



Mobile Roboter WS 2022/23

6. Sensorik

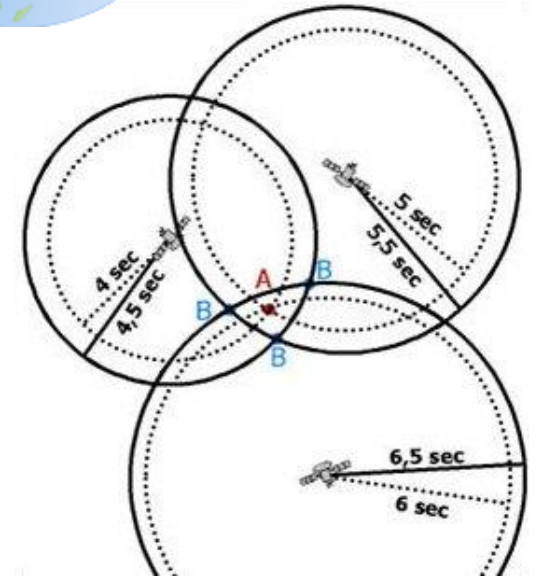
Globale Positionsbestimmung

Globale Navigationssatellitensystem (GNSS)

- Bestimmung der eigenen Position auf der Erdoberfläche z.B. WGS84
- Laufzeitmessung der Radiowellen von Satelliten zu Empfänger
- Für die Laufzeitmessung muss die Uhrzeit auf dem Satellit und dem Receiver bekannt sein
- Es sind immer mindestens 4 Satelliten notwendig um eine Position zu bestimmen da der Uhrenfehler ausgeglichen werden muss

GNSS Receiver

- klein und günstig z.B. Handy
 - geringe Genauigkeit im Bereich von mehreren Meter
- präzise Receiver z.B. Vermessung, Landwirtschaft
 - erreichen bei perfekten Bedingungen bis zu Zentimeter Genauigkeit



Globale Positionsbestimmung

Globale Navigationssatellitensystem (GNSS)

- nur im Outdoor-Bereich einsetzbar
- Abschattung ist ein Problem
- Reflektionen sind ein Problem (Multipath)

GPS Amerikanisches System

- Seit Mitte der 1990er im Betrieb
- 24 Satelliten im Einsatz + Reserve

Galileo Europäisches System

- Seit 2016 für Allgemeinheit zugänglich
- 30 Satelliten vorgesehenen (aktuell 26 im Einsatz, Stand 11.5.2020)

GLONASS Russisches System

Beidou Chinesisches System



Laufbahnen der GPS Satelliten

Quelle: <http://www.gs-enduro.de/html/navigation/gps.htm>



Galileo Satellit

<https://www.dlr.de/content/de/missionen/galileo.html>

Globale Positionsbestimmung

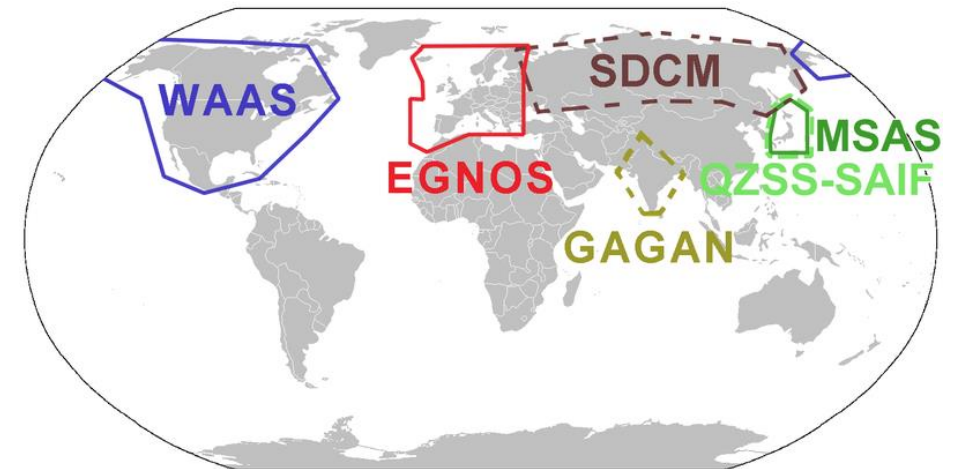
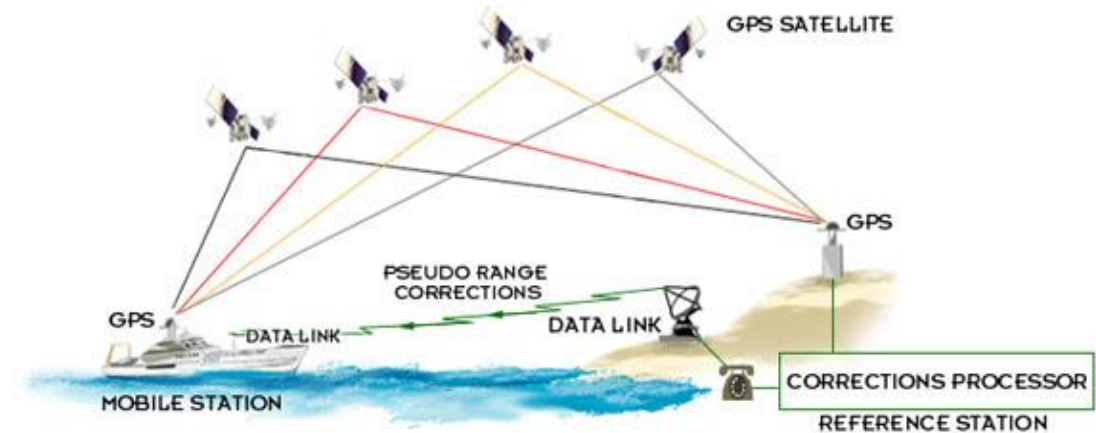
Differential GPS (DGPS, RTK-GPS)

- Einflüsse auf benachbarte Empfänger lassen sich eliminieren
- Fehler durch Tropo- und Ionosphäre
- Bahnen und Uhrenfehler der Satelliten

Satellitenbasiertes Ergänzungssystem (SBAS)

Satellite Based Augmentation System

- Basisstationen empfangen GPS Signale und berechnen Korrekturdaten
 - Geosynchronen Verbreitung der Korrekturdaten (meistens über geostationären) Satelliten
 - Unterstützung für z.B. GPS, Galileo, ...
 - Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Verfügbarkeit der Positionsbestimmung erhöhen
-
- **EGNOS** für Europa (40 Basisstationen, 3 geostationäre Satelliten)
 - **WAAS** für Nordamerika



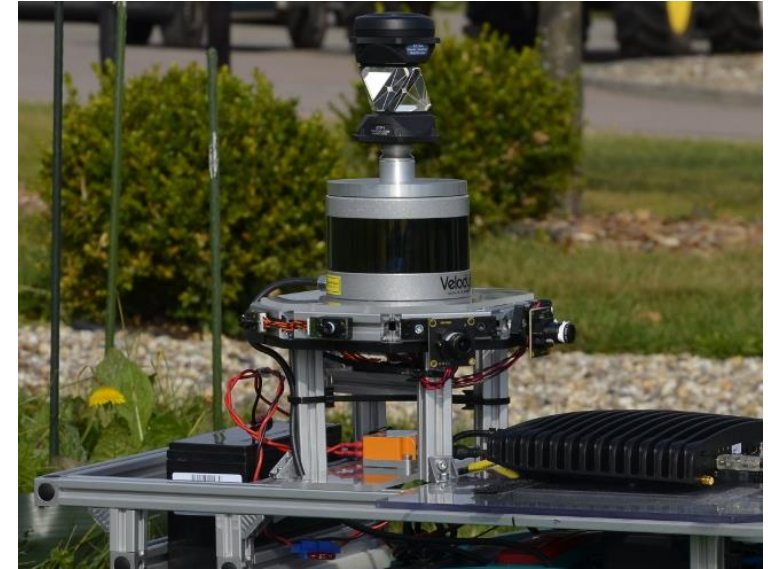
Servicegebiete der SBAS

https://de.wikipedia.org/wiki/Satellite_Based_Augmentation_System

6. Sensorik

Wahrnehmung der Umgebung und des eigenen Zustandes

- Sensoren dienen der Analyse von Situation und Umwelt
- Sensoren messen physikalische Eigenschaften
 - Temperatur
 - Helligkeit
 - Gewicht
 - Größe
 - Abstände
 - Position des Roboters
 - ...
- Messdaten der Sensoren sind nie perfekt und beinhalten Rauschen



Klassifikation von Sensoren

Passive Sensoren

messen Energie die von der Umgebung abgegeben wird

- Temperatur
- Licht
- Schallwellen
- ...

Aktive Sensoren

senden Energie aus und messen die Reflektion der Umgebung

- Ultraschall
- Infrarot (Licht)
- Laser (Licht)
- Radar
(Radiowellen GHz)
- ...

Interne (propriozeptive) Sensoren

messen innere Zustandsgrößen des Roboters

- Temperatur im Inneren
- Batterieladung
- Motorstrom
- Motorumdrehungen
- Gelenkwinkel
- Kräfte an Gelenken
- ...

Externe (exterozeptive) Sensoren

erfassen Eigenschaften der Umwelt

- Licht
- Schall
- Hindernisse
- Konturen von Objekten
- ...

Sensor Eigenschaften

Empfindlichkeit

- Zusammenhang zwischen Ausgangssignal und der gemessenen physikalischen Größe (Eingangssignal)

Linearität

- Beschreibt wie konstant das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangssignal am Sensor ist

Messbereich

- Gibt die kleinste und größte zu messende Größe an

Auflösung

- Was ist die kleinste einstellbare Schrittgröße am Eingangssignal

Dynamik

- Die Dynamik ist der Quotient der größten zur kleinsten Signalstärke und wird oft in dB angegeben

Reaktionszeit

- Wie schnell kommen Änderungen vom Eingangssignal am Ausgang an

Genauigkeit

- Relativer Fehler zum tatsächlichen Wert ($acc=1-|m-v|/v$)

Messfrequenz

- Anzahl Messungen in einem bestimmten Zeitintervall

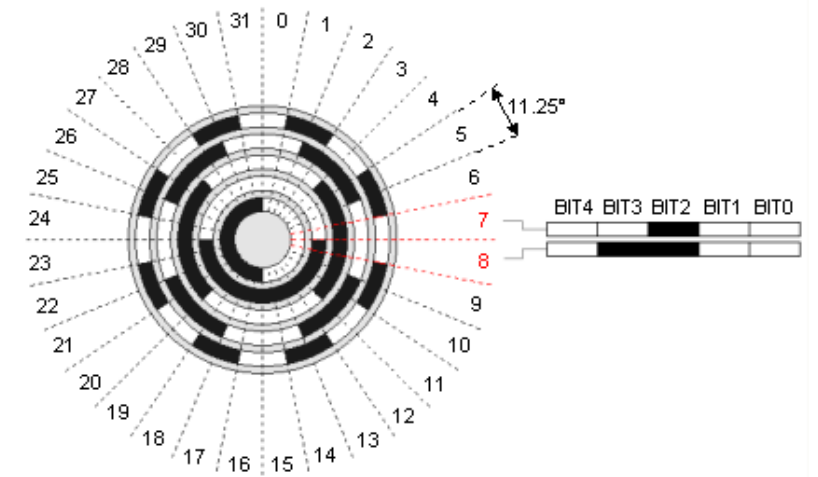
Messfehler

- Differenz zwischen tatsächlichem Wert v und gemessenem Wert m ($err=m-v$)
- Systematische Messfehler
 - Deterministische Abweichung vom tatsächlichen Wert (z.B. Temperaturtrifft bei Ultraschallsensoren)
- Zufällige Messfehler
 - Zufällige Streuung der Messungen

Drehgeber

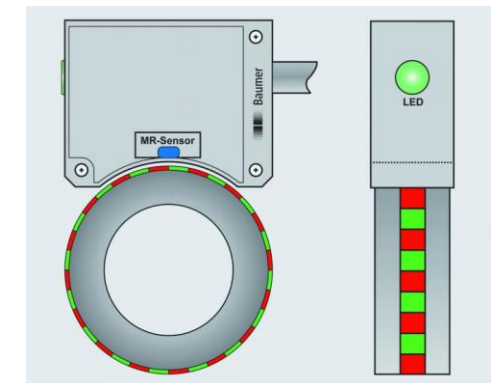
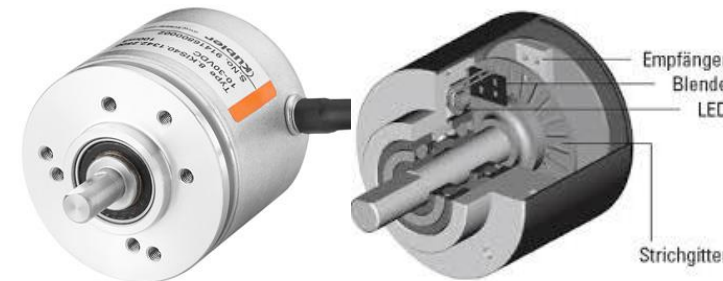
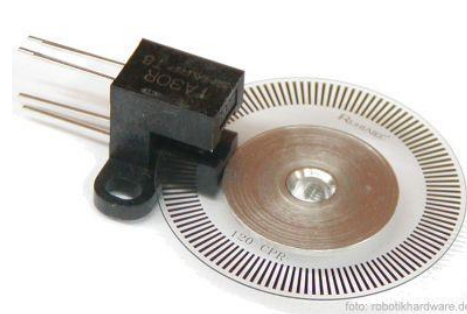
Absolutdrehgeber

- Eindeutiges Signal für Achsstellung durch Binärecodierte Scheiben
- Greycode Impulsgeber wechseln immer nur ein Bit
- Messverfahren
 - Elektrische
 - Optisch
 - Magnetisch



Inkrementaldrehgeber

- Lochschiebe zur Detektion der Achsbewegung
- Ein-Kanal-Inkrementalgeber nur Achsbewegung keine Richtung
- Quadraturencoder zusätzlich noch Richtung
- Messverfahren
 - Elektrische
 - Optisch
 - Magnetisch



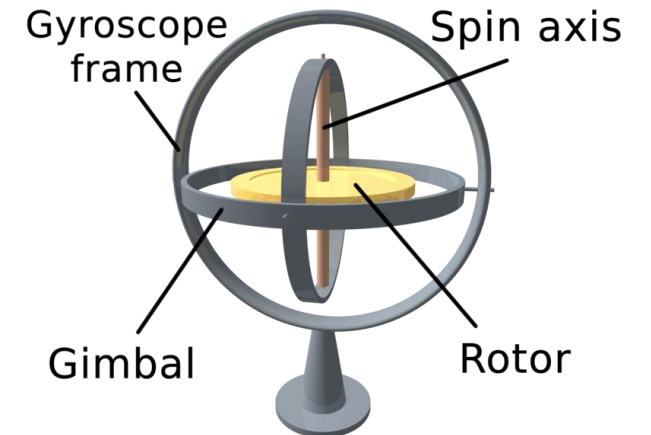
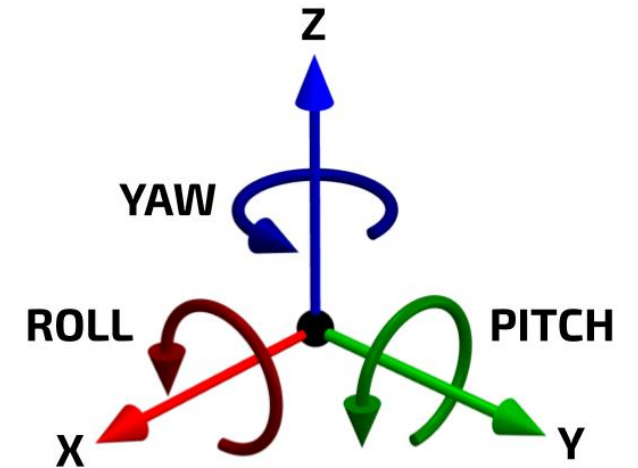
Beschleunigungsmessung

Linearbeschleunigung

- Messung der Massenträgheit entlang einer Achsen (X / Y / Z)
- Messung sind Driftbehaftet und besitzen einen Temperaturabhängigen Bias
- Messverfahren
 - MEMS

Rotationsbeschleunigung

- Messung der Rotationsbeschleunigung um eine Achse (Roll / Pitch / Yaw)
- Geringer Drift als bei Linearbeschleunigung aber auch Temperaturabhängiger Bias
- Messverfahren
 - MEMS
 - Piezo-elektrisch
 - Faseroptisch
(oft in der Unterwasserrobotik eingesetzt)





BOSCH

Invented for life

Acceleration sensor

Working principle



BOSCH

Invented for life

Combined inertial sensor for Vehicle Dynamics Control applications

Beschleunigungsmessung

Inertiale Messeinheit (IMU) - Inertial Measurement Unit (IMU)

- Kombiniert Linear- und Rotationsbeschleunigungssensoren
- Meist 3 Linear- und 3 Rotationsbeschleunigungssensoren um 6 DOF Pose zu bestimmen
- Oft wird auch noch ein Kompass mit integriert um einer Absolute Nordausrichtung zu erhalten
- In der Robotik werden hauptsächlich *Micro-Electro-Mechanical Systems* (MEMS) eingesetzt



Xsens IMU Sensoren



Bosch MM5.10



Bosch BNO055

Ausrichtungsmessung

Kompass

- Ausrichtung im Bezug auf den magnetischen Nordpol (Arktischer Magnetpol)
- Messung des Erdmagnetfeldes
- Empfindlich gegenüber magnetischen Störungen



Inklinometer (Neigungsmesser)

- Messung der Lage im Raum
- Meist mittels leitenden Flüssigkeiten (Quecksilber) die einen Kontakt herstellen
- Werden in der Robotik selten eingesetzt



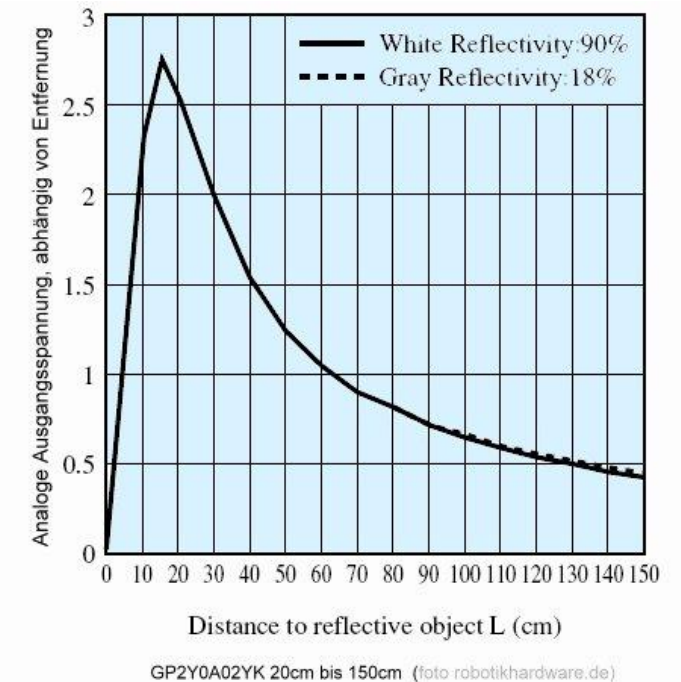
Entfernungsmessung

Infrarot

- Aussenden von Infrarotlicht
- Messung der Intensität des zurückgestrahlten Lichtes
- Fehlerquelle sind unterschiedlich farbige Flächen (schwarz Flächen absorbieren Licht stärker als helle Flächen)
- Eindimensionaler Sensor
- Reichweite bis zu wenigen Metern
- Besonders günstig



Sharp GP2Y...



<https://global.sharp/products/device/lineup/selection/opto/haca/diagram.html>

Entfernungsmessung

Ultraschall

- Ausstoß eines kurzen Ultraschallimpuls
- Messen der Zeit bis das Signal wieder am Sensor ankommt $d = vt/2$ (bei 20° C für Schall $v = 343\text{m/s}$)
- typische Frequenzen sind zwischen 40 und 180 kHz
- Keulenförmige Ausbreitung
- typische Reichweite zwischen 10cm und 5m



Bosch Automotiv



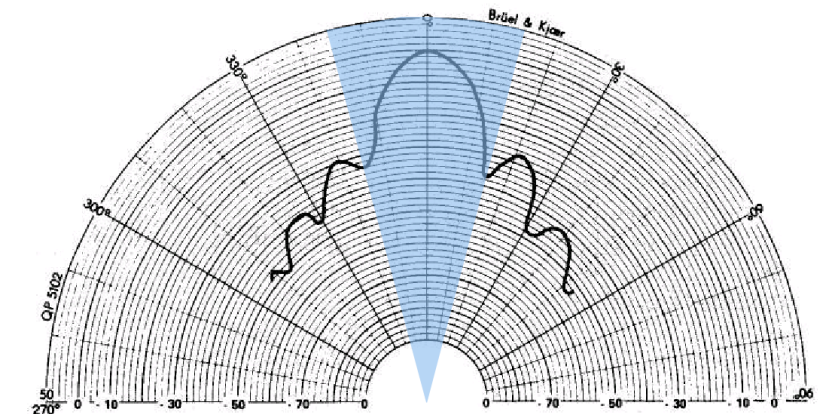
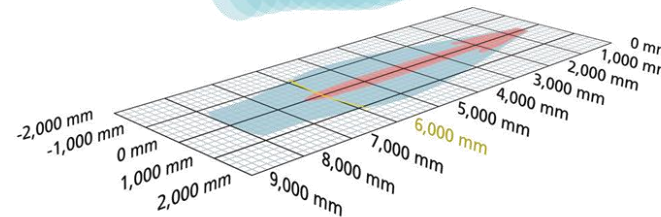
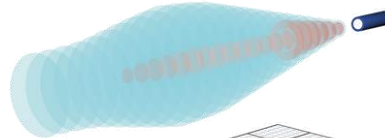
Microsonic



SRF08



SRF04



<https://www.microsonic.de/de/abstandssensoren/zyindrisch/micplus.htm>

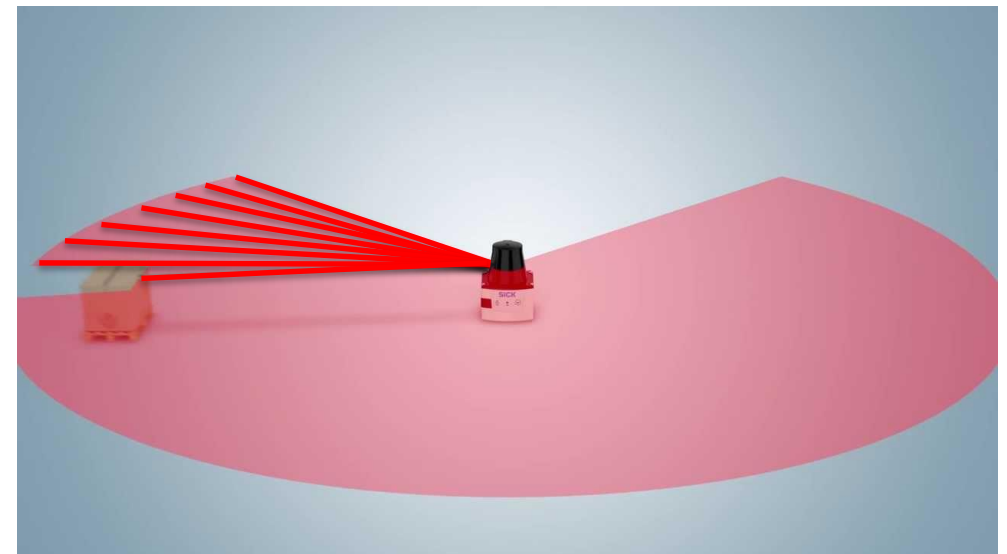
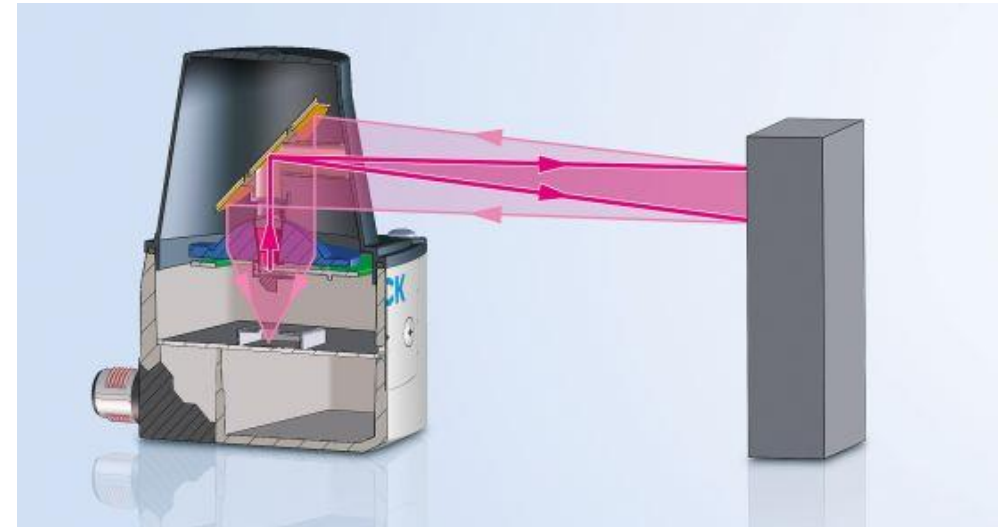
Entfernungsmessung

2D LiDAR (Laserscanner)

- Sind die meist verwendeten Sensoren in der Robotik
- Große Reichweite einfache Handhabung
- Robust gegenüber Störeinflüssen
- Erprobt in der Anwendung

Funktionsweise

- Laserdiode sendet Laser aus
- Rotierender Spiegel lenkt Laserstrahl um
- Photodiode empfängt Reflektion



Entfernungsmessung

Beispiele für 2D LiDAR

- Terabee SAS TeraRanger
 - 0.2 – 7m (+/- 10 cm)
 - ca. 500€
- Scanse Sweep
 - 0.1 - 40m (2% of distance)
 - ca. 250€
- Hokuyo
 - verschiedene Scanner
 - 0.1 - 30m
 - ab 1000€
- Sick
 - verschiedene Scanner
 - 0.1 – 150m
 - ab ca. 1000€



Sweep



TeraRanger



Sick LMS100



Hokuyo UTM-30LX und URG-04LX-UG01

Entfernungsmessung

Beispiele für 3D LiDARs mit rotierenden Spiegeln

- Velodyne
 - Erster Hersteller von 360° 3D LiDAR
 - 0.5 – 120m (+/- 1cm)
 - 360° Field of View
- Valeo
- Quanergy
- Robosense
- ...

Valeo Scala



Robosense



Quanergy



HDL-64E



HDL-32E



VLP-16

Velodyne

Solid State LiDARs

- LeddarTech
- Benewake CE30
- Hitachi FX8 / FX10
- ...

Flash LiDARs

- LeddarTech
- ...



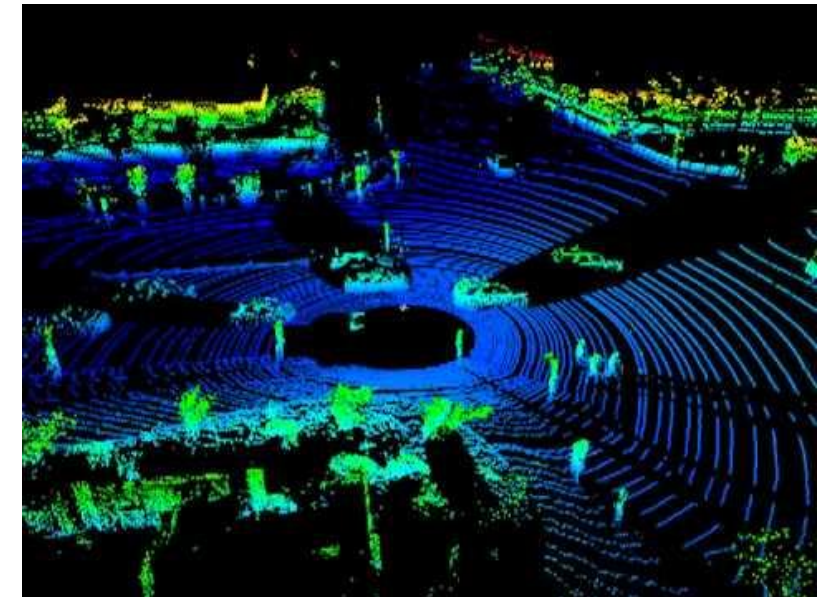
Benewake CE30



Hitachi FX10



Leddar Pixell



Entfernungsmessung

Beispiele für 3D LiDARs mit rotierenden Spiegeln

- Velodyne
 - Erster Hersteller von 360° 3D LiDAR
 - 0.5 – 120m (+/- 1cm)
 - 360° Field of View
- Valeo
- Quanergy
- Robosense
- ...



Robosense



Quanergy



Valeo Scala



HDL-64E



HDL-32E



VLP-16

Velodyne

Solid State LiDARs

- LeddarTech
- Benewake CE30
- Hitachi FX8 / FX10
- ...

Flash LiDARs

- LeddarTech
- ...



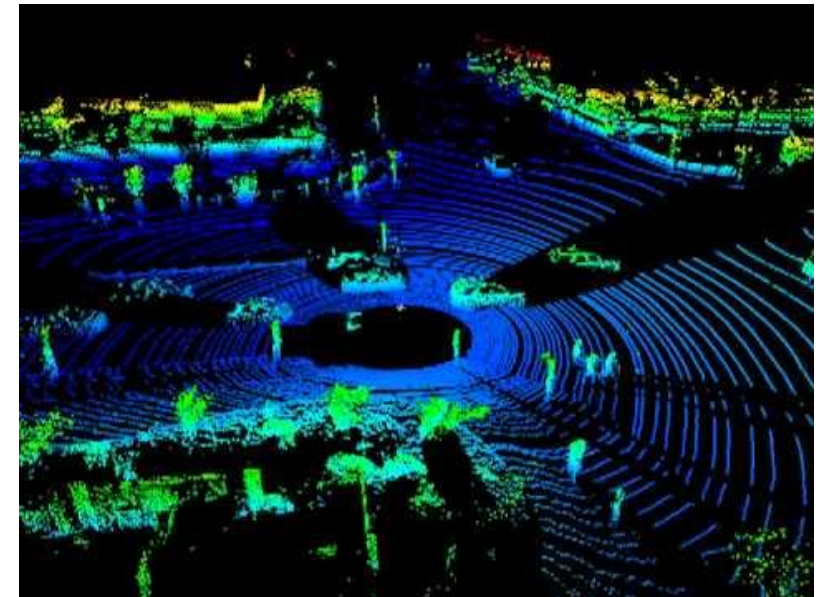
Benewake CE30



Hitachi FX10



Leddar Pixell



LeddarTech®

Entfernungsmessung

Beispiele für 3D LiDARs mit rotierenden Spiegeln

- Velodyne
 - Erster Hersteller von 360° 3D LiDAR
 - 0.5 – 120m (+/- 1cm)
 - 360° Field of View
- Valeo
- Quanergy
- Robosense



Robosense



Quanergy



Valeo Scala



HDL-64E



HDL-32E



VLP-16

Velodyne

Solid State LiDARs

- LeddarTech
- Benewake CE30
- Hitachi FX8 / FX10
- ...



Benewake CE30



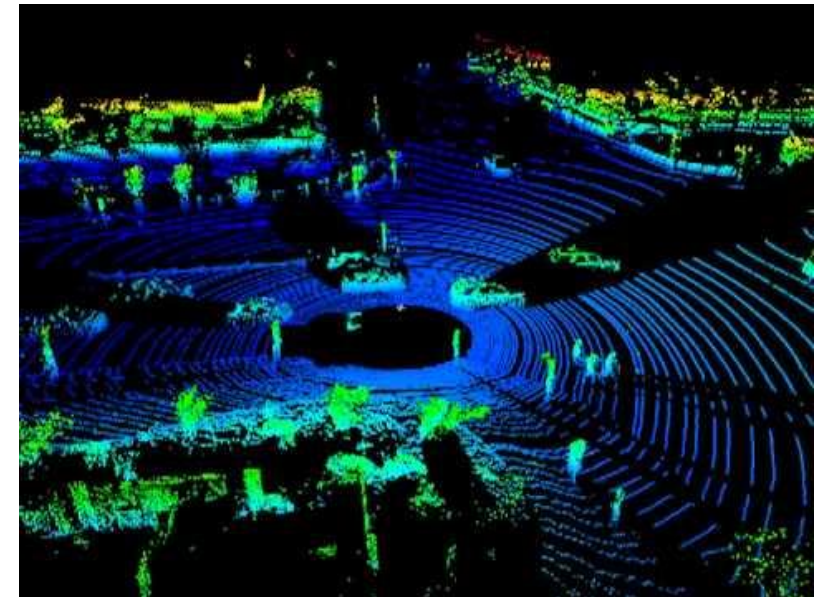
Hitachi FX10

Flash LiDARs

- LeddarTech
- ...



Leddar Pixell



LeddarTech®

3D Kameras

Structured Light

- Es wird ein (infrarot) Muster in die Scene projiziert
- Ein IR-Kamera erfasst diese Muster und errechnet daraus die Tiefeninformationen
- Ein normale RGB Kamera erfasst ein Farbbild der selben Scene
- Tiefen- und Farbinformation für jeden Pixel **RGB-D**
- Typische Auflösung 640x480 bei 30Hz (Kinect)
- 57° x 43° Field of View **FoV** (Kinect)

Beispiele

- Kinect
- Asus Xtion2
- Primesence Carmine
- Intel RealSense
- ...

