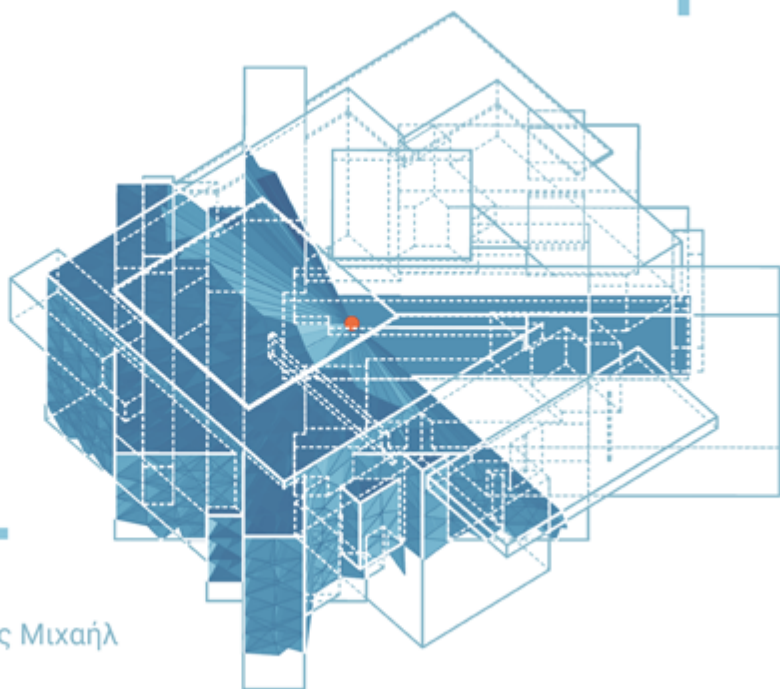


# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ



Επιμέλεια:  
Καραπιδάκης Μιχαήλ

Πολυτεχνείο Κρήτης | Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών |  
Ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 | Ερευνητική εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ  
ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ**

Καραπιδάκης Μιχαήλ

Επιβλέπων καθηγητής:

Ουγγρίνης Κωνσταντίνος - Αλκέτας

Θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα της παρούσης  
ερευνητικής εργασίας, κ. Ουγγρίνη Κωνσταντίνο - Αλκέτα, για  
τις πολύτιμες συζητήσεις και τις κατευθύνσεις του όλο αυτό το  
διάστημα, καθώς και στους φίλους και στην οικογένεια μου για  
την υπομονή και στήριξή τους.

στην Γιαγιά μου.

# Σύνοψη

Η επίδραση της γεωμετρίας που περιβάλλει την ανθρώπινη ζωή, είναι ισχυρός παράγοντας διαμόρφωσης των καθημερινών ψυχολογικών διαθέσεων. Παρά τον σπουδαίο της ρόλο, η αρχιτεκτονική έχει βασιστεί, κατά κύριο λόγο, σε εμπειρικούς κανόνες για τον υπολογισμό της επίδρασης του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Με χρήση τεχνολογίας τεχνητής πραγματικότητας, έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα που επιχειρούν να διευρύνουν τον βαθμό κατανόησης του φαινομένου, ωστόσο, παρουσιάζουν αρκετούς περιορισμούς στην μεθοδολογία και στην μορφολογία των ερεθισμάτων που χρησιμοποιούνται. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι:

- ο εντοπισμός των περιορισμών προηγούμενων αντιληπτικών πειραμάτων,
- η ανάλυση μέρους της αντιληπτικής εμπειρίας σε μετρήσιμες γεωμετρικές μονάδες, βάσει νευρολογικών ευρημάτων,
- η περιγραφή μίας νέας μεθόδου διεξαγωγής αντιληπτικών πειραμάτων, βασισμένη στην παραπάνω γεωμετρική ανάλυση, με αλγοριθμική λογική ανάπτυξης ψηφιακών πειραματικών περιβαλλόντων και ποσοτικοποίησης του αντικείμενου της αντίληψης.

# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	5
2. Πειραματικό υπόβαθρο	8
2.1 Πειράματα	9
2.2 Περιορισμοί	39
3. Ανάλυση αντίληψης	43
3.1 Οραση	45
3.2 Σύστημα Θέσης	52
4. Νέα μέθοδος	60
4.1 Χώροι	61
4.2 Δεδομένα	66
5. Συμπεράσματα	76
Βιβλιογραφία	82

# Εισαγωγή

Όπως ο άνθρωπος δομεί και διαμορφώνει το περιβάλλον το οποίο βιώνει, έτσι και το περιβάλλον διαμορφώνει τον ίδιο. Εντός του περιβάλλοντος, ο άνθρωπος δεν ικανοποιεί μονάχα φυσιολογικές του ανάγκες όπως της τροφής, της στέγης, αλλά και ανώτερες ανάγκες όπως εκείνες για ιδιωτικότητα, αρμονία και τάξη. Ανάγκες, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με εντατικότητα, όταν η ευημερία ανθρώπων είναι υπό συζήτηση.

Παρά την κρισιμότητα αυτών, ο σχεδιασμός έχει θεωρηθεί ως μια επαναληπτική διαδικασία δοκιμής και σφάλματος που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία και τη διαίσθηση. Στον τομέα της κάλυψης των παραπάνω ανώτερων αναγκών, η αρχιτεκτονική έχει βασιστεί σχεδόν εξ ολοκλήρου σε εμπειρικούς κανόνες. Αν και η χρήση αυτών των κανόνων στο παρελθόν έχει δημιουργήσει αρχιτεκτονικά αριστουργήματα, σε άλλες περιπτώσεις έχει καταδικάσει ανθρώπους σε περιβάλλοντα που υποβάθμισαν την ποιότητα ζωής τους. Συνεπώς, **είναι απαραίτητη η προσθήκη περισσότερων καναλιών κατανόησης της επιρροής του σχεδιαζόμενου περιβάλλοντος.**

Τα περιβάλλοντα που βιώνουμε αποτελούνται από μορφή και περιεχόμενο. Η σύνθεση μορφής και περιεχομένου κάνει τα αντικείμενα αισθητικά. Δεν μας ξεδιψάει ούτε το υδρογόνο ούτε το οξυγόνο, αλλά η σύνθεσή τους σε νερό. Όμως, για να κατανοήσουμε το νερό και τις αντιδράσεις του, μας ωφελεί να εξετάσουμε πως αντιδρά το υδρογόνο, όπως ομοίως, για να κατανοήσουμε την αντιληπτική εμπειρία, μας ωφελεί να εξετάσουμε απομονωμένες τις επιδράσεις της μορφής. Αν και εκτενές μέρος της αρχιτεκτονικής βιβλιογραφίας ασχολείται με την φιλοσοφική, κοινωνικοπολιτική ή ιστορική ανάγνωση των αισθητικών αντικειμένων, οφείλει κανείς να εδραιώσει το τι κοιτούν οι άνθρωποι, πριν να μπορεί να ελπίζει να καταλάβει το γιατί, υπό τις ιδιαίτερες

συνθήκες τους, ο καθένας βλέπει ότι βλέπει.

Για να ξεκινήσει κανείς την διερεύνηση με υποσχόμενο τρόπο, θα πρέπει να θέσει εν παρενθέσει την εμπειρία που δημιουργείται εντός μίας αρχιτεκτονικής σύνθεσης από το πλαίσιο νοημάτων στο οποίο εντάσσεται. Να την εξετάσει, δηλαδή υπό ουδέτερες συνθήκες. Μια τέτοια αποσύνδεση από τα συμφραζόμενα δεν είναι ποτέ πλήρης, αλλά είναι αρκετά αποτελεσματική, ώστε να επιτρέπει στην πειραματική ψυχολογία να βασίζεται εξ ολοκλήρου σε αυτή την διαδικασία (Arnheim, 2009).

Τα κύρια συστατικά για την διερεύνηση των επιρροών του περιβάλλοντος είναι δύο, χώρος και άνθρωπος. Ο παράγοντας άνθρωπος παρατηρεί τον πειραματικό χώρο και οι αντιδράσεις του καταγράφονται. Παρόλο που διαφορές από παρατηρητή σε παρατηρητή είναι φυσικό να υπάρχουν, αυτό για το οποίο γίνεται αναζήτηση είναι το κοινό υπόβαθρο που παραμένει αληθές μεταξύ όλων και τα πιθανά μοτίβα στην κατανομή των διαφορών.

Σε πειραματικά πλαίσια, το μέσο με το οποίο γίνεται η επαφή ανθρώπου-χώρου έχει πάρει πολλές μορφές. Από δισδιάστατες απεικονίσεις περιβαλλόντων, που ζητείται από τον παρατηρητή η χρήση της φαντασίας για να θέσει εντός τον εαυτό του, σε πραγματικές κατασκευές, τις οποίες ο χρήστης βιώνει με το ίδιο του το σώμα, αλλά φέρουν περιορισμούς. Η έρευνα της ανθρώπινης αντίληψης, βρίσκεται τώρα στο επίκεντρο μιας μετατόπισης, καθοδηγούμενη από τη χρήση εμπορικά διαθέσιμης, χαμηλού κόστους και υψηλής πιστότητας εικονικής πραγματικότητας (VR).

Το VR είναι ελκυστική επιλογή, λόγω των σχεδόν απεριόριστων δυνατοτήτων για τη δημιουργία ερεθισμάτων και αυτό έχει οδηγήσει σε εξάπλωση του σε τομείς όπως η κλινική και αναπτυξιακή ψυχολογία, γεγονός που το έχει πλέον καθιερώσει ως πειραματικό εργαλείο.

Το πιο εμφανές πλεονέκτημα του VR είναι η ικανότητα παρουσίασης ερεθισμάτων σε τρεις διαστάσεις. Χάρη στη στερεοσκοπική της φύση, η εικονική πραγματικότητα εμφανίζει εξαιρετική ομοιότητα με τον «πραγματικό» κόσμο. Δεν απαιτείται από τον παρατηρητή να βασιστεί στη φαντασία του για να βιώσει την τρισδιάστατη φύση του περιβάλλοντός εντός του οποίου βρίσκεται. Το αντιλαμβάνεται άμεσα, μέσω των αισθήσεών του (Gladden, 2020).

Εκτός του ρεαλισμού, η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας

ξεπερνά ορισμένους από τους περιορισμούς των παραδοσιακών πειραματικών μεθόδων, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της χωρικής κατανομής των στοιχείων της οπτικής σκηνής, καθώς και την απόσταση και θέση τους. Ένα πραγματικό περιβάλλον δεν προσεγγίζει ούτε την ευκολία ούτε τον βαθμό με τον οποίο μπορούν να γίνουν μετατροπές σε ένα ψηφιακό. Η τεχνολογία VR επιτρέπει στους ερευνητές να μεταβάλλουν το περιβάλλον με πολύπλοκους, μέχρι ακόμα και φυσικά αδύνατους τρόπους, προκειμένου να εξετάσουν τη συμβολή διαφορετικών πηγών αισθητηριακών πληροφοριών στην αντίληψη καθώς οι παρατηρητές κινούνται εντός μιας σκηνής (Bruggeman et al., 2007).

Οι Rizzo et al. (2017) περιγράφουν τα εικονικά περιβάλλοντα ως «το απόλυτο κουτί Skinner», ικανό να παρουσιάσει μια σειρά από σύνθετες συνθήκες ερεθισμάτων, που δεν θα μπορούσαν εύκολα να ελεγχθούν στον πραγματικό κόσμο, επιτρέποντας την εξέταση τόσο των γνωστικών διεργασιών όσο και των λειτουργικών συμπεριφορών.

Εν κατακλείδι, η χρήση της εικονικής πραγματικότητας έχει τα πλεονεκτήματα της παρουσίασης των ερεθισμάτων σε τρεις διαστάσεις, του ακριβή και ανεξάρτητου χειρισμού των γεωμετρικών σχέσεων μέσα στις αντιληπτές σκηνές και της πραγματοποίησης αδύνατων μετατροπών (Wilson & Soranzo, 2015).

## Σκοπός εργασίας

**Η εστίαση της παρούσας εργασίας γίνεται στα περιβάλλοντα και στην μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων για αντιληπτικά πειράματα σε εικονική πραγματικότητα.** Πρώτα, θα εξεταστούν πειραματικοί χώροι προηγούμενων ερευνών και η μέθοδος συλλογής δεδομένων που διέπει την κάθε μία, και θα βγουν συμπεράσματα ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Στην συνέχεια, μετά από περιγραφή του ανθρώπινου συστήματος αντίληψης όρασης και θέσης, θα γίνει ανάλυση των δεδομένων που προσλαμβάνουν σε διακριτά γεωμετρικά στοιχεία. Έπειτα, θα γίνει περιγραφή αλγοριθμικής μεθοδολογίας παραγωγής πειραματικών περιβαλλόντων και συστήματος καταγραφής και επεξεργασίας των αντιληπτικών επιρροών τους, που βασίζεται στην παραπάνω γεωμετρική ανάλυση της αντίληψης. Τέλος, παραθέτοντας τις νέες δυνατότητες που προσφέρει η προτεινόμενη μεθοδολογία, θα καταστεί κατανοητό το πως μπορεί να συμβάλει στην περαιτέρω διερεύνηση της αντιληπτικής εμπειρίας στην αρχιτεκτονική.

# Πειραματικό υπόβαθρο

Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστούν προηγούμενα αντιληπτικά πειράματα με χρήση VR, εστιάζοντας στα περιβάλλοντα και στους τρόπους συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Λόγω των όσων προσφέρει, η τεχνολογία VR έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμα αντιληπτικά πειράματα. Για να περιοριστεί ο αριθμός για αξιολόγηση, η επιλογή των πειραμάτων έγινε βάσει ορισμένων κριτηρίων. Όλα τα κριτήρια στοχεύουν στο να απομονώσουν πειράματα που επικεντρώνονται στον παράγοντα χώρο και τον εξετάζουν με διαφορετικό τρόπο.

Το πρώτο κριτήριο αφορά τον τύπο ερεθίσματος. Τα πειράματα που επιλέγονται παρουσιάζουν τρισδιάστατα ερεθίσματα με την χρήση οθόνης απεικόνισης προσαρμοζόμενης στο κεφάλι (Head Mounted Display – HMD), μία μέθοδο που προσφέρει υψηλή οπτική εμπύθιση στο εικονικό περιβάλλον. Δεύτερο, ήταν η έρευνα να στρέφεται γύρω από τις επιδράσεις του ίδιου του ψηφιακού χώρου και όχι αντικειμένων εντός του. Τρίτο κριτήριο, είναι η απαίτηση από το κάθε πείραμα να είναι μοναδικό στο πως αντιμετωπίζει τους παράγοντες άνθρωπο και χώρο σε θέματα κίνησης, ρεαλισμού και μεταβλητότητας, με σκοπό την πολυμορφία των επιλεγόμενων πειραμάτων.

Για την καλύτερη κατανόηση των περιβαλλόντων, θα γίνει μια περιληπτική ανάλυση των πειραμάτων που τηρούν τα κριτήρια. Η ανάλυση περιλαμβάνει τον στόχο της έρευνας, την περιγραφή των χώρων, την μέθοδο με την οποία εξάγονται δεδομένα και τα αποτελέσματα της έρευνας.

## Πειράματα

Τα εξεταζόμενα πειράματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την ελευθερία κίνησης που προσφέρουν στον παρατηρητή. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Κατηγορία I, στατικός παρατηρητής
- Κατηγορία II, προκαθορισμένη ενέργεια κίνησης
- Κατηγορία III, ελεύθερη κίνηση

Οι τρεις κατηγορίες διαμορφώνουν την σειρά παρουσίασης των πειραμάτων.

### Κατηγορία I

Στα παρακάτω πειράματα, το άτομο που εισάγεται στο περιβάλλον παραμένει ακίνητο. Σταθερό σε ένα σημείο, με ελεύθερη κίνηση ματιού, παρατηρεί το περιβάλλον. Αποτελεί ένα στατικό δέκτη οπτικών ερεθισμάτων.

## ***Emotional evaluation of architectural interior forms based on personality differences using virtual reality. (Banaei et al., 2020)***

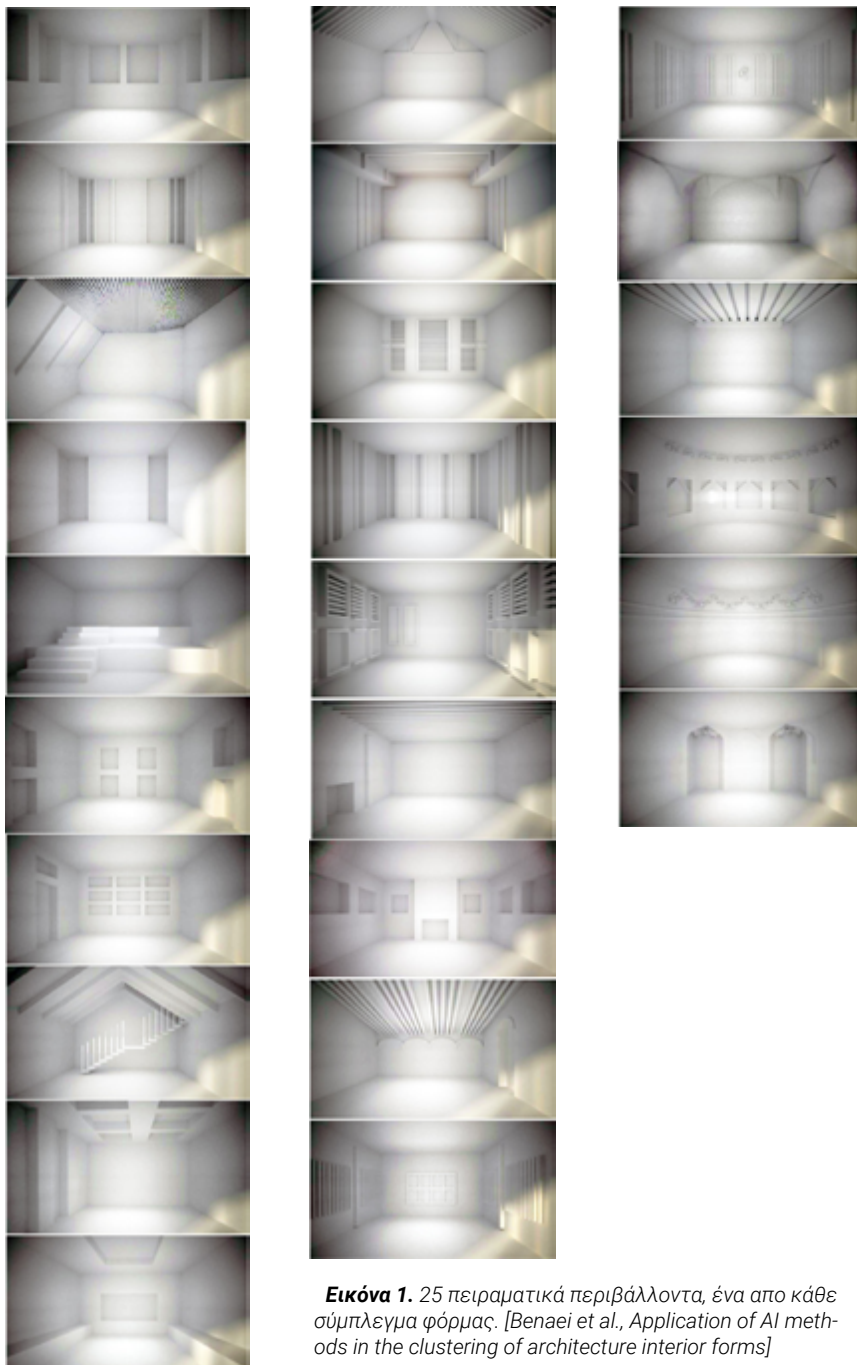
Αυτή η μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση του αντίκτυπου των αρχιτεκτονικών μορφών εσωτερικού χώρου στις συναισθηματικές καταστάσεις των κατοίκων, θεωρώντας τις διαφορές προσωπικότητας ως ενδιάμεσο παράγοντα.

Η προσωπικότητα έχει μία προϋπάρχουσα επίδραση στις τρεις συναισθηματικές αντιδράσεις του μοντέλου των Mehrabian και Russell (1974), δηλαδή, ευχαρίστηση, διέγερση και κυριαρχία (pleasure - arousal - dominance, PAD). Αυτές οι αντιδράσεις παίζουν μεσολαβητικό ρόλο μεταξύ του δομημένου περιβάλλοντος και της συμπεριφοράς (Mehrabian & Russell, 1974).

Γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών φόρμας (π.χ. τύπος, γεωμετρία, κλίμακα, θέση και γωνία) και δεικτών PAD, εξετάζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά προσωπικότητας σε εικονικά περιβάλλοντα. Οι εικονικές αίθουσες του πειράματος δημιουργήθηκαν με βάση συμπλέγματα αρχιτεκτονικών μορφών. Η χρήση συστηματικής κατηγοριοποίησης μορφών, διαφορών προσωπικότητας και περιβαλλόντων VR προτείνει μια νέα προσέγγιση για τη διερεύνηση της επίδρασης της αρχιτεκτονικής στο συναίσθημα.

## **Χώροι**

Τα δεδομένα από μια προηγούμενη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν για την ακριβή ανάλυση αρχιτεκτονικών μορφών (Banaei et al., 2017). Στην αναφερόμενη μελέτη, οι Banaei et al. συγκέντρωσαν τα στοιχεία φόρμας από 343 εικόνες εσωτερικών καθιστικών από διαφορετικές ιστορικές εποχές και διαφορετικών αρχιτεκτονικών ρυθμών. Η μελέτη έδειξε ότι αυτές οι μορφές θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε 25 συμπλέγματα φόρμας (Εικόνα 1). Τα περιγραφικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των 25 συμπλεγμάτων χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη για τη δημιουργία εικονικών δωματίων, 3 για κάθε σύμπλεγμα. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 75 εικονικοί χώροι, όμοιοι σε διαστάσεις (πλάτος 5,0 μ., μήκος 7,5 μ., ύψος 3,0 μ.), σε χρώμα λευκό και με φωτισμό studio, με διαφορές στα χαρακτηριστικά της φόρμας τους. Το λευκό επιλέχτηκε για την αφαίρεση των επιδράσεων χρώματος στο πείραμα.



**Εικόνα 1.** 25 πειραματικά περιβάλλοντα, ένα από κάθε σύμπλεγμα φόρμας. [Benaï et al., Application of AI methods in the clustering of architecture interior forms]

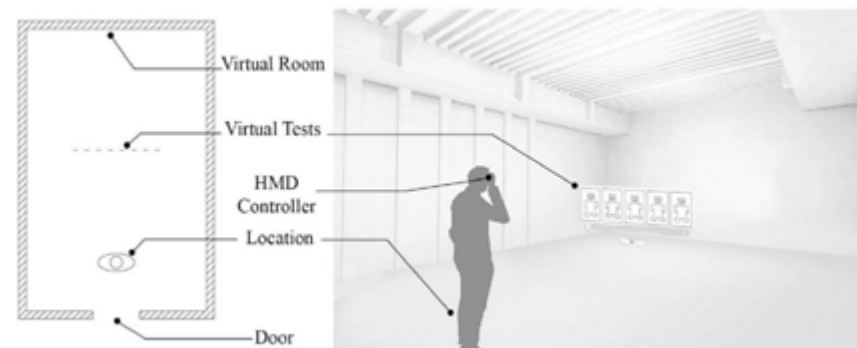
## Μέθοδος

Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αξιολογήσουν κάθε δωμάτιο σε όρους PAD, χρησιμοποιώντας ένα εικονικό μοντέλο αξιολόγησης (Bradley & Lang, 1994)

Το πείραμα ξεκίνησε με ένα απλό κυβικό δωμάτιο που προβαλλόταν για 5 δευτερόλεπτα από τη στιγμή που ο συμμετέχων αποφάσιζε να προχωρήσει στην πειραματική συνεδρία. Ο χώρος αυτός, αποτελούσε ουδέτερο ερέθισμα για μια καθορισμένη χρονική περίοδο, κατά την μετάβαση μεταξύ των εξεταζόμενων χώρων.

Τα δωμάτια παρουσιάζονταν στους συμμετέχοντες για 10 δευτερόλεπτα μετά από κάθε ενδιάμεση προβολή του κυβικού δωματίου. Οι συμμετέχοντες δεν μπορούσαν να περπατήσουν μέσα στα εικονικά δωμάτια αλλά ήταν ελεύθεροι να κοιτάζουν γύρω. Το πείραμα διεξήχθη σε όρθια θέση, αλλά μια καρέκλα ήταν διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή για να καθίσει και κάποιους που ίσως αισθανθεί κούραση.

Οι συμμετέχοντες στέκονταν μπροστά από την πόρτα εισόδου, με πλήρη θέα στο δωμάτιο (Εικόνα 1). Το εικονικό μοντέλο αξιολόγησης εμφανιζόταν μετά από κάθε παρουσίαση δωματίου, και οι συμμετέχοντες λάμβαναν αρκετό χρόνο για να απαντήσουν. Κάθε συναισθηματική κλίμακα του PAD παρουσιαζόταν χωριστά με μια κλίμακα Likert εννέα σημείων. Οι συμμετέχοντες θα μπορούσαν να προσαρμόσουν την προτιμώμενη βαθμολογία τους χρησιμοποιώντας ένα ρυθμιστή (slider) κάτω από κάθε εικόνα. Οι συμμετέχοντες προχωρούσαν στο επόμενο βήμα μετά από κάθε αξιολόγηση, πατώντας το κουμπί «OK» κάτω από το ρυθμιστή.



**Εικόνα 1.** Παράδειγμα εικονικού δωματίου πειράματος [Benaï et al., "Emotional evaluation of architectural interior forms based on personality differences using virtual reality"]



Οι συμμετέχοντες απάντησαν σε ερωτήσεις σχετικά με την εμπειρία VR, τις συνθήκες υγείας και τη μορφή του σπιτιού τους μετά το πείραμα.

## Αποτελέσματα

Αυτή η μελέτη αξιολόγησε τις αρχιτεκτονικές μορφές εσωτερικών χώρων για να επιτύχει μια συναισθηματική ανάλυση των μορφών που χρησιμοποιούνται σε αρχιτεκτονικά σχέδια.

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών της προσωπικότητας ως παράγοντα πρόβλεψης της ευχαρίστησης σε διαφορετικά συμπλέγματα μορφής, έδειξε ότι η τερπνότητα (agreeableness) είχε θετικό αντίκτυπο στον βαθμό ευχαρίστησης για συμπλέγματα με πιο περιγραφικά χαρακτηριστικά, όπως ένα πλήρες κατακόρυφο γραμμικό στερεό τοποθετημένο σε τοίχο, ή ένα κεκλιμένο γραμμικό στερεό στην οροφή.

Αντίθετα, το χαρακτηριστικό της ανοικτότητας στην εμπειρία (openness to experience) είχε αρνητική επίδραση στην ευχαρίστηση για συμπλέγματα που περιείχαν ως επί το πλείστον γραμμικές αιχμηρές ακμές.

Ο νευρωτισμός (neuroticism) μείωνε την ευχαρίστηση σε συμπλέγματα που περιείχαν κατά κύριο λόγο αιχμηρές ακμές, ενώ η διέγερση μειωνόταν σε συμπλέγματα που περιείχαν κυρίως καμπύλες ακμές με πολύπλοκες γωνίες στον άξονα Z.

Τα αποτελέσματα απεικόνισαν τη σχέση μεταξύ των διαφόρων μορφών, των συναισθηματικών καταστάσεων και των χαρακτηριστικών προσωπικότητας. Επιπρόσθετα, αυτή η μελέτη εξέτασε περαιτέρω τα μέσα διερεύνησης τρισδιάστατων περιβαλλόντων σε VR.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Maryam Banaei, Ali Ahmadi, Klaus Gramann, Javad Hatami, χρησιμοποιεί ένα σύμπλεγμα 75 χώρων διαφορετικής αρχιτεκτονικής μορφολογίας. Τα περιβάλλοντα, αν και ρεαλιστικά, δεν είναι αντίγραφα άλλων, ήδη υπαρχόντων, αλλά προσπαθούν να αναπαραστήσουν αφαιρετικά πολλαπλές μορφολογίες που απαντώνται στον πραγματικό κόσμο. Οι 75 χώροι έχουν όμοιες διαστάσεις, ίδια υφή και διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Ο χρήστης παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια της εμπύθισής του στο περιβάλλον. Η συλλογή των δεδομένων της εμπειρίας του γίνεται μέσω ερωτηματολογίου 9 σημείων τύπου Likert που ο χρήστης απαντά εντός του ψηφιακού περιβάλλοντος. Οι ερωτήσεις αφορούν στα επίπεδα του χρήστη σε ευχαρίστηση, διέγερση και κυριαρχία, δηλαδή τα συστατικά του μοντέλου PAD.

## ***Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments. (Chamilothori et al., 2019)***

Αυτό το άρθρο προτείνει μια νέα πειραματική μέθοδο που χρησιμοποιεί headset εικονικής πραγματικότητας (VR), με στόχο να προσφέρει ένα εναλλακτικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή υποκειμενικών αξιολογήσεων χώρων με ημερήσιο φωτισμό. Αυτή η μέθοδος σκοπεύει να ξεπεράσει τη δυσκολία ελέγχου της διακύμανσης των συνθηκών φωτός, μία από τις κύριες προκλήσεις στις πειραματικές μελέτες που χρησιμοποιούν φως ημέρας.

Η παρούσα εργασία διερευνά την επάρκεια της προτεινόμενης μεθόδου στην αξιολόγηση πέντε πτυχών της υποκειμενικής αντίληψης σε χώρους με ημερήσιο φωτισμό: την αντιλαμβανόμενη ευχαρίστηση, το ενδιαφέρον, τον ενθουσιασμό, την πολυπλοκότητα και την ικανοποίηση με το εύρος ορατότητας στον χώρο.

Η κύρια εστίαση της μελέτης είναι η επίδραση του περιβάλλοντος· εάν υπάρχει διαφορά στις αντιδράσεις μεταξύ των πραγματικών και εικονικών χώρων και εάν υπάρχει διαφορά στα αναφερόμενα σωματικά συμπτώματα μετά τη χρήση της συσκευής VR. Ωστόσο, θα ελεγχθεί επίσης η επίδραση της σειράς παρουσίασης των περιβαλλόντων (πρώτα πραγματικό και μετά ψηφιακό ή αντίστροφα) για πιθανή επίδραση επί των πειραματικών αποτελεσμάτων.

## Χώροι

Προκειμένου να ελεγχθεί η αντιληπτική ακρίβεια της προτεινόμενης μεθόδου, οι ερευνητές σκοπεύουν να συγκρίνουν τις υποκειμενικές

εκτιμήσεις ενός πραγματικού χώρου και τις αναπαράστασεις του στην εικονική πραγματικότητα. Για να συμβαδίζουν με τα χαρακτηριστικά των πειραματικών χώρων σε σχετικές μελέτες, τα κριτήρια που καθορίστηκαν για την επιλογή της αίθουσας δοκιμών ήταν το μικρό έως μεσαίο μέγεθος (Moscoso et al., 2015), υποδηλωμένη γραφειακή χρήση και πρόσβαση φωτός από τη νότια πρόσοψη για να επιτραπούν συνθήκες με άμεσο ηλιακό φως.

Η δοκιμαστική μονάδα DEMONA στην πανεπιστημιούπολη της Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), που παρουσιάζεται στο σχήμα, επιλέχθηκε επειδή πληρούσε τα κριτήρια αυτά και ήταν προσβάσιμη από τους συμμετέχοντες. Η μονάδα έμοιαζε με χώρο γραφείου με ουδέτερα χρωματικά έπιπλα (γραφείο και καρέκλες), γκρίζο χαλί, λευκούς τοίχους και οροφή, καθώς και παράθυρα στις βόρειες και νότιες προσόψεις (Εικόνα 2). Η βόρεια πρόσοψη καλύφθηκε, επιτρέποντας το φως της ημέρας να εισέλθει μόνο από τη νότια πλευρά.



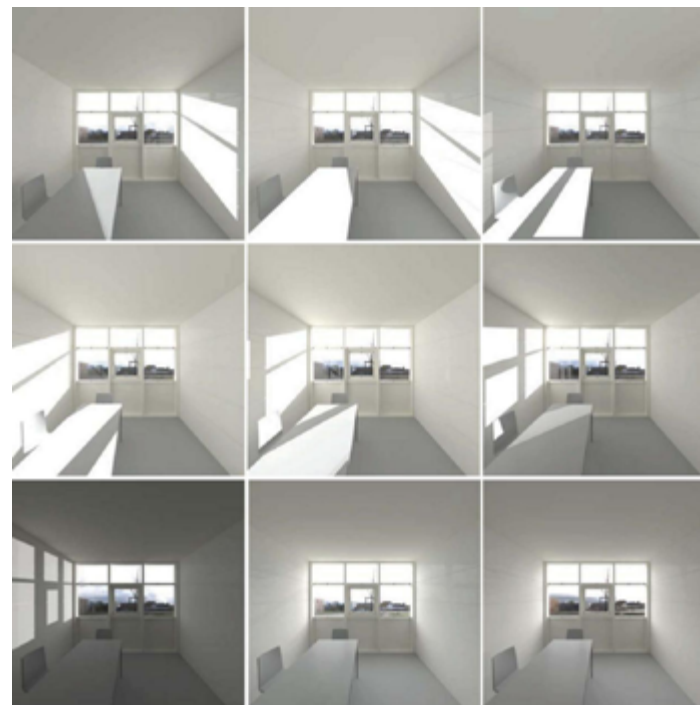
**Εικόνα 2.** Φωτογραφία υποκειμένου εντός του πραγματικού χώρου, [Chamilothori et al., Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments]

Το εικονικό δωμάτιο δοκιμών μοντελοποιήθηκε και στη συνέχεια εξήχθη σε ένα εκτενώς επικυρωμένο εργαλείο προσομοίωσης φυσικού φωτισμού. Το χρώμα και η ανακλαστικότητα των επιφανειών και των

επίπλων στο πειραματικό δωμάτιο μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο και μεταφράστηκαν σε ιδιότητες υλικού.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο κατά τη διάρκεια 8 ημερών, οι οποίες αναπαριστώνται με μια επιλογή εικονικών σκηνών που αντιστοιχούσαν σε διαφορετικές συνθήκες ώρες της ημέρας, τύπου ουρανού και θέας.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η διακύμανση του φωτός κατά την διάρκεια της ημέρας, δημιουργήθηκαν επτά σκηνές με καθαρό ουρανό που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα από τις 9:30 π.μ. έως τις 3:30 μ.μ., όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.



**Εικόνα 3.** Οι 9 σκηνές του εικονικού χώρου, [Chamilothori et al., Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments]

## Μέθοδος

Επελέγη ένας σχεδιασμός πειράματος που μετρά τις διαφορές μεταξύ των εμπειριών του ίδιου υποκειμένου εντός των δύο περιβαλλόντων (Εικόνα 4). Η χρήση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων έχει το πλεονέκτημα ότι εξαλείφει την επίδραση της διακύμανσης μεταξύ των μεμονωμένων συμμετεχόντων.



**Εικόνα 4.** Πραγματικός (αριστερά) και εικονικός (δεξιά) χώρος, [Chamilothori et al., Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments]

Διερευνάται η διαφορά μεταξύ των υποκειμενικών αξιολογήσεων για το πραγματικό περιβάλλον και την εικονική του αναπαράσταση. Συγκρίνονται τα σωματικά συμπτώματα των συμμετεχόντων πριν και μετά τη χρήση του VR headset και αξιολογείται η αντιλαμβανόμενη παρουσία των συμμετεχόντων στην εικονική σκηνή μέσω λεκτικών ερωτηματολογίων

Τα πειραματικά δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου, και ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ενότητες, που σχετίζονται με τη διερεύνηση της αντιληπτικής ακρίβειας της μεθόδου (αντιληπτικές εντυπώσεις), την επίδραση της χρήσης της συσκευής VR στις φυσιολογικές αντιδράσεις του χρήστη (φυσιολογικά συμπτώματα) και την αντιληπτή παρουσία του χρήστη στον εικονικό χώρο (αναφερόμενη παρουσία).

Τα ερωτηματολόγια για τις αντιληπτές εντυπώσεις βασίστηκαν στο έργο του Vogels (2008) και του Rockcastle et al. (2016), εστιάζοντας όμως, στις διαστάσεις της ευχαρίστησης, του οπτικού ενδιαφέροντος και της πολυπλοκότητας, με την προσθήκη μιας ερώτησης σχετικά με το εύρος της ορατότητας, η οποία έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την αντιληπτική ευχαρίστηση που προσλαμβάνεται.

## Αποτελέσματα

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αξιολογήσεων στο πραγματικό και στο εικονικό περιβάλλον.

Οι αντιληπτές εντυπώσεις ευχαρίστησης, ενδιαφέροντος και ικανοποίησης με το εύρος ορατότητας θεωρήθηκαν αρκετά ακριβείς, ενώ εκείνες της περιπλοκότητας και διέγερσης είχαν οριακά μεγαλύτερα μεγέθη. Η χρήση της συσκευής VR δεν επηρέασε τα αναφερόμενα σωματικά συμπτώματα των συμμετεχόντων, με εξαίρεση την καταπόνηση των ματιών, που αντιστοιχεί σε βαθμονόμηση ως μικρού προς μέτριου, και όχι μικρού. Τέλος, η αναφερόμενη παρουσία των υποκειμένων στον εικονικό χώρο έδειξε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, συγκρίσιμα με άλλες μελέτες.

Ο πειραματικός έλεγχος της προτεινόμενης μεθόδου για την αντιληπτική ακρίβεια, τις δυσμενείς φυσιολογικές επιδράσεις και την αντιληπτή παρουσία υπέδειξε την επάρκεια του παραγόμενου περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας, στο να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο πραγματικών χώρων στην διερεύνηση των προαναφερθέντων πέντε διαστάσεων αντίληψης σε χώρους με ημερήσιο φωτισμό.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Kynthia Chamilothori, Jan Wienold & Marilyn Andersen εκθέτει τον χρήστη στο πραγματικό εσωτερικό της δοκιμαστικής μονάδας DEMONA καθώς και στο ψηφιακό της ομοίωμα. Ο ορθοκανονικός αυτός χώρος χαρακτηρίζεται από γραφειακό χαρακτήρα. Το ψηφιακό ομοίωμα αναπαριστά τον χώρο σε 9 διαφορετικές ρεαλιστικές συνθήκες φωτισμού και νέφωσης για την καλύτερη ταύτισή του με το πραγματικό περιβάλλον.

Ο χρήστης παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια της εμπύθισής του στο περιβάλλον. Η συλλογή των δεδομένων της εμπειρίας του γίνεται μέσω λεκτικού ερωτηματολογίου. Οι ερωτήσεις αφορούν τις αντιληπτικές εντυπώσεις (εστιάζοντας στις διαστάσεις της ευχαρίστησης, του οπτικού ενδιαφέροντος, της πολυπλοκότητας και του εύρους της ορατότητας), τα φυσιολογικά συμπτώματα και την αναφερόμενη παρουσία εντός του ψηφιακού χώρου.

## Κατηγορία II

Τα πειράματα της κατηγορίας καθορίζουν στον παρατηρητή μία σαφή πορεία την οποία πρέπει να ακολουθήσει. Στην περίπτωση των δύο πειραμάτων, η κίνηση έχει την μορφή τυφλού περπατήματος προς ένα προηγούμενως ορατό στόχο. Η ακρίβεια της κίνησης του παρατηρητή, χρησιμοποιείται ως δείκτης των επιδράσεων του χώρου.

## ***Investigating the Influence of Virtual Human En-tourage Elements on Distance Judgments in Virtual Architectural Interiors. (Aseeri et al., 2019)***

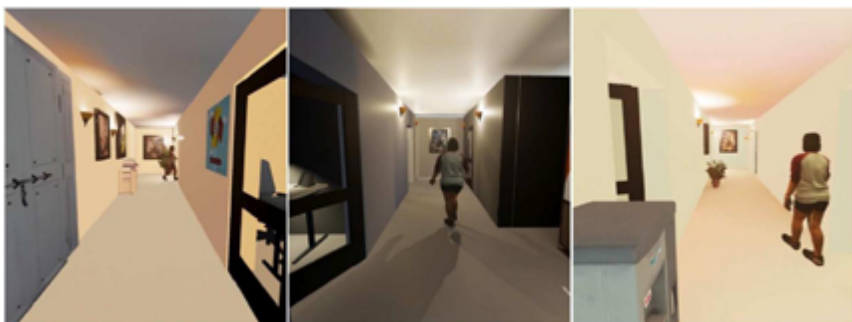
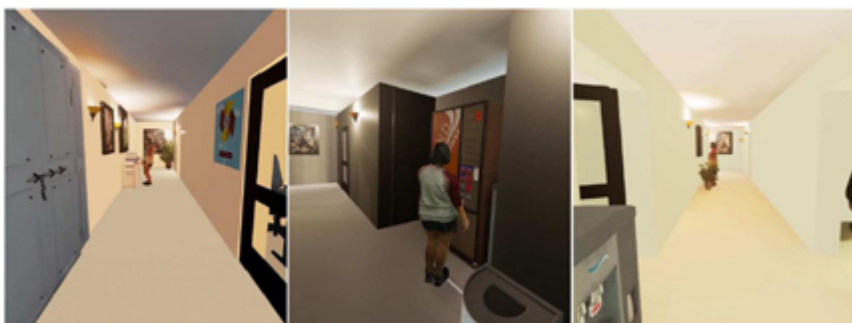
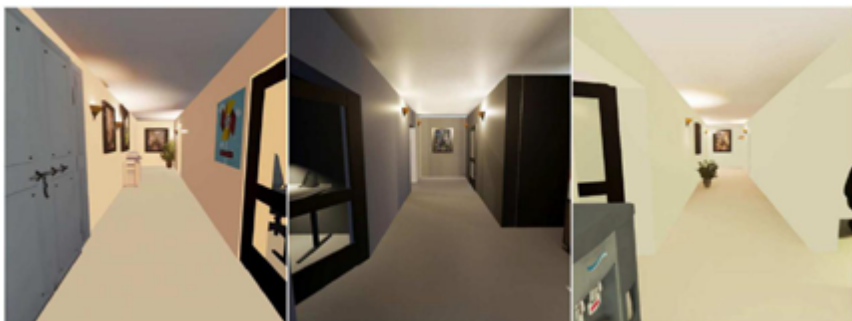
Στην παρούσα δημοσίευση περιγράφονται δύο πειράματα που διερευνούν την έκταση στην οποία η προσθήκη ενός φωτορεαλιστικού, τρισδιάστατου μοντέλου οικείου προσώπου σε ένα εικονικό αρχιτεκτονικό περιβάλλον, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της υποεκτίμησης των αποστάσεων σε εικονικά περιβάλλοντα.

Αναζητείται ο βαθμός με τον οποίο οι άνθρωποι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις υποθέσεις τους για το μέγεθος ενός εικονικού ανθρωπίνου μοντέλου για να βαθμονομήσουν μεγέθη και αποστάσεις στον κοινόχρηστο εικονικό χώρο. Παράλληλα, αναζητούνται οι συνθήκες υπό τις οποίες οι κρίσεις για εγωκεντρικές αποστάσεις σε εικονικά αρχιτεκτονικά περιβάλλοντα μπορεί να βελτιωθούν με την προσθήκη ενός φωτορεαλιστικού στατικού ή κινούμενου εικονικού μοντέλου ενός γνωστού προσώπου.

## Χώρος

Σχεδιάζονται τρία διαφορετικά μοντέλα εικονικών διαδρόμων, τα οποία φωτίστηκαν και γέμισαν με στοιχεία όπως φωτιστικά, κορνίζες, φυτά, πόρτες και παράθυρα, καθώς και διάφορα έπιπλα. Οι διάδρομοι κατασκευάστηκαν έτσι ώστε και τα τρία μοντέλα να είναι ουσιαστικά δομικά ισοδύναμα, το καθένα με το ίδιο μήκος και πλάτος, αλλά με διαφορετική εμφάνιση μέσω των διακοσμητικών λεπτομερειών. Το σχήμα 1 δείχνει πως μοιάζει κάθε εικονικός διάδρομος από την αρχική θέση του συμμετέχοντα.

Πέρα από τους τρεις διαφορετικούς διάδρομους, μεταβλητή ήταν και η απουσία ή ο τύπος της παρουσίας του ανθρωπίνου μοντέλου. Οι συνθήκες ήταν τρεις: χωρίς μοντέλο, στατικό μοντέλο (εκτός της πορείας που ακολουθεί ο συμμετέχων) και μοντέλο που κινείται (Εικόνα 5).



**Εικόνα 5.** Οι τρεις διαφορετικοί διάδρομοι με τις τρεις διαφορετικές συνθήκες του ανθρώπινου εικονικού μοντέλου. Χωρίς μοντέλο (πάνω), στατικό μοντέλο (μέση), κινούμενο μοντέλο (κάτω). [Aseeri et al. Investigating the Influence of Virtual Human Entourage Elements on Distance Judgments in Virtual Architectural Interiors.]

## Μέθοδος

Ο συμμετέχων στέκεται σε μια προκαθορισμένη θέση στο πραγματικό και εικονικό περιβάλλον, η οποία μαρκάρεται με ταινία στο πάτωμα του εργαστηρίου. Αφού έχει την ευκαιρία να κοιτάξει τον ψηφιακό χώρο σύντομα (χωρίς να μετακινηθεί από την αρχική θέση), η θέση του καταγράφεται, και ένας μικρός λευκός στόχος παρουσιάζεται σε μια προκαθορισμένη θέση στο πάτωμα του εικονικού διαδρόμου. Ο συμμετέχων καλείται να κοιτά στο στόχο και όταν είναι έτοιμος, να κλείσει τα μάτια, να πει «έτοιμος» και να περπατήσει μέχρι εκεί που πιστεύει ότι είναι ο στόχος. Η ακρίβεια αντίληψης του εικονικού μοντέλου υπολογίζεται βάσει της απόστασής της θέσης του μετά την βάδιση από τον πραγματικό στόχο.

## Αποτελέσματα

Στο πείραμα δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην ακρίβεια αντίληψης των συμμετεχόντων σε εικονικό μοντέλο διαδρόμου, παρουσία μιας στατικής ή κινούμενης μορφής ενός γνωστού εικονικού ανθρώπου, σε σύγκριση με την αντίληψη των αποστάσεων σε ένα μοντέλο διαδρόμου που δεν εμφανίστηκε κανένας εικονικός άνθρωπος. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι το εικονικό ανθρώπινο μοντέλο έχει περιορισμένες δυνατότητες στο να επηρεάζει την αίσθηση των ανθρώπων για την κλίμακα ενός εσωτερικού χώρου. Η απλή προσθήκη συνοδείας, δεν θα προσδώσει ακριβέστερη εγωκεντρική κρίση αποστάσεων σε ψηφιακά περιβάλλοντα.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Aseeri, Sahar & Paraiso, Karla & Interrante, Victoria χρησιμοποιεί τρεις εικονικούς διαδρόμους ίδιων διαστάσεων, οι οποίοι δεν αποτελούν ομοίωμα κάποιου πραγματικού χώρου. Οι διάδρομοι διαφέρουν μεταξύ τους σε υφή και επίπλωση. Άλλη μία μεταβλητή στις εκδοχές των διαδρόμων είναι εκείνη του ανθρώπινου μοντέλου, Το μοντέλο μπορεί να είναι στατικό, να κινείται ή να είναι απών.

Ο χρήστης παραμένει σταθερός στην πρώτη φάση της εξοικείωσής του με το περιβάλλον. Στην συνέχεια, όταν εμφανίζεται ο στόχος, καλείται να κλείσει τα μάτια και να βαδίσει προς εκείνον. Η συλλογή δεδομένων γίνεται βάσει της απόστασης μεταξύ της τελικής θέσης του χρήστη και της θέσης του στόχου.

### ***Elucidating Factors that Can Facilitate Veridical Spatial Perception in Immersive Virtual Environments. (Interrante et al., 2008)***

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο πειράματα που επιδιώκουν την κατανόηση του προβλήματος της εξασφάλιση αξιόπιστης χωρικής αντίληψης σε εμβυθιστικά εικονικά περιβάλλοντα. Ειδικότερα, επιδιώκεται να προσδιοριστεί το εάν οι άνθρωποι είναι σε θέση να κάνουν παρομοίως ορθές κρίσεις εγωκεντρικών αποστάσεων σε πανομοιότυπα πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα επειδή:

- Μπορούν να χρησιμοποιήσουν μετρικές πληροφορίες προερχόμενες από την έκθεσή τους στο πραγματικό περιβάλλον, για να ρυθμίσουν τις αποφάσεις τους για τα μεγέθη και τις αποστάσεις του εικονικού περιβάλλοντος, είτε γιατί,
- Η προηγούμενη έκθεσή τους στο πραγματικό περιβάλλον, τους επέτρεψε να αποκτήσουν μια αυξημένη αίσθηση παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον, η οποία τους οδηγεί να ενεργούν ερμηνεύοντας τα οπτικά ερεθίσματα που παρέχονται μέσω της οθόνης ως μια μεσολάβηση του υπολογιστή για ένα πραγματικό περιβάλλον και όχι απλώς ως μια εικόνα που παράγεται από υπολογιστή, με όλες τις αβεβαιότητες που αυτό θα σήμαινε.

Εν ολίγοις, μέσα από αυτό το πείραμα, στόχος είναι να εντοπιστεί το πώς οι εικασίες αποστάσεων των συμμετεχόντων για τους πραγματικούς και τους εικονικούς κόσμους επηρεάζονται διαφορετικά από λεπτές, συγκαλυμμένες μετατροπές στην αντιστοιχία μεγέθους (μικρότερη / ίδια / μεγαλύτερη) μεταξύ πραγματικών και εικονικών μοντέλων, ενώ οι συμμετέχοντες πιστεύουν ότι αντιστοιχούν ακριβώς.

### **Χώρος**

Το εργαστήριο στο οποίο έγιναν τα πειράματα περιλαμβάνει έναν ανοιχτό χώρο και μια μεγάλη καμπύλη οθόνη. Οι διαστάσεις του χώρου είναι 9 μ. μήκος, 7.5 μ. πλάτος στο κέντρο, μειώνοντας έως 5 μ. στα άκρα λόγω της καμπυλότητας της οθόνης. Η Εικόνα 6 δείχνει μια φωτογραφία του πραγματικού εργαστηριακού περιβάλλοντος.

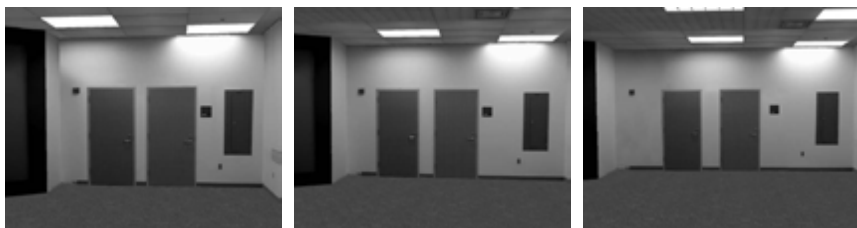


**Εικόνα 6.** Φωτογραφία υποκειμένου εντός του πραγματικού περιβάλλοντος, φορώντας την μονάδα προβολής. [Interrante et al. Elucidating Factors That Can Facilitate Veridical Spatial Perception in Immersive Virtual Environments.]

Το αρχικό εικονικό μοντέλο υψηλής πιστότητας του πραγματικού περιβάλλοντος, ήταν γεωμετρικά καθορισμένο ώστε να υπάρχει ακριβής αντιστοιχία με το πρωτότυπο. Κάθε μία από τις επιφάνειες του (πάτωμα, οροφή και τοίχοι) επικαλύφτηκε με ένα ψηφιδωτό φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης που ελήφθησαν από τον πραγματικό χώρο.

Μόνο ένα από τα εικονικά μοντέλα ήταν στην πραγματικότητα το ίδιο μέγεθος σε σχέση με το πραγματικό δωμάτιο. Το ένα τρίτο των

συμμετεχόντων μπήκε σε ένα εικονικό μοντέλο στο οποίο κάθε τοίχος είχε μετακινηθεί κρυφά 10% προς το κέντρο του δωματίου (οι υφές του τροποποιήθηκαν για να κρύψουν την αλλαγή αυτή) και ένα άλλο τρίτο εικονικό μοντέλο στο οποίο κάθε ένας από τους τοίχους είχε μετακινηθεί κρυφά 10% προς τα έξω από το κέντρο του δωματίου (οι υφές συμπληρώθηκαν κατάλληλα για να κρύψουν αυτή την αλλαγή, χωρίς να μεγεθύνουν τίποτα) (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7.** Το εικονικό μοντέλο στις τρεις εκδοχές του. 10% Μετακίνηση προς το κέντρο (αριστερά), πραγματικές διαστάσεις (κέντρο), 10% μετακίνηση προς τα έξω (δεξιά), [Interrante et al. Elucidating Factors That Can Facilitate Veridical Spatial Perception in Immersive Virtual Environments.]

Οι συμμετέχοντες δεν ενημερώθηκαν για την ύπαρξη διαφορετικών μοντέλων δωματίων. Αντίθετα, σε κάθε συμμετέχοντα, ειπώθηκε ρητά ότι το μοντέλο εικονικού δωματίου που θα έμπαινε ήταν ένα ακριβές αντίγραφο του πραγματικού δωματίου.

Παράλληλα έπαιζε στατικός θόρυβος με σκοπό να πνίξει οποιεσδήποτε λεπτές ακουστικές ενδείξεις που οι συμμετέχοντες θα μπορούσαν να αποκτήσουν από το φυσικό εργαστηριακό περιβάλλον.

## Μέθοδος

Ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να κρίνουν μία εγωκεντρική απόσταση στο πραγματικό δωμάτιο και σε ένα από τα τρία διαφορετικά μοντέλα εικονικού περιβάλλοντος, καθένα από τα οποία περιεγράφηκε στους ίδιους, μέσω γραπτών οδηγιών, ως « εικονικό μοντέλο υψηλής πιστότητας της ίδιας αίθουσας.» Για την εκτίμηση της αντίληψης απόστασης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος τυφλού περπατήματος. (Rieser et al., 1990)

## Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα και από τα δύο πειράματα υποδηλώνουν ότι οι άνθρωποι δεν είναι σε θέση να εξαγουν μετρικές πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη και τις αποστάσεις από την προηγούμενη έκθεση σε ένα πραγματικό περιβάλλον και να τις χρησιμοποιήσουν άμεσα για να βαθμονομήσουν τις εκτιμήσεις των μεγεθών και αποστάσεων σε ένα αντίστοιχο εικονικό μοντέλο του ίδιου περιβάλλοντος.

Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα αφήνουν ανοικτό το ενδεχόμενο ότι η προθυμία να αποδεχτεί ο παρατηρητής μια αναπαράσταση ενός εικονικού περιβάλλοντος ως ισοδύναμο πραγματικού, έχει σημαντικό ρόλο, επιτρέποντας στους ανθρώπους να ερμηνεύουν και, ως εκ τούτου, να ενεργούν επί των οπτικών ερεθισμάτων που παρέχονται από την οθόνη, σαν να αποτελούσαν πραγματική εικόνα ενός πραγματικού περιβάλλοντος.

Παρατηρήθηκε ότι οι άνθρωποι φαίνεται να είναι σε θέση να κάνουν εκπληκτικά ακριβείς κρίσεις για εγωκεντρικές αποστάσεις σε ένα εικονικό περιβάλλον, όταν εκείνο αποτελεί ένα μοντέλο υψηλής πιστότητας του ίδιου φυσικού χώρου που πραγματικά καταλαμβάνει ο χρήστης.

Μια πιθανή ερμηνεία αυτού είναι ότι οι παρατηρητές είναι σε καλύτερη θέση να κάνουν ακριβείς κρίσεις της εγωκεντρικής απόστασης σε ένα εμβυσθιστικό εικονικό περιβάλλον όταν είναι σε θέση να γίνουν γνωστικώς βυθισμένοι ή παρόντες σε αυτό, δηλαδή, όταν είναι σε θέση να δεχτούν το εικονικό περιβάλλον ως ισοδύναμο με τον πραγματικό κόσμο και ως εκ τούτου να δράσουν, ανάλογα με τα οπτικά ερεθίσματα, στον εικονικό κόσμο με τον ίδιο τρόπο που θα είχαν στον πραγματικό κόσμο.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Interrante, V., Ries, B., Lindquist, J., Kaeding, M., & Anderson, L., χρησιμοποιεί το περιβάλλον ενός πραγματικού εργαστηρίου, καθώς και 3 εικονικά ομοιώματά του με ίδιες διαστάσεις ή ελαφρές παραμορφώσεις της τάξεως του 10%.

Ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία με το προηγούμενο πείραμα, με την διαφορά ότι εδώ η διαδικασία λαμβάνει χώρα στο ψηφιακό αλλά και στο



πραγματικό πρωτότυπο. Ο χρήστης παραμένει σταθερός στην πρώτη φάση της εξοικείωσής του με το περιβάλλον. Στην συνέχεια, όταν εμφανίζεται ο στόχος, καλείται να κλείσει τα μάτια και να βαδίσει προς εκείνον. Η συλλογή δεδομένων γίνεται βάσει της απόστασης μεταξύ της τελικής θέσης του χρήστη και της θέσης του στόχου.

## Κατηγορία III

Στα παρακάτω πειράματα, ο παρατηρητής έχει την δυνατότητα να κινηθεί ελεύθερα εντός του περιβάλλοντος, από μία αφετηρία σε ένα τερματισμό. Αν και έχει ο ίδιος τον έλεγχο της κίνησής του, η γεωμετρίες των περιβαλλόντων διαμορφώνουν ισχυρούς άξονες που εν τέλει δομούν όμοιες πορείες μεταξύ των παρατηρητών.

## ***Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry. (Shemesh et al., 2016)***

Ο στόχος που τίθεται στο παρόν πείραμα είναι η ανάπτυξη πλαισίου και μεθοδολογίας για την εμπειρική εξέταση και μέτρηση της ανθρώπινης αντίδρασης σε διάφορους τύπους γεωμετρίας αρχιτεκτονικών χώρων. Το πλαίσιο δημιουργείται ώστε να βοηθήσει στην έρευνα για καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ της γεωμετρίας χώρου και ανθρώπινων συναισθημάτων.

### Χώρος

Περιλαμβάνονται δύο στάδια έρευνας στα οποία οι συμμετέχοντες βιώνουν τους ίδιους τέσσερις χώρους που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές γεωμετρίες.

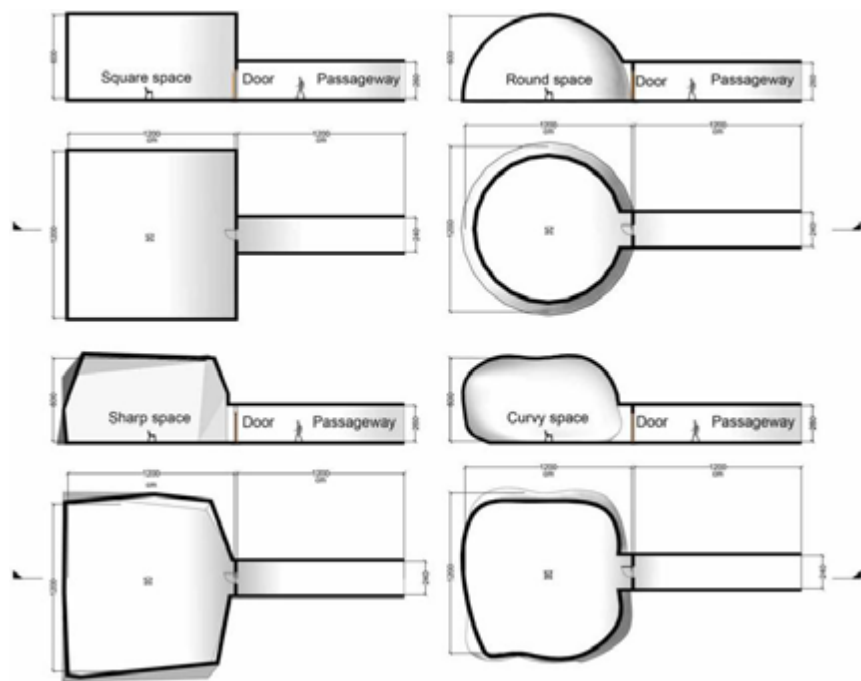
Σχεδιάζονται τέσσερις τύποι εικονικών περιβαλλόντων:

- Ο συμμετρικός ορθογωνικός χώρος (Sq).
- Ο συμμετρικός στρογγυλός θόλος ή μισή σφαίρα (Ro)
- Ο ασύμμετρος χώρος με αιχμηρές ακμές και κεκλιμένες επιφάνειες (τοίχοι, οροφή) (Sh)
- Ο ασύμμετρος καμπύλος χώρος με στρογγυλεμένες λείες επιφάνειες (χωρίς γωνίες) (Cu).

Ο στόχος είναι να εξεταστούν δύο ζεύγη χώρων: ένα παραλληλεπίπεδο και ένας ημιθόλος συγκρίθηκαν με δύο σύνθετες μορφές, μία με αιχμηρές ακμές και μία με απαλές καμπύλες. Τα δύο ζεύγη διαφέρουν, επίσης, ως προς την συμμετρία τους, με τους δύο πρώτους να παρουσιάζουν συμμετρία και τους άλλους δύο όχι.

Προκειμένου να γίνει μια βέλτιστη σύγκριση των επιπτώσεων της γεωμετρίας πάνω στον χρήστη, όλοι οι χώροι διατηρούν άνετες αναλογίες και την αίσθηση της ανθρώπινης κλίμακας. Ένας πολύ μικρός χώρος μπορεί να δημιουργήσει μια στιγμιαία αίσθηση ασφυξίας,





**Εικόνα 8.** Κατόψεις και τομές των τεσσάρων εικονικών χώρων [Shemesh, et al. *Affective Response to Architecture – Investigating Human Reaction to Spaces with Different Geometry*.]

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η διαφορά μεταξύ ενός διαπροσωπικού στόχου και μιας διακριτής απόστασης, έγινε εισαγωγή μιας καρέκλας, ως μία αναφορά για το μέγεθος και την κλίμακα του αρχιτεκτονικού χώρου. Οι όγκοι σχεδιάστηκαν άχρωμοι (μονοχρωματικοί), χωρίς ήχο, χωρίς αντικείμενα (εκτός από την καρέκλα). Ο φωτισμός δεν είχε κατεύθυνση και διανεμόταν ίσα σε όλα τα μέρη του χώρου (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9.** Αξονομετρική απεικόνιση των τεσσάρων χώρων (αριστερά) και προοπτική απεικόνιση του εσωτερικού (δεξιά) [Shemesh, et al. *Affective Response to Architecture – Investigating Human Reaction to Spaces with Different Geometry*.]

## Μέθοδος

Η αντίδρασή στους χώρους διερευνήθηκε μέσω ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων, οι οποίες περιλάμβαναν ερωτηματολόγια στο πρώτο πείραμα και προηγμένους αισθητήρες και ανάλυση δεδομένων στο δεύτερο πείραμα. Πειράματα, που χρησιμοποιούν νέες μεθόδους εικονικής πραγματικότητας, ηλεκτροεγκεφαλογράμματος και ανάλυσης δεδομένων, επιβεβαιώνουν την αναπτυχθείσα μεθοδολογία.

Το πείραμα ξεκίνησε με την είσοδο του συμμετέχοντα στο χώρο περπατώντας μέσω ενός τυπικού διαδρόμου με μια πόρτα. Αυτό το στάδιο είναι σημαντικό, καθώς ερευνητές διαπίστωσαν ότι η είσοδος σε ένα δωμάτιο ή το περπάτημα μέσα από πόρτες μπορεί να διευκολύνει στο να ξεχαστούν προηγούμενα ερεθίσματα. (Ballard et al., 1997, Radvansky & Copeland 2006). Μετά την είσοδο, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να βαδίσουν προς την καρέκλα, να εξερευνήσουν τον χώρο και να φύγουν (από την ίδια πόρτα) αφού τελειώσουν. Η σειρά των περιβαλλόντων άλλαζε τυχαία.

Στο πρώτο στάδιο, μετά την εξερεύνηση κάθε χώρου, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με την εμπειρία τους. Για να συλλεχθούν οι άμεσες αντιδράσεις, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν πρώτα να υποδείξουν πόσο τους άρεσε ο χώρος σε μια κλίμακα 5 βαθμών Likert (με το 5 να αναφέρεται στο υψηλότερο επίπεδο προτίμησης)

Στο δεύτερο στάδιο, μελετάται η αντίδραση στις διάφορες γεωμετρίες αρχιτεκτονικών χώρων, μέσω μιας «άμεσης» μέτρησης της εγκεφαλικής δραστηριότητας των συμμετεχόντων, χρησιμοποιώντας μια ασύρματη συσκευή EEG. Αυτό το στάδιο επιθυμεί να ελέγξει τη σχέση μεταξύ του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι ανέφεραν ότι αντέδρασαν στη γεωμετρία του χώρου στο στάδιο 1 και τα αποτελέσματα φυσιολογικών μετρήσεων.

## Αποτελέσματα

Το πρώτο στάδιο της έρευνας, που εξέτασε τη σχέση αυτή σε εικονικούς χώρους με την παραδοσιακή μεθοδολογία μέτρησης (ερωτηματολόγια και παρατηρήσεις) διαπίστωσε ότι οι συμμετέχοντες που δεν διαθέτουν εμπειρία στον σχεδιαστικό τομέα, δείχνουν την τάση να προτιμούν χώρους καμπύλης γεωμετρίας. Οι συμμετέχοντες με υπόβαθρο στο σχεδιασμό εμφάνισαν την τάση να προτιμούν γωνιώδεις χώρους. Ενώ το χαρακτηριστικό της συμμετρίας δεν φαίνεται να έχει επιρροή στην προτίμηση του χρήστη, η καμπυλότητα του χώρου

βρέθηκε να έχει επιρροή. Τα ευρήματα έδειξαν επίσης ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ κρίσεων ομορφιάς και αίσθησης ασφάλειας στους προτιμώμενους χώρους των συμμετεχόντων.

Το δεύτερο στάδιο της έρευνας, το οποίο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας και ενός ερευνητικού μέσου για την εξέταση της ψυχικής αντίδρασης με VR και EEG, έδειξε σε αυτό το δοκιμαστικό πείραμα μια σχέση μεταξύ της μετρήσιμης εγκεφαλικής δραστηριότητας και της αντίληψης του χώρου. Αποτελέσματα από το δεύτερο στάδιο της έρευνας δείχνουν την ασυνείδητη εγκεφαλική ικανότητα των συμμετεχόντων να αντιλαμβάνονται τους συμμετρικούς χώρους διαφορετικά από τους ασύμμετρους χώρους. Η φυσιολογική διαφορά μεταξύ των θετικών και των αρνητικών απαντήσεων δεν εντοπίστηκε στο τρέχων στάδιο. Η διαφορά στην αντίληψη του χώρου μεταξύ εμπειρογνομόνων και μη ειδικών, είναι εμφανείς στις μετρήσεις EEG.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Avishag Shemesha, Ronen Talmonb, Ofer Karpb, Idan Amirb, Moshe Barc and Yasha Jacob Grobman, χρησιμοποιεί 4 αφαιρετικά πρότυπα αρχιτεκτονικών χώρων. Οι χώροι αυτοί είναι ο συμμετρικός ορθογωνικός χώρος (Sq), ο συμμετρικός στρογγυλός θόλος ή μισή σφαίρα (Ro), ο ασύμμετρος χώρος με αιχμηρές ακμές και κεκλιμένες επιφάνειες (τοίχοι, οροφή) (Sh) και ο ασύμμετρος καμπύλος χώρος με στρογγυλεμένες λείες επιφάνειες (χωρίς γωνίες) (Cu). Όλα τα περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από το ίδιο μονοχρωματικό υλικό και ο φωτισμός τους δεν έχει κατεύθυνση.

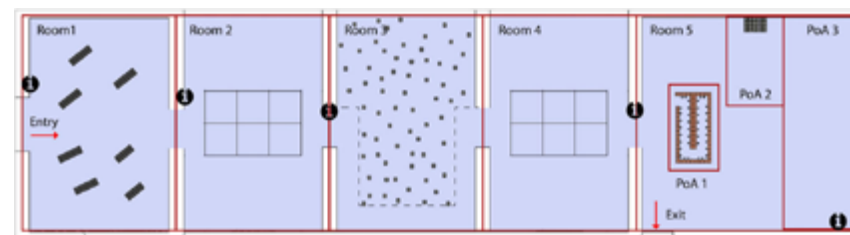
Η κίνηση ξεκινάει από ένα τυπικό διάδρομο που οδηγεί στην είσοδο του περιβάλλοντος. Αφού εισέλθουν, οι συμμετέχοντες βαδίζουν προς την καρέκλα στο κέντρο κάθε χώρου, εξερευνούν τον χώρο και τέλος φεύγουν από την ίδια πόρτα από την οποία έγινε η είσοδος. Ο χρήστης μπορεί να κινηθεί με ελευθερία εντός των περιβαλλόντων, χωρίς όμως να αποκλίνει από την προκαθορισμένη ακολουθία. Η συλλογή δεδομένων γίνεται με δύο τρόπους, έναν για κάθε στάδιο του πειράματος. Στο πρώτο στάδιο, μετά την εξερεύνηση κάθε χώρου, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο 5 σημείων της κλίμακας Likert, ενώ στο δεύτερο στάδιο έγινε άμεση μέτρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας των συμμετεχόντων χρησιμοποιώντας μια ασύρματη συσκευή EEG.

## ***Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-dependent Differences using a Head Mounted Display. (Marín-Morales et al., 2019)***

Η εγκυρότητα μίας προσομοίωσης εξαρτάται από την ικανότητά της να αναπαράγει αντιδράσεις που εμφανίζονται σε φυσικά περιβάλλοντα. Ο σκοπός της έρευνας είναι να επικυρώσει τα περιβάλλοντα προσομοίωσης σε συμπεριφορικό επίπεδο μέσω της πλοήγησης, συγκρίνοντας την ελεύθερη εξερεύνηση μιας έκθεσης τέχνης, σε μουσείο και σε προσομοίωση του.

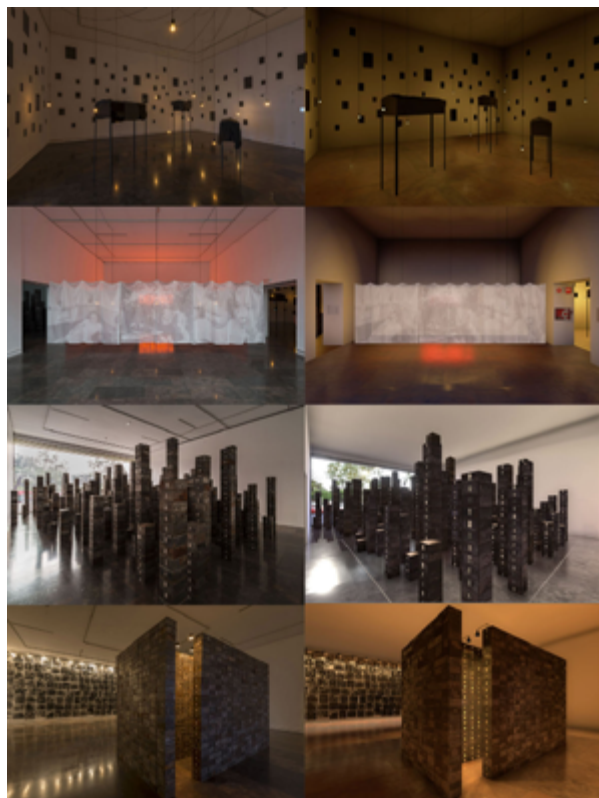
## Χώρος

Το Institut Valencià d'Art Modern (IVAM) προσέφερε τις εγκαταστάσεις του για τη μελέτη. Η έκθεση «Départ-Arrivée» του Christian Boltanski επελέγη λόγω του υψηλού συναισθηματικού της περιεχομένου, αλλά και επειδή ήταν αρκετά ευρύχωρη ώστε να επιτρέπει στους χρήστες να περιηγηθούν ελεύθερα. Αποτελείται από πέντε δωμάτια με συνολική επιφάνεια δαπέδου, περίπου 750 m<sup>2</sup> (Εικόνα 10). Κάθε δωμάτιο θεωρείται ένα ενιαίο κομμάτι τέχνης. Ωστόσο, το τελευταίο δωμάτιο περιείχε τρία κομμάτια τέχνης τα οποία μπορούσαν να αναλυθούν ανεξάρτητα. Τα δωμάτια παρουσίαζαν πίνακες πληροφοριών με τις σημειώσεις του καλλιτέχνη για τα έργα. Τέλος, στην αίθουσα 3 υπήρχε μια διαδρομή από την οποία οι συμμετέχοντες δεν μπορούσαν να αποκλίνουν.



**Εικόνα 10.** Κάτοψη της έκθεσης. [Marín-Morales et al. Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-Dependent Differences Using a Head Mounted Display.]

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης της μελέτης, το μουσείο εικονικοποιήθηκε. Για αυτό, χρησιμοποιήθηκε μηχανή παιχνιδιών. Για να επιτευχθεί ένα σενάριο με μέγιστο ρεαλισμό, έγινε εισαγωγή ενός τρισδιάστατου αντίγραφου της έκθεσης που μοντελοποιήθηκε με υφές που προέρχονται εν μέρει από το πραγματικό περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία απαιτούσε την εξαντλητική και μεθοδική σχεδίαση και φωτογράφιση ολόκληρης της έκθεσης. Μια ομάδα αρχιτεκτόνων επισκέφθηκε την έκθεση στην αναλογική της μορφή, και πραγματοποίησε επικύρωση της εικονικοποίησης σε γενικό επίπεδο και σε επιπέδου φωτισμού και υφής. Η εικονικοποίηση θεωρήθηκε πλήρης μετά τις κατάλληλες αλλαγές. Η Εικόνα 11 δείχνει φωτογραφίες του πραγματικού περιβάλλοντος και τα στιγμιότυπα οθόνης του εικονικού περιβάλλοντος.



**Εικόνα 11.** Φωτογραφίες του πραγματικού περιβάλλοντος (αριστερά) και αντίστοιχα στιγμιότυπα οθόνης του εικονικού περιβάλλοντος (δεξιά). [Marín-Morales et al. *Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-Dependent Differences Using a Head Mounted Display*.]

## Μέθοδος

Οι 60 συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, οι οποίες διερεύνησαν διαδοχικά τα δωμάτια η μία της αναλογικής και η άλλη της εικονικής έκθεσης.

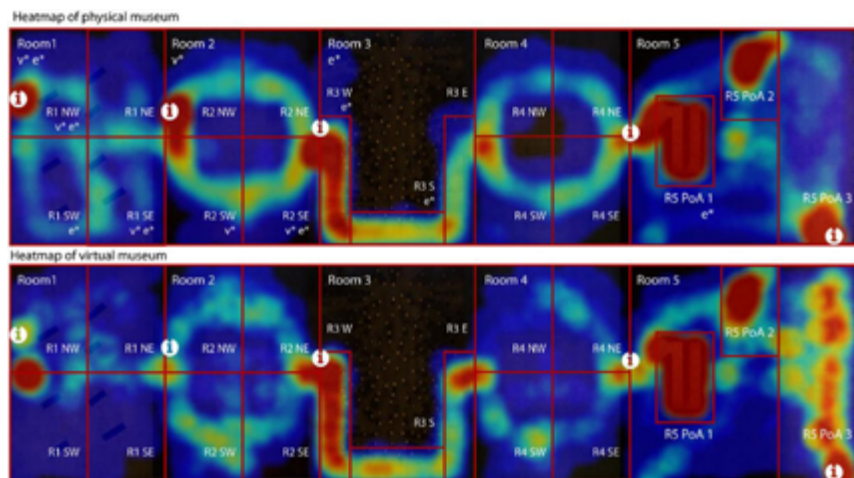
Για την καταγραφή της πλοήγησης των συμμετεχόντων του φυσικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιήθηκε μια κάμερα η οποία είχε προσδεθεί στο στήθος τους. Εξετάστηκαν όλα τα βίντεο, τοποθετώντας τις θέσεις σε σχέδια σε διαστήματα 1 δευτερολέπτου. Τέλος, η τροχιά πλοήγησης αποθηκεύτηκε με δειγματοληψία κάθε δευτερόλεπτο.

Σχετικά με την πλοήγηση στο εικονικό μουσείο, αναπτύχθηκε ένας κώδικας ο οποίος κατέγραψε τις θέσεις των συμμετεχόντων με συχνότητα 7 Hz ενώ εξερευνούσαν τον χώρο. Τέλος, η καταγεγραμμένη διαδρομή πλοήγησης επαναπροσδιορίστηκε στην ίδια συχνότητα με τη διαδρομή του φυσικού χώρου (1 Hz).

Η ανάλυση της πλοήγησης των υποκειμένων βασίστηκε στο πλαίσιο που αναπτύχθηκε από τους Marín-Morales et al. (Marín-Morales et al., 2017). Αυτό προτείνει τον κατακερματισμό του χώρου σε περιοχές ενδιαφέροντος (areas of interest, AOI) στις οποίες υπολογίζονται διάφοροι δείκτες για να χαρακτηρίσουν την πλοήγηση. Η έκθεση αποτελείται από είκοσι τρεις AOIs.

Οι πρώτες πέντε AOI καθορίζονται από την περιοχή των πέντε δωματίων. Επιπλέον, κάθε δωμάτιο χωρίστηκε σε αρκετές εσωτερικές AOI. Τα δωμάτια 1, 2 και 4 χωρίζονται σε τέσσερις συμμετρικές AOIs. Το δωμάτιο 3 χωρίζεται σε τρεις AOI που καλύπτουν την περιοχή πορείας. Το δωμάτιο 5 χωρίζεται σε τρεις AOIs, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο έργο τέχνης.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση τρία στοιχεία: τους χάρτες θερμότητας, το ποσοστό της εξερευνημένης περιοχής και το χρονικό διάστημα των επισκέψεων.



**Εικόνα 12.** Χάρτες θερμότητας παρουσίας υποκειμένων. Πραγματικό μουσείο (πάνω), εικονικό μουσείο (κάτω). [Marín-Morales et al. Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-Dependent Differences Using a Head Mounted Display.]

Μετά τη δοκιμή, οι συμμετέχοντες που βίωσαν το εικονικό περιβάλλον, έπρεπε να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο παρουσίας, το «ερωτηματολόγιο SUS» (Usoh et al., 2000). Αυτό αποτελείται από έξι αντικείμενα που αξιολογούνται από το 1 έως το 7 με τη χρήση κλίμακας Likert για τη μέτρηση των τριών παραμέτρων παρουσίας:

- Της εμπειρίας του να είσαι μέσα στην προσομοίωση.
- Της αντίληψης της προσομοίωσης ως κυρίαρχης πραγματικότητας.
- Της μνήμης της προσομοίωσης ως τόπου

## Αποτελέσματα

Ως πρώτη επικύρωση, το εικονικό μουσείο παρουσιάζει υψηλό βαθμό παρουσίας. Τα μοτίβα κίνησης και στα δύο «μουσεία» παρουσιάζουν στενές ομοιότητες, ενώ σημαντικές είναι οι διαφορές στην αρχή της εξερεύνησης όσον αφορά το ποσοστό της εξεταζόμενης περιοχής και τον χρόνο που απαιτείται για την πραγματοποίηση των περιηγήσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές, χρονικά εξαρτώμενες, διαφορές στα μοτίβα πλοήγησης κατά τα πρώτα 2 λεπτά των περιηγήσεων. Στη συνέχεια, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην πλοήγηση μεταξύ φυσικού και εικονικού μουσείου. Αυτά τα ευρήματα υποστηρίζουν τη χρήση εμπυστικών εικονικών περιβαλλόντων ως εμπειρικά εργαλεία στην έρευνα ανθρώπινης συμπεριφοράς σε επίπεδο πλοήγησης.

## Σύνοψη

Επικεντρώνοντας στον παράγοντα χώρο, το πείραμα των Marín-Morales, Javier & Higuera Trujillo, Juan Luis & de Juan Ripoll, Carla & Llinares, Carmen & Guixeres, Jaime & Iñarra Abad, Susana & Alcañiz Raya, Mariano., χρησιμοποιεί ένα πραγματικό περιβάλλον μουσείου και το εικονικό του ομοίωμα. Το μουσείο αποτελείται από ακολουθία πέντε δωματίων, με συνολική επιφάνεια δαπέδου περίπου 750 τ.μ., με το κάθε δωμάτιο να στεγάζει ένα ή περισσότερα έργα τέχνης.

Ο χρήστης έχει ελευθερία στην κίνηση του εντός του χώρου, υπακούοντας, ωστόσο, την γραμμική ακολουθία των πέντε δωματίων. Η συλλογή των δεδομένων της εμπειρίας έγινε βάσει δύο πηγών. Η μία είναι της άμεσης μέτρησης δεδομένων της δραστηριότητας των χρηστών. Αυτή επιτυγχάνεται μέσω των χαρτών θερμότητας, του ποσοστού της εξερευνημένης περιοχής και του χρονικού διαστήματος των επισκέψεων. Η δεύτερη, έμμεση, μέθοδος συλλογής δεδομένων, που χρησιμοποιήθηκε μόνο για όσους βίωσαν το εικονικό περιβάλλον, έχει την μορφή ερωτηματολογίων με αντικείμενα που αξιολογούνται σε κλίμακα Likert 7 σημείων και εξετάζουν τον βαθμό παρουσίας εντός της εικονικής πραγματικότητας.



Όνομα	Χαρακτήρας χώρου	Μετατροπές χώρου	Κίνηση παρατηρητή	Μέθοδος συλλογής δεδομένων
Χώροι από σύμπλεγμα	Ρεαλισμός, μη υπαρκτός, αφαιρετικός χώρος	75 περιβάλλοντα, όμοιες διαστάσεις, ίδιες υφές  διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Στατικός παρατηρητής	ερωτηματολόγιο κλίμακας Likert 9 σημείων
Εικονική Demona	Ρεαλισμός, μίμηση πραγματικού περιβάλλοντος	1 περιβάλλον, 9 διαφορετικές συνθήκες φωτισμού	Στατικός παρατηρητής	Λεκτικό ερωτηματολόγιο
Εικονικός διάδρομος	Ρεαλισμός, μη υπαρκτός χώρος	1 γεωμετρία, σταθερές διαστάσεις  9 συνθήκες με διαφορές εσωτερικής γεωμετρίας και υφής	Ελεύθερη κίνηση, με καθορισμένο στόχο, χωρίς όραση	Άμεση μέτρηση απόστασης από στόχο ανάθεσης
Εικονικό εργαστήριο	Ρεαλισμός, μίμηση πραγματικού περιβάλλοντος, με παραμορφώσεις.	1 περιβάλλον  3 εκδοχές με παραμορφώσεις διάστασης	Ελεύθερη κίνηση, με καθορισμένο στόχο, χωρίς όραση.	Άμεση μέτρηση απόστασης από στόχο ανάθεσης
4 αφαιρετικοί χώροι	Μη ρεαλιστικά, αφαιρετικά πρότυπα χώρων	4 σταθερές γεωμετρίες  όμοιες διαστάσεις  διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Ελεύθερη κίνηση	Άμεση μέτρηση εγκεφαλικής δραστηριότητας μέσω EEG + έμμεση εξέταση ποιότητας εμπειρίας μέσω ερωτηματολογίου κλίμακας Likert 5 σημείων
Εικονικό μουσείο	Ρεαλισμός, μίμηση πραγματικού περιβάλλοντος	Σταθερή γεωμετρία	Ελεύθερη κίνηση	Άμεση μέτρηση καταγραφής θέσης και χρόνου στάσης + έμμεση εξέταση ποιότητας εμπειρίας μέσω ερωτηματολογίου κλίμακας Likert 7 σημείων

**Πίνακας 1.** ανάλυση των πειραμάτων, ως προς χώρο, κίνηση παρατηρητή και μέθοδο συλλογής δεδομένων

## Περιορισμοί

Η ανάλυση φέρνει στην επιφάνεια συγκεκριμένους πειραματικούς περιορισμούς. Ορισμένοι από αυτούς αφορούν το σύνολο των πειραμάτων κι άλλοι σχολιάζουν γνωρίσματα που εμφανίζουν κάποια απο αυτά.

Οι πέντε περιορισμοί των σύγχρονων μεθόδων εκπόνησης αντιληπτικών πειραμάτων με εικονική πραγματικότητα, είναι οι εξής:

1. Έλλειψη πολυπλοκότητας περιβαλλόντων.
2. Έλλειψη ελευθερίας κίνησης παρατηρητή.
3. Αδυναμία επαναχρησιμοποίησης περιβαλλόντων.
4. Απόδοση των αιτίων στο σύνολο του περιβάλλοντος.
5. Πολυφωνία τεχνικών συλλογής δεδομένων.

### 1. Έλλειψη πολυπλοκότητας περιβαλλόντων.

Ο πρώτος περιορισμός σχετίζεται με την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής μορφής. Ορισμένα από τα πειράματα έλαβαν χώρα εντός αφαιρετικών περιβαλλόντων των οποίων η πολυπλοκότητα απέχει εξαιρετικά απο την αρχιτεκτονική γεωμετρία του πραγματικού κόσμου. Η αποκλειστική ανάλυση καθαρών μορφών δεν μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση σύνθετων αντιληπτικών και συναισθηματικών εμπειριών που προκύπτουν από ρεαλιστικά αρχιτεκτονικά περιβάλλοντα. Καθώς η γεωμετρία δεν περιορίζεται, άλλες πτυχές των μορφών, όπως η γωνία, η κλίμακα και η σύνταξη, μπορούν επίσης να επηρεάσουν το συναίσθημα εντός του τρισδιάστατου χώρου.

## 2. Έλλειψη ελευθερίας κίνησης παρατηρητή.

Στην διαθέσιμη ελευθερία κίνησης απαντάται ο δεύτερος περιορισμός. Τα εξεταζόμενα πειράματα εμφανίζουν τρία είδη κίνησης. Αυτά είναι:

- η έλλειψη κίνησης, όπου ο χρήστης από μία προκαθορισμένη θέση παρατηρεί το περιβάλλον,
- ανάθεση προκαθορισμένης κίνησης από τους ερευνητές, όπως τυφλό περπάτημα,
- «ημι-ελεύθερη» κίνηση, στην οποία, ενώ οι χρήστες έχουν τον έλεγχο της κίνησής τους, η διάταξη των περιβαλλόντων παίζει κυρίαρχο ρόλο στην διαμόρφωση των πορειών τους.

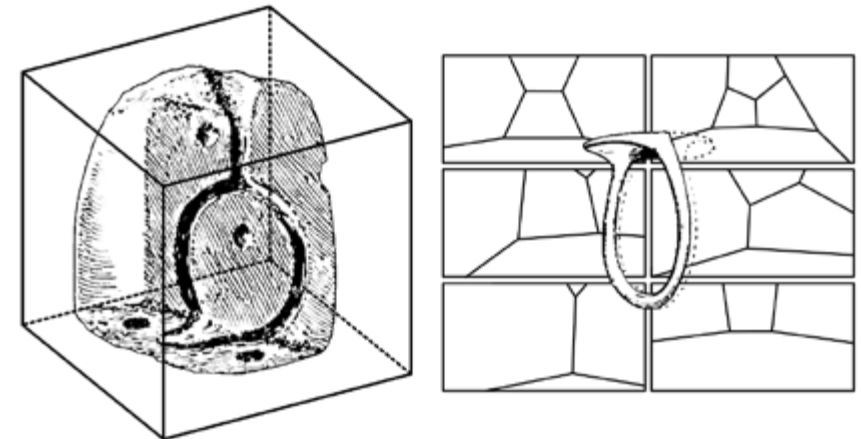
Η πλήρης εμπειρία ενός αρχιτεκτονικού περιβάλλοντος απαιτεί την σύνθεση μίας νοητικής αναπαράστασης του χώρου, μέσω των βαθμιαία μεταβαλλόμενων όψεων που προσλαμβάνονται όπως κινείται ο παρατηρητής. Παράλληλα, η μελέτη του πως κινείται ο παρατηρητής, όταν δεν του έχουν επιβληθεί περιορισμοί κίνησης από τους ερευνητές ή από τον ίδιο τον χώρο, μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες. Ποιοι είναι οι χώροι που τον ελκύουν, ποιοι εκείνοι που τον απωθούν, τι πορεία ακολουθεί αντιμέτωπος με μία συγκεκριμένη σύνθεση, είναι όλα κρίσιμα ερωτήματα, στα οποία μπορεί να δοθεί απάντηση δεδομένου ότι ο παρατηρητής είναι ελεύθερος να πράξει όπως του επιτάσσει η αντίληψή του.

## 3. Αδυναμία επαναχρησιμοποίησης περιβαλλόντων.

Το φαινόμενο μεταφοράς της επίγνωσης του περιβάλλοντος από προηγούμενες εξερευνήσεις σε μεταγενέστερες, μπορεί να αλλοιώσει τα αποτελέσματα του πειράματος. Η οικειότητα που κτίζεται από τις επαναλαμβανόμενες επισκέψεις στο ίδιο περιβάλλον, αν δεν είναι η ίδια το αντικείμενο της έρευνας, πρέπει να αποφεύγεται. Ο σχεδιασμός των εξεταζόμενων πειραμάτων περιορίζεται από την αποκλειστική χρήση περιβαλλόντων «μίας χρήσης». Αποτελεί επιπλέον εργαλείο στην διάθεση των ερευνητών, η δυνατότητα επανάληψης υπό τις ίδιες εξεταζόμενες συνθήκες, δίχως τον παράγοντα της εξοικείωσης.

## 4. Απόδοση των αιτίων στο σύνολο του περιβάλλοντος.

**Η γεωμετρία του περιβάλλοντος είναι το εκμαγείο εντός του οποίου εκχύεται η αντιληπτική εμπειρία.** (Εικόνα 13) Τα εξεταζόμενα πειράματα, ωστόσο, σχολιάζουν το καλούπι, αντί το αποτέλεσμα της χύτευσης. Συνεπώς, τέταρτος περιορισμός είναι, ότι τα συμπεράσματα βγαίνουν για την γεωμετρία του περιβάλλοντος στο σύνολό της, αντί για την απόδοση τους στο περιεχόμενο της αντίληψης κάθε δεδομένη στιγμή. Πρέπει να γίνεται αναζήτηση όχι για το τι είναι μέσα στο περιβάλλον το όμορφο ή το μελαγχολικό, αλλά με ποια στοιχεία από αυτά που προσλαμβάνει και συνθέτει η συνείδηση την αισθητική εντύπωση, δημιουργείται εμπειρία όμορφη ή μελαγχολική. Καθώς βιώνουμε τον κόσμο ως παράγωγο του νου, τα αποτελέσματα σε αντιληπτικά πειράματα χρειάζεται να σχολιάζουν τα δεδομένα που προσλαμβάνονται για αυτήν την παραγωγή.



Εικόνα 13. Περιβάλλον - εκμαγείο / Αντιληπτική εμπειρία - αποτέλεσμα χύτευσης

## 5. Πολυφωνία τεχνικών συλλογής δεδομένων.

Ο πέμπτος περιορισμός γίνεται εμφανής όταν εξετάζονται τα δεδομένα και ο τρόπος με τον οποία αυτά συλλέγονται. Στον χώρο της μελέτης της ανθρώπινης αντιληπτικής εμπειρίας σε εικονικά περιβάλλοντα, χρησιμοποιείται μία πληθώρα διαφορετικών τεχνικών με τις οποίες οι ερευνητές προσπαθούν να κατανοήσουν το τι βιώνει ο παρατηρητής. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ένα τυποποιημένο, κοινά αποδεκτό πρωτόκολλο ή μεθοδολογία για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο ο σχεδιασμός δομημένων περιβαλλόντων επηρεάζει τους ανθρώπους. Δεν είναι μόνο διαφορετικά τα δεδομένα που συλλέγουν οι διάφορες τεχνικές, (προτιμήσεις, σημεία θέσεως, εγκεφαλικά δραστηριότητα κ. α.), αλλά εμφανίζονται μεγάλες διαφορές και στον τρόπο συλλογής και ερμηνείας τους (λεκτικά, εμβυσιστικά, γραπτά ερωτηματολόγια διαφορετικών κλιμάκων, χάρτες θερμότητας, εγκεφαλογραφήματα κ. α.). Αυτή η ποικιλία μεθόδων, ενώ προσφέρει στους ερευνητές ευελιξία, καθιστά δύσκολη την μετά-ανάλυση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών πειραμάτων και επιβραδύνει την πρόοδο του ερευνητικού πεδίου της αντίληψης.

Οδεύοντας προς μία πληρέστερη κατανόηση του τι συναισθηματικές και φυσιολογικές αντιδράσεις επιφέρει η αρχιτεκτονική, αυτοί οι περιορισμοί είναι επιτακτικό να ξεπεραστούν. Θα ακολουθήσει περιγραφή της λειτουργίας του νοητικού συστήματος αντίληψης και στην συνέχεια περιγραφή μίας αλγοριθμικής πειραματικής μεθόδου που επικειρεί να υπερβεί τους παραπάνω περιορισμούς.

# Ανάλυση αντίληψης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία εισαγωγή στο νοητικό σύστημα επεξεργασίας χωρικής πληροφορίας και στη συνέχεια, μία εμβάθυνση στον τρόπο οργάνωσης και στην γεωμετρική φύση των συστημάτων όρασης και θέσης. Σκοπός του κεφαλαίου είναι η ανάλυση των εκροών αυτών των δύο βασικών συστημάτων χωρικής αντίληψης σε μία δομή μετρήσιμων δεδομένων. Η χρησιμότητα αυτής της δομής βρίσκεται στην δυνητικότητα της να δράσει ως θεμέλιο για την παραγωγή πειραματικών περιβαλλόντων, καθώς επίσης, ως βάση για την μέθοδο συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων αντιληπτικών πειραμάτων.

Όπως ένα πραγματικό περιβάλλον, το εικονικό περιβάλλον γίνεται αντιληπτό μέσω των αισθητήριων οργάνων του ατόμου, τα οποία εκλαμβάνουν ωμά δεδομένα, που η αντίληψη τα οργανώνει και τα μετατρέπει σε χρήσιμη πληροφορία. Έπειτα από νοητική επεξεργασία, η πληροφορία οδηγεί σε ανάλογες σκέψεις, ενέργειες, και συναισθήματα. Αναλύοντας αυτό το σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών, παρατηρείται ότι υπάρχει μία εισαγωγή (input) πληροφορίας για τον κόσμο και για το ίδιο το υποκείμενο, μέσω της αντίληψης, και ένα αποτέλεσμα (output) με την μορφή σκέψεων, ενεργειών και ψυχολογικών αντιδράσεων. Στην διερεύνηση του αποτελέσματος, ιδιαίτερα βοηθητικό είναι να κατανοήσουμε το τι πληροφορία εισάγεται.

Οι τρισδιάστατες πληροφορίες για τον κόσμο αποκτούνται, μέσω εξερεύνησης και δυναμικής ανταπόκρισης στο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, η άποψη για τον κόσμο σπάνια είναι στατική. Οι αισθητηριακές

πληροφορίες που λαμβάνονται για το περιβάλλον αλλάζουν συνεχώς καθώς η πληροφορία για την οποία γίνεται δειγματοληψία, εξαρτάται από τον εκάστοτε στόχο.

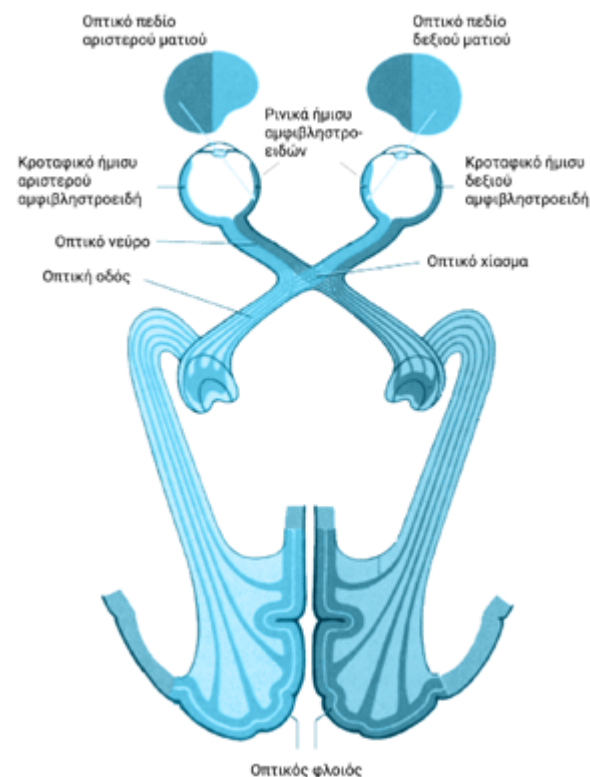
Ωστόσο, τα περισσότερα πειραματικά αποτελέσματα βγάζουν συμπεράσματα για την συναισθηματική επίδρασή της γεωμετρίας του περιβάλλοντος στην ολότητά της. Καθώς η πληροφορία που εισάγεται αλλάζει συνεχώς, εγγύτερα στην πραγματικότητα της αντιληπτικής εμπειρίας είναι να γίνει αντιστοιχία μεταξύ των συναισθημάτων του παρατηρητή μία δεδομένη στιγμή, με το αντικείμενο της αντίληψής του την ίδια στιγμή. Να βγαίνουν συμπεράσματα, δηλαδή, για το αντιληπτικό περιεχόμενο στιγμών.

Με αυτόν τον στόχο, γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης ενός μέρους της πληροφορίας της αντίληψης. Με την μετάφραση της σε μετρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία, εικάζεται ότι θα διευκολυνθεί η αντιστοιχία ερεθίσματος-αντίδρασης, καθώς επίσης θα επιτραπεί η απομόνωση της γεωμετρίας που έγινε αντικείμενο της αντίληψης του παρατηρητή. Αυτή η μετάφραση για να χαρακτηρίζεται από καθολικότητα, χρειάζεται να έχει, ως βάση, τους κοινούς νοητικούς μηχανισμούς επεξεργασίας πληροφορίας που υπάρχουν σε κάθε άνθρωπο. Όσο περισσότερο τα υπό εξέταση δεδομένα προσεγγίζουν τα βασικά στοιχεία της ανθρώπινης εμπειρίας, τόσο πιο αξιόπιστη γίνεται η διαδικασία μετάφρασης.

Η επιλογή των μερών της αισθητικής εμπειρίας για ποσοτικοποίηση, οδηγήθηκε από δύο κύριους παράγοντες. Ένας ήταν η έκταση της κατανόησης των εγκεφαλικών επεξεργασιών που τις υποστηρίζουν. Ο δεύτερος, η ευκολία αναπαράστασης σε ψηφιακή μορφή των στοιχείων της γεωμετρικής τους ανάλυσης. Τα δύο μέρη που τελικώς επιλέχτηκαν, είναι εκείνα της όρασης και του εσωτερικού συστήματος επαγωγής θέσης.

## Οραση

Το οπτικό σύστημα περιλαμβάνει τα μάτια, τα εγκεφαλικά συνδετικά μονοπάτια, τον οπτικό φλοιό και άλλα μέρη του εγκεφάλου (Εικόνα 14). Τα ωμά δεδομένα εντός του οπτικού πεδίου, εισέρχονται στο μάτι, με την μορφή φωτονίων εντός του ορατού φάσματος. Μέσα στα στρώματα του αμφιβληστροειδούς, τα φωτόνια εκκινούν μια σειρά ηλεκτρικών και χημικών αντιδράσεων, στέλνοντας τελικά ηλεκτρικά σήματα μέσω του οπτικού νεύρου και της οπτικής οδού προς τον ινιακό λοβό, όπου βρίσκεται ο οπτικός φλοιός. Μέσα στον οπτικό φλοιό, αυτά τα ηλεκτρικά σήματα επεξεργάζονται και ερμηνεύονται (δηλαδή, «βλέπονται») από τον εγκέφαλο ως οπτική εικόνα (Gray & Clemente, 1985.).



Εικόνα 14. Διάγραμμα ανατομίας οπτικού συστήματος.



Η οπτική αντίληψη είναι διαδικασία καταχώρησης οπτικών αισθητήριων ερεθισμάτων ως εμπειρίας με νόημα. Ο Hermann von Helmholtz (1821-94) εξέτασε το ανθρώπινο μάτι και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ήταν οπτικά, φτωχό. Οι πληροφορίες κακής ποιότητας που συγκεντρώνονται μέσω του ματιού φάνηκε να καθιστούν την όραση αδύνατη. Συνεπώς, συνήγαγε ότι η όραση θα μπορούσε να είναι μόνο αποτέλεσμα κάποιας μορφής ασυνείδητων διεργασιών. Ένα αποτέλεσμα υπολογισμών και συμπερασμάτων από ελλιπή δεδομένα, με βάση προηγούμενες εμπειρίες (Von & Southall, 1924).

Η επεξεργασία των ελλιπών νευρικών σημάτων από τον αμφιβληστροειδή, λαμβάνει χώρα στον οπτικό φλοιό.

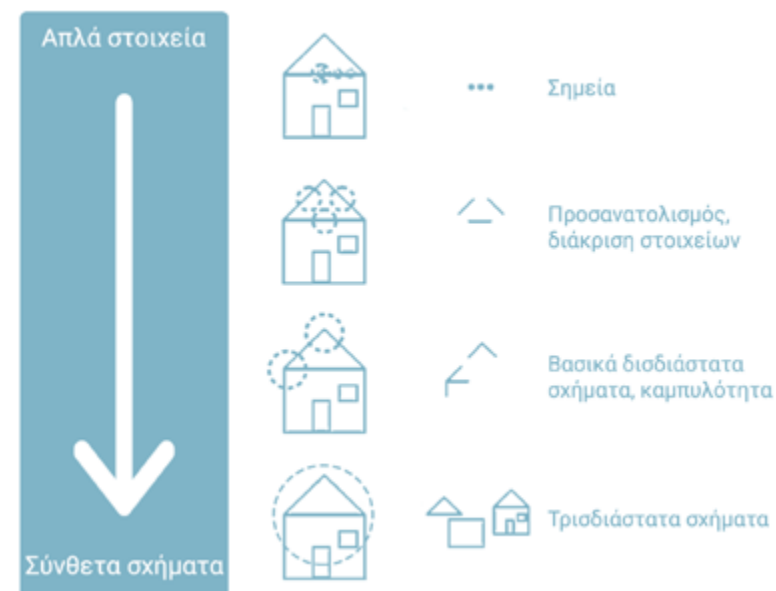
Συνολικά υπάρχουν 5 ξεχωριστές περιοχές στον οπτικό φλοιό: οι V1, V2, V3, V4 και V5. Ο πρωτογενής οπτικός φλοιός, ή V1, είναι η πρώτη δομή στον οπτικό φλοιό, όπου οι νευρώνες σχηματίζουν σύνδεση με τα συνδετικά μονοπάτια. Νευρώνες στο V1, εμφανίζουν επιλεκτικότητα προσανατολισμού δηλαδή πυροδοτούν σε ερεθίσματα συγκεκριμένης κλίσης. Κάποιοι νευρώνες ενεργοποιούνται σε κάθετες γραμμές, κάποιοι σε οριζόντιες και ούτω καθεξής για κάθε πιθανή κλίση. Το V1 παράγει έτσι μία νοητική αναπαράσταση του προσανατολισμού των περιγραμμάτων, πληροφορία που αποτελεί θεμέλιο για την σύνθεση των βασικών σχημάτων της οπτικής σκηνής που ακολουθεί. Παράλληλα, πέρα από τα συμπεράσματα περί προσανατολισμού, νευρικά σήματα στο V1 ερμηνεύονται από άποψη οπτικού χώρου, συμπεριλαμβανομένης της μορφής και του χρώματος (Leventhal et al., 1998).

Από το V1, τα σήματα περνούν στο V2, το οποίο έχει πολλές κοινές ιδιότητες με το V1: Τα κελιά συντονίζονται σε απλές ιδιότητες όπως ο προσανατολισμός, η χωρική συχνότητα και το χρώμα. Οι αποκρίσεις πολλών νευρώνων στο V2 διαμορφώνονται επίσης από πιο σύνθετες ιδιότητες, όπως τα όρια ενός ερεθίσματος ή αν το ερέθισμα είναι μέρος του σχήματος ή του φόντου. (Qiu & von der Heydt, 2005).

Αυτή η περιοχή λαμβάνει ισχυρές συνδέσεις από τον πρωτογενή οπτικό φλοιό (V1) και στέλνει σήματα στους δευτερεύοντες οπτικούς φλοιούς (V3, V4 και V5). Καθώς τα νευρικά σήματα συνεχίζουν περαιτέρω σε άλλες περιοχές του οπτικού φλοιού, λαμβάνουν χώρα περισσότερο συσχετιζόμενες διεργασίες. Αξιοσημείωτη είναι η λειτουργία του V5, του οποίου οι νευρώνες παρουσιάζουν επιλεκτικότητα κατεύθυνσης, δηλαδή ο καθένας πυροδοτεί σε ερεθίσματα εντός μίας περιοχής του οπτικού πεδίου που κινούνται με συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Υπάρχει παρόμοιας τάξης μεγέθους αριθμός νευρώνων που δίνουν feedback σε προηγούμενα στάδια της οπτικής επεξεργασίας, σε σχέση με τον αριθμό νευρώνων που μεταβιβάζουν την πληροφορία σε κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας. Η χαρτογράφηση των λειτουργιών που εκτελούνται σε κάθε μία από τις περιοχές του οπτικού φλοιού, είναι αντικείμενο ενεργής έρευνας και δεν υπάρχουν καθολικές απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα που έχουν τεθεί.

Ωστόσο, από τα παραπάνω, μπορεί ήδη να γίνει κατανοητή η βασική λειτουργία του οπτικού φλοιού. Από το σύνολο των σημειακών ενεργοποιήσεων των κυττάρων του αμφιβληστροειδή, εξάγονται μικρά κομμάτια δεδομένων, τα οποία επανασυναρμολογούνται για να δημιουργήσουν μία νοητική αναπαράσταση της οπτικής σκηνής (Εικόνα 15). Το οπτικό αντικείμενο αναλύεται σε απλά δομικά στοιχεία και στην συνέχεια ανασυντίθεται.



Εικόνα 15. Στάδια ανάλυσης οπτικής πληροφορίας

Η επεξεργασία της οπτικής σκηνής δεν ολοκληρώνεται στον οπτικό φλοιό, αλλά υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία σε γειτονικές εγκεφαλικές περιοχές. Σύμφωνα με τα δεδομένα των Goodale και Milner, το κοιλιακό ρεύμα (ventral stream) υπολογίζει έναν λεπτομερή χάρτη του κόσμου μέσω της οπτικής πληροφορίας, ο οποίος στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γνωστικές λειτουργίες και το ραχιαίο ρεύμα (dorsal stream) μετατρέπει τις εισερχόμενες οπτικές πληροφορίες στο απαραίτητο εγωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων για κινητικό προγραμματισμό. Το κοιλιακό ρεύμα προσπαθεί να απαντήσει το «τι» είναι το αντικείμενο της όρασης, και συνδέεται με την αναγνώριση της μορφής και την αναπαράσταση αντικειμένων, ενώ, το ραχιαίο ρεύμα προσπαθεί να απαντήσει το «που» και «πώς» και σχετίζεται με την αναπαράσταση των θέσεων των αντικειμένων και τον έλεγχο της κίνησης των ματιών και των χεριών. Μαζί το κοιλιακό και το ραχιαίο ρεύμα αποδίδουν νόημα στην οπτική σκηνή, και καθοδηγούν τις νοητικές και σωματικές αντιδράσεις του παρατηρητή (Goodale & Milner 1992).

Η τελική οπτική εμπειρία του περιβάλλοντος περιλαμβάνει επίσης πτυχές της μνήμης, της προσδοκίας, της πρόβλεψης και της παρεμβολής που υποστηρίζονται από άλλες φαινομενικά μη οπτικές περιοχές του εγκεφάλου. Στο σύνολό τους, διαμορφώνουν την κινητική και ψυχολογική ανταπόκριση του ατόμου απέναντι στο αντικείμενο της αντίληψής του.

Υπάρχουν ενδείξεις για το ότι οι επενέργειες της αντίληψης στην συμπεριφορά γίνονται σε πολλές περιπτώσεις υποσυνείδητα. Για παράδειγμα, το φαινόμενο blindsight, είναι η παρατηρούμενη ικανότητα ασθενών με κλινικά ελαττώματα στην όραση, που έχουν προκληθεί από βλάβη στον πρωτογενή οπτικό φλοιό (V1), για ανίχνευση, εντοπισμό και διάκριση οπτικών ερεθισμάτων, για τα οποία φαινομενικά έχουν άγνοια (Covey, 2009).

Οι ασθενείς αναφέρουν ότι είναι τυφλοί στις αντίστοιχες περιοχές των οπτικών τους πεδίων. Ωστόσο, ορισμένοι από αυτούς μπορούν να διακρίνουν οπτικά ερεθίσματα με υψηλή ακρίβεια, που υποδηλώνεται από την δημιουργία σακκάδων (ταχείες κινήσεις του ματιού επί της οπτικής σκηνής) ή από σωστές απαντήσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών επιλογών σε οπτικά προβλήματα. Παρ' όλα αυτά, οι ασθενείς εξακολουθούν να λένε ότι είναι «τυφλοί» στη εξεταζόμενη περιοχή του πεδίου (Weiskrantz, 1996).

Το φαινόμενο blindsight αποσταθεροποιεί την πεποίθηση ότι οι αντιλήψεις πρέπει να εισέλθουν στη συνείδηση για να επηρεάσουν τη συμπεριφορά, δείχνοντας ότι **η συμπεριφορά μπορεί να καθοδηγείται από αισθητηριακές πληροφορίες για τις οποίες δεν υπάρχει συνειδητή επίγνωση.**

Με όσα αναφέρθηκαν, γίνεται κατανοητό ότι **η αίσθηση της όρασης δεν είναι μια μηχανική συσκευή καταγραφής. Οργανώνει, ολοκληρώνει, συνθέτει και νοηματοδοτεί την οπτική σκηνή.** Ως εκ τούτου, με την αποκωδικοποίηση των μερών της αντιληπτής οπτικής σκηνής σε μετρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία, θα διευκολυνθεί η εξαγωγή πληροφορίας για την ποιότητα του περιβάλλοντος καθώς και η μελέτη της επιρροής του επί του παρατηρητή.

## Στοιχεία ανάλυσης όρασης

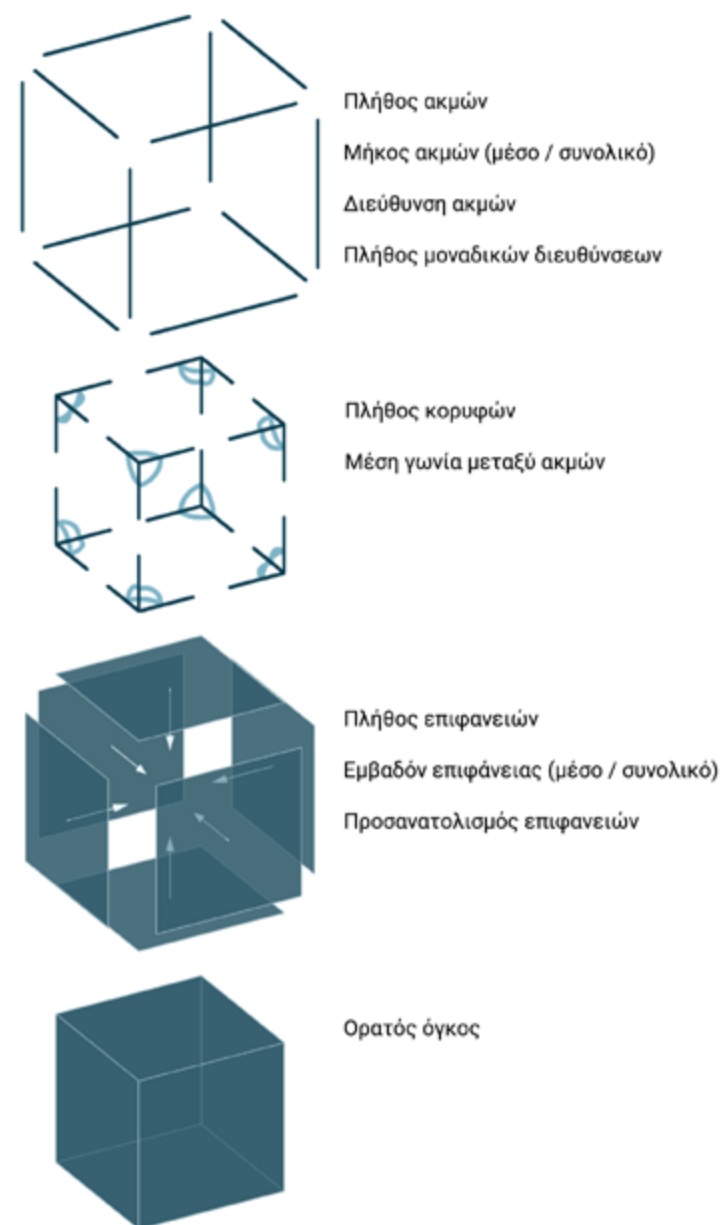
Η ανάλυση βασίζεται στην πληροφορία που παράγεται στα πρώτα στάδια επεξεργασίας των ηλεκτρικών σημάτων του αμφιβληστροειδούς, στις περιοχές του οπτικού φλοιού. Κυμαίνεται στο επίπεδο των σχημάτων, δηλαδή γίνεται ανάλυση σε ακμές και επίπεδα, των οποίων καταγράφονται χαρακτηριστικά όπως το μήκος και ο προσανατολισμός. Χρησιμοποιώντας αυτό το γεωμετρικό λεξιλόγιο, γίνεται προσπάθεια μίμησης του νοητικού λογισμικού επεξεργασίας οπτικής πληροφορίας, με στόχο την δυνατότητα μετάφρασης των μηχανισμών προς και τις δύο κατευθύνσεις. Αλλαγές στον αριθμό ή στα χαρακτηριστικά των στοιχείων, συνεπάγονται αλλαγές στην ενεργοποίηση της εγκεφαλικής περιοχής υπεύθυνης για την επεξεργασία της ίδιας πληροφορίας. Δημιουργείται μία σύνδεση μεταξύ των υπό εξέταση γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των αντίστοιχων εγκεφαλικών δομών. Αυτή προσφέρει την δυνατότητα για ενημέρωση των επιλεγόμενων διαιρέσεων της ανάλυσης με γνώμονα τα νεότερα δεδομένα για την λειτουργία του οπτικού συστήματος.

Η ανάγκη για ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανάλυσης οδήγησε στην επέκταση πέρα των γνωστών εγκεφαλικών μηχανισμών, όπως την ανίχνευση περιγραμμάτων ή την επιλεκτικότητα προσανατολισμού, με την μέτρηση και άλλων χαρακτηριστικών που μπορεί να μην έχει εντοπιστεί αντίστοιχη φυσιολογική περιοχή ανίχνευσης, όμως συμπληρώνουν τα κενά της πληροφορίας των υπόλοιπων γνωστών μηχανισμών.

Χρησιμοποιείται ένα οφθαλμοκεντρικό σύστημα συντεταγμένων για την τοποθέτηση των δομικών στοιχείων στο χώρο, καθώς το ίδιο πλαίσιο αναφοράς χρησιμοποιεί το μάτι για την μεταβίβαση της πληροφορίας των θέσεων στον εγκέφαλο (Groh, 2014).

Οι υποδιαίρεσεις του αντικείμενου της όρασης ξεκινούν από τις ακμές, οι οποίες εξετάζονται σε αριθμό, μήκος, διεύθυνση, γωνία και πλήθος κορυφών. Οι ακμές πλαισιώνουν επιφάνειες, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως προς το πλήθος, το εμβαδόν τους και τον προσανατολισμό τους. Ένα επιπλέον κριτήριο είναι ο οπτικός όγκος, δηλαδή τα κυβικά ορατού χώρου από μία δεδομένη όψη. Από αυτό το σύνολο δεδομένων, γίνεται δυνατή η συλλογή πιο σύνθετων, αναδυόμενων πληροφοριών όπως ο μέσος πληθυσμός οπτικών στοιχείων, που αποτελεί δείκτη της πολυπλοκότητας ενός περιβάλλοντος.

Με βάση τα μετρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία, γίνεται δυνατή η δημιουργία παραμετρικών περιβαλλόντων, τα οποία επικεντρώνονται στο εύρος των μεταβολών ορισμένων μόνο στοιχείων. Παράλληλα, τίθεται ένα πλαίσιο αντιληπτικών μονάδων προς ανίχνευση κατά την συλλογή δεδομένων, επιτρέποντας την εστίαση και την εξέταση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του οπτικού περιβάλλοντος για τις επιρροές τους στην ανθρώπινη συμπεριφορά.



**Εικόνα 16.** Γεωμετρικές μονάδες ανάλυσης οπτικής πληροφορίας

# Σύστημα Θέσης

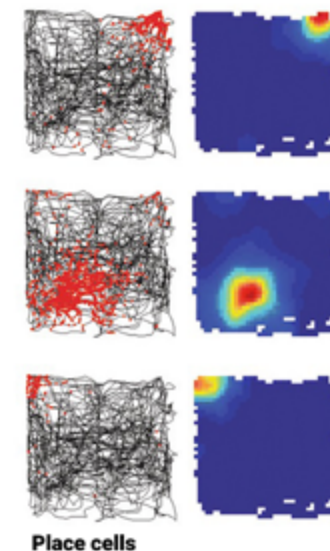
Καθώς οι άνθρωποι ζουν, κινούνται και ενεργούν στον χώρο, ο χειρισμός χωρικών πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη στόχων και την απόκτηση γνωστικών ικανοτήτων. Επομένως, αναπτύχθηκαν είδη νευρώνων, που αντιπροσωπεύουν χωρικές ιδιότητες αντικειμένων, του κόσμου και του ιδίου του σώματος, και τις οργανώνουν σε δομημένους χωρικούς χάρτες τοποθεσιών και χαρακτηριστικών.

Αυτά τα είδη νευρώνων, παρουσιάζουν ευαισθησία σε διαφορετικές χωρικές πληροφορίες. Με την επεξεργασία του συνόλου αυτών των δεδομένων, ο εγκέφαλος έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει έναν νοητικό χάρτη του περιβάλλοντος, που επηρεάζει την συμπεριφορά και την κίνηση του υποκειμένου στον χώρο.

- τα **place cells**, δημιουργούν μία νοητική αναπαράσταση της παρούσας θέσης.

Τα place cells αποτελούν είδος νευρώνα στον ιππόκαμπο που ενεργοποιείται όταν ένα υποκείμενο εισέρχεται σε μια συγκεκριμένη θέση στο περιβάλλον του, η οποία είναι γνωστή ως τοπικό πεδίο. Διαφορετικά place cells ενεργοποιούνται σε διαφορετικές θέσεις, και ο συνδυασμός των ενεργοποιήσεων στο σύνολο των κυττάρων αυτών, δημιουργεί έναν εσωτερικό νοητικό χάρτη που αναπαριστά το συγκεκριμένο περιβάλλον. Τα κύτταρα συνεργάζονται με άλλους τύπους νευρώνων στον ιππόκαμπο και στις γύρω περιοχές για να πραγματοποιήσουν αυτό το είδος χωρικής επεξεργασίας.

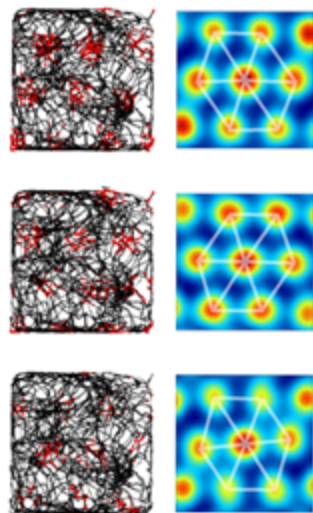
Το σχήμα του χώρου αποτελεί το βασικό παράγοντα για τον προγραμματισμό των κυττάρων. Όταν αυτά προγραμματιστούν, διατηρούν συστηματικά τις μεταξύ τους σχέσεις. Έχει παρατηρηθεί πειραματικά η επίδραση του προγραμματισμού τους επί της συμπεριφοράς εντός ενός χώρου, όπως και η ενεργοποίησή τους σε ψηφιακά περιβάλλοντα. (Holscher et al., 2005) Επιπροσθέτως, τα place cells, θεωρείται ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στην επεισοδιακή μνήμη καθώς περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το χωρικό πλαίσιο που έλαβε χώρα η μνήμη (O'Keefe, 1976).



**Εικόνα 17.** Κάτοψη δραστηριότητας place cells σε τετράγωνο περιβάλλον

- τα **grid cells**, δημιουργούν ένα πλέγμα ισόπλευρων τριγώνων για την νοητική αναπαράσταση αποστάσεων και θέσης σε ευκλείδειο χώρο.

Αποτελούν ένα είδος νευρώνων που βρίσκονται στον ενδορινικό φλοιό και ενεργοποιούνται χωρικά. Η διάταξη των χωρικών πεδίων πυροδότησης, που βρίσκονται όλα σε ίσες αποστάσεις από τα γειτονικά τους, οδήγησε στην υπόθεση ότι αυτά τα κύτταρα κωδικοποιούν μια νοητική αναπαράσταση του ευκλείδειου χώρου. Η ανακάλυψη των κυττάρων, πρότεινε επίσης έναν μηχανισμό για τον δυναμικό υπολογισμό της παρούσας θέσης με βάση συνεχώς ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την κατεύθυνση.



**Grid cells**

**Εικόνα 18.** Κάτοψη δραστηριότητας *grid cells*, ενεργοποίηση σε περιοχές που διαμορφώνουν τριγωνικό πλέγμα

Το σύνολο των θέσεων που ενεργοποιείται ένα μόνο κύτταρο, σχηματίζει τις κορυφές ενός πλέγματος ισόπλευρων τριγώνων. Αυτή η κανονική διάταξη είναι αυτό που διακρίνει τα *grid cells* από τους άλλους τύπους κυττάρων που δείχνουν χωρική ενεργοποίηση. Εκτός από την επαγωγή της απόστασης που έχει διανυθεί, μέσω της άθροισης των αποστάσεων των ενεργοποιήσεων, το πλέγμα αποτελεί και ένα αλλοκεντρικό πλαίσιο αναφοράς θέσης.

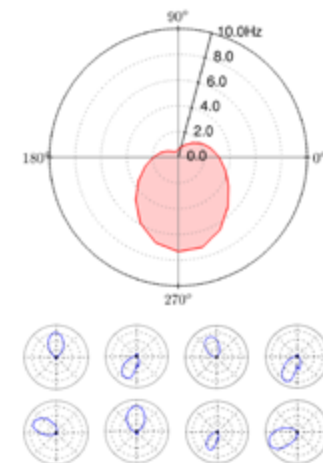
Υπάρχει μία διαβάθμιση στην κλίμακα των αποστάσεων μεταξύ των πεδίων ενεργοποίησης διαφορετικών *grid cells*. Η επικάλυψη αυτών των πλεγμάτων διαφορετικής κλίμακας, αποδίδει σε κάθε θέση στον χώρο, ένα διακριτό συνδυασμό ενεργοποίησης κυττάρων. Αυτός αποτελεί τις ξεχωριστές νοητικές συντεταγμένες της θέσης, με τις οποίες το υποκείμενο μπορεί να αναγνωρίζει την θέση του ίδιου αλλά και την θέση του προορισμού του. (Hafting et al., 2005)

Το Βραβείο Νόμπελ Φυσιολογίας του 2014 απονεμήθηκε στον John O'Keefe για την ανακάλυψη των *place cells* και στους Edvard και May-Britt Moser για την ανακάλυψη των *grid cells*.

- Τα **head direction cells**, δημιουργούν μία νοητική αναπαράσταση προσανατολισμού.

Είναι νευρώνες που εντοπίζονται στο υπόθεμα ιπποκάμπου, αλλά και σε άλλες περιοχές, οι οποίοι αυξάνουν τα ποσοστά πυροδότησης τους, μόνο όταν το κεφάλι του υποκειμένου στρέφεται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αποτελούν, μία νευρωνική βελόνα πυξίδας, η οποία όμως δεν στοχεύει στον μαγνητικό βορρά, αλλά δημιουργεί ένα πλαίσιο αναφοράς βασισμένο σε περιβαλλοντικά ορόσημα.

Όταν το κεφάλι είναι στραμμένο στην προτιμώμενη κατεύθυνση πυροδότησης, οι νευρώνες αυτοί ενεργοποιούνται με σταθερό ρυθμό, αλλά η πυροδότηση μειώνεται όταν το κεφάλι απομακρυνθεί από την προτιμώμενη κατεύθυνση κατά περίπου 45°. Διαφορετικά *head direction cells* έχουν διαφορετικές προτιμώμενες κατευθύνσεις, ίσα κατανεμημένες, έτσι ώστε να υπάρχει μία ίση αναπαράσταση κάθε μίας, και καμία συνολικά προτιμώμενη κατεύθυνση. Καθώς καλύπτουν κάθε κυκλικό τομέα, τα *head direction cells* αποτελούν το θεμέλιο της αίσθησης κατεύθυνσης (Taube et al., 1990).



**Head direction cells**

**Εικόνα 19.** Διάγραμμα δραστηριότητας *head direction cells*, ενεργοποίηση σε διαφορετικές μοίρες προσανατολισμού κεφαλής

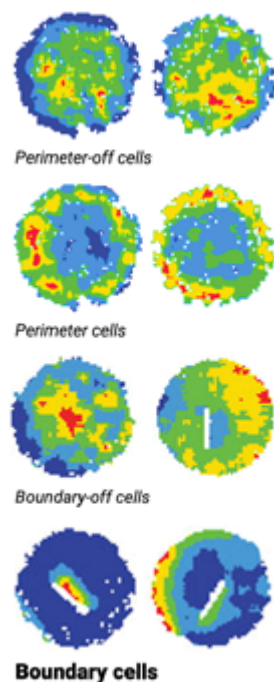


- Τα **boundary cells** δημιουργούν μια νοητική αναπαράσταση της ύπαρξης και της εγγύτητας των ορίων του περιβάλλοντος.

Είναι νευρώνες που βρίσκονται στον ιπποκάμπιο σχηματισμό, και ανταποκρίνονται στην παρουσία ενός περιβαλλοντικού ορίου σε μια συγκεκριμένη απόσταση και κατεύθυνση από το υποκείμενο. Η ύπαρξη κυττάρων με αυτά τα χαρακτηριστικά πυροδότησης αρχικά προβλεπόταν με βάση τις ιδιότητες των place cells, ωστόσο έχουν μια σύνθετη σχέση τόσο με τα place cells όσο και με τα grid cells που δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή (O'Keefe, 1996).

Αυτά τα κύτταρα έχουν μια προτιμώμενη κατεύθυνση πυροδότησης, ομοίως με τα head direction cells, δηλαδή θα πυροδοτήσουν όταν το υποκείμενο συναντήσει ένα περιβαλλοντικό όριο προς την συγκεκριμένη προγραμματισμένη κατεύθυνση. Αυτή η ενεργοποίηση ωθείται από την αποθήκευση στην μνήμη της θέσης του ορίου σε σχέση με το υποκείμενο, βασισμένη σε πληροφορίες κίνησης εαυτού, και όχι απλά από αντιληπτικές ενδείξεις.

Περαιτέρω, οι Stewart et al. (2014) αναφέρουν την ύπαρξη κυττάρων **boundary-off** στο υπόθεμα ιπποκάμπου. Αυτά τα κύτταρα πυροδοτούν με τρόπο που μοιάζει με ανεστραμμένο boundary cell, με δραστηριότητα που καλύπτει ένα περιβάλλον εκτός από την περιοχή κοντά σε ένα συγκεκριμένο όριο, και εικάζεται ότι αποτελούν μία διακριτή τάξη boundary cells.



**Εικόνα 20.** Κάτοψη δραστηριότητας τύπων boundary cell σε κυκλικό περιβάλλον

Τα δύο αυτά είδη νευρώνων δεν κατευθύνουν τη δραστηριότητά τους (ή την έλλειψη δραστηριότητας) σε όλα τα όρια προς όλες τις κατευθύνσεις, είναι επιλεκτικά μόνο για εκείνα που βρίσκονται σε συγκεκριμένη απόσταση και σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Παρ' όλα αυτά, τα λεγόμενα **perimeter cells** στο ραμβοειδή θάλαμο (Jankowski et al., 2015), καταργούν αυτόν τον κανόνα και πυροδοτούν ανεξαρτήτως κατεύθυνσης προς όλα τα περιβαλλοντικά όρια. Αυτά τα κύτταρα συνοδεύονται από τα αντίστοιχα συμπληρωματικά τους που ενεργοποιούνται μόνο στο κέντρο ενός χώρου. Όλα μαζί, δημιουργούν ένα χάρτη με τις θέσεις όλων των γνωστών ορίων εντός ενός περιβάλλοντος.

Τα place, grid, head direction και boundary cells διαμορφώνουν ένα πολύπλοκο δίκτυο εντός του ιπποκάμπου που αποτελεί **ένα ολοκληρωμένο σύστημα θέσης, ένα νοητικό GPS**. Ο προγραμματισμός των νευρώνων που οδηγεί στην δημιουργία αυτού του συστήματος, πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και σε πρωτόγνωρα περιβάλλοντα. Όταν το υποκείμενο έχει την εσωτερική αναπαράσταση της θέσης του, τότε μπορεί να υπολογίσει την κατεύθυνση και την απόσταση που κινείται, για να συμπεράνει την τρέχουσα θέση του. Ένα σύστημα υπολογισμού στίγματος εξ αναμετρήσεως.

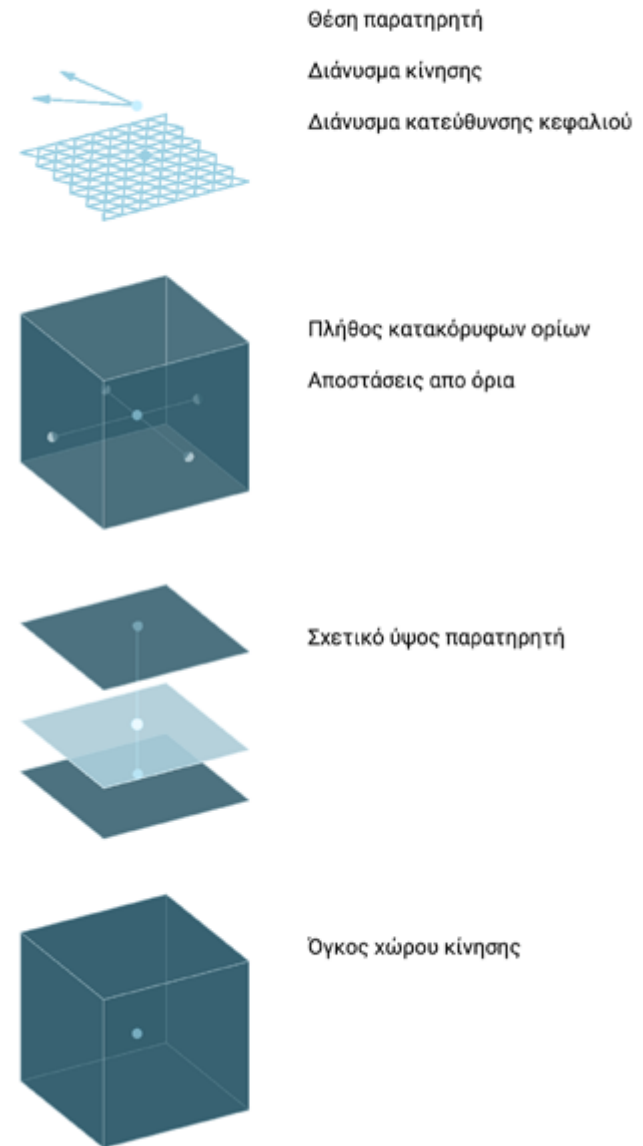
Ο ιπποκάμπος σχηματισμός, περιέχοντας νευρώνες που σηματοδοτούν θέσεις, κατευθύνσεις, όρια και αποστάσεις, παρέχει έναν γνωστικό χάρτη ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της τρέχουσας θέσης, όμως επίσης και για την πλοήγηση από ένα μέρος προς ένα άλλο από οποιαδήποτε διαθέσιμη διαδρομή. Τα ευρήματα υποστηρίζουν τη θεωρία των γνωστικών χαρτών, δηλαδή, την ιδέα ότι ο ιπποκάμπος κατέχει μια χωρική αναπαράσταση, έναν γνωστικό χάρτη του περιβάλλοντος (O'Keefe, 1978).

## Στοιχεία ανάλυσης συστήματος θέσης

Η ανάλυση του συστήματος θέσης ακολουθεί την ίδια λογική με εκείνη της όρασης, δηλαδή της μετάφρασης των εγκεφαλικών μηχανισμών σε μετρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία.

Τα μέρη που αναπαριστούν το σύστημα θέσης είναι το σημείο παρούσας θέσης του παρατηρητή, τα διανύσματα κατευθύνσεως κίνησης και κεφαλιού, η απαρίθμηση των κατακόρυφων ορίων μαζί με την απόσταση και τον προσανατολισμό τους σε σχέση με τον παρατηρητή, το σχετικό ύψος του και το εμβαδόν διαθέσιμου χώρου κίνησης εντός των ορίων από την παρούσα θέση.

Σε συνεργασία με τους μετρήσιμους παράγοντες της όρασης, αναδύονται νέοι μετρήσιμοι παράγοντες για την αντίληψη του περιβάλλοντος, όπως το εύρος δυναμικής δράσης του παρατηρητή, που συναρτάται με τα όρια της όρασης (οπτικός όγκος) και τα όρια της κίνησης (εμβαδόν χώρου εντός ορίων). Γίνεται εμφανές το πως με την σύνθεση απλών μερών, μπορεί να γίνει η έμμεση μέτρηση παραγόντων με εκθετικά αυξανόμενη πολυπλοκότητα.



**Εικόνα 21.** Γεωμετρικές μονάδες ανάλυσης πληροφορίας συστήματος θέσης

απαραίτητη η εδραίωση μίας αλγοριθμικής στρατηγικής ως θεμέλιο του νέου πειραματικού πλαισίου (Terzidis, 2009).

Με την απελευθέρωση του σχεδιαστή από τις υλικές ανησυχίες που σχετίζονται με την εργασία, την ικανότητα, την πολυπλοκότητα ή από τους συναισθηματικούς παράγοντες όπως η κόπωση ή η πλήξη, ο **υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ακούραστο όχημα** που επιτρέπει την συνεχή παραγωγή περιβαλλόντων που υπακούν με ακρίβεια στους σχεδιαστικούς κανόνες που έχουν τεθεί και την ακριβή ανάλυση της εμπειρίας εντός τους.

## Νέα μέθοδος

Με βάση την παραπάνω ανάλυση των νοητικών εργαλείων όρασης και θέσεως που χρησιμοποιεί η ανθρώπινη αντίληψη, στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή ενός νέου τρόπου σχεδιασμού πειραματικών περιβαλλόντων και μίας νέας μεθόδου συλλογής των αντιληπτικών δεδομένων. Πρώτα θα παρουσιαστεί ο αλγοριθμικός τρόπος παραγωγής χώρων, που επιτρέπει την απομόνωση αντιληπτικών χαρακτηριστικών, με τις αρχές που τον διέπουν. Στην συνέχεια, θα αναλυθεί η νέα μέθοδος εξέτασης της αντιληπτικής εμπειρίας εντός πειραματικών περιβαλλόντων, που βασίζεται στην καταγραφή των γεωμετρικών περιεχομένων της αντίληψης ανά πάσα στιγμή. Μαζί, περιβάλλοντα και ανάλυση, δημιουργούν ένα νέο πειραματικό πλαίσιο, το οποίο μπορεί να προσφέρει νέες δυνατότητες στον τομέα της έρευνας της ανθρώπινης αντίληψης.

Η ιδιότητα που χαρακτηρίζει από κοινού τα περιβάλλοντα και την ανάλυση είναι η αλγοριθμική τους φύση. **Ένας αλγόριθμος μπορεί να γίνει αντιληπτός ως ένας μεσάζοντας μεταξύ της ανθρώπινης νόησης και των δυνατοτήτων επεξεργασίας του υπολογιστή.** Η ιδιότητα του, ως μεσάζοντας, είναι αμφίδρομη, είτε ως μέσο υπαγόρευσης στον υπολογιστή του τρόπου επίλυσης ενός προβλήματος είτε ως αντανάκλαση ανθρώπινης σκέψης στη μορφή αλγορίθμου.

Όπως αναφέρει ο Τερζίδης, υπάρχουν κάποια προβλήματα των οποίων η πολυπλοκότητα, το επίπεδο αβεβαιότητας, η ασάφεια, ή το εύρος των πιθανών λύσεων απαιτεί μια συνεργική σχέση μεταξύ του ανθρώπινου και ενός υπολογιστικού συστήματος. Η συνεργία είναι δυνατή μόνο με τη χρήση αλγοριθμικών στρατηγικών που διασφαλίζουν μια συμπληρωματική και διαλεκτική σχέση μεταξύ του ανθρώπινου και της μηχανής. Θεωρώντας δεδομένη την πολύπλευρη φύση του προβλήματος της κατανόησης της ανθρώπινης αντίληψης, κρίθηκε

## Χώροι

Ακολουθεί η περιγραφή της λογικής του σχεδιασμού των περιβαλλόντων. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται οι στόχοι που προσπαθούν να εκπληρώσουν, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους επιχειρούν να το επιτύχουν.

Ξεκινώντας από τους στόχους, αυτοί είναι, της **απομόνωσης μεταβλητών, του ελέγχου των τιμών τους και της δυνατότητας για επαναχρησιμοποίηση των περιβαλλόντων.**



Εικόνα 22. Διάγραμμα στόχων

Είναι κρίσιμο να γίνει κατανοητό ότι τα γεωμετρικά αντικείμενα της αντίληψης ανήκουν σε ένα άπειρο σύνολο. Η συνολική αναπαράσταση όλων των περιεχομένων του συνόλου, δηλαδή, η παραγωγή όλων των πιθανών γεωμετρικών περιβαλλόντων, είναι αδύνατη λόγω του άπειρου πλήθους της. Ωστόσο, τα αντικείμενα εντός του συνόλου διαμορφώνουν ένα πλέγμα σχέσεων μεταξύ τους, μέσω των κοινών

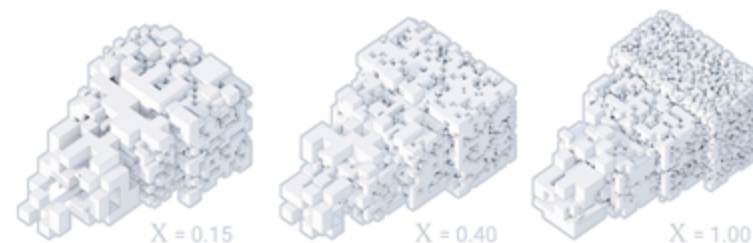


τους χαρακτηριστικών, όπως ακμές και επιφάνειες. Η εξέταση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών αυτού του συνόλου, με χώρους που ανήκουν σε ευρύ φάσμα των τιμών κάθε χαρακτηριστικού, αν και απαιτητική μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την ακρίβεια και την ταχύτητα που προσφέρουν οι αλγόριθμοι. Αυτή αποτελεί κατευθυντήρια λογική που ακολουθούν οι παρόντες αλγοριθμικά παραγόμενοι χώροι. Ο καθένας στοχεύει στην απομόνωση συγκεκριμένων γεωμετρικών στοιχείων της αντιληπτικής ανάλυσης.

Η δημιουργία χώρων με την αποκλειστική χρήση ενός στοιχείου, είναι αδύνατη καθώς όλα μαζί μπορούν μόνο να συνθέσουν ένα περιβάλλον. Για παράδειγμα, δεν υφίσταται δημιουργία ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος με αποκλειστική χρήση ακμών. Ωστόσο η παρούσα ερμηνεία της απομόνωσης, αναφέρεται στην επικέντρωση του εύρους των μετατροπών σε περιορισμένο αριθμό στοιχείων για κάθε περιβάλλον-εκδοχή του ίδιου κώδικα, ή ακόμα και για την ίδια εκδοχή. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να μελετηθούν οι αντιδράσεις των παρατηρητών σε ένα φαινομενικά αναλογικό φάσμα μετατροπών, εντός του οποίου κινούνται συγκεκριμένες απομονωμένες μεταβλητές, περιορίζοντας τις αλλαγές των τιμών των υπολοίπων στοιχείων ανάλυσης.

Όλα τα περιβάλλοντα γεννιούνται από μία διαδικασία, και δεν μπορούν να ανακτηθούν χωρίς την διαδικασία που τα χαρακτηρίζει (Portoghesi, 2000). Η κάθε διαδικασία μορφής αλγόριθμου, έχει την δυνατότητα να δημιουργεί άπειρο αριθμό περιβαλλόντων, που διαφοροποιούνται με **δύο μηχανισμούς, των μετατροπών εντός του φάσματος των απομονωμένων μεταβλητών και της τυχαιότητας.**

**Το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των στοιχείων** του χώρου περιγράφονται από τον πρώτο μηχανισμό που προσθέτει τον παράγοντα έλεγχο στην συνάρτηση της παραγωγής των περιβαλλόντων. Στην απλούστερη μορφή του, ο μηχανισμός χρησιμοποιεί αριθμητικούς ρυθμιστές για να θέσει με ακρίβεια την τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής κάθε περιβάλλοντος. Οι ρυθμιστές, διαθέτοντας την ιδιότητα άπειρου εύρους και άπειρου βαθμού υποδιαίρεσης αυτού, προσδίδουν αναλογικότητα στην εκδήλωση του μεγέθους των μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται δυνατή η αναπαράσταση όλων των στιγμάτων εντός του εύρους, δηλαδή, είναι εφικτή η παραγωγή περιβάλλοντος που χαρακτηρίζεται από οποιαδήποτε από τις άπειρες πιθανές τιμές της μεταβλητής (Εικόνα 23).



**Εικόνα 23.** Παραδείγματα αλγοριθμικών περιβαλλόντων με διαφορετικά επίπεδα εξεταζόμενης μεταβλητής

**Η ιδιότητα της επαναχρησιμοποίησης,** προσδίδεται στον αλγόριθμο μέσω του δεύτερου μηχανισμού, της τυχαιότητας. Σε αντίθεση με το χάος, μια τυχαία αναδιάταξη στοιχείων μέσα σε ένα σύστημα που βασίζεται σε κανόνες, παράγει αποτελέσματα που, αν και απρόβλεπτα, συνδέονται εγγενώς μέσω των κανόνων που διέπουν αυτό το σύστημα. Η αναδιάταξη αυτή, σε επίπεδο γεωμετρικό, γίνεται μέσω νέφους σημείων με τυχαία χωρική κατανομή, που αποτελεί κύριο συστατικό για τις ακόλουθες διεργασίες που συντελούν την τελική μορφή του περιβάλλοντος. Για κάθε δεδομένη τιμή της εξεταζόμενης αντιληπτικής μεταβλητής, υπάρχουν άπειρες πιθανές αναδιατάξεις, που δημιουργούν μορφολογικά συγγενή, αλλά διαφορετικά περιβάλλοντα

(Εικόνα 24). Η ιδιότητα αυτή, μπορεί να αποδειχτεί χρήσιμο εργαλείο στην αντιμετώπιση του προβλήματος της αλλοίωσης των πειραματικών αποτελεσμάτων λόγω της εξοικείωσης των υποκειμένων με χώρους που έχουν ήδη βιώσει. Επιπροσθέτως, η επάρκεια αυτού του μηχανισμού δίκως ανθρώπινη σχεδιαστική συμμετοχή, επιτρέπει την ταχεία παραγωγή αναρίθμητων χώρων με κοινά χαρακτηριστικά δίκως σχεδιαστική μεροληψία.



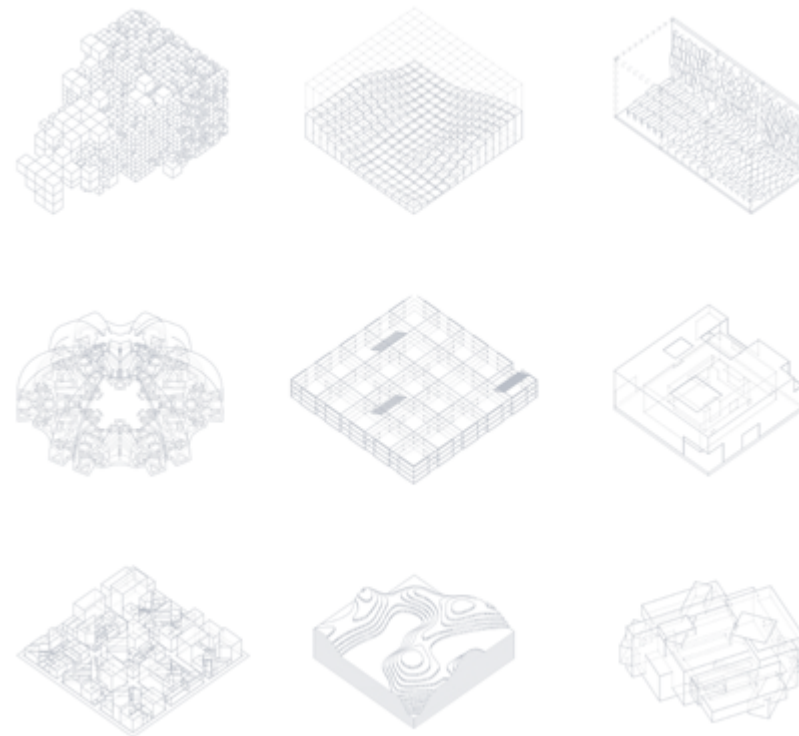
**Εικόνα 24.** Παραδείγματα αλγοριθμικών περιβαλλόντων με ίδια επίπεδα μεταβλητής σε τρεις διαφορετικές χωρικές διατάξεις

Τα περιβάλλοντα που περιγράφονται μέσω των αλγορίθμων, διέπονται από ορισμένες αρχές στον σχεδιασμό τους, που στοχεύουν στον ρεαλισμό αλληλεπίδρασης με τον παρατηρητή και στην διατήρηση ενός καθαρά μορφολογικού χαρακτήρα της επίδρασης.

Πρώτον, η δράση με την μορφή της εξερεύνησης του ψηφιακού περιβάλλοντος, θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι της λογικής δημιουργίας τους. Όπως αναφέρει ο Juhani Pallasmaa, η δυνατότητα για δράση διαχωρίζει την αρχιτεκτονική από τις υπόλοιπες τέχνες. Εξ' αυτού, τα περιβάλλοντα δημιουργούνται με έναν ενεργό, κινούμενο παρατηρητή ως δεδομένο, πράγμα που οδήγησε στην σύνταξή τους από πολλαπλές αλληλένδετες αντιληπτές σκηνές, διαθέσιμες για εξερεύνηση (Pallasmaa, 1996).

Δεύτερον, τα παραγόμενα περιβάλλοντα αποφεύγουν τον συμβολισμό και στερούνται λειτουργίας, πέραν εκείνης του αντιληπτικού αντικείμενου. Αυτό πηγάζει από την ανάγκη για διατήρηση του κυρίαρχου ρόλου της γεωμετρίας, ως παράγοντα επίδρασης επί του παρατηρητή, περιορίζοντας την ευκολία εμφάνισης περεταίρω απρόβλεπτων αντιδράσεων από προϋπάρχουσες οπτικές ετικέτες της εμπειρίας του.

Η ελευθερία, η ακρίβεια και η ταχύτητα που προσφέρουν οι νέοι αλγόριθμοι, μπορούν να αποδεσμεύσουν τους ερευνητές από πρακτικούς περιορισμούς, γεγονός που τους επιτρέπει να επικεντρώσουν την προσοχή και τον διαθέσιμο χρόνο τους στα κομμάτια της έρευνας όπου η ανθρώπινη ευρηματικότητα και ευφυΐα είναι απαραίτητη.



**Εικόνα 25.** 9 αλγοριθμικά πειραματικά περιβάλλοντα

Οι ελευθερίες επιλογής περιβαλλόντων για τους ερευνητές και κίνησης για τον παρατηρητή, συνοδεύονται ωστόσο, από ένα βασικό πρόβλημα. Πλέον καθίσταται αδύνατη η εγγύηση ότι το ερέθισμα που φτάνει στον παρατηρητή θα είναι πανομοιότυπο σε κάθε δοκιμή. Αντιθέτως, ορισμένες πειραματικές παράμετροι θα ποικίλλουν σημαντικά κατά τη διάρκεια του πειράματος ανάλογα με το πώς ο συμμετέχων αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον, όπως και από την εκδοχή του περιβάλλοντος εντός του οποίου βρίσκεται. Αυτό το γεγονός, δημιουργεί την ανάγκη για μια διαφορετική προσέγγιση ανάλυσης δεδομένων, καθώς μια παραδοσιακή μέθοδος ανάλυσης σταθερών ερεθισμάτων θα ήταν ανεπαρκής.

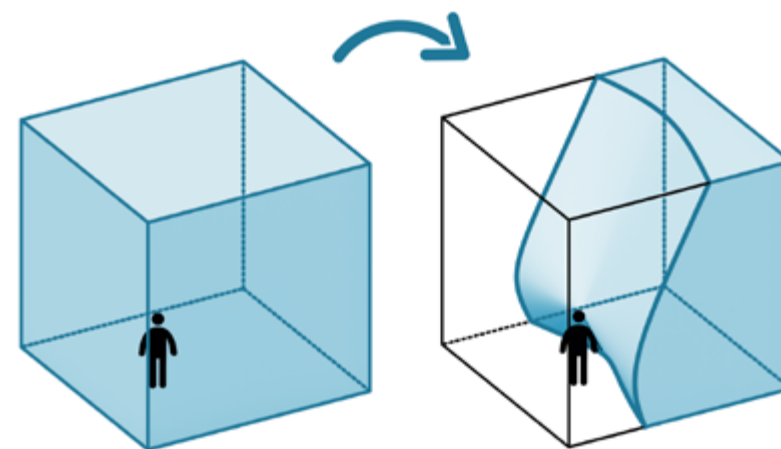
## Δεδομένα

Ακολουθεί η περιγραφή της μεθόδου συλλογής και ανάλυσης αντιληπτικών δεδομένων. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξή της, τα περιεχόμενα της εισαγωγής δεδομένων και του αποτελέσματος του υπολογιστικού συστήματος, καθώς και η ποιοτική, ποσοτική και χρονική διάσταση των δεδομένων που συλλέγονται.

Οι κύριοι άξονες γύρω από τους οποίους αναπτύχθηκε η μέθοδος είναι, **ο βασικός ρόλος του υποσυνείδητου στην αντιληπτική εμπειρία και η ανάγκη ακριβούς αντιστοίχισης συμπεριφορών με τα αντίστοιχα περιεχόμενα της αντίληψης.**

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η συναισθηματική αντίδραση του παρατηρητή επηρεάζεται από χωρικές ιδιότητες, που μπορούν να μετρηθούν αντικειμενικά και έχουν ως αποτέλεσμα μια σειρά ψυχολογικών και φυσιολογικών αντιδράσεων. Πέρα των συνειδητών αποφάσεων που λαμβάνονται, η δραστηριότητα του εγκεφάλου και του σώματος ως απόκριση στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος κρίνεται από υποσυνείδητες διεργασίες. Αυτό το γεγονός υποδηλώνει ότι μεγάλο μέρος της πληροφορίας ενός αντιληπτικού πειράματος, δεν είναι διαθέσιμο μέσω ερωματολογίων, διότι δεν είναι διαθέσιμο ούτε για τον ίδιο τον παρατηρητή. Δεδομένου αυτού, υπάρχει ανάγκη για άμεση και πλήρη καταγραφή των περιεχομένων της αντίληψης, για την κατανόηση των δεδομένων συμπεριφοράς που καθοδηγούνται υποσυνείδητα.

Στα παραδείγματα προηγούμενων πειραμάτων που αναλύθηκαν, γινόταν απόδοση των αντιδράσεων του παρατηρητή, στο σύνολο του πειραματικού περιβάλλοντος. Αυτή η πρακτική μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα. Ο χαρακτήρας της εμπειρίας εντός ενός χώρου ποικίλει, κατά την διάρκεια που βιώνεται. Ένα συναίσθημα ή μία ενέργεια που προκαλείται από την επίδραση της αντίληψης ενός μέρους του περιβάλλοντος, πολύ πιθανόν να διαφέρει εξαιρετικά από εκείνη ενός άλλου μέρους. Για παράδειγμα, η αίσθηση που δημιουργείται, εντός ενός ναού, όταν η θέαση στρέφεται προς το τέμπλο, διαφέρει εξαιρετικά από την αίσθηση που δημιουργείται όταν η θέαση αντιστραφεί. Σχολιασμοί της μορφής «το περιβάλλον 1 επέφερε αντίδραση x» δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα της αντιληπτικής εμπειρίας. Ως εκ τούτου, βασικός πυλώνας της μεθόδου συλλογής και ανάλυσης δεδομένων που περιγράφεται, είναι η **ακριβής καταγραφή των περιεχομένων της αντίληψης κάθε δεδομένη στιγμή και η συσχέτιση μόνο εκείνων με την συναισθηματική και φυσιολογική αντίδραση της ίδιας στιγμής.**

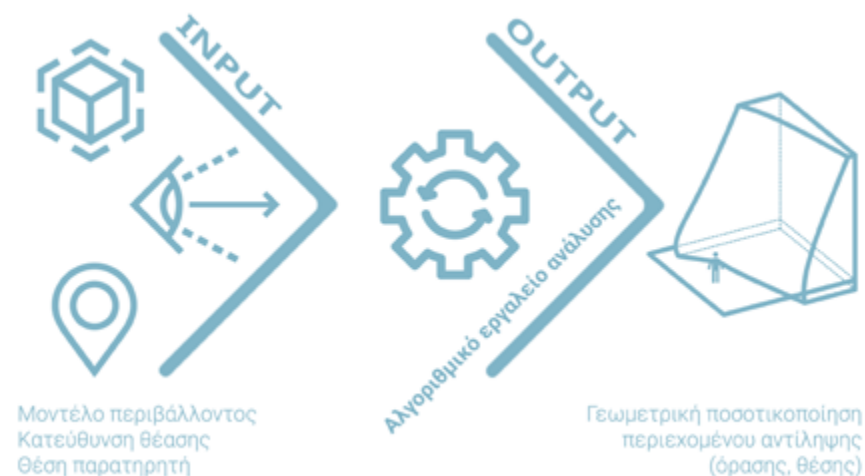


**Εικόνα 26.** Απόδοση των πειραματικών αποτελεσμάτων στο περιβάλλον (αριστερά) και στο αντικείμενο της αντίληψης (δεξιά).

Η μέθοδος, αντί για συλλογή μονοδιάστατων δεδομένων, όπως η απλή εκτίμηση αποστάσεων, στοχεύει στη δημιουργία ενός πλαισίου όπου η χωρική αντίληψη μπορεί να βαθμονομηθεί και να εξεταστεί στην ολότητά της. Στοχεύει στην ανάλυση της διάθεσης και πλοήγησης, σε φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ δυνάμεων επιρροής χώρου

και σώματος παρατηρητή. Ομοίως με τα πειραματικά περιβάλλοντα, χρησιμοποιείται αλγοριθμική λογική για την δημιουργία του εργαλείου ανάλυσης, καθώς επιτρέπει την εκμετάλλευση της ισχύς επεξεργασίας ενός υπολογιστικού συστήματος, χαρακτηριστικό που αποτελεί απαραίτητη συνθήκη για την παράλληλη καταγραφή και επεξεργασία πολλαπλών δεδομένων.

Το αλγοριθμικό εργαλείο ανάλυσης, ως σύστημα επεξεργασίας πληροφορίας, περιλαμβάνει μία εισαγωγή δεδομένων (input) και μία εξαγωγή δεδομένων (output). Για να λειτουργήσει, χρειάζεται, ως εισαγωγή, τα δεδομένα της θέσης και της κατεύθυνσης της θέασης του παρατηρητή μία δεδομένη στιγμή, και το τρισδιάστατο μοντέλο του παρατηρούμενου περιβάλλοντος. Με αυτή την εισαγωγή, **αναδημιουργεί το συνολικό χωρικό ερέθισμα** (όρασης και θέσης) **εκείνης της στιγμής, το αναλύει σε γεωμετρικές μονάδες**, βάσει εκείνων που αναλύει την αισθητηριακή πληροφορία ο ανθρώπινος νους, **και τέλος κάνει τις απαραίτητες διεργασίες, ώστε να τις μετατρέψει σε αριθμητικά δεδομένα με αντιληπτικό βάρος στην ανθρώπινη κλίμακα**. Εν συντομία, **το εργαλείο ποσοτικοποιεί το αντικείμενο της αντίληψης**, το μετατρέπει σε κάτι μετρήσιμο, συνεπώς και συγκρίσιμο.



Εικόνα 27. Διάγραμμα ροής δεδομένων αλγοριθμικού εργαλείου ανάλυσης

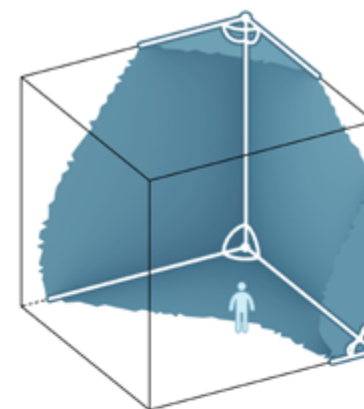
Το εργαλείο ανάλυσης διαθέτει ακρίβεια **ποιοτική, ποσοτική και χρονική**.

Ποιοτικά, το εργαλείο καταγράφει τα γεωμετρικά δεδομένα που γίνονται αντιληπτά από τα συστήματα όρασης και θέσης. **Η ακρίβεια, με έννοια ποιοτική, έγκειται στο γεγονός ότι τα είδη των γεωμετρικών μονάδων στις οποίες αναλύεται το αντιληπτικό περιβάλλον, πηγάζουν από τα είδη των μονάδων πληροφορίας που το αναλύει ο ανθρώπινος νους**. Οι μονάδες ανιχνεύονται από το εργαλείο μέσω σχηματοποιήσεων των δύο αισθήσεων. Για την όραση χρησιμοποιείται το οπτικό στερεό και για το σύστημα θέσης, ο δίσκος κίνησης.

Το **οπτικό στερεό** είναι το τρισδιάστατο σχήμα που δημιουργείται όταν το επεκτεινόμενο οπτικό πεδίο του παρατηρητή διακοπεί από το παρατηρούμενο περιβάλλον, και αναπαριστά το οπτικό ενδιάμεσο μεταξύ παρατηρητή και περιβάλλοντος. Μετατρέποντας την αντίληψη σε στερεό, επιτρέπεται εύρος γεωμετρικών διεργασιών που την καθιστούν αναλύσιμη με αριθμητική ακρίβεια. Το οπτικό στερεό αποτελεί «σφουγγάρι» οπτικών δεδομένων, καθώς πάνω του διαθέτει όλη την οπτική πληροφορία που δέχεται ο χρήστης την δεδομένη στιγμή. Τα δεδομένα που περιλαμβάνει είναι η γεωμετρία των αντιληπτών ακμών και επιφανειών, τα οποία εντάσσονται σε ένα πλαίσιο αναφοράς με κέντρο τον παρατηρητή, γεγονός που τους επιτρέπει να επεξεργαστούν και να μετατραπούν σε πληροφορία που αναφέρεται σε εκείνον.

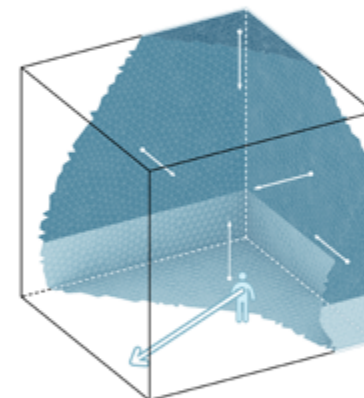
Η παραγόμενη πληροφορία, έπειτα από την επεξεργασία των οπτικών δεδομένων του στερεού περιλαμβάνει:

- Το πλήθος ορατών ακμών
- Το μέσο και συνολικό μήκος ακμών
- Το πλήθος των διαφορετικών διευθύνσεων ακμών
- Το πλήθος ορατών κορυφών
- Τη μέση γωνία μεταξύ ακμών
- Το συνολικό εμβαδόν ορατής επιφάνειας
- Το ποσοστό ορατής επιφάνειας πάνω και κάτω από το εγκάρσιο επίπεδο των ματιών
- Το άθροισμα των διανυσμάτων ορατών επιφανειών επί το αντίστοιχο εμβαδόν προς την απόστασή τους από τον παρατηρητή
- Τον συνολικό ορατό όγκο

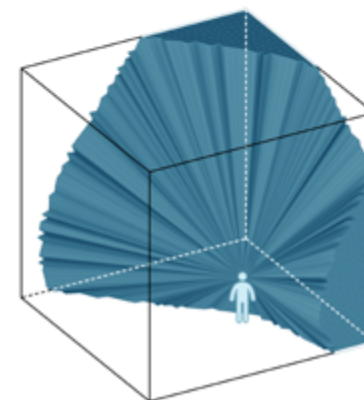


## Οπτικό στερεό

Πλήθος ορατών ακμών	= 7
Συνολικό μήκος ορατών ακμών	= 39.50
Μέσο μήκος ορατών ακμών	= 5.64
Πλήθος ορατών μοναδικών διευθύνσεων	= 3
Πλήθος ορατών κορυφών	= 3
Μέση γωνία μεταξύ ακμών	= 90



Συνολικό εμβαδόν ορατής επιφάνειας	= 152.70
Ποσοστό εμβαδού πάνω από το επίπεδο του παρατηρητή	= 62.8%
Ποσοστό εμβαδού κάτω από το επίπεδο του παρατηρητή	= 37.2%
Διάνυσμα επίδρασης προσανατολισμού ορατών επιφανειών	= (-13.3, -6.2, 0)



Ορατός όγκος	= 182.78
--------------	----------

### INPUT:

Περιβάλλον	Κύβος (8*8*8)
Θέση παρατηρητή	(0.99, -1.08, 1.70)
Διάνυσμα θέασης	(1.00, 0.59, 0.10)

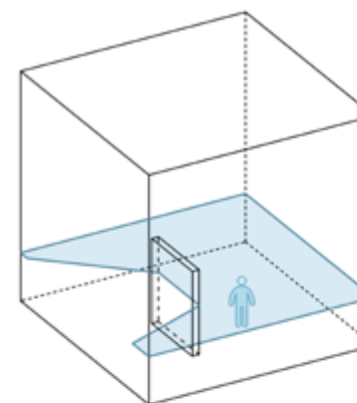
**Εικόνα 28.** Γεωμετρική ανάλυση και παραγωγή αριθμητικών δεδομένων οπτικών ερεθισμάτων, με την χρήση του οπτικού στερεού.



Βασισμένος στις διεργασίες των διαφόρων ειδών χωρικών cells του ιππόκαμπου, που εξάγουν την απαραίτητη πληροφορία για την ορθή λειτουργία του συστήματος θέσης, ο **δίσκος κίνησης** είναι το δισδιάστατο σχήμα που δημιουργείται όταν ένα εγκάρσιο στον κατακόρυφο άξονα επίπεδο, επεκτεινόμενο από την θέση του παρατηρητή, διακοπεί από την γεωμετρία του περιβάλλοντος. Είναι βασισμένο στην μαθηματική έννοια των δισδιάστατων isovists, την οποία τροποποιεί ώστε να αναπαραστήσει το σύστημα επαγωγής θέσης. Αποτελεί μετατροπή του συστήματος, σε γεωμετρικό σχήμα με κέντρο πλαισίου αναφοράς τον παρατηρητή, ώστε να επιτραπεί η επεξεργασία και η μετατροπή του σε πληροφορία που αναφέρεται σε εκείνον.

Η πληροφορία που εξάγεται από τον δίσκο περιλαμβάνει:

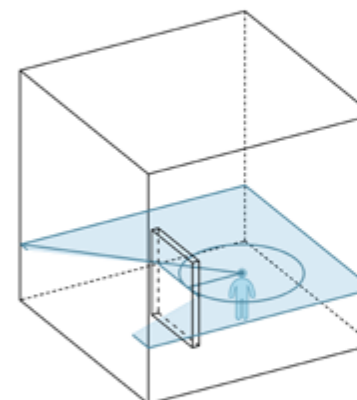
- Το εμβαδόν του επιπέδου ελεύθερης κίνησης
- Την περίμετρο του δίσκου και την σχέση του με το εμβαδόν
- Το εμβαδόν του μέγιστου ανεμπόδιστου δίσκου κίνησης
- Τον αριθμό εμποδίων
- Το μέσο μέτωπο εμποδίων
- Την μέση, ελάχιστη και μέγιστη απόσταση εμποδίου από την θέση
- Το άθροισμα των κάθετων διανυσμάτων των επιφανειών εμποδίων προς την απόστασή τους από τον παρατηρητή (Δύναμη κατεύθυνσης)
- Την γωνία του παραπάνω διανύσματος προς τον άξονα κίνησης



## Δίσκος κίνησης

Εμβαδόν δίσκου κίνησης = **50.10**

Περίμετρος δίσκου κίνησης = **35.40**



Αριθμός εμποδίων = **5**

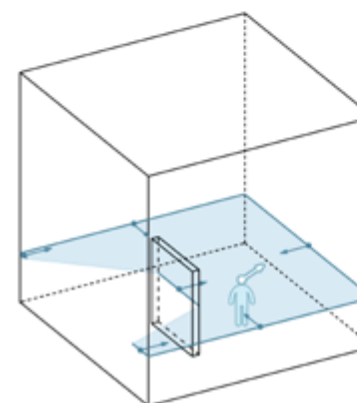
Μέσο μήκος εμποδίου = **4.84**

Μέση απόσταση εμποδίου = **3.78**

Απόσταση απώτατου εμποδίου = **7.10**

Απόσταση κοντινότερου εμποδίου = **1.93**

Εμβαδόν ανεμπόδιστου δίσκου = **11.71**



Διάνυσμα επίδρασης προσανατολισμού εμποδίων = **(0.89, 0.44, 0)**

INPUT:

Περιβάλλον Κύβος (8\*8\*8)  
Θέση παρατηρητή (0.99, -1.08, 1.70)

**Εικόνα 29.** Γεωμετρική ανάλυση και παραγωγή αριθμητικών δεδομένων ερεθισμάτων θέσης, με την χρήση του δίσκου κίνησης

Οι δύο λίστες που παρατέθηκαν, της πληροφορίας του οπτικού στερεού και του δίσκου κίνησης δεν είναι διεξοδικές, αλλά συγκεντρώνουν μερικούς από τους τρόπους που μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα. Η φύση των συλλεγόμενων δεδομένων, ως θεμελιώδη γεωμετρικά στοιχεία, επιτρέπει την διατύπωση πολλών ακόμα ερωτήσεων επί της αντιληπτικής εμπειρίας, των οποίων η απάντηση μπορεί να εξαχθεί από την επεξεργασία της πληροφορίας εντός του «σπόγγου δεδομένων».

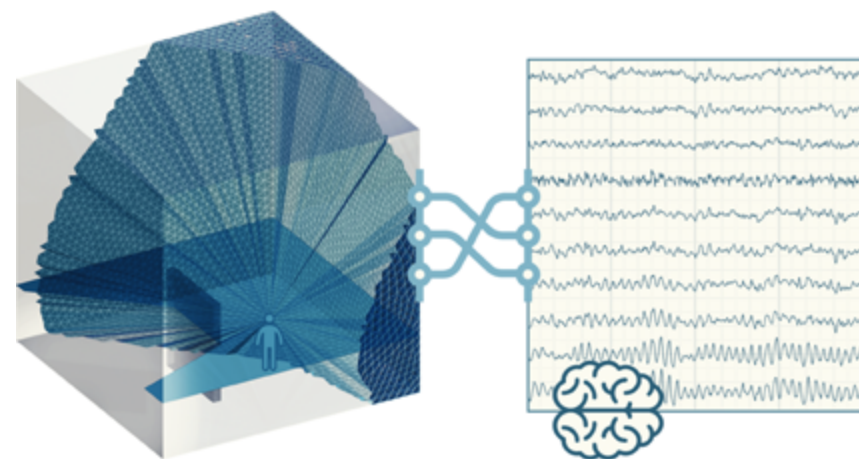
Λόγω της αυτοματοποιημένης, αλγοριθμικής φύσης του, το εργαλείο διαθέτει **ποσοτική ακρίβεια**, καθώς συλλέγει αμερόληπτα όλο το πλήθος πληροφορίας που είναι διαθέσιμο στην αντιληπτή σκηνή, και με την ίδια αμεροληψία το επεξεργάζεται για να κάνει την εξαγωγή της τελικής, χρήσιμης πληροφορίας. Με την χρήση υπολογιστικής ισχύος, οι τιμές που συλλέγονται και εξάγονται χαρακτηρίζονται από μαθηματική ακρίβεια, ενώ παράλληλα, η μελέτη περιβαλλόντων με κλίμακα πέρα από τις ανθρώπινες δυνατότητες καταγραφής, γίνεται δυνατή.

Δεδομένου ότι το εργαλείο μπορεί, ως εισαγωγή, να δεχτεί δεδομένα θέσης και κατεύθυνσης θέασης από οποιοδήποτε στιγμιότυπο του εικονικού περιπάτου, γίνεται δυνατή η ακριβής αριθμητική αναπαράσταση του τι γίνεται αντιληπτό για κάθε πιθανή δεδομένη στιγμή, προσδίδοντας **χρονική ακρίβεια**. Προς στιγμήν, λόγω υπολογιστικής χρονοκαυστέρησης, μπορεί να επεξεργάζεται συγκεκριμένο αριθμό στιγμιότυπων ανά λεπτό, ωστόσο ο υλοποιήσιμος τελικός στόχος, είναι να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Να γίνεται, δηλαδή, ποσοτικοποίηση του αντικείμενου της αντίληψης για το σύνολο των στιγμών που βιώνεται το περιβάλλον.

Το στερεό όρασης, ο δίσκος κίνησης και η επεξεργασία των δεδομένων τους, διαμορφώνουν από κοινού ένα πλαίσιο πληροφοριών που περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του ερεθίσματος μίας δεδομένης στιγμής. Η μέθοδος ανάλυσης, όπως προαναφέρθηκε, στοχεύει σε συμπεράσματα για την ίδια την εμπειρία, όταν βρίσκεται αντιμέτωπη με το ερέθισμα, και όχι γενικευμένα συμπεράσματα για το περιβάλλον στο οποίο ανήκει το ερέθισμα.

Συνεργατικά, οι αλγοριθμικές λογικές παραγωγής χώρων και εξαγωγής δεδομένων, περιγράφουν ένα νέο πλαίσιο για την μελέτη της αντιληπτικής εμπειρίας. Σε ένα αντιληπτικό πείραμα, οι ανεξάρτητες μεταβλητές παίρνουν την μορφή των χωρικών συνθηκών και οι εξαρτημένες την μορφή της καταγεγραμμένης επίδρασης αυτών στον παρατηρητή. Τα αλγοριθμικά περιβάλλοντα συμβάλλουν στο να τεθούν υπό έλεγχο οι ανεξάρτητες μεταβλητές, με την ελευθερία που προσφέρουν για σταδιακές κυμάνσεις χωρικών συνθηκών. Στη συνέχεια, με το εργαλείο ανάλυσης, καταγράφεται, επεξεργάζεται και παράγεται πληροφορία με υπολογιστική ακρίβεια, για το περιεχόμενο ανεξάρτητων μεταβλητών εντός της αντίληψης.

Επιλέγοντας και για τις εξαρτημένες μεταβλητές, των αντιδράσεων του παρατηρητή, μεθόδους συλλογής δεδομένων με ανάλογη ακρίβεια και αμεροληψία, όπως την καταγραφή της εγκεφαλικής ηλεκτρικής δραστηριότητας (EEG), δημιουργείται ένα σταθερό υπόβαθρο συσχετισμένης πληροφορίας μεταξύ αντίληψης και αντίδρασης. Παρόλο που η ποσότητα και η σύνθεση των δεδομένων μπορεί να φαίνεται άπειρη, ένα τυχαίο ή ασυνεχές λογικό φιλτράρισμα τους, θα οδηγήσει σταδιακά σε διατεταγμένο σχηματισμό. Με την εισαγωγή των δεδομένων αντίληψης και αντίδρασης σε δίκτυο deep learning, ως εκπαιδευτικό υλικό, μπορεί να επιταχυνθεί η διάκριση των σχέσεων μεταξύ ανεξαρτητών και εξαρτημένων μεταβλητών, και συνεπώς να επιτευχθεί χαρτογράφηση των αιτιακών σχέσεων μεταξύ περιβάλλοντος και αντίδρασης (Εικόνα 30).



**Εικόνα 30.** Αντιστοίχιση αριθμητικών δεδομένων αντίληψης με αριθμητικά δεδομένα εγκεφαλικής δραστηριότητας.

# Συμπεράσματα

Ύστερα από εξερεύνηση προηγούμενων πειραμάτων, ανάλυση των νοητικών συστημάτων όρασης και θέσης, παρουσίασης μιας νέας αλγοριθμικής μεθόδου δημιουργίας πειραματικών περιβαλλόντων και ανάλυσής της αντιληπτικής εμπειρίας εντός τους, στο παρόν κεφάλαιο θα γίνουν κατανοητά τα προτερήματα της νέας πειραματικής προσέγγισης.

Οι λόγοι για πειραματική χρήση αλγοριθμικών περιβαλλόντων και αλγοριθμικής συλλογής δεδομένων είναι οι εξής:

1. Ευκολία απομόνωσης εξεταζόμενων στοιχείων γεωμετρίας
2. Ακρίβεια ελέγχου των επιπέδων κάθε εξεταζόμενου στοιχείου
3. Δυνατότητα δημιουργίας διαφορετικών χώρων με ίδιες συνθήκες
4. Ελεύθερη κίνηση
5. Ταχεία παραγωγή πολύπλοκων περιβαλλόντων
6. Εξέταση υποσυνείδητων διεργασιών
7. Μετατόπιση σε συμπεράσματα με κέντρο την αντίληψη
8. Δυνατότητα μετάφρασης αποτελεσμάτων

## 1. Ευκολία απομόνωσης εξεταζόμενων στοιχείων γεωμετρίας

Τα αντιληπτικά πειράματα απαιτούν εστίαση σε συγκεκριμένα στοιχεία, για να είναι δυνατή η διαπίστωση αιτιότητας μεταξύ των στοιχείων και των αντιδράσεων που παρατηρούνται.

Η ανθρώπινη δημιουργική σκέψη για να γίνει κατανοητή από υπολογιστή, απαιτεί την ανασύνθεσή της σε αλγοριθμική λογική. Η ιδέα, πρέπει να αποκτήσει σώμα εντός μίας αλγοριθμικής ακολουθίας με διακριτά στοιχεία που ακολουθούν κανόνες και συσχετίζονται. Στην περίπτωση του αλγοριθμικού σχεδιασμού, αναφερόμαστε σε γεωμετρικά στοιχεία.

Εκ φύσεως, η μετατροπή σε αλγόριθμο, απαιτεί ανάλυση της λογικής σε συστατικά στοιχεία, η οποία φέρνει τον διαχωρισμό των γεωμετρικών στοιχείων στο επίπεδο του μέσου σχεδίασης. Η ενίσχυση των αρχικών σχεδιαστικών προθέσεων απομόνωσης, με την διάκριση που παρέχει η φύση του αλγόριθμου, κάνει την απομόνωση αντικειμένων αντίληψης ανά περιβάλλον πιο εύκολη. Περιβάλλοντα εστιαζόμενα σε μεταβολές συγκεκριμένων στοιχείων, οδηγούν σε πιο εύστοχα πειράματα.

## 2. Ακρίβεια ελέγχου των επιπέδων κάθε εξεταζόμενου στοιχείου

Η χρήση αλγοριθμικού σχεδιασμού για τον έλεγχο των επιπέδων των εξεταζόμενων στοιχείων, μεταφέρει το βάρος της κλιμάκωσης των ερεθισμάτων, από τον άνθρωπο στη μηχανή. Ο ερευνητής μπορεί με ευκολία να εισάγει μία τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής στον αλγόριθμο και άμεσα να έχει έτοιμο περιβάλλον για να εκτελέσει το πείραμα. Για τις τιμές που εισάγονται μπορεί να γίνει επιλογή από ένα αναλογικό εύρος, γεγονός που επιτρέπει συγκρίσεις διαφορών οποιουδήποτε βήματος. Παράλληλα, λόγω της αλγοριθμικής λογικής, η ακρίβεια της έκφρασης της τιμής στη μορφή του περιβάλλοντος είναι απόλυτη.

## 3. Δυνατότητα δημιουργίας διαφορετικών χώρων με ίδιες συνθήκες

Στα πειράματα που εξετάστηκαν, παρατηρήθηκε το φαινόμενο μεταφοράς της επίγνωσης του περιβάλλοντος από προηγούμενες



εξερευνήσεις σε μεταγενέστερες. Η εξοικείωση αυτή, έχει ως συνέπεια την νόθευση των συναισθηματικών αντιδράσεων, κάθε φορά που επαναλαμβάνεται η έκθεση στον ίδιο χώρο. Δεδομένου ότι αυτό το φαινόμενο δεν αποτελεί αντικείμενο της έρευνας, θα πρέπει να αποφεύγεται η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων περιβαλλόντων.

Η λύση που προσφέρει ο αλγοριθμικός σχεδιασμός βασίζεται στην λογική της τυχαιότητας. Οι δύο μηχανισμοί που ορίζουν την έκφραση του αλγορίθμου σε χώρο είναι η τιμή της μεταβλητής και η εκδοχή τυχαιότητας. Διατηρώντας την μεταβλητή σταθερή, είναι δυνατόν να γίνει αλλαγή μόνο στο σύνολο της τυχαίας εισαγωγής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα περιβάλλον, που ενώ μοιράζεται την τάξη μεγέθους του αντικείμενου μελέτης με μία άπειρη λίστα όμοιων του, είναι μοναδικό, λόγω του μοναδικού συνδυασμού τυχαίων τιμών που του δίνουν μορφή. Με αυτόν τον τρόπο, η έρευνα μπορεί να συνεχίσει την εξέταση της ίδιας τιμής με τον ίδιο παρατηρητή, αλλά πάντα σε καινούριο περιβάλλον.

#### 4. Ελεύθερη κίνηση

Τα συμπεράσματα για την αντιληπτική εμπειρία ενός στατικού παρατηρητή, απομακρύνονται από την πραγματικότητα του πως βιώνεται ο χώρος. Στα λόγια του R. Arnheim, "Αν και το κτήριο είναι πλήρες από μόνο του ως μορφολογική σύνθεση, αποτελεί ένα εργαλείο με υλική χρησιμότητα και κατά συνέπεια αποκαλύπτει ολόκληρο το νόημα του μόνο ενστερνιζόμενο την παρουσία του ανθρώπου." Όσο περισσότερη ελευθερία προσφέρουν οι πειραματικοί χώροι στο υποκείμενο, τόσο πιο εφαρμόσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν. Η εγγύτητα μεταξύ του βαθμού ελευθερίας του υποκειμένου στο πείραμα με τον βαθμό ελευθερίας σε ένα πραγματικό περιβάλλον, παίζει καθοριστικό ρόλο στην δυνατότητα επαγωγής συμπερασμάτων.

Επιπροσθέτως, η εξωτερική έκφραση της κίνησης μπορεί να δώσει εικόνα για την εσωτερική εμπειρία που βιώνεται. Η πληροφορία που μπορεί να αποκτηθεί μόνο από τα μοτίβα εξερεύνησης μπορεί να βοηθήσει στο να γίνουν αντιληπτές τυχόν χωρικές προτιμήσεις ή τρόποι επιβολής του χώρου επί της κίνησης του παρατηρητή. Αυτή η πληροφορία είναι διαθέσιμη με την προϋπόθεση ότι ο χρήστης είναι χειραφετημένος και επιλέγει ο ίδιος την πορεία που θέτει για τον εαυτό του. Η ελευθερία αυτή είναι ενσωματωμένη στους προτεινόμενους αλγόριθμους παραγωγής περιβαλλόντων.

#### 5. Ταχεία παραγωγή πολύπλοκων περιβαλλόντων

Ένας πρακτικός λόγος υιοθέτησης της παραμετρικής λογικής σε πειραματικό πλαίσιο, είναι η ταχύτητα της παραγωγής των περιβαλλόντων. Αφού γραφτεί ο βασικός κώδικας που περιγράφει το περιβάλλον, ο ερευνητής έχει πρόσβαση σε άπειρο πλήθος χώρων σε απόσταση ενός κλικ. Η σταθερότητα της αμετάβλητης δομής του αλγορίθμου εγγυάται ότι όλες οι εκδοχές θα υπακούν στις αρχικές σχέσεις που έχουν τεθεί.

Το εύρος των τιμών της μεταβλητής, δίνει μορφή σε αναρίθμητους χώρους, εντός των οποίων μπορεί να μελετηθεί η επίδραση κλιμακωτά διαφορετικών συνθηκών. Η προσθήκη της τυχαιότητας στην λογική παραγωγής των χώρων, δίνει την δυνατότητα εκπόνησης πειραμάτων σε διαφορετικούς χώρους υπό τις ίδιες συνθήκες. Με αυτούς τους δύο μηχανισμούς, ο ερευνητής μπορεί εύκολα να προγραμματίσει τις ακολουθίες των χώρων που θα μπει ο παρατηρητής, ακριβώς στις ανάγκες του πειράματος, χωρίς να τον απασχολεί ο χρόνος της εργασίας του σχεδιασμού τους.

#### 6. Εξέταση υποσυνείδητων διεργασιών

Είναι συχνή πρακτική σε αντιληπτικά πειράματα, να γίνεται η συλλογή δεδομένων μέσω της περιγραφής της εμπειρίας από τους παρατηρητές. Αυτή μπορεί να πάρει την μορφή γραπτών ή προφορικών ερωτηματολογίων. Για να δοθεί μία απάντηση, ζητείται από τον παρατηρητή να μεταφράσει το βίωμα εντός του περιβάλλοντος σε λεκτικές απαντήσεις. Η μετάφραση είναι δεδομένο ότι θα περιλαμβάνει αλλοιώσεις, καθώς η πλειοψηφία των αντιδράσεων συμβαίνουν στο υποσυνείδητο, στο οποίο ο παρατηρητής δεν έχει πρόσβαση.

Με την νέα μέθοδο, η εξαγωγή συμπερασμάτων γίνεται μέσω της συσχέτισης της αντιληπτής γεωμετρικής πληροφορίας με ωμά εγκεφαλικά δεδομένα που λαμβάνονται την ίδια δεδομένη στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο, τα πειράματα μπορούν να εξετάσουν την υποσυνείδητη εγκεφαλική αντίδραση δίχως τον θόρυβο της λεκτικής μετάφρασης. Γίνεται δυνατή η άμεση συλλογή πληροφορίας, που παρόλο ο παρατηρητής συνειδητά αγνοεί, παίζει κρίσιμο ρόλο στην διαμόρφωση του χωρικού βιώματος.

## 7. Μετατόπιση σε συμπεράσματα με κέντρο την αντίληψη

Παρομοιάζοντας τον αρχιτέκτονα με έναν αγγειοπλάστη ερυθρόμορφων αγγείων, αυτός σχεδιάζει το φόντο, το περιβάλλον, για να δημιουργηθεί εντός του η μορφή, η αντιληπτική εμπειρία. Η νέα μεθοδολογία, διερευνά την ιστορία που απεικονίζει το «αγγείο», μελετώντας τις εκφράσεις και τις ενέργειες των πρωταγωνιστών, αντί για την παρωχημένη μελέτη του μελανού φόντου.

Ο συνδυασμός της ακριβούς απομόνωσης γεωμετρικών συνθηκών με μηχανισμό που συνδέει τα δεδομένα της αντίληψης με τις αντίστοιχες αντιδράσεις, οδηγεί σε εφαρμόσιμα συμπεράσματα για την ίδια την αντίληψη. Με αυτόν τον τρόπο, η μορφή των αποτελεσμάτων αλλάζει από την γενική επεξήγηση του τι αντιδράσεις επιφέρει αυτό το περιβάλλον, στο πως επιδρά ψυχολογικά το περιεχόμενο της αντίληψης κάθε δεδομένη στιγμή, υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες.

## 8. Δυνατότητα μετάφρασης αποτελεσμάτων

Όπως έγινε κατανοητό μέσω της εξέτασης προηγούμενων πειραμάτων, υπάρχει μία πολυφωνία διαφορετικών μεθόδων για συλλογή και ανάλυση των αντιληπτικών δεδομένων. Αυτή η πολυφωνία δυσχεραίνει την επικοινωνία μεταξύ ερευνών και καθιστά μία μετά-ανάλυση πειραματικών δεδομένων ανέφικτη.

Με την πρόταση για ανάλυση των περιβαλλόντων σε θεμελιώδεις γεωμετρικές μονάδες που προσομοιάζουν εκείνες που νοητά κατασκευάζει η ανθρώπινη αντίληψη, επιχειρείται η σύσταση **μίας lingua franca για αντιληπτικά πειράματα**. Η καταλληλότητα της προτεινόμενης μεθόδου για αυτόν τον ρόλο, έγκειται στο γεγονός ότι βασίζεται σε νευρολογικά ευρήματα για την λειτουργία της αντίληψης, και παράλληλα χρησιμοποιεί, ως λεξιλόγιο, μονάδες που η ύπαρξη τους αποτελεί προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί ένα πείραμα αντιληπτικό. Η συνομιλία που θα επιτρέψει ένα «κοινό συνάλλαγμα» μεταξύ ερευνητών του πεδίου, μπορεί να δράσει ως καταλύτης στην διεύρυνση της κατανόησης της ανθρώπινης αντιληπτικής εμπειρίας.

Τα προτερήματα αυτά δεν θα ήταν επιτεύξιμα δίχως την χρήση αλγορίθμων. Αποτελούν εργαλείο που μπορεί να συμβάλλει στην χαρτογράφηση πολύπλοκων θεμάτων, όπως αυτό της αντιληπτικής εμπειρίας. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες τους, μπορούμε να οδηγηθούμε σε ακριβείς απαντήσεις για το πως μας επηρεάζει το κάθε περιβάλλον.

Η νέα μέθοδος επιχειρεί να θέσει ένα πλαίσιο εντός του οποίου μελλοντικά ο αρχιτέκτονας θα μπορεί να προβλέπει την συναισθηματική επίδραση του χώρου που δημιουργεί, και συνεπώς, να προσαρμόζει τον σχεδιασμό του ώστε να επιτυγχάνει το αντιληπτικό αποτύπωμα που επιθυμεί. Το να υπάρχει η δυνατότητα πρόβλεψης, μπορεί να διευρύνει το φάσμα έκφρασης και την αποτελεσματικότητα του αρχιτεκτονικού έργου. Τα όρια πέρα από τα οποία το δυνατό αρχίζει να γίνεται αντιληπτό ως αδύνατο, αρχίζουν να θολώνουν όταν η ανθρώπινη σκέψη ενισχύεται με υπολογιστική δύναμη.

# Βιβλιογραφία

Arnheim, R. (2009). *The dynamics of architectural form : based on the 1975 Mary Duke Biddle lectures at the Cooper Union*. University Of California Press.

Aseeri, S., Paraiso, K., & Interrante, V. (2019). Investigating the Influence of Virtual Human Entourage Elements on Distance Judgments in Virtual Architectural Interiors. *Frontiers in Robotics and AI*, 6. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00044>

Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., Pook, P. K., & Rao, R. P. N. (1997). Deictic codes for the embodiment of cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(4), 723–742. <https://doi.org/10.1017/s0140525x97001611>

Banaei, M., Ahmadi, A., Gramann, K., & Hatami, J. (2019). Emotional evaluation of architectural interior forms based on personality differences using virtual reality. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.005>

Banaei, M., Ahmadi, A., & Yazdanfar, A. (2017). Application of AI methods in the clustering of architecture interior forms. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 360–373. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.05.002>

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59.

[https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)

Bruggeman, H., Zosh, W., & Warren, W. H. (2007). Optic Flow Drives Human Visuo-Locomotor Adaptation. *Current Biology*, 17(23), 2035–2040. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.059>

Canter, D. V., & Lee, T. (1974). *Psychology and the built environment*. Architectural Press.

Chamilothori, K., Wienold, J., & Andersen, M. (2018). Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments. *LEUKOS*, 15(2–3), 203–226. <https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1404918>

Cowey, A. (2009). The blindsight saga. *Experimental Brain Research*, 200(1), 3–24. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1914-2>

Gladden, M. (2020). The Self-Revelation and Cognition of VR-Facilitated Virtual Worlds: Towards a Phenomenology of Virtual Habitation Axiologies of Technological Posthumanization View project. *Avant*, XI(2). <https://doi.org/10.26913/avant.2020.02.06>

Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)

Gray, H., & Clemente, C. D. (1985). *Anatomy of the human body*. Lea & Febiger.

Graziano, M. S. A. (2001). Awareness of space. *Nature*, 411(6840), 903–904. <https://doi.org/10.1038/35082182>

Groh, J. M. (2014). *Making Space : How The Brain Knows Where Things Are*. The Belknap Press Of Harvard University Press.

Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.-B., & Moser, E. I. (2005). Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature*, 436(7052), 801–806. <https://doi.org/10.1038/nature03721>

Hall, E. T. (1992). *The hidden dimension*. Peter Smith Pub.

Holscher, C. (2005). Rats are able to navigate in virtual environments. *Journal of Experimental Biology*, 208(3), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.jeb.2005.02.001>

- Interrante, V., Ries, B., Lindquist, J., Kaeding, M., & Anderson, L. (2008). Elucidating Factors that Can Facilitate Veridical Spatial Perception in Immersive Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 17(2), 176–198. <https://doi.org/10.1162/pres.17.2.176>
- Jankowski, M. M., Passecker, J., Islam, M. N., Vann, S., Erichsen, J. T., Aggleton, J. P., & O'Mara, S. M. (2015). Evidence for spatially-responsive neurons in the rostral thalamus. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00256>
- Kanwisher, N. (2019). 9.11 *The Human Brain*. Mit.Edu. <https://nancysbraintalks.mit.edu/course/9-11-the-human-brain>
- Leventhal, A. G., Wang, Y., Schmolesky, M. T., & Zhou, Y. (1998). Neural correlates of boundary perception. *Visual Neuroscience*, 15(6), 1107–1118. <https://doi.org/10.1017/s0952523898156110>
- Lever, C., Burton, S., Jeewajee, A., O'Keefe, J., & Burgess, N. (2009). Boundary Vector Cells in the Subiculum of the Hippocampal Formation. *Journal of Neuroscience*, 29(31), 9771–9777. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1319-09.2009>
- Lyons, J. (2017). *Epistemological Problems of Perception* (E. N. Zalta, Ed.). Stanford Encyclopedia of Philosophy; Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/perception-episprob/>
- Marin Morales, J., Torrecilla Moreno, C., Guixeres Provinciale, J., & Llinares Millan, C. (2017). Methodological bases for a new platform for the measurement of human behaviour in virtual environments. *Dyna Ingenieria e Industria*, 92(1), 34–38. <https://doi.org/10.6036/7963>
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., De-Juan-Ripoll, C., Llinares, C., Guixeres, J., Iñarra, S., & Alcañiz, M. (2019). Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-dependent Differences using a Head Mounted Display. *Interacting with Computers*, 31(2), 208–220. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwz018>
- Matulewicz, P., Ulrich, K., Islam, Md. N., Mathiasen, M. L., Aggleton, J. P., & O'Mara, S. M. (2019). Proximal perimeter encoding in the rat rostral

thalamus. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39396-8>

- Mehrabian, A., & Russell, J. A. (1974). The Basic Emotional Impact of Environments. *Perceptual and Motor Skills*, 38(1), 283–301. <https://doi.org/10.2466/pms.1974.38.1.283>
- Moscoco, C., Matusiak, B., Svensson, U. P., & Orleanski, K. (2015). Analysis of Stereoscopic Images as a New Method for Daylighting Studies. *ACM Transactions on Applied Perception*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.1145/2665078>
- Norberg-Schulz, C. (1996). *Genius loci : towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli.
- O'Keefe, J. (1976). Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Experimental Neurology*, 51(1), 78–109. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(76\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0014-4886(76)90055-8)
- O'Keefe, J., & Burgess, N. (1996). Geometric determinants of the place fields of hippocampal neurons. *Nature*, 381(6581), 425–428. <https://doi.org/10.1038/381425a0>
- O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford Clarendon.
- Pallasmaa, J. (1996). *The eyes of the skin*. Chichester Wiley.
- Pallasmaa, J., Mallgrave, H. F., Arbib, M. A., & Tidwell, P. (2013). *Architecture and neuroscience*. Tapio Wirkkala-Rut Bryk Foundation.
- Portoghesi, P. (2000). *Nature and architecture*. Skira.
- Qiu, F. T., & von der Heydt, R. (2005). Figure and Ground in the Visual Cortex: V2 Combines Stereoscopic Cues with Gestalt Rules. *Neuron*, 47(1), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.05.028>
- Radvansky, G. A., & Copeland, D. E. (2006). Walking through doorways causes forgetting: Situation models and experienced space. *Memory & Cognition*, 34(5), 1150–1156. <https://doi.org/10.3758/bf03193261>

- Rieser, J. J., Ashmead, D. H., Talor, C. R., & Youngquist, G. A. (1990). Visual Perception and the Guidance of Locomotion without Vision to Previously Seen Targets. *Perception*, 19(5), 675–689. <https://doi.org/10.1068/p190675>
- Rizzo, A., Roy, M. J., Hartholt, A., Costanzo, M., Highland, K. B., Jovanovic, T., Norrholm, S. D., Reist, C., Rothbaum, B., & Difede, J. (2017). Virtual Reality Applications for the Assessment and Treatment of PTSD. *Handbook of Military Psychology*, 453–471. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66192-6\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66192-6_27)
- Rockcastle, S., Amundadottir, M., & Andersen, M. (2016). Contrast measures for predicting perceptual effects of daylight in architectural renderings. *Lighting Research & Technology*, 49(7), 882–903. <https://doi.org/10.1177/1477153516644292>
- Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2016). Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry. *Architectural Science Review*, 60(2), 116–125. <https://doi.org/10.1080/00038628.2016.1266597>
- Stewart, S., Jeewajee, A., Wills, T. J., Burgess, N., & Lever, C. (2014). Boundary coding in the rat subiculum. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1635), 20120514. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0514>
- Taube, J., Muller, R., & Ranck, J. (1990). Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis. *The Journal of Neuroscience*, 10(2), 420–435. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.10-02-00420.1990>
- Terzidis, K. (2009). *Algorithmic architecture*. Amsterdam Elsevier, Architectural Press.
- Usoh, M., Catena, E., Arman, S., & Slater, M. (2000). Using Presence Questionnaires in Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 497–503. <https://doi.org/10.1162/105474600566989>
- Vogels, I. (2008). *Atmosphere Metrics Optilight Mathematical Optimizations for Human Centric Lighting View project Psychology of light View project*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6593-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6593-4_3)
- Von, F., & Southall, J. P. C. (1924). *Helmholtz's treatise on physiological optics*. The Optical Society Of America.
- Weiskrantz, L. (1996). Blindsight revisited. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 215–220. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(96\)80075-4](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(96)80075-4)
- Wilson, C. J., & Soranzo, A. (2015). The Use of Virtual Reality in Psychology: A Case Study in Visual Perception. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/151702>
- Παπανούτσος, Ε. Π. (1976). Αισθητική. Ίκαρος.