

## Vorlesung: Angewandte Sensorik

Prof. J. Zhang

zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg

Fachbereich Informatik

AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

21. Januar 2006

## Inhaltsverzeichnis

8. Omnidirektionale Sichtsysteme . . . . .	416
Einführung . . . . .	417
Spiegeldesign . . . . .	424
Aufbau omnidirektionaler Sichtsysteme . . . . .	436
Panorama-Berechnung . . . . .	440

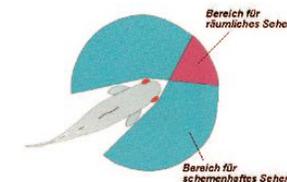
## Omnidirektionale Sichtsysteme

- Generierung von Panoramabildern mit **einer** Kamera.
- 360° Rundumsicht und etwa 30° vertikales Sichtfeld.



## Einführung

- **Biologische Inspiration:** Großes Sichtfeld vieler Tiere.
- **Beispiel:** Sichtfeld eines Fisches.



- **Problem:** Technische Umsetzung erfordert spezielle Optiken.

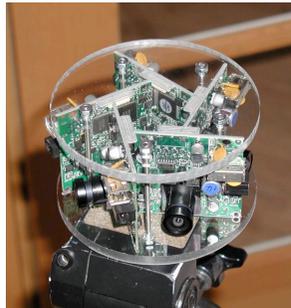
## Kamerasysteme mit erweitertem Blickwinkel

### 1. Verwendung mehrerer Kameras gleichzeitig

#### Probleme:

- unterschiedliche Verzeichnungen
- unterschiedliche Farben
- unterschiedliche Helligkeiten

### Beispiel: RingCam (Microsoft-Research)



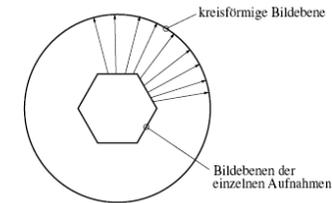
- Fünf IEEE1394-Kameras mit einer Auflösung von 640x480 Pixeln
- Gesamtauflösung: 3000x480 Pixel

→ <http://research.microsoft.com/~rcutler/ringcam/ringcam.htm>

### 2. Eine schwenkbare oder rotierende Kamera

#### Probleme:

- Ungenauigkeiten bei Rotation um das optische Zentrum
- zusätzlicher Energieaufwand für Rotation
- schwierige Verarbeitung der Bilder bei dynamischen Szenen
- aufwendige Umrechnungen in Panorama



### 3. Weitwinkellinsen (Fischaugen-Objektiv)

#### Probleme:

- starke Verzeichnung
- teuer

### 4. Konvexe Spiegel und darunter angebrachte Kamera

Diese, als **catadioptrische Kamerasysteme** bezeichneten, omnidirektionalen Sichtsysteme werden im folgenden näher betrachtet...

## Catadioptrische Kamerasysteme

### Definition:

Kombinationen aus Kamera, Linsen und Spiegeln nennt man **catadioptrische Sichtsysteme**:

- *dioptrics* → Linsen
- *catoptrics* → Spiegel

## Kurze Geschichte omnidirektionaler Sichtsysteme

### 1970: U.S.-Patent von Rees

- Kamera und hyperbolider Spiegel

### 1990: Echtzeit-Verarbeitung der Bilddaten möglich

- konische, sphärische und hyperbolide Spiegel

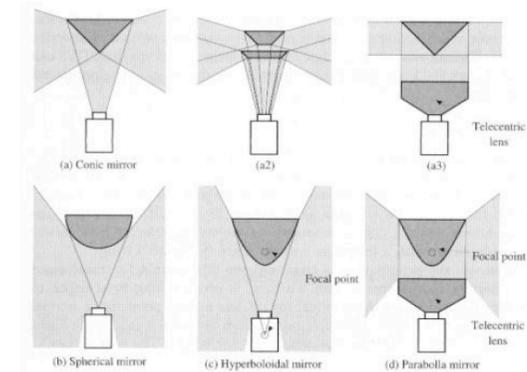
### 1997: Theoretische Analyse von Nayar und Baker

- neu: paraboloider Spiegel mit telezentrischer Linse

### Ausführlichere Geschichte:

<http://www.math.drexel.edu/~ahicks/design/design.html>

## Spiegeldesign



## Nachteile der verschiedenen Spiegelformen

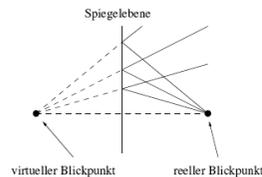
- Teilweise müssen telezentrische Linsen verwendet werden.
- Der vertikale Blickwinkel ist unterschiedlich.
- Die volle Auflösung der Kamera wird nicht genutzt.
- Nicht jedes omnidirektionale Bild kann perspektivisch korrekt in ein Panoramabild umgerechnet werden.

⇒ Um ein perspektivisch korrektes Abbild aus einem Spiegelbild zu erzeugen, benötigt man einen **festen Blickpunkt** (engl. **fixed viewpoint**).

## Effektiver Blickpunkt

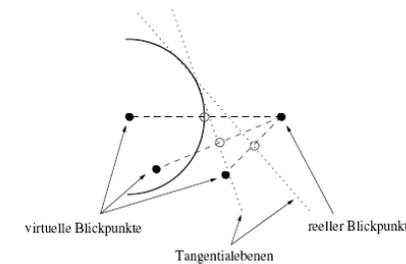
- Von diesem (virtuellen) Blickpunkt scheint man die Szene zu betrachten.
- In ihm schneiden sich alle Lichtstrahlen die vom Spiegel reflektiert werden.
- Dieser Standort des Betrachters entspricht dem Loch einer Lochkamera.
- Bei einer Kamera mit Linsensystem befindet sich dieser Punkt im hinteren Brennpunkt.

## Effektiver Blickpunkt



- Bei einem planaren Spiegel liegt der effektive Blickpunkt des Betrachters auf der gegenüberliegenden Spiegelseite.
- Der Betrachter hat den Eindruck als sehe er die Szene vom effektiven Blickpunkt aus.
- Der Abstand vom Spiegel zum Betrachter ist der gleiche wie vom Spiegel zum virtuellen Blickpunkt.

## Effektiver Blickpunkt

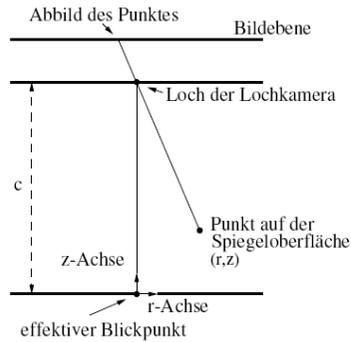


- Ist die Spiegelfläche gewölbt, muss an jeden Punkt der Oberfläche die Tangentialebene angelegt werden.
- Auf der Senkrechten durch den realen Blickpunkt liegt auch der virtuelle Blickpunkt.

## Effektiver Blickpunkt

- Als Konsequenz ergeben sich mehrere oder unendlich viele virtuelle Blickpunkte.  
→ Es kann kein perspektivisch korrektes Bild berechnet werden.
- **Hinweis:** Beispiele aus der Robotik zeigen, dass diese Bedingung nicht für jede Anwendung notwendig ist.
- Perspektivisch korrekte Bilder sind allerdings für den Menschen besser zu verarbeiten.
- Durch geschickte Konstruktion der Spiegel lässt sich aber **ein** effektiver Blickpunkt erzeugen.

## Fixed Viewpoint Constraint



**Gesucht:** Spiegeloberfläche  $z(r)$ , so dass ein effektiver Blickpunkt entsteht.

## Fixed Viewpoint Constraint

**Nayar und Baker, 1997:**

Spiegelformen, die sich aus Lösungen der folgenden quadratischen Differentialgleichung ergeben, haben einen effektiven Blickpunkt.

### Fixed Viewpoint Constraint

$$r(c - 2z) \left( \frac{dz}{dr} \right)^2 - 2(r^2 + cz - z^2) \frac{dz}{dr} + r(2z - c) = 0$$

## Allgemeine Lösung des Fixed Viewpoint Constraints

$$\left( z - \frac{c}{2} \right)^2 - r^2 \left( \frac{k}{2} - 1 \right) = \frac{c^2}{4} (k - 2k) \quad (k \geq 2)$$

$$\left( z - \frac{c}{2} \right)^2 + r^2 \left( 1 + \frac{c^2}{2k} \right) = \left( \frac{2k + c^2}{4} \right) \quad (k > 0)$$

## Spezielle Lösungen des Fixed Viewpoint Constraints

**Fünf Lösungen:**

1.  $k = 2$  und  $c > 0$ : **Planarer Spiegel**  $\Rightarrow$  keine omnidirektionalen Bilder

$$z = c/2$$

2.  $k \geq 2$  und  $c = 0$ : **Konischer Spiegel**  $\Rightarrow$  Blickpunkt in Kegelspitze

$$z = \sqrt{\frac{k-2}{2}} r^2$$

3.  $k > 0$  und  $c = 0$ : **Sphärischer Spiegel**  
⇒ effektiver und realer Blickpunkt in Kugelmitte

$$z^2 + r^2 = k/2$$

4.  $k > 0$  und  $c > 0$ : **Ellipsoider Spiegel**  
⇒ effektiver und realer Blickpunkt innerhalb der Ellipse

$$\frac{1}{a_e^2} \left( z - \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{1}{b_e^2} r^2 = 1$$

$$a_e = \sqrt{\frac{2k + c^2}{4}}$$

$$b_e = \sqrt{\frac{k}{2}}$$

**5.  $k > 2$  und  $c < 0$ : Hyperboloider Spiegel**

$$\frac{1}{a_h^2} \left( z - \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{1}{b_h^2} r^2 = 1$$

$$a_h = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{k-2}{k}}$$

$$b_h = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{2}{k}}$$

## Aufbau omnidirektionaler Sichtsysteme

1. **Möglichkeit:** Spiegel wird mit Halterung über der Kamera montiert.

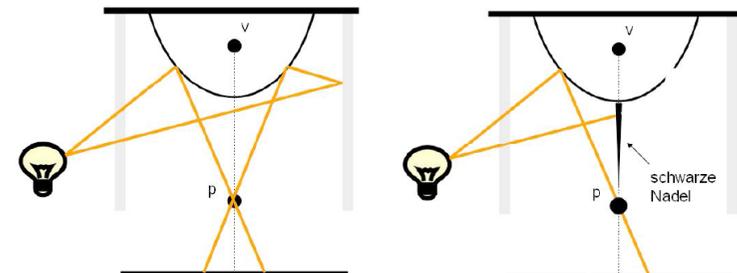


Quelle: <http://cmp.felk.cvut.cz/demos/Omnivis/Photos/fotohyper2.jpg>

⇒ Halterung ist immer im Panoramabild zu sehen.

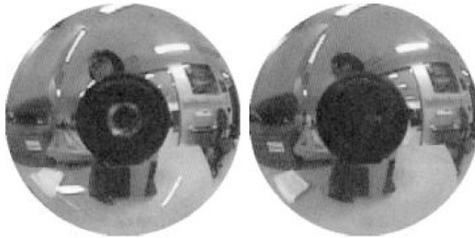
2. **Möglichkeit:** Spiegel wird mit Glaszylinder oder -halbkugel über der Kamera montiert.

**Problem:** Reflexionen an der Innenseite des Zylinders/der Halbkugel.



### Omnidirektionale Aufnahme:

Links mit Reflexionen, rechts ohne Reflexionen.



## Panorama-Berechnung

Zwei Verfahren zur Umrechnung auf ein Panoramabild:

- **Einfache direkte Umwandlung:**

Das Bild aus dem omnidirektionalen Sichtsystem wird gleichmäßig abgetastet.

- **Hyperboloidale Projektion:**

Eine Panorama ist eine Projektion auf einen Zylinder um den Spiegel.

## Hersteller hyperboloidaler Spiegel

- PANORAMA EYE®: Seiwapro Co., Ltd., Japan  
<http://www.accowle.com/englisch/>

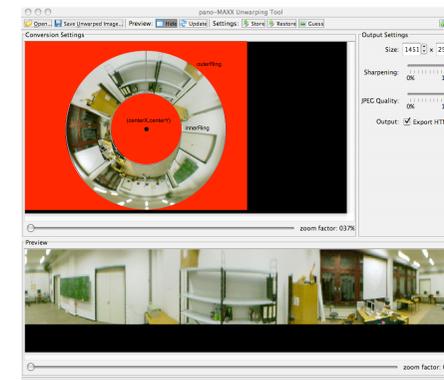


- „Mirror-Lens“ Single-Shot Panoramaoptik:  
Panorama-Hardware, Hamburg, Deutschland  
<http://www.panorama-hardware.de>



## Einfache Umrechnung

z.B. mit der kostenlosen Software *PUT* von [www.panorama-hardware.de](http://www.panorama-hardware.de)



## Einfache Umrechnung

Für ein Panorama der Größe  $width \times height$  wird für jeden Punkt der Punkt im omnidirektionalen Bild ermittelt:

```
Image createParnorama (int width, int height, Image omni)
{
    Image panorama = new Image (width, height);
    for (int i=0; i<width; i++) {
        for (int j=0; j<height; j++) {
            panorama.setPixel
                (i, j, getPixelFromOmnidirectional (i, j, omni));
        }
    }
}
```

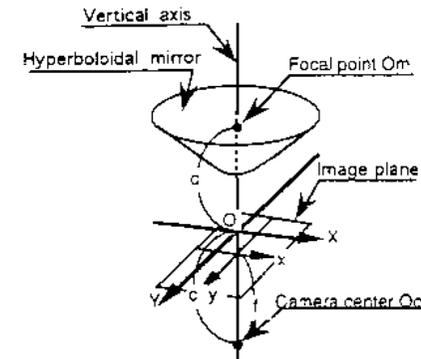
## Einfache Umrechnung

```
Pixel getPixelFromOmnidirectional (int i, int j, Image omni)
{
    // Polarkoordinaten bestimmen
    double radius = outerRing - (( j/height) * (outerRing-innerRing));
    double alpha = - (i/width) * (2*PI);

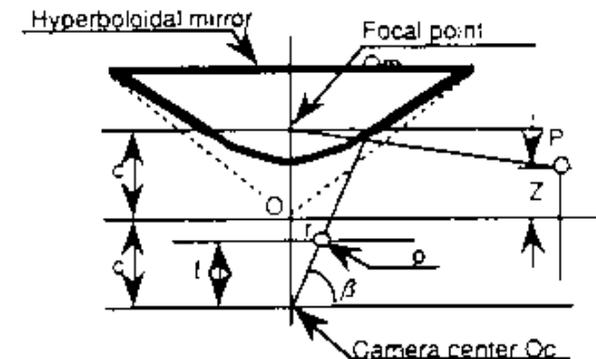
    // Koordinaten im omnidirektionalen Bild
    double x = centerX - radius * sin(alpha);
    double y = centerY + radius * cos(alpha);

    // Interpolierten Punkt zurückgeben
    return omni.getInterpolatedPixel (x, y);
}
```

## Hyperboloidale Projektion



## Reduktion auf 2D-Problem



## Reduktion auf 2D-Problem

Hyperbel-Gleichung:

$$\frac{R^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

## Hyperboloidale Projektion

Im Wesentlichen sind zwei Schritte erforderlich (nach Yamazawa et. al., 1993):

1. Projektion eines Zylinderpunktes auf die Spiegeloberfläche
2. Projektion von der Spiegeloberfläche auf die Bildfläche

$$r = f \cdot \tan(\beta)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{(b^2 + c^2) \cos(\alpha) - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos(\alpha)} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{(b^2 + c^2) \cos(\beta) - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos(\beta)} \right)$$

$$\alpha = \frac{R}{Z - c}$$

## Kamerakalibrierung

Um die hyperboloidale Projektion durchzuführen ist eine Kamerakalibrierung notwendig:

- Bekannt:  $a$  und  $b$  der Hyperbel und Spiegeldurchmesser
- Es wird berechnet: extrinsische Parameter (Translation u. Rotation zwischen Spiegel und Kalibrierungsgrid) und intrinsische Parameter (Fokus, Verzeichnung und Versatz)

Für die Kalibrierung gibt es ein MATLAB-Toolkit:

[http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/htmls/links.html](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/links.html)

## Literatur

- [1] GEYER, C. und K. DANILIDIS: *Catadioptric projective geometry*. International Journal of Computer Vision, 43:223–243, 2001.
- [2] NAYAR, SHREE K.: *Catadioptric Omnidirectional Camera*. In: *1997 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)*, Seite 482, 1997.
- [3] YAMAZAWA, K., Y. YAGI und M. YACHIDA: *Omnidirectional imaging with hyperboloidal projection*. In: *Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems '93, IROS '93.*, Band 2, Seiten 1029–1034, Yokohama, Japan, 26-30 Juli 1993.
- [4] YAMAZAWA, K., Y. YAGI und M. YACHIDA: *Obstacle detection with omnidirectional image sensor HyperOmniVision*. In: *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and*

*Automation*, Band 1, Seiten 1062–1067, Nagoya, Japan, 21-27 May  
1995.