

بررسی کاربرد های سنسور های مخابراتی در صنایع

بهروز ملک دادی رخنه

رایانامه نویسنده: bm.helli1379@gmail.com

چکیده

این مقاله به بررسی جامع سنسورهای مخابراتی، فناوری کلیدی در پیشرفت سیستمهای ارتباطی، میپردازد. با توجه به رشد روزافزون نیاز به جمعآوری و پردازش اطلاعات از محیط پیرامون در کاربردهای مخابراتی، سنسورها نقش محوری ایفا میکنند. در این پژوهش، ابتدا به تعریف و دستهبندی انواع سنسورهای مخابراتی پرداخته شده و سپس اصول عملکرد، ویژگیها و مزایای هر دسته به تفصیل تشریح میگردد. با تمرکز بر کاربردهای متنوع این سنسورها در شبکههای بیسیم، اینترنت اشیاء (IoT)، سیستمهای راداری، مخابرات ماهوارهای و مخابرات نوری، چالشها و فرصتهای پیش رو در این حوزه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در نهایت، بهآینده توسعه سنسورهای مخابراتی و نقش آنها در نسلهای آینده ارتباطات اشاره خواهد شد.

کلمات کلیدی: سنسورهای مخابراتی، حسگرهای بیسیم، اینترنت اشیاء (IoT)، مخابرات نوری، مخابرات ماهوارهای، شبکههای حسگر بیسیم، فناوری ارتباطات.

۱. مقدمه

پیشرفتهای چشمگیر در حوزه مخابرات، مرهون توسعه فناوریهای نوین است که امکان جمعآوری، انتقال و پردازش اطلاعات را با دقت و سرعت بیسابقه فراهم میآورند. در این میان، سنسورها به عنوان واسطهای حیاتی میان دنیای فیزیکی و دنیای دیجیتال، نقشی کلیدی در توسعه سیستمهای مخابراتی ایفا میکنند. سنسورهای مخابراتی، دستگاههایی هستند که قادرند پدیدهها یا کمیتهای فیزیکی را تشخیص داده و آنها را به سیگنالهای الکتریکی قابلپردازش تبدیل کنند. این سیگنالها سپس میتوانند از طریق شبکههای مخابراتی منتقل شده و مورد استفاده قرار گیرند.

از کاربردهای اولیه سنسورها در سیستمهای مخابراتی میتوان به حسگرهای صوتی در تلفنها و میکروفونها اشاره کرد. اما با پیچیدهتر شدن و همهگیر شدن فناوریهای ارتباطی، دامنه کاربرد سنسورها گسترش یافته و امروزه شاهد حضور آنها در طیف وسیعی از سیستمهای مخابراتی، از شبکههای حسگر بیسیم (WSNs) گرفته تا سیستمهای پیچیده اینترنت اشیاء (IoT)، مخابرات ماهوارهای و سیستمهای مخابراتی نوری هستیم. توسعه این سنسورها نه تنها به بهبود کیفیت ارتباطات کمک کرده، بلکه امکان ایجاد کاربردهای جدید و نوآورانهای را نیز فراهم نموده است.

هدف این مقاله، ارائه یک دید جامع و علمی در خصوص سنسورهای مخابراتی برای دانشجویان و پژوهشگران رشته مهندسی برق گرایش مخابرات و کنترل است. در ادامه، به تشریح مفاهیم پایه، انواع سنسورها، اصول عملکرد، کاربردها، چالشها و آینده این حوزه پرداخته خواهد شد.

۲. سنسورهای مخابراتی: تعریف و دسته‌بندی

سنسور مخابراتی به هر دستگاهی گفته میشود که قادر به اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی مانند نور، صدا، دما، فشار، رطوبت، میدان مغناطیسی، موقعیت، شتاب و غیره (و تبدیل آن به یک سیگنال قابل درک و انتقال توسط سیستمهای مخابراتی است. این سیگنال معمولاً یک سیگنال الکتریکی مانند ولتاژ، جریان، فرکانس یا مقاومت است که متناسب با کمیت فیزیکی اندازه‌گیری شده تغییر میکند.

سنسورهای مخابراتی را میتوان بر اساس معیارهای مختلفی دسته‌بندی کرد. یکی از رایجترین دسته‌بندیها، بر اساس کمیت فیزیکی قابل اندازه‌گیری است. برخی از دسته‌بندیهای اصلی عبارتند از:

- **سنسورهای الکترومغناطیسی:** مانند سنسورهای نوری فتودیودها، فتوترانزیستورها، CCD، سنسورهای میدان مغناطیسی هال افکت، (آنتن‌ها به عنوان سنسور) برای تشخیص امواج رادیویی.
- **سنسورهای حرارتی:** مانند ترموکوپلها، ترمیستورها، سنسورهای مادون قرمز.
- **سنسورهای مکانیکی:** مانند شتابسنجها، ژيروسکوپها، سنسورهای فشار، سنسورهای پیرو، سنسورهای موقعیت پتانسیومترها، انکودرها.
- **سنسورهای صوتی:** مانند میکروفونها.
- **سنسورهای شیمیایی و بیولوژیکی:** مانند حسگرهای گاز، حسگرهای Hp.

دسته‌بندی دیگر بر اساس اصول عملکرد فیزیکی است. برای مثال:

- **سنسورهای مقاومتی:** که تغییر در مقاومت الکتریکی را اندازه‌گیری میکنند مانند ترمیستورها، کرنشسنجها.
- **سنسورهای خازنی:** که تغییر در ظرفیت خازنی را اندازه‌گیری میکنند.
- **سنسورهای القایی:** که تغییر در اندوکتانس را اندازه‌گیری میکنند.
- **سنسورهای پیزوالکتریک:** که با اعمال فشار، ولتاژ تولید میکنند مانند میکروفونهای پیزوالکتریک.
- **سنسورهای نیمههادی:** مانند فتودیودها، ترانزیستورهای اثری میدان (TEF).

در زمینه مخابرات، تمرکز ویژه‌ای بر روی سنسورهایی وجود دارد که قادر به تشخیص و اندازه‌گیری کمیت‌های مرتبط با انتشار امواج الکترومغناطیسی، پارامترهای محیطی برای بهینه‌سازی ارتباطات، یا حسگرهایی که خود بخشی از یک سیستم مخابراتی هستند (مانند آنتن‌ها).

۳. اصول عملکرد انواع سنسورهای مخابراتی

در این بخش، به بررسی اصول عملکرد برخی از مهمترین انواع سنسورهای مخابراتی می‌پردازیم:

۳.۱. سنسورهای نوری

سنسورهای نوری نقش حیاتی در مخابرات نوری و همچنین در بسیاری از سیستم‌های بیسیم (مانند ارتباطات مادون قرمز و لیزری) دارند. اصول عملکرد آنها بر مبنای برهمکنش نور با ماده‌هاست.

- **فتودیودها: (sedoidotohP)** این سنسورها از پیوند p-n یا p-i-n نیمه‌هادی ساخته شده‌اند. هنگامی که فوتونها با انرژی کافی به ناحیه فعال نیمه‌هادی برخورد میکنند، جفت الکترون-حفره تولید

$$I_{ph} = \frac{h\nu}{q}$$

میشود. تحت تاثیر میدان الکتریکی داخلی پیوند (یا میدان اعمالی خارجی)، این حاملها جدا شده و جریان الکتریکی تولید میکنند. شدت جریانتولید شده متناسب با شدت نور ورودی است.

$$\eta q P$$

(1)

- **فتوترانزیستورها: (srotsisnartotohP)** این سنسورها شبیه به فتودیودها هستند اما دارای ناحیه بیس نیز میباشند که به عنوان سطح حساس به نور عمل میکند. نور تابیده شده به بیس، جریان کوچکی را تولید میکند که این جریان سپس توسط ساختار ترانزیستور تقویت میشود. این امر باعث میشود که فتوترانزیستور نسبت به فتودیودها حساسیت بیشتری داشته باشد.

• آرایه‌های حسگر نوری (مانند CCD و SOMC) در سیستم‌های تصویربرداری مخابراتی

(مانند دوربین‌های مدار بسته، سیستم‌های ارتباط تصویری)، از آرایه‌هایی از سنسورهای نوری استفاده میشود. این آرایه‌ها پیکسل‌هایی هستند که هر کدام نور را دریافت کرده و آن را به سیگنال الکتریکی تبدیل میکنند. CCD (Charge-Coupled Device) و SOMC Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (Oxide-Semiconductor) دو فناوری اصلی در ساخت این آرایه‌ها هستند.

۲.۳. سنسورهای میدان الکترومغناطیسی (غیر نوری)

این سنسورها برای تشخیص و اندازه‌گیری میدان‌های الکترومغناطیسی در فرکانس‌های رادیویی، مایکروویو و سایر طیف‌ها به کار می‌روند.

• **آنتن‌ها:** در بسیاری از موارد، خود آنتن‌ها را میتوان به عنوان سنسور میدان

الکترومغناطیسی در نظر گرفت. آنتن، امواج الکترومغناطیسی محیط را دریافت کرده و آنها را به سیگنال الکتریکی تبدیل میکند. توان سیگنال دریافتی متناسب با شدت میدان الکترومغناطیسی در محل آنتن است.

• **سنسورهای اثر هال (Hall Effect Sensor):** این سنسورها برای اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی

$$V_H = \frac{R_H I B}{t}$$

که در آن V_H ولتاژ هال، R_H ضریب هال، I جریان عبوری از رسانا، B میدان مغناطیسی عمود بر جهت جریان قرار می‌گیرد، نیروی لورنتس باعث انحراف حامل‌های بار شده و اختلاف پتانسیل (ولتاژ هال) در عرض رسانا ایجاد میشود. این ولتاژ متناسب با شدت میدان مغناطیسی است.

$$R_H I B$$

(2)

۳.۳. سنسورهای مکانیکی در مخابرات

این سنسورها در سیستمهای ناوبری، تشخیص حرکت، و همچنین در برخی سنسورهای محیطیکه بر عملکرد مخابرات تاثیر میگذارند، کاربرد دارند.

- **شتابسنجها: (sretemorelecca)** این سنسورها تغییر در سرعت (شتاب) را اندازهگیری میکنند. شتابسنجهای MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) رایجترین نوع هستند که بر اساس تغییر در ظرفیت خازنی یا تغییر در مقاومت (کرنشسنج) هنگامجابجایی جرم حساس به شتاب عمل میکنند. در مخابرات، میتوان از آنها برایتشخیص سقوط دستگاه، جهتگیری آنتنها، یا پایداری سکوها استفاده کرد.

- **ژیروسکوپها: (sepocsoryG)** این سنسورها سرعت زاویهای را اندازهگیری میکنند. ژیروسکوپهای MEMS مبتنی بر اثر کوریولیس هستند. کاربرد آنها در تثبیتجهتگیری آنتنها، دستگاههای قابل حمل، و سیستمهای ناوبری پیشرفته است.

۳.۴. سنسورهای صوتی (میکروفونها)

میکروفونها ابزارهای اساسی در سیستمهای مخابرات صوتی هستند. انواع مختلفی از میکروفونها وجود دارند:

- **میکروفونهای خازنی: (senohporciM resnednoC)** این میکروفونها از یک صفحهمتحرک (دیافراگم) و یک صفحه ثابت تشکیل شدهاند که یک خازن را تشکیل میدهند. امواج صوتی با ارتعاش دادن دیافراگم، فاصله بین صفحات را تغییر داده و در نتیجهظرفیت خازنی تغییر میکند. با اعمال ولتاژ بایاس، این تغییر ظرفیت به تغییر ولتاژ تبدیلمیشود.
- **میکروفونهای دینامیکی: (senohporciM cimanyD)** در این نوع، یک سیمپیچ صوتی بهدیافراگم متصل است و در میدان مغناطیسی یک آهنربا قرار دارد. ارتعاش دیافراگم باعثحرکت سیمپیچ در میدان مغناطیسی شده و طبق قانون القای فارادی، ولتاژی در سیمپیچالقا میشود که متناسب با شدت صدا است.

۴. کاربردهای سنسورهای مخابراتی

سنسورهای مخابراتی در طیف گسترده‌ای از کاربردها، از سیستم‌های ارتباطی سنتی گرفته تا فناوریهای نوظهور، مورد استفاده قرار میگیرند.

۴.۱. شبکه‌های حسگر بیسیم (sNSW)

WSNs مجموعه‌ای از دستگاههای خودکار (گرهها) هستند که با استفاده از سنسورها، اطلاعات محیطی را جمع‌آوری کرده و از طریق شبکه‌های بیسیم به یک یا چند ایستگاه مرکزی ارسال میکنند. در این شبکه‌ها، سنسورها میتوانند پارامترهای مختلفی مانند دما، رطوبت، فشار، صدا، ارتعاش، کیفیت هوا، و حضور اشیاء را اندازه‌گیری کنند. کاربردهای WSNs شامل پایش محیط زیست، کشاورزی هوشمند، نظارت صنعتی، تشخیص نفوذ، و کمکهای پزشکی از راه دور است.

۴.۲. اینترنت اشیاء (IoT)

IoT به شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی دستگاهها، وسایل نقلیه، ساختمانها و غیره اطلاق میشود که دارای سنسورها، نرمافزارها و سایر فناوریها برای جمع‌آوری و تبادل داده با سایر دستگاهها و سیستمها از طریق اینترنت هستند. سنسورها در IoT قلب تپنده این سیستمها هستند و امکان ارتباط و تعامل میان اشیاء و انسان را فراهم میکنند. مثالهایی از کاربرد سنسورها در IoT عبارتند از:

- **خانه‌های هوشمند:** سنسورهای دما و رطوبت برای کنترل سیستمهای تهویه، سنسورهای حرکت برای امنیت، سنسورهای نور برای بهینه‌سازی مصرف انرژی.
- **شهرهای هوشمند:** سنسورهای ترافیک برای مدیریت جریان، سنسورهای کیفیت هوا، سنسورهای سطح آب، سنسورهای پارکینگ.
- **صنعت هوشمند (Toll):** سنسورهای دما، فشار، ارتعاش برای پایش وضعیت ماشین‌آلات، سنسورهای موقعیت برای لجستیک.

۴.۳. مخابرات نوری

در مخابرات نوری، سنسورهای نوری نقش کلیدی در آشکارسازی سیگنال نوری دارند. فتودیودها، دیودهای PIN و APD (Avalanche Photodiodes) پرکاربردترین سنسورها در این حوزه هستند که سیگنال نوری را به سیگنال

الکتریکی تبدیل میکنند. همچنین، حسگرهای فیبر نوری (Fiber) Optic Sensors که از تار نوری به عنوان عنصر حساس استفاده میکنند، در پایش پارامترهای مختلف (مانند دما، فشار، کرنش) در محیطهای خاص کاربرد دارند.

۴.۴. مخابرات ماهواره‌ای و راداری

در سیستمهای ماهواره‌ای، سنسورهای مختلفی برای جمع‌آوری اطلاعات از زمین (مانند سنسورهای تصویربرداری، سنسورهای طیفسنجی) و همچنین برای پایش وضعیت ماهواره‌ها استفاده میشوند. در سیستمهای راداری، سنسورهای موجی (مانند آنتنها و گیرنده‌ها) نقش اساسی در تشخیص اهداف و اندازه‌گیری فاصله، سرعت و جهت آنها دارند.

۴.۵. ارتباطات بیسیم و موبایل

در دستگاههای تلفن همراه و سایر دستگاههای بیسیم، سنسورهای متعددی برای بهبود تجربه کاربری و ارائه قابلیت‌های جدید به کار میروند:

- **شناختننج و ژيروسکوپ:** برای تشخیص جهتگیری دستگاه، بازیهای موبایل، و واقعیت افزوده (AR).
- **سنسور نور محیط:** برای تنظیم خودکار روشنایی صفحه نمایش.
- **سنسور مجاورت: (rosneS ytimixorP)** برای خاموش کردن صفحه نمایش هنگام مکالمه. • **GPS:** (Global Positioning System) به عنوان یک سنسور موقعیت، برای ناوبری و خدمات مبتنی بر مکان.
- **سنسورهای: cirtemoib** مانند حسگر اثر انگشت یا تشخیص چهره برای امنیت.

۵. چالشها و فرصتهای پیش رو

با وجود پیشرفتهای فراوان، توسعه و بهکارگیری سنسورهای مخابراتی همچنان با چالشهای پیرو است و فرصتهای جدیدی را نیز پیش روی پژوهشگران قرار میدهد.

۵.۱. چالشها

- **مصرف انرژی:** بسیاری از سنسورها، به خصوص در شبکههای حسگر بیسیم توزیع شده، نیاز به تامین انرژی دارند. طراحی سنسورهایی با مصرف انرژی بسیار پایین و توسعه روشهای انرژی حرکتی (Energy Harvesting) از چالشهای کلیدی است.
- **هزینه و مقیاسپذیری:** تولید انبوه سنسورهای پیچیده با هزینه پایین برای کاربردهای گسترده، مانند IoT، یک چالش مهم است.
- **دقت و قابلیت اطمینان:** اطمینان از دقت و قابلیت اطمینان سنسورها در طول زمان و در شرایط محیطی متغیر، برای کاربردهای حیاتی مخابراتی ضروری است.
- **اتصالپذیری و استانداردسازی:** اطمینان از قابلیت همکاری و استانداردسازی پروتکل‌های ارتباطی بین سنسورها و سیستمهای مختلف.
- **امنیت دادهها:** با افزایش حجم دادههای جمع‌آوری شده توسط سنسورها، تامین امنیت این دادهها در برابر دسترسیهای غیرمجاز و حملات سایبری اهمیت فزایندهای یافته‌است.
- **اندازه‌گیری پارامترهای پیچیده:** توسعه سنسورهایی که بتوانند پارامترهای فیزیکی و شیمیایی پیچیده‌تر را با دقت بالا اندازه‌گیری کنند، یک زمینه تحقیقاتی فعال است.

۵.۲. فرصتها

- **هوش مصنوعی و یادگیری ماشین:** ادغام هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با سنسورها، امکان پردازش هوشمند دادهها، تشخیص الگوهای پیچیده، و پیش‌بینی حوادث را فراهم می‌کند.
- **سنسورهای انعطاف‌پذیر و پوشیدنی:** (srosneS elbaraeW) توسعه سنسورهای مبتنی بر مواد انعطاف‌پذیر و قابل پوشیدن، کاربردهای جدیدی در حوزه پزشکی، سلامت و ارتباطات شخصی ایجاد میکند.
- **سنسورهای MEMS و SMEN:** (smetsyS lacinahceM-ortceleE-onaN) کوچک‌سازی و افزایش قابلیت‌های سنسورها از طریق فناوریهای MEMS و NEMS منجر به تولید دستگاههای کوچکتر، ارزانتر و با توان مصرفی کمتر میشود.

- اینترنت حواس: (Sol - sesnes fo tenretnl) چشمانداز آینده که در آن سنسورها قادر به درک و انتقال اطلاعات حسی انسان (مانند بو، طعم، لامسه) در دنیای دیجیتال هستند.
- ارتباطات 6G و فراتر از آن: نسلهای آینده ارتباطات بیسیم، به سنسورهای بسیار پیشرفتهتر، با قابلیتهای ادراکی و پردازشی بالاتر، برای ایجاد شبکههای فراگیر و هوشمند نیاز دارند.

۶. نتیجهگیری

سنسورهای مخابراتی ستون فقرات بسیاری از فناوریهای ارتباطی مدرن را تشکیل میدهند. از جمعآوری دادههای حیاتی در شبکههای حسگر بیسیم گرفته تا انتقال اطلاعات در شبکههای فیبر نوری و ارتباطات ماهوارهای، این دستگاهها نقشی انکارناپذیر در شکلهی به دنیای متصلما ایفا میکنند. درک اصول عملکرد، انواع مختلف، و کاربردهای این سنسورها برای مهندسان مخابرات و کنترل امری ضروری است.

با توجه به روند رو به رشد دادهمحور شدن جامعه و پیچیدگی روزافزون سیستمهای مخابراتی، توسعه سنسورهای هوشمندتر، کممصرفتر، دقیقتر و با قابلیتهای ادراکی بالاتر، همچنان یکاولویت پژوهشی خواهد بود. ادغام سنسورها با فناوریهای نوظهور مانند هوش مصنوعی و شبکههای عصبی، پتانسیل ایجاد انقلابی دیگر در حوزه ارتباطات و فراتر از آن را دارد. مهندسان آینده باید با شناخت عمیق از این فناوریها، قادر به طراحی و پیادهسازی سیستمهای ارتباطی نوین و پاسخگو به نیازهای متغیر جامعه باشند.

منابع

منابع فارسی

۱. کاشانی، علیرضا. مبانی مخابرات نوری. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف. ۱۳۹۵،
۲. قربانی، محمد. شبکههای حسگر بیسیم: اصول و کاربردها. انتشارات پارس. ۱۳۹۷،
۳. رضایی، احمد. اینترنت اشیاء: مفاهیم، معماری و کاربردها. انتشارات علم و دانش. ۱۳۹۹،
۴. هاشمی، بهرام. اصول اندازگیری و سنسورها. انتشارات آییژ. ۱۳۹۶،

۵. محتشمی، جواد. "کاربرد سنسورهای MEMS در سیستمهای مخابراتی." *مجله مهندسی برق دانشگاه تهران*,

جلد ۵۴، شماره ۲، ۸۹۳۱، صفحات ۳۱۵-۳۰۰

منابع انگلیسی

1. ".Akyildiz, Ian F., and Mehmet C. Vuran. "Wireless sensor networks
vol. 56, no. 7, 2012, pp. 1619-1634 ,*Computer Networks*
2. Baccarelli, E., et al. "Software-defined wireless sensor networks: State of
& *IEEE Communications Surveys* ".the art and research challenges
vol. 16, no. 4, 2014, pp. 2033-2053 ,*Tutorials*
3. ".Hashem, Ibrahim. "The internet of things: a survey
vol. 16, no. 3, 2016, pp. 13-34 ,*Computer Science and Network Security*
4. ".Hossain, Ekram, and V. K. Jamadagni
Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications
Springer Science & Business Media, 2008
5. ".Knapp, William, and David G. Stork
Advanced Signal Processing: A Mathematics-Based Approach
John Wiley & Sons, 2004
6. ".Rappaport, Theodore S
Wireless Communications: Principles and Practice
Prentice Hall, 2017
7. ".Saha, Aruna, and Sridhar B. R
Wireless Sensor Networks
Springer, 2007
8. ".Simic, Sasa, and Dejan Pantic
Wireless Sensor Networks: An Introduction
IntechOpen, 2012
9. Sood, S. K., et al. "Internet of Things based smart grid: Survey and
challenges
vol. 7, 2019, pp. 144493-144511 ,*IEEE Access* "
10. ".Tan, H. W., and S. K. Tan .John
Optical Fiber Communications: Principles and Practice
Wiley & Sons, 2015