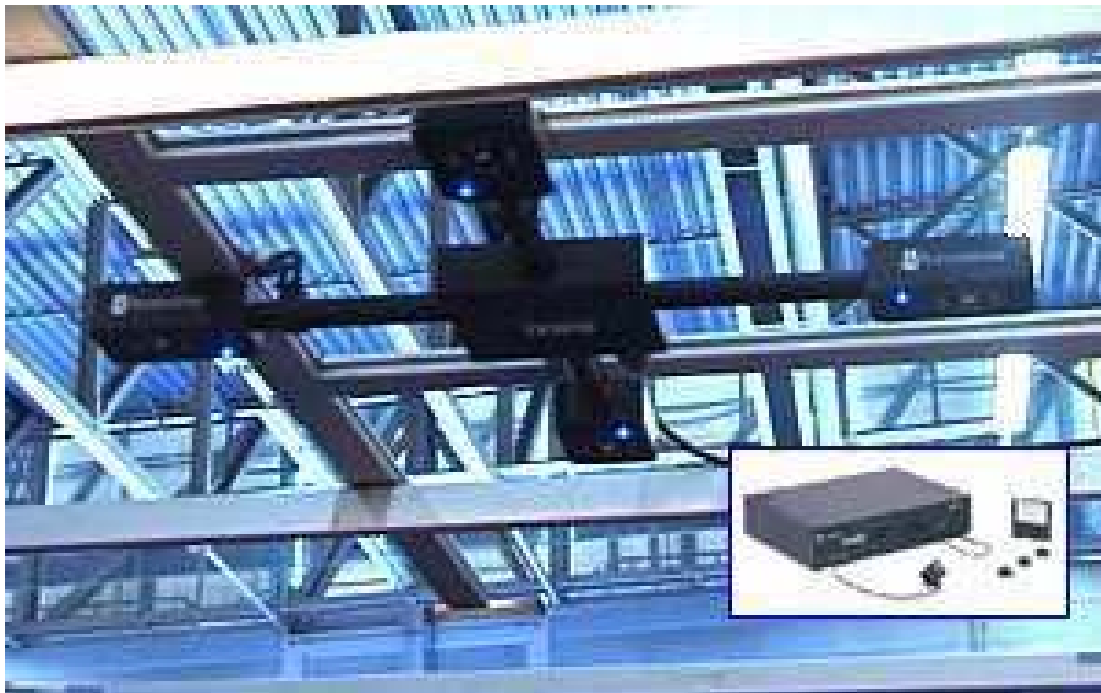


Ludwig-Maximilians-Universität München
LFE Medieninformatik
Hauptseminar „Augmented and Virtual Reality“, SoSe 2004
Prof. Dr. Heinrich Hußmann
Betreuung: Dipl.-Inf. Arnd Vitzthum

Trackingsysteme (non Vision)



Abstract

Diese Seminararbeit gibt einen Überblick über die gebräuchlichsten Trackingsysteme in der Virtual und Augmented Reality. Das exakte Tracking von Position und/oder Bewegungen spielt in der VR bzw. AR eine immer größere Rolle um die Bedienfreundlichkeit, Immersivität und Präzision von Bewegungen in Anwendungen auf höchstem Niveau zu halten.

Um dem Leser dieser Arbeit das Themengebiet des Tracking näher zu bringen, werden zunächst einige Begriffe anhand von Definitionen eingeführt. Anschließend werden Möglichkeiten der Klassifizierung der verschiedensten Trackingtechnologien angesprochen. Im Hauptfokus dieser Arbeit steht allerdings die genauere Behandlung der verschiedenen Technologien bezüglich ihrer Funktionsweise, Einsatzgebiete, ihrer Vorteile und Nachteile.

1. Begriffsklärungen

In Hinblick auf den Hauptteil sind für das Verständnis des Lesers zwei Definitionen oder Begriffsklärungen notwendig:

Trackingsystem

Ein Trackingsystem ist ein System, das einem Benutzer (bzw. einem steuernden Computer) über eine Schnittstelle die Position und/oder die Orientierung eines definierten Objekts liefert.

DOF (Degree of Freedom)

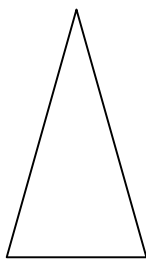
Unter „Degree of Freedom“ (DOF) versteht man die verschiedenen Freiheitsgrade von Bewegungen. Die ersten drei DOFs umfassen die Translationen in die verschiedenen Richtungsachsen (x, y, z). Die anderen beschreiben die Drehbewegung um die Richtungsachsen, welche als Gier-, Roll- und Nickwinkel bezeichnet werden.

Um die Unmengen an angebotenen Trackingsysteme in verschiedenen Kategorien zu klassifizieren gibt es einige Möglichkeiten der Klassifikation.

2. Klassifikation

1) Anhand der Entfernung zwischen Sender und Empfänger des Trackingsystems

Near Range



Hand/Eye

Head/Face

Body

Position im Raum/Feld

Far Range

2.) Anhand der Funktionsweise

Inside-In

Sowohl Sensoren, als auch Quellen sind am Körper angebracht. Die Systeme sind meist aus mechanischen Komponenten und wegen ihrer geringen Größe zum tracken von kleineren Körperteilen (z.B. Finger) geeignet.

Inside-Out

Inside-Out Systeme bestehen aus am Menschen befestigten Sensoren, die von externen Quellen gesendete Signale oder generierte Felder messen.

Outside-In

Umkehrung von Inside-Out, Sender befinden sich am Körper, Empfänger außerhalb. Ein typisches Bsp hierfür ist das markerbasierte Tracking.

3.) Weitere Klassifikationsmöglichkeiten

Es existieren noch viele weitere Möglichkeiten Trackingsysteme zu klassifizieren, exemplarisch wird hier nun die Klassifizierung nach Echtzeit/Nicht-Echtzeit und indoor/outdoor genannt. Weitere Klassifizierungsmöglichkeiten werden hier nicht genannt, das würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Im Folgenden geht es nun explizit um die verschiedenen Methoden bzw. Technologien die beim Motion- und Positionstracking verwendet werden.

3. Trackingtechnologien [1]

Die Trackingsysteme basieren auf unterschiedlichsten Technologien. Bei den Wichtigsten handelt es sich um akustische, elektromechanische, elektromagnetische, intertiale und radiowellenbasierte Trackingsysteme.

Einführend eine Erklärung des allgemeinen Setups der Trackingsysteme welches von der Anzahl der Freiheitsgrade abhängt, die man zulassen bzw. erfassen will. [3]

3 DOF Setup:

Um die ersten drei DOFs zu erfassen muss man drei verschiedene Signale Positionssignale erzeugen und verarbeiten. Hierfür werden entweder drei Sender und ein Empfänger oder ein Sender und drei Empfänger benötigt.

Erklärung:

- bei einem Sender-Empfänger-Paar entsteht eine Sphäre, auf deren Oberfläche sich das getrackte Objekt befindet
- bei zwei Sender-Empfänger-Paaren befindet sich das getrackte Objekt auf der Schnittfläche der zwei entstandenen Sphären
- bei drei Paaren (1Sender + 3Empfänger) wird die mögliche Position des getrackten Objektes auf zwei mögliche Punkte reduziert, wobei einer aufgrund der vorherigen Position meist ausgeschlossen werden kann.

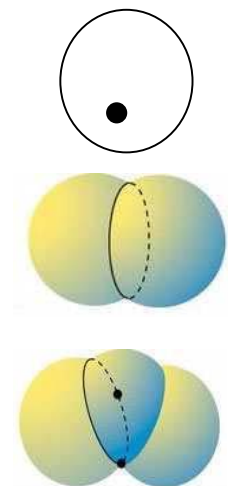


Abb. 1: Schema Sphären [8]

6 DOF Setup:

Um alle Freiheitsgrade (Translation und Rotation) tracken zu können werden 3 Sender und drei Empfänger benötigt.

Im nun folgenden Hauptteil der Arbeit werden die einzelnen Technologien etwas genauer bezüglich ihrer Funktionsweise, Einsatzgebiete vor und Nachteile unter die Lupe genommen werden.

Klassisches Tracking

Unter den klassischen Trackingsysteme versteht man die frühen Versuche sich im Raum zu orientieren bzw. Informationen bezüglich der Position eines Objektes im Raum zu erlangen. Hierbei seien repräsentativ zwei Beispiele genannt. Sie dürfen getrost als „Vorreiter“ der heutigen Trackingsysteme genannt werden.

Als erster, klassischer Vertreter der klassischen Trackingsysteme ist der Kompass zu nennen. Der Magnetkompass zeigte zwar nur einen von sechs Freiheitsgraden an, den so genannten „Gierwinkel“, stellte aber eine gute Möglichkeit dar sich im Raum zum orientieren.



Den „Rollwinkel“, das Neigen um die z-Achse, bestimmt man mit dem althergebrachten Senkbeil oder, mit der Wasserwaage.

Akustisches Tracking [3],[4],[5]

Beim akustischen Tracking basiert das Signal, wie der Name schon sagt, auf Schallwellen. Da beim Tracking eine geringe Latenzzeit erwünscht ist, arbeitet man mit Ultraschallwellen welche definitionsgemäß eine Frequenz von 20kHz oder höher haben.

Der Aufbau (hier anhand eines HMDs), wie auf dem nebenstehenden Bild zu sehen, ist wie folgt:

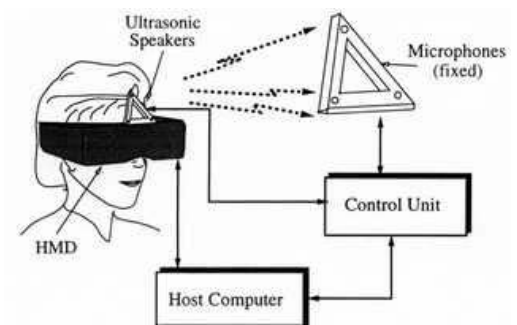


Abb. 2: Setup akustisches Tracking [9]

An dem zu trackenden Objektes (HMD) werden drei Ultraschalllautsprecher befestigt, welche Signale an fix montierte Mikrofone senden. die empfangenen Signale werden ausgewertet und ein Computer visualisiert die Trackinginformationen im HMD des Benutzers.

Die Auswertung der empfangenen Signale wird anhand zweier Prinzipien vorgenommen.

- 1) Time Of Flight**
- 2) Phase Coherence**

Zu 1) Diese Prinzip basiert auf einer einfachen Distanzberechnung anhand der allgemeinen Formel: $d[m] = v[m/s] * t[s]$

D = Distanz

V = Schallgeschwindigkeit (s. rechts)

T = Zeit zwischen Senden und Empfangen eines Signals

$$speed = \sqrt{\frac{RT}{M}}$$

Zu 2) Entfernung wird anhand der Phasenverschiebung zwischen gesendetem und empfangenem Signal bestimmt.

Folgende Bilder zeigen die Berechnung der Entfernung anhand der angesprochenen Phasenverschiebung. Die Phasenverschiebung ist im folgenden Beispiel $\pi/4$.

Signale:

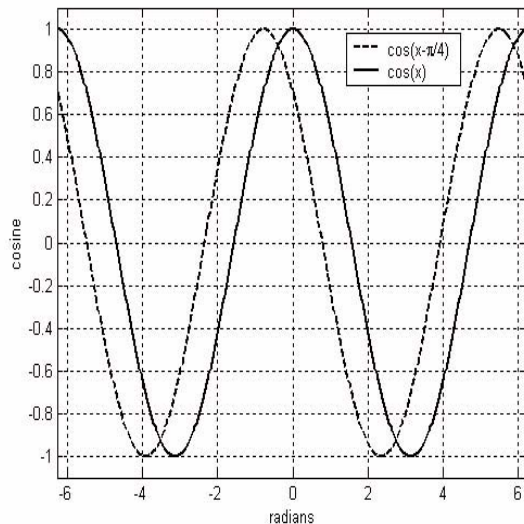


Abb. 3: Signalkurven [10]

Berechnung:

$$\begin{aligned} \delta[m] &= \frac{c[m/s]}{f[Hz]} \cdot \frac{\phi_{delay}[\text{radians}]}{2\pi[\text{radians}]} \\ &= \frac{331[m/s]}{40[\text{kHz}]} \cdot \frac{1}{8} \\ &= 1.034[mm]. \end{aligned}$$

Abb. 4: Berechnungsvorgang [11]

Vorteile:

- Preisgünstig
- Keine mechanischen Verbindungen

Nachteile:

- Geringe Genauigkeit
- Geringe Abtastrate
- Temperatursensibel (Schallgeschwindigkeit ändert sich mit Temperatur, somit beeinflussen Temperaturschwankungen die Messwerte entscheidend)
- „Line-of-Sight“-Bedingung, (Sender muss direkte Sicht auf Empfänger haben, da genau diese Strecke als Berechnungsgrundlage dient)

Verwendung: Unterhaltungsindustrie, Caves

Elektromechanisches Tracking [3],[4],[5]

Beim elektromechanischen Tracking werden mechanische Komponenten, so genannte Exoskellete, verwendet. Diese werden an dem zu trackenden Objekt angebracht.

Ein Exoskellet ist naturgemäß nicht zu einer absoluten Positionsbestimmung geeignet, da man nur relative Bewegungen tracken. Für die Positionsbestimmung wird eine akustische Komponente verwendet.

Mittels eines Exoskellets kann man die Winkelstellungen zwischen den einzelnen Gelenken messen, wobei die Winkeländerungen als Bewegungen des getrackten Objektes interpretiert werden. Die Messung erfolgt durch Potentiometer oder ähnlichen Geräten.

Ein weiters nützliches Feature ist es bei diesen mechanischen Komponenten möglich, ein Force-Feedback in seine VR-Anwendung zu integrieren und dieses über das Tracking-system an den Benutzer weiterzugeben.



Abb. 5: Exoskellet [12]

Vorteile:

- schnell (Geringe Latenzzeit)
- sehr genau

Nachteile:

- unkomfortable Handhabung
- Eingeschränkter Bewegungsraum

Verwendung:

Medizin, 3D-Digitizing

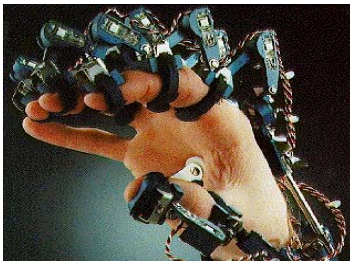


Abb.6: Exoskellet-Hand [13]



Abb.7: 3D-Digitizing [14]

Elektromagnetisches Tracking [3],[4],[5]

Das Prinzip des elektromagnetischen Trackings besteht darin, mit Hilfe einer Spule ein Magnetfeld zu erzeugen, welches dann in einer Antenne (bzw. Spule) einen Strom mit einer gewissen Strom- und Feldstärke „induziert“. Die Frequenz, Phase und Amplitude des induzierten Stromes verändern sich als Funktion der Position und der Entfernung des Transmitters in Bezug auf den Receiver.

Komponenten:

Transmitter

Ein Transmitter besteht aus drei orthogonal angeordneten Spulen welche drei Magnetfelder erzeugen. Man unterscheidet bei den Transmittern bezüglich ihrer Reichweite zwischen „Short

Range“- und „Long Range“-Versionen. Diese haben eine Reichweite von bis zu einem bzw. 3 Metern.

Receiver

Ein Receiver besteht aus drei zueinander orthogonal angeordneten Antennen.

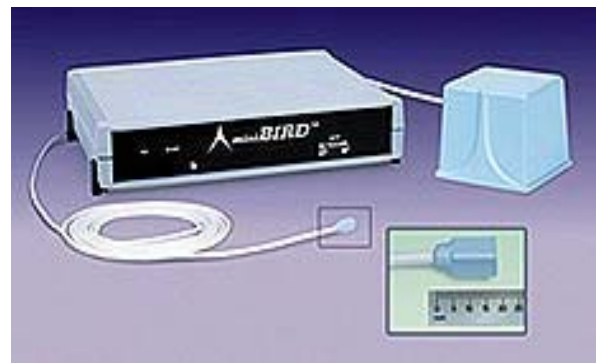


Abb.8: Magnetische Tracker [15]

Grundsätzlich gibt es beim elektromagnetischen Tracking zwei verschiedene Ansätze unterschieden:

1) Verfahren mit Wechselstromfeldern

Man erzeugt die Magnetfelder durch Verwendung von Wechselstrom. Hierbei muss beachtet werden, dass Wechselstromfelder in Metall so genannte „Wirbelströme“ erzeugen welche dann wiederum den induzierten Strom beeinflussen und somit die Messung verfälschen.

2) Verfahren mit Gleichstromfeldern

Im Gegensatz zum 1. Verfahren werden beim verfahren mit Gleichstrom die Senderspulen mit kurzen Gleichstromimpulsen gespeist, was ein statische Magnetfeld erzeugt. Da statische Magnetfelder keine Wirbelströme verursachen, fällt diese Verfälschung weg. Nur andere statische Magnetfelder, wie das Magnetfeld der Erde können das Ergebnis noch verfälschen. Dies kann aber durch eine geeignete Eichung umgangen werden.

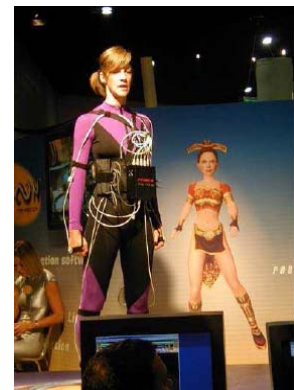


Abb.9: elektromagnetisches Tracking [16]

Vorteile:

- kostengünstig
- Sensoren klein und leicht
- Bewegungsmessungen mehrerer Personen möglich

Nachteile:

- keine Messung sehr schneller Bewegung
- „Kabelsalat“, Metall verfälscht Ergebnis
- Messbereich nur im erzeugten Magnetfeld des Emitters.

Inertiales Tracking [3],[4],[5]

Inertiale Trackingsysteme nutzen die Massenträgheit, um die Bewegungen eines Objektes zu messen. Man verwendet Beschleunigungsmesser, um die Geschwindigkeit der Bewegung zu messen, mit der ein Körperteil bewegt wird. Um Informationen über die Richtung der Bewegung zu erhalten, werden Gyroskope verwendet.

Vorteile:

- Es werden keine zusätzlichen Geräte, wie z.B. Sender oder Kameras benötigt.
- Die Messungen werden nicht durch äußere Einflüsse, wie z.B. Magnetfelder oder schlechten Lichtverhältnissen beeinflusst.
- Die verwendeten Messgeräte sind sehr klein und schränken den Benutzer daher nicht in seiner Bewegung ein.

Nachteile:

- Die Systeme müssen von Zeit zu Zeit recalibriert werden, da sich bei dieser Meßmethode die Messfehler aufsummieren („Drift“)
- Technologie ist noch nicht ausgereift.

Anwendungen:

VR-Anwendung mit großer räumlicher Ausdehnung

Radiowellenbasiertes Tracking [6]

Das radiowellenbasierte Trackingsysteme kann man getrost in die Kategorie Far-Range und Outdoor einordnen. Das herausragende System ist hierbei das alteingesessene GPS der Amerikaner. Die Europäer mit der ESA werden mit dem Galileo-Projekt 2005 nachziehen und damit eine noch genauere Positionsbestimmung ermöglichen. Da Galileo erst in einem Jahr startet, wird in diesem Kapitel auf das alterwürdige GPS als Beispiel für radiowellenbasiertes Tracking eingegangen.

GPS (Global Positioning System)

GPS wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium 1978 mit dem Abschuss des ersten Satelliten ins Leben gerufen. Aber erst 1995 wurde die volle Funktionsbereitschaft erreicht.

Das System basiert auf 24 Satelliten, welche den Erdball auf einer festgelegten Umlaufbahn umkreisen. GPS ist so konzipiert, dass zu jedem Zeitpunkt, auf jedem Punkt der Erde vier Satelliten einen potentiellen GPS Empfänger erfassen können.



Abb.10: GPS-Schema [16]

Drei Satelliten dienen hierbei der Positionsbestimmung. Mit Hilfe des vierten Satelliten wird eine Synchronisation zwischen den ersten drei Satelliten und dem Empfänger bewerkstelligt. Diese Synchronisation ist aufgrund der relativ ungenauen Zeitmessung im Empfänger (keine Atomuhr) notwendig. Wenn man sich vor Augen führt, dass ein Zeitversatz von 1ms einen bei GPS einen Unterschied von 100 km macht, ist es der Einsatz des vierten Satelliten zu Ausgleich des Bias beim Empfänger durchaus verständlich.

Bei GPS unterscheidet man zwei Arte von Diensten:

Standard-Positioning Service (SPS)

Die ist der Standarddienst, welcher für kommerzielle Zwecke genutzt werden kann. Die Genauigkeit beträgt hierbei 100m.

Precise-Positioning Service (PPS)

Dieser spezielle Dienst steht nur dem US-Militär zur Verfügung und erreicht eine Genauigkeit von 10 m und besser.

4. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass alle Trackingtechnologien ihre Einsatzgebiete haben und damit ihre Existenzberechtigung nicht entbehren. Da jede Technologie über Vor- und Nachteile verfügt, sind auch hybride Trackingsysteme verbreitet, mit denen man versucht die Vorteile zweier Technologien auszunutzen und gleichzeitig deren Nachteile zu minimieren bzw. zu eliminieren.

Welche Trackingtechnologien nun für welche Anwendung zu bevorzugen ist kann nicht genau gesagt werden, da es auf die Art der Anwendung, die Umgebung und damit die vorhandenen Störgrößen ankommt. Auch der Kalibrierungsaufwand sollte nicht unbeachtet bleiben, denn eine VR-Anwendung z.B. an einer Autobahnraststätte wäre mit akustischen Trackern, aufgrund des hohen (Stör)Geräuschspegels nicht optimal ausgerüstet.

Quellenverzeichnis

- [1] **Herstellerfirmen s. Herstellerlinks**

- [2] **Gary Bishop, B. Danette Allen, Greg Welch:
“Tracking: Beyond 15 Minutes of Thought“,
Siggraph2001**
www.cs.unc.edu/~tracker/media/pdf/SIGGRAPH2001_CoursePack_11.pdf

- [3] **Prof. Dr.-Ing. Uwe D. Hanebeck:
„Proseminar Telepräsenz und Robotik“,
Proseminar Universität Karlsruhe,
Ausarbeitung: Jean-Thomas Celette**
isas.uka.de/downloads/proseminar/celette/Trackingverfahren.pdf

- [4] **Klaus Dorf Müller-Ulhaas: „Augmented Reality SS 2004“, Vorlesung Uni Augsburg**
mm-werkstatt.informatik.uni-augsburg.de/files/teaching_content/393_ARTrackingSystemsSW.PDF

- [5] **Christiane Ulbricht:
„Tangible Augmented Reality für Computerspiele“
Diplomarbeit an der TU-Wien
Fertigstellung: September 2002**
www.cg.tuwien.ac.at/~cu/tangibleAR/thesis.pdf

- [6] **GPS Überblicksseite**
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

- [7] **Vortrag „Tracker Übersicht“**
leider kein Link mehr verfügbar... bei Interesse bitte melden

Bilderverzeichnis

- [8] entnommen aus [2]
- [9] entnommen aus [3]
- [10] entnommen aus [2]
- [11] entnommen aus [2]
- [12] entnommen aus [7]
- [13] entnommen aus [7]
- [14] entnommen aus [7]
- [15] entnommen aus [7]
- [16] entnommen aus [5]
- [17] entnommen aus [3]

Hersteller Verzeichnis

<http://www.isense.com>
<http://www.ascension-tech.com>
<http://www.polhemus.com>
<http://www.zebris.de>

<http://www.bluetrack.com>
<http://www.measurand.com>
<http://www.metamotion.com>

Projekte

<http://www.studierstube.org/>