

SAB-RoundView-Problematik der stereoskopischen Zylinderprojektion

Stefan A. Benk

Abstract: Stereoscopic projections and 360°-cylinderprojections are known and nothing special. But both together in one installation is new and will cause some physical problems. But in relation with the capability of the human eyes, these problems can be solved. In this paper a new way of projection will be shown that also can reduce the performance request on a virtual reality System.

Keywords: Virtual reality, psychovisual capability, immersion improvement, lossy/lossless data reduction.

1 Einleitung

Der Übergang von einem monokularen zu einem stereoskopischen Bild lässt eine Verdopplung der Informationen erwarten. Dies stimmt auch, solange der Betrachter nur einen Punkt im Bild betrachtet. Weicht der Betrachter von diesem Blickpunkt ab, so ist allerdings dann auch ein neues Bildpaar notwendig, wenn man physikalisch korrekt arbeiten will.

2 Problematik

Eine richtungsunabhängige stereoskopische Zylinderprojektion ist auch annäherungsweise physikalisch korrekt nicht zu realisieren. Das Problem ist die Superposition der beiden optischen Apparate, über das erst eine binokulare Tiefenwahrnehmung möglich ist. Die optischen Apparate sind jedoch bei jeder Installation letztendlich immer die beiden Augen des menschlichen

Manuscript received September 23, 2002

Der Author ist am Lehrstuhl für Datenverarbeitung Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum (e-mail: Stefan.Benk@ruhr-uni-bochum.de).

Sehapparates, auf deren Netzhaut das Abbild der realen bzw. virtuellen Umgebung projiziert wird. In Zwischenschritten kann dies aber durchaus auch das Stereoobjektiv einer Spezialkamera oder ein mathematisches Modell sein.

Die Hochachse der zylindrischen Projektion ist jedoch anordnungsbedingt immer ungleich der Projektionsachse der realen/simulierten optischen Apparate. Dieser Versatz, der mittels einer binokularen Auswertung im visuellen Kortex die statische 3D-Extraktion der divergierten optischen Reize erlaubt, muss für den Betrachter basierend auf seinen Sehgewohnheiten in den Grenzen seiner Wahrnehmungsfähigkeiten unbedingt erhalten bleiben, um einen wirklichkeitsgetreuen Eindruck im Betrachter zu erhalten. Wahrnehmbare Fehler in der Projektion führen immer zu einer Minderung der Immersion der Realwertigkeit der Projektion bis hin zur Inakzeptanz.

Physikalisch betrachtet nimmt die Stärke der Divergenz, dem horizontalen Versatz zwischen dem linken und rechtem Bild, zum horizontalen Rand der Projektion hin ab und das unabhängig von der Entfernung des dargestellten Objektes. Der Horizont ist dabei die Ebene, die durch die Vektoren auf den Fokus (Point of View - POV) von den Superpositionen der beiden optischen Apparate aufgespannt wird. Der Rand kann als der Bereich verstanden werden, der in der links- und rechtsseitigen Senkrechten zur optischen Achse zu finden ist. Die Abnahme der Divergenz ähnelt mit hinreichender Genauigkeit einer Kosinusfunktion [1]. Diese Annahme ist sogar für die Umkehrung der Dispersion gültig, die theoretisch hinter einem Betrachter entsteht (siehe auch Abbildung 1.).

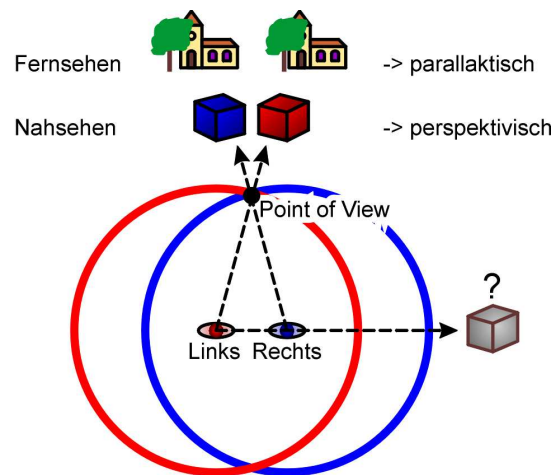


Fig. 1. Stereoproblematik.

Die Stereoproblematik hat zur Folge, dass bei einer binokularen 360-Projektion, für jede Blickrichtung ein eigenes Zylinderpaar aufbereitet werden muss. Dies bedeutet für das aufzubereitende Datenvolumen nicht eine Verdopplung der Informationen, wie es der Übergang einer monokularen zur binokularen Projektion erwarten lassen könnte, sondern einer unendlichen Vervielfachung entspricht.

Es ist zwar relativ einfach nachzuvollziehen, dass, wenn der Projektionszylinder einen ausreichend großen Radius gegenüber dem Augenabstand hat, näherungsweise einer der beiden Aufnahmezylinder dem Projektionszylinder gleichgesetzt werden könnte und nur der andere Aufnahmezylinder für jede Blickrichtung jeweils neu aufbereitet werden müsste. Das aufzubereitende Datenvolumen würde sich dann zwar nahezu halbieren, ist aber immer noch erheblich Aufwendiger als die angestrebte Verdoppelung des Datenvolumens.

3 Lösungsansatz

Die Lösung dieser Problematik ist in der Einbeziehung des menschlichen Sehapparates in das Gesamtsystem zu finden. Die Eigenschaften der Wahrnehmungsfähigkeit des Auges erlauben in bestimmten Grenzen physikalische Ungenauigkeiten, die entweder von den neuronalen Verarbeitungsstrukturen im menschlichen Gehirn kaum erkannt werden können oder sogar erst gar nicht wahrgenommen werden. Die erste logische Einschränkung ist das Gesichtsfeld. Binokular kommt der Sehapparat auf ein Gesichtsfeld von bis zu 200° , monokular jedoch nur auf 104° . Die Abbildung 2. zeigt die Bereiche, in denen Farbsehen (Zapfen) und Helligkeitssehen (Stäbchen) für ein Auge möglich ist. Das Gesichtsfeld gilt für beide Augen, da nicht von Links und Rechts, sondern der Bezug zur Nasen zugewandten Seite (Nasal) und der abgewandten Seite (Temporal) gesetzt wird. Der schwarze Fleck bei 15° Nasal gibt den Ort der Austrittsöffnung der Sehnerven an (blinder Fleck).

Die binokulare Überlappung liegt demnach bei maximal 120° . Berücksichtigt man hierbei noch die Anzahl der Sehnerven pro Fläche, so kann der Bereich, in dem eine recht genaue statische Auswertung von Tiefeninformationen stattfindet noch deutlich weiter eingeschränkt werden. Die Abbildung 3. zeigt das absolute Auflösungsvermögen des Auges bezogen auf den Horizont der Projektionsachse. In dieser Grafik ist deutlich zu sehen, dass der zentrale Bereich des Gesichtsfeldes (gelber Fleck / fovea centralis) deutlich weniger als einen Radius von 10° hat. In diesem zentralen Bereich kann mit

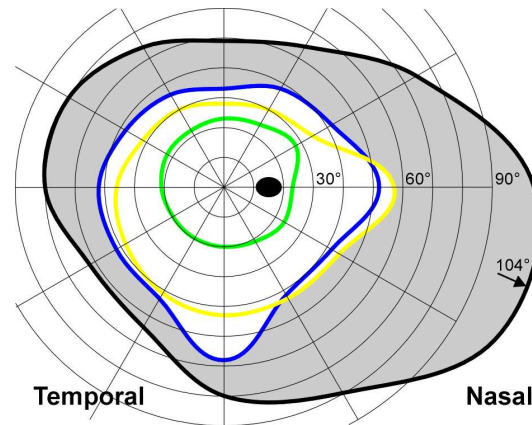


Fig. 2. Die Verteilung der Zapfen und Stäbchen über das Gesichtsfeld [3].

maximaler Sehschärfe wahrgenommen werden. Das periphere Gesichtsfeld hingegen erreicht im Schnitt noch nicht mal 10% dieser Auflösungsleistung.

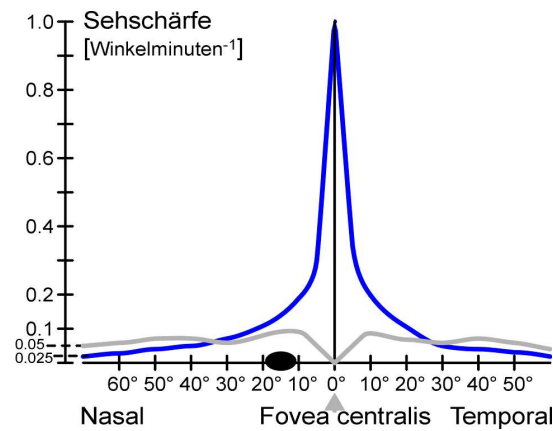


Fig. 3. Die horizontale Sehschärfe der Stbchen (und Zäpfchen (in Bogenminuten [3].

Die Konsequenz ist, dass visuelle Informationen im peripheren Bereich mit deutlich geringerer Genauigkeit aufbereitet werden können als dies für den POV notwendig ist. Setzt man dazu noch die Eigenschaft der Kosinusfunktion in Relation, mit der die Abnahme der Divergenz ausreichend beschrieben werden kann, so stellt man fest, dass der Kosinus im Bereich von $\pm 10^\circ$ gerade mal einen Projektionsfehler von weniger als 1.5% nach sich zieht und der Fehler im Bereich von $\pm 5^\circ$ sogar unter 0.4% liegt. Das Auge ist aufgrund seiner Seherfahrung sowieso in der Lage, größere Projektions-

fehler als nicht gegeben zu akzeptieren, wodurch kleine Fehler in der Divergenz unmerklich automatisch vom Gehirn kompensiert werden. In Bereichen die oberhalb der $\pm 10^\circ$ liegen, nimmt der projizierte Divergenzfehler zwar drastisch zu, das Auflösungsvermögen des Auges aber noch stärker ab, so dass bis zu dem binokularen Überlappungsbereich von 60° kein Fehler wahrgenommen wird. Und Divergenzfehler im monokularem Bereich (über $\pm 60^\circ$) sind systembedingt sowieso nicht mehr erkennbar.

Das Primärsystem muss nur so gut sein, wie die Anforderung des Folgesystems.

Folglich lässt sich sagen, dass die Projektionsgenauigkeit nur so gut sein muss, wie es vom optischem System des Menschen wahrgenommen werden kann. Eine genauere Aufbereitung könnte sowieso nicht wahrgenommen werden und ist somit hinfällig.

4 Lösung

Die Lösung des Problems der blickrichtungsunabhängigen stereoskopischen Zylinderprojektion wird folglich in der Beibehaltung der maximalen Divergenz gesucht. Dies bedeutet, dass die Kosinusfunktion, die dem Teil der Blickrichtungskomponente der Projektionsformel entspricht, durch den stetigen Wert 1.00 ersetzt wird (siehe Abbildung 4).

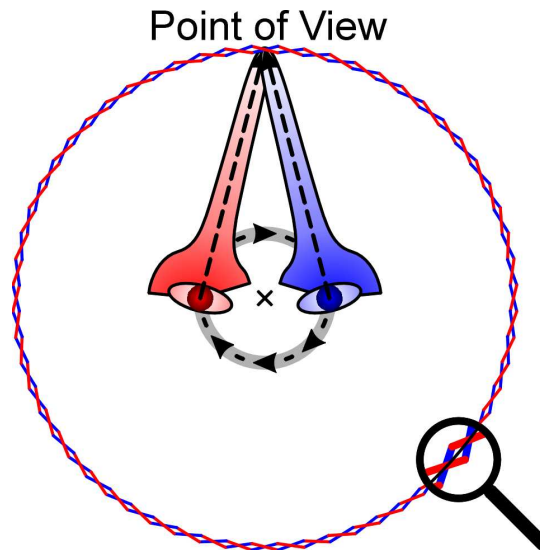


Fig. 4. Die SAB-RoundView Lösung.

Der Lösungsansatz ist die mathematische Vereinigung aller Projektionszylinder mit der Gewichtung im markantesten POV. Und die Lösung ist ein Rotationskameramodell, welches seinen Ursprung auf einer Kreisbahn findet und deren Blickrichtung auf einer weiteren äußeren Kreisbahn zu finden ist. Die Dimensionen der Kreisbahnen sollten bei einer realitätsgetreuen Simulation dem Abstand der menschlichen Augen entsprechen und dem Abstand, an dem keine Tiefdivergenz existiert. Die folgenden Werte haben sich bewährt und werden in Simulationen hufig von uns eingesetzt:

- Durchmesser der inneren Kamera-Kreisbahn ca. 55 bis 65 mm ($a = 30\text{mm}$)
- Radius der äußeren POV-Kreisbahn rund 4000 mm ($r_{RV} = 4\text{m}$).

Die Abbildung 5. zeigt die SAB-RoundView Kamera als geometrische Lösung.

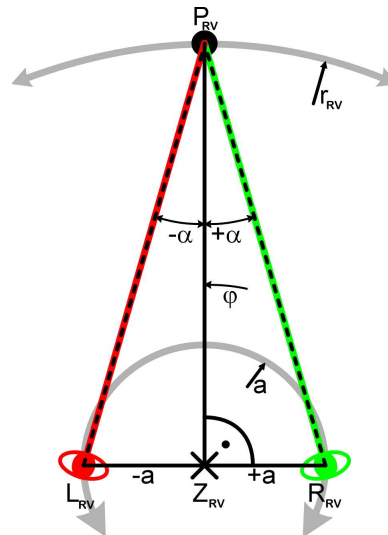


Fig. 5. RoundView Kamera.

Der Winkel φ (symbolisiert den Azimut einer Projektionsspalte über der Projektionsfläche. Der Punkt P_{RV} repräsentiert den Ort ohne Divergenz, die äußere Kreisbahn. Der Punkt L_{RV} entspricht dem Ursprung der linken und der Punkt R_{RV} der rechten Sehstrahlen. Die Strecken $L_{RV} - P_{RV}$ und $R_{RV} - P_{RV}$ geben folglich die Richtung der beiden Sehstrahlen der binokularen Kamera an. Die Elevation θ (bzw. z der Projektion ist identisch zur planaren Projektion und ist daher nicht in der Abbildung 5. enthalten.

5 Qualitätssicherung

Die Annahme, dass der Projektionsfehler geringer ist, als es die menschlichen Augen wahrnehmen können, wurde in zahlreichen Versuchen verifiziert und auf mehreren internationalen Messen demonstriert (Learntec in Karlsruhe, CeBit in Hannover, denk2001 in Bochum [2]).

Die Abbildung 6. stellt den absoluten maximalen Projektionsfehler $\delta\theta$ in Bogenminuten, die relative Verschiebung der Divergenz gegenüber der physikalisch korrekten Darstellung, dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges gegenüber. Auch hier in der Kombination von Physik und Biologie spiegelt sich die subjektiv korrekte Wahrnehmung wieder, was letztendlich als Beweis der Korrektheit des Gesamtsystems über alle Instanzen betrachtet werden kann.

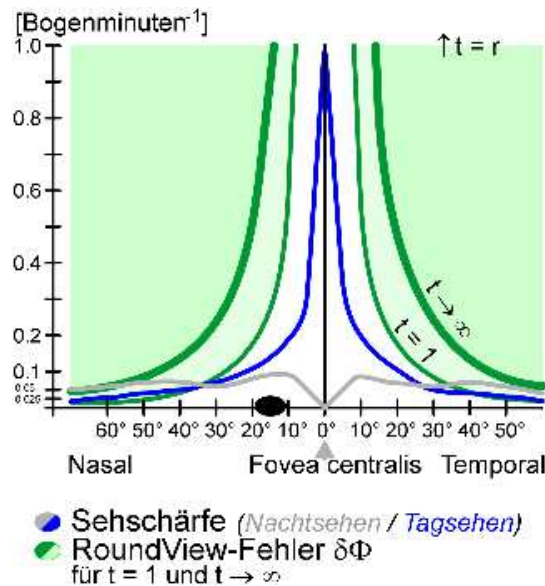


Fig. 6. SAB-RoundView-Fehler vs. Sehschärfe [q.e.d.].

6 Aussichten

Es ist möglich, stereoskopische richtungsunabhängige Zylinderprojektionen zu projizieren. Dies bedeutet, dass kein Rechenaufwand für eine Blickrichtungsänderung benötigt wird.

Herkömmliche Systeme berechnen hingegen jede Ansicht immer wieder

neu, wodurch auch immer maximale Rechenleistung benötigt wird. Die freigeordnete Rechenleistung kann dann für prädiktive Berechnungen genutzt werden, wodurch letztendlich weniger Rechenleistung benötigt wird oder der Detailgrad der Präsentation verbessert werden kann.

Es wird durch diese Technologie erwartet, einen Leistungssprung bei VR-Systemen zu erhalten, der einige Rechnergenerationen berspringt.

Ein weiterer Vorteil der Zylinderprojektion gegenüber klassischen mehrseitigen planaren Projektionen (CAVE) ist die Stetigkeit der Zylinderleinwand. Durch den Wegfall von vertikalen Kanten können mehrere Benutzer unabhängig voneinander gleichzeitig eine homogene virtuelle Welt erleben.

Ein erster Prototyp kann bereits an der Ruhr-Universität Bochum besichtigt werden, ein weiterer ist in Planung.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfgang Weber für die Unterstützung bedanken.

References

- [1] S. Benk, *Pixelbasierte Verfahren zur Visualisierung von Volumendaten*, Herdecke 99.
- [2] S. Benk, *Psycho-Visual Model of the human optical System as base for lossy-lossless Compression of visual Information*, Telsiks 2001, Niš, Yugoslavia.
- [3] M. Reim, *Augenheilkunde*, 5. Auflage, Aachen 1996, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, ISBN 3-432-94505-1.
- [4] K. Mütze, *ABC der Optik*, Hanau am Main 1969, Verlag Werner Dausien.
- [5] M. Lling, S. Libert, S. Benk, *Umfrage zur optischen Wahrnehmungspsychologie*, Denk 2001 Ruhrlandhalle, Seminar Lehrstuhl für Datenverarbeitung, Ruhr-Universität Bochum.
- [6] Landois, *Rosemann, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 28. Auflage in zwei Bänden*, Band II, Marburg 1961, Verlag von Urban & Schwarzenberg Mnchen - Berlin.
- [7] Bronstein-Semendjajew, *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch Thun, Frankfurt am Main, 24. Auflage SAB-RoundView - Problematik der stereoskopischen Zylinderprojektion.