Realitat virtual i augmentada

Francisco Ramos

PID_00194186

UOC
Universitat Oberta de Catalunya

Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca

Índex

Introducció 5

1. Caracterització d'un sistema de realitat virtual 9
1.1. Introducció 9
1.2. Caracterització 10
1.2.1. Interactivitat 10
1.2.2. Il·lusió de realitat 11
1.2.3. Tridimensionalitat 12
1.2.4. Capacitat de síntesi 12
1.3. Arquitectura d'un sistema de realitat virtual 13
1.4. Dispositius de sortida 14
1.4.1. Dispositius de sortida per a sistemes immersius 14
1.4.2. Dispositius de sortida per a sistemes projectius 15
1.4.3. Noves tendències 16
1.4.4. Tècniques d'estereoscòpia 16
1.4.5. Altres 16
1.5. Dispositius d'entrada 17
1.5.1. Localització 17
1.5.2. Control 17
1.5.3. Noves tendències 18
1.6. Seqüència de tasques d'un sistema de realitat virtual 18
1.7. Tendències futures 19

2. Tècniques de visualització 23
2.1. El *pipeline* gràfic 23
2.1.1. Arquitectura 23
2.1.2. Funcionament 25
2.1.3. Consideracions 26
2.2. Biblioteques de programació de gràfics per ordinador 27
2.2.1. DirectX 27
2.2.2. OpenGL 28

3. Tècniques de seguiment i interacció 29
3.1. Introducció 29
3.2. Taxonomia 30
3.3. Sistemes basats en sensors 30
3.3.1. Sensors mecànics 31
3.3.2. Sensors inercials 31
3.3.3. Sensors acústics 32
3.3.4. Sensors magnètics 32
3.3.5. Sensors òptics 32

3.3.6. Sensors de ràdio i microones 33
3.4. Sistemes basats en visió 33

4. Caracterització d'un sistema de realitat augmentada..... 35
4.1. Introducció 35
4.2. Caracterització 36
4.2.1. Augmentació visual, auditiva i tàctil 37
4.2.2. Portabilitat 38
4.3. Registre: problemàtica i errors 38
4.4. Localització 39
4.5. Aplicacions 39
4.5.1. Medicina 39
4.5.2. Reparació i manteniment 39
4.5.3. Anotació 40
4.5.4. Planificació de tasques de robots 40
4.5.5. Entreteniment i publicitat 41
4.6. Tendències futures 41

Introducció

1) Definicions

a) Realitat virtual

Un sistema de realitat virtual és aquell que proporciona a l'usuari l'experiència d'estar immers en un entorn sintètic. La realitat virtual també es caracteritza per oferir la il·lusió de participació en aquest entorn sintètic, en lloc d'oferir-ne simplement una observació externa. És a dir, és una experiència immersiva i mutisensorial.

> En altres paraules, és un sistema interactiu que permet sintetitzar un món tridimensional creant en l'usuari la il·lusió de realitat.

Més formalment, la realitat virtual és un concepte que s'aplica a entorns de simulació per ordinador que poden crear la **sensació de presència física** en llocs existents i/o imaginaris.

Actualment, la majoria d'entorns de realitat virtual implementen sistemes d'experiència visual en pantalles estàndard d'ordinador o mitjançant dispositius estereoscòpics, encara que també hi ha sistemes que incorporen més informació sensorial amb l'ús d'altaveus o micròfons, per exemple. Últimament, han aparegut sistemes de realitat virtual que inclouen informació tàctil en aplicacions com videojocs. D'altra banda, tal com s'ha comentat, la realitat virtual també preveu la interacció amb els mons virtuals, cosa que permet que els usuaris experimentin una immersió més gran gràcies a la utilització de dispositius d'entrada estàndard com el ratolí o el teclat, o inclús dispositius més avançats com guants o cintes de córrer especialment dissenyades per a interactuar amb aquests sistemes.

Els entorns virtuals poden ser generats per a crear una experiència realista o totalment imaginària, com ocorre en els simuladors dels cotxes de fórmula 1 o en els videojocs futuristes, respectivament. D'altra banda, la creació d'un entorn virtual amb el màxim realisme és actualment una línia d'investigació. Això és degut principalment a les limitacions tecnològiques actuals quant a l'amplada de banda en les comunicacions, la resolució de les imatges i la capacitat de processament, encara que la tecnologia avança molt ràpidament i cada vegada s'obtenen millors resultats.

b) Realitat augmentada

La realitat augmentada tracta d'"augmentar" el món real amb informació virtual per tal de millorar el coneixement i les sensacions de l'usuari.

Aquesta realitat combina elements virtuals amb el món real. Hi ha tres característiques fonamentals i comunes en els sistemes de realitat augmentada:

1) la combinació de l'entorn del món real amb elements generats per ordinador,
2) la interactivitat en temps real, i
3) escenes en 3D.

Arribats a aquest punt, podem dir que la diferència principal entre la realitat virtual i la realitat augmentada és que en la primera el món real és **substituït** per un altre de simulat, i en la segona, la vista de la realitat és **modificada** mitjançant l'ordinador, el qual en proporciona una percepció millorada.

Normalment, el procés d'augmentació en temps real es produeix en un context determinat. Amb l'ajuda de la tecnologia, la informació del món real que l'usuari està veient es veu complementada amb informació artificial que s'hi superposa.

Actualment, la realitat augmentada és un camp d'investigació molt actiu. La investigació actual se centra principalment en la combinació d'escenes o imatges generades per ordinador amb vídeos en temps real com a via de millora de la percepció del món real. La tecnologia de realitat augmentada inclou dispositius de visualització, com cascos muntats al cap i pantalles de mescla òptica, i construcció d'entorns mitjançant diferents tipus de sensors i actuadors.

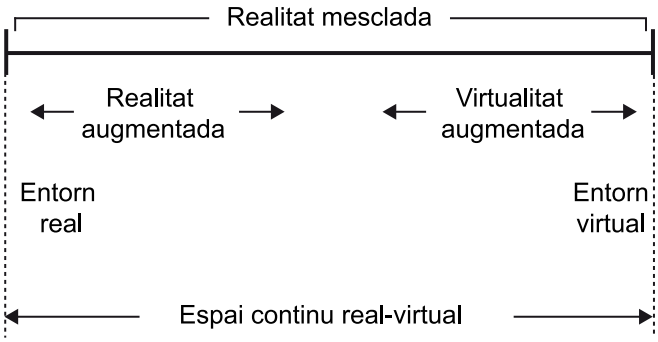
c) Realitat mesclada

El terme *realitat mesclada* (vegeu la figura 1) va ser definit per Paul Milgram i Fumio Kishino el 1994. Aquests autors descrivien la realitat mesclada com un espai continu que va des de l'entorn real fins a l'entorn virtual. Dins d'aquest interval podem trobar la realitat augmentada, més a prop de l'entorn real, i la virtualitat augmentada, més a prop de l'entorn virtual.

Lectura recomanada

P. Milgram; A. F. Kishino (1994). "Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". *IEICE Transactions on Information and Systems* (vol. E77-D, núm. 12, pàg. 1321-1329).

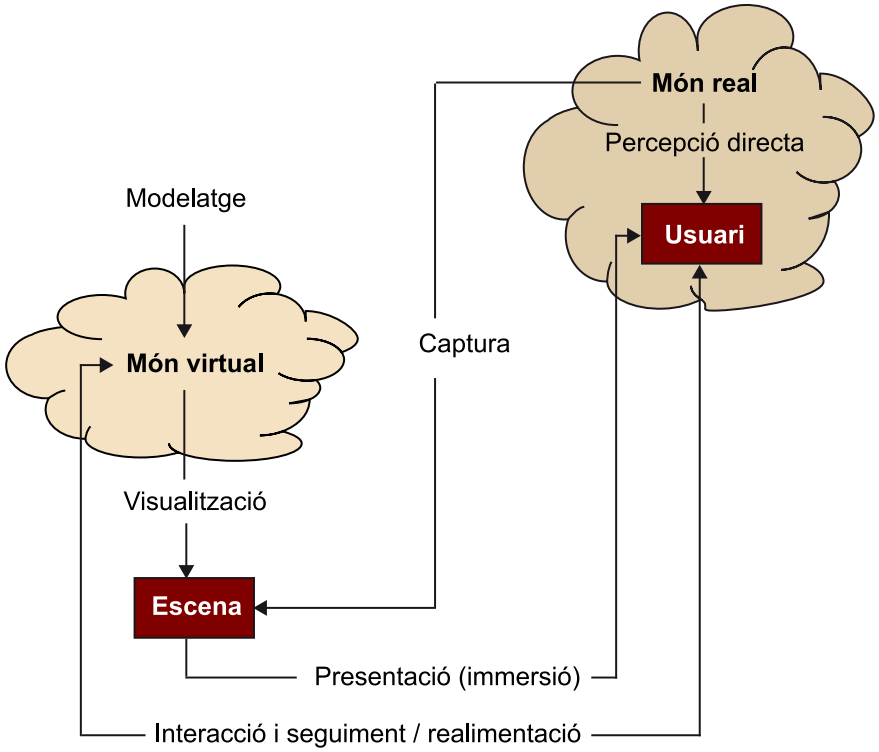
Figura 1. Realitat mesclada com un espai continu



2) Problemàtica comuna

A la figura 2 es presenta un diagrama de blocs on s'intenten representar les parts que intervenen en la implementació d'un sistema de realitat virtual i de realitat augmentada. Segons el tipus de sistema que finalment es duu a terme, determinats elements podem desaparèixer. Aquesta figura servirà d'esquema per a explicar les diferents parts dels apunts.

Figura 2. Esquema d'un sistema de realitat virtual i de realitat augmentada



3) Organització dels continguts

El contingut d'aquest mòdul està dividit en diverses parts.

Després de la introducció, a l'apartat 1, veurem una caracterització d'un sistema de realitat virtual, les seves funcions, arquitectura, els dispositius bàsics que hi intervenen i les seves aplicacions.

L'apartat 2 tractarà sobre les tècniques de visualització actuals, amb una explicació del *pipeline* gràfic actual i les dues biblioteques de programació de gràfics per ordinador més populars: OpenGL i DirectX.

A l'apartat 3 aprofundirem en les tècniques de seguiment i interacció i repassarem diferents tipus de sistemes que s'utilitzen actualment.

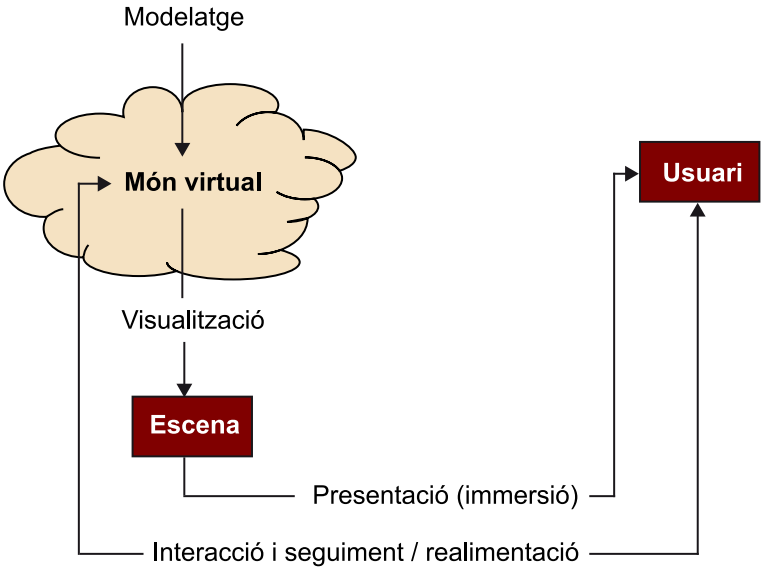
Posteriorment, caracteritzarem els sistemes de realitat augmentada i estudiarem la problemàtica particular d'aquests sistemes.

1. Caracterització d'un sistema de realitat virtual

1.1. Introducció

A la figura 3, podem veure un esquema representatiu dels blocs operatius que intervenen en un sistema de realitat virtual. Podem observar el modelatge, que representa els objectes 3D que formaran part del món virtual. Aquest món, compost per objectes estàtics i dinàmics, es presenta a l'usuari, qui podrà interactuar amb el món canviant el flux d'informació que rep.

Figura 3. Bloc funcional d'un sistema de realitat virtual



Per exemple, a la figura 4, es mostra una captura d'un videojoc funcionant en un dispositiu mòbil (GT Racing: Motor Academy). Els videojocs són exemples clàssics de sistemes de realitat virtual, encara que van apareixent progressivament videojocs que podem classificar com a sistemes de realitat augmentada.

En la figura que ens ocupa podem observar arbres, muntanyes, cotxes, és a dir, elements de l'escena 3D que s'han dissenyat i creat prèviament, és el que anomenem *modelatge*. Tots aquests elements es disposen al món virtual i se'ls assigna un comportament, que pot ser estàtic (arbres, muntanyes) o dinàmic (cotxes, públic animant). Posteriorment, es presenta a l'usuari una vista determinada de l'escena mitjançant un dispositiu de visualització, en aquest cas un mòbil. En aquest moment l'usuari pot interactuar amb el món i canviar el comportament de certs objectes, com el cotxe. Aquests canvis es gestionen al món virtual i l'usuari rep finalment la resposta a la seva interacció.

És important emfatitzar que el que s'ha descrit és un breu resum de tot el que succeeix en un sistema de realitat.

Figura 4. Aplicació representativa d'un sistema de realitat virtual

Videojoc de carreres en un dispositiu mòbil

1.2. Caracterització

Un sistema de realitat virtual presenta diverses característiques que cal definir i explicar. En aquest apartat es definiran alguns conceptes molt importants en sistemes de realitat virtual i, com es veurà posteriorment, en sistemes de realitat augmentada.

1.2.1. Interactivitat

Formalment, la interactivitat és la capacitat d'un element per a canviar el flux d'informació que proporciona un sistema (vegeu la figura 5). Cal aclarir que la interactivitat és una qualitat, i és independent que s'utilitzi o no.

Per exemple, un videojoc és interactiu independentment que un usuari hi jugui o no.

Tal com s'ha definit a la introducció, l'usuari ha de poder actuar sobre l'entorn virtual. Aquestes interaccions es produeixen fent ús dels perifèrics d'entrada, també coneguts com a *sensors*.

Figura 5. Interacció d'usuaris amb un videojoc

A mesura que interactuen canvia el flux d'informació que reben.

1.2.2. Il·lusió de realitat

L'usuari ha de sentir la sensació d'immersió al sistema de realitat virtual, és a dir, ha de percebre la il·lusió que està vivint una realitat. Aquesta il·lusió de realitat, a part dels factors fisiològics i psicològics, s'intenta obtenir mitjançant l'ús del perifèrics de sortida. Un exemple de perifèric de sortida és la **CAVE** (vegeu la figura 6).

Figura 6. Usuari integrat a un dispositiu de tipus CAVE (*cave automatic virtual environment*)

1.2.3. Tridimensionalitat

Els objectes es representen en tres dimensions (vegeu la figura 7), ja siguin objectes estàtics de l'escena o dinàmics. Això comporta una fase prèvia de modelatge que és molt important per tal de dotar de realisme l'escena que es vol representar.

Figura 7. Escena 3D interactiva creada amb 3D Studio i integrada utilitzant el motor de jocs Ogre3D

1.2.4. Capacitat de síntesi

Les imatges que rep finalment l'usuari es generen en temps real a partir d'una representació del món virtual que varia segons la posició i l'orientació d'aquest (vegeu la figura 8).

Seguiment

El procés de saber quina és la posició i l'orientació de l'usuari es coneix amb el nom de *seguiment*.

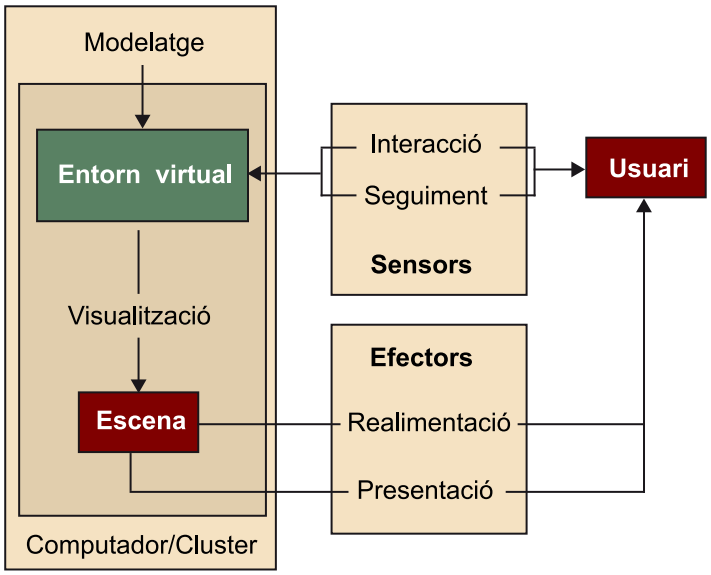
Figura 8. Usuari navegant en un món virtual mitjançant una interfície tàctil

1.3. Arquitectura d'un sistema de realitat virtual

A la figura 9 es pot observar l'arquitectura típica d'un sistema de realitat virtual. Com ja s'ha comentat anteriorment, fonamentalment, tenim el modelatge, que es compon dels elements 3D que formaran part de l'escena, els sensors (o també anomenats *dispositius d'entrada*), que permetran la interacció i navegació pel món virtual, i els efectors (o dispositius de sortida), que facilitaran la immersió de l'usuari. En general, els efectors presenten a l'usuari l'entorn virtual de manera visual, auditiva, tàctil, etc. D'altra banda, els sensors permeten localitzar l'usuari (o usuaris) i alhora que aquest controli l'aplicació i pugui navegar.

En els apartats següents presentarem els diferents dispositius d'entrada i sortida per a aquest tipus de sistemes.

Figura 9. Arquitectura d'un sistema de realitat virtual



1.4. Dispositius de sortida

En aquest apartat tractarem els dispositius de sortida més comuns dels sistemes de realitat virtual, encara que també poden intervenir en un sistema de realitat augmentada.

1.4.1. Dispositius de sortida per a sistemes immersius

Amb freqüència els sistemes immersius de realitat virtual es relacionen amb un ambient tridimensional creat per ordinador que es manipula mitjançant diferents dispositius perifèrics que capturen la posició i la rotació de diferents parts del cos humà.

Un exemple són els **videocascos** (vegeu la figura 10). Aquests aïllen l'usuari del món real i donen una sensació de realitat més gran a la simulació. Així doncs, els videocascos augmenten la sensació d'immersió dins del món virtual, però, per contra, dificulten les accions de l'usuari, ja que impedeixen la visió del món real i, puntualment, produeixen fatiga i marejos.

Figura 10. Dispositiu de sortida immersiu: videocasc

1.4.2. Dispositius de sortida per a sistemes projectius

Els sistemes projectius, també coneguts com a **no immersius**, utilitzen l'ordinador i ens ofereixen la possibilitat d'interactuar en temps real amb el món virtual sense la necessitat de dispositius addicionals, més enllà dels típics d'un ordinador.

Aquests sistemes ofereixen un nou món mitjançant una finestra d'entorn d'escriptori. Aquest enfocament té diversos avantatges sobre l'enfocament immersiu com són el baix cost i la fàcil i ràpida acceptació dels usuaris. Els dispositius immersius són d'alt cost, i generalment, l'usuari prefereix manipular l'ambient virtual per mitjà de dispositius familiars, com són el teclat d'ordinador i el ratolí, en comptes de fer-ho per mitjà de cascos pesats o guants.

L'alt preu dels dispositius immersius ha generalitzat l'ús d'ambients virtuals fàcils de manipular per mitjà de dispositius més senzills, com és l'exemple de l'important negoci de les videoconsoles o els jocs en els quals nombrosos usuaris interactuen a través d'Internet. És per Internet com neix VRML, que és un estàndard tècnic per a la creació d'aquests mons virtuals no immersius compatibles amb navegadors web. Aquest llenguatge proveeix d'un conjunt de primitives per al modelatge tridimensional i permet donar comportament als objectes i assignar diferents animacions que poden ser activades pels usuaris.

1.4.3. Noves tendències

Avui en dia, hi ha nous dispositius que eliminen els desavantatges dels anteriors mitjançant l'ús de l'estereoscòpia, que tractarem a l'apartat següent, i de la localització. Se'n mostren dos d'exemples a la figura 11: sistemes de panorama i un sistema CAVE.

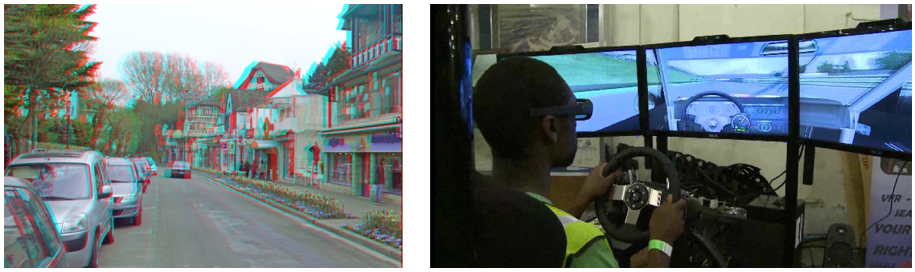
Figura 11

D'esquerra a dreta, sistema CAVE i de panorama

1.4.4. Tècniques d'estereoscòpia

Les tècniques d'estereoscòpia generen una imatge per a cada ull de l'usuari (vegeu la figura 12). Això permet veure el món en 3D reforçant la sensació de realitat. En general, crea la il·lusió de profunditat en una imatge. Aquesta il·lusió de profunditat en una fotografia, pel·lícula o altra imatge bidimensional és creada presentant una imatge lleugerament diferent per a cada ull, com succeeix en la nostra manera habitual de recollir la realitat.

Figura 12



D'esquerra a dreta. Imatge estereoscòpica, la part vermella va a l'ull esquerre i la part blava al dret. Usuari utilitzant ulleres estereoscòpiques en un entorn virtual.

1.4.5. Altres

En aquesta categoria es classifiquen els dispositius especialitzats que poden completar la informació visual i auditiva. En són exemples les plataformes mòbils i els dispositius tàctils, també coneguts com a *hàptics*. La tecnologia hàptica està guanyant acceptació com a part dels sistemes de realitat virtual, ja que afegeix el sentit del tacte a les solucions que típicament han estat únicament de visualització. Actualment, s'està treballant molt en aquest camp i s'estan desenvolupant sistemes amb interfícies hàptiques per al modelatge 3D que proporcionen al dissenyador l'experiència visual de modelar interactivament.

1.5. Dispositius d'entrada

Els dispositius d'entrada dels sistemes de realitat virtual tenen dues funcions principals:

- Transmetre ordres al sistema de manera voluntària.
- Sol·licitar informació de manera automàtica.

Les característiques distintives que proporcionen les últimes tecnologies són la localització de l'usuari i el control.

1.5.1. Localització

Els dispositius de localització permeten calcular la posició i l'orientació dels objectes a l'espai tridimensional a partir de la posició i l'orientació de l'usuari.

En general, s'apliquen de quatre formes:

- Detecció de l'orientació de l'observador
- Detecció de la posició de l'observador
- Control de l'aplicació
- Digitalització d'objectes

1.5.2. Control

Els dispositius de control permeten a l'usuari controlar l'aplicació i interactuar amb el món virtual.

Es poden dividir en tres categories:

- Navegació
- Interacció
- Manipulació

Hi ha molts dispositius pertanyents a cada categoria. Inclús hi ha dispositius que pertanyen a dues categories, com els electroguants (o *wired gloves*) de la figura 13. Dins d'aquestes categories podem classificar els dispositius següents:

- Ratolins
- Palanques de control (*joysticks*)
- Sistemes biomètrics per a mesurar els senyals generats pel cos humà
- Sensors específics per a simuladors de vols, de cotxes, etc.

1.5.3. Noves tendències

Progressivament, van apareixent en el mercat altres tipus de dispositius que tenen funcions molt diverses com l'adquisició de dades i el reconeixement d'ordres parlades, reconeixement d'imatges per al reconeixement òptic de gestos, controladors de força i gir, similars a les palanques de control (*joysticks*), però amb retroalimentació cinestèsica *force-feedback* (vegeu la figura 14), etc.

Figura 14. Sistema de realitat virtual que utilitza un dispositiu d'entrada amb controlador de força i gir.

1.6. Seqüència de tasques d'un sistema de realitat virtual

Un sistema de realitat virtual ha de fer una sèrie de tasques, unes de senzilles i altres de complexes. A continuació, es donarà una **seqüència típica** d'un sistema d'aquest tipus. La seqüència d'accions es planteja a alt nivell, és a dir, totes comporten accions més complexes. Tanmateix, l'objectiu és proporcionar una visió global d'aquestes tasques. Així doncs, podem seqüenciar les tasques d'aquesta manera:

1) Capturar les accions de l'usuari.
2) Llegir els sensors externs (dispositius d'entrada).
3) Calcular la posició i l'orientació de l'usuari.

4) Avaluar el comportament dels objectes.
5) Calcular les interaccions entre els objectes.
6) Actualitzar l'estat dels objectes.
7) Sintetitzar gràficament l'entorn.
8) Actuar sobre els efectors (dispositius de sortida).
9) Tornar a la tasca 1.

1.7. Tendències futures

El concepte de *realitat virtual* no és nou i ja fa molt de temps que es va definir. Fins fa ben poc, aquests sistemes han estat dedicats a la simulació i l'entrenament. Avui en dia, la clau de la popularització dels sistemes de realitat virtual és l'aplicabilitat. Podem trobar molts tipus d'aplicacions, a continuació se'n detallen algunes.

1) Arquitectura. Una de les aplicacions més òbvies de la realitat virtual és la navegació en entorns arquitectònics. Aquests tipus d'aplicació permeten a l'usuari explorar una escena 3D en temps real i mostrar exactament allò que l'usuari vol inspeccionar sota demanda.

Figura 15

Font: Cortesia de l'escola d'art de la Universitat de Carolina

Web recomanat

Navegació en una aplicació d'arquitectura: http://www.cs.unc.edu/~walk/

2) Visualització. Les aplicacions de visualització s'assemblen molt al prototip de navegació de les aplicacions d'arquitectura. De fet, podem veure la navegació per a entorns arquitectònics com un tipus particular de les aplicacions de visualització. La realitat virtual mostra el seu potencial quan es visualitzen dades complexes que tenen informació de volum o inclús en dades abstractes que són multidimensionals (vegeu la figura 16).

Figura 16. Aplicació de visualització

3) Entreteniment. Un altre cas molt destacat d'ús de la realitat virtual el podem trobar al mercat de l'entreteniment. Avui en dia, és l'aplicació més important en termes de rendibilitat financera. Moltes empreses estan produint videojocs que utilitzen els principis de la realitat virtual. El mercat d'usuaris potencials és enorme i explica per què aquests tipus d'aplicacions són tan importants.

4) Producció industrial. L'ús de la realitat virtual en l'àrea de producció industrial de cotxes inclou la simulació del túnel del vent, utilitzat molt en els prototips de fórmula 1 i d'aerodinàmica. Altres usos són els que es mostren a la figura 17, com estudis d'ergonomia. Els dissenyadors són capaços de provar la ubicació de diversos components dins del cotxe de manera que el conductor pugui accedir i manipular fàcilment tots els controls que l'envolten. Aquest tipus de prototipatge virtual és un mètode molt eficient i barat per a crear proves i ajustar els detalls de fabricació abans de la producció física.

Figura 17. Estudi ergonòmic en la producció de cotxes

Font: Michigan Virtual Reality Lab. http://www-vrl.umich.edu/project/automotive/

5) Realitat augmentada. Aquests tipus d'aplicacions tenen un potencial molt gran, ja que incorporen un valor afegit als problemes comercials actuals. Un sistema de realitat augmentada, al contrari d'un de realitat virtual, està construït per a mesclar el món virtual amb el real que envolta l'usuari. En la figura 18 podem veure com un usuari pot utilitzar un sistema de realitat augmentada per a informar-se millor de certs productes, i inclús per a comprar-ne. Aquesta nova tendència, la realitat augmentada, la veurem en l'apartat 4 d'aquests apunts.

Figura 18. Exemple de compra en línia (*online*) utilitzant un sistema de realitat augmentada

Font: Layar. http://www.layar.com

Altres sectors d'aplicació

Altres sectors on s'ha aplicat amb èxit la realitat virtual és l'art, la educació, l'entrenament i la medicina.

Un aspecte predominant en aquestes aplicacions és el fet que totes intenten millorar un sistema que ja està funcionant a la seva àrea d'aplicació. L'ús de la realitat virtual és efectiu quan aporta algun aspecte nou, quan afegeix valor a l'experiència global, i manté la viabilitat i la utilitat del producte, cosa que és, en general, una recomanació vàlida per a qualsevol sistema de realitat virtual.

Perquè una aplicació de realitat virtual tingui èxit, ha d'afegir contingut a la informació presentada a l'usuari.

Molt sovint, podem observar aplicacions de realitat virtual molt pobres, centrades només a impressionar visualment l'usuari amb colors i animacions. La majoria de vegades, aquests sistemes tenen una vida curta, ja que no van ser creats per a resoldre un determinat problema, sinó per a impressionar amb la tecnologia.

Així doncs, és important plantejar-se certes qüestions abans d'emprendre el desenvolupament d'una aplicació de realitat virtual. Qüestions com ara com millora la nostra aplicació si utilitzem tècniques de realitat virtual en comptes d'altres mètodes?, o és la realitat virtual la millor manera de manipular les nostres dades?

Contestar aquestes qüestions no és sempre trivial. Moltes vegades, els gràfics en dues dimensions, o inclús el text, poden ser la millor manera de comunicar una determinada informació. Les aplicacions que manipulen volums, espais, o que requereixen que l'usuari s'orienti en un ambient volumètric són bones candidates a estar creades a partir dels principis de la realitat virtual.

2. Tècniques de visualització

2.1. El *pipeline* gràfic

En aquest apartat es presenta el que es considera el component principal de la visualització de gràfics en temps real, o el que és el mateix, el ***pipeline* gràfic**.

La funció principal del *pipeline* gràfic és generar, o renderitzar, una imatge 2D a partir d'una càmera virtual, objectes 3D, fonts de llum, textures, etc. Així doncs, el *pipeline* gràfic és l'eina fonamental per a la visualització de gràfics en temps real.

Les ubicacions i les formes dels objectes a la imatge estan determinades per la seva geometria, les característiques de l'entorn i la ubicació de la càmera en aquest entorn. L'aparença dels objectes està determinada pel material que els compon, les fonts de llum i les textures.

2.1.1. Arquitectura

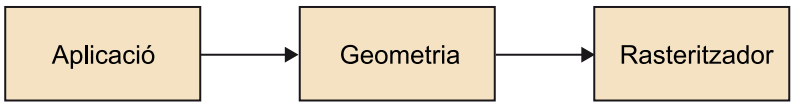
Al món físic, el concepte de *pipeline* està present de moltes maneres, des de les línies d'assemblatge d'una fàbrica fins als ascensors d'una estació d'esquí. El mateix principi s'aplica al *pipeline* gràfic.

Per a entendre el concepte de *pipeline*, farem servir l'exemple d'un oleoducte (*oil pipeline*). En aquest *pipeline*, l'oli no pot passar de la primera fase o etapa a la segona fins que l'oli que està a la segona fase passi a la tercera, i així successivament. Això implica que la velocitat del *pipeline* està determinada per la fase més lenta, independentment de la rapidesa de les altres fases.

Actualment, s'intenta que les fases d'un *pipeline* siguin independents per tal que es puguin executar en paral·lel, i no seqüencialment. No obstant això, si totes les fases d'un *pipeline* es poden executar en paral·lel, fet no sempre possible, el temps que triga el *pipeline* a executar-se sencer estarà determinat pel temps de la fase més lenta.

Per exemple, si la fase de col·locació de volants en una línia de muntatge de cotxes costa tres minuts i la resta d'etapes dos minuts, el rendiment màxim al qual pot arribar aquest sistema és el de produir un cotxe cada tres minuts: les altres etapes estaran parades durant un minut mentre la fase de col·locació del volant acaba. En aquest *pipeline* en particular, la fase de col·locació del volant es considera el coll d'ampolla (*bottleneck*), ja que determina la velocitat de la producció sencera.

Figura 19. Construcció bàsica del *pipeline* gràfic format per tres fases: aplicació, geometria i rasteritzador



Cada fase inclou un *pipeline* propi.

Aquest tipus de construcció de *pipeline* també es por trobar al context dels gràfics per ordinador en temps real. A la figura 19, es mostra una divisió a alt nivell del *pipeline* de visualització en temps real (*real-time rendering pipeline*) en tres etapes conceptuals:

- Aplicació
- Geometria
- Rasteritzador

Aquesta estructura és bàsica i s'utilitza en les aplicacions de gràfics per ordinador en temps real com les comentades als apartats anteriors. Normalment, cadascuna d'aquestes fases conté un *pipeline* propi, que inclou subetapes.

Com ja hem dit, és l'**etapa de *pipeline*** més lenta la que determina la velocitat del *pipeline*. En el cas del *pipeline* gràfic, la fase més lenta determina la velocitat de visualització (*rendering speed*), la ràtio d'actualització de les imatges al dispositiu de visualització. Aquesta velocitat es pot expressar en fotogrames per segon (fps), és a dir, nombre d'imatges visualitzades per segon, encara que també es pot representar en hertzs[1] (Hz), que és simplement la notació per 1/segons, la freqüència d'actualització.

(1)Els fotogrames per segon (fps) s'utilitzen per a expressar el rendiment mitjà durant un cert temps. L'hertz s'utilitza més per al maquinari (*hardware*), com les pantalles, i té una ràtio fixa.

Temps de generació d'una imatge

El temps que una aplicació utilitza per a generar una imatge pot variar substancialment, ja que es veu directament afectat per la complexitat dels càlculs fets a cada fotograma.

Seguint la figura 19, tal com informa el nom, l'**etapa d'aplicació** la gestiona l'aplicació i, per tant, la implementa el programari (*software*) que s'executa a les CPU de propòsit general. Normalment, aquestes CPU inclouen múltiples nuclis (*cores*) que tenen la capacitat de processar molts fils d'execució en paral·lel. Això permet que les CPU executin eficientment l'àmplia varietat de tasques que són responsabilitat de l'etapa d'aplicació.

Tasques que s'executen a la CPU

Tradicionalment, algunes d'aquestes tasques que s'executen a la CPU inclouen la detecció de col·lisions, algoritmes d'acceleració, animació, simulacions físiques i moltes altres, depenent del tipus d'aplicació.

L'etapa següent és la de **geometria**, que gestiona les transformacions, projeccions, etc. Aquesta etapa calcula què es visualitzarà, com i on s'hauria de visualitzar. L'etapa de geometria es processa, normalment, en una unitat de processament gràfic (GPU, vegeu la figura 20) que conté molts nuclis programables i maquinari per a operacions fixes. Finalment, l'etapa de rasterització renderitza una imatge utilitzant les dades que les etapes anteriors han generat i també processa càlculs a nivell de píxel, si es requereix.

Figura 20. Model de GPU: NVidia GeForce GTX 560

Cada fase inclou un *pipeline* propi.

2.1.2. Funcionament

Els punts, les línies i els triangles són les primitives de dibuixat que componen els models o objectes que s'han de renderitzar. Suposem que tenim una aplicació interactiva de CAD (*computer aided design*) i que l'usuari està examinant el disseny (o model) d'un dispositiu mòbil. Ara seguirem aquest model pel *pipeline* gràfic, descrit anteriorment, que consisteix en tres etapes: aplicació, geometria i rasterització. L'escena es renderitza amb perspectiva en una finestra de la pantalla. En aquest exemple, el model del telèfon inclou línies i triangles. Alguns dels triangles estan texturitzats amb una imatge 2D per tal de representar el teclat i la pantalla.

1) Aplicació

Les aplicacions CAD permeten a l'usuari seleccionar i moure parts del model.

- Per exemple, l'usuari podria seleccionar la part superior del telèfon i llavors moure el ratolí per tal de girar-lo. L'etapa d'aplicació ha d'informar del moviment del ratolí al sistema gràfic.
- Un altre exemple podria ser el moviment d'una càmera al llarg d'una ruta predefinida per a mostrar el telèfon des de diferents punts de vista. Els paràmetres de la càmera, com la posició i la direcció de la vista, han de ser actualitzats per l'aplicació. Per cada fotograma que s'ha de renderitzar, l'etapa d'aplicació informa de la posició de la càmera, de la il·luminació i de les primitives del model a l'etapa següent: geometria.

Les operacions de posicionament, rotació i escala es fan mitjançant l'ús d'operacions bàsiques de l'àlgebra, com poden ser la multiplicació de vectors i matrius. En aquesta etapa d'aplicació es calculen els valors de posicionament, rotació i escala que tindrà la matriu de transformació.

2) Geometria

En aquesta etapa, la geometria de l'objecte es transforma multiplicant-ne els vèrtexs i les normals, que són vectors, per la matriu de transformació calculada a l'etapa anterior. Un cop posicionats tots els objectes, se'n processen els vèrtexs utilitzant les propietats del material i les condicions d'il·luminació. Després es produeix la projecció, que transforma l'objecte en un espai cúbic d'una unitat. Totes les primitives fora d'aquest espai es descarten. Els vèrtexs es mapegen en una finestra de la pantalla. Posteriorment, es processen les operacions a nivell de polígon i el resultat s'envia al rasteritzador.

3) Rasterització

En aquesta etapa, les primitives es rasteritzen, és a dir, es converteixen en píxels en la finestra de la pantalla. Cada línia i triangle visible de cada objecte entra al rasteritzador, preparat per a la conversió. Aquells triangles que tenen associada una textura es renderitzen amb aquesta textura aplicada. Cada objecte es processa i la imatge final es mostra en pantalla.

2.1.3. Consideracions

Aquest *pipeline* gràfic és el resultat d'anys d'evolució de les API i del maquinari gràfic a l'àmbit de les aplicacions de visualització en temps real (*real-time rendering applications*). És important destacar que no és l'únic *pipeline* gràfic. Els *pipelines* gràfics fora de línia (*offline*) han evolucionat molt. El procés de renderització per a la producció de pel·lícules es duu a terme amb altres tipus de *pipelines*.

Lectures recomanades

Robert L. Cook; Loren Carpenter; Edwin Catmull (1987, agost). "The Reyes image rendering architecture". *SIGGRAPH Comput. Graph.* (vol. 21, núm. 4, pàg. 95-102).

Eric Tabellion; Arnauld Lamorlette (2004). "An approximate global illumination system for computer generated films". *ACM SIGGRAPH 2004 Papers* (pàg. 469-476). Joe Marks (Ed.). Nova York, NY: ACM.

Durant molts anys, per als desenvolupadors d'aplicacions, l'única manera d'utilitzar el procés descrit anteriorment va ser mitjançant el ***pipeline* de funció fixa** disponible a l'API gràfica en ús.

El nom de *pipeline de funció fixa* prové del fet que el maquinari gràfic que l'implementa està format per elements que no poden ser programats de manera flexible. Algunes parts es poden activar o desactivar, però no és possible crear programes per a controlar l'ordre en què les funcions s'apliquen en les etapes.

Exemple

L'últim exemple d'una màquina de funció fixa és la Wii de Nintendo.

Les GPU programables fan possible determinar exactament les operacions que s'han d'aplicar en diferents etapes del *pipeline*. Encara que l'estudi del *pipeline* de funció fixa és interessant per a conèixer aspectes bàsics del *pipeline*, els nous desenvolupaments i tendències apunten a les GPU programables.

2.2. Biblioteques de programació de gràfics per ordinador

2.2.1. DirectX

Microsoft DirectX és una col·lecció d'interfícies de programació d'aplicacions (API) per a gestionar tasques relacionades amb multimèdia, especialment, videojocs i vídeo, a les plataformes Microsoft (vegeu la figura 21).

Originalment, els noms d'aquestes API començaven per *Direct*, com Direct3D, DirectDraw, DirectMusic, DirectPlay, DirectSound, etc.

El nom de **DirectX** va ser creat com un terme per a referir-se a totes aquestes API i aviat va ser adoptat com a nom general d'aquesta col·lecció d'API.

Posteriorment, quan Microsoft va començar a desenvolupar una videoconsola, la *X* s'utilitzà com a base del nom per a indicar que estava basada en tecnologia DirectX: per exemple, Xbox. L'API de gràfics 3D dins de DirectX s'anomena *Direct3D* i s'usa molt en el desenvolupament de videojocs per a plataformes Microsoft: Windows, Xbox i Xbox 360. Direct3D també s'utilitza per a altres aplicacions de programari de visualització i gràfics com aplicacions CAD/CAM.

Aquesta biblioteca gràfica ofereix diversos beneficis per als programadors. En poder fer ús d'aquestes biblioteques, les quals són una col·lecció d'arxius DLL, els desenvolupadors no han de prendre en consideració totes les variables de l'entorn on s'estaria executant l'aplicació. Per exemple, el desenvolupador no ha de saber quina targeta gràfica o d'àudio té l'usuari a l'ordinador. DirectX és una capa intermèdia que porta tota la comunicació entre l'aplicació i els components del ordinador.

DirectX inclou els components següents:

- DirectDraw - gràfics 2D
- Direct3D - gràfics 3D
- DirectSound - so 2D
- DirectSound3D - so 2D
- DirectMusic - música
- DirectPlay - xarxa/multiusuari
- DirectInput - maquinari d'entrada com el teclat, el ratolí, controladors de jocs, etc.

Figura 21. Personatges de videojoc renderitzats amb DirectX 10 i 11, respectivament

2.2.2. OpenGL

El desenvolupament d'OpenGL va ser iniciat per Silicon Graphics. OpenGL és una biblioteca formada per aproximadament més d'un centenar d'ordres. Entre les accions principals que podem dur a terme mitjançant ordres OpenGL s'inclouen l'especificació dels objectes i de les operacions necessaris per a produir aplicacions interactives en 3D.

OpenGL s'ha dissenyat de manera independent del maquinari per tal de ser implementat sobre diferents plataformes (Windows, Unix, etc.). Per aquest motiu, no hi ha ordres per a executar tasques com la gestió de finestres o la lectura de dades d'entrada de l'usuari. OpenGL tampoc proveeix d'ordres d'alt nivell per a descriure models 3D. El model s'ha de construir a partir de primitives geomètriques simples com punts, línies i polígons.

OpenGL disposa d'un conjunt d'ordres potent però simple, que pot utilitzar per a crear ordres de dibuix de més alt nivell. S'han desenvolupat diferents biblioteques que augmenten la potència d'OpenGL:

- OpenGL Utility Library (GLU). Conté rutines que fan servir ordres OpenGL a baix nivell per a executar tasques com inicialitzar matrius d'especificació de vistes, projeccions, etc.

- OpenGL Utility Toolkit (GLUT). Com s'ha dit abans, OpenGL no proveeix de funcionalitats per a gestionar finestres ni llegir dades d'un teclat o ratolí. Per a solucionar-ho, sorgeixen biblioteques com GLUT, dependents del sistema operatiu.

- The OpenGL Programming Guide Auxiliary Library va ser desenvolupada com a suport didàctic del llibre *OpenGL Programming Guide*, facilitant la implementació d'exemples simples de programació en OpenGL.

Observació

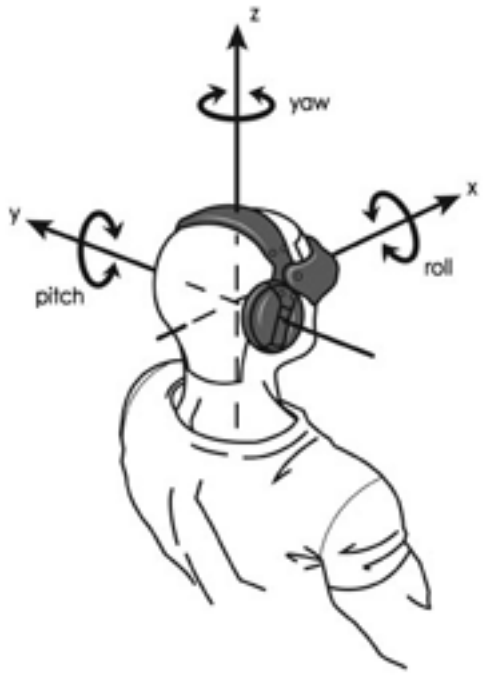
Cal afegir que no hi ha cap cost per al desenvolupament d'una aplicació que utilitza l'API OpenGL.

3. Tècniques de seguiment i interacció

3.1. Introducció

Els dispositius de seguiment són components intrínsecs de qualsevol sistema de realitat virtual. Aquests dispositius es comuniquen amb la unitat de processament del sistema i li informa de l'orientació del punt de vista de l'usuari. En els sistemes que permeten a l'usuari moure's dins d'un espai físic, els dispositius de seguiment detecten on és l'usuari, la direcció del moviment i la seva velocitat.

Figura 22. Detecció de sis graus de llibertat (6-DOF)



S'utilitzen diversos tipus de sistemes de seguiment en els sistemes de realitat virtual, però tots tenen algunes coses en comú. S'hi poden detectar sis graus de llibertat (6-DOF): la posició de l'objecte dins de les coordenades *X*, *Y* i *Z* d'un espai i l'orientació de l'objecte, on l'orientació inclou tres angles d'un espai 3D, com es mostra a la figura 22.

Des de la perspectiva de l'usuari, això significa que quan s'utilitza un **HMD** (casc muntat al cap), la vista canvia quan es mira cap amunt, avall, esquerra i dreta. També canvia si s'inclina el cap en un angle o es mou el cap cap endavant o cap enrere sense canviar l'angle de la vista. El dispositiu de l'HMD informa l'etapa d'aplicació on s'està mirant, i la CPU envia les imatges correctes a les pantalles de l'HMD.

Cada sistema de seguiment té un dispositiu que genera un senyal (per exemple, emissor), un sensor que detecta el senyal i una unitat de control que processa el senyal i envia la informació a l'etapa d'aplicació. Alguns sistemes requereixen que es connecti el sensor a l'usuari (o a l'equip de l'usuari). En aquest tipus de sistema, es col·loquen els emissors de senyal en punts fixos de l'entorn. Alguns sistemes estan a l'inrevés, amb l'usuari portant els emissors mentre està envoltat per sensors col·locats dins l'entorn, com seria el cas del casc.

3.2. Taxonomia

Els sistemes de seguiment es poden classificar segons considerem el tipus d'entorn o la tecnologia. Segons el tipus d'entorn poden ser interiors o exteriors, i segons la tecnologia, poden ser basats en sensors o en visió. A la taula 1, se'n pot veure un resum.

En les seccions següents analitzarem els sistemes segons la perspectiva de la tecnologia, és a dir, segons si estan basats en sensors o en visió.

		Entorn	
		Exterior	Interior
Tecnologia	Sensors	Experimental. Treballs amb GPS de precisió i sensors inercials.	Grans infraestructures. Sistemes magnètics, òptics, ultrasò, etc.
	Visió	Tècniques de detecció de característiques en la imatge.	Possibilitat de preparar l'entorn amb marcadors.

3.3. Sistemes basats en sensors

Els sistemes basats en sensors poden utilitzar diverses tecnologies i molt sovint es classifiquen segons la tecnologia emprada. Les tecnologies més habituals utilitzades als sensors són: mecàniques, inercials, acústiques, magnètiques, òptiques i basades en ràdio o microones.

> El punt fort d'aquests sistemes és l'elevada precisió que ofereixen, però també tenen una sèrie de desavantatges com la necessitat de fer una instal·lació normalment costosa i complexa, la limitació en el rang de seguiment i les possibles interferències que s'hi puguin produir.

A més a més, pocs sistemes amb sensors tenen aplicació en entorns exteriors.

3.3.1. Sensors mecànics

Es podria dir que és l'enfocament més simple conceptualment. Els sensors mecànics solen implicar algun tipus de vinculació física directa entre l'objectiu i l'entorn.

L'enfocament típic consisteix en una sèrie articulada de dues o més peces mecàniques rígides interconnectades amb transductors electromecànics, com ara potenciòmetres o codificadors (*encoders*). A mesura que l'objectiu es mou, la sèrie articulada canvia la forma i els transductors es mouen en conseqüència.

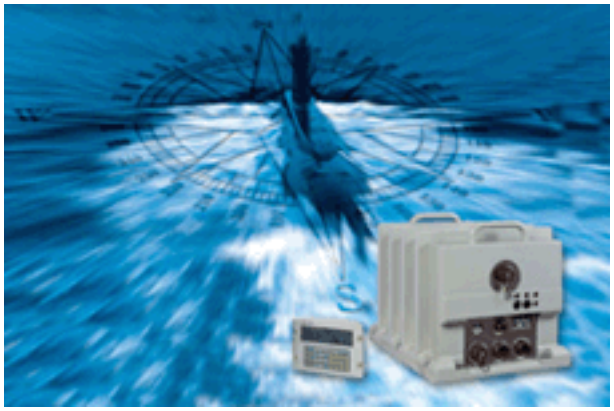
Amb l'ús d'un coneixement *a priori* sobre les peces rígides mecàniques i mesuraments en línia dels transductors, es pot estimar la posició de l'objectiu a l'entorn.

Aquest enfocament pot proporcionar estimacions molt precises i exactes pel que fa a un sol objectiu, però només durant un relatiu petit rang de moviment.

3.3.2. Sensors inercials

Els sistemes de navegació inercial (INS) es van generalitzar per als vaixells, submarins i avions en la dècada dels anys cinquanta, abans que la realitat virtual o els gràfics per ordinador fossin concebuts, però van ser de les últimes tecnologies que es van adoptar com a dispositius d'entrada dels sistemes gràfics . La raó és senzilla: un INS conté giroscopis d'alta precisió que **pesen massa** per a ser connectats al cos d'una persona. No va ser fins a l'arribada dels sistemes microelectrònics a la dècada dels anys noranta que va començar el desenvolupament dels dispositius d'entrada inercials (vegeu la figura 23).

Figura 23. Sistema de navegació inercial per a submarins de l'empresa SAGEM



Avui en dia, els sensors inercials són completament autònoms, per la qual cosa no han d'instal·lar emissors, ja que són capaços d'emetre la informació. A més, no són sensibles a les interferències electromagnètics o el soroll ambient.

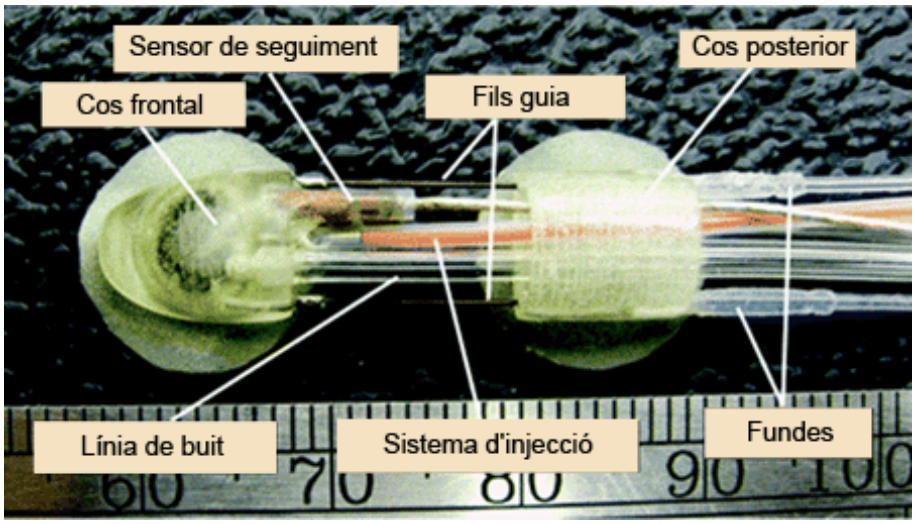
3.3.3. Sensors acústics

Els sistemes acústics utilitzen la transmissió i la detecció d'ones sonores. Tots els sistemes acústics comercials funcionen mesurant el temps de la durada del vol d'un breu pols ultrasònic des de l'emissor i el receptor on l'usuari és o l'emissor o el receptor.

3.3.4. Sensors magnètics

Els sistemes magnètics es basen en mesuraments del vector del camp magnètic al sensor, utilitzant magnetòmetres o el corrent induït en una bobina electromagnètica quan un canvi al camp magnètic passa a través de la bobina. Tres sensors magnètics ortogonalment orientats en un sensor únic pot proporcionar un vector 3D que indica l'orientació de la unitat respecte a l'entorn (vegeu la figura 24).

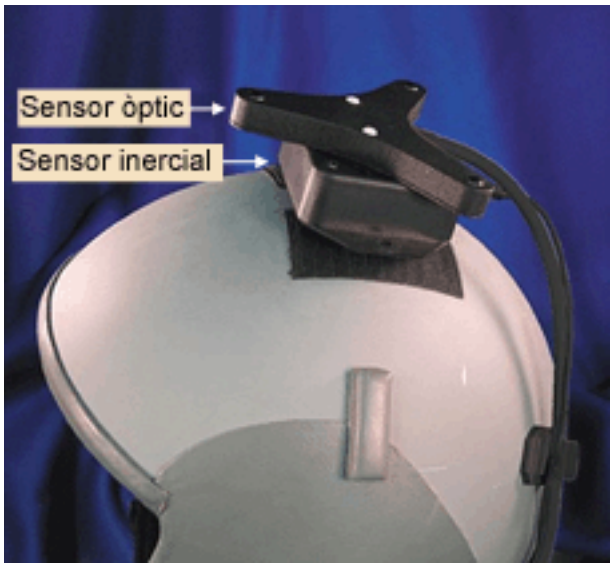
Figura 24. Sensor electromagnètic en un sistema d'injecció



3.3.5. Sensors òptics

Els sistemes òptics es basen en mesuraments de la llum reflectida o emesa. Aquests sistemes, inevitablement, tenen dos components: fonts de llum i sensors òptics. Les fonts de llum podrien ser objectes passius que reflecteixen la llum ambient o dispositius actius que emeten llum generada internament. Exemples de fonts de llum passives inclouen les superfícies naturals a l'entorn. Exemples de fonts de llum actives inclouen díodes emissors de llum (LED), làser, o simples bombetes.

Figura 25. Sensor òptic en un producte de l'empresa Hy-BIRD



3.3.6. Sensors de ràdio i microones

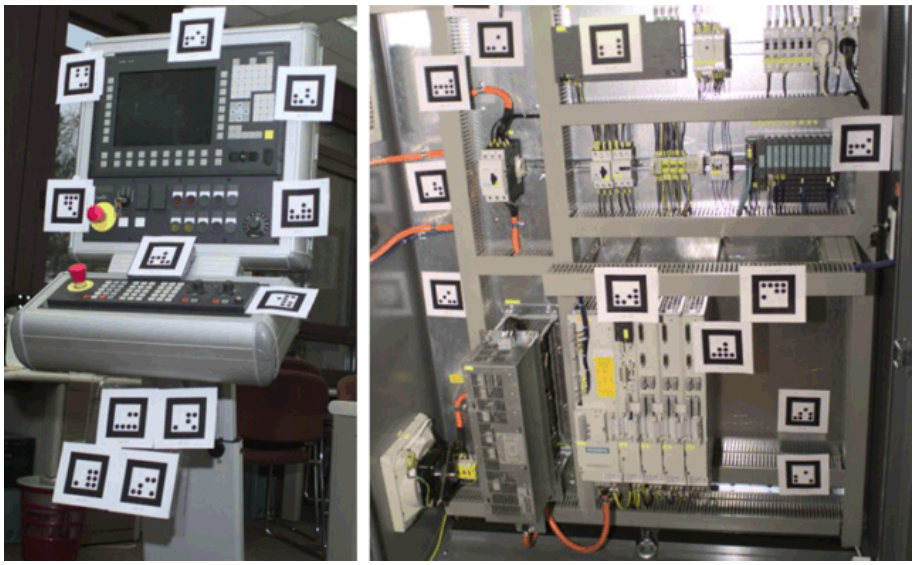
La ràdio i les microones no s'han explotat gaire en el seguiment de moviment humà, però són àmpliament utilitzades en sistemes de navegació i diversos sistemes d'ajuda d'aterratge en aeroports i sistemes de radar. Aquestes tecnologies també han començat a ser utilitzades en sistemes de posicionament local que troben productes amb etiquetes de radiofreqüència en magatzems o hospitals, és a dir, podrien ser utilitzats per als sistemes de seguiment de moviment humà en el futur a mesura que millora la precisió i la tecnologia es fa més petita i més barata.

3.4. Sistemes basats en visió

Aquests sistemes es basen en la detecció de característiques de la imatge. Són sistemes que actualment estan desenvolupant-se a gran velocitat, tenen un baix cost i poden operar tant en entorns interiors com exteriors amb preparació o sense.

En funció de l'entorn es poden classificar en entorns preparats i entorns no preparats. Als entorns preparats, s'afegeixen un conjunt predefinit de marcadors que facilita l'estimació de la posició (vegeu la figura 26).

Figura 26. Sistema amb marcadors



4. Caracterització d'un sistema de realitat augmentada

4.1. Introducció

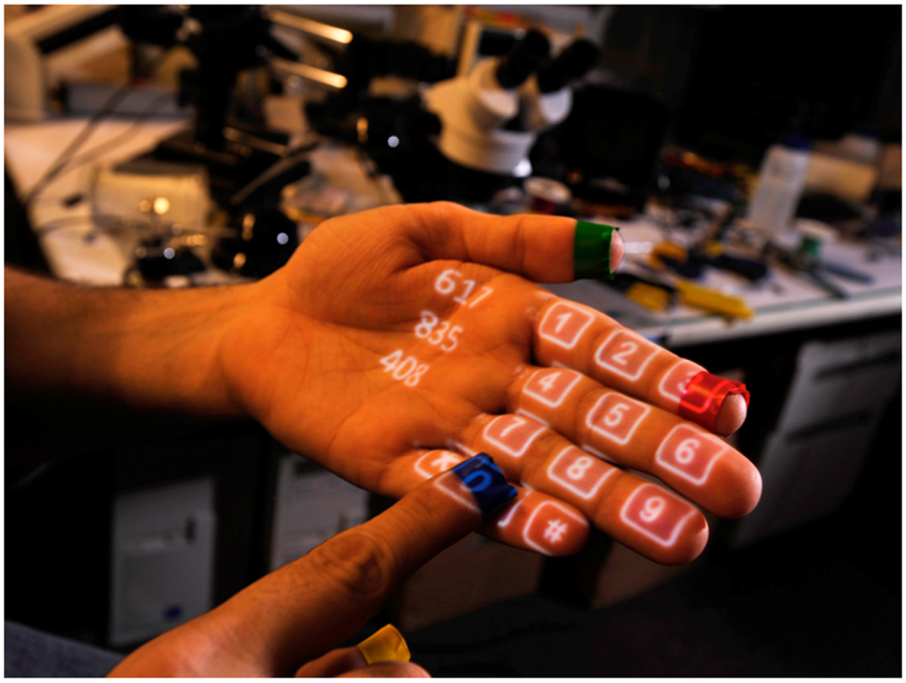
Els videojocs ens han entretingut durant gairebé trenta anys. Des que Pong es va introduir a les màquines recreatives a la dècada dels anys setanta, els gràfics d'ordinador s'han tornat molt més sofisticats; tant és així, que els gràfics estan empenyent les barreres del realisme fotogràfic. Actualment, una nova tecnologia, anomenada **realitat augmentada**, difumina la línia entre el que és real i el que és generat per ordinador mitjançant la millora del que veiem, sentim, toquem i olorem.

> En l'espectre entre la realitat virtual, que crea entorns immersius generats per ordinador, i el món real, la realitat augmentada és més a prop del món real.

La realitat augmentada afegeix gràfics, sons, *feedback* tàctil i l'olor al món natural. En aquest sentit, tant els videojocs com els telèfons mòbils estan impulsant el desenvolupament de la realitat augmentada. Tothom, des dels turistes als soldats, fins a algú que busca la parada de metro més propera ara poden beneficiar-se de la capacitat de col·locar gràfics generats per ordinador en el seu camp de visió.

La realitat augmentada està canviant la manera com veiem el món –o almenys la manera com els seus usuaris veuen el món. Si ens imaginem caminant o conduint amb pantalles de realitat augmentada, apareixeran gràfics informatius al nostre camp de visió. Aquestes informacions s'actualitzaran contínuament per a reflectir els moviments del nostre cap. Dispositius i aplicacions similars a aquesta ja existeixen, sobretot en els telèfons intel·ligents com l'iPhone (vegeu la figura 27).

Figura 27



El sistema de realitat augmentada SixthSense permet projectar un teclat del telèfon a la mà i el telèfon d'un amic –sense treure el telèfon de la butxaca.

4.2. Caracterització

La idea bàsica de la realitat augmentada consisteix a superposar gràfics, àudio i altres millores sensorials en un entorn real en temps real.

> Més formalment, la realitat augmentada és una variació del concepte d'*entorn virtual* o *realitat virtual*.

Lectures recomanades

R. T. Azuma (1997, agost). "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (vol. 6, núm. 4).

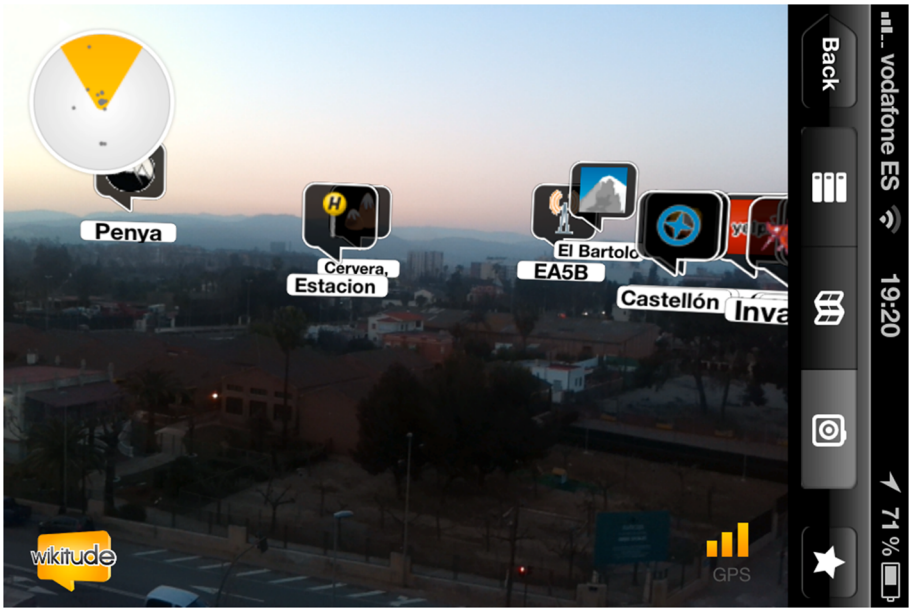
R. T. Azuma; Y. Baillot; R. Behringer; S. Feiner; S. Julier; B. MacIntyre (2001, novembre). "Recent Advances in Augmented Reality". *Computers & Graphics*.

L'entorn és real i s'augmenta incloent elements virtuals com text, gràfics 2D, objectes 3D, sons, percepcions tàctils, etc, és a dir, la realitat augmentada tracta d'augmentar l'entorn del món real amb informació virtual per tal de millorar el coneixement i les sensacions de l'usuari. En resum, aquesta combina elements virtuals amb elements del món real. Hi ha tres característiques fonamentals i comunes en els sistemes de realitat augmentada:

- La combinació de l'entorn del món real amb elements generats per ordinador
- La interactivitat en temps real
- Les escenes en 3D (vegeu la figura 28)

La vista de la realitat es modifica per ordinador i proporciona una percepció millorada de la realitat. Per contra, la realitat virtual substitueix el món real per un altre de simulat.

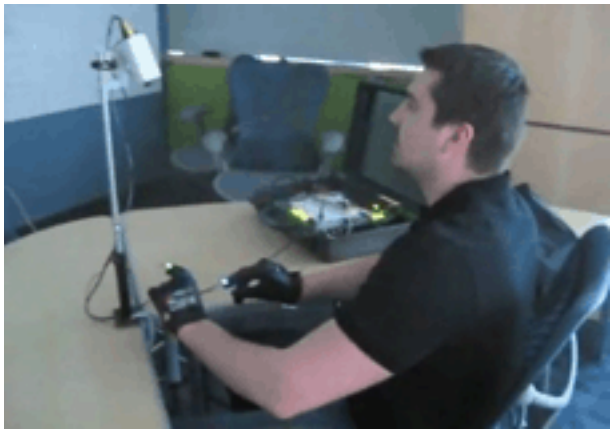
Figura 27. Sistema de realitat augmentada en un dispositiu mòbil: App Wikitude en un iPhone 4



4.2.1. Augmentació visual, auditiva i tàctil

L'augmentació consisteix a incrementar les sensacions percebudes per l'usuari en qualsevol dels seus sentits. L'augmentació visual és la més habitual, encara que també hi ha l'auditiva, on s'afegeixen o eliminen sons a l'entorn, o la tàctil, on s'utilitzen guants amb coixinets de pressió (vegeu la figura 29).

Figura 29. Sistema de realitat augmentada amb augmentació tàctil



A més, l'augmentació visual pot presentar dos tipus de mescla: òptica i de vídeo. Per una part, la mescla òptica consisteix a utilitzar cascos de visió transparents. La imatge real es visualitza directament, i es mescla amb les imatges sintètiques mitjançant combinadors específics (vegeu la figura 30). Per una altra part, en la mescla de vídeo, l'entorn real s'afegeix per mitjà d'una o dues càmeres, i es mescla el vídeo obtingut amb les imatges sintètiques (vegeu la figura 31).

Figura 30. Augmentació visual amb mescla òptica

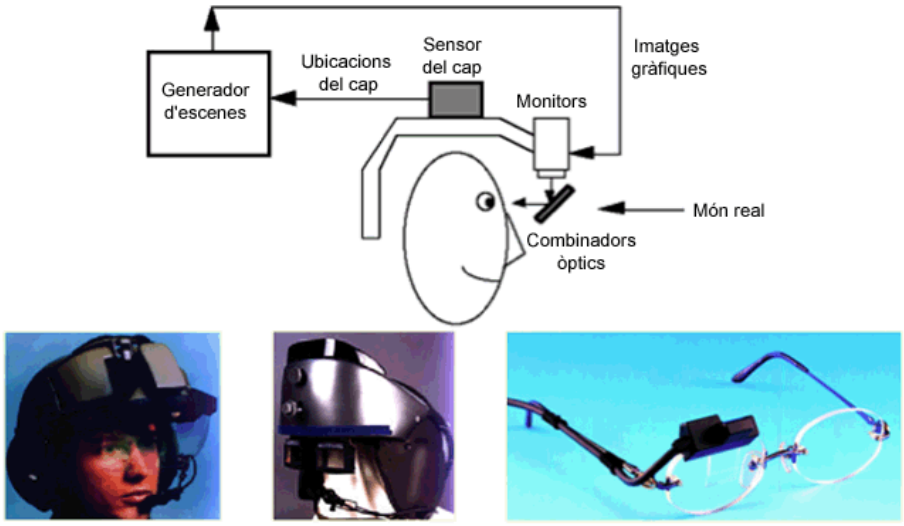
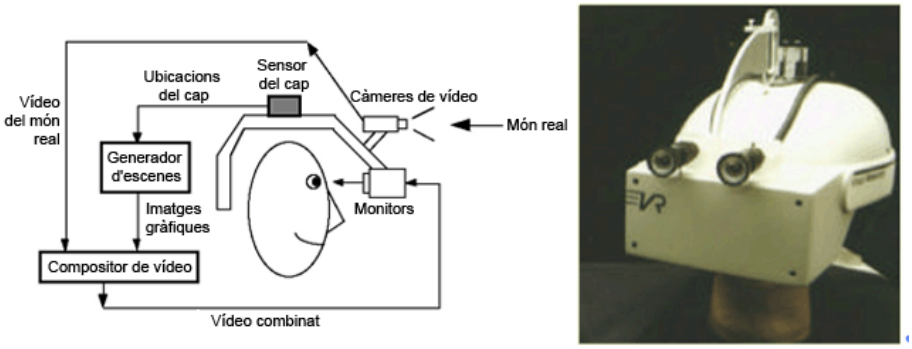


Figura 31. Augmentació visual amb mescla de vídeo



4.2.2. Portabilitat

Algunes aplicacions de realitat augmentada requereixen que l'usuari es pugui desplaçar a entorns amplis. Això implica el disseny de sistemes de poc pes i altes prestacions, encara que poden tenir una dificultat afegida si cal comunicació.

Depenent de l'aplicació, també es poden presentar necessitats d'ajust d'enfocament i de contrast.

4.3. Registre: problemàtica i errors

En un entorn de realitat augmentada, els objectes reals i virtuals s'han d'alinear entre si de manera correcta, però això no és fàcil i sovint es tenen problemes perceptius i cinemàtics. Els problemes que s'hi produeixen es poden classificar en estàtics i dinàmics.

- Classifiquem en errors estàtics al registre els deguts a distorsions òptiques, errors de localització, errors d'alineació de components i utilització de paràmetres de visió incorrectes.

- Els errors dinàmics son aquells deguts a retards en el sistema: localització, comunicacions, generador de l'escena, etc.

Per tal de millorar el sistema de registre s'utilitzen tècniques complementàries basades en visió. D'aquesta manera, podem recolzar-nos en la imatge real per tal d'ajustar el procés de registre. Habitualment mitjançant la inclusió de marques en l'entorn (entorns controlats o preparats), això permet registres precisos, amb errors inferiors a un píxel de resolució.

4.4. Localització

En un sistema de realitat augmentada és necessari localitzar l'observador. Per a fer un registre correcte cal conèixer la posició i la direcció d'observació de l'usuari en l'entorn real. L'ús de tècniques de seguiment híbrides (sensors magnètics, òptics, sistemes GPS...) facilita molt aquesta tasca. El problema és més important quan s'opera en un entorn ampli i no preparat. Actualment, hi ha un esforç comercial per minimitzar els retards produïts pels sensors de localització.

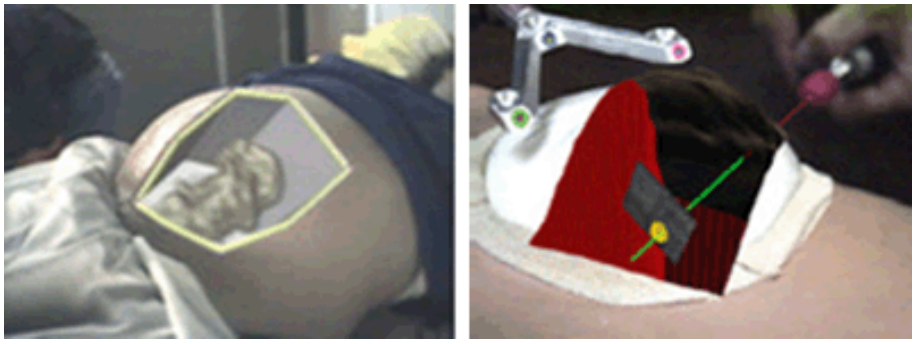
4.5. Aplicacions

A continuació veurem aplicacions dels sistemes de realitat augmentada.

4.5.1. Medicina

Es basen a utilitzar dades procedents de sensors no invasius (ressonància magnètica, tomografia, ultrasons, etc.) i superposar una visualització 3D de les dades sobre el pacient real. A la figura 32 se'n poden observar dos exemples.

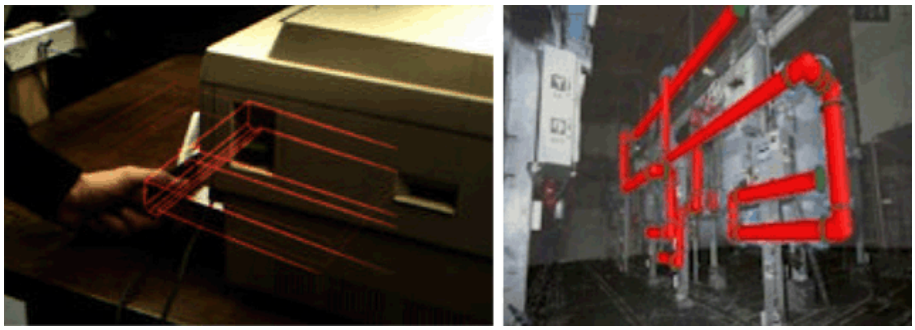
Figura 32. Aplicació de realitat augmentada en medicina



4.5.2. Reparació i manteniment

Inclusió d'instruccions pas a pas en forma de gràfics 3D superposats a l'objecte que s'ha de reparar. És molt útil per a la visualització d'objectes "no visibles" (instal·lacions elèctriques, sistemes de canonades, etc.). A la figura 33 se'n poden observar dos exemples.

Figura 33. Aplicació de realitat augmentada en reparació i manteniment



4.5.3. Anotació

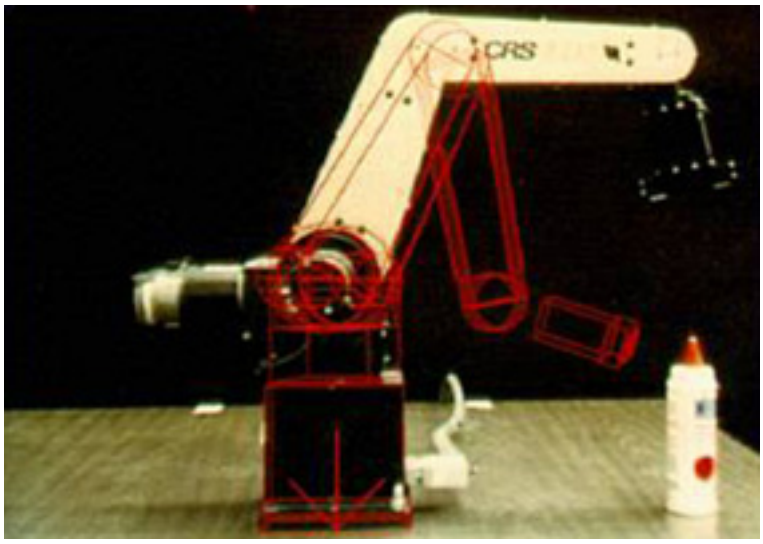
Consisteix a mostrar informació procedent d'una base de dades que està associada a un objecte real que l'usuari està observant. La informació subministrada sol presentar-se com a text o gràfics simples. A la figura 34 se'n poden observar dos exemples.

Figura 34. Aplicació de realitat augmentada amb anotacions

4.5.4. Planificació de tasques de robots

En la teleoperació de robots, l'usuari controla una versió virtual del robot en temps real. Posteriorment, quan l'usuari està segur que les ordres són correctes, aquestes s'executen en el robot real. A la figura 35 se'n pot observar un exemple.

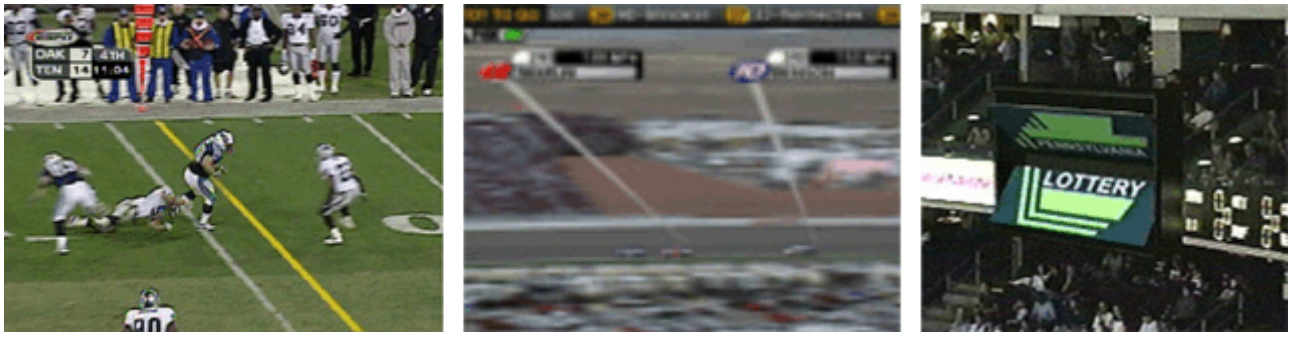
Figura 35. Aplicació de realitat augmentada en teleoperació de robots



4.5.5. Entreteniment i publicitat

Un exemple és la inclusió d'informació en transmissions esportives i superposició d'elements publicitaris en imatge real. A la figura 35 se'n poden observar tres exemples.

Figura 36. Aplicació de realitat augmentada en entreteniment i publicitat



4.6. Tendències futures

Avui en dia hi ha diverses línies que s'estan millorant. Són les següents:

- L'ús de sistemes de localització híbrids (per exemple, sensors òptics, magnètics, etc.) amb àmplia cobertura.

- Millora en les tècniques de síntesi d'imatges en temps real.

- Estudis perceptuals i psicosocials.

- Roba intel·ligent (*wearable computing*). Per exemple, l'ús d'una samarreta que permeti augmentar la realitat incloent informació extra. Aquest podria ser el cas d'unes sabates a les quals es pot indicar una ruta. D'aquesta manera, sabent on és l'usuari i on és la destinació gràcies a l'ús d'informació GPS, les sabates podrien guiar l'usuari indicant-li si ha d'anar cap a la dreta

o cap a l'esquerra mitjançant vibracions al peu corresponent a la direcció cap a on ha de girar.

- Disseny d'interfícies d'usuari per a diferents tipus de dispositius.

- Èmfasi en el desenvolupament i la implantació d'aplicacions finals realment operatives.