

Användning av accelerometrar i VR-system

William Lindroos

Åbo Akademi

Fakulteten för Naturvetenskap och Teknik

Kandidatavhandling i Datateknik

Handledare: Jerker Björkqvist

Datum: 04.04.2022

Innehållsförteckning

Förkortningar	3
1. Inledning	4
2. Virtuellt verklighet	5
2.1 Olika typer av VR	6
2.2 Virtuellt miljö	7
3. Tekniskt om accelerometrar	9
3.1 Hur en accelerometer fungerar	9
3.2 Accelerometrar i IMU-moduler	11
4. HMD eller VR-glasögon	12
4.1 IMU:n i VR-glasögon	14
4.2 Framtiden av HMD och VR system	15
5. Sammanfattning	17
6. Litteraturförteckning	17

Förkortningar

- VR - Virtuellt verklighet / Virtual Reality (eng)
- AR - Förstärkt Verklighet / Augmented Reality (eng)
- MR - Blandad verklighet / Mixed Reality (eng)
- XR - Utvidgad verklighet / Extended Reality (eng)
- HMD - Huvudmonterad display / Head-mounted display (eng)
- VRT - Virtuellt verklighets tekniker / Virtual reality technologies (eng)
- VV - Virtuellt miljö / Virtual World(eng)
- MEMS - Mikroelektromekaniska system / Microelectromechanical systems (eng)
- IMU - Tröghetsmätningseenhet / Inertial Measurement Unit (eng)
- DoF - Frihetsgrader / Degrees of Freedom (eng)

1. Inledning

Virtuell verklighet (VR) eller even datorsimulerad verklighet är datateknik som simulerar miljöer som kan likna verklighet eller vara totalt fiktiva miljöer där man kan närvara sig och växelverka med den omgivning man är placerad i. Man kan uppleva virtuell verklighet med till exempel VR-glasögon, så kallad huvudmonterad display (HMD), som visar i realtid en datorbaserad modell av en miljö. VR-glasögonen känner av huvudets rörelser och kan rikta blicken av användaren och illustrera bilder av modellen i den motsvarande riktningen i miljön. Detta innebär att man kan åskåda modellen genom att luta eller vrida på huvudet för att få en bättre blick på omgivningen.

För att kunna uppskatta huvudets rörelser så använder VR system sig av sensorer för att kunna läsa av användarens rörelser. Dessa sensorer är accelerometrar, gyroskop och magnetometrar. I denna avhandling kommer jag att gå igenom hur accelerometrar fungerar, vad virtuell verklighet är och hur accelerometrar används i virtuell verklighets tekniker (VRT).

2. Virtuellt verklighet

VR är uppslukande teknologi som simulerar miljöer, vare de inbillade eller verkliga, och ger användaren möjligheten att närvara sig och interagera med dem. VR som vi vet idag har sitt ursprung på 1960-talet då Ivan Sutherland skrev ett manuskript där han försökte beskriva VR som ett fönster genom vilket en användare kunde uppfatta den virtuella världen som den såg ut, kändes och lät verklig samt var användaren kunde agera med omgivningen realistiskt. [6,7] De första, så kallade Sensorama simulatorer, gjordes av Morton Heilig. De var 360-graders konstverk som man kunde skåda igenom en "Stereoscopic-television apparatus" som var kopplad till en typs apparat som på utsidan liknade en fotoautomat. Sensorama simulatören och "Stereoscopic-television apparatus" var de första designerna av VR system och HMD. Systemet skapade den fullständiga illusionen genom att utnyttja flera sinnen såsom: syn, känsel, hörsel och lukt. En av de första upplevelserna som var exklusivt gjort för Sensoramat var att åka motorcykel genom New York. Man lyckades med detta genom att ha en tredimensionell färgfilm med kombination av riktad ljud, vibrationer, dofter och vind. Det som fattades från Heligs system var interaktivitet som Sutherland hade beskrivit i sin skrift om den ultimata bildskärmen. Denna utveckling lyckades Philco med när de tillsammans med Sutherland utvecklade "The Sword of Damocles" som var den första äkta HMD-systemet var användaren kunde se omkring självständigt. Systemet var också delvis genomskinligt som i kombination med andra funktioner av systemet så är det också citerat som en föregångare till förstärkt verklighet (AR).

Sedan dess har flera definitioner formulerats, så som Fauch och Bishop beskrev VR som ett sätt att i realtid interagera med 3D-modeller, kombinerat med en display teknik som möjliggör att användaren kan fördjupa sig i och direkt manipulera modellvärlden. [8]

Användarens upplevelse kan beskrivas i tre vanliga egenskaper: fördjupning, uppfattning och möjligheten att närvara sig i och växelverka med miljön. Speciellt vad det gäller fördjupning handlar det om mängden sinnen som

stimuleras, växelverkan och verklighetens likhet med den stimuli som används för att simulera miljöer. Denna funktion beror starkt på de egenskaper som det tekniska systemet som används för att isolera användaren från verkligheten.

Kort sagt kan VRT definieras som högteknologiska gränssnitt mellan människor och datorer som innefattar interaktion och simulering i verkligheten genom flera olika sinnen, vilket får användare att interagera med virtuella objekt på ett sätt som liknar hur de skulle integrera i riktiga världen.

2.1 Olika typer av VR

Det finns många olika sätt att uppleva virtuella verkligheter, skillnaden mellan dessa är inte så värst stora men ändå viktiga. De olika typerna är: VR, som är en fullständigt datorsimulerad upplevelse där man är fullständigt insjunken i en virtuell värld där man kan växelverka med omgivningen med hjälp av någon typ av inmatningsenheter. Vanligaste kännetecknen av VR är växelverkan med miljön, fördjupning, utnyttjandet av flera sinnen och syntetiska miljöer.

Man upplever VR med hjälp av HMD:er samt inmatningsenheter som fungerar som sättet att växelverka med världen. Systemet använder sig av positionsspårning och reagerar till användarens stimuleringar.

Förstärkt verklighet

AR är en teknik som förbättrar uppfattningen, den alltså tillsätter något till den riktiga världen. Det åstadkoms med hjälp av till exempel HMD:er och mobila telefoner. En grundläggande egenskap hos AR är att den förenar den verkliga och den virtuella världen. AR syftar till att förbättra vår uppfattning av verkligheten genom att komplettera den verkliga världen med virtuella datorgenererade objekt och simuleringar till våra sinnen vilket skapar ett verklighetsbaserat gränssnitt. AR använder sig av datorseende och objektigenkänning för att kunna känna igen den miljö den befinner sig i.[9]

Blandad verklighet

Blandad verklighet (MR) är en blandning av den fysiska och digitala världen där vissa element infogas till den fysiska världen med avsikten att ge illusionen av att dessa element är en del av verkligheten. Huvudmålet med MR är att kombinera de bästa aspekterna av VR och AR men det kan också hänvisa till hela spektrumet av simulationer mellan VR och AR. Detta innebär att MR kan blanda VR och AR i olika konfigurationer och används som ett oberoende koncept för att klassificera spektrumet av VRT:n. MR åstadkoms med hjälp av HMD:n och är överlagring av digitalt innehåll på den verkliga världen och är förankrad till och växelverkar med den riktiga miljön. [10]

Utvidgad verklighet

Till sist är Utvidgad verklighet (XR) som är en kombination av de andra typerna av VRT:na och avses vara alla verkliga och virtuella kombinerade miljöer och interaktioner mellan människa och maskin som är genererade av datorteknik och bärbara enheter. XR innefattar de områden som interpoleras mellan VR, AR och MR och nivåerna av virtualitet sträcker sig från delvis sensorisk stimulans till fullständigt uppslukande VR. En nyckel aspekt av XR är utvidgningen av den mänskliga upplevelsen, särskilt relaterat till sinnen för existens och förvärvande av kognition.

2.2 Virtuellt miljö

I litteratur gällande VR ingår även termen virtuellt miljö (VV). Dessa är datorbaserade simulerade miljöer och världar där användaren kan utforska och växelverka med den virtuella världen. De kan också vara befolkade av andra användare som man kan kommunicera med och man kan delta i olika aktiviteter. Man växelverkar med VV:er med hjälp av olika inmatningsenheter samt kommunikation med andra användare med hjälp av text, visuella rörelser

eller röstkommandon. Igenom dessa kan användaren uppleva en närvaro i virtuella världen och gör upplevelsen mer verklighetstrogen.

En VV kan byggas på ett par olika sätt. Man kan bygga virtuella världar med hjälp av VR kameror samt med hjälp av olika datorprogram.

3. Tekniskt om accelerometrar

En accelerometer är ett verktyg som mäter korrekt acceleration, vilket är accelerationen föremål upplever i förhållande till fritt fall. Detta är alltså hastigheten för förändring av ett objekts hastighet i kroppens momentana vilorum. Vilorum är i speciell relativitet var partikeln i ett koordinatsystem är i vila. Detta möjliggör att accelerometrar kan mäta exakta värden på grund av att jordens gravitation inte har en effekt på mätningen.

En accelerometer mäter i enheten meter per sekund i kvadrat (m/s^2) eller i G-krafter (g), en G-kraft på jorden är ekvivalent till ungefär $9.8 m/s^2$. En accelerometer i vila i förhållande till jordens yta kommer indikera cirka 1 g uppåt på grund av gravitationskraften. Accelerometare subtraherar detta värde och korregerar värden i relation till jordens rotation. Accelerometrar är användbara för att känna av vibrationer eller för att känna igen riktning i olika tillämpningar såsom i mobila enheter för att bilder skall visas upprätt.[2,4]

3.1 Hur en accelerometer fungerar

Accelerometrar är elektromekaniska apparater som kan känna statiska eller dynamiska krafter av acceleration. Till de statiska krafterna hör gravitation och konstant centrifugalkraft, medan till de dynamiska krafterna hör vibrationer och rörelse. Accelerometrar kan mäta acceleration i en, två eller tre axlar. 3-axliga accelerometrar har blivit mer vardagliga i och med att deras produktionspris har minskat.[2] I allmänhet finns det två typer av accelerometare, AC- och DC-kopplade accelerometare. AC accelerometare kan endast mäta statisk acceleration medan DC accelerometare kan mäta både statisk och dynamisk acceleration och kan mäta ner till noll Hertz. Det finns två typer av DC accelerometare: kapacitiva- och piezoresistiva accelerometare.

Kapacitiva accelerometare

Kapacitiva accelerometrar innehåller kapacitiva plattor som är i förhållande till varandra. Ett par plattor är fixerade på ställe medan andra är fästa till små fjädrar som rör sig internt när accelerationskrafter agerar på sensoren. När dessa plattor rör sig i relation till varandra så förändras kapacitansen mellan dem. Från dessa förändringar så kan accelerometern räkna ut hastigheten och riktningen av accelerationskraften. Den här typens accelerometare brukar vara billigt producerat och lider vanligtvis av dålig signal-brusförhållande samt begränsat dynamiskt omfång. De har också en integrerad klockfrekvens som en del av strömdetektering kretsen, som är alltid med i utsignalen på grund av internt läckage. Men mätaren kräver endast en likspänningskälla för att drivas på grund av dess inbyggd förstärkare. Kapacitiva accelerometare erbjuder bra linjäritet och hög utmatnings stabilitet samt är perfekta för att mäta låg frekvens rörelser där g-krafter är låga.

Piezoresistiva accelerometare

Piezoelektricitet är en egenskap av vissa kristaller som ger ut elektricitet när de utsätts för mekaniska krafter, samt omvandlar elektricitet till mekaniskt arbete. Piezoelektriska effekten uppstår då en spänning genereras över kristallen när den utsätts för stress. Accelerationen av mätaren överförs till en seismisk massa inuti accelerometaren som genererar en proportionell kraft på den piezoelektriska kristallen. Denna yttre spänningen på kristallen genererar sedan en elektrisk laddning med hög impedans som är proportionell mot den applicerade kraften och därmed proportionell mot accelerationen. Piezoresistiva accelerometare är känsliga för temperaturvariationer men de är väldigt bra hantera höga g-krafter. [11]

Fler än en accelerometrar användas i VR-system och då två accelerometrar samordnas med varandra kan de mäta skillnader i korrekt acceleration i

gravitation och över deras separering i rymden, det vill säga gravitationsfältets gradient. Detta är användbart eftersom det finns skillnader på gravitationen på jorden på basis av jordens densitet och detta hjälper till att få mer pålitliga värden.

3.2 Accelerometrar i IMU-moduler

Accelerometrar är väldigt bra på att känna igen rörelse i x-, y- och z-axlarna men de kan ej känna igen vridning. För att hjälpa till med denna svaghet använder sig VR-system av gyroskop för att känna igen vridningen av kroppen, alltså för rotations spårning. Gyroskop är enheter som använder sig av jordens dragningskraft för att indikera ett objekts orientering och vinkelhastighet. På grund av att VR-system är så kompakta så finns det hög sannolikhet för magnetiska störningar som skulle kunna förhindra pålitlig mätning av värden från accelerometare och gyroskop. Därför använder VR-system sig av magnetometare för att rätta till möjliga fel som kan uppstå på grund av störningar. Magnetometare är mätinstrument som mäter riktningen och styrkan av magnetiska krafter samt relativa förändringen av magnetfält runt instrumentet.

Dessa tre sensorer används tillsammans i så kallade tröghetsmätningseenheter (IMU). Dessa elektroniska enheter kan rapportera och mäta vinkelhastighet, kroppens specifika kraft och kroppens orientering. [3]

4. HMD eller VR-glasögon

VR upplevs med hjälp av HMD:er. Dessa är enheter som bärs över huvudet och har en display framför en eller båda av dina ögon. Displayen strömmar bilder, data och annan information framför användarens ögon. Vissa HMD:er har en skärm för båda av användarens ögon.

Displayen har ett brett synfält för att täcka ögats hela synfält så att en trovärdig illusion uppehålls. Den åstadkommer detta med användning av lenser för en bekvämare avlägsen fokalpunkt och hög upplösning och bildhastighet för att vara jämförbar med ögats upplösning och bildhastighet.

HMD:n spårar också rotation och ändrar på de bilder som användaren visas då de rör på huvudet. Detta är en viktig aspekt av HMD:n som tillåter användaren att bli fördjupad och känna en närvaro i upplevelsen. HMD:n spårar också position och använder sig av ett par olika sätt av positionsspårning:

Akustisk spårning

I akustisk spårning är att man mäter den tid det tar för en känd akustisk signal att färdas mellan en sändare och en mottagare. Många sändare placeras i det spårade området och många mottagare placeras i det spårade föremålet.

Nackdelen med akustisk spårning är att det kräver kalibrering som är tidskrävande och är väldigt känslig för mätfel. Akustisk spårning används ofta i samband med andra sensorer.

Trådlös spårning

I trådlös spårning används en uppsättning av ankare som placeras runt spåringsutrymmet och en eller flera märken är spårade. Systemet fungerar likt GPS men fungerar både inom- och utomhus.

Tröghet spårning

Tröghets spårning möjliggörs med användning av accelerometrar och gyroskop. Accelerometrarna mäter linjära accelerationen, alltså hastigheten och objektets position i förhållande till en utgångspunkt. Gyroskopet mäter vinkelhastigheten. Tekniken för tröghets spårning är billig och kan ge hög uppdateringshastighet samt låg fördröjning. Men accelerometarens och gyroskopets mätvärden kan leda till drift i position informationen vilket minskar noggrannheten av spårningen.

Magnetisk spårning

Magnetisk spårning mäter magnituden av magnetfält i olika riktningar. Systemet har en basstation som genererar ett magnetfält där fältets styrka minskar när avståndet ökar mellan mätpunkten och basstationen. Spårings sättet möjliggör också avgörandet av orienteringen av användaren. Spårningens noggrannhet är bra i en kontrollerad miljö dock kan påverkas av störningar från ledande material nära sensorernas sändare, från ferromagnetiska material i spåringsområdet och från andra magnetfält som genereras av andra enheter. De flesta HMD:er innehåller IMU:er som upptäcker jordens magnetfält.

Optisk spårning

Optisk spårning är möjlig på många olika sätt. Gemensamma faktorer mellan dessa är användningen av kameror för att smala positionsinformation.

Spårning med markering

I denna optiska spårningen använder ett specifikt mönster av markeringar på ett objekt. En eller flera kameror söker efter markeringarna och kalkylerar objektets position med hjälp av algoritmer och utifrån skillnaden mellan vad videokameran upptäcker och kända mönstret av markeringarna beräknar positionen och orienteringen av det spårade objektet.

Det finns två typer av markeringar: passiva och aktiva. De passiva markörerna reflekterar infrarött ljus mot ljuskällan och de aktiva markeringarna blinkar regelbundet infrarött ljus som detekteras av kamerorna.

Spårning med synliga markeringar

För synlig markering placeras markeringar i ett förutbestämt arrangemang. Kameran känner igen markeringarna och deras positioner vilket leder till att objektets position och orientering kan kalkyleras.

Markeringlös spårning

Med markeringslös spårning kan objektet spåras utan markering om deras geometri är känd.

Djupmappnings spårning

I djupmappnings spårning använder sig en djupkamera av olika teknologier för att skapa en realtidskarta över avstånden för objekten i spåringsområdet från kameran.

Sensor fusion

Sensor fusion är en metod där man använder mer än en spårningsteknik för att förbättra uppteckningen av positionen och orienteringen av det spårade objektet. Genom att kombinera tekniker kan man kompensera en methods nackdelar med en annan.

Största delen av HMD:er använder sig av flera spårningstekniker för att förbättra enhetens möjlighet för att spåra användarens så bra som möjligt.

4.1 IMU:n i VR-glasögon

Det vanligaste klagomålet i användning av VR-enheter är rörelsesjuka och desorientering. För att lyckas med en upplevelse som är autentisk och inte orsaka illamående måste VR-enheter matcha exakt verkliga rörelser från användaren med den datorgenererade simuleringen. Därför använder man sig av många IMU:n i HMD:er.

Inom VRT använder HMD:n och inmatningsenheter sig av flera IMU:n för att utföra rotations spårning. IMU:n är ansvariga för tre frihetsgrader (DoF) av de sex DoF i spårningssystem. DoF är hur ett objekt kan röra sig inom ett utrymme: Det finns totalt 6 DoF i ett tredimensionellt utrymme och dessa utrymmen kan delas in i två kategorier, rotation- och translationsrörelse. Bägge kategori har 3 DoF. Både orientations spårning (rotation) och positionsspårning (tolkning) krävs för att få en totalt uppslukande VR-upplevelse.

Rotationsrörelse är: stegring, girning och rullning. Dessa rörelser spåras av de flesta HMD:ers inbyggda sensorer. Då man lutar och vrider på huvudet känner HMD:n av rörelserna med hjälp av IMU:n och ändrar vad användaren ser i enhet med detta. Det används 3 stycken IMU:n för att tolka hastigheten, orienteringen och gravitationskraften för att dra slutsaser till rotationsorienteringn och rörelse. De 3 IMU:erna beskrivs ofta som 9 DoF på grund av att varje IMU detekterar samma 3 DoF.

Translationsrörelse är all rörelser på x-, y- och z-axlarna, alltså framåt/bakåt, vänster/höger och upp/ner. Dessa rörelser är vanligen spårade av externa kameror eller andra typer av sensorer. Få HMD:er använder sig av sensorer som finns inom själva apparaten för att tolka dessa rörelser. Förmågan att spåra translationella rörelse krävs för positionsspårning, förmågan att bestämma den absoluta positionen för ett objekt i en tredimensionell miljö. [5]

Då användaren rör på huvudet känner IMU:erna igen rörelsen och skickar ett meddelande till CPU:n. CPU:n processar informationen och ger data vidare till GPU:n som skickar sedan datan till displayen. Därifrån skickas datan i form av ljus till användarens ögon.

4.2 Framtiden av HMD och VR system

Att HMD:er kan självständigt räkna ut sin translationella rörelse har blivit mer allmänt de senaste åren då HMD:n använder sig av AR teknologi och kan räkna

ut det utrymme användaren spelar i och till och med utnyttja sig av utrymmet och inkorporera det i spel osv. Denna teknologi utnyttjas av XR och MR.

5. Sammanfattning

Precisa mätvärden är otroligt viktiga för att göra VR upplevelsen möjlig och njutbar på grund av att dåliga mätvärden kan orsaka "Cybersickness" som orsakar yrsel och en känsla av överbelastning av ögat.

Accelerometrar i samarbete med gyroskop och magnetometrar uppnår en nivå av väldigt noggranna mätningar men kan ej på egen hand bygga upp hela upplevelsen.

Kombinationen av IMU:er och HMD:er är bra på att mäta användarens rörelser men mättningsfel kan ändå uppstå och det orsakar drift men detta förstör inte användarupplevelsen.

6. Litteraturförteckning