

مقدمه ای بر مهندسی پزشکی

جلسه یازدهم

سنسورها در مهندسی پزشکی

مقدمه

- تجهیزات پزشکی تشخیصی، در پزشکی بالینی و پژوهشهای بیولوژیکی، به طور گسترده ای برای اندازه گیری متغیرهای فیزیولوژیکی مورد استفاده قرار می گیرد.
- معمولاً کمیتهای فوق برآمده از سنسورها و یا مبدل ها بوده و با پردازشهای بعدی، اطلاعات تشخیصی ارزشمندی را فراهم می آورند.
- سنسورهای مهندسی پزشکی و یا مبدل ها بخش اصلی این تجهیزات تشخیصی بوده و به وفور در محیطهای پزشکی، بیمارستانی و تحقیقاتی یافت می شوند.
- تجهیزات مشابهی نیز در صنایع غیرپزشکی (اما مرتبط) همچون محیط زیست، کشاورزی، فرایندهای طبیعی، صنایع غذایی، دارو سازی و پتروشیمی به کار می رود.

ادامه ...

- تقاضای هر چه افزونتر برای کاهش هزینه ی خدمات پزشکی در عین افزایش کارایی و ارائه ی خدمات بهتر، آینده ی پزشکی بالینی را شکل می دهد.
- به عنوان نمونه، کیت های مختلف تست پزشکی همچون: تست قند خون، تست بارداری، تست مصرف الکل، تست بویایی و ... که به کمک سنسورها محقق شده اند، می تواند به دستیابی به اهداف فوق، کمک شایانی کند.
- تجهیزات پزشکی تشخیصی، معمولاً اطلاعات را بر مبنای سنسورها، مبدل ها و الکترودها و در قالب سیگنالی آنالوگ دریافت و پردازش می کنند.
- باید توجه داشت که این سیگنال ممکن است مستقیماً از یک الکتروود (همچون دریافت سیگنال قلبی) و یا به کمک مبدل همچون تبدیل دما به یک سیگنال الکتریکی به دست آید.
- از آنجا که از فرآیند اندازه گیری و جمع آوری متغیرهای بیولوژیکی به حسگری (sensing) تعبیر می شود، مجموعه ی الکترودها و مبدل ها را نیز حسگر (sensor) می نامند.

طبقه بندی سنسورها

- سنسورهای مهندسی پزشکی معمولاً بر اساس کمیت مورد اندازه گیری طبقه بندی و بر اساس کاربردهای آنها به صورت فیزیکی، الکتریکی و یا شیمیایی دسته بندی می شوند.
- سنسورهای زیستی (biosensor) نیز زیر شاخه ی ویژه ای از سنسورهای مهندسی پزشکی هستند که دو بخش مجزا دارند:
 - یک ساختار تشخیص بیولوژیکی همچون آنزیم، آنتی بادی، دریافت کننده شیمیایی (receptor) برای شناخت برهم کنش شیمیایی مورد نظر و
 - یک ساختار پشتیبانی کننده برای تبدیل این برهم کنش شیمیایی به کمیتی قابل اندازه گیری.
- هدف از مبدل در این مورد نیز، تبدیل برهم کنش شیمیایی به فرمی از انرژی فیزیکی، الکتریکی و یا نوری متناسب با غلظت آن ماده ی شیمیایی است.

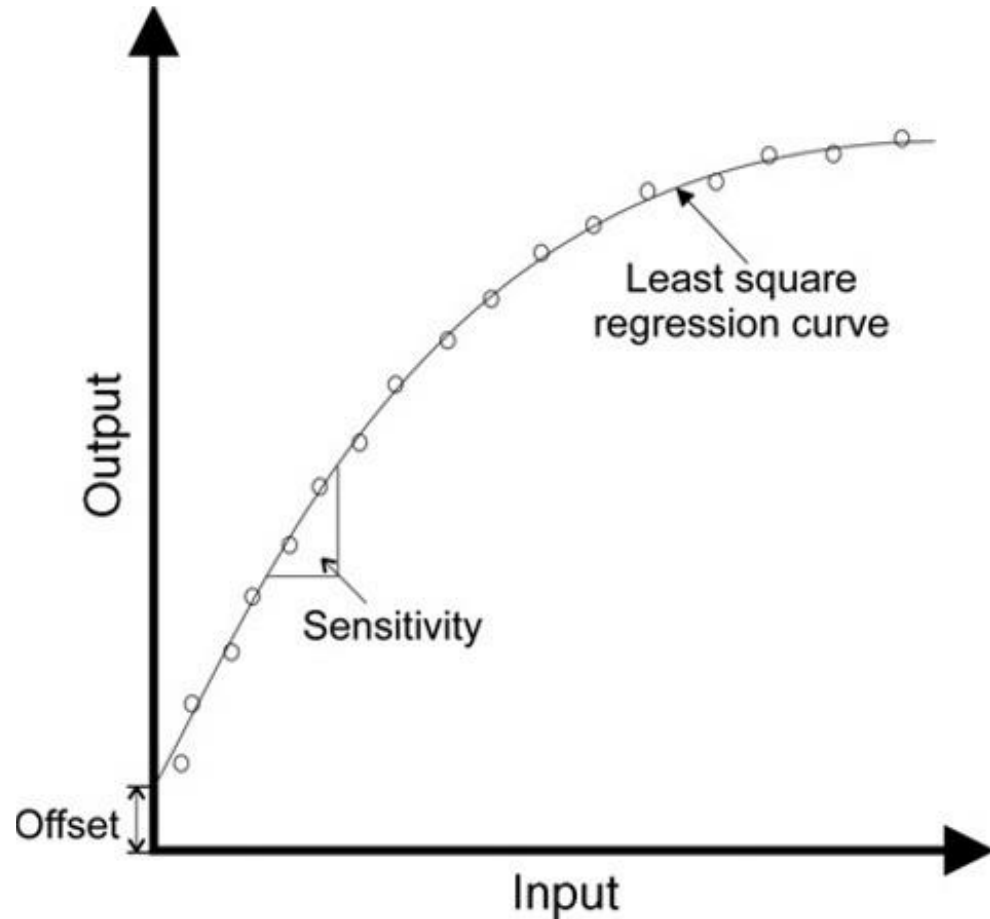
بسته بندی سنسورها

- بسته بندی سنسورهای مهندسی پزشکی، به ویژه آن سنسورهایی که در درون بدن قرار می گیرند در طراحی، تولید و استفاده از این ابزار اهمیت زیادی دارد.
- روشن است که سنسورها باید ایمن و از دید عملکردی قابل اعتماد ساخته شوند.
- در توسعه ی سنسورهای کاشتنی، مسایلی که اهمیت زیادی دارند طول عمر بالا و سازگاری زیستی آن سنسور است.
- باید توجه داشت هنگامی که سنسوری در تماس با مایعات درون بدن قرار می گیرد، ممکن است بدن عملکرد آن را تحت تأثیر قرار داده و یا این سنسور بر عملکرد محل قرارگیری خود تأثیر بگذارد.
- همه ی موارد فوق بر اهمیت بسته بندی صحیح سنسور با مواد سازگار با بدن، غیرسمی، مقاوم، استریلیزه شده و غیرقابل نفوذ برای کاهش خطرات احتمالی سنسور برای بدن و همچنین افزایش کارایی و طول عمر سنسور تأکید دارند.

ویژگیهای سنسورها

- اهمیت دقت در تشخیص پزشکی، الزامات شدیدی را در فرایند طراحی و ساخت سنسورها موجب می شود.
- در ادامه به تعریف اصطلاحات متداول در خصوص ویژگیهای سنسورها و چگونگی انتخاب آنها می پردازیم.
- ۱. گستره (Range)
- گستره ی یک سنسور بازه بین حداقل و حداکثر مقادیر ورودی است که انتظار می رود سنسور در عمل آنها را با دقت اندازه بگیرد.
- به عنوان مثال یک سنسور دما ممکن است در بازه ی 200- الی 500 °C عملکرد نامی خود را داشته باشد.

ادامه ...



۲. حساسیت (Sensitivity)

- حساسیت به صورت نسبت تغییرات خروجی به تغییرات معین ورودی تعریف می شود.
- تعریف دیگر حساسیت شیب خط (منحنی) ای است که خروجی را بر حسب ورودی را به نمایش کشیده است.
- اگر رابطه ی ورودی- خروجی به صورت یک خط بیان شود، حساسیت سنسور ثابت و اگر نه بر حسب ورودی متغیر است.
- حساسیت بالا به معنای تغییرات شدید خروجی به ازای تغییرات ورودی است.
- مثال: اگر حساسیت یک سنسور دما $20 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ باشد، اگر دما 10 درجه بالاتر رود، خروجی سنسور $200 \mu\text{V}$ افزایش می یابد.

ادامه ...

۳. صحت (Accuracy)

- منظور از صحت، نزدیکی خروجی (مقدار قرائت شده ی سنسور) به مقدار واقعی کمیت مورد اندازه گیری است.
- معمولاً صحت به صورت نسبت اختلاف مقدار قرائت شده و مقدار واقعی به مقدار واقعی و برحسب درصدی از قرائت تمام مقیاس، بیان می شود.

۴. دقت (Precision)

- منظور از دقت میزان نزدیکی مقادیر قرائت شده (حین چندبار قرائت متفاوت) به یکدیگر و به عبارتی درجه ی تکرارپذیری سنسور است.
- صحت و دقت دو مفهوم متفاوتند، دقت لازمه ی صحت و صحت شرط کافی دقت است.

ادامه ...

۵. ریزینی (Resolution)

- هنگامی که ورودی تغییر اندکی می کند، خروجی ممکن است تغییر نکند تا اینکه تغییر در ورودی به یک سطح آستانه ی مشخصی برسد.
- بنابراین، ریزینی به صورت حداقل تغییر در ورودی که موجب تغییر قابل اندازه گیری در خروجی بشود، تعریف می شود.

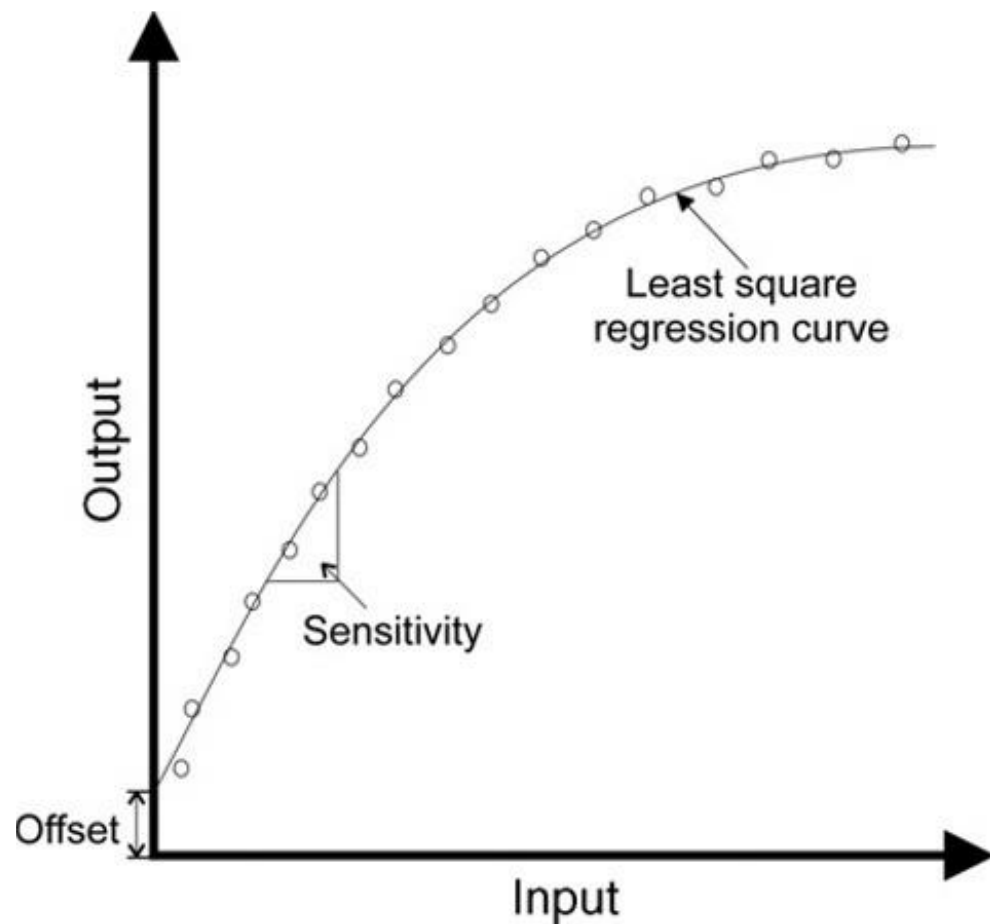
۶. تکرارپذیری (Reproducibility)

- منظور از تکرارپذیری نزدیکی مقادیر قرائت شده (حین چندبار قرائت متفاوت) به یکدیگر است.
- به عنوان مثال یک سنسور دما ممکن است، در بازه ی -20 الی $+50$ °C تکرارپذیری ± 0.1 °C داشته باشد.
- تکرارپذیری معمولاً وابسته به گستره ی اندازه گیری است.

ادامه ...

۷. آفست (Offset)

- مطابق شکل روبرو، منظور از آفست مقدار خروجیست، هنگامی که ورودی صفر است.



ادامه ...

۸. خطی بودن (Linearity)

- خطی بودن معیاری از حداکثر انحراف قرائت ها از یک خط کالیبراسیون مستقیم است.
- این خط کالیبراسون معمولاً با قاعده ی حداقل مربعات خطا، بر رابطه ی بین ورودی- خروجی برازش می شود.
- برای سهولت کار از رابطه ی خطی ورودی- خروجی یک سنسور، برای تخمین خروجی برای یک ورودی خاص هنگامی که آنرا اندازه نگرفته ایم، استفاده ی بسیار می شود.

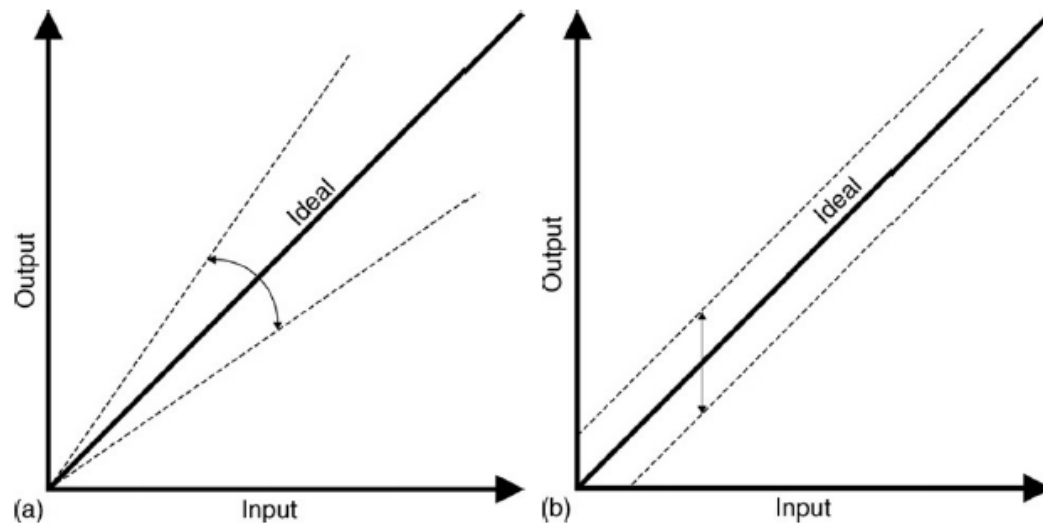
۹. زمان پاسخ (Response Time)

- زمان پاسخ یک سنسور زمانی است که طول میکشد، خروجی یک سنسور به درصدی خاص (مثلاً ۹۵٪) مقدار حالت ماندگار خود برسد، هرگاه ورودی تغییر کند.

ادامه ...

۱۰. دررفت (Drift)

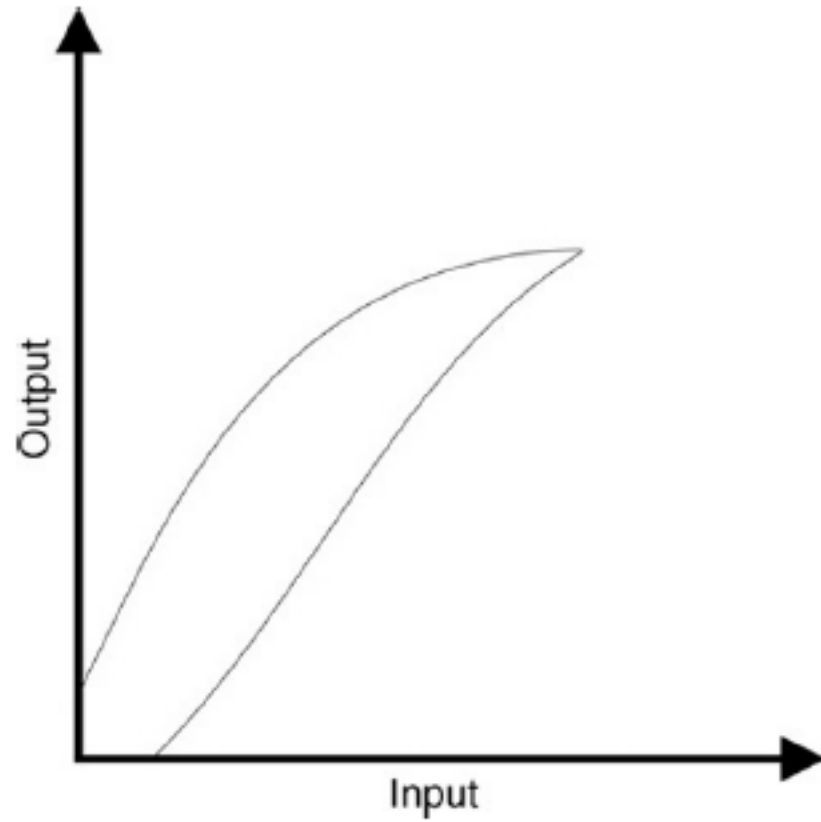
- منظور از دررفت، تغییرات خروجیست هنگامی که ورودی ثابت است.
- این تغییر ممکن است حین زمان اتفاق بیفتد و یا مطابق شکل روبرو بر اثر تغییرات حساسیت و یا آفست باشد.



Changes in input versus output response caused by (a) sensitivity errors and (b) offset errors.

ادامه ...

۱۱. پسماند (Hysteresis)



- در برخی سنسورها، مطابق شکل روبرو رابطه ورودی- خروجی هنگامیکه ورودی افزایشی و یا کاهششی باشد از دو منحنی متفاوت تبعیت می کند.

- هنگامی که اندازه گیری کاملاً برگشت پذیر نباشد، اینگونه عنوان می شود که سنسور از خود ماهیت پسماند نشان می دهد.

مثال ۱.

• جدول روبرو، مقادیر قرائت شده خروجی یک سنسور دما است،

الف) نمودار کالیبراسون ورودی- خروجی را برای آن رسم کنید،

ب) آفست و حساسیت را برای قرائتهای گستره ی 0 تا 70 °C بیابید،

ج) حساسیت متوسط را برای قرائتهای 70 تا 100 °C بیابید.

TABLE 10.1 Sample Calibration Data for a Temperature Sensor

Temperature (°C)	Reading (mV)
0	12.3
10	18.2
20	25.4
30	37.0
40	43.6
50	55.8
60	62.0
70	67.8
80	70.4
90	72.1
100	73.0

پاسخ

الف) شکل روبرو،

ب) اگر رابطه ی ورودی- خروجی را به صورت:

$$R = a \cdot T + b$$

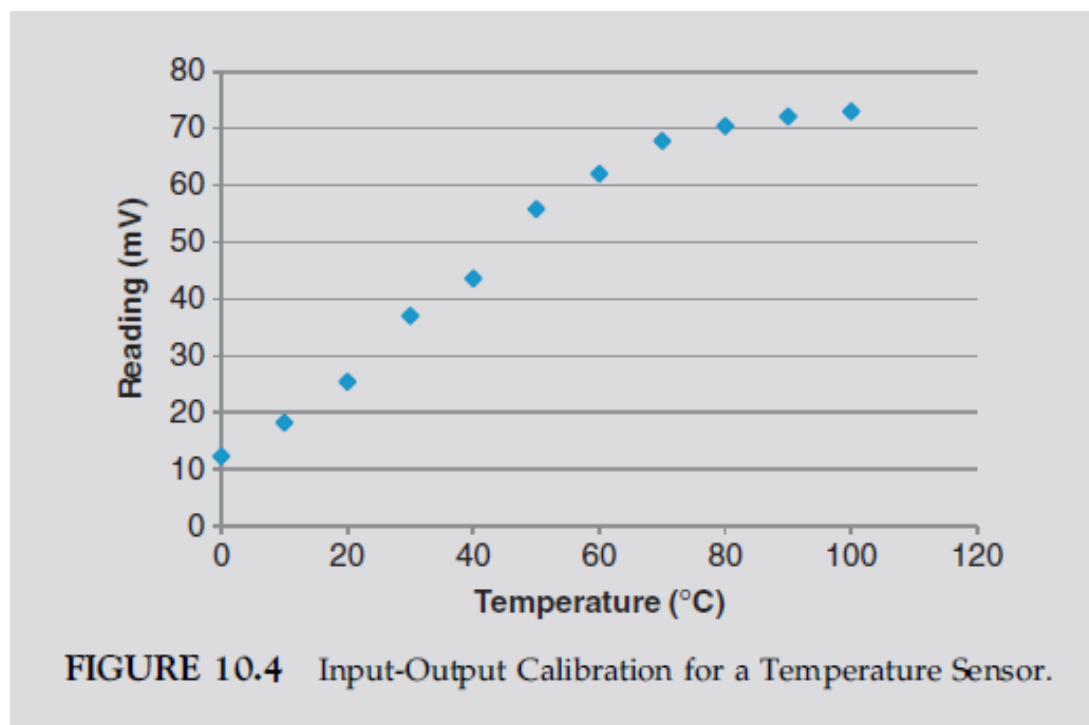
در نظر بگیریم با استفاده از روابط برازش:

$$a \text{ (حساسیت)} = 0.84 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$$

$$b \text{ (دریفت)} = 10.87 \text{ mV}$$

ج) مشابه فوق داریم:

$$a \text{ (حساسیت)} = 0.17 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$$



اندازه گیری پتانسیل های زیستی - مقدمه

- اندازه گیری پتانسیل های حیاتی به کمک انواع متفاوتی از الکترودهای ویژه صورت می پذیرد.
- عملکرد این الکترودهای ثبت کننده، برقراری ارتباط (تزویج) بین پتانسیل یونی تولید شده در درون بدن است با تجهیزات الکترونیکی.
- الکترودهای پتانسیل های حیاتی به دو دسته ی کلی زیر تقسیم می شوند:
 - غیرتهاجمی (سطح پوستی) noninvasive و
 - تهاجمی (مایکروالکترودها و الکترودهای سیمی) invasive.
- اندازه گیری پتانسیل های زیستی باید به کمک الکترودهای فوق العاده با کیفیتی صورت پذیرد تا آرتیفکت حرکتی کاهش یافته سیگنال اندازه گیری شده، دقیق، پایدار و بدون اعوجاج باشد.

ادامه ...

- مایعات درون بدن، به شدت موجب خوردگی الکترودها می شود، بنابراین هر فلزی برای ساخت اینگونه الکترودها، مناسب نیست.
- همچنین برخی مواد برای بافتهای زنده حالت سمی دارند.
- الکترودهای کاشتنی از فلزات نسبتاً قوی (مقاوم) ساخته می شوند، همچون: استینلس استیل، طلا، برخی آلیاژهای پلاتینیوم و یا تیتانیوم.
- اینگونه آلیاژها با الکترولیتهای بدن واکنش نشان نمی دهند و بنابراین ماهیت سمی ندارند.
- هر چند ممکن است امپدانس سطح تماس زیاد و به تبع آن ولتاژ ناپایداری داشته باشند.
- لکترودهای خارج بدنی، می توانند از فلزاتی همچون نقره نیز ساخته شوند چرا که نگرانی کمتری از جهت واکنش آنها با بافتهای بدن وجود دارد.

ادامه ...

- در مورد این الکترودها نیز باید به امیدانس سطح تماس توجه ویژه داشت.
- دیگر ملاحظات طراحی و ساخت الکترودها عبارتند از:
- هزینه، عمر پوسته و مشخصات مکانیکی.