

## **3D-Bewegungssehen – biologische und technische Lösungen mit einer neuartigen 3D-Facetten-Kamera**

**Rudolf Schwarte**

### **Kurzfassung**

Die intensive Erforschung der 2D-Bildfolgenanalyse seit etwa 20 Jahren erfolgt zunehmend in Hinblick auf die Erfassung dynamischer 3D-Prozesse für Sicherheit, Automatisierung und Autonome Systeme. Ziel ist vor allem die Rekonstruktion der originalen 3D-Bildfolgen aus den projizierten 2D-Bildfolgen, die sich als sehr zeitaufwändig erweist.

Eine Alternative zum schnellen technischen 3D-Sehen bietet die aufstrebende Technologie der hochparallelen Echolaufzeitmessung nach dem PMD- bzw. MSM-Prinzip (ElectroOptic-Balanced Mixer Matrix mit Photomischdetektor bzw. Metal-Semiconductor-Metal Struktur, 96), bei der zehntausende Raumpunkte direkt und gleichzeitig als 3D-Videofilm erfasst werden (PMD-Stand: 41616 Voxel alle 20 - 50 ms). Eine vergleichbare biologische Lösung dieses Prinzips nutzen Delphine seit ca. 50 Millionen Jahren, ein hochparalleles Ultraschall-Echolot im Wasser mit räumlichem Ultraschallbild durch Oberkiefer-Sender und Unterkiefer-Empfänger. Sie können – auch ohne Licht – ihre Umgebung dreidimensional sehen.

Dieser Beitrag erläutert eine weitere Alternativlösung für das schnelle 3D-Sehen, ein neues Konzept nach biologischen Vorbildern. Für die schnelle Rekonstruktion der **3D**-Bildfolgen aus **2D**-Bildfolgen bietet die Natur eindrucksvolle Lösungen, die bei den Insekten seit 300 Millionen Jahren das 3D-Sehen mittels Facettenaugen dominieren. Wirbeltiere (auch wir) nutzen gleichermaßen dieses Prinzip des 3D-Sehens, allerdings mit Linsenaugen, mit 3D-Unterstützung durch Triangulation im Nahbereich sowie Bildverstehen. Die technische Umsetzung dieser biologischen Verfahren ermöglichen neuartige 3D-Facettenkameras mit verblüffend geringem Aufwand und schneller 3D-Bildfolgenerfassung, bei der alle Voxel direkt über das Winkelgeschwindigkeitsfeld  $\omega(x,y)$  von Pixelgruppen und die Kameratranslation  $v$  gewonnen werden. Dazu genügen übliche Digitalkameras z.B. bei gegebener Roboterhandführung oder mit repetierender Translationsmessung und Rotationskompensation bei Kameraführung auf einem Fahrzeug.

Zum Verständnis der Funktionsweise der 3D-Facetten-Kamera (engl. 3D-FacetCam) eignet sich ein Vergleich mit der o. a. bewährten 3D-Laufzeit-Kamera. Diese Betrachtung ist hier von großem Interesse, da eine Fusion beider Verfahren eine optimale Ergänzung und unerwartete Leistungssteigerungen erlaubt. Die relativ einfache Funktionsweise der 3D-Echolaufzeit-Kamera mit LED-Sender und Empfangsmatrix nach dem PMD-Prinzip mit der Raumpunktmessung  $R(R,\Theta(x,y),\varnothing(x,y))$  in Kugelkoordinaten mittels Echolaufzeitauswertung  $R(x,y,t) = T_{\text{Echol.}}(x,y,t) \cdot c/2$  bei Lichtgeschwindigkeit  $c$  und der Echointensitäten  $I(x,y,t)$  liefert direkt Voxel für Voxel die 3D-Bildfolge.

Die Funktionsweise der hier vorgestellten 3D-Facetten-Kamera liefert z.B. bei der geführten Bewegung mit bekannter Geschwindigkeit  $v$  der 2D-Digitalkamera ebenfalls direkt Voxel für Voxel. Hierbei steht anstelle der Echolaufzeitformel die skalare **Kreisbewegungsformel** des Radius  $R = v_{\text{ort}} / \omega_{\text{ort}}$  für kleine orthogonale Bewegungsabschnitte gemäß Bildperiode  $\Delta t$ . Diese Formel erlaubt unmittelbar die Bestimmung des Radiusvektors  $R(R,\Theta(x,y),\varnothing(x,y))$  mit dem Betrag  $R(x,y,t) = v_{\text{ort}}(x,y,t)/\omega_{\text{ort}}(x,y,t)$ . Dabei verschiebt der orthogonale Anteil  $v_{\text{ort}}$  der Kamerageschwindigkeit  $v$  den Raumpunkt  $R$  des Radiusvektors um den Winkel  $\Delta\alpha$  mit der zugehörigen orthogonalen Winkelgeschwindigkeit  $\omega_{\text{ort}}(x,y,t) = \Delta\alpha(x,y,t)/\Delta t$ . Eine 2D-Kamera sieht glücklicherweise nur diesen orthogonalen Anteil der Bewegung, also die Winkelgeschwindigkeit orthogonal zum Radiusvektor. Das bedeutet: Mit dem so bestimmten Entfernungsbetrag  $R(x,y,t)$  kann das gesuchte 3D-Bild der Bildfolge über das gemessene orthogonale  $\omega_{\text{ort}}$ -Feld und das im Beispiel vorgegebene Geschwindigkeitsfeld  $v_{\text{ort}}(x,y,t)$  direkt Voxel für Voxel wie bei der 3D-Laufzeitkamera rekonstruiert werden.

Der aufgezeigte Weg zur Realisierung innovativer 3D-Kameras für dynamische Prozesse in Raum und Zeit bietet – Leistung steigernd erweitert durch Fusion mit der 3D-Laufzeitkamera und Stereokamerafunktion für den Nahbereich – große Chancen zur Entwicklung einer revolutionären Schlüsseltechnologie des technischen räumlichen Sehens.