

Smart Dust

Fachseminar Mobile Computing
26.6.2001

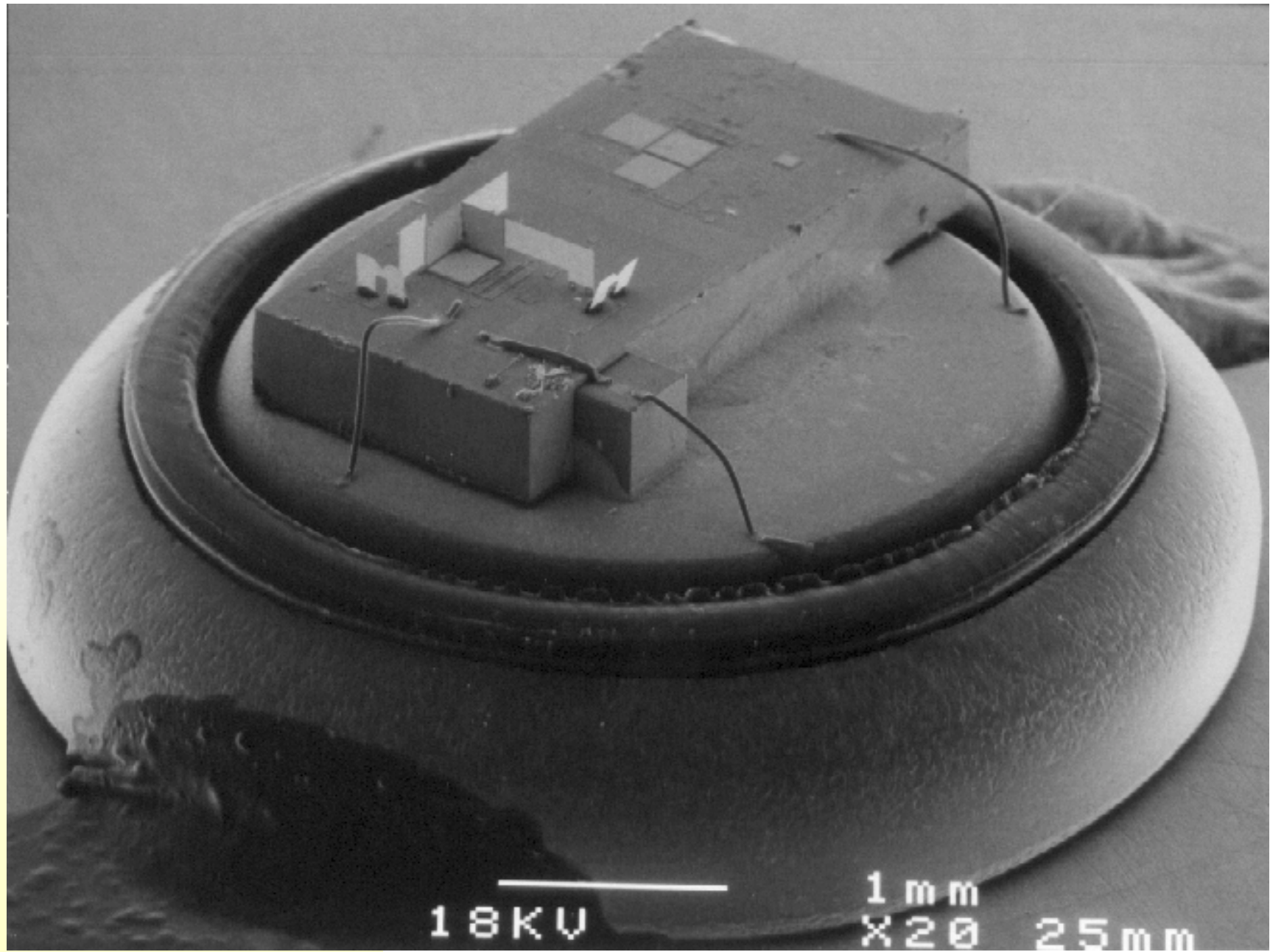
Peter Matter

Inhalt

- Einführung
- Anwendungen
- Fähigkeiten
- Optische Kommunikation
- Optische vs. HF Kommunikation
- Smart Dust in der Praxis
- Abschluss

Einführung

- Pister & Kahn, Berkeley.
- Eckdaten.
 - ◆ Grösse: $\sim 1\text{mm}^3$.
 - ◆ Div. Sensoren.
 - ◆ Kommunikation.
 - ◆ Grosse Stückzahlen.



Smart Dust

Anwendungen

- Waldbrandwarnung
- Biologie
- Militär

Fähigkeiten

- **Energie**
- Rechenkapazität
- Sensoren
- Kommunikation

Energie

- Batterie: $\sim 1 \text{ J pro } 1\text{mm}^3$
- Kondensator: $\sim 10 \text{ mJ pro } 1\text{mm}^3$
- Solarzellen:
 - ◆ Sonnenlicht: $\sim 1 \text{ J pro } \text{mm}^2 \text{ \& Tag}$
 - ◆ Kstl.Licht: $\sim 1\text{-}10 \text{ mJ pro } \text{mm}^2 \text{ \& Tag}$

Verbrauch Bluetooth (330 mW):

1J reicht für ca. 3 sec.

$1\text{J} / 3000 \text{ bit} = 0,33 \text{ mJ/bit}$

Fähigkeiten

- Energie
- **Rechenkapazität**
- Sensoren
- Kommunikation

Fähigkeiten

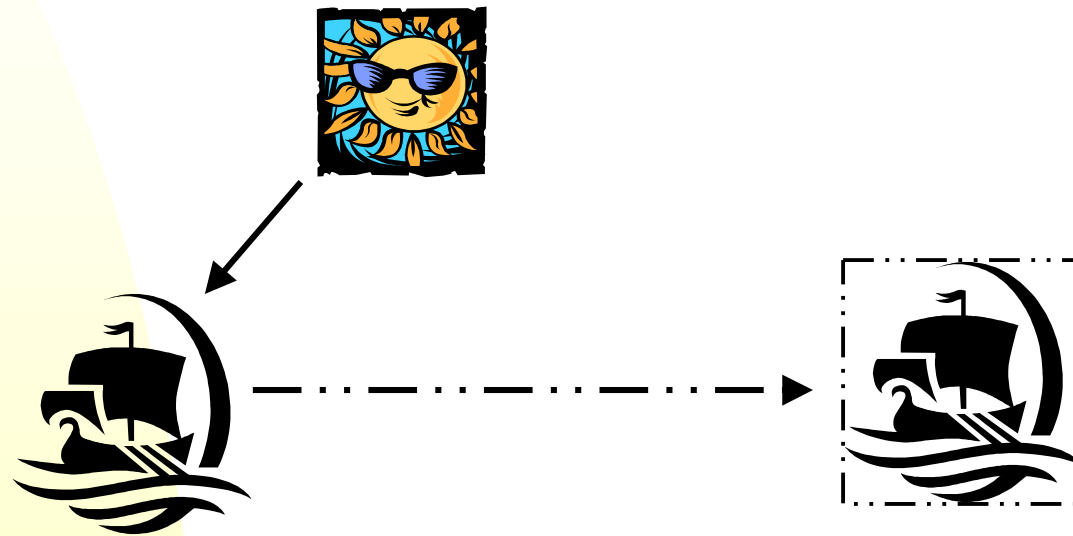
- Energie
- Rechenkapazität
- **Sensoren**
- Kommunikation

Fähigkeiten

- Energie
- Rechenkapazität
- Sensoren
- **Kommunikation**

Passive Optische Kommunikation

Grundprinzip



Ablauf der Kommunikation

Basisstation

Smart Dust



Laser

Downlink

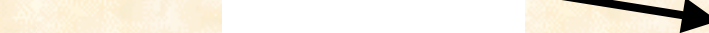


Sensor



Laser

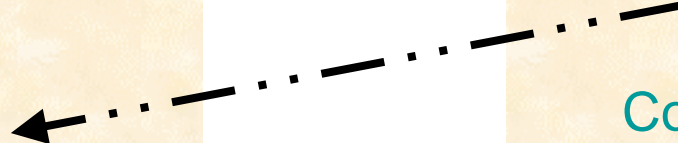
Uplink

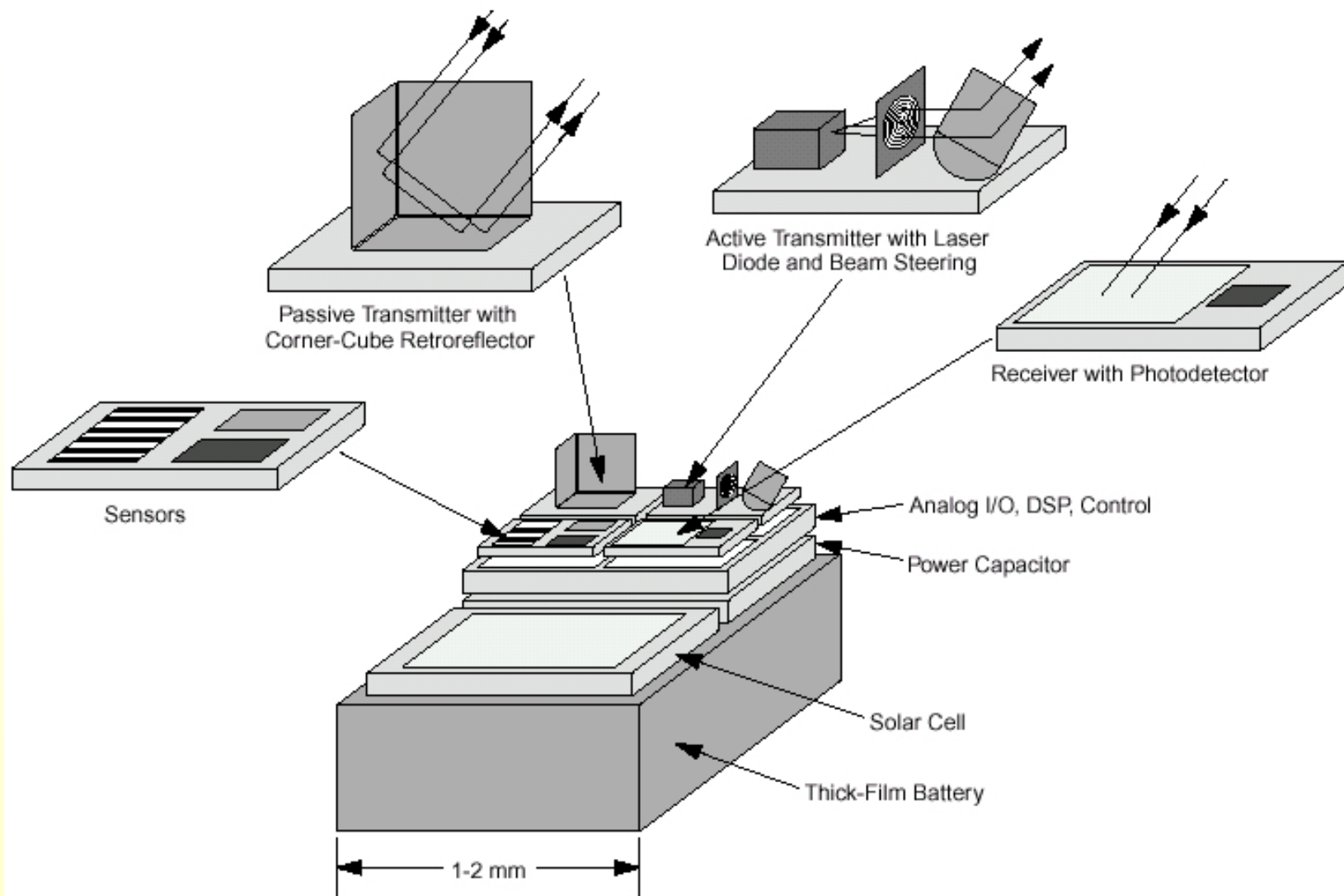


Corner Cube
Retroreflector

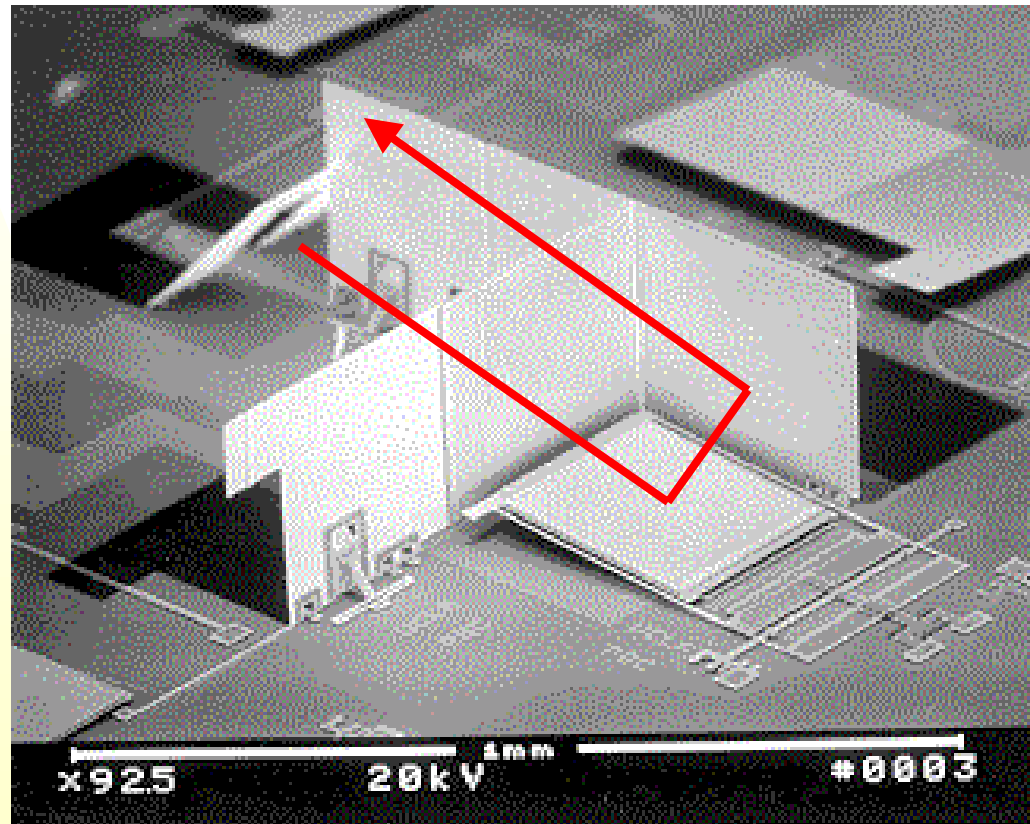


Sensor - Array





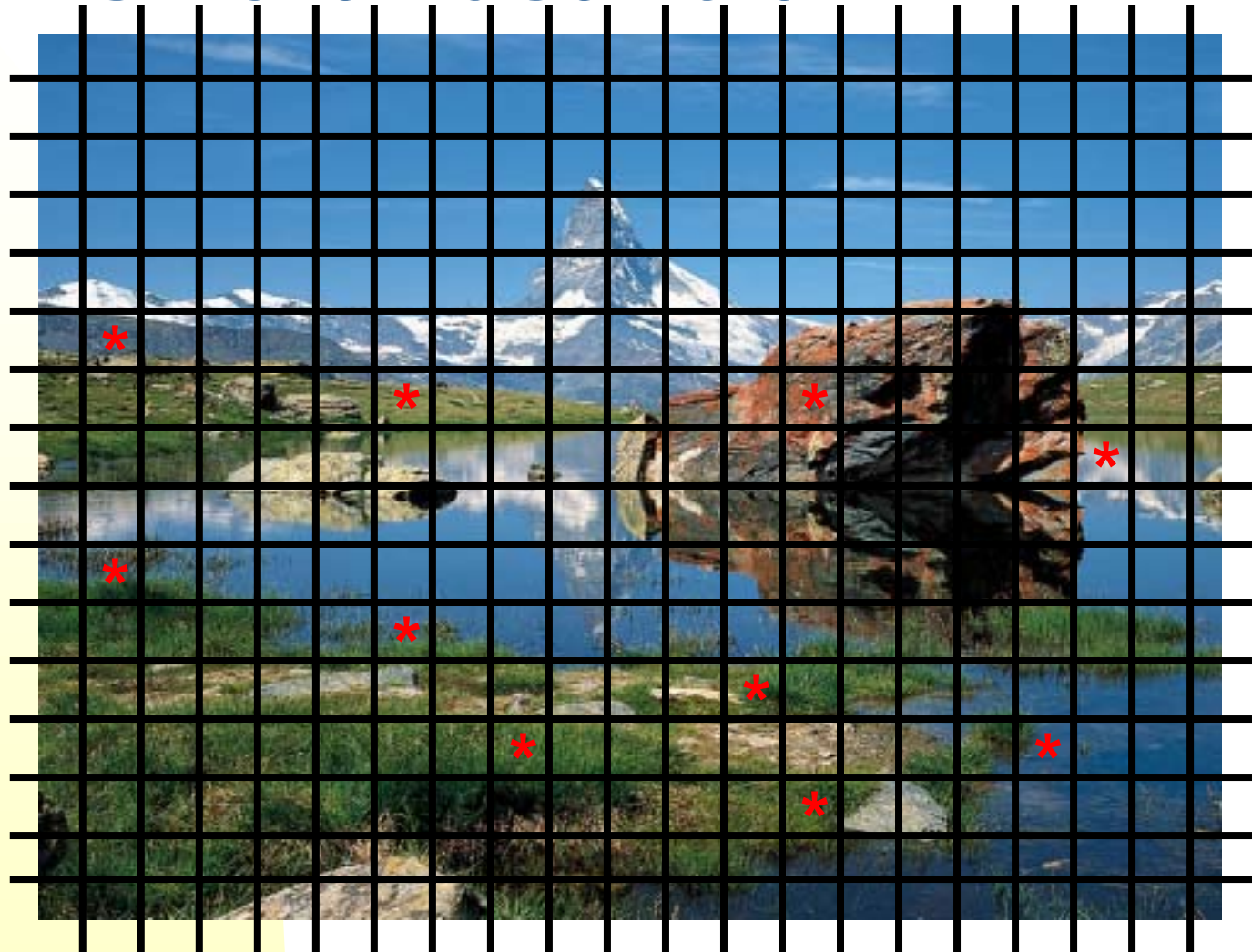
Corner Cube Retroreflector (CCR)

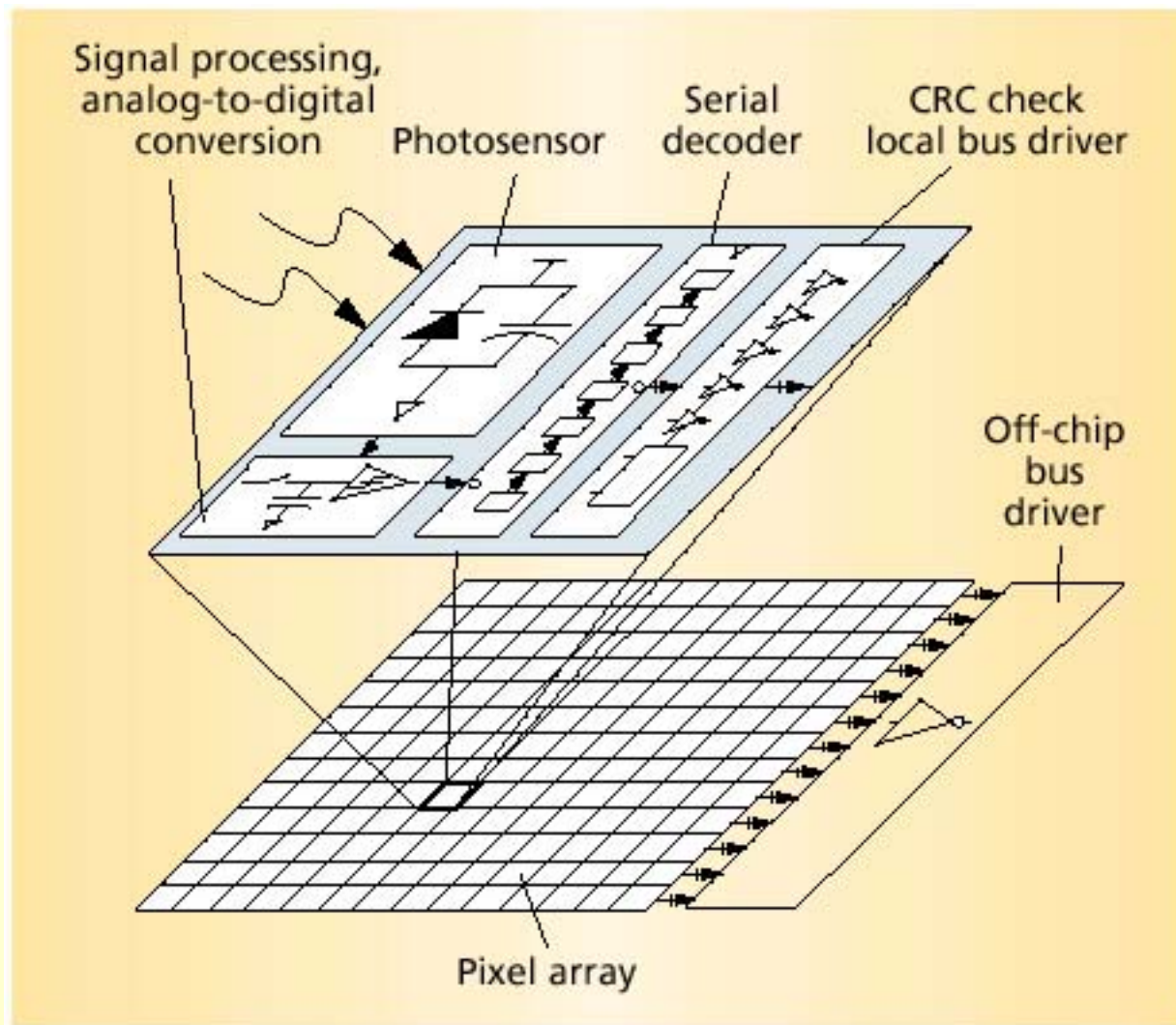


Corner Cube Retroreflector

- MicroElectro-Mechanical System (MEMS)
- 1nJ pro Ausrichtung des Spiegels
- Bewegung im KHz Bereich möglich

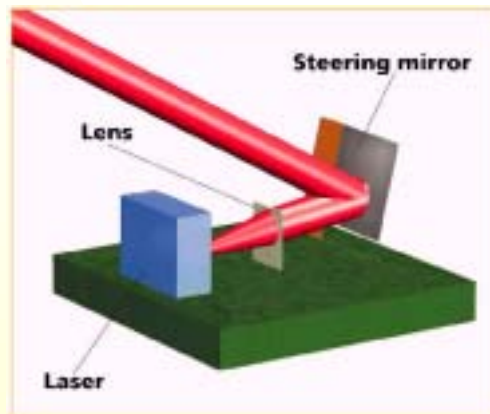
Smart Dust Field





Aktive optische Kommunikation

- Laser mit MEMS Spiegel



- Probleme: Ausrichtung, Energie

Kritische Punkte der opt. Kommunikation

- Line of Sight
- Multi Hop Netzwerk
- Kompromiss zwischen Bit-Rate, Energie per Bit und Distanz
 - ◆ Gefährdung der Augen

Optische vs. HF Kommunikation

Pro RF:

- Weit entwickelt
- Auf dem Markt verfügbar
- Keine Sichtverbindung notwendig

Optische vs. HF Kommunikation

Contra RF:

- Energieverbrauch bei optischer Kommunikation tiefer, da
 - ◆ Trägersignal wird vom Empfänger erzeugt und muss nur noch moduliert werden (passiv)
 - ◆ Licht lässt sich besser ausrichten (aktiv)
- Abhängig von Antennengrösse

$$L = 1 \text{ mm}$$

$$L = \lambda/4 \quad f = c/\lambda \Rightarrow 75 \text{ GHz}$$

Smart Dust & Praxis

- Smart Dust noch mitten in der Entwicklung
- Keine kommerziellen Anwendungen
- Forschungsprojekte wie z.B. Wetterstation in der San Francisco Bay

COTS Dust

- Commercial Off The Shelf components
- Smart Dust mit im Handel erhältlichen Bauteilen
- Schnelle Entwicklungszeiten
- Um ein vielfaches grösser

Abschluss

- Technik mit Zukunftspotenzial die aber noch viel Arbeit benötigt
- The Dark Side:
Totale Überwachung und Verlust der Privatssphäre

Bit-Rate, Energie und Distanz

$$SNR = C * \frac{R_b A^2 E_b^2}{N_0 d^4 \Theta^4} \Rightarrow E_b \sim \frac{1}{\sqrt{R_b}}$$

$$P_t = \frac{E_b}{R_b}$$

$$SNR = C * \frac{P_t^2 A^2}{N_0 R_b d^4 \Theta^4}$$

Energie Verbrauch

- Opt. Receiver: 0.1 nJ / bit
- CCR: 1.0 nJ / bit
- AD Wandler: 1.0 nJ / sample
- Berechnung: 1.0 pJ / instr.

1 mJ pro Tag reicht um jede Sekunde

- ◆ Sensor sampeln
- ◆ Daten verarbeiten
- ◆ Daten übermitteln