με τον ίδιο τρόπο που το κάνει ένας άνθρωπος. Αυτό συμβαίνει, διότι η διαίσθηση δεν είναι απλώς η διαχείριση δεδομένων, αλλά μια υποσυνείδητη διαδικασία που συνδέει εμπειρίες, συναισθήματα και πολιτισμικές και αισθητικές αξίες. Συνεπώς, αν και η ΤΝ μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο υποστήριξης στην αρχιτεκτονική διαδικασία, δεν μπορεί να αντικαταστήσει την ανθρώπινη δημιουργικότητα, τουλάχιστον προς το παρόν.



6. Συμπεράσματα

Η Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη (Generative AI), ως ένα καινοτόμο τεχνολογικό εργαλείο, δύναται να ενισχύσει σημαντικά το έργο του αρχιτέκτονα, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και εφαρμογών. Ωστόσο, όπως και με την εμφάνιση κάθε παρόμοιας τεχνολογικής καινοτομίας, υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί που ο αρχιτέκτονας οφείλει να λαμβάνει υπόψιν, έτσι ώστε η χρήση της να καθίσταται γόνιμη. Η παρούσα έρευνα αποσκοπούσε στην συλλογή και στην ανάλυση όλων αυτών των δυνατοτήτων και των περιορισμών που προκύπτουν από την αξιοποίηση της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στην αρχιτεκτονική πρακτική. Τα κεντρικά ερευνητικά ερωτήματα που διαμόρφωσαν τη συγκεκριμένη μελέτη, όπως προαναφέρθηκε, εστιάζουν στις επιδράσεις της εξέλιξης της τεχνητής νοημοσύνης διαχρονικά, στον ορισμό, τις διαφορετικές μορφές και την εφαρμογή της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης, στη συμβολή της στον τομέα της αρχιτεκτονικής, καθώς και στις διαφοροποιήσεις ανάμεσα στη συνεισφορά του αρχιτέκτονα και της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης στο σχεδιασμό. Αρχικά, αναλύθηκε ιστορικά η εξέλιξη της

τεχνητής νοημοσύνης στην επιστήμη των υπολογιστών και ύστερα η επιρροή που ασκήθηκε στην τέχνη και την αρχιτεκτονική, οδηγώντας στην ανάπτυξη της αλγοριθμικής τέχνης και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό που βασίστηκε σε γενετικές διαδικασίες. Στη συνέχεια, αναλύθηκε η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη και τα χαρακτηριστικά της, ως μια υποκατηγορία της τεχνητής νοημοσύνης. Απαριθμήθηκαν και περιγράφηκαν οι τρόποι λειτουργίας των μοντέλων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιεί η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και οι δυνατότητες που αυτά παρέχουν στην αρχιτεκτονική δημιουργία. Έγινε ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που προκύπτουν μέσα από τη συγκεκριμένη χρήση. Παρατέθηκαν συγκεκριμένα αρχιτεκτονικά παραδείγματα χρήσης της παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης ως εργαλείο για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, αλλά και συγκρίσεις με άλλα αρχιτεκτονικά παραδείγματα.

Σε πρώτη προσέγγιση, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και προς το παρόν στερείται της ωρίμανσης που διαθέτουν άλλα ψηφιακά μέσα που χρησιμοποιούνται στο

σχεδιασμό. Αυτό που παρατηρείται μέσα από την αναδρομή στο παρελθόν της TN και των αλγορίθμων, είναι ότι η χρήση της παραγωγικής TN στην αρχιτεκτονική δεν έχει αναπτυχθεί γύρω από κάποιο θεωρητικό πλαίσιο. Η αλγοριθμική τέχνη, όπως αναλύθηκε, στηρίχτηκε σε θεωρίες περί της έκφρασης της έννοιας της αισθητικής με μαθηματικούς τρόπους σύμφωνα με τον Max Bense. Αντίστοιχα, η αρχιτεκτονική μορφογένεση μέσω γενετικών διαδικασιών και αλγορίθμων, βασίστηκε στις θεωρίες του Gilles Deleuze για την δυναμικότητα της ύλης και σε μετέπειτα διατυπώσεις των θεωριών αυτών από τον Manuel DeLanda. Η ανάπτυξη τέτοιων θεωρητικών πλαισίων γύρω από την αξιοποίηση ενός νέου τεχνολογικού μέσου αποδεικνύεται καθοριστική για την εξέλιξή του, καθώς διαμορφώνεται μια κοινή λογική, μια βάση, πάνω στην οποία μπορεί να στηριχτεί ο αρχιτέκτονας. Επιπλέον, η ύπαρξη ενός παρόμοιου θεωρητικού πλαισίου μπορεί να συμβάλλει στην ψηφιακή – και όχι ψηφιοποιημένα – αρχιτεκτονική όπου η εξέλιξη αρχιτέκτονα-αρχιτεκτονικής-ψηφιακού μέσου γίνεται παράλληλα και έτσι αξιοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες που παρέχονται από τα νέα μέσα. Προς το παρόν, κρίνεται ότι η παραγωγική TN ως εργαλείο βρίσκεται σε μια μεταβατική

φάση, όπου χρησιμοποιείται ως επέκταση των συμβατικών πρακτικών σχεδιασμού.

Αναλύοντας την δομή και τον τρόπο λειτουργίας της τεχνητής νοημοσύνης και πιο συγκεκριμένα, της παραγωγικής TN, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι είναι σημαντικό ο αρχιτέκτονας να αποκτήσει γνώσεις προγραμματισμού, ώστε να μπορεί να καθορίσει τον τρόπο που δρουν και εκπαιδεύονται τα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Μόνο με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσει να αποκωδικοποιήσει το «μαύρο κουτί» που παρεμβάλλεται μεταξύ των δεδομένων εισόδου και των δεδομένων εξόδου και να αποκτήσει ένα στοιχειώδη έλεγχο της διαδικασίας. Αυτό οφείλεται στον στατιστικό και πιθανοτικό χαρακτήρα που διαθέτουν τα συγκεκριμένα μοντέλα. Εάν ο αρχιτέκτονας-χρήστης δεν διαθέτει τις απαραίτητες γνώσεις, η δυνατότητά του να επεμβαίνει θα περιορίζεται αποκλειστικά στις παραμέτρους που επιτρέπει η εκάστοτε εφαρμογή, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη δημιουργική του ελευθερία. Σε αυτήν την περίπτωση, προκύπτουν αποτελέσματα, τα οποία είναι αρκετά οριστικά και επιφανειακά, αφού η παραμετροποίηση από τον αρχιτέκτονα είναι αδύνατη. Καθίσταται, επομένως, σαφές ότι η δυνατότητα καθορισμού των παραμέτρων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα,

διασφαλίζοντας ότι ο αρχιτέκτονας διατηρεί τον έλεγχο της διαδικασίας σχεδιασμού, αντί να καθορίζεται αυτός από τη «μηχανή».

Σαφώς, η αξιοποίηση εφαρμογών παραγωγικής TN προσφέρει σε ένα βαθμό αυτοματοποίηση και επιτάχυνση κάποιων συγκεκριμένων μερών του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Η διερεύνηση μορφών, συνθετικών ιδεών, υλικοτήτων, όψεων μπορεί πλέον να γίνεται με ταχύτερο ρυθμό. Η παραγωγή φωτορεαλιστικών απεικονίσεων, διαγραμμάτων και οι μετατροπές από δισδιάστατες εικόνες σε τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα υλοποιούνται πιο εύκολα και γρήγορα ως εργασίες. Η γενικότερη ροή εργασίας σε αρχιτεκτονικά γραφεία επιταχύνεται χάρη στις διευκολύνσεις που προσφέρουν οι εφαρμογές.

Ωστόσο, αυτό που σημειώνεται είναι ότι το έργο του αρχιτέκτονα οφείλει να παρέχει υπηρεσίες ανώτερες της απλής σχεδίασης ενός κτηρίου. Αυτό που χαρακτηρίζει το έργο του αρχιτέκτονα είναι η ικανότητα του για **καινοτομία, συνεργασία, διαίσθηση και διαχείριση των πληροφοριών**. Ο αρχιτέκτονας μέσα από τις συνεργασίες του διερευνά παραμέτρους, επεξεργάζεται τις ροές πληροφοριών που σχετίζονται με το σχεδιασμό, δημιουργεί δυναμικές σχέσεις

μεταξύ αυτών των πληροφοριών και πολλές φορές μέσω της διαίσθησής του οδηγείται στην καινοτομία. Αυτή είναι η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στον αρχιτέκτονα και την τεχνητή νοημοσύνη – «μηχανή». Όπως και τα μοντέλα μηχανικής μάθησης λειτουργούν ως «μαύρα κουτιά» που δεν μπορούμε να κατανοήσουμε πλήρως πως «κρίνουν», «ενεργούν» και εξάγουν τα αποτελέσματά τους, έτσι και η ανθρώπινη διαίσθηση λειτουργεί ως ένα «μαύρο κουτί». Όσο ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν είναι πλήρως χαρτογραφημένος – επομένως ούτε και η ανθρώπινη διαίσθηση – θα μπορούσαμε να πούμε πως η τεχνητή νοημοσύνη είναι αδύνατον να αντικαταστήσει το ρόλο του αρχιτέκτονα. Ίσως κάποιες σχεδιαστικές διαδικασίες να αυτοματοποιηθούν και να επηρεαστούν από την παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη, όμως όσο η Γενική TN (AGI) δεν έχει επιτευχθεί, ο αρχιτέκτονας θα είναι αυτός που θα έχει τον τελευταίο λόγο πάνω στο έργο του.

Με αφορμή την αναφορά στην αρχιτεκτονική καινοτομία τονίζεται επίσης, ότι ο συνδυασμός προκαθορισμένων και υπαρχόντων εικόνων για παραγωγή νέων εικόνων μέσα από πιθανοτικά μοντέλα μάθησης είναι αδύνατον να παρέχουν εξέλιξη και καινοτομία. Τα δεδομένα από τα οποία τροφοδοτούνται τα μοντέλα

παραγωγικής τεχνητής νοημοσύνης προέρχονται συνήθως από υπάρχουσες εικόνες στο διαδίκτυο, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη δημιουργία πραγματικά καινοτόμων αποτελεσμάτων.

Αυτή η μελέτη αναδεικνύει το ενδιαφέρον για την εξέταση του τρόπου με τον οποίο η παραγωγική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενσωματωθεί στην αρχιτεκτονική εκπαίδευση. Δεδομένων των συνεχόμενων εξελίξεων στον τομέα της παραγωγικής ΤΝ, είναι αναμενόμενο ότι οι φοιτητές αρχιτεκτονικής θα πρέπει να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τη λειτουργία και τις δυνατότητες χρήσης της, ώστε να μπορούν να την αξιοποιήσουν δημιουργικά στην αρχιτεκτονική πρακτική.

07

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ



Βιβλιογραφία

Ελληνική – Μεταφρασμένη Βιβλιογραφία

Βασιλάκος, Αθανάσιος, *Ψηφιακές Μορφές Τέχνης*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2008

Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2006

Γεωργούλη, Κατερίνα, *Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015

Haykin, Simon, *Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανική Μάθηση*, απόδοση Γκαγκάτσιου Ε., Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2010

Russell, S., Norvig, P., *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Γ. Ρεφανίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005

Rusell, Stuart, *Συμβατή με τον άνθρωπο; η Τεχνητή Νοημοσύνη και το πρόβλημα του ελέγχου*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2021

Tegmark, Max, *Life 3.0: Τι θα σημαίνει να είσαι άνθρωπος την εποχή της τεχνητής νοημοσύνης;*, μετάφραση Ν. Αποστολόπουλος, Εκδόσεις Τραυλός, Αθήνα, 2018

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Cache, Bernard, *Earth moves: The Furnishing of Territories*, Writing Architecture, MIT Press, 1995

Franke, Herbert W., *Computer Graphics-Computer Art - Second, Revised and Enlarged Edition*, Εκδόσεις Springer-Verlag, Germany, 1985

Klütsch, Christoph, *Computergrafik: Ästhetische Experimente zwischen zwei Kulturen. Die Anfänge der Computerkunst in den 1960er Jahren*, Εκδόσεις Springer-Verlag Vienna, 2007

Leach, Neil, *Architecture in the age of artificial intelligence: an introduction for architects*, Bloomsbury Visual Arts, 2022

Lynn, Greg, *Folding in Architecture*, Wiley-Academy, 1993

Mealing, Stuart, *Computers & Art*, Εκδόσεις Intellect Books, 1997

Oosterhuis, Kas, *Hyperbodies: Towards An E-motive Architecture*, Birkhäuser, Basel, 2003

Vivekananthan, Sanchayan, *Comparative Analysis of Generative Models: Enhancing Image Synthesis with VAEs, GANs, and Stable Diffusion*, Department of Computer Science - Huddersfield University, UK, 2024

Άρθρα

Abdel-Rahman, A., Kosicki, M., Michalatos, P., Tsigkari, M., “Design of thermally deformable laminates using machine learning”, *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications*, Taylor & Francis Group, London, 2019

Bassett, Caroline, “The computational therapeutic: exploring Weizenbaum’s ELIZA”, *AI & Society, Springer*, 2018, Vol. 34

Bense, M., Nees, G., “Projekte generativer Ästhetik”, *Rot 19: Computer-grafik*, Stuttgart, 1965

Chaillou, Stanislas, *Architecture & Style: A New Frontier for AI in Architecture*, Harvard Graduate School of Design, 2019

DeLanda, Manuel, Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture, 2002

Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., Zschech, P., *Generative AI*, Springer, 2023

Ho, J., Jain, A., Abbeel, P., *Denoising Diffusion Probabilistic Models*, 2020

Liu, Y., Zhao, N., “AI-Assisted Design: Generative Architectural Design”, *Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation*, China, 2023

McCarthy, J., L. Minsky, M., Rochester, N., E. Shannon, C., *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, August 31, 1955

Nake, F., “Paragraphs on Computer Art, Past and Present”, *Cat 2010. Ideas before Their Time: Connecting the Past and Present in Computer Art*, British Computer Society, London, 2010

Noll, M., “Human or Machine: A subjective comparison of Piet Mondrian’s “Composition with Lines” (1917) and a computer-generated picture”, *The Psychological Record*, New Jersey, 1966

Noll, M., “Computers and the visual arts”, *Computers and the Humanities*, Vol. 2, Springer, 1967

Ploennigs, J., Berger, M. “AI art in architecture”, *AI Civil Engineering*, Vol. 2, 8 , Springer, 2023

Shaji, G., Hovan, G., Gabrio, M., *The Environmental Impact of AI: A Case Study of Water Consumption by Chat GPT*, Partners Universal International Innovation Journal, Vol. 01, Issue 02, 2023

Turing, Alan M., *Computing Machinery and Intelligence*, Mind Vol. 49, No. 236, Εκδόσεις Oxford University Press, 1950

Διαλέξεις – Συζητήσεις

Γιαννούδης, Σωκράτης, Διάλεξη: “(Περι)γράφοντας την Αρχιτεκτονική: Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη και Αρχιτεκτονική Εκπαίδευση”, Συνέδριο “Αρχιτεκτονική Εκπαίδευση και Πράξη: οι Διεθνείς Προκλήσεις και η Ελλάδα”, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Πολυτεχνείου Κρήτης, Κέντρο Αρχιτεκτονικής Μεσογείου. Χανιά, 11-12 Νοεμβρίου 2023. Ανάκτηση από: [https://www.youtube.com/watch?v=sdTgHWpFo7M&ab_channel=%CE%A3%CF%89%CE%BA%CF%81%CE%AC%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%93%CE%B9%CE%B1%CE%BD%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CE%B4%CE%B7%CF%82]

Παπαδημητρίου, Σπύρος Ι., Παρουσίαση στα πλαίσια της Ημερίδας “PHILIPS PAVILION, LE CORBUSIER - ΙΑΝΝΗΣ ΞΕΝΑΚΗΣ, EXPO/BPYΞΕΛΛΕΣ - ΒΕΛΓΙΟ, 1958”. Ανάκτηση από: [https://www.doma.archi/conferences/presentations/philips-pavilion-le-corbusier]

DeLanda, Manuel, Διάλεξη: “Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture”, Art and Technology Lecture Series, Columbia University, 2004. Ανάκτηση από: [https://www.youtube.com/watch?v=50-d_J0hKz0&ab_channel=ColumbiaUniversity]

Nake, Frieder, Συνέντευξη - *Συνέδριο Generative Art Summit Berlin – art meets science*, Academy of Arts Berlin, 3-6 Ιουνίου 2024, https://www.youtube.com/watch?v=UHIF-dLwEcw&ab_channel=HYPERRAUMTV

Ερευνητικές – Διπλωματικές Εργασίες

Μπάμπουκα, Ολυμπιάδα, *Ερευνητική Εργασία: Η αρχιτεκτονική ως 4η κατηγορία μηχανής και η επίτευξή της μέσω της τεχνητής νοημοσύνης*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Σχολής ΑΠΘ, 2022

Χαΐρης, Θανάσης, *Ερευνητική Εργασία: Χωρική Δυνητικότητα: διαγραμματικές προσεγγίσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού*, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΠΚ, Χανιά, 2010

Ηλεκτρονικοί Σύνδεσμοι

https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=2067

https://www.britannica.com/technology/expert-system

https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/moores-law.html

https://web.media.mit.edu/~cynthiab/research/robots/kismet/overview/overview.html

https://www.bbc.com/news/technology-27762088

https://spalterdigital.com/artists/frieder-nake/

https://www.katevassgalerie.com/blog/georg-nees-computer-art-and-graphics

http://dada.compart-bremen.de/

https://www.charlescsuri.com/

https://developers.google.com/machine-learning/gan/gan_structure

https://www.ibm.com/think/topics/variational-autoencoder

https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr19_18/sr_greenhouse_gas_emissions_el.pdf?utm_source=chatgpt.com

https://www.mvrdv.com/stack-magazine/4425/leo-stuckardt-mvrdv-next-data-ai-metaverse-technology

https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/towards-artificial-intelligence-in-architecture-how-machine-learning-can-change-the-way-we-approach-design

https://coop-himmelblau.at/method/deep-himmelblau/

https://timfu.com/stf-labs/

https://refikanadolstudio.com/projects/architecting-the-metaverse/

https://refikanadolstudio.com/projects/unsupervised-machine-hallucinations-moma/

https://www.zaha-hadid.com/design/architecting-the-metaverse/

https://www.archdaily.com/1018474/how-gendos-generative-ai-platform-is-transforming-architectural-visualizations

https://www.moma.org/magazine/articles/821#fnref:3

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Turing Test, παιχνίδι μίμησης, A (μηχανή), B (άνθρωπος), C (ανθρώπινος κριτής) 16

https://en.wikipedia.org/wiki/Turing_machine

Εικόνα 2: Παγκόσμιος πρωταθλητής σκακιού Gary Kasparov ενάντια στον Deep Blue της IBM, 1997 20

https://www.chess.com/blog/ReacherU/kasparov-vs-deep-blue-1997

Εικόνα 3: Kismet, Cynthia Breazeal, MIT AI Lab, 2000 21 https://www.science-photo.de/bilder/11893122-Kismet-robot

Εικόνα 4: Lee Sedol ενάντια AlphaGo στο παιχνίδι Go 21 https://www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/alphago-lee-sedol-and-the-reassuring-future-of-humans-and-machines

Εικόνα 5: Τόμος Aesthetica του Max Bense 25 <https://stylecampaign.com/blog/2023/03/early-computer-art-publications/>

Εικόνα 6: Σχεδιαστική μηχανή (plotter) Zuse Graphomat 27 <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/zuse-graphomat-z-90/10248>

Εικόνα 7: No title, Frieder Nake, 1967 28 <https://www.tate.org.uk/art/artworks/nake-no-title-p80817>

Εικόνα 8: Τμήμα του έργου Matrizenmultiplikation Serie 29 (Matrix Multiplication), Frieder Nake, 1967 28 <https://spalterdigital.com/artists/frieder-nake/>

Εικόνα 9: Boxes with rectangular hatchings Nr. 6 (02/09/1965), Frieder Nake, 1965 29 <https://www.rightclicksave.com/article/an-interview-with-frieder-nake>

Εικόνα 10: Hommage à Paul Klee, 13/9/65 Nr.2, Frieder Nake, 1965 30 <https://spalterdigital.com/artworks/walk-through-raster-series-7-3-3/>

Εικόνα 11: Walk Through Raster Series 7.3.3-4, Frieder Nake, 1967 30 <https://collections.vam.ac.uk/item/O211685/hommage-a-paul-klee-13965-print-nake-frieder/hommage-%C3%A0-paul-klee-13965-print-nake-frieder/>

Εικόνα 12: Schotter (Gravel Stones), Georg Nees, 1968 31 <http://www.medienkunstnetz.de/works/schotter/>

Εικόνα 13: Flur Korridor (Hall Corridor), Georg Nees, 1965 32 https://dam.org/museum/artists_ui/artists/nees-georg/

Εικόνα 14: Vertical-Horizontal Number 3, Michael Noll, 1964 33 <http://noll.uscannenbergl.org/CompArtExamples.htm>

Εικόνα 15: Computer Composition With Lines, Michael Noll, 1964 34 <http://dada.compart-bremen.de/item/artwork/5>

Εικόνα 16: AARON robot 35 <https://computerhistory.org/blog/harold-cohen-and-aaron-a-40-year-collaboration/>

Εικόνα 17: Coming to a lighter place, Harold Cohen, 1988 36 https://moodscentbar.com/en/moodaily/post/178_sny-cohena?page_type=post

Εικόνα 18: Elektronische Grafik, Herbert W. Franke, 1962 37 <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/188>

Εικόνα 19: Elektronische Grafik, Herbert W. Franke, 1962 37 <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/188>

Εικόνα 20: Elektronische Grafik, Herbert W. Franke, 1970 38 <https://www.photoeditionberlin.com/artists-1/herbert-w-franke/>

Εικόνα 21: Sine Curve Man, Charles Csuri, 1967 39 <https://www.charlescsuri.com/historic/sine-curve-man>

Εικόνα 22: Musée des Arts et des Civilisations-Musée du Quai Branly (1999), Paris, Peter Eisenman 46 <https://eisenmanarchitects.com/Musee-du-quai-Branly-1999>

Εικόνα 23: BMW Welt (2001), Τομή, Munich, Coop Himmelb(l)au 47 <https://www.world-architects.com/en/coop-himmelb-l-au-vienna/project/bmw-welt>

Εικόνα 24: BMW Welt (2001), Δομικός Σκελετός, Munich, Coop Himmelb(l)au 47 <https://www.world-architects.com/en/coop-himmelb-l-au-vienna/project/bmw-welt>

Εικόνα 25: Embryological House (1998), Greg Lynn, Διερεύνηση γένεσης μορφών με βάση τις αρχές του "Animate Form" (Χρήση Microstation και Maya) 48 <https://www.docam.ca/conservation/embryological-house/GL3ArchSig.html>

Εικόνα 26: Eyebeam Museum of Art and Technology Competition(2001), NY, Greg Lynn, Rebeca Mendez Communication Design and Skidmore, Owings & Merrill 49 <https://glform.com/buildings/eyebeam-museum-of-art-and-technology/>

Εικόνα 27: Arnhem Central (2015), The Netherlands, UN Studio. Η έννοια της κάμψης ως δομικό και χωρικό στοιχείο. 50 <https://www.archdaily.com/777495/arnhem-central-transfer-terminal-unstudio>

Εικόνα 28: Εικόνα 28: Arnhem Central (2015), The Netherlands, UN Studio. Η έννοια της κάμψης ως δομικό και χωρικό στοιχείο. 51 <https://www.unstudio.com/page/12109/arnhem-central-masterplan>

Εικόνα 29: Philibert De L'Orme Pavilion (2001), Bernard Cache. Παραμετρικό περίπτερο που σχεδιάστηκε με βάση το διάγραμμα του προβολικού κύβου με 3 τεχνητά σημεία φυγής 52 <http://architettura.it/image/festival/2002/en/texts/cache.htm>

Εικόνα 30: Διάγραμμα προβολικού κύβου με 3 τεχνητά σημεία φυγής 53 Χαΐρης, Θανάσης, Ερευνητική Εργασία: Χωρική Δυσνητικότητα: διαγραμματικές προσεγγίσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΠΚ, Χανιά, 2010

Εικόνα 31: E-motive House (2002), ONL, Research work. Το E-Motive House είναι ένα ερευνητικό έργο, που πειραματίζεται με την έννοια της αλληλεπίδρασης του χώρου. Αποτελείται από ένα μακρύ κινητό χώρο με δύο στερεά μπλοκ και στα δύο άκρα. Ο ενδιαμέσος χώρος αλλάζει σχήμα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την κίνηση των κατοίκων του, μεταβάλλοντας έτσι τη γεωμετρία του. 54

Εικόνα 32: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL, Εσωτερικό περιπτέρου 56

Εικόνα 33: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL. Βασίζεται στην ιδέα της ροής δεδομένων και της διαδραστικής αρχιτεκτονικής. 56 https://iaac-digitalarchitecture.blogspot.com/2007_10_07_archive.html

Εικόνα 34: Εικόνα 34: Saltwater Pavilion/ Hydra (1997), Sensorium and Wetlab, ONL, Εσωτερικό περιπτέρου 57 <https://www.oosterhuis.nl/salt-water-pavilion/>

Εικόνα 35: Δομή βιολογικού νευρώνα 65 <https://creazilla.com/el/media/clipart/3163368/neuronas>

Εικόνα 36: Δομή τεχνητού νευρωνικού δικτύου, Βιολογικό νευρωνικό δίκτυο (πάνω), Συνάρτηση μετάβασης (μέση), Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης με 2 κρυφά επίπεδα και 1 επίπεδο εξόδου(κάτω) 67 https://www.researchgate.net/figure/A-biological-neuron-in-comparison-to-an-artificial-neural-network-a-human-neuron-b_fig2_339446790

Εικόνα 37: Βαθύ νευρωνικό δίκτυο 68 <https://www.ibm.com/us-en>

Εικόνα 38: Εικόνα AI-Generated, Midjourney 86

Εικόνα 39: Εικόνα AI-Generated, Midjourney 93

Εικόνα 40: Χρήση διαγραμματικών μακετών για δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων 96 https://www.youtube.com/watch?v=dvKAYTRptkw&ab_channel=ShowItBetter

Εικόνα 41: Προσθήκη υλικοτήτων και τροποποιήσεις σε φωτορεαλιστική απεικόνιση με τη χρήση των μοντέλων Stable Diffusion και Control Net 97 https://www.youtube.com/watch?v=dvKAYTRptkw&ab_channel=ShowItBetter

Εικόνα 42: Το MVRDV Cloud, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της έκθεσης MVRDVHNI το 2021, χρησιμοποιεί computer vision και την metadata analytics για να χαρτογραφήσει το περιεχόμενο του ψηφιακού αρχείου των MVRDV για να παράγει νέες προοπτικές και να υποστηρίξει την ανάπτυξη μελλοντικών έργων των MVRDV. 98 <https://www.mrvdv.com/stack-magazine/4425/leo-stuckardt-mrvdv-next-data-ai-metaverse-technology>

Εικόνα 43: Στάδια σχεδιασμού παραμορφώσεων θερμο-ενεργών ελασμάτων με τη χρήση GAN, Foster+Partners 100 <https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/towards-artificial-intelligence-in-architecture-how-machine-learning-can-change-the-way-we-approach-design>

Εικόνα 44: Διαγράμματα οπτικής και χωρικής συνδεσιμότητας κατόψεων κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του GAN (από αριστερά προς τα δεξιά), Foster+Partners 101 <https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/towards-artificial-intelligence-in-architecture-how-machine-learning-can-change-the-way-we-approach-design>

Εικόνα 45: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deep Himmelblau, Coop Himmelb(l)au 102 <https://coop-himmelblau.at/method/deep-himmelblau/>

Εικόνα 46: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deep Himmelblau, Coop Himmelb(l)au 103 <https://coop-himmelblau.at/method/deep-himmelblau/>

Εικόνα 47: Χρήση διαγραμματικής μακέτας ως είσοδο για τον πειραματισμό όψεων ως έξοδο σε πραγματικό χρόνο με εργαλεία TN, Coop Himmelb(l)au 104 https://www.youtube.com/watch?v=gN0WrpyFUjc&ab_channel=neilleach

Εικόνα 48: Εικόνα που έχει δημιουργηθεί με το Deep Himmelblau, Coop Himmelb(l)au 105 <https://coop-himmelblau.at/method/deep-himmelblau/>

Εικόνα 49: Εγκατάσταση Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα 107 <https://refikanadolstudio.com/projects/architecting-the-metaverse/>

Εικόνα 50: Εγκατάσταση Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα 108 <https://refikanadolstudio.com/projects/architecting-the-metaverse/>

Εικόνα 51: Architecting the Metaverse, Refik Anadol Studio, Zaha Hadid Architects, Σεούλ, Κορέα 109

Εικόνα 52: Μετατροπή ψηφιακού τρισδιάστατου μοντέλου σε φωτορεαλιστική απεικόνιση με το Gendo AI 109 <https://www.archdaily.com/1018474/how-gendos-generative-ai-platform-is-transforming-architectural-visualizations>

Εικόνα 53: Εγκατάσταση Unsupervised - Machine Hallucinations, MoMA, Gund Lobby 110 <https://www.artforum.com/news/moma-acquires-refik-anadols-unsupervised-517497/>

Εικόνα 54: Εγκατάσταση Unsupervised - Machine Hallucinations, MoMA, Gund Lobby 111 <https://refikanadolstudio.com/projects/unsupervised-machine-hallucinations-moma/>

Εικόνα 55: Πειραματισμοί για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με τη χρήση φωτογραφιών μακέτας με το Tripo3D 115

Εικόνα 56: Πειραματισμοί για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών και προοπτικών απεικονίσεων με το Stable Diffusion 116

Εικόνα 57: Πειραματισμοί για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων στο Midjourney 117

Εικόνα 58: “Poème électronique”: Philips Pavilion – Le Corbusier, Ιάννης Ξενάκης, Expo 1958, Βρυξέλλες 122 <https://www.fondationlecorbusier.fr/en/work-architecture/achievements-philips-pavilion-brussels-belgium-1957-1958/>

Εικόνα 59: “Poème électronique”: Philips Pavilion – Le Corbusier, Ιάννης Ξενάκης, Expo 1958, Βρυξέλλες 124 <https://www.archdaily.com/157658/ad-classics-expo-58-philips-pavilion-le-corbusier-and-iannis-xenakis>

Διάγραμμα 1: Εξελικτικός κύκλος των Γενετικών Αλγορίθμων. Γεωργούλη, Κατερίνα, Τεχνητή Νοημοσύνη – Μια Εισαγωγική Προσέγγιση, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015

Διάγραμμα 7: Δομή και λειτουργία Αυτοκωδικοποιητών (AE). <https://www.ibm.com/think/topics/variational-autoencoder>

Διάγραμμα 10: Λειτουργία Diffusion Model, Στάδιο διαδικασίας προσθήκης θορύβου (Forward diffusion) <https://blog.marvik.ai/2023/11/28/an-introduction-to-diffusion-models-and-stable-diffusion/>

Διάγραμμα 11: Λειτουργία Diffusion Model, Στάδιο αποθορυβοποίησης (Denoising), αντίστροφη διαδικασία <https://blog.marvik.ai/2023/11/28/an-introduction-to-diffusion-models-and-stable-diffusion/>