

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ - Β' ΕΞΑΜΗΝΟ

Τεχνολογίες Πολυμέσων

Ενότητα: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

(Δ. Χαρίτος, Δ. Μαρτάκος)

1. Εισαγωγή στην εικονική πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα ή *Virtual Reality* (VR), όπως θα αναφερθεί σε αυτό το κείμενο, δεν είναι παρά μία τεχνολογία η οποία υποστηρίζει τη δημιουργία μίας διαφορετικής μορφής *interface* σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Ποιό είναι όμως το όφελος πίσω από τη χρησιμοποίηση ενός VR interface ; Η μεγάλη σημασία αυτού του interface έγκειται στο ότι ο χρήστης καλείται να αλληλοεπιδράσει με το σύστημα μέσω πράξεων, κινήσεων και εκτιμήσεων που μοιάζουν με τις καθημερινές του ενέργειες, στο πραγματικό του περιβάλλον, και όχι μέσω της πληκτρολόγησης εντολών, η του προτύπου "*mouse-pointer-window*".

Ο άνθρωπος είναι ιδιαίτερα επιδέξιος σε τέτοιες "πραγματικές", ενστικτώδεις ενέργειες, λόγω του ότι τις πράττει κατά την διάρκεια όλης του της ζωής. Είναι δηλαδή επιδέξιος στην αναγνώριση μορφών, μοτίβων και διατάξεων στο πραγματικό περιβάλλον, και στην κίνηση και αλληλεπίδραση με τρισδιάστατα αντικείμενα στο αληθινό χώρο. Μία VR εφαρμογή μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή την επιδεξιότητα με την τρισδιάστατη απεικόνιση πληροφοριών τις οποίες ο χρήστης βιώνει σε πραγματικό χρόνο, κινούμενος γύρω τους. Κατι τέτοιο μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο για εκτιμήσεις σε εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα πληροφοριών. Η εικονική πραγματικότητα, επομένως, δεν είναι παρά ένα *interface ανθρώπου - υπολογιστή* που βιώνεται απο τον άνθρωπο με τρόπο φυσικό και ενστικτώδη.

Η έννοια της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή είναι άλλωστε άμεσα εξαρτημένη απο την τεχνολογία που την επιτρέπει. Σύμφωνα με τον John Walker (πρόεδρο της Autodesk, εταιρείας που εκδίδει τα σχεδιαστικά πακέτα Autocad και 3D Studio), μετά τα

menu systems και τα graphical controls, η VR είναι η επόμενη γενιά, όσον αφορά την επικοινωνία ανθρώπου-υπολογιστή (Laurel, 1990, σελ. 444). Τα *Graphical User Interfaces* (GUIs) προώθησαν την αντίληψη ότι υπολογιστής δεν είναι μόνο μια υπολογιστική μηχανή αλλά και ένας απεικονιστής πληροφοριών, όπου οι πράξεις μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή συμβαίνουν σε ένα συμβολικό, απεικονιστικό περιβάλλον.

Η ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία των γραφικών οδήγησε στις δισδιάστατες GUIs του σήμερα, και θα οδηγήσει στις τρισδιάστατες VR GUIs του αύριο, όπου πλέον ο χρήστης θα ξεπερνάει το νοητό όριο της οθόνης και θα εισέρχεται σε μια τρισδιάστατη απεικόνιση του νοητικού χώρου αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται ακόμη περισσότερο η έννοια της αλληλεπίδρασης με μια απεικόνιση και όχι με τον υπολογιστή, αυτό καθ' αυτό, αφού ο χρήστης βιώνει την ψευδαίσθηση ότι αλληλοεπιδρά μέσω ενός τεχνητού, τρισδιάστατου, απεικονιστικού περιβάλλοντος και όχι μέσω πληκτρολόγησης εντολών, ή της επιλογής από μενού εντολών.

Η δημιουργία μιάς τέτοιας *τεχνητής πραγματικότητας* (VR) γίνεται εφικτή μέσω της τροφοδότησης των αντιληπτικών καναλιών του χρήστη με οπτικές, ακουστικές και απτικές πληροφορίες, μέσω ανάλογων *συσκευών απεικόνισης* (display devices). Ο κατάλληλα εννορηστρομένος συγχρονισμός της απεικόνισης, που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, με την αντίληψη της εισόδου (input) που ο ίδιος προσφέρει στο σύστημα, κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης, τον τροφοδοτεί με κιναισθητικές πληροφορίες. Όταν, για παράδειγμα, ο χρήστης φορά ένα κράνος (Head Mounted Display), οι κινήσεις του κεφαλιού του εισάγονται στο σύστημα από κατάλληλο *ανιχνευτή κίνησης/προσανατολισμού* και αντίστοιχα ενημερώνεται η *άποψη* (viewpoint) του εικονικού περιβάλλοντος που απεικονίζεται στα μάτια του. Έτσι ο χρήστης νιώθει ότι όπου και να γυρίσει, το εικονικό περιβάλλον τον περιβάλλει και συνεπώς η ψευδαίσθηση της εμπύθισης συντηρείται.

Πέρα από την υποτιθέμενη μεταβολή θέσης του βλέμματος του χρήστη, υπάρχει και η δυνατότητα κίνησης στις τρεις διαστάσεις, χωρίς τους περιορισμούς των φυσικών νόμων, τηλεμεταφοράς καθώς και αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα που συνθέτουν το

περιβάλλον, μέσω διαφόρων συσκευών εισόδου (input devices). Στην δημιουργία της ψευδαίσθησης βοηθά και η επιλεκτική παρεμπόδιση της εισόδου πληροφοριών από το πραγματικό περιβάλλον. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην περίπτωση της ενισχυμένης πραγματικότητας (Augmented Reality), όπου η τροφοδότηση του χρήστη με τεχνητές απεικονίσεις συμπληρώνει την αντίληψη του πραγματικού περιβάλλοντος, προς χάρη της εκάστοτε εφαρμογής.

1.1 Εικονικό περιβάλλον - Virtual environment

Ενας πολύ ακριβής ορισμός των εικονικών περιβαλλόντων έχει δωθεί από τον Roy Kalawsky (1993), σύμφωνα με τον οποίο ένα *εικονικό περιβάλλον* (VE) είναι μία *συνθετική αισθητήρια εμπειρία που μεταδίδει φυσικά και αφηρημένα στοιχεία στον άνθρωπο που τη βιώνει* (χρήστη του συστήματος). Αυτή η αισθητήρια εμπειρία γεννιέται από ένα υπολογιστικό σύστημα μέσω της παρουσίασης στά ανθρώπινα αισθητήρια συστήματα ενός interface ανθρώπου-υπολογιστή που προσεγγίζει διάφορες ιδιότητες του πραγματικού κόσμου. Αυτό το interface έχει τη μορφή τρισδιάστατου απεικονιστικού περιβάλλοντος το οποίο συνίστανται σε αντικείμενα και φαινόμενα. Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής μπορεί να θεωρηθεί πιθανό ότι στο απώτερο μέλλον το interface αυτό θα είναι δύσκολο να ξεχωρισθεί από τον πραγματικό κόσμο.

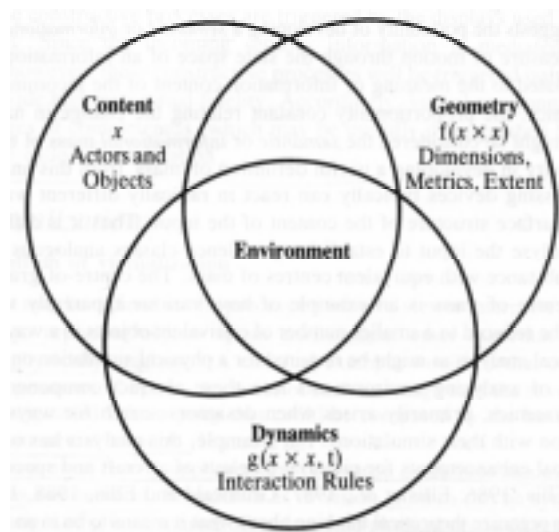
Είναι σημαντικό να τονισθεί επίσης ότι οι άνθρωποι έχουν εξελίξει ένα ακουστικό σύστημα το οποίο ενισχύει το οπτικό τους σύστημα και τους προσδίδει και τη δυνατότητα επικοινωνίας. Η χρησιμοποίηση αυτού του ακουστικού συστήματος σε ένα VE, μπορεί να αυξήσει την αίσθηση του ότι βρίσκεται κανείς σε ένα χώρο με το να συμπληρώνει τις οπτικές πληροφορίες.

Μία πολύ εύστοχη ανάλυση ενός VE στα λειτουργικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται έχει γίνει από τον Stephen Ellis (1993, σελ.3) και σύμφωνα με την οποία ένα εικονικό περιβάλλον συνίσταται σε :

- **Περιεχόμενο:** δηλαδή τα *αντικείμενα* (objects) και τα *δρώντα στοιχεία* (actors) τα οποία μπορούν να θεωρηθούν και αυτά σαν αντικείμενα αλλά σαν έχοντα την

δυνατότητα να ξεκινούν από μόνα τους αλληλεπιδράσεις με άλλα αντικείμενα του VE. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι και ο ίδιος *ο χρήστης* που αντιπροσωπεύεται στο VE από τη δική του *οπτική άποψη* (viewpoint) του περιβάλλοντος.

- **Γεωμετρία:** δηλαδή την περιγραφή του πεδίου όπου εξελίσσεται η αλληλεπίδραση και
- **Δυναμικές:** δηλαδή τους κανόνες της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα συστατικά του περιβάλλοντος, οι οποίοι περιγράφουν την συμπεριφορά των συστατικών αυτών καθώς ανταλλάσσουν ενέργεια ή πληροφορία.



Εικ. 1: Τα λειτουργικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα virtual environment (Kalawsky, σ. 6)

1.2 Οι ρίζες της Εικονικής Πραγματικότητας

Η VR έχει τις ρίζες της στις τεχνολογίες προσομοίωσης πτήσης (flight simulation). Πρωτεργάτης της θεωρείται ο Ivan Sutherland ο οποίος, μόλις το 1968, κατασκεύαζε το πρώτο σύστημα το οποίο μπορούσε να απεικονίζει ένα απλούστατο σύνολο από wireframe τρισδιάστατα γραφικά, σε αληθινό χρόνο και να δίνει με αυτόν τον τρόπο την ψευδαίσθηση ενός εικονικού κόσμου σε έναν χρήστη, μέσω μίας ογκώδους και πρωτόγονης Head Mounted (HMD) συσκευής απεικόνισης.

Ο Sutherland προσάρμοσε 2 CRTs (cathode ray tubes) σε ένα είδος κράνους και κατασκεύασε ένα σύστημα το οποίο αναγνώριζε τις κινήσεις του κεφαλιού και αντίστοιχα ενημέρωνε το σύστημα απεικόνισης. Στα σημαντικά papers του "The ultimate display" (1965) και "A head-mounted three dimensional display" (1968), περιγράφει το σύστημα που κατασκεύασε και διατυπώνει την πεποίθηση ότι θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα σύστημα απεικόνισης το οποίο στο μέλλον θα μπορούσε να δημιουργήσει τρισδιάστατες γραφικές εικόνες τόσο ρεαλιστικές που θα ήταν δύσκολο να διαφοροποιηθούν από την πραγματικότητα.

Ένα σημαντικό βήμα για την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας ήταν ο εικονικός θάλαμος χειριστού αεροπλάνου, μία ιδέα για ένα σύστημα προσομοίωσης πτήσης που αναπτύχθηκε στην αεροπορική βάση Wright Patterson στην Αμερική κάτω από την επίβλεψη του Thomas Furness το 1986. Το σύστημα αυτό προσπαθούσε να απλοποιήσει το φόρτο από πληροφορίες τις οποίες έπρεπε να επεξεργασθεί ο χειριστής ενός πολεμικού αεροπλάνου με το να εκμεταλλευτεί όλες τις αντιληπτικές, νοητικές και ψυχοκινητικές λειτουργικές δυνατότητες του πιλότου. Το εικονικό περιβάλλον στο οποίο συνίστατο το σύστημα αυτό παρείχε οπτικά, ακουστικά και απτικά ερεθίσματα και ελεγχόταν αλληλεπιδραστικά από τον εκπαιδευόμενο πιλότο δεχόμενο είσοδο (input) μέσω κινήσεων του κεφαλιού, των ματιών, των χεριών αλλά και μέσω ομιλίας.

2. Επεξηγηματική παρουσίαση της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας

Για την καλύτερη παρουσίαση του που βρίσκεται σήμερα η τεχνολογία VR είναι αναγκαία κάποια μορφή ταξινόμησης. Στην παρουσίαση αυτή η ταξινόμηση θα γίνει σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης αντιλαμβάνεται το VE. Αυτός ο τρόπος είναι πρωταρχικά εξαρτημένος από τις *συσκευές εξόδου* (input devices), οι οποίες του παρέχουν τις απεικονίσεις πληροφοριών. Κατά προέκταση γίνεται και διαχωρισμός ανάλογα με τον βαθμό *εμβύθισης* (immersion) του χρήστη στο τεχνητό περιβάλλον.

Ετσι, ανάλογα με την συσκευή οπτικής απεικόνισης μπορούμε να κατατάξουμε τις εικονικές πραγματικότητες σε:

1. **immersive VR**, όταν ο χρήστης εμβυθίζεται στο περιβάλλον μέσω ενός ειδικού κράνους Head Mounted Display (HMD),
2. **desktop VR**, όταν χρησιμοποιείται απλά μια οθόνη,
3. **projection-based VR**, όταν η απεικόνιση δίνεται μέσω μονοσκοπικής ή στερεοσκοπικής προβολής και τέλος
4. **mirror worlds**, όταν το VR σύστημα παρουσιάζει στον χρήστη κάποια απεικόνιση του εαυτού του μέσα στο εικονικό περιβάλλον, με την οποία αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο.

Η επιλογή ενός από αυτά τα είδη συστημάτων για μία συγκεκριμένη εφαρμογή, εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την μορφή αλληλεπίδρασης του χρήστη με το σύστημα, που υπαγορεύεται από αυτή η εφαρμογή.

Μια εναλλακτική μορφή ταξινόμησης συστημάτων εικονικής πραγματικότητας είναι σε :

- συστήματα για ένα χρήστη (single-user VEs)
- πολυχρηστικά δικτυωμένα συστήματα (multi-user, collaborative, distributed VEs)

2.1 Συστήματα Immersive VR - Εικονικά περιβάλλοντα εμβύθισης

Σε ένα *immersive VR* σύστημα ο χρήστης απομονώνεται από το πραγματικό περιβάλλον και βυθίζεται σε ένα τεχνητό, απεικονιστικό περιβάλλον, με το οποίο αλληλεπιδρά με τρόπους όμοιους με αυτούς που ενεργεί στο πραγματικό. Απαραίτητη προϋπόθεση για την *εμβύθιση* (immersion) του χρήστη είναι η χρήση ενός *Head Mounted Display* (HMD), το οποίο τον απομονώνει από την πραγματικότητα ενώ συγχρόνως του δημιουργεί την ψευδαίσθηση του τεχνητού, τρισδιάστατου περιβάλλοντος. Αυτή η ψευδαίσθηση επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο μικροσκοπικών οθονών, οι οποίες προβάλλουν σε αληθινό χρόνο πάνω στο μάτι του χρήστη τις γραφικές απεικονίσεις του τεχνητού περιβάλλοντος, που θα έβλεπε το κάθε μάτι, αν αυτός πραγματικά βρισκόταν μέσα στο τεχνητό περιβάλλον.

Οι κινήσεις του κεφαλιού του χρήστη εισάγονται στο σύστημα απο κατάλληλους *ανιχνευτές κίνησης/προσανατολισμού*, και αντίστοιχα ορίζουν τις *απόψεις* (viewpoints) του περιβάλλοντος, που θα απεικονίσει το σύστημα, για να συντηρηθεί η ψευδαίσθηση. Πέρα από την υποτιθέμενη μεταβολή θέσης του βλέμματος του χρήστη μέσα στο VE, υπάρχει η δυνατότητα κίνησης στις τρεις διαστάσεις χωρίς τούς περιορισμούς των φυσικών νόμων, τηλεμεταφοράς και αλληλεπίδρασης με τα διάφορα αντικείμενα που συνθέτουν το περιβάλλον, μέσω διαφόρων *συσκευών εισόδου* (input devices).

Ας εξετάσουμε όμως με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα συστατικά που είναι απαραίτητα για την δημιουργία ενός συστήματος immersive VR.

2.1.1 VIRTUAL ENVIRONMENT GENERATOR - Η κεντρική μονάδα

Ο Roy Kalawsky στο βιβλίο του "The Science of Virtual Reality and Virtual Environments" (1993) ονομάζει την κεντρική μονάδα ενός immersive VR συστήματος : "Virtual Environment Generator".

Στήν κεντρική αυτή μονάδα διακρίνουμε :

- ένα υποσύστημα γραφικών που φέρει σε πέρας την σχεδίαση των πολυγώνων που συνθέτουν το εικονικό περιβάλλον (Virtual environment - VE), σε πραγματικό χρόνο,
- μια βάση δεδομένων που περιγράφει γεωμετρικά το τρισδιάστατο VE, δηλαδή τα αντικείμενα που το συνθέτουν, τις κινήσεις, τη συμπεριφορά και τις άλλες ιδιότητες τους,
- το τμήμα του hardware που τρέχει την εφαρμογή και υπολογίζει την άποψη του VE που θα απεικονισθεί, τη θέση, τον προσανατολισμό και την συμπεριφορά των αντικειμένων του VE, σαν αποτέλεσμα της εισόδου που δέχεται λόγω της αλληλεπίδρασης με τον χρήστη.

Πιό συγκεκριμένα, το υποσύστημα γραφικών χρησιμοποιεί την βάση δεδομένων, μεταφράζοντας τις αφηρημένες αριθμητικές αναπαραστάσεις σε κατάλληλα σκιασμένα

πολύγωνα, τα οποία συνθέτουν μια εικόνα. Η ακολουθία απο εικόνες που σχεδιάζονται σε πραγματικό χρόνο, εναλλάξ σε κάθε μια απο τις δύο οθόνες του HMD, συντηρεί την τρισδιάστατη ψευδαισθήση της πραγματικότητας. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο, είναι απαραίτητο το σύστημα να επανασχεδιάζει την εικόνα του VE τουλάχιστον 24 - 30 φορές ανά δευτερόλεπτο, για κάθε μάτι.

Η γεννήτρια του VE (Virtual Environment Generator) χρειάζεται να έχει ιδιαίτερα μεγάλη υπολογιστική δύναμη, αλλά και ειδική αρχιτεκτονική που να ευνοεί την διαδικασία της σχεδίασης σε πραγματικό χρόνο. Για αυτο το λόγο, συνήθως χρησιμοποιούνται multi-processor συστήματα, όπου είτε :

- οι επεξεργαστές δουλεύουν παράλληλα, ισομοιράζοντας το φόρτο εργασίας, είτε
- ένας κεντρικός επεξεργαστής ελέγχει άλλους, ειδικευμένους επεξεργαστές, οι οποίοι αναλαμβάνουν εργασίες όπως: σχεδίαση γραφικών, δημιουργία τρισδιάστατου ήχου και επεξεργασία δεδομένων εισόδου/εξόδου.

Η απόδοση τέτοιων συστημάτων εκτιμάται κυρίως ανάλογα με τον αριθμό πολυγώνων (z-buffered) που σχεδιάζουν ανα δευτερόλεπτο. Ο αριθμός των εικόνων (frames) που σχεδιάζει το σύστημα μέσα σε ένα δευτερόλεπτο ονομάζεται *frame-refresh rate*. Αυτός ο ρυθμός είναι άμεσα εξαρτημένος απο την πολυπλοκότητα του VE (τόσο από άποψη οπτική όσο και σε επίπεδο συμπεριφορών), δηλαδή απο το μέγεθος της βάσης δεδομένων που το περιγράφει.

Για την πληρέστερη αντίληψη του τρισδιάστατου, στο VE, επιστρατεύονται ειδικές τεχνικές σχεδίασης, σε επίπεδο hardware, όπως: *Gouraud* η *Phong shading*, *anti-aliasing*, *texture mapping*, *specular lighting*, καθώς και ειδικά εφέ (πχ.προσομοίωση ομίχλης). Η χρήση αυτών των τεχνικών παρέχει στον χρήστη περισσότερες ενδείξεις για ορθή αντίληψη βάθους μέσα στο VE, αλλά αυξάνει σημαντικά το φόρτο εργασίας του συστήματος, έχοντας σαν αποτέλεσμα συνήθως την αντίστοιχη μείωση του *frame-refresh rate*.

Για περετέρω επεξήγηση των συστημάτων αυτών θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα συστήματος γραφικών που κυκλοφόρησε πριν 7 περίπου χρόνια αλλά χρησιμοποιείται ακόμα σήμερα για την δημιουργία immersive VEs: το Reality engine της εταιρείας Silicon Graphics Inc. Το σύστημα αυτό είναι ένας επιταχυντής γραφικών για high-end MIPS RISC υπολογιστές, όπως τους Onyx της ίδιας εταιρείας με εξαιρετικά μεγάλες δυνατότητες στην δημιουργία και επεξεργασία τρισδιάστατων εικόνων. Η υλοποίηση είναι σχεδόν ολοκληρωτικά παράλληλη κάνοντας χρήση μεγάλου αριθμού επεξεργαστών.

Η Reality Engine αποτελείται βασικά απο 3 κάρτες, ενώ υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης επιπλέον 3 καρτών για ενισχυμένη απόδοση:

- Η πρώτη κάρτα είναι η Geometry Engine, η οποία εκτελεί τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς που είναι αναγκαίοι για την απεικόνιση του τρισδιάστατου μοντέλου σε δυσδιάστατη εικόνα.
- Όταν το τρισδιάστατο μοντέλο μετασχηματισθεί σε τρίγωνα, τα δεδομένα περνούν μέσω ενός triangle bus στην δεύτερη κάρτα, τον Raster Manager, όπου γίνεται ο υπολογισμός χρώματος για κάθε pixel της οθόνης. (Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτή η κάρτα διαθέτει 40MB frame-buffer και μπορούμε να έχουμε έως και 4 τέτοιες κάρτες στο σύστημα.)
- Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταφέρονται, μέσω του pixel bus, στην τρίτη κάρτα, τον Display Generator που δημιουργεί το αναλογικό σήμα για την απεικόνιση στην οθόνη.

2.1.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (*Display Devices*)

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εμπύθιση (immersion) του χρήστη σε ένα VE είναι η χρήση ενός *Head Mounted Display* (HMD), σαν συσκευή απεικόνισης των οπτικών πληροφοριών που δημιουργεί το σύστημα. Η λειτουργία του HMD βασίζεται στην τοποθέτηση μίας (monoscopic) ή δύο (stereoscopic) μικροσκοπικών οθονών σε ελάχιστη απόσταση από τα μάτια του χρήστη, οι οποίες με την βοήθεια κατάλληλων φακών του δίνουν την ψευδαίσθηση ότι πραγματικά βρίσκεται μέσα στο περιβάλλον που

απεικονίζουν. Η εμβύθιση επιτυγχάνεται λόγω του ότι ένα μεγάλο μέρος του *οπτικού πεδίου* (field of view) του χρήστη καλύπτεται από την απεικόνιση και λόγω της απομόνωσης από το πραγματικό περιβάλλον, μέσω του κράνους. Όταν ο χρήστης κινεί το κεφάλι του για να εξετάσει καλύτερα το VE, κάθε κίνηση του κεφαλιού αντιστοιχεί σε ανάλογη μεταβολή της άποψης (viewpoint) του VE που σχεδιάζεται στις οθόνες του HMD.

Οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των οθονών ενός HMD είναι :

- **Cathode Ray Tubes (CRT)**: όμοια τεχνολογία με αυτή μιάς οικιακής τηλεόρασης, θεωρείται η καλύτερη επιλογή από άποψη ανάλυσης, ευκρίνειας και κόντραστ της εικόνας. Τα μειονεκτήματα τέτοιων HMD είναι το μεγάλο τους βάρος, η υψηλή τους τιμή και η πιθανότητα πρόκλησης προβλήματος υγείας στον χρήστη, λόγω ακτινοβολίας.
- **Liquid Crystal Displays (LCD)**: οι οθόνες αυτές έχουν μικρότερο βάρος, μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ ρεύματος, στοιχίζουν πολύ λιγότερο και δεν παρουσιάζουν κανένα κίνδυνο για την υγεία του χρήστη. Η ανάλυση εικόνας που προσφέρουν όμως είναι πολύ χαμηλή και το refresh rate τους αργό. Η τεχνολογία TFT έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα εικόνας τέτοιων displays, αλλά το κόστος είναι αρκετά υψηλό.

Άλλες, λιγότερο διαδεδομένες τεχνολογίες απεικόνισης, που χρησιμοποιούνται σε HMD είναι:

- το "*light pipe*", δηλαδή ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μία δεσμίδα από παραλληλισμένες ίνες fiber optics για να μεταφέρει μία εικόνα, και να την προβάλλει στο μάτι, μέσω μιάς σειράς φακών. Η ανάλυση είναι ιδιαίτερα υψηλή αλλά και το κόστος πάρα πολύ μεγάλο.
- "*Virtual Retinal Laser Scanner*", είναι μια τεχνολογία που αναπτύσσεται στο γνωστό (για την έρευνα σε VR) Human Interface Technology Laboratory (HIT Lab) του Πανεπιστημίου της Washington στο Seattle. Στο σύστημα αυτό, μια χαμηλής ισχύος ακτίνα laser χρησιμοποιείται για να σχεδιαστεί μια εικόνα κατευθείαν στον

αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Η ανάλυση και το refresh rate δείχνουν να είναι υψηλά, αλλά η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε τελείως πειραματικό στάδιο. Μολονότι αυτή η μέθοδος παρουσιάζει μερικά σχεδόν αζεπέραστα προβλήματα στην ανάπτυξη της, η πιθανή επιτυχημένη εφαρμογή της στο απώτερο μέλλον, δείχνει να προσεγγίζει, περισσότερο απο οποιαδήποτε άλλη, την ολοκληρωτική εμβύθιση στο VE.

Πρέπει να τοιμισθεί πάντως ότι η εμβύθιση μέσω HMD παρουσιάζει αρκετά προβλήματα:

- Μια πρόσφατη έρευνα του Πανεπιστημίου της North Carolina έδειξε ότι τα HMD που χρησιμοποιούν οθόνες LCD προσφέρουν εικόνα τόσο κακής ανάλυσης, που πλησιάζει την εικόνα που βλέπει ένας σχεδόν τυφλός άνθρωπος. Η λύση των CRTs δίνει λίγο καλύτερη ποιότητα εικόνας, αλλά και αυτή απέχει από μία αποδεκτή απεικόνιση.
- Το οπτικό πεδίο δεν γίνεται να αυξηθεί για να πλησιάσει τα αποδεκτά όρια του πραγματικού οπτικού πεδίου ενός ανθρώπου, γιατί κάτι τέτοιο θα σήμαινε αντίστοιχη μείωση της ανάλυσης της εικόνας.
- Η καθυστέρηση μεταξύ της κίνησης του χρήστη και της επακόλουθης απεικόνισης είναι αναπόφευκτη και οφείλεται σε δυο αιτίες:
 - α) τον υπολογισμό της καινούργιας εικόνας (33ms σε 30Hz update rate) και
 - β) την απεικόνιση της υπολογισμένης εικόνας (14ms σε 72Hz refresh rate).Όσο γρήγορο και αν είναι το frame rate που παράγει η γεννήτρια γραφικών, πάντα υπάρχει μία ελάχιστη ασυμφωνία μεταξύ της απεικόνισης που βλέπει ο χρήστης και των μηνυμάτων που δέχεται από το σώμα του. Αυτό το φαινόμενο έχει σαν συνέπεια την γρήγορη κόπωση και μία χαρακτηριστική ναυτία (ασθένεια του εξομοιωτή). Στο τμήμα ψυχολογίας του Πανεπιστημίου του Edinburgh, έχει γίνει εκτεταμένη πειραματική έρευνα για τις ψυχοφυσιολογικές επιπτώσεις της χρήσης των HMD.

Πάνω από 20 εταιρείες, παγκοσμίως, παράγουν διάφορα μοντέλα HMD, καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος όσον αφορά την ποιότητα απεικόνισης (αναλυση από 372x276 έως

1280x1024, οπτικό πεδίο: από 45 έως 125 μοίρες), την ποιότητα κατασκευής, την παροχή ενσωματωμένου ανιχνευτή θέσης η ακουστικών και φυσικά την τιμή.

Γιά εφαρμογές που δεν είναι αναγκαία η ολική εμβύθιση, υπάρχει η λύση της απεικόνισης μέσω του *Head Coupled Display* (HCD). Το HCD είναι μία κινητή, διοπτρική συσκευή απεικόνισης, η οποία στηρίζεται στο άκρο ενός αρθρωτού βραχίονα, έτσι ώστε το όλο σύστημα να διευκολύνει την κίνηση στον χώρο με όλους τους δυνατούς τρόπους. Ο χρήστης απλά πλησιάζει τους φακούς της συσκευής, όταν θέλει να εισχωρήσει στο VE και κινεί το HCD με τη βοήθεια του χεριού του προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Αυτή η μέθοδος απεικόνισης γλυτώνει τον χρήστη από μερικά από τα δεινά των HMD και είναι σίγουρα ιδανική για εφαρμογές όπου χρειάζεται εναλλαγή μεταξύ immersive και desktop καταστάσεων. Πάντως, με τη χρήση HCD η κίνηση περιορίζεται από τις διαστάσεις του βραχίονα και η αίσθηση της εμβύθισης είναι μικρότερη από εκείνη που προσφέρει ένα καλό HMD.

Πρέπει επίσης να αναφερθούν τα *Head Up Displays* (HUDs) τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να εμβυθίζεται σε ένα εικονικό κόσμο όταν στρέψει το βλέμμα του προς τα επάνω, ενώ συγχρόνως του επιτρέπουν να έχει οπτική επαφή με το περιβάλλον του εάν κοιτάξει προς τα κάτω. Αυτά τα HMDs χρησιμεύουν σε εφαρμογές που ο χρήστης πρέπει να διατηρεί συγχρόνως οπτική επαφή με τον πραγματικό και τον εικονικό κόσμο και να εναλλάσσεται μεταξύ των δύο κατ' επιλογή του. Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι οι εκπαίδευση σε εικονικές εγχειρήσεις.

Η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον διατηρείται και στη περίπτωση των διάφανων HMDs τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές *ενισχυμένης πραγματικότητας* (Augmented Reality). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο χρήστης δύναται να βλέπει το πραγματικό χώρο γύρω του γιατί το HMD δεν τον απομονώνει από αυτό, αλλά μπορεί να βλέπει συγχρόνως να προβάλλονται μπροστά στο οπτικό του πεδίο τρισδιάστατα γραφικά τα οποία μπορεί να τον βοηθούν στο να φέρει σε πέρας κάποια λειτουργία εργαζόμενος στο πραγματικό περιβάλλον.

2.1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ - (Position - orientation tracking systems)

Για να διατηρηθεί η ψευδαίσθηση της εμπύθισης στο VE είναι αναγκαίο να δίνεται συνεχώς η εντύπωση ότι το VE, που εικονικά περιβάλλει τον χρήστη, παραμένει σταθερό. Πρέπει λοιπόν οι πραγματικές κινήσεις του χρήστη να συμπίπτουν με τις εικονικές κινήσεις τού βλέμματος και του σώματος του μέσα στο VE και επομένως με την αντίστοιχη άποψη (viewpoint) του VE που θα απεικονίσει το σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα πρέπει να ανιχνεύει συνεχώς και με συχνότητα μεγαλύτερη από το frame rate της γεννήτριας γραφικών, τη θέση και τον προσανατολισμό του κεφαλιού, άλλων μερών του σώματος, η και άλλων αντικειμένων που κινούνται μέσα στον τρισδιάστατο, πραγματικό χώρο.

Γιά παράδειγμα, κάποιος πομπός τοποθετείται πάνω στο HMD και εκπέμπει κάποια σήματα, τα οποία ανιχνεύονται από κατάλληλα τοποθετημένους δέκτες, καταγράφοντας έτσι την θέση και τον προσανατολισμό του HMD μέσα στο χώρο. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που προκύπτουν από την ανίχνευση αποκωδικοποιούνται, εισέρχονται στο κεντρικό σύστημα, και λειτουργούν σαν παράμετροι για την δημιουργία της οπτικο-ακουστικής απεικόνισης του VE, που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, αφού ορίζουν την εικονική κίνηση του μέσα στο τεχνητό περιβάλλον.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες τεχνολογιών για ανίχνευση θέσης και προσανατολισμού:

1. **Ηλεκτρομηχανικά συστήματα:** ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο HMD από τον Ivan Sutherland το 1968, και στο οποίο ένας ιδιαίτερα βαρύς αρθρωτός βραχίονας, αναρτημένος από την οροφή του εργαστηρίου (ο οποίος ονομάστηκε με χιουμοριστική διάθεση Δαμόκλειος Σπάθη), διάβαζε τις κινήσεις του κεφαλιού και ενημέρωνε το σύστημα. Ομοια τεχνολογία αλλά σε πιά εξελιγμένη μορφή χρησιμοποιούν τα HCD (BOOM, Cyberface) που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τα συστήματα αυτά προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια και ελάχιστη καθυστέρηση, αλλά περιορίζουν ιδιαίτερα την κίνηση του χρήστη.

- 2. Ηλεκτρομαγνητικά συστήματα:** κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά από την Polhemus Navigation Systems και αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο ανίχνευσης, σήμερα. Φορτίζοντας κατάλληλα τοποθετημένα στο χώρο πηνία με εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργούνται τρία μαγνητικά πεδία, που αντιστοιχούν στους τρεις άξονες συντεταγμένων x,y,z του τρισδιάστατου χώρου. Η κίνηση τριών άλλων πηνίων (που βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στο HMD και αντιστοιχούν πάλι στους τρεις άξονες x,y,z) μέσα από τα τρία αυτά μαγνητικά πεδία, δημιουργεί ηλεκτρικά ρεύματα, η μεταβολή των οποίων αποκωδικοποιείται και δίνει πληροφορίες για την αλλαγή θέσης και προσανατολισμού του HMD.

Το σύστημα αυτό παρουσιάζει καθυστέρηση και συχνά σφάλματα λόγω της ευαισθησίας του σε υλικά με υψηλή αγωγιμότητα (πχ. μεταλλικές επιφάνειες), που μπορεί να βρίσκονται στο χώρο. Το πρόβλημα αυτόν των σφαλμάτων περιορίζεται με τη χρήση συστημάτων συνεχούς ρεύματος (σαν τα Bird, Flock of Birds και ERT της Ascension Technology).

- 3. Συστήματα ηχητικής ανίχνευσης:** και αυτή η μέθοδος δοκιμάστηκε για πρώτη φορά από τον Sutherland το 1968. Ένας ή περισσότεροι μορφομετατροπείς που βρίσκονται πάνω στο κινούμενο αντικείμενο (πχ. HMD) εκπέμπουν υπερήχους, που προσλαμβάνονται από ένα σύνολο κατάλληλα τοποθετημένων δεκτών (μορφομετατροπέων). Καταγράφοντας είτε την χρονική διάρκεια του ακουστικού κύματος (time-of-flight method), είτε την διαφορά φάσης του ακουστικού σήματος (phase-coherent method), μπορεί να υπολογιστεί η αλλαγή θέσης και προσανατολισμού του κινούμενου αντικειμένου στο χώρο. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται στο Logitech head tracker και στο PowerGlove της Mattel.

Τα συστήματα αυτά προσφέρουν σχετική ακρίβεια εκτίμησης. Για την αποφυγή σφαλμάτων όμως είναι αναγκαία η απομόνωση του χώρου από άλλα ηχητικά σήματα

και η αποφυγή παρεμβολής οποιασδήποτε επιφανείας μεταξύ του πομπού και του δέκτη του ηχητικού σήματος.

- 4. Οπτικά συστήματα:** στην πιο απλή τους μορφή, αυτά τα συστήματα κάνουν χρήση μίας (η περισσότερων) μικρής φωτεινής πηγής και ενός συνόλου από βιντεοκάμερες, οι οποίες διοχετεύουν με video σήμα κατάλληλους αισθητήρες εικόνας, οι οποίοι ανιχνεύουν τις σχετικές μεταβολές θέσης και προσανατολισμού του κινουμένου αντικειμένου ως προς τον ανιχνευτή.

Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα ακριβή, σε σχέση με ηλεκτρομαγνητικά συστήματα. Έχουν όμως ανάγκη περιβαλλόντων με ειδικές συνθήκες φωτισμού, απομόνωσης από το εξωτερικό περιβάλλον και αποφυγής εμποδίων μεταξύ της φωτεινής πηγής και των συσκευών ανίχνευσης του φωτός.

2.1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ

Είναι αναγκαίο να τονισθεί η σημασία της ηχητικής επικοινωνίας του VR συστήματος με τον χρήστη. Ο άνθρωπος έχει την ιδιαίτερη ικανότητα της αναγνώρισης ενός συγκεκριμένου ήχου ανάμεσα σε ένα σύνολο από ήχους και του προσδιορισμού της θέσης της ηχητικής πηγής στον τρισδιάστατο χώρο. Είναι ακόμα γεγονός ότι ο άνθρωπος μπορεί να αντιλαμβάνεται και να επεξεργάζεται οπτικές και ηχητικές πληροφορίες, συγχρόνως, με την ίδια επιδεξιότητα. Τα συστήματα ηχητικών περιβαλλόντων εκμεταλλεύονται αυτές τις ανθρώπινες ικανότητες, με στόχο να ενισχυθεί η εμπειρία της αλληλεπίδρασης σε ένα VE με ηχητικές ενδείξεις, οι οποίες συμπληρώνουν κατάλληλα το οπτικό περιβάλλον.

Η ηχητική επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα μπορεί να γίνει μέσω:

1. ηχητικής χωροθέτησης στις τρεις διαστάσεις,
2. αναγνώρισης της φωνής από το σύστημα (voice recognition) ή
3. συνθετικής ομιλίας από το σύστημα.

Επειδή οι περιπτώσεις (2) και (3) έχουν περισσότερο να κάνουν με άλλους τομείς της πληροφορικής, στο κείμενο αυτό θα γίνει αναφορά μόνο στην περίπτωση (1).

Ενα παράδειγμα συστήματος τρισδιάστατης ηχητικής χωροθέτησης είναι το *Convolvotron*, το οποίο αποτελείται από δύο κάρτες επέκτασης για IBM-compatible υπολογιστές. Πρόκειται για ένα σύστημα επεξεργασίας ήχου, το οποίο με τη βοήθεια του ισχυρού digital signal processor που διαθέτει, φιλτράρει και μεταβάλλει (convolves) ένα αναλογικό ήχο, τοποθετώντας τον σε μία συγκεκριμένη θέση στον εικονικό τρισδιάστατο χώρο του VE. Το Convolvotron μπορεί να προσομοιώσει μέχρι τέσσερις ανεξάρτητες ηχητικές πηγές, κινούμενες η στατικές. Το τελικό αποτέλεσμα ακούει ο χρήστης μέσω stereo ακουστικών. Το σύστημα δέχεται είσοδο από ανιχνευτή θέσης/προσανατολισμού, έτσι ώστε να ενημερώνει το τρισδιάστατο ηχητικό μοντέλο ανάλογα με τις κινήσεις του κεφαλιού του χρήστη. Το σύστημα αυτό, κατασκευάστηκε από την εταιρεία Crystal River Engineering για λογαριασμό της NASA.

2.1.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΤΙΚΩΝ - ΚΙΝΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ

Τα συστήματα αυτά δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να αλληλοεπιδρά με το κεντρικό σύστημα, μέσω κατάλληλων συσκευών εισόδου/εξόδου, με τις οποίες μπορεί να κάνει διάφορες επιλογές και χειρισμούς και αντίστοιχα να δεχτεί απτικές απεικονίσεις. Με την βοήθεια αυτών των συσκευών, ο χρήστης εκμεταλλεύεται τις φυσικές του επιδεξιότητες μέσω του χειρισμού εικονικών αντικειμένων και άλλων μεταφορικών στοιχείων από τον πραγματικό κόσμο. Οι συσκευές αυτές είναι αναγκαίες και για την πλοήγηση μέσα στο τρισδιάστατο VE, για αυτό και πρέπει να επιτρέπουν την κίνηση με όλους τους δυνατούς τρόπους (έξι βαθμοί ελευθερίας - 6 degree of freedom movement).

Ο πλέον φυσιολογικός, ενστικτώδης τρόπος, λοιπόν, για να παρέχει πληροφορίες εισόδου ο χρήστης στο σύστημα (πέρα από την ομιλία) είναι μέσω των χεριών του. Για αυτό χρησιμοποιούνται ανάλογες συσκευές εισόδου, όπως: γάντι (glove), ραβδί (wand), ειδικά (6 degree-of-freedom) joysticks, που μπορούν να ανιχνεύσουν κίνηση στις τρεις

διαστάσεις και που η κίνηση των οποίων ανιχνεύεται από ανιχνευτές θέσης/προσανατολισμού.

Το γάντι δεδομένων (dataglove) είναι μία συσκευή εισόδου, στην οποία χρησιμοποιούνται αισθητήρες για ανίχνευση των πραγματικών κινήσεων του χεριού και των δακτύλων του χρήστη. Τα δεδομένα που προκύπτουν από την ανίχνευση χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της εικονικής αναπαράστασης του χεριού και των κινήσεων του μέσα στο VE. Στην καλύτερη περίπτωση, κατά την οποία δεν υπάρχει σημαντική καθυστέρηση μεταξύ της πραγματικής και της εικονικής κίνησης του χεριού, ενισχύεται κατά πολύ η αίσθηση της *παρουσίας* (presence) του χρήστη μέσα στο VE. Τα πιο γνωστά μοντέλα είναι το *DataGlove* της VPL, το *CyberGlove* και το ιδιαίτερα φθινό *PowerGlove* της Mattel.

Η απεικόνιση της αίσθησης της αφής ή της απτικής αντίδρασης (tactile και force feedback) ενισχύει ακόμα περισσότερο την αληθοφάνεια της εμπειρίας. Οι μέχρι τώρα απόπειρες για γάντια που να παρέχουν την αίσθηση αφής βρίσκονται σε σχετικά πειραματικό στάδιο. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι το *Dexterous Hand Master* της Exos Inc και το *ARRC Teletact Tactile Feedback Glove*. Υπάρχουν όμως συσκευές που παρέχουν αρκετά πειστική απεικόνιση απτικής αντίδρασης, όπως ο ρομποτικός βραχίονας *Argone Remote Manipulator* (ARM), στο Πανεπιστήμιο της North Carolina, που χρησιμοποιείται για χειρισμό εικονικών μορίων σε προσομοίωση μοριακών ενώσεων.

Υπάρχουν αρκετές συσκευές εισόδου, που χρησιμοποιούνται για πλοήγηση, χειρισμό εικονικών χειριστηρίων και αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα. Όλες τους υποστηρίζουν την κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις και την περιστροφή με τους τρεις δυνατούς τρόπους (γύρω από τους άξονες x,y,z). Οι γνωστότερες είναι: το *Logitech 2D/6D mouse* (με ηχητικό σύστημα ανίχνευσης), το *SpaceBall* και το *Magellan*.

2.2 Συστήματα non-immersive ή desktop VR – Μη εμβυθιστικά εικονικά περιβάλλοντα

Στα *Desktop VR* συστήματα δεν υπάρχει η αναγκαιότητα της εμβύθισης, αλλά το VE βιώνεται από τον χρήστη μέσω οθόνης, ενώ όλες οι συσκευές εισόδου που περιγράφηκαν προηγούμενα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αλληλεπίδραση με το σύστημα. Ο χρήστης μπορεί να έχει τα ίδια περιθώρια αλληλεπίδρασης όπως με ένα immersive σύστημα, την ίδια ποικιλία επιλογών και δυνατότητα πλοήγησης. Το μόνο που αλλάζει είναι ο τρόπος που η προσομοίωση απεικονίζεται μπροστά του.

Το ότι ο χρήστης δεν βυθίζεται στο VE αναπόφευκτα μειώνει την *αίσθηση της παρουσίας* (presence) μέσα στο VE και επαναφέρει το νοητό όριο της οθόνης ανάμεσα στον χρήστη και τον υπολογιστή. Υπάρχουν όμως αρκετές εφαρμογές στις οποίες η χρήση εμβύθισης δεν είναι απαραίτητη ή δεν είναι καν κατάλληλη, γιατί προξενεί προβλήματα. Πράγματι, το κατά πόσον πρέπει ένα VR σύστημα να είναι immersive ή desktop, εξαρτάται μόνο από τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής και όχι από τον προϋπολογισμό που διατίθεται για την πραγματοποίησή του.

Ένα high-end σύστημα desktop VR, αποτελείται από τα ίδια περίπου συστατικά με ένα σύστημα immersive VR, χωρίς την ανάγκη υποστήριξης HMD. Για παροχή τρισδιάστατης απεικόνισης από το σύστημα, χρησιμοποιούνται γυαλιά με διάφραγμα LCD (shutter glasses) όπως τα Crystal Eyes της Stereo Graphics. Η λειτουργία τους βασίζεται σε μία μέθοδο για παροχή στερεοσκοπικής εικόνας, που δίνει στο χρήστη ενδείξεις για αντίληψη βάθους, μέσα στην δυσδιάστατη απεικόνιση της οθόνης.

Το κεντρικό σύστημα δημιουργεί την απεικόνιση του VE που θα έβλεπε το κάθε μάτι, και οι απεικονίσεις αυτές σχεδιάζονται εναλλάξ στην οθόνη, με ρυθμό 60 εικόνες ανά sec, σε συγχρονισμό με την εναλλαγή των LCD διαφραγμάτων των γυαλιών. Έτσι κάθε μάτι βλέπει μόνο την εικόνα που του αντιστοιχεί και η όλη εναλλαγή δεν γίνεται αντιληπτή, με αποτέλεσμα ο χρήστης να αντιλαμβάνεται την οθόνη σαν τρισδιάστατη, με κάποιο σχετικό βάθος.

Ένα low-end σύστημα desktop VR, αποτελείται συνήθως από:

- ένα σταθμό εργασίας ενισχυμένο από μία ή περισσότερες κάρτες για επιτάχυνση γραφικών,
- οθόνη απλή, η στερεοσκοπική (με χρήση κατάλληλου πομπού υπέρυθρου σήματος που συγχρονίζει την συχνότητα της οθόνης με εκείνη των στερεοσκοπικών γυαλιών),
- συσκευή εισόδου που μπορεί να δίνει στο σύστημα πληροφορίες κίνησης με όλους τους δυνατούς τρόπους στις τρεις διαστάσεις.

2.3 Projection-based systems

Σε ένα *projection-based* σύστημα, ο χρήστης αντιλαμβάνεται το VE μέσω προβολής της απεικόνισης σε μία ή περισσότερες οθόνες, που τον περιβάλλουν. Η οθόνη προβολής, μολονότι καταλαμβάνει πολύ μεγαλύτερο μέρος του οπτικού πεδίου από μία CRT οθόνη, δεν παύει να λειτουργεί σαν ένα παράθυρο απο όπου ο χρήστης παρακολουθεί το VE, ευρισκόμενος όμως πάντα στο πραγματικό περιβάλλον. Βέβαια, όταν ο χρήστης περιβάλλεται από οθόνες προβολής, αισθάνεται ως ένα βαθμό εμβυθισμένος στο τεχνητό περιβάλλον.

Το *πλεονέκτημα* που παρουσιάζει ένα τέτοιο σύστημα, έναντι ενός immersive, είναι η δυνατότητα να συμμετάσχουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα στην εμπειρία. Η χρήση shutter glasses βοηθά στην παροχή της εντύπωσης βάθους μέσα στην δυσδιάστατη οθόνη, και ενισχύει την αληθοφάνεια της εμπειρίας.

Συστήματα με οθόνες προβολής χρησιμοποιούνται συνήθως σε εξομοιωτές πτήσης και σε cab simulators, που χρησιμοποιούνται είτε για εκπαίδευση στο χειρισμό οποιουδήποτε οχήματος είτε για διασκέδαση (arcade games, entertainment centres). Στις περιπτώσεις αυτές, ο χειριστής βρίσκεται μέσα σε ένα πιστό αντίγραφο του θάλαμου πλοήγησης του οχήματος και η προσομοίωση προβάλλεται σε οθόνες που καλύπτουν τα παράθυρα του θαλάμου.

Ένα άλλο σημαντικό παράδειγμα χρησιμοποίησης τέτοιων συστημάτων απεικόνισης είναι "η σπηλιά" - CAVE, που κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο του Illinois στο Chicago και επινοήθηκε από την Caroline Cruz-Neira. Πρόκειται για ένα δωμάτιο, διαστάσεων 3x3x3, που περιγράφεται από τέσσερις οθόνες προβολής (στη θέση τοίχων). Τέσσερις projectors, ιδιαίτερα υψηλής ανάλυσης, προβάλλουν στις τρεις συνεχείς, κατακόρυφες οθόνες και στο δάπεδο του δωματίου, τις απεικονίσεις που δημιουργούνται από τέσσερις, αντίστοιχα, ειδικά ενισχυμένους για τρισδιάστατα γραφικά, σταθμούς εργασίας. Ένας χρήστης αλληλεπιδρά με το VE και τα αντικείμενα που τον περιβάλλουν, μέσω ενός ραβδιού (wand), ενώ αρκετοί άλλοι χρήστες μπορούν ταυτόχρονα να βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο και να βιώνουν την ίδια εμπειρία.

2.4 Mirror worlds

Είναι αναγκαίο να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ της τεχνολογίας της *τηλερομποτικής / τηλεχειρισμού* (telerobotics / teleoperation) και της VR. Ένα VR σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σαν interface για ενίσχυση (augmentation) ενός συστήματος τηλεχειρισμού αλλά πιο συχνά η απεικόνιση που αντιλαμβάνεται ο χειριστής ενός τέτοιου συστήματος είναι το video σήμα από την μακρινή θέση του τηλεχειρισμού. VR συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση διαδικασιών τηλεχειρισμού και την εκπαίδευση των μελλοντικών χειριστών στα καθήκοντα αυτά, όπως στην περίπτωση της επισκευής του διαστημικού τηλεσκοπίου (Hubble Space Telescope) στο τέλος του 93.

Στο κείμενο αυτό δεν θα επεκταθούμε σε συστήματα τηλεχειρισμού, θεωρώντας ότι έχουν μεγαλύτερη σχέση με την επιστήμη της ρομποτικής, παρά με την VR. Θεωρούμε σαν εξ ορισμού αναγκαία την χρήση computer graphics για την απεικόνιση σε ένα VE. Θα αναφερθούμε όμως σε ανάλογα συστήματα, τα οποία *παρουσιάζουν στο χρήστη κάποια απεικόνιση του εαυτού του, μέσα σε ένα συνθετικό VE, με την οποία απεικόνιση ο χρήστης αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο.*

Η ιδιαιτερότητα ενός τέτοιου συστήματος έγκειται στο ότι εισάγει τον χρήστη σε ένα VE, αλλά από μία θέση από την οποία ο ίδιος μπορεί να παρακολουθεί τον εαυτό του να

αλληλεπιδρά με το VE, δίνοντάς του έτσι μία μοναδική αίσθηση εξωσωματικής παρουσίας (out-of-body presence) στο τεχνητό περιβάλλον.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις ενός τέτοιου συστήματος:

1. Στην πρώτη περίπτωση η απεικόνιση του χρήστη μπορεί να είναι η πραγματική του εικόνα, η οποία προσλαμβάνεται από βιντεοκάμερα σε πραγματικό χρόνο και εισάγεται στο συνθετικό VE, όπως στο VIDEOPLACE του Myron Krueger η στο σύστημα Mandala της Vivid Group,
2. Στην δεύτερη περίπτωση, μία οποιασδήποτε μορφής απεικόνιση που δημιουργείται απο computer graphics σε πραγματικό χρόνο, με την οποία ταυτίζεται ο χρήστης, γιατί μπορεί να ελέγχει πλήρως τις κινήσεις της, σε πραγματικό χρόνο, μέσω ανιχνευτών που τοποθετούνται στο σώμα του (σύστημα τηλεχειριζόμενης animated φιγούρας WALDO).

Αναφορές

Ellis, S. (1993) Pictorial Communication in Virtual and Real Environments, Taylor & Francis.

Kalawsky, R. (1993) The science of virtual reality and virtual environments, Addison Wesley Publishing Company.

Laurel, B. (1990) The art of Human-Computer Interface Design, Addison-Wesley Publishing Company.

Sutherland, I. (1965) The ultimate display, σε Πρακτικά του IFIP Congress, vol.2, σελ.506-8.

Sutherland, I. (1968) A head-mounted three-dimensional display, σε Πρακτικά του Fall Joint Computer Conference, AFIPS Conference Proceedings, vol.33, σελ. 757-64.