



اصول تکنولوژی انواع سنسورها، ابزارهای
اندازه‌گیری و کنترل

مؤلف: مهندس رضا فروش

سرشناسه:	فروش، رضا، ۱۳۴۶ -
عنوان و پدیدآور:	اصول تکنولوژی انواع سنسورها، ابزارهای اندازه‌گیری و کنترل / مولف رضا فروش
مشخصات نشر:	تهران - کتاب آوا، تمثیل، ۱۳۸۹
مشخصات ظاهری:	۳۵۲صص مصور (بخش رنگی)
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۵۲۶-۳۵-۶
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا
موضوع:	آشکارسازها
ردمبلی کنگره:	TA ۱۶۵/۴ الف ۶ ۱۳۸۹
ردمبلی دهی:	۶۸۱/۲
شماره کتابشناسی ملی:	۴۳۱۸۱۱۲



انتشارات کتاب آوا

اصول تکنولوژی انواع سنسورها ابزارهای اندازه‌گیری و کنترل

مؤلف	:	رضا فروش
ناشر	:	کتاب آوا
ناشران همکار	:	تمثیل
چاپ و صحافی	:	سجده / ناصر
حروفچینی و صفحه‌آرایی	:	خدمات نشر صدرا
نوبت چاپ	:	اول - ۱۳۸۹
شمارگان	:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت	:	۷۰/۰۰۰ ریال
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۵۵۲۶-۳۵-۶

آدرس مراکز پخش: تهران، خیابان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، خیابان مهرداد، روانمهر شرقی، شماره ۸۹ انتشارات کتاب آوا.

WWW.Avabook.com

تلفن: ۶۶۲۰۷۹۹۳ - ۶۶۹۷۳۱۳۰

فهرست مطالب

IV	دییاجه نگارنده.....
V	مقدمه - سنسورها.....
V	کاربردها.....
VI	طبقه‌بندی خطاهای اندازه‌گیری.....
VI	انحرافات سنسورها.....
VII	دقت اندازه‌گیری.....
VII	سنسورهای زیستی.....

فصل اول - تکنولوژی سنسور

۱۴	سنسور پیکسل فعال <i>Active pixel sensor</i>
۲۰	دید ماشینی <i>Machine vision</i>
۲۵	تراشه زیستی <i>Biachip</i>
۳۰	سنسور زیستی <i>Biosensor</i>
۳۱	اصول کشف.....
۳۶	ردیاب خازنی <i>Capacitance probe</i>
۳۷	سنسور کاتادیوپتริก <i>Catadioptric sensor</i>
۳۹	الکتروود خمیر کربنی <i>Carbon paste electrode</i>
۳۹	سنسور الکترواپتیکال <i>Electro-Optical Sensor</i>
۴۴	سنسور تصویر <i>Image sensor</i>
۴۸	سنسور القایی <i>Inductive sensor</i>
۴۸	سنسور هوشمند <i>Intelligent sensor</i>
۴۹	آزمایشگاه تراشه‌ای <i>Lab-on-a-chip</i>
۵۴	شبکه سنسوری <i>Sensor grid</i>
۵۵	گره سنسور <i>Sensor node</i>
۵۹	آرایه خیره شدن <i>Staring array</i>
۶۲	مبدل انرژی <i>Transducer</i>
۶۵	سنسور فراصوت <i>Ultrasonic sensor</i>
۶۷	تکنولوژی سنسور ویدیو <i>Video sensor technology</i>
۶۸	پل ویت استون <i>Wheatsstone bridge</i>

فصل دوم - سنسورهای صوتی، شنوایی، لرزش

۷۲	ژئوفون <i>Geophone</i>
۷۳	هیدروفون <i>Hydrophone</i>
۷۵	سنسور بند، سوار کردن گیتار <i>Lace Sensor</i>

فصل سوم - سنسورهای صنعت خودرو، حمل و نقل

۷۸	اندازه‌گیر نسبت هوا به سوخت <i>Air-fuel ratio meter</i>
۸۰	سنسور میل‌لنگ <i>Crank sensor</i>
۸۱	سنسور MAP <i>MAP sensor</i>

۸۳	.....	Parking sensors	سنسور پارک کردن
۸۴	.....	Speed sensor	سنسور سرعت
۸۴	.....	Wheel speed sensor	سنسور سرعت چرخ
۹۲	.....	Throttle position sensor	سنسور موقعیت ساسات
۹۳	.....	Variable reluctance sensor	سنسور مقاومت متغیر مغناطیسی
۹۵	.....	Water sensor	سنسور آب

فصل چهارم - سنسورهای شیمیایی

۹۸	.....	Breathalyzer	سنجش الکل رانندگان با تنفس
۱۰۱	.....	Carbon dioxide sensor	سنسور دی اکسید کربن
۱۰۲	.....	Carbon monoxide detector	آشکارساز مونواکسید کربن
۱۰۶	.....	Catalytic head sensor	سنسور فیلتر کاتالیتیک
۱۰۷	.....	Chemical field-effect transistor	ترانزیستور شیمیایی اثر میدان
۱۰۷	.....	Electrochemical gas sensor	سنسور گاز الکتروشیمیایی
۱۰۹	.....	Electrolyte-insulator-semiconductor sensor	سنسور نیمه رسانای عایق الکترولیتی
۱۰۹	.....	Hydrogen sensor	سنسور هیدروژن
۱۱۱	.....	Hydrogen sulfide sensor	سنسور سولفید هیدروژن
۱۱۲	.....	Infrared point sensor	سنسور نقطه‌ای مادون قرمز
۱۱۳	.....	Ion selective electrode	الکتروود یون منتخب
۱۱۶	.....	Nondispersive infrared sensor	سنسور مادون قرمز پخش نشده
۱۱۷	.....	Microwave chemistry sensor	سنسور شیمی ریزموج
۱۱۸	.....	Nitrogen oxide sensor	سنسور اکسید نیتروژن
۱۲۰	.....	Optode	سنسور
۱۲۱	.....	Oxygen sensor	سنسور اکسیژن
۱۳۱	.....	Pellistor	سنسور مقاومت ساچمه‌ای
۱۳۲	.....	PH	الکتروود شیشه‌ای
۱۳۸	.....	Potentiometric sensor	سنسور پتانسیل سنجی
۱۳۹	.....	REDOX ELECTRODE	الکتروود اکسایش
۱۴۰	.....	Smoke detector	آشکارساز دود
۱۴۸	.....	Zinc oxide nanorod sensor	سنسور نانو میله اکسید روی

فصل پنجم - سنسورهای جریان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی، مغناطیس، امواج

۱۵۰	.....	Hall effect sensor	سنسور پدیده هال
۱۵۲	.....	Current sensor	سنسور جریان

فصل ششم - سنسورهای محیط زیست، آب و هوا، رطوبت

۱۵۶	.....	Gas detector	آشکارساز گاز
۱۵۶	.....	Leaf sensor	سنسور برگ
۱۵۷	.....	Pyrrometer	پیرانومتر
۱۶۰	.....	Rain sensor	سنسور باران
۱۶۱	.....	Soil moisture sensor	سنسور رطوبت خاک

فصل هفتم - سنسورهای جریان و سرعت سیال

۱۶۴	.....	Flow sensor	سنسور جریان سیال
۱۶۴	.....	Mass flow sensor	سنسور جریان جرم

فصل هشتم - سنسورهای تشعشع یونی، ذرات اتمی

۱۷۴		Scintillation counter	شمارنده جرقه
-----	-------	-----------------------	--------------

فصل نهم - سنسورهای ابزار ناوبری

۱۸۰	.....	Inertial reference unit	واحد مرجع ماندی
۱۸۰	.....	sensor (Multi Head Disc) MHD	سنسور دیسک چند سره
۱۸۰	.....	Yaw rate sensor	سنسور ضریب انحراف از مسیر

فصل دهم - سنسورهای موقعیت زاویه، جابجایی، فاصله، سرعت، شتاب

۱۸۴	.....	Accelerometer	شتاب‌سنج
۱۹۱	.....	Capacitive displacement sensor	سنسور جابه‌جایی خازنی
۱۹۳	.....	Free fall sensor	سنسور سقوط آزاد
۱۹۴	.....	Linear encoder	کدکننده خطی
۱۹۹	.....	Liquid capacitive inclinometers	انحراف‌سنج خازن مایع
۲۰۱	.....	Position sensor	سنسور موقعیت
۲۰۲	.....	LVDT	مبدل دیفرانسیلی متغیر خطی
۲۰۳	.....	Proximity sensor	سنسور نزدیکی
۲۰۴	.....	Rotary encoder	کدکننده چرخشی
۲۱۳	.....	Synchro	همگام ساز
۲۱۶	.....	Rotary variable differential transformer	مبدل دیفرانسیلی متغیر چرخشی
۲۱۸	.....	Tilt sensor	سنسور نوسان

فصل یازدهم - سنسورهای بصری، نوری، تصویربرداری

۲۲۲	.....	Charge-coupled device	دستگاه نوام با بار
۲۲۹	.....	Contact image sensor	سنسور تصویر تماس
۲۳۰	.....	Electro-optical sensor	سنسور الکترو اپتیکی
۲۳۱	.....	Flame detector	آشکارساز شعله
۲۳۲	.....	Photo detector	آشکارساز شدت نور
۲۳۳	.....	Photomultiplier	لوله‌های تقویت کننده نور
۲۴۱	.....	Photodiode	دیود نوری
۲۴۶	.....	Photoelectric sensor	سنسور فتوالکتریک
۲۴۸	.....	Photoresistor	مقاومت نوری
۲۴۹	.....	Photoswitch	کلید نوری
۲۵۰	.....	Phototube	لوله نور
۲۵۰	.....	Shack-Hartmann	شاک-هارتمن
۲۵۱	.....	Wavefront sensor	سنسور جبهه امواج

فصل دوازدهم - سنسورهای فشار

۲۵۴	.....	Permanent Downhole Gauge	نشان‌دهنده دائمی انتهای چاه
۲۵۵	.....	Pressure sensor	سنسور فشار
۲۶۰	.....	Tactile sensor	سنسور لمسی

فصل سیزدهم - سنسورهای نیرو، جگالی، سطح تراز

۲۶۴	.....	Force gauge	نشان‌دهنده اندازه نیرو
۲۶۴	.....	Level sensor	سنسور تراز سنج
۲۷۵	.....	Load cell	سلول نیرو
۲۷۷	.....	Magnetic level gauge	نشان‌دهنده مغناطیسی سطح تراز
۲۷۹	.....	Piezoelectric sensor	سنسور پیزوالکتریک
۲۸۶	.....	Strain gauge	کنش‌سنج
۲۸۹	.....	Torque sensor	سنسور گشتاور

فصل چهاردهم - سنسورهای گرمایی، دما، حرارت

۲۹۲	.....	Gardon gauge	نشان دهنده گاردون
۲۹۴	.....	Heat flux sensor	سنسور شار گرمایی
۳۰۱	.....	Net radiometer	تشعشع خالص سنج
۳۰۳	.....	Resistance thermometer detector	آشکارساز گرمای مقاومتی
۳۱۳	.....	Silicon bandgap temperature sensor	سنسور دمای شکاف باند سیلیکونی
۳۱۴	.....	Thermistor	مقاومت گرمایی

فصل پانزدهم - سنسورهای نزدیکی، حضور

۳۲۲	.....	Alarm sensor	سنسور هشدار دهنده
۳۲۲	.....	Bedwetting alarm	هشدار دهنده شب ادراری
۳۲۵	.....	Motion detector	کشف کننده حرکت
۳۲۷	.....	Passive infrared sensor	سنسور مادون قرمز انفعالی
۳۳۱	.....	Reed switch	سوئیچ ساقه‌ای
۳۳۴	.....	Triangulation sensor	سنسور مثلث بندی

تصاویری منتخب از سنسورها

۳۳۷			تصاویر منتخب
-----	-------	--	--------------

فرهنگ نامه لاتین به فارسی

۳۴۵			فرهنگنامه
-----	-------	--	-----------

دباجه نگارنده

با درود به شما دانش‌پژوهان، چه پیر و چه جوان، چه دارای تحصیلات آموزش‌عالی و چه کسانی که فاقد آنند.

بله! تلاش من این بوده که این کتاب برای همه قابل درک و استفاده باشد. در نگارش این کتاب از منابع بسیاری استفاده گردیده و تلاش شده مطالب کاملاً ساده و محاوره‌ای باشند.

در این کتاب تلاش کرده‌ام اصول پایه‌ای انواع سنسورها را بگویم. در حقیقت این کتاب برای دانشجویان، مهندسين، طراحان سیستم‌های هوشمند و رباتیک و نیز کلیه افرادی که مجبور به استفاده از سنسورها می‌باشند تهیه گردیده است. در حقیقت این کتاب برای ساخت سنسور نیست، بلکه جهت استفاده و باز شدن یک میدان دید می‌باشد.

تلاش نموده‌ام که سنسورها را به درستی دسته‌بندی نمایم تا کاربران این کتاب بتوانند به راحتی و سرعت مطالب دلخواهشان را پیدا نمایند.

آن‌چه مسلم است تمامی سنسورهای موجود در این کتاب آورده نشده‌اند، اما می‌توان با تلفیق چندین سنسور به سنسورهای ویژه دیگری دست یافت.

در ابتدای کتاب درباره مفهوم سنسور و انواع تکنولوژی‌هایی که از سنسورها استفاده می‌نمایند گفتگو نموده‌ام.

در انتهای کتاب عکس‌های رنگی و یک فرهنگ‌نامه از واژه‌های به کار رفته (برای این‌که خوانندگان محترم با اصل واژه‌ها آشنا گردند) آورده شده است.

امید است این گام کوچک و لرزان بتواند دریچه‌های ایده‌های بزرگ را در ذهن استعداد‌های پنهان باز نماید.

رضا فروش - ۱۳۸۹ خورشیدی

مقدمه - سنسورها

سنسور وسیله‌ای است که یک کمیت فیزیکی را اندازه گرفته و تبدیل به سیگنالی می‌کند که می‌تواند به وسیله یک ناظر یا یک ابزار خوانده شود. برای مثال، یک دماسنج معمولی دمای اندازه‌گیری شده را تبدیل به انبساط و انقباض مایعی که می‌تواند از روی یک لوله شیشه‌ای مدرج خوانده گردد می‌نماید. یک ترموکوپل دما را به یک ولتاژ خروجی که می‌تواند به وسیله یک ولت‌متر خوانده گردد تبدیل می‌نماید. به جهت دقت، همه سنسورها بایستی طبق استانداردهای شناخته شده‌ای کار کنند.

کاربردها

سنسورها در وسایل روزمره‌ای مثل دکمه‌های آسانسورها (سنسورهای لمسی) و لامپ‌هایی که به وسیله کلیدشان کم نور و پر نور می‌گردند به کار رفته‌اند. همچنین کاربردهای بی‌شماری برای سنسورهایی که بیشتر مردم از آن‌ها باخبر نیستند وجود دارد. جاهایی مانند خودروها، ماشین‌ابزارها، هوانوردی، پزشکی، تولید و ربات‌ها.

سنسور وسیله‌ای است که یک سیگنال یا محرک را دریافت نموده و به آن پاسخ می‌دهد. در این‌جا، اصطلاح «محرک» به معنی یک ویژگی یا کمیتی است که نیاز دارد به شکل الکتریکی تبدیل گردد. از این‌رو، سنسور را می‌توان به عنوان وسیله‌ای که یک سیگنال را دریافت نموده و تبدیل به شکل الکتریکی می‌نماید تا بعداً برای وسایل الکترونیکی به کار رود معرفی نمود. از آنجایی که یک سنسور سیگنال دریافتی را فقط به شکل الکتریکی تبدیل می‌کند، سنسور با تبدیلی که شکلی از انرژی را به شکل دیگری تبدیل می‌کند تفاوت دارد.

حساسیت سنسور هنگامی که کمیت اندازه‌گیری شده تغییر می‌کند، نشان می‌دهد که خروجی سنسور چه قدر باید تغییر یابد. برای نمونه، هنگامی که دما 1°C تغییر می‌نماید اگر جیوه دماسنج 1 سانتی‌متر جابه‌جا گردد، حساسیت $1\text{ cm}/^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. سنسورهایی که تغییرات خیلی کوچک را اندازه‌گیری می‌کنند باید حساسیت بسیار بالایی داشته باشند. همچنین سنسورها تحت تأثیر چیزی که اندازه می‌گیرند قرار می‌گیرند؛ برای نمونه، یک دماسنج درون یک اتاق که وارد یک فنجان مایع داغ می‌گردد مایع را خنک می‌کند در حالی که مایع دماسنج را گرم می‌کند. سنسورها نیاز دارند که طوری طراحی گردند که اثر کمی روی مورد اندازه‌گیری بگذارند. معمولاً این مورد را با کوچک‌سازی سنسور بهبود می‌بخشند و می‌تواند مزایای دیگری نیز داشته باشد. پیشرفت‌های فنی، به دلیل این که ریزسنسورها از

تکنولوژی MEMS استفاده می‌نمایند، اجازه ساخت سنسورهای در مقیاس ریز بیشتری را می‌دهد. در بیشتر حالات، یک ریزسنسور نسبت به سنسورهای بزرگ‌تر به سرعت و حساسیت بسیار بیشتری دست می‌یابد.

طبقه‌بندی خطاهای اندازه‌گیری

یک سنسور خوب از قوانین زیر پیروی می‌کند:

۱ به ویژگی اندازه‌گیری شده حساس است.

۲ به هر ویژگی دیگری حساسیت ندارد.

۳ ویژگی اندازه‌گیری را متأثر نمی‌کند.

سنسورهای ایده‌آل طوری طراحی می‌گردند که خطی باشند. سیگنال خروجی این سنسورها نسبت به مقادیر ویژگی اندازه‌گیری شده خطی می‌باشند. بنابراین حساسیت به صورت نسبت بین سیگنال خروجی و ویژگی اندازه‌گیری شده تعیین می‌گردد. برای مثال، اگر سنسوری دما را اندازه می‌گیرد و دارای خروجی به شکل ولتاژ می‌باشد، حساسیت ثابتی است با واحد V/K ؛ این سنسور خطی است چون به نسبت در تمام نقاط اندازه‌گیری ثابت می‌باشد.

انحرافات سنسورها

اگر سنسوری ایده‌آل نباشد، چند نوع انحراف می‌توانند مشاهده گردند:

۱ در عمل، حساسیت متفاوت از مقدار تعیین شده می‌باشد. این یک خطای حساسیت خوانده می‌شود، اما سنسور هنوز خطی است.

۲ از آن جایی که نسبت سیگنال خروجی همیشه محدود می‌باشد، سیگنال خروجی، هنگامی که ویژگی اندازه‌گیری شده از محدوده تجاوز نماید، سرانجام به یک حداقل یا حداکثر خواهد رسید. این حداکثر و حداقل را اندازه کامل تعیین می‌کند.

۳ هنگامی که ویژگی اندازه‌گیری شده صفر می‌باشد اگر سیگنال خروجی نیز صفر نباشد، سنسور دارای یک جابه‌جایی یا تمایل مبدأ می‌باشد. این انحراف هنگامی که خروجی سنسور ورودی صفر می‌باشد تعیین می‌گردد.

۴ اگر حساسیت در طول دامنه سنسور ثابت نباشد، این حالت غیرخطی بودن خوانده می‌شود. معمولاً این انحراف به وسیله مقدار اختلاف خروجی با رفتار ایده‌آل در طول دامنه سنسور تعیین می‌گردد، و اغلب به صورت درصدی از دامنه‌ی کامل ذکر می‌گردد.

۵ اگر انحراف به وسیله تغییر ناگهانی ویژگی اندازه‌گیری شده در طول زمان رخ دهد، یک خطای پویا یا دینامیکی رخ داده است. اغلب این رفتار با یک نمودار پیشگویی نشان‌دهنده

خطای حساسیت و تغییر فاز به عنوان تابعی از فرکانس یک سیگنال ورودی متناوب تشریح می‌گردد.

اگر سیگنال خروجی مستقل از ویژگی اندازه‌گیری شده به آهستگی تغییر کند، این وضعیت به نام شناوری (در ارتباطات از راه دور) خوانده می‌شود.

شناوری طولانی مدت معمولاً یک تنزل آهسته و دراز مدت مشخصات سنسور را نشان می‌دهد.

نویز (Noise) یک انحراف تصادفی سیگنالی است که در طول زمان تغییر می‌کند.

پسماند خطایی است که هنگامی که ویژگی اندازه‌گیری شونده مسیرش را معکوس می‌کند تأخیرات زمانی محدودی جهت پاسخگویی سنسور به وجود می‌آیند، و یک خطای جابه‌جاسازی مبدأ متفاوت از یک راستا به راستای دیگر ایجاد می‌گردد.

اگر سنسور دارای خروجی دیجیتال باشد، خروجی در اصل تخمینی از ویژگی اندازه‌گیری شده می‌باشد. خطای تخمین هم‌چنین به نام خطای رقمی شناخته می‌گردد.

اگر سیگنال به طور دیجیتالی نظارت می‌گردد، محدودیت فرکانس نمونه‌گیری نیز می‌تواند باعث یک خطای پویا گردد.

سنسور ممکن است به یک ویژگی غیر از خاصیتی که اندازه‌گیری می‌گردد تا حدی حساس باشد. برای مثال، بیشتر سنسورها به وسیله دمای محیط متأثر می‌گردند.

تمام این انحرافات می‌توانند به صورت خطاهای منظم یا خطاهای تصادفی طبقه‌بندی گردند. خطاهای منظم گاهی می‌توانند به وسیله برخی فنون تنظیماتی جبران گردند. نویز یک خطای تصادفی می‌باشد که می‌تواند به وسیله پردازش سیگنال کاهش یابد، مثلاً فیلتر نمودن.

دقت اندازه‌گیری

دقت اندازه‌گیری سنسور برابر با کوچک‌ترین تغییری است که سنسور می‌تواند در کمیتی که اندازه می‌گیرد کشف نماید. دقت اندازه‌گیری وابسته به ظرافت چیز اندازه‌گیری شده می‌باشد. برای مثال، یک میله کاوشگر تونل زنی (یک نوک نازک نزدیک یک سطح که یک جریان تونل زنی الکتریکی را جمع‌آوری می‌کند) می‌تواند اتم‌ها و مولکول‌ها را تجزیه نماید.

سنسورهای زیستی

تمام موجودات زنده دربردارندهی سنسورهای زیستی با کارکردهایی شبیه به وسایل مکانیکی که تشریح شدند می‌باشند. بسیاری از این سنسورها سلول‌های ویژه‌ای هستند که به موارد زیر حساسند:

VIII

نور، حرکت، دما، میدان مغناطیسی، گرانش، رطوبت، ارتعاش، فشار، میدان الکتریکی، صدا، و دیگر ظواهر فیزیکی محیط خارجی.

◀ ظواهر فیزیکی محیط درونی، مثل انبساط، حرکت اندام‌ها، و موقعیت آپاندیس (تعادل).

◀ مولکول‌های محیطی، از جمله سموم، مواد مغذی، و فرومون‌ها.

◀ برآورد فعل و انفعالات مولکول‌های زنده و برخی پارامترهای جنبشی.

◀ سوخت و ساز محیط داخلی، مثلاً سطح گلوکز، سطح اکسیژن، یا مولالیت.

◀ مولکول‌های سیگنال داخلی، مثل هورمون‌ها، رساناهای اعصاب، و سیتوکین‌ها.

◀ تفاوت بین پروتئین‌های اندام‌ها و محیط یا جانواران بیگانه.

سنسورهای مصنوعی که با استفاده از یک ترکیب حساس زیستی از سنسورهای زیستی تقلید می‌کنند، به نام سنسورهای زیستی شناخته می‌شوند.