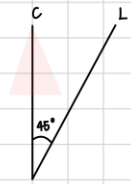


Exercise 2

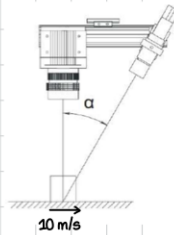


$$\Delta z = \frac{\Delta x}{\tan \alpha}$$

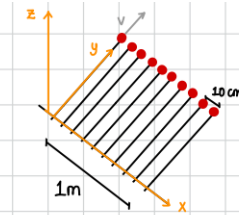
$$\lambda = 28 \text{ mm}$$

$$1 \text{ pix} / 0,02 \text{ mm (res. lungo z)}$$

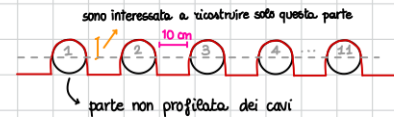
$$v = 10 \text{ m/s}$$



Geometria 2



11 cavi con
diametro = 0,8 cm



C3-2350 Sensor

Parameters	Specifications
Sensitivity at peak response	2500 LSB / lux s @ 610 nm
Resolution	2352 x 1728
Pixel Size	7 μm x 7 μm
Sensor Size	16.46mm x 12.10mm, diagonal: 20.43mm
Optics	1" C-Mount and F-Mount
Sensor ADC Resolution	10 bit
Sensor Dynamic Range	59dB
Max. Internal Full-Frame Rate	190fps
Max. External Full-Frame Rate	20fps (40MHz-CameraLink, 2Tap-Mode) 30fps (60MHz-CameraLink, 2Tap-Mode)
Max. Internal Row Frequency at 2352 Pixels/Row	115kHz
Max. Profile Rate at Max. Row Length = Max. Internal Row Frequency / Number of Rows	23450 Hz (14 rows) 12160 Hz (27 rows) 3040 Hz (108 rows) 1520 Hz (216 rows) → 200 760 Hz (432 rows) 380 Hz (864 rows) 190 Hz (1728 rows)

$$1 \text{ pix} / 0,02 \text{ mm} = 50 \text{ pix/mm} \rightarrow 50 \text{ pix/mm} \cdot 8 \text{ mm} = 400 \text{ pix} = 400 \text{ righe} \rightarrow \sim 820 \text{ Hz}$$

$$f = 820 \text{ Hz}, v = 10 \text{ m/s} \rightarrow \text{ogni profilo dista dall'altro } \frac{10 \text{ m}}{820} = 0,012 \text{ m} = 12 \text{ mm}$$

Tuttavia a noi interessa profilare solo metà circonferenza, quindi 4 mm ($\Delta z = 4 \text{ mm}$):

$$1 \text{ pix} / 0,02 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm} = 200 \text{ righe} \rightarrow \sim 1550 \text{ Hz}$$

$$\Delta x = \Delta z \cdot \tan \alpha = \Delta z \cdot \tan 45^\circ = 4 \text{ mm}$$

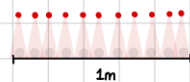
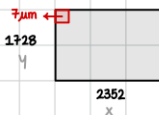
$$SS = 200 \text{ pix} \cdot 7 \mu\text{m} = 1400 \mu\text{m} = 1,4 \text{ mm}$$

$$WD : FOV = FL : SS \rightarrow WD : 4 \text{ mm} = 28 \text{ mm} : 1,4 \text{ mm} \rightarrow WD = 80 \text{ mm}$$

La distanza fra due profili consecutivi è Δy . Il periodo di acquisizione della camera è $\frac{1}{1550 \text{ Hz}} = 0,6 \mu\text{s}$, la velocità della camera è 10 m/s, quindi:
 $\Delta y = T \cdot v = 0,6 \mu\text{s} \cdot 10 \text{ m/s} = 6 \text{ mm}$

Ora dobbiamo verificare se la camera riesce a ricostruire il FOV di 1m: $WD : FOV = FL : SS \rightarrow 80 \text{ mm} : 1 \text{ m} = 28 \text{ mm} : SS \rightarrow SS = 350 \text{ mm}$

Sono necessari quindi n. pixels = $\frac{350 \text{ mm}}{7 \mu\text{m}} = 50.000 < 2352 \rightarrow$ Una camera non è sufficiente: $\frac{50.000}{2352} = 21 \text{ camere}$.



Come posso quindi ridurre il costo di questo sistema?

→ Posso usare 11 camere, 1 per ogni cavo, con 400 pixel, dato che non ho bisogno di ricostruire tutto il FOV di 1m.

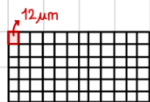
The dimension of the sensor is higher than in the previous case that we see, because we need a higher sensitivity and it also depends on the wavelength of the laser. The wavelength of the laser is chosen by considering different aspects:

- Reflectance of the surface at that frequency
- Danger provided by the laser: higher the class of the laser, higher the danger.

Exercise 1

C3-1280 Sensor

Parameters	Specifications
Sensitivity at peak response	1600 LSB / lux s @ 550 nm corresponds to 10695 LSB / $\mu\text{J} / \text{cm}^2$
Resolution	1280 x 1024
Pixel Size	12 μm x 12 μm
Sensor Size	15.4mm x 12.3mm, diagonal: 19.7mm
Optics	1 inch (C-Mount)
Sensor ADC Resolution	10 bit
Sensor Dynamic Range	59dB
Max. Internal Full-Frame Rate	450fps
Max. External Full-Frame Rate	61fps (40MHz-CameraLink, 2Tap-Mode) 91fps (60MHz-CameraLink, 2Tap-Mode)
Max. Internal Row Frequency at 1280 Pixels/Row	139kHz
Max. Profile Rate at Max. Row Length = Max. Internal Row Frequency / Number of Rows	28800 Hz (16 rows) \rightarrow 24 14400 Hz (32 rows) \rightarrow 40 7200 Hz (64 rows) 3600 Hz (128 rows) 1800 Hz (256 rows) 900 Hz (512 rows) 450 Hz (1024 rows)



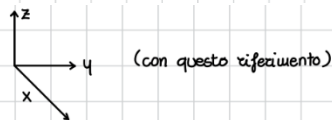
$$\begin{aligned} \text{WD} : \text{FOV} &= \text{FL} : \text{SS} \\ \text{WD} : 10 \text{ cm} &= 28 \text{ mm} : 0.288 \text{ mm} \rightarrow \text{WD} = 10 \text{ cm} \\ \Rightarrow h &= \text{WD} \cdot \cos \alpha = 10 \text{ cm} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 8.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ora dobbiamo verificare se riusciamo a ricostruire il profilo nella direzione di $\text{FOV} = 30^\circ$.

$$\text{WD} : \text{FOV} = \text{FL} : \text{SS} \rightarrow 10 \text{ cm} : 30^\circ = 28 \text{ mm} : \text{SS} \rightarrow \text{SS} = 840 \mu\text{m} \rightarrow \text{richiede } n. \text{ pixel} = \frac{840 \mu\text{m}}{12 \mu\text{m}} \approx 70 < 1280 \checkmark$$

Sarà necessario quindi parzializzare il sensore, usando solo una parte delle righe e delle colonne: in questo caso migliora il throughput.

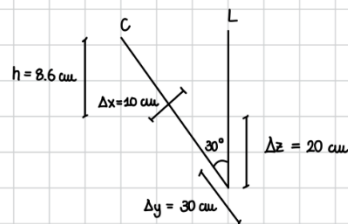
→ Qual è la risoluzione lungo x, y e z?



• Lungo z : $\frac{24 \text{ righe}}{20 \text{ cm}} = \frac{24 \text{ pixel}}{20 \text{ cm}} = 1 \text{ pix} / 0.83 \text{ cm}$

• Lungo y : 5 pix/mm (dato in input) = $1 \text{ pix} / 0.02 \text{ cm}$

• Lungo x : $\frac{1 \text{ pix}}{0.83 \sin \alpha} = \frac{70 \text{ pix}}{30 \text{ cm}} = 1 \text{ pix} / 0.43 \text{ cm}$

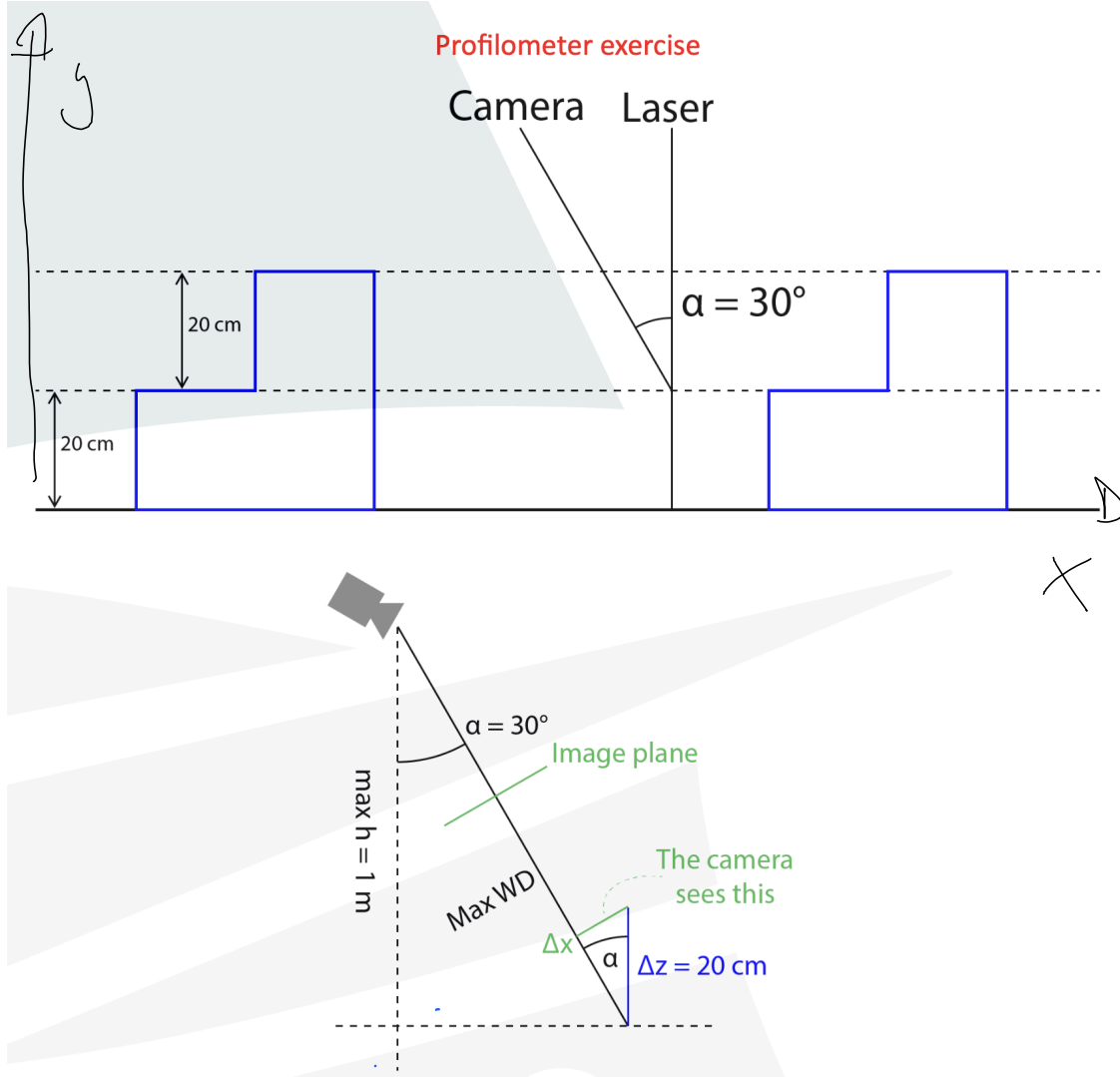


Supponiamo di voler aumentare la risoluzione lungo z a $1 \text{ pix} / 0.5 \text{ cm}$. Una soluzione potrebbe essere quella di aumentare il numero delle righe, ma il side effect è che si riduce la frequenza. Il numero di righe sarà $20 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ pix}}{0.5 \text{ cm}} = 40$ ($\sim 12.000 \text{ Hz}$) $\rightarrow +30\%$ di righe $\rightarrow -30\%$ frequenza : 10.000 Hz . Inoltre la velocità dell'oggetto si dimezzerebbe perché ne acquisiremo 10.000 profili/s.

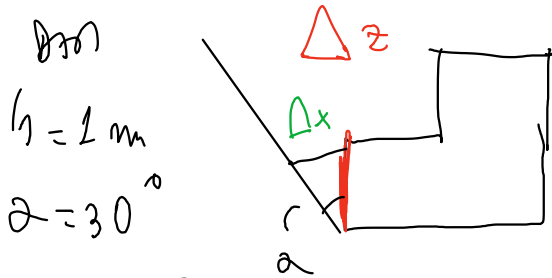
La dimensione del sensore sarà di $40 \text{ righe} \cdot 12 \mu\text{m} = 480 \mu\text{m}$ e $\text{WD} = \frac{10 \text{ cm} \cdot 28 \text{ mm}}{480 \mu\text{m}} = 583 \text{ cm} \rightarrow h = \text{WD} \cdot \cos \alpha = 5.04 \text{ m}$

Tuttavia ridurre la velocità dell'oggetto non è una soluzione accettabile. Si potrebbero eventualmente suddividere le linee. ②

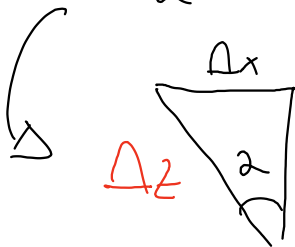
Anche cambiando l'angolo, si avrebbero sempre 24 righe. Tuttavia nei casi reali, riducendo l'angolo, si hanno prestazioni migliori nell'interpolazione dei subpixel. ③



Capiamo i dati che abbiamo a disposizione:



Questa è la nostra rappresentazione



$$\Delta x = \text{ipotenusa} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\Delta x = 1 \text{ m} \cdot \sin(30^\circ) = 10 \text{ cm}$$



$$WD \cdot \cos \alpha = h$$

$$WD = \frac{h}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cos(30^\circ)} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = \underline{\underline{1.15 \text{ m}}}$$

Ci interessano solo le parti orizzontali degli oggetti inoltre noi vogliamo una tolleranza di 21 cm rispetto a DELTA Z

$$\Delta z = 21 \text{ cm}$$

Poiche vogliamo 1 allora facciamo 21 cm 0.5 per parte

$$S.save = 12 \text{ cm}$$

Ora dobbiamo trovare la f

$$\frac{wd}{FOV} = \frac{f}{S.S}$$

$$\max F_{col} = \frac{S.S. \cdot WD}{FOV} = \frac{12 \text{ mm} \cdot 1180}{105} =$$

$$= 131,428 \text{ mm} \approx 131,43 \text{ mm}$$

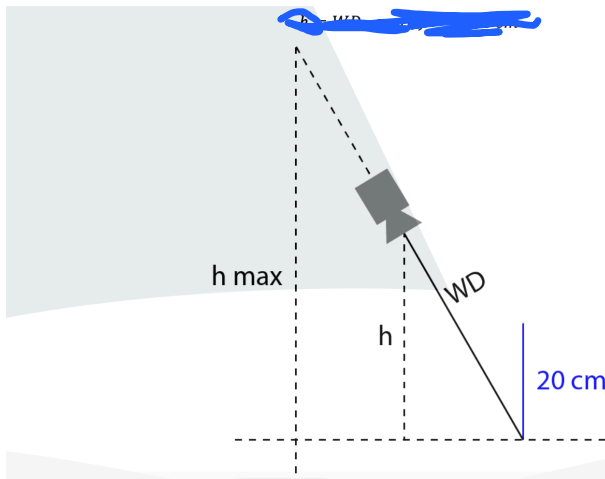
Ora se f = 100 mm allora

→

$$wd = \frac{f \cdot FOV}{S.S} = \frac{100 \cdot 105}{12}$$

$$= 875 \text{ mm}$$

Ora avvicinando la telecamera otteniamo:



$$wd = 87,5 \text{ cm}$$

$$H = wd \cdot \cos(\alpha)$$

$$= 20,78$$

Ora noi sappiamo che ha 1700 righe da dividere per 21 che è al fov

$$\frac{1700}{21} = 80,95 \approx 81 \text{ cm}$$

Pero praticamente il sensore puo acquisire 88 righe sia in orizzontale che in verticale

$$88 \cdot 2 = 176 \quad \rightarrow \quad 1700 \text{ RIGHE} - 176 = 1524 \text{ RIGHE}$$

Perche considera la banda di 1 cm e fa righe / 21
? Si considera la banda di un 1 cm perche la tolleranza è 0.5 + 0.5 e quindi prende in

considerazione i 21 cm e quindi lo divide in
banda e ottiene 1 cm

$$V = 2200 \text{ Hz} \cdot 0,1 \text{ mm} = 0,22 \text{ m/s}$$

Ogni volta frame si deve spostare per 0.22 m/s