

Augmented Reality statt Augentropfen

Optisches Tracking in der Datenbrille eines medizinischen Trainings-Simulators

„Schauen Sie nach oben. Schauen Sie nach oben links. Schauen Sie nach links. ...“ Der Arzt trägt an einem Stirnband eine Lichtquelle und ein Binokular und schaut mit einer Lupe durch die Pupille, um den Augenhintergrund zu untersuchen. Jeder, der schon einmal beim Augenarzt war, kennt diese Untersuchung. Häufig wird dazu die Pupille durch Tropfen künstlich erweitert, weshalb die Augen noch Stunden später unangenehm lichtempfindlich sind.

Die Augenspiegelung, die sog. Ophthalmoskopie, ist eine Routineuntersuchung bei niedergelassenen Augenärzten. Auch von Allgemeinmedizinern wird die Untersuchung des Augenhintergrundes zur Diagnose hinzugezogen, z.B. um erhöhten Blutdruck festzustellen. Ophthalmoskopieren zu lernen ist deshalb Bestandteil jedes Medizinstudiums. Die Handhabung des Augenspiegels und die richtige Positionierung der Lupe erfordern sehr viel Übung. Zunächst muss der Arzt die richtige Sichtlinie zur Pupille finden, dann das Vergrößerungsglas im richtigen Abstand zwischen sich und den Patienten führen. Erschwerend steht das erzeugte Bild auf dem Kopf und ist seitenverkehrt, so dass die Bewegung der Lupe kontra-intuitiv erfolgen muss.

In Zusammenarbeit mit der Augenklinik der Goethe-Universität Frankfurt/Main und dem Lehrstuhl für Informatik V der Universität Heidelberg hat die Mannheimer Firma VRmagic nun einen Aug-

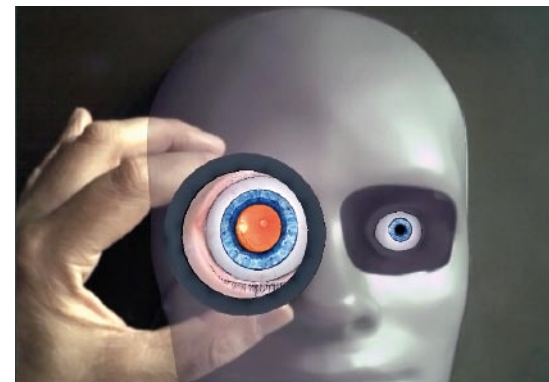
mented-Reality-Simulator entwickelt, mit dem angehende Ärzte sowohl die Handhabung des Ophthalmoskops als auch die Diagnose von Netzhautveränderungen trainieren können. Augmented Reality – auf Deutsch Erweiterte Realität – bedeutet, dass computergenerierte Bilder in Echtzeit in reale Szenen eingefügt werden. Für den Anwender ist dabei der Unterschied zwischen realer und virtueller Bildebene kaum wahrnehmbar.

Der von VRmagic entwickelte Simulator besteht aus einer Datenbrille – dem sog. Head-Mounted-Display –, einem Patienten-Modellkopf, einer frei beweglichen Lupe und einem PC mit Touchscreen zur Steuerung des Systems. Der Nutzer sieht durch die Datenbrille das reale Echtzeit-Videobild mit dem Modellkopf und der handgeführten Lupe. Zusätzlich sind auf der Lupe die virtuellen Bilder des jeweils sichtbaren Ausschnitts des Augeninnenraums abgebildet. „Der Simulator sollte dem echten Ophthalmos-

kop in Handhabung und Visualisierung so ähnlich wie möglich sein“, sagt Clemens Wagner, Entwicklungsleiter Virtual Reality bei VRmagic. „Eine besondere Herausforderung bei der technischen Umsetzung war das Tracking der frei beweglichen Objekte. Durch den Vergrößerungseffekt der Lupe waren hier die Anforderungen an die Genauigkeit sehr hoch.“

Multisensor-Kamera für optisches Tracking

Damit der von der Position der Lupe abhängige Ausschnitt des Augenhinter-



Die Augmented-Reality-Bilder für linkes und rechtes Auge werden auf zwei getrennt angesteuerte OLEDs gegeben



Mit einer Datenbrille und einem Modellkopf können Ärzte die Untersuchung der Netzhaut wie bei einem echten Ophthalmoskop trainieren

grunds in Echtzeit simuliert werden kann und für den Betrachter der Effekt des „Verschmelzens“ der realen und virtuellen Bildebenen entsteht, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Grundvoraussetzung ist ein optisches Tracking der frei geführten Lupe, das einerseits äußerst genau, andererseits robust bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen funktioniert. Für die Bildwiedergabe sind leistungsstarke Raytracing-Algorithmen und hochauflösende Stereo-Displays nötig. Das Gesamtsystem muss die anfallenden komplexen Datenmengen mit einer Latenz von deutlich unter 100 Millisekunden verarbeiten, damit Anwender den Unterschied zwischen realer Umgebung und Simulation nicht wahrnehmen und es zu dem sogenannten Immersions-Effekt kommt.

Für die technische Umsetzung entwickelte VRmagic eine Multisensor-FPGA-Kamera mit vier pixelsynchronen Sensoren mit einer Auflösung von jeweils 752 x 480 Pixeln (W-VGA). Auf dieser Kamera werden zwei Bildverarbeitungswege kombiniert: das 3D-Objektracking durch zwei Sensoren, die die Position von Lupe und Modellkopf verfolgen, und eine Stereo-See-Through-Video-Kamera. Ausgegeben wird nur ein USB-Signal. „Die Integration der vier Sensoren in einer Kamera ermöglicht eine kompaktere Bauform, eine bessere Synchronisation der Komponenten und die Minimierung der Latenz“ erläutert Wagner.

FPGA-Tracking-Kameras

Die zwei Tracking-Kameras sind möglichst weit von einander entfernt angeordnet, damit aus den 2D-Kamerabildern eine robuste 3D-Rekonstruktion erfolgen kann. Als Tracking-Marker dienen Infrarot-LEDs: An der handgeführten Lupe befinden sich drei LEDs, anhand derer Lage und Ausrichtung rekonstruiert wer-

den können. Am Modellkopf werden mehrere Marker eingesetzt, um Verschattungen zu kompensieren. Die LED-Marker sind über den Strobe-Ausgang mit den Kameras synchronisiert. Durch einen IR-Low-Pass-Filter zeichnen die Kameras nur die niedrigen Frequenzen der IR Marker auf. Auf dem FPGA-Chip der Kameras findet bereits eine Vorverarbeitung der Bilddaten statt: Binarisierung, Entfernen von Störungen durch einen Erosionsfilter und verlustfreie Datenkompression durch Run Length Encoding (RLE). Der dadurch deutlich komprimierte Datenstrom wird an den PC weitergeleitet. Hier erfolgt dann eine Blobsegmentierung, das Markermatching, die Triangulation und Objektrekonstruktion.

See-Trough-Stereokamera

Die See-Through-Stereo-Kamera besteht aus zwei einfachen Farbsensoren, die das aufgenommene Bild an einen PC weiterleiten, wo es als Hintergrundtextur in das Augmented-Reality-Bild gerendert wird. IR-Cut-Filter filtern die Infrarotanteile der Umgebung und der Tracking-Marker aus dem Bild, damit eine saubere Farbdarstellung gewährleistet ist. Da die Tracking-Kameras eine kurze, die See-Through-Kameras aber eine lange Belichtungszeit benötigen, sorgt ein interner Trigger dafür, dass alle Kameras takt synchron mit der Belichtung beginnen. Die Koordination der Bilddaten findet auf dem FPGA der smarten Kameras statt. Zur Verfügung steht dazu ein 256 MB Ringbuffer.

Echtzeit Raytracing

Spätestens alle 16 Millisekunden wertet die Multisensor-Kamera ein neues Bild aus. Um die Latenz des Kamerasystems zu minimieren, werden im Betriebsmode „Low Latency“ nur Pakete von vier Bil-

dern gleichzeitig angenommen. Kommt es bei einem Sensor zu einem sog. Frame-drop, dem Fehlen eines Bildes, werden auch die Bilder der anderen drei Sensoren verworfen und erst das nächste vollständige Viererpaket weiterverarbeitet.

Die Videobilder der Stereo-See-Through-Kamera fließen als Hintergrundtextur in eine OpenGL-Grafik ein. In einem zweiten Schritt werden ein Bild des Modellkopfs und der Lupe eingesetzt und schließlich das simulierte Bild des sichtbaren Augenausschnittes auf der Lupe gerendert. Da mit Lupe, Augenhornhaut und Augenlinse gleich mehrere optische Brechungen simuliert werden müssen, entwickelte VRmagic für die Computergrafik ein eigenes Echtzeit-Raytracing-Verfahren. Das Rendering erfolgt auf der Grafikkarte. Die erreichte Bildwiederholungsrate liegt zurzeit bei 35 Hz und soll künftig auf 60 Hz erhöht werden.

Visualisierung

Die berechneten Augmented-Reality-Bilder für linkes und rechtes Auge werden auf zwei getrennt angesteuerte Mikrodisplays in der Datenbrille gegeben. Verwendet werden OLEDs von eMagin mit einer Auflösung von je 800 x 600 Pixeln (S-VGA). Eine Prismenoptik vergrößert das Bild. So erhalten Mediziner den dreidimensionalen Bildeindruck, den sie vom realen Ophthalmoskop gewohnt sind.

„Der Immersions-Effekt ist faszinierend“, äußert sich Wagner zufrieden über das Endprodukt. „Die Mischung von echten und virtuellen Bildern ist so überzeugend, dass unsere Wahrnehmung sie vorbehaltlos akzeptiert!“

Das von VRmagic entwickelte Augmented-Reality-Interface ist eine Technologie-Plattform, die für unterschiedlichste Anwendungen in Industrie und Wissenschaft geeignet ist. Auch die Multisensor-FPGA-Kamera ist als OEM-Komponente erhältlich. Damit sind pixelsynchrone Aufnahmen aus mehreren Positionen möglich, wie es bei 3D-Rekonstruktionen von bewegten Objekten erforderlich ist.

► **Autorin**
Dipl.-Ing. (FH)
Meike Hummerich, Leitung PR



► **Kontakt**
VRmagic GmbH, Mannheim
Tel.: 0621/400416-20
Fax: 0621/400416-99
info.imaging@vrmagic.com
www.imaging-vrmagic.de