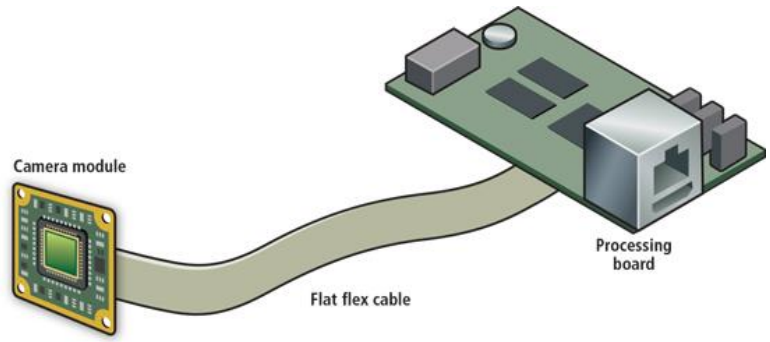
شماره فصل: ۱	تعداد جلسات مورد نیاز: ۱ جلسه
اهداف: – آشنایی با اجزای سامانه‌های بینایی ماشین – آشنایی با مفاهیم فنی دوربین و لنزهای بزرگنمایی	

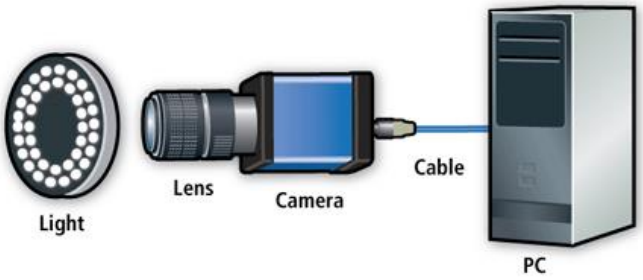
سامانه‌های مبتنی بر دریافت و پردازش تصویر به دو دسته تقسیم می‌شود:

- سامانه‌های ماشین–پایه (بینایی ماشین): این سامانه‌ها را سامانه‌های نهفته (Embedded machine vision systems) نیز می‌نامند. در این سامانه‌ها، عملیات دریافت و پردازش تصویر توسط میکروکنترلرها، مینی کامپیوترها (همانند Raspberry Pi) یا مدارهای پردازش تصویر با قدرت پردازش بالا انجام می‌گیرد (شکل ۱). استفاده از چنین سامانه‌هایی برای کاربردهای تجاری برخط توصیه می‌گردد.



شکل ۱. سامانه بینایی ماشین–پایه

- سامانه‌های کامپیوتر–پایه (بینایی کامپیوتری): در این سامانه‌ها، میزبان یک کامپیوتر است. زمانی از این سامانه‌ها استفاده می‌شود که از نظر محاسباتی حجم پردازش‌ها بالا باشد و نتوان با استفاده از میکروکنترلرها، مینی کامپیوترها و مدارهای پردازش تصویر عملیات دریافت و پردازش تصویر را انجام داد (شکل ۲).



شکل ۲. سامانه بینایی کامپیوتر–پایه

در هر دو نوع سامانه فوق‌الذکر، ارتباط بین سخت‌افزارها و نیز پردازش تصاویر توسط یک نرم‌افزار میزبان انجام می‌گیرد. در این بین زبان برنامه‌نویسی Python به دلیل برخورداری از مزایایی همچون سادگی یادگیری، سطح متوسط بودن زبان برنامه نویسی و نیز موجود بودن جعبه‌ابزارهای پیشرفته در زمینه تحصیل و پردازش تصویر (OpenCv) در بین مهندسان و پژوهشگران از محبوبیت ویژه‌ای برخوردار است. دوربین، لنز و سامانه نورپردازی، اجزای یک سامانه بینایی ماشین را تشکیل می‌دهد. انتخاب دوربین مناسب می‌بایست متناسب با احتیاجاتی باشد که قرار است سامانه بینایی ماشین برای آن توسعه یابد.

دوربین رنگی و تک فام:

از دوربین‌های رنگی زمانی استفاده می‌شود که قرار است از اطلاعات رنگی اشیاء جهت پردازش استفاده گردد. دوربین‌های رنگی متداول دارای سه کانال رنگی قرمز (۶۳۰ نانومتر)، سبز (۵۳۲ نانومتر) و آبی (۴۶۵ نانومتر) می‌باشند. در صورتی که صرفاً نیاز به تصویر سطح خاکستری در یک طول موج خاص باشد، از دوربین‌های تک‌فام استفاده می‌شود. تصاویر دوربین‌های تک‌فام، در مقایسه با دوربین‌های رنگی، به دلیل تک کاناله بودن فضای کمتری از حافظه را اشغال می‌نماید.

دوربین پایش ناحیه‌ای (Area scan) و دوربین پایش خطی (Line scan):

عنصر تصویرگیری در دوربین‌های پایش ناحیه‌ای از آرایه‌ای از حسگرها تشکیل شده است و در یک فریم قادر است که تصویری دو بعدی از صحنه را ارائه نماید. در دوربین‌های پایش خطی صرفاً یک ردیف از حسگرهای دریافت شدت نور قرار گرفته است و صرفاً قادر به ارائه یک خط از صحنه می‌باشد. از دوربین‌های پایش خطی زمانی استفاده می‌شود که صحنه در مقابل دوربین در حال حرکت باشد یا اینکه دوربین متحرک باشد، در این حالت با سرعت بالا می‌توان صحنه را پایش نمود.

نرخ تصویرگیری (Frame rate):

نرخ تصویرگیری به معنی تعداد تصاویر (یا فریم‌های) تحصیل شده در یک ثانیه است. واحد آن نیز فریم بر ثانیه (fps) می‌باشد. در مورد اکثر دوربین‌های مخصوص بینایی ماشین، نرخ تصویرگیری پیش‌فرض برابر ۳۰ فریم بر ثانیه است. در مواردی که نیاز به پایش زمان–واقعی با سرعت بالا باشد، مقادیر بالاتر نرخ تصویرگیری نیاز است و بالطبع دوربین‌هایی باید استفاده گردد که توانایی دریافت تصاویر بیشتری در واحد زمان را داشته باشد.

تحریک فریم‌گیری (Frame trigger):

برخی دوربین‌ها دارای درگاهی هستند که از طریق آن می‌توان سیگنال تحریک جهت شروع تصویرگیری را از خارج از دوربین دریافت کرد. همچنین این امکان وجود دارد که سیگنال تحریک از سمت دوربین به خارج از آن ارسال شود. به

طور کلی، سیگنال‌های تحریک از (یا به سوی) دوربین یا کارت تصویرگیر را می‌توان جهت هماهنگ‌سازی تحصیل تصویر با ابزار اندازه‌گیری خارجی، سامانه نورپردازی یا حرکت صحنه به کار گرفت.

تفکیک‌پذیری تصویر (Image resolution):

تفکیک‌پذیری دوربین از این جنبه مهم است که در ارتباط با صحت اندازه‌گیری سامانه بینایی قرار دارد. تفکیک‌پذیری تصویر با بزرگنمایی صحنه توسط لنز و تفکیک‌پذیری دوربین (اندازه پیکسل و تعداد پیکسل‌ها) در ارتباط است و بر حسب واحد طول (میلی‌متر) بر پیکسل بیان می‌گردد. از لنز بزرگنمایی می‌توان جهت افزایش تفکیک‌پذیری تصویر استفاده نمود. با این وجود، افزایش ضریب بزرگنمایی یک لنز غالباً منجر به باریک شدن (narrowing) میدان دید (field of view (fov)) می‌گردد. میدان دید به صورت ابعاد فیزیکی صحنه که تصویر رائه می‌نماید، تعبیر می‌شود. معمولاً توصیه می‌شود که از دوربین‌های با تفکیک‌پذیری بالا، که دارای پیکسل‌های بیشتری هستند، استفاده گردد. با این وجود، استفاده از دوربین‌های با تفکیک‌پذیری بالا از یک طرف منجر به افزایش هزینه سامانه بینایی‌ماشین و از سوی دیگر منجر به افزایش حجم داده‌ها در تصویر می‌گردد که خود باعث افزایش پیچیدگی محاسباتی می‌گردد. بنابراین انتخاب دوربین مناسب می‌بایست متناسب با نیاز صورت گیرد.

به طور کلی، تعداد پیکسل‌های حسگر دوربین و میدان دید سامانه دوربین/لنز فاکتورهای مهمی در تعیین تفکیک‌پذیری تصویر هستند. در صورت مشخص بودن میدان دید، از رابطه زیر می‌توان جهت محاسبه تفکیک‌پذیری تصویر استفاده نمود:

$$Image\ resolution\ = \frac{FOV}{Number\ of\ camera\ pixels\ in\ one\ direction}$$

به عنوان مثال، در صورتی که میدان دید در راستای افقی برابر با ۶۴ میلی‌متر باشد و تعداد پیکسل‌های حسگر دوربین در این راستا ۶۴۰ عدد باشد، مقدار تفکیک‌پذیری تصویر برابر با ۰/۱ میلی‌متر خواهد بود.

اندازه حسگر تصویر و انتخاب لنز مناسب:

اندازه حسگر تصویر توسط کارخانه سازنده تعیین می‌گردد و برای هر دوربین بخصوص مقدار مشخص شده‌ای است و پس از ساخت دوربین قابل تغییر نمی‌باشد. اندازه سنسور با توجه به تعداد پیکسل‌ها و اندازه هر پیکسل تعیین می‌گردد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، اندازه حسگر به طور مستقیم بر انتخاب لنز تاثیر می‌گذارد. از رابطه زیر می‌توان جهت تعیین فاصله کانونی (Focal length) لنز استفاده نمود:

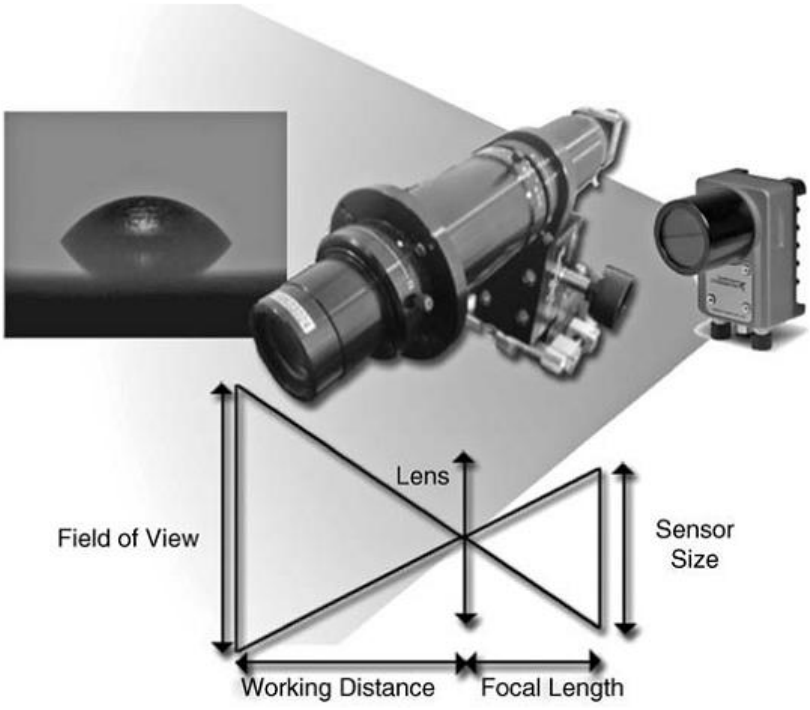
$$Focal\ length\ = \frac{Sensor\ size\ \times \text{Working distance}}{FOV}$$

اندازه دهانه دیافراگم (Iris) یک لنز، دومین پارامتر اصلی در مشخصات آن است و تعیین می‌کند که لنز توانایی دریافت چه میزان نور را دارد. دیافراگم به دریچه‌ای بر روی لنز گفته می‌شود که در زمان ثبت تصویر نور از میان آن عبور می‌کند.

بزرگتر بودن دیافراگم منجر به عبور مقدار نور بیشتری خواهد شد. برای بیان اندازه دهانه دیافراگم از اصطلاح ضریب f استفاده می‌گردد. دیافراگم (Iris) و ضریب f وابستگی بسیار نزدیکی به یکدیگر دارند. ضریب f معمولاً به شیوه‌های مختلفی نشان داده می‌شود، به عنوان مثال F4 ، F/4 و ۱:۴ همگی یک معنی را می‌دهند. هرچه ضریب f بالاتر باشد، یعنی دهانه دیافراگم لنز کوچکتر است و نور کمتری از خود عبور می‌دهد (شکل ۴). ضریب f معمولاً بر اساس شاخصی استاندارد تعیین می‌شود که بر اساس آن هر افزایش نمایانگر دیافراگمی است که به نیمی از مقدار عدد ارائه شده اجازه عبور نور خواهد داد. برای مثال یک لنز با ضریب f برابر با ۸، نیم برابر کمتر از یک لنز با ضریب f برابر ۵/۶ اجازه عبور نور به درون دوربین خواهد داد. مقادیر استاندارد ضریب f به صورت زیر است:

F/1, F/1.4, F/2, F/2.8, F/4, F/5.6, F/8, F/11, F/16, F/22, F/32, F/45, F/64, F/90, F/128

ضریب f متناسب با شرایط نوری مختلف در کیفیت تصویربرداری نقش مهمی به عهده دارد. هرچه ماکزیمم دهانه دیافراگم یک لنز بیشتر باشد (ضریب f کوچکتر باشد)، این امکان فراهم می‌گردد که در شرایط نوری ضعیف‌تر بتوان تصاویر مطلوب‌تری تحصیل کرد. اما، استفاده از لنز با دهانه دیافراگم بزرگتر عمق میدان کمتری را ارائه می‌دهد. عمق میدان ((Depth of field (DOF) به محدوده‌ای از فاصله در صحنه اطلاق می‌گردد که تصویر در آن واضح به نظر می‌رسد. عمق میدان به اندازه حسگر دوربین، اندازه دهانه دیافراگم و فاصله وضوح پذیری (Focusing distance) وابسته است (شکل ۵).



شکل ۳. پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب لنز

شکل ۴. ارتباط بین اندازه دهانه دیافراگم و ضریب f

شکل ۵. مفهوم عمق میدان

مساحت مورد نظر (Area of interest (AOI)):

مساحت مورد نظر هنگامی استفاده می‌شود که تحصیل تصویر سریع از یک ناحیه خاص از صحنه مدنظر باشد. در این حالت صرفاً پیکسل‌هایی از حسگر دوربین عمل تصویرگیری را انجام می‌دهند که آن ناحیه خاص از صحنه را پوشش داده باشند. بایستی دقت نمود که مفهوم مساحت مورد نظر با مفهوم ناحیه مورد نظر (Region of interest (ROI) یکی نیست. مفهوم مساحت مورد نظر یک مفهوم سخت افزاری در تحصیل تصویر است، حال آنکه مفهوم ناحیه مورد نظر یک مفهوم نرم‌افزاری است و در آن پس از تحصیل تمامی صحنه، با استفاده از الگوریتم‌های پردازشی ناحیه‌ای از صحنه که مدنظر است از تصویر جدا می‌گردد.

نورپردازی:

هدف اصلی از نورپردازی ایجاد تمایز میان پس زمینه از اشیاء موجود در صحنه، با ایجاد کنتراست مناسب، می‌باشد. کنتراست به معنی تفاوت مقادیر شدت نور مابین پس زمینه و اشیاء موجود در صحنه می‌باشد. به منظور بهینه نمودن میزان کنتراست در تصاویر تحصیلی می‌بایست نورپردازی به صورت مناسب انجام پذیرد. در صورت نورپردازی شدید ممکن است که برخی نواحی اشیاء حالت اشباع پیدا کند. در نورپردازی ضعیف نیز به دلیل عدم وجود کنتراست مناسب، امکان قطعه‌بندی صحیح اشیاء از پس زمینه ممکن نمی‌باشد. در یک دسته‌بندی نورپردازی ساختار یافته به دو دسته نورپردازی از بالا و نورپردازی از پایین تقسیم می‌شود. نورپردازی از بالا جهت استخراج ویژگی‌های رنگی و بافتی از اشیاء مفید است، حال آنکه نورپردازی از پایین جهت قطعه‌بندی مرز اشیاء به منظور استخراج ویژگی‌های شکلی استفاده می‌شود. با توجه به نوع کاربرد، از منابع نوری مختلف همچون لامپ‌های ال ای دی، لامپ‌های فلورسنت، لامپ‌های هالوژن و ... در طول موج‌های مختلف می‌توان استفاده نمود.