



Namatek
True Education



Displacement Measurement Sensor

www.namatek.com

سنسور فاصله سنج

فهرست مطالب

۱. معرفی و کاربردهای سنسور فاصله سنج
۲. اصطلاحات پرکاربرد برای سنسور فاصله سنج
۳. تکنولوژی و طراحی سنسور فاصله سنج

سنسور فاصله سنج یکی از جذابترین مباحث اتوماسیون صنعتی است، البته شاید در برخی محافل این سنسورها را به نام سنسورهای هوشمند (smart sensor) شنیده باشید.

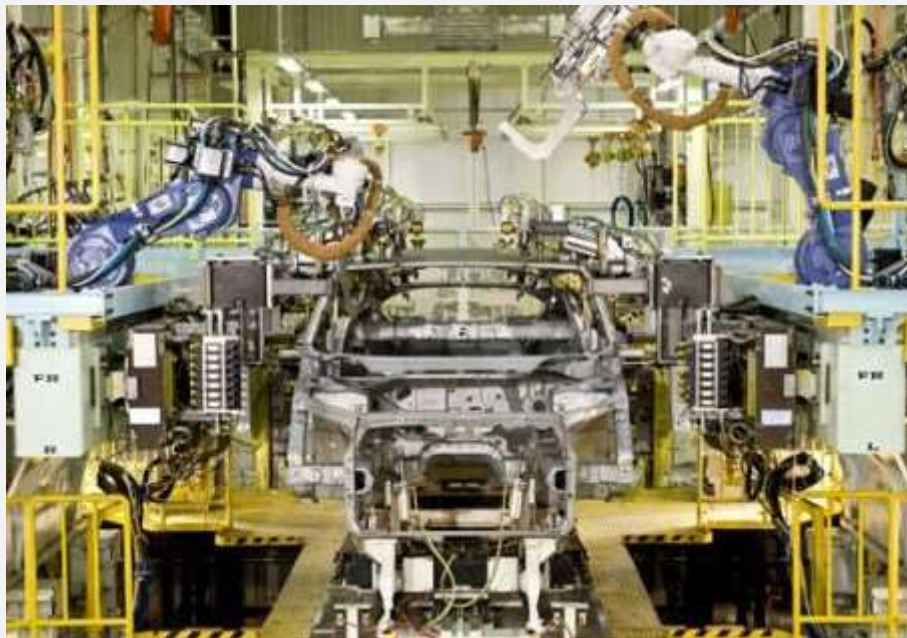
در این مقاله علاوه بر معرفی کاربردها و انواع این سنسورها، تئوری و نحوه طراحی این سنسورها رو هم بررسی خواهیم کرد.



معرفی و کاربردهای سنسور فاصله سنج

تجهیزات صنعتی در دنیای امروز، با سرعت بسیار بالایی در حال پیشرفت هستند. عملاً بدون کمک سنسور فاصله سنج و ویژن سیستمها، این سطح از تجهیزات پیشرفته و مدرن را نمی‌توانیم کنترل کنیم.

در این بخش سنسورهای اندازه‌گیری و جابه‌جایی و شرایط محیطی مؤثر بر آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.



یک تفاوت

دانشمندان از نظر ادبیات و دانش سنسینگ (Sensing) (حس کردن)، بین سنسورهای اندازه‌گیری (Measurement) و سنسورهای جابه‌جایی (Displacement) تمایز قائل می‌شوند. سنسورهای اندازه‌گیری این توانایی را دارند که یک مسافت یا مقدار مطلق (مشخص شده) را اندازه‌گیری کنند.

سنسورهای فاصله سنج این توانایی را دارند که یک مقدار نسبی را اندازه‌گیری کنند. (مثلاً تغییرات مکانی از موقعیت A به موقعیت B)

البته این دو سنسور بسیار شبیه هم بوده و رابطه‌ی بسیار نزدیکی باهم دارند، به همین خاطر عموماً این دو سنسور باهم مطرح می‌شوند.

“Displacement & Measurement Sensors”



کاربردها

سنسورهای اندازه‌گیری و جابه‌جایی در بسیاری از کاربردها و فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً از این سنسورها برای کنترل کیفیت یا مکان‌یابی و جاگذاری دقیق محصولات استفاده می‌شود.

خیلی از اوقات به ترکیبی از یک یا چندین سنسور با دقت بالا و انجام محاسبات و اندازه‌گیری‌های پیچیده به منظور رسیدن به یک نتیجه‌ی

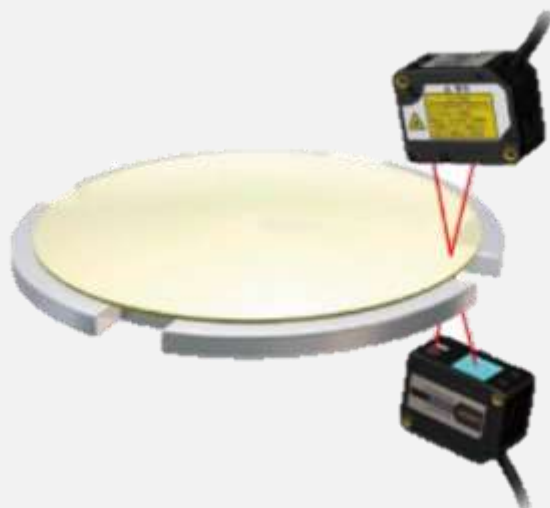
مطلوب و دقیق نیازمندیم. برای این نوع کارها، به مهندسين توانمند و باتجربه نیاز است.



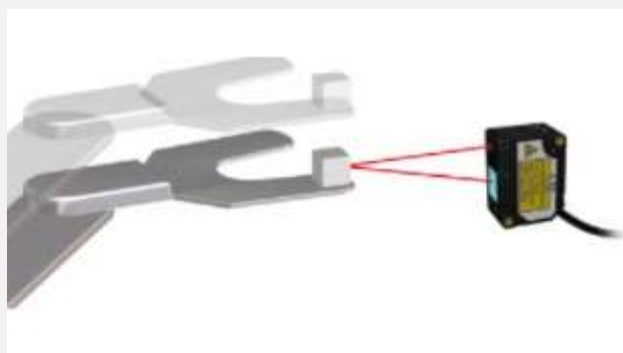
سنسور فاصله سنج در کنترل کیفیت



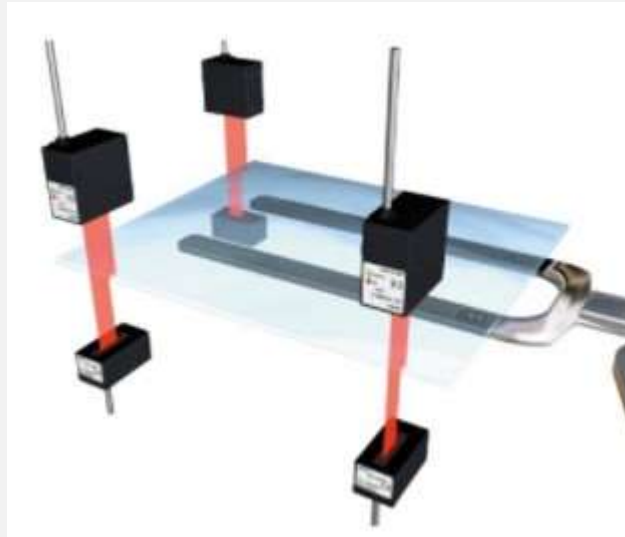
کنترل کیفیت - اندازه‌گیری شکاف درهای خودرو



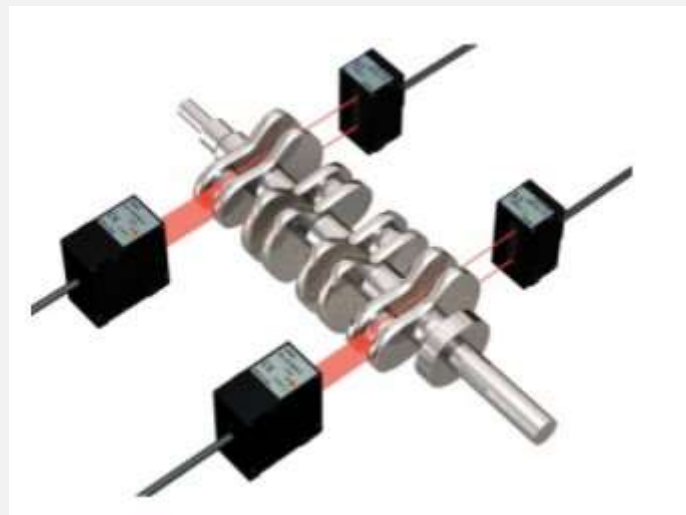
کنترل کیفیت - اندازه‌گیری ضخامت ویفرها



موقعیت دقیق بازوی ربات



جابه‌جایی دقیق شیشه و اجسام شکستنی



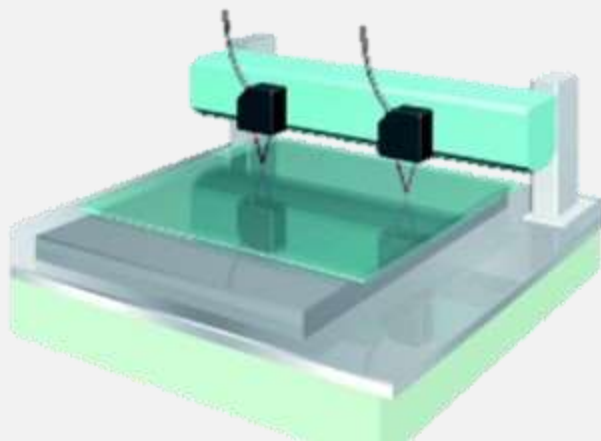
کنترل کیفیت - اندازه‌گیری قطر یک شکاف شفت



کنترل کیفیت - اندازه‌گیری قطر پیستون



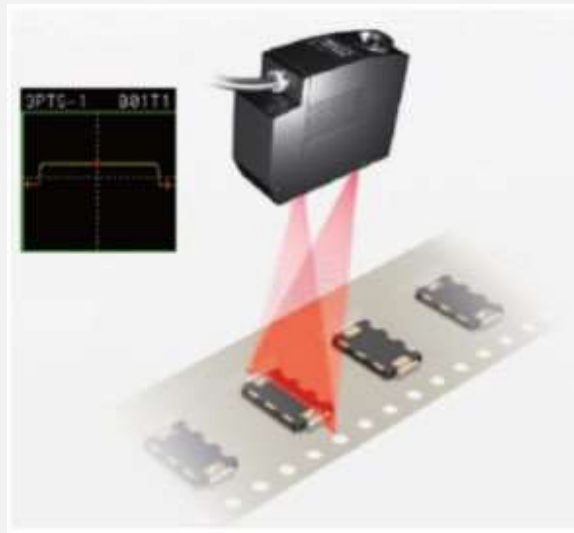
کنترل کیفیت - تشخیص مدارات چاپی (PCB) در یک بُرد



کنترل کیفیت - اندازه‌گیری سطح یک شیشه



کنترل کیفیت - اندازه‌گیری جابه‌جایی



کنترل کیفیت - اندازه‌گیری سطح مقطع تجهیزات SEMI کوچک

اصطلاحات پرکاربرد برای سنسور فاصله سنج

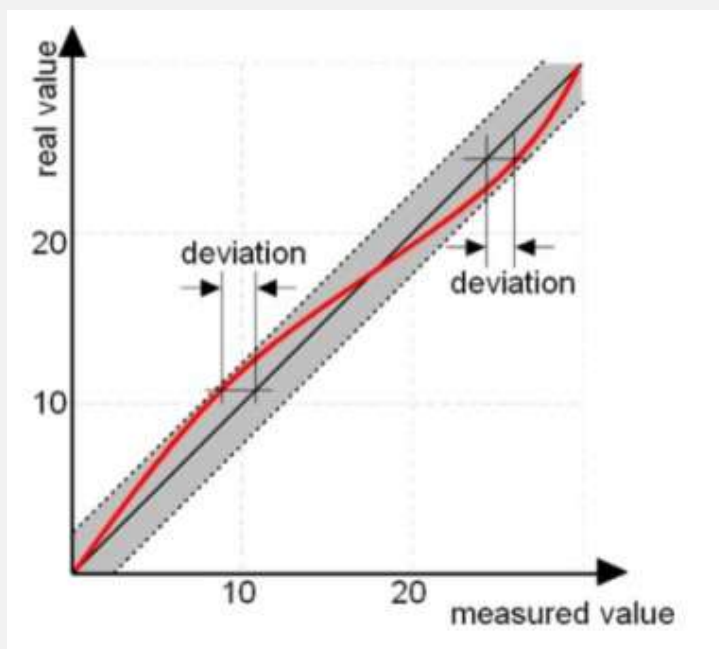
پیش از آنکه به معرفی انواع دیگری از سنسورهای اندازه‌گیری و جابه‌جایی پرداخته و کاربردهای بیشتری از این سنسورها را بررسی کنیم، نیاز است که با برخی اصطلاحات پرکاربرد آشنا شده تا بهتر بتوانیم کارایی این سنسورها را توضیح دهیم.

این اصطلاحات عبارتند از:

- خطی بودن (Linearity)
- وضوح (Resolution)
- صحت (Accuracy)
- دقت (Precision)

خطی بودن (linearity)

سنسورهای اندازه‌گیری ایده‌آل به گونه‌ای طراحی می‌شوند که رفتاری خطی داشته باشند. سیگنال خروجی یک سنسور بایستی متناسب با مقداری که اندازه‌گیری کرده است، خطی سازی شده و به صورت خطی استفاده شود. در حقیقت، میزانی از اختلاف بین مقدار حقیقی یک کمیت مورد اندازه‌گیری و مقدار خروجی سنسور وجود دارد (به خاطر خطی سازی سیگنال‌ها). این اختلاف مقادارها، اولین عاملی می‌باشد که کیفیت یک سنسور اندازه‌گیری را مشخص می‌کند. این عامل را تحت عنوان خطی بودن یک سنسور، در دیتاشیت مشخصات یک سنسور ذکر می‌شود.



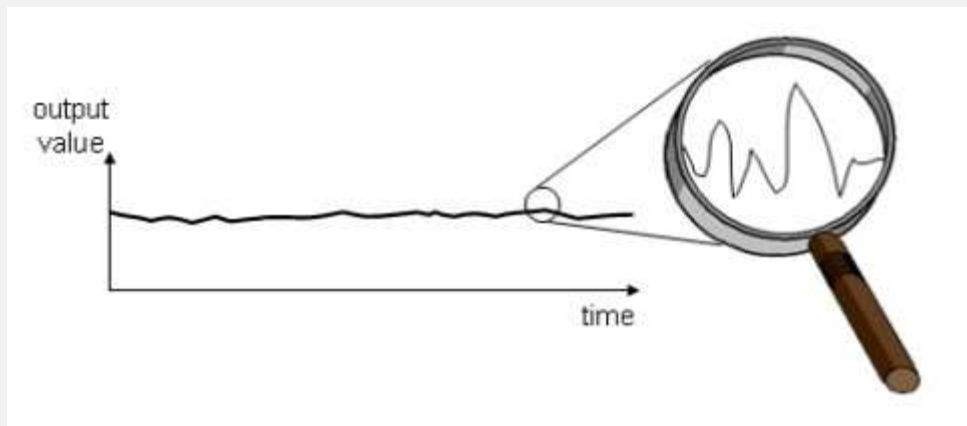
وضوح (Resolution)

وضوح یک سنسور به میزان بسیار بالایی به دقت سنسور وابسته است و در نتیجه‌ی سطح نویزی که روی سیگنال سنسور می‌افتد، وضوح سنسور تغییر می‌کند. همچنین به شدت وابسته به عواملی همچون رنگ اشیاء، سطح اشیاء و مشخصه‌های سنسور است.

در برخی سنسورها بهره‌مندی از CMOS های مرغوب، اپتیک‌ها و الگوریتم های نرم‌افزاری پیچیده منجر به کاهش اثرات رنگ و سطح اجسام بر روی رزولوشن می‌شود.

در مشخصات سنسورها (کاتالوگ)، رزولوشنی که نوشته می‌شود، به تغییرات کوچک سیگنال خروجی در حالتی که سنسور و شیء مورد بررسی، ثابت هستند، گفته می‌شود.

در کاربردهایی که اشیاء مورد اندازه‌گیری در حرکت هستند، وضوح سنسورها بایستی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بهتر از مواردی که اشیاء ساکن مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند، باشد. (یعنی اگر سنسوری با میزان رزولوشن A نیاز داریم، بایستی به علت در حرکت بودن از سنسوری با رزولوشن ۱۰ A استفاده کنیم، تا کارایی مناسب را به ما بدهد.)



به منظور بهبود رزولوشن سنسورهای اندازه‌گیری و جابه‌جایی، چرخه‌ای از n بار اندازه‌گیری را، میانگین‌گیری کرده و محاسبات لازم انجام می‌شود.

برای مثال در کاتالوگ (datasheet) زیر، میزان رزولوشن و وضوح اندازه‌گیری، با میانگین‌گیری از ۴۰۹۶ چرخه‌ی اندازه‌گیری محاسبه می‌شود. هرچه تعداد این چرخه‌های اندازه‌گیری افزایش یابد، رزولوشن بهبود یافته ولیکن زمان پاسخ‌گویی افزایش می‌یابد.

برخی از سنسورها این قابلیت را داشته که متناسب با کاربردی که از آن‌ها استفاده می‌کنیم، تعداد چرخه‌های اندازه‌گیری را بهینه‌سازی کنند تا هم زمان پاسخ‌گویی مناسبی داشته باشیم و هم نتیجه‌ی مناسب‌تری داشته باشیم، مثلاً سنسورهای ZX1 و ZX2 شرکت امرن از این تکنولوژی برخوردارند.

براساس یک فرمول و قانون سخت‌گیرانه، رزولوشن مورد استفاده برای هر کاربرد بایستی ۱۰ برابر مقدار رزولوشن موردنیاز برای آن کاربرد باشد. مثلاً

اگر در یک کاری رزولوشن ۱mm ($1000\mu\text{m}$) مورد نیاز باشد، سنسوری را انتخاب کنید که رزولوشن $100\mu\text{m}$ داشته باشد. (بهتر بودن رزولوشن به معنای کوچک بودن مقدار رزولوشن است.)

	ZX-LD40	ZX-LD100	ZX-LD300	
Applicable Amplifier Units	ZX-LDA11-N/41-N, ZX-LDA11/41			
Measuring center distance	40mm	100mm	300mm	400mm
Measuring range	±10mm	±40mm	±200mm	±400mm
Light source	Red semiconductor laser (λ=650nm, 1mW max.)			
Beam diameter (*1)	50μm	100μm	300μm	750μm
Resolution (*2)	2μm	16μm	300μm	2000μm
Linearity (*3)	±0.2%F.S. (Entire range)	±0.2%F.S. (80 to 120mm)	±2%F.S. (200 to 400mm)	±5%F.S. (400 to 750mm)
Temperature characteristic (*4)	±0.03%F.S./°C		±0.1%F.S./°C	
Ambient temperature	Operating: 0 to 50°C. Storage: -15 to 60°C. (with			

- (*2) Resolution: Fluctuation width ($\pm 3\sigma$) of linear outputs when connected to Amplifier Unit (With averaging number set to 4096 and the standard work placed at the measuring center distance)
- (*3) Linearity: The error in relation to the ideal displacement output straight line when the standard work is measured (May vary with the sensing object).
Standard work: White ceramics
- (*4) Temperature characteristic: Value obtained when the sensor and object (standard work) are fixed with an aluminum jig (Measured at the measuring center distance)

دقت و صحت

صحت (Accuracy)، اختلاف مقدار اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده با مقدار حقیقی (صحیح) است، این اختلاف ممکن است به خاطر همه‌ی خطاهای ممکن از جمله خطای درجه بندی (کالیبراسیون)، تاثیر دمای محیط و ... باشد.

دقت (Precision)، میزان تکرارپذیری و یکسان بودن پاسخ‌های یک سنسور در اندازه‌گیری یک کمیت می‌باشد، در واقع میزان تجمع مقادیر اندازه‌گیری شده، در نزدیکی یک مقدار معین. به طور کلی و در بسیاری از کاربردها، دقت سنسور در مقایسه با صحت سنسور بسیار مهم‌تر است.



تکنولوژی و طراحی سنسور فاصله سنج

در طراحی سنسورهای اندازه‌گیری و جابه‌جایی، از تکنولوژی‌های مختلفی استفاده می‌شود. در این درس به بررسی تکنولوژی‌های پرکاربرد در ساخت این مدل سنسورها از جمله سنسورهایی که توسط شرکت امرن ارائه می‌شود، می‌پردازیم:

• سه‌گانه‌ی لیزری (Laser Triangulation)

- میکرومتر لیزری (Laser Micrometer)
- اندازه‌گیری لمسی (Contact Measurement)
- اندازه‌گیری القائی (Inductive Measurement)

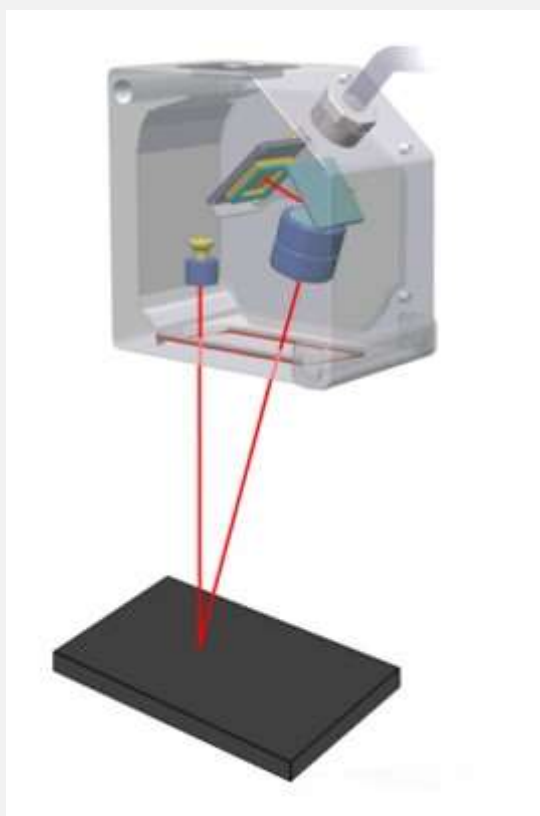


سه‌گانه‌ی لیزری (Laser Triangulation)

سنسورهایی که بر اساس مثلث لیزری طراحی شده‌اند، موقعیت یک هدف را با بهرمندی از اندازه‌گیری نور بازتاب شده از سطح جسم تشخیص می‌دهد. پرتو لیزر، یک نقطه‌ی نور را به سمت هدف می‌فرستد و بازتاب این نور، از طریق یک لنز نوری (optical lens)، بر روی یک گیرنده‌ی حساس به نور متمرکز (focused) می‌شود.

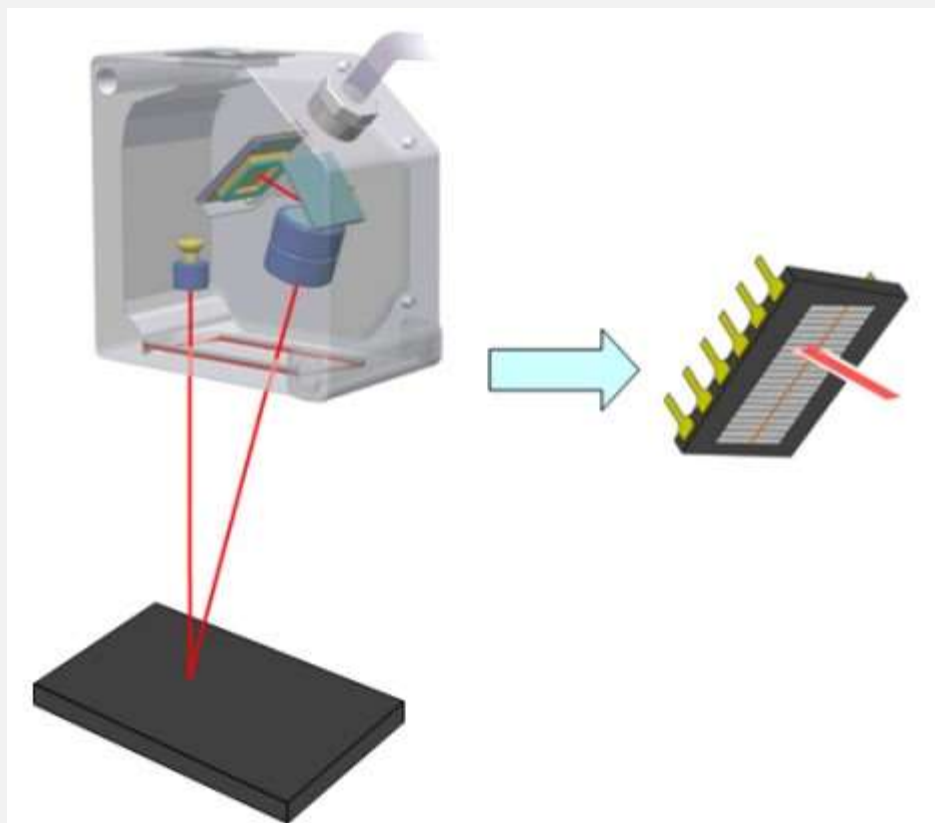
اگر موقعیت جسم مورد نظر نسبت به موقعیت قبلی‌اش تغییر کند، موقعیت آن نقطه‌ی نور بر روی گیرنده نیز تغییر می‌کند. موقعیت نقطه‌ی نوری که بر روی گیرنده ثبت شده است، متناسب با موقعیت هدفمان، به یک سیگنال آنالوگ یا دیجیتال تبدیل می‌شود.

عواملی از جمله برد بالای تشخیص اجسام، سرعت پاسخ‌دهی و رزولوشن بالا و ... سنسورهای لیزری اپتیکی را به یکی از بهترین انتخاب‌ها برای گستره‌ی متنوعی از کاربردهای صنعتی تبدیل کرده است.

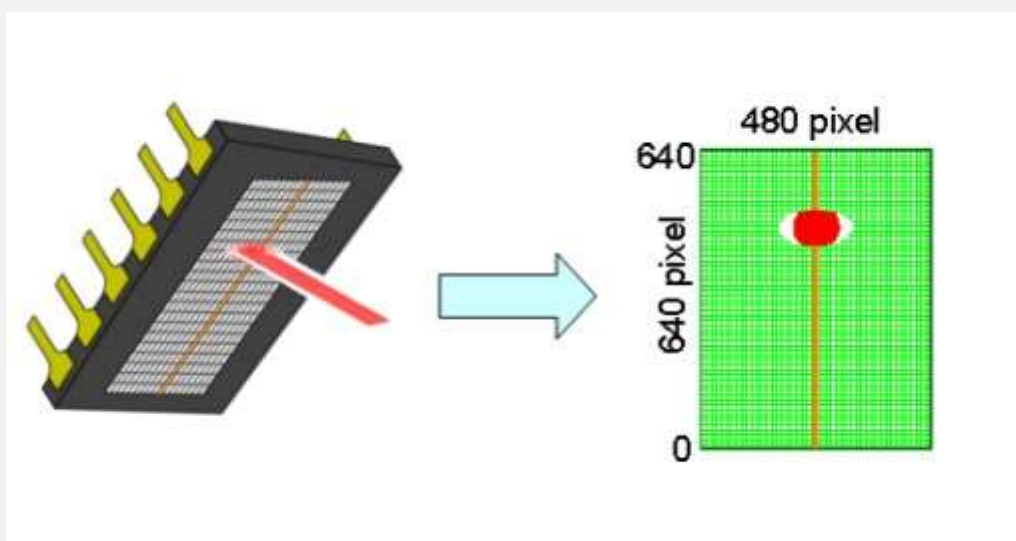


امروزه سنسورهای جابه‌جایی از تکنولوژی CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) به عنوان عنصر گیرنده (receiving)

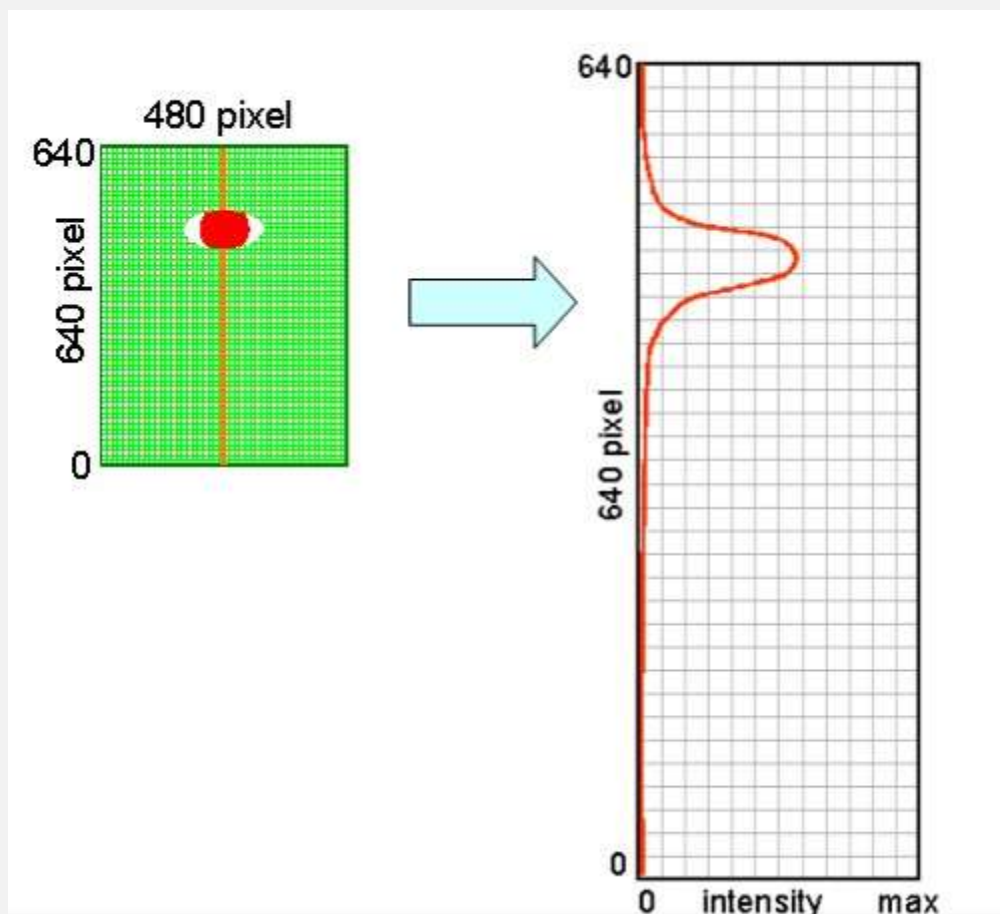
element) استفاده می‌کنند. این تکنولوژی مزایای مختلفی را در مقایسه با بهره‌مندی از تکنولوژی‌های CCD و PSD دارد.



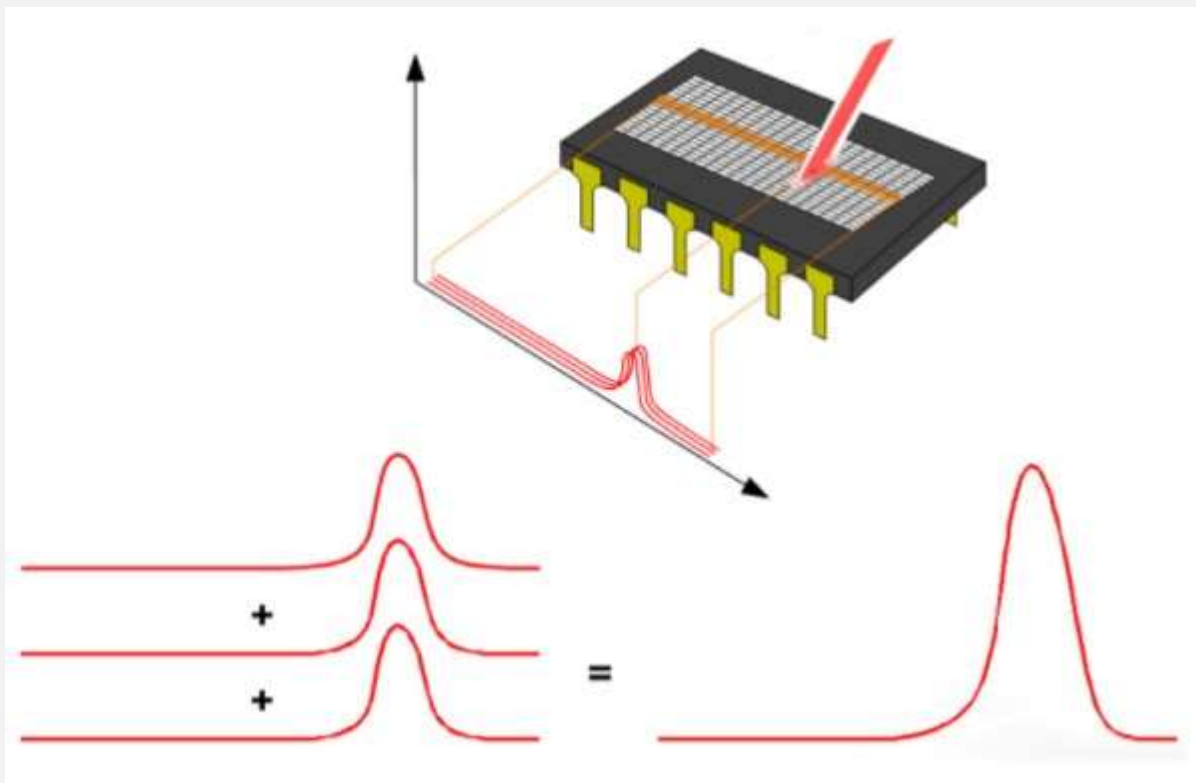
برای مثال ZS CMOS دارای رزولوشن 480×640 پیکسل است. (یعنی این گیرنده دارای $480 \times 640 = 307200$ تعداد حسگر است.)



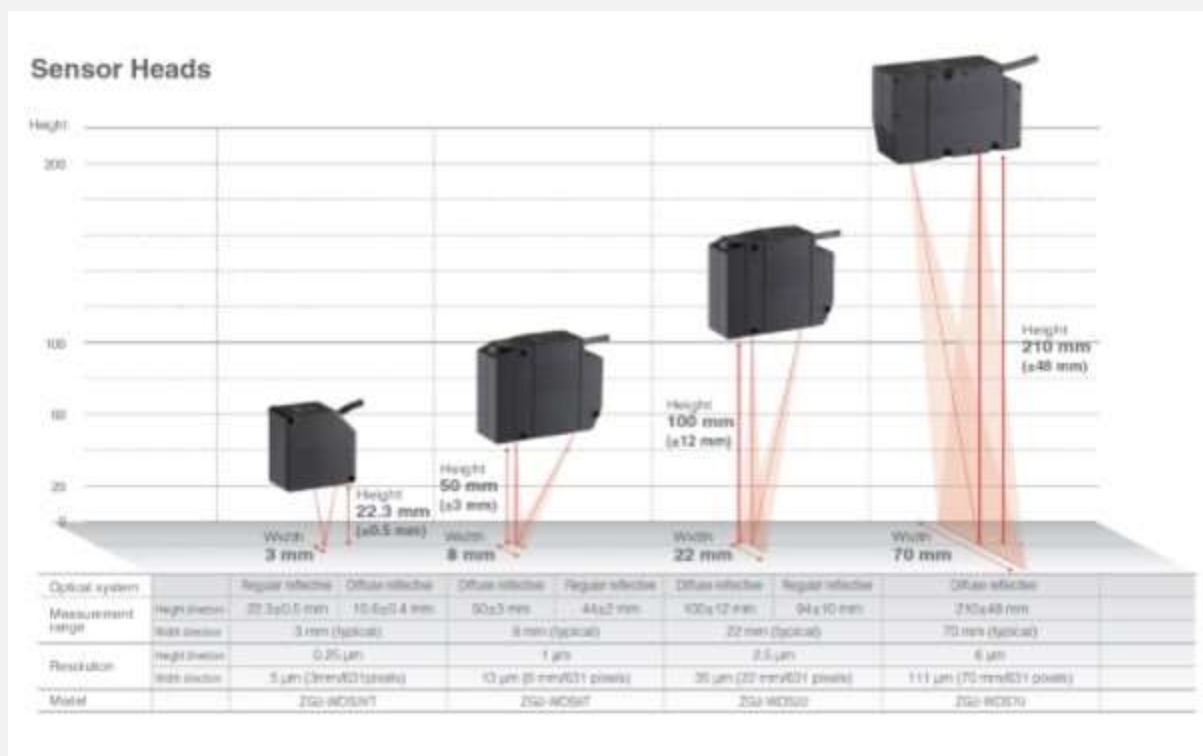
سنسور، نقطه‌ی نوری که بر روی CMOS نمایان می‌شود را به یک سیگنال خطی تبدیل می‌کند. (از این طریق نقطه‌ای بر روی حسگر به عنوان مکان فعلی جسم در نظر گرفته می‌شود.)



به منظور بهبود رزولوشن و قدرت حس کردن سنسورهای هوشمند ZS، می‌توان چندین سیگنال خروجی از CMOS را پردازش کرده و مقدار میانگین را به عنوان مقدار مطلوب انتخاب کرد. البته این کار ممکن است سرعت عملکرد سنسور را کاهش دهد.

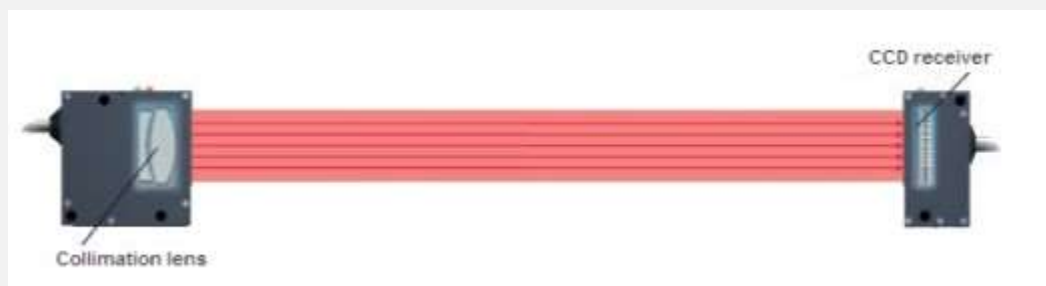


بهره‌مندی از تکنولوژی مثلث لیزری، براساس قواعد پیچیده‌ی هندسی طراحی شده است که قادر به محاسبه‌ی فواصل مختلف است. برای اندازه‌گیری سطح مقطع و تغییرات موقعیتی جسمی که در نظر داریم، بایستی به ویژگی‌های سنسور (Head Sensor) توجه کنید:

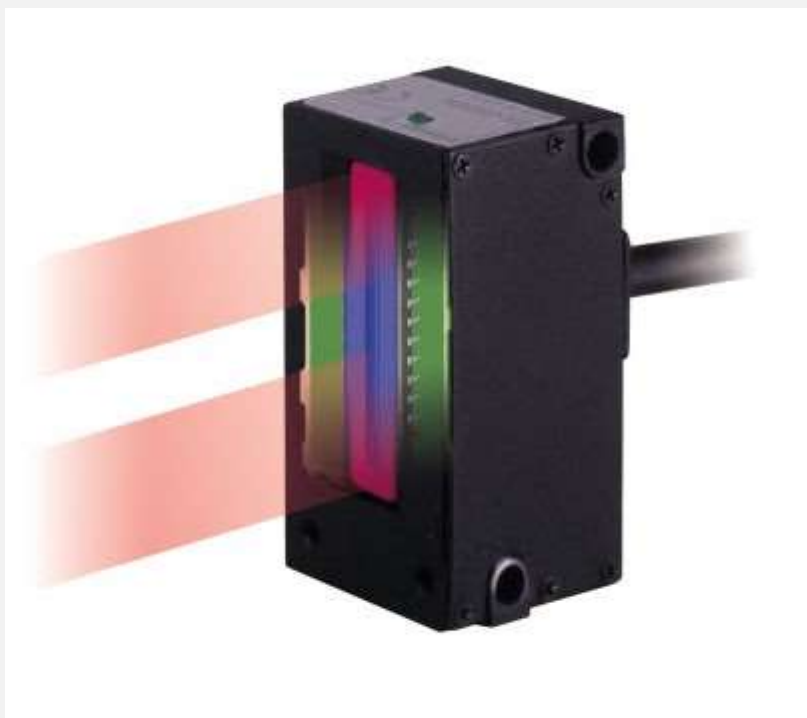


ریزسنج لیزری (Laser Micrometer)

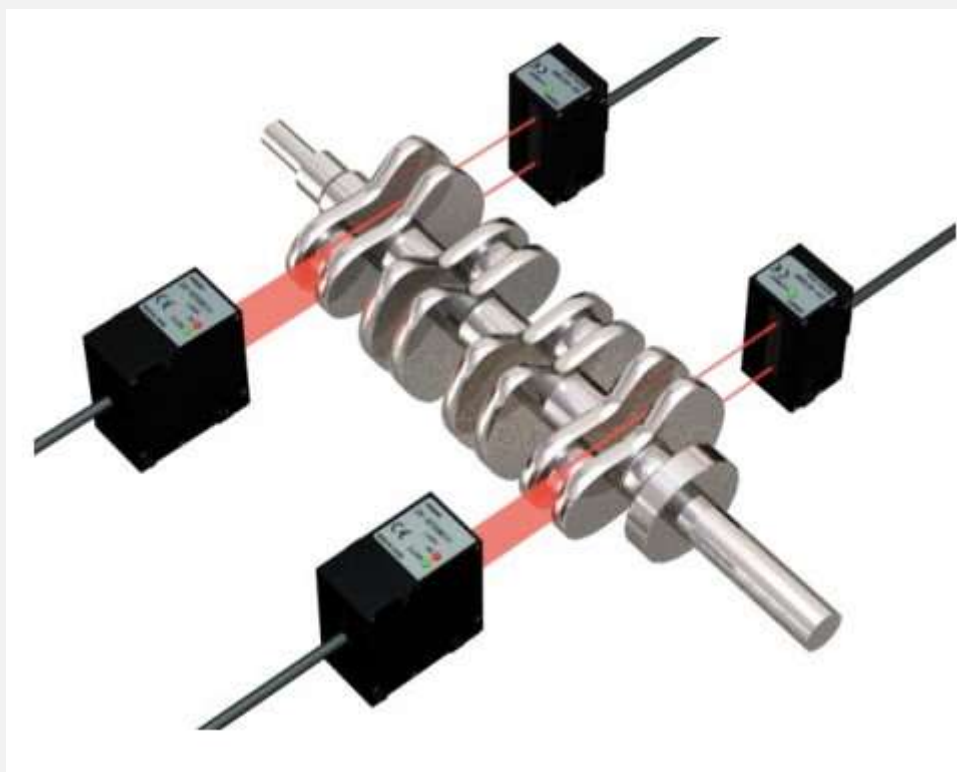
میکرومتر لیزری یک باند نور را بین فرستنده (transmitter) و گیرنده (receiver) ارسال می‌کند. در طرف فرستنده، یک لیزر کیمیتی، یک پرتو لیزر را به یک باند نور تبدیل می‌کند. در طرف گیرنده، یک آرایه‌ای از عناصر گیرنده (مثلاً CCD) بهترین فاصله‌ها را تشخیص می‌دهد.



یک میکرومتر لیزر، با دقت بسیار بالا لبه‌ها، قطر جسم و بسیاری از موارد دیگر را اندازه‌گیری کرده و قدرت تشخیص بسیار بالایی دارد. معمولاً میکرومتر لیزری، دارای رزولوشنی نزدیک به $10\mu\text{m}$ دارند.



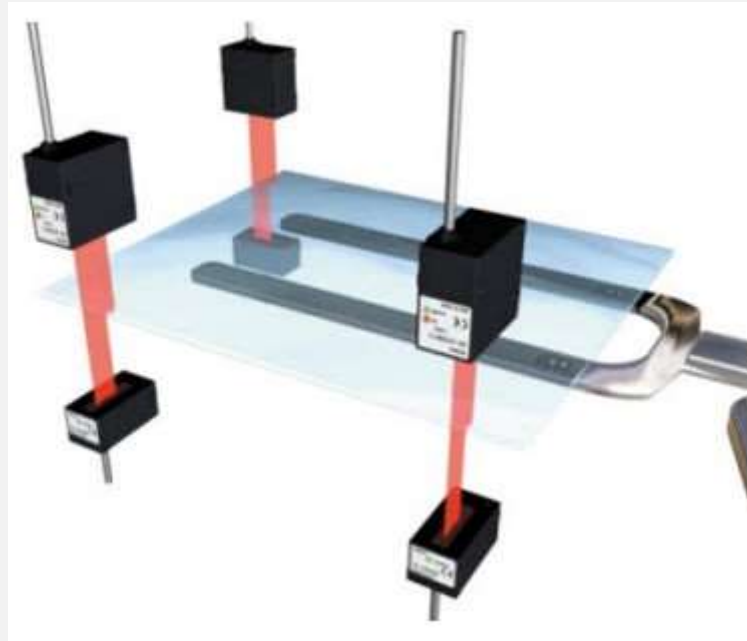
کنترل کیفیت – بازرسی فاصله‌ی بین پین‌ها



اندازه‌گیری قطر شکاف شفت‌ها



اندازه‌گیری قطر لوله‌های بزرگ



جایگذاری شیشه‌های بزرگ در سنسور فاصله سنج

القائی (Inductive)

سنسورهای جابه‌جایی القایی از میدان الکترومغناطیسی نوسانی برای

اندازه‌گیری فاصله‌ی بین یک جسم استفاده می‌کنند.

از نظر مشخصات فنی، این سنسورها دارای رزولوشن $1\mu\text{m}$ و سرعت

پاسخ‌دهی‌ای (response time) برابر با $150\mu\text{s}$ هستند.

معمولا سنسورهای جابه‌جایی القایی در محیط‌های سخت مثل خودرو یا

ماشین‌آلاتی که با فلزات کار می‌کنند، استفاده می‌شوند.

در تصاویر زیر، یکی از کاربردهای این سنسورها در مصارفی که نیاز به کنترل

گریز از مرکز هست، است.



اندازه‌گیری لمسی (Contact Measurement)

از سنسور های فاصله سنج

سنسور لمسی برای اندازه‌گیری ابعاد اجسام مختلف با دقت بسیار بالا مانند ابزار آلات ماشینی یا قسمت‌های اتوماتیک استفاده می‌شود. این سنسورها از بالاترین رزولوشن ممکن در میان سنسورهایی که در این دوره معرفی می‌کنیم، برخوردارند. برای مثال ZX-T ، دارای رزولوشنی برابر با $0.1\mu\text{m}$

است. استفاده از سنسورهای لمسی برای کاربردهایی که اشیاء هدف شامل مواد نفتی یا سازه‌های بسیار کوچک می‌باشند، توصیه می‌شوند. البته از این سنسورها برای مصارفی که نیاز به سرعت پردازش بالا هستیم، نمی‌توان استفاده کرد.



اندازه‌گیری ضخامت پیستون با سنسور فاصله سنج



کنترل کیفیت - اندازه‌گیری شکاف‌ها و فواصل کاور HDD