



انجمن علمی شبکه هوشمند انرژی ایران

کنفرانس شبکه های هوشمند ۹۲ در حوزه انرژی

www.SGC2013.ir ۲۷-۲۶ آذر ماه ۱۳۹۲



پروین فنی مندی شهید عباسپور



دانشگاه شهید بهشتی

تکنولوژی های مخابراتی در سیستم های اندازه گیری هوشمند و طرح فهام

میثم رضاییان^۱، هادی مدقق^۲ و نادر سالک گیلانی^۳

^۱سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، rezaeian@saba.org.ir

^۲سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، modaghegh@saba.org.ir

^۳سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، salek@saba.org.ir

چکیده - شبکه مخابراتی یکی از بخش های مهم و کلیدی در سیستم های اندازه گیری هوشمند است. شبکه مخابراتی در سیستم اندازه گیری هوشمند (AMI)، ارتباط دوطرفه و امن مداومی را بین سرورها، متمرکزکننده های داده، کنتورهای هوشمند، مشترکین و شرکت های ذینفع برقرار می نماید. این زیرساخت ارتباطی می تواند با توجه به تکنولوژی انتخابی، شرایط جغرافیایی منطقه و بسترهای مخابراتی موجود و عوامل متعدد دیگر با روش ها و ساختارهای متفاوتی پیاده سازی گردد. بنابراین انتخاب تکنولوژی ارتباطی به یکی از مهمترین چالش های فنی و اقتصادی پیش روی شرکت های برق برای پیاده سازی سیستم های اندازه گیری هوشمند بوده و شناخت انواع تکنولوژی ها و استانداردهای موجود و کاربردی و همچنین آشنایی با مشخصات، مزایا و معایب آنها ضروری به نظر می رسد. در این مقاله به بررسی انواع تکنولوژی های مخابراتی کاربردی در سیستم های اندازه گیری هوشمند و مسائل پیرامونی آنها پرداخته شده است و همچنین زیرساخت مخابراتی و استانداردهای انتخاب شده در طرح فهام نیز شرح داده می شود.

کلید واژه - تکنولوژی های مخابراتی، سیستم های اندازه گیری هوشمند، ارتباطات از طریق حامل خطوط قدرت، امواج رادیویی توان پایین، ارتباطات شبکه تلفن همراه، امواج رادیویی دوربرد، فراسامانه هوشمند اندازه گیری و مدیریت انرژی (فهام).

نصب و بهره برداری سیستم AMI علاوه بر دارا بودن تمامی مزایای سیستم قرائت خودکار کنتور^۲ (AMR) دارای مزایای دیگری از قبیل اجرا شدن مدیریت مصرف انرژی سمت مصرف کننده، کنترل مصرف انرژی توسط مشتری، کاهش اوج بار، جلوگیری از انجام سرمایه گذاری اضافی و کاهش در انتشار آلاینده ها می باشد. در واقع این سیستم و در سطحی بالاتر شبکه هوشمند^۳ همگرایی ارتباطات و فن آوری اطلاعات با شبکه قدرت است. برای اینکه یک شبکه هوشمند باشد نیاز به پیاده سازی سطحی از هوشمندی در دارایی های شرکت برق است. برای مثال برنامه پاسخگویی بار و نیروگاه های مجازی نیازمند یکپارچگی کنتورهای هوشمند، شبکه های خانگی و ترانسفورماتورهای یا پست های توزیع است و این نشان دهنده اهمیت زیرساخت ارتباطی در سطوح مختلف شبکه قدرت را نشان می دهد. در این مقاله به بررسی تکنولوژی های مخابراتی و استانداردهای کاربردی

۱- مقدمه

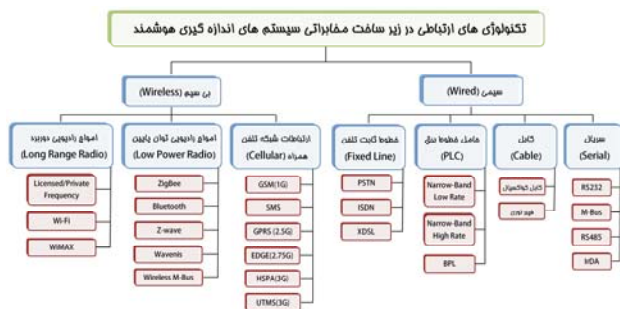
سیستم اندازه گیری هوشمند^۱ (AMI) به سیستم اندازه گیری، جمع آوری و تجزیه و تحلیل مصرف انرژی اطلاق می گردد که قابلیت کارکرد متقابل با تجهیزات پیشرفته از قبیل کنتورهای برق، گاز و آب را از طریق یک ارتباط دوطرفه دارا می باشد. این زیرساخت شامل سخت افزار، نرم افزار، ارتباطات، نمایشگرهای مصرف انرژی و کنترلرها، سیستم های مربوط به مشتری، نرم افزار مدیریت اطلاعات اندازه گیری (MDM)، فروشنده ها و سیستم های شبکه توزیع می باشد [۱،۲]. از قابلیت های AMI می توان به قطع و وصل از راه دور کنتور، نرخ گذاری پیشرفته، برنامه ریزی از راه دور کنتور، پیش خرید، نظارت و گزارش توان اکتیو و راکتیو اشاره کرد. پاره ای از قابلیت های AMI از قبیل کنترل DG، کنترل تجهیزات برقی، کنترل سیستم های گرمایش و تهویه مطبوع در سایه شبکه خانگی یا شبکه هوشمند می باشد.

^۲ Automated Meter Reading

^۳ Smart Grid

^۱ Advanced Metering Infrastructure

بر اساس استانداردهای کاربردی که می توانند دارای سرعت و فرکانس کاری مشابه یا متفاوتی نیز باشند انجام شده است [۱]. در شکل ۱ نمای کلی تکنولوژی های ارتباطی سیمی و بی سیم در زیرساخت مخابراتی سیستم های اندازه گیری هوشمند نشان داده شده است.



شکل ۱: نمای کلی تکنولوژی های ارتباطی سیمی و بی سیم در زیرساخت مخابراتی سیستم های اندازه گیری هوشمند

۲-۱- تکنولوژی ارتباطی سیمی (wired)

تکنولوژی های ارتباطی سیمی به چهار دسته کلی ارتباطات سریال، ارتباطات خطوط شبکه قدرت، خطوط تلفن ثابت و فیبر نوری تقسیم می شوند. خطوط تلفن ثابت و خطوط شبکه قدرت در اکثر مناطق شهری و روستایی تا درب منازل وجود دارند و جزو بسترهای مخابراتی موجود و پایه محسوب می شوند. از سوی دیگر به جهت اینکه مالکیت خطوط برق در اختیار شرکت های برق است، حامل خطوط قدرت همواره مورد توجه شرکت های برق و یکی از پرکاربردترین تکنولوژی مخابراتی برای پیاده سازی سیستم های اندازه گیری هوشمند بوده است. همچنین می توان از فیبرنوری در شبکه های شهری برای شبکه مخابراتی، اینترنت و یا تلویزیون کابلی به جهت سرعت انتقال و پهنای باند بالا بهره برد.

۲-۱-۱- ارتباطات سریال

درگاه سریال یک رابط فیزیکی است که می تواند در هر لحظه یک بیت از داده ها را انتقال دهد. در رایانه های شخصی، بیشترین انتقال اطلاعات از طریق درگاه سریال انجام می گردد. از درگاه های سریال می توان به RS232، RS422، RS485، M-Bus، USB، Firewire (IEEE1394)، IrDA و اترنت اشاره کرد. استانداردهای پر کاربرد در سیستم های اندازه گیری هوشمند

در سیستم های اندازه گیری هوشمند و مسائل پیرامونی آنها و همچنین زیرساخت مخابراتی شبکه پرداخته شده است و سعی گردیده است با توجه به گستردگی مباحث فنی در تکنولوژی های مخابراتی، دید خوبی برای خواننده ایجاد گردد. در انتها نیز به معرفی طرح فهم و زیرساخت مخابراتی به کار گرفته شده در این طرح پرداخته می شود.

۲- شبکه ارتباطی در سیستم های اندازه گیری

هوشمند

شبکه ارتباطی یکی از بخش های مهم و کلیدی در سیستم های اندازه گیری هوشمند است و انتخاب تکنولوژی ارتباطی نیز یکی از مهمترین چالش های فنی و اقتصادی پیش روی شرکت های برق برای پیاده سازی سیستم های اندازه گیری هوشمند می باشد. اولویت در انتخاب تکنولوژی اغلب بر استفاده از زیرساخت های موجود به جهت کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه است. شبکه ارتباطی سیستم های اندازه گیری هوشمند را می توان به سه سطح شبکه خانگی^۴ (HAN)، شبکه محلی^۵ (LAN) و شبکه مخابراتی گسترده^۶ (WAN) تقسیم بندی نمود که محدوده هر یک در ادامه مشخص شده است [۱].

- ❖ شبکه خانگی: شبکه ارتباطی موجود در منازل
 - ❖ شبکه محلی: شبکه ارتباطی بین کنتورهای یک محله شهری یا روستایی تا متمرکزکننده داده^۷ (DC)
 - ❖ شبکه مخابراتی گسترده: شبکه ارتباطی بین متمرکزکننده داده تا سیستم مرکزی^۸ (CAS) واقع در شبکه توزیع برق
- تکنولوژی های ارتباطی در زیرساخت های موجود معمولاً می توانند در یک یا دو سطح از سیستم اندازه گیری هوشمند به کار گرفته شده و طبقه بندی گردند [۳]. در نتیجه با توجه به تنوع زیرساخت های پیاده سازی شده، بررسی و تفکیک مناسب تکنولوژی های مخابراتی در سیستم های اندازه گیری هوشمند بر اساس اتصال سیمی و بی سیم و سپس تقسیم بندی آنها

⁴ Home Area Network

⁵ Local Area Network

⁶ Wide Area Network

⁷ Data Concentrator

⁸ Central Access System

IP، HTML، SSL و غیره را پشتیبانی می نماید. محدوده کاری PLC های باند باریک HDR و BPL تا پست های توزیع ۲۰kV و محدوده کاری PLC باند باریک LDR تا ترانسفورماتورهای ۴۰۰V تعیین شده است. متمرکزکننده های داده (DC) به منظور جمع آوری و یکپارچه کردن مقادیر قرائت شده گروهی از کنتورها بکار می رود سرعت ارسال اطلاعات در استانداردهای PLC، بستگی به مودلاسیون استاندارد مورد نظر و همچنین بستگی به کیفیت شبکه ولتاژ پایین خواهد داشت. حداکثر سرعت ارسال اطلاعات در PLC باند باریک LDR در حد چند کیلوبایت در ثانیه، برای HDR بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوبایت در ثانیه می باشد. فاصله بیشینه بین دو مودم PLC می تواند تا ۱ کیلومتر باشد، برای فواصل بیشتر استفاده از تکرار کننده ها^۹ ضروری است. در حال حاضر متمرکزکننده های داده قابلیت اتصال به بیش از ۲۰۰۰ گره را دارا می باشند [۵].

BPL نیز به دو نوع Access BPL در سطح خطوط ولتاژ پایین و متوسط و In-home BPL در سطح خانگی تقسیم می شود. BPL نرخ انتقال داده بین ۵۰۰kbps تا ۳ mbps را در محدوده خارج از ساختمان در سطح شبکه ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط و نرخ داده حداکثر ۲۰۰mbps در منزل در باندهای فرکانسی HF/VHF (۲۵۰-۱/۸) فراهم می نمایند. در نمونه های جدیدتر نیز به نرخ ۵۰۰ mbps تا ۱ Gbps دست یافته اند. در ساختار Access BPL اطلاعات از اینترنت می توانند در سطح پست وارد شده و با استفاده از تزریق کننده ها سیگنال های داده را روی خطوط ولتاژ متوسط تولید نمایند. سوی دیگر اطلاعات از طریق متمرکزکننده های داده در سطح ترانسفورماتورهای ولتاژ پایین دریافت شده و در اختیار مصرف کننده قرار می گیرد. در منزل نیز با استفاده از ساختار In-Home BPL، مشترک می تواند با استفاده از یک مودم PLC متصل به پریز برق، کامپیوتر خود را به یک ارتباط پهن باند اینترنتی وصل نماید.

شامل RS485، RS232، IrDA و MBus می باشد. درگاه سریال به دلیل سادگی، ارزانی و توابع بسیار استاندارد و گسترده همچنان گزینه مناسبی برای ارتباطات با نرخ داده پایین و محلی می باشد.

۲-۱-۲- ارتباطات از طریق حامل خطوط قدرت

در ارتباطات از طریق حامل خطوط قدرت^۹ (PLC) اطلاعات بر روی امواج با فرکانس های خاص مدوله شده و روی خطوط برق از بخش های محلی به متمرکزکننده های داده منتقل می گردد. انگیزه اصلی در توسعه PLC کاهش هزینه ها و جلوگیری از سرمایه گذاری مجدد در جهت تحقق شبکه های مخابراتی جدید است. PLC برای دهه های متمادی در صنعت برق برای کاربردهای اندازه گیری راه دور و کنترل بار استفاده شده است. در سال های اخیر با فعالیت ها در زمینه شبکه هوشمند در اتوماسیون منزل و ساختمان توجه زیادی به تکنولوژی های PLC شده است. قوانین بین المللی نیز محدودیت های حداکثری را برای توان انتقالی و باندهای فرکانسی مجاز قرار داده اند. تکنولوژی های PLC به دو دسته PLC باند باریک^{۱۰} (NB-PLC) و PLC پهن باند^{۱۱} (BPL) تقسیم بندی می شود. NB-PLC با دو نوع نرخ داده پایین^{۱۲} (LDR) و نرخ داده بالا^{۱۳} (HDR) شناخته می شود. محدوده فرکانس باند باریک مطابق با استاندارد CENELEC در اروپا بین ۹ تا ۱۴۸/۵ کیلوهرتز و برای استانداردهای آمریکایی و ژاپنی بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلوهرتز است [۴]. در جدول ۱ باندهای متفاوتی فرکانسی برای استاندارد CENELEC نشان داده شده است.

جدول ۱: باندهای فرکانسی CENELEC

باند	محدوده فرکانسی (kHz)	کاربرد
A	3-95	فقط در شرکت برق
B	95-125	شرکت برق و منازل
C	125-140	شرکت برق و منازل
D	140-148.5	شرکت برق و منازل

شبکه PLC نشان داده شده در شکل ۲ پروتکل های ارتباطی

⁹ Power Line Carrier

¹⁰ NarrowBand PLC

¹¹ BroadBand PLC

¹² Low Data Rate

¹³ High Data Rate

¹⁴ Repeater

۲-۱-۳- خطوط ثابت تلفن

خطوط تلفن ثابت به طور گسترده در منازل و اماکن صنعتی و تجاری به کار گرفته می شوند. این خطوط برای ارتباطات صوتی و همچنین ارسال داده در بستر اینترنت به کار گرفته می شوند. به ارتباطات صوتی خطوط تلفن به صورت آنالوگ^{۱۶} (PSTN) و به صورت دیجیتال^{۱۷} (ISDN) گفته می شود. مطابق با جدول ۳، PSTN در بهترین شرایط دارای نرخ داده حداکثر ۵۶kbps و ISDN نرخ داده ۶۴kbps است. خط اشتراک دیجیتال^{۱۸} (DSL) از تمامی پهنای موجود در خطوط مسی دوطرفه استفاده نموده تا بالاترین سرعت ممکن را همزمان با سرویس صدا ارائه دهند.

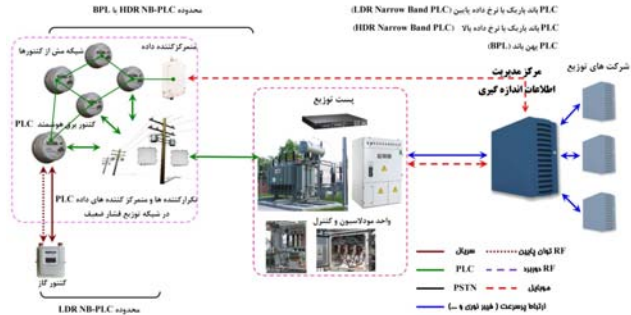
جدول ۳: استانداردهای PLC

نرخ ارسال	نرخ دریافت	انواع تکنولوژی های خطوط تلفن
33.6kbps	56kbps	PSTN
64kbps	64kbps	ISDN
1Mbps	8Mbps	ADSL
1.3Mbps	12Mbps	ADSL2
1.1Mbps	20Mbps	ADSL2+
1544 or 2048 kbps		SDSL
1544 or 2048 kbps		HDSL

سرعت انتقال داده ها با استفاده از DSL به طور معمول از ۲۵۶kbps تا ۴۰Mbps بسته به نوع تکنولوژی DSL، شرایط خطوط تلفن و کیفیت خدمات سرویس دهنده است. به طور نمونه محدوده فرکانسی برای امواج صوتی تلفنی بین ۰-۴ کیلوهرتز و برای ADSL محدوده های ارسال (۲۵/۸۷۵ تا ۱۳۸ کیلوهرتز) و دریافت داده (۱۳۸ تا ۱۱۰۴ کیلوهرتز) توسط کاربر است. DSL دامنه وسیعی از پروتکل ها را پشتیبانی می کند، اما استاندارد مشخص استفاده شده یا تحت توسعه برای کنتورهای هوشمند وجود ندارد.

۲-۱-۴- کابل

از کابل های کواکسیال^{۱۹} یا فیبر نوری^{۲۰} برای سرویس هایی از قبیل تلویزیون، تلفن و اینترنت استفاده می گردد. از لحاظ



شکل ۲: ارتباطات از طریق حامل خطوط قدرت (PLC)

جدول ۲: استانداردهای PLC

Non- SDO	SDO	انواع PLC
Insteon, X10, HomePlug C&C, ArianeControls, BacNet	IEC 14908-3(LonWorks), IEC14543-3-5(KNX), CEA-600.31 (CEBus), IEC 61334-3-1, IEC 61334-5-1	PLC باند باریک نرخ داده پایین (LDR)
PRIME, G3-PLC	ITU-T G.hnem (G.9955/G.9956), IEEE 1901.2	PLC باند باریک نرخ داده بالا (HDR)
HomePlug 1.0, HomePlug AV (Extended), HD-PLC, OPERA/UPA Powermax, GigaMediaXtreme	TIA-1113, IEEE 1901, ITU-T G.hn (G.9960/G.9961), IEEE P1775, IEEE P1675	PLC پهن باند (BPL)

انواع استانداردهای PLC در جدول ۲ نشان داده شده است. استانداردهای SDO^{۱۵}، استانداردهایی هستند که توسط سازمان های بین المللی استاندارد همانند IEC, CENELEC, IEEE و غیره تدوین و توسعه یافته اند. G3 و PRIME دو استاندارد صنعتی باز باند باریک از نسل دوم غیر SDO هستند که بر روی ارتباطات کنتور هوشمند تمرکز نموده و از تکنیک مدولاسیون بر پایه OFDM استفاده می نمایند. PRIME نرخ داده بالاتر و G3 گویای قدرتمندتری دارد که قابلیت اطمینان آن را افزایش می دهد. نرخ های داده حداکثر در باند A CENELEC، ۳۳ kbps برای G3 و ۱۲۸ kbps برای PRIME می باشد [۶]. سیستم PLC به طور گسترده در سیستم های AMR/AMI در اروپا و آمریکا به کار گرفته شده است. سیستم Echelon برای ۳۰ میلیون مشترک خانگی در ایتالیا و سیستم های قرائت خودکار دوطرفه Aclara توسط PG&E به کار گرفته شده است.

¹⁶ Public Switched Telephone Network

¹⁷ Integrated Services Digital Network

¹⁸ Digital Subscriber Line

¹⁹ Coaxial Cable

²⁰ Fiber Optic

¹⁵ Standard Developing Organization

که هر ناحیه دارای یک فرستنده و گیرنده ثابت به نام ایستگاه اصلی می باشد. هر سلول شبکه، از مجموعه های فرکانس های متفاوت با سلول های همسایه برای جلوگیری از تداخل و تضمین پهنای باند برای هر سلول استفاده می نماید. شکل ۳ یک زیرساخت ارتباطی برای کنتورهای انرژی برای به کارگیری شبکه های تلفن همراه موجود برای ارتباطات شبکه WAN را نشان می دهد. ارتباطات شبکه تلفن همراه، گستره وسیعی از استانداردها را به کار می برد که می تواند جهانی، منطقه ای یا سرویس با استانداردهای مشخص باشد. اما استاندارد مشخصی برای اندازه گیری انرژی وجود ندارد.



شکل ۳: زیرساخت با استفاده از شبکه تلفن همراه

در سیستم های اندازه گیری هوشمند مبتنی بر ارتباطات شبکه تلفن همراه، هر کنتور نیاز به یک مودم و یک عدد سیم کارت دارد که بسته به مودم یا پوشش سیگنال ممکن است نیاز به یک آنتن داخلی یا خارجی باشد. در جدول ۴ انواع تکنولوژی های مربوط به ارتباطات شبکه تلفن همراه آمده است [۷]. پوشش برای GSM بیشتر از GPRS یا G3 بوده اما دارای نرخ ارسال داده کمتری است. مصرف توان مودم های ارتباطات شبکه تلفن همراه بیشتر از مودم های PLC یا امواج رادیویی توان پایین است. همچنین، توان مصرفی شبکه موبایل برای پشتیبانی شبکه اندازه گیری هوشمند قابل چشم پوشی نیست.

جدول ۴: تکنولوژی های ارتباطات شبکه تلفن همراه

نام استاندارد	نسل	حداکثر نرخ داده
GSM	۱	9.6 kbps
GPRS	۲.۵	114 kbps
EDGE	۲.۷۵	236.8 kbps
UTMS	۳	384 kbps
HSPA	۳	14.4 Mbps

تئوری فیبرنوری بالاترین سرعت ارسال اطلاعات را داراست. از کابل می توان برای ارسال اطلاعات اندازه گیری هوشمند نیز استفاده نمود. برای ارسال اطلاعات کنتور نیاز به یک فرستنده و گیرنده در کنتور است. چندین استاندارد اروپایی و جهانی برای ارسال تصاویر تلویزیونی بر روی کابل وجود دارد. شبکه های فیبرنوری محدوده وسیعی از پروتکل ها را پشتیبانی می کنند، اما استاندارد و پروتکل مشهودی برای اندازه گیری انرژی وجود ندارد. استفاده از فیبرنوری در شبکه تلفن به دلیل تلفات بسیار کم و عدم نیاز به استفاده از تکرار کننده تا فواصل بسیار زیاد و همچنین پهنای باند گسترده آن و امکان برقراری تماس های تلفنی بسیار زیاد روی یک خط دارای توجیه اقتصادی خوبی است. بعنوان مثال این تکنولوژی کاربرد وسیعی در آمریکای شمالی برای سرویس های تلویزیون دارد که برای تلفن و سرویس های داده به کار می رود. مزیت استفاده از مخابرات فیبرنوری در سیستم AMI، مصونیت این سیستم در برابر تداخل الکترومغناطیسی و نویز می باشد. همچنین می توان ارتباط متمرکز کننده های داده را با فیبر تامین نمود که زیرساخت آن در پست های توزیع نیز موجود می باشد. البته نباید این نکته را فراموش کرد که فیبر نوری بسیار گران قیمت و نصب آن در محیط های شهری بسیار دشوار است.

۲-۲-۲- تکنولوژی ارتباطی بی سیم (wireless)

روش دیگر در زیرساخت ارتباطی سیستم های اندازه گیری هوشمند، استفاده از تکنولوژی ارتباطی بی سیم امواج رادیویی است. تلفن های همراه، لپتاپ ها و بسیاری از تجهیزات الکترونیکی از تکنولوژی بی سیم برای ارسال صدا یا داده بهره می برند. تمامی این کاربردها براساس فرستنده و گیرنده های امواج رادیویی مدار مجتمع بوده و انواع آنها با باند فرکانسی کاری و استانداردهای به کار گرفته شده مشخص می شوند.

۲-۲-۱- ارتباطات شبکه تلفن همراه

ارتباطات مبتنی بر شبکه تلفن همراه^{۲۱} یا شبکه سلولی^{۲۲}، یک شبکه رادیویی توزیع شده بین نواحی به نام سلول^{۲۳} است

²¹ Mobile Network

²² Cellular Network

²³ Cell

است. زیرساخت های سخت افزاری نیز شامل متمرکز کننده های داده است که اتصال بک هال^{۲۶} را برای نقل و انتقال داده فراهم می کنند. متمرکز کننده های داده می توانند در پست های توزیع قرار گرفته و با استفاده از یک مودم PLC یا با ارتباط بی سیم به سیستم مرکزی متصل گردد. سیگنال های امواج رادیویی توان پایین وابسته به مسیر دید و تداخل فرکانسی وابسته دارند. در جدول ۵ چندین استاندارد موجود برای امواج رادیویی توان پایین به همراه اطلاعات شامل فرکانس کاری، سرعت و توپولوژی شبکه آمده است.

از نمونه کاربردهای تجاری امواج رادیویی توان پایین در زمینه اندازه گیری هوشمند در صنایع آب، برق و گاز می توان به استانداردهای MBus برای اندازه گیری هوشمند در شمال اروپا، Wavenis برای کنتورهای آب در فرانسه و زیرساخت Trilliant در کانادا اشاره نمود. ZigBee در آمریکا و استرالیا برای اتصال اندازه گیری هوشمند به شبکه های خانگی مورد استفاده قرار گرفته است. Trilliant در Ontario برای ۵۰۰۰۰۰ مشترک برای شرکت Hydro One نصب کرده است. ZigBee نیز برای شبکه WAN سیستم AMR در شهر گوتنبرگ سوئد برای ۲۷۰۰۰۰ کنتور توسط Nuri Telecom به کار گرفته شده است.

جدول ۵: استانداردهای موجود LP-RF

انواع LP-RF	محدوده فرکانسی (MHz)	سرعت (kbps)	توپولوژی
Wireless M-Bus	868	4.8, 32.7, 100	Star
Wavenis	868 / 915 / 433	4.8-100, 9.6, 19.2	Mesh
Z-Wave	868 / 908	9.6-40	Mesh
ZigBee	868 / 915 / 2.4 GHz	20, 40, 250	Mesh
Bluetooth	2.4 GHz	1, 2, 3 Mbps	Star

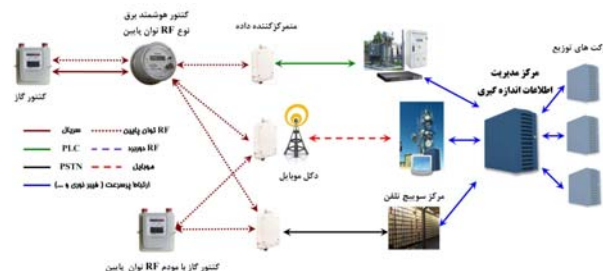
۲-۲-۳- امواج رادیویی دوربرد

امواج رادیویی دوربرد به سه دسته فرکانس های مجوزدار، Wi-Fi و WiMAX تقسیم بندی می گردد. برای فرکانس های مجوزدار هر سرویس دهنده خدمات باید مجوزی را برای طیف فرکانسی احراز نماید. سخت افزار مورد نیاز، تراشه های فرستنده

این تکنولوژی در عین پیاده سازی آسان آن، دارای محدودیت هایی از قبیل نیاز به سیم کارت، تغییر اپراتور شبکه با تغییر شرکت تامین کننده انرژی، تحت تاثیر قطعی برق در صورت نداشتن باتری پشتیبان، مشکل تحویل بسته های داده اندازه گیری در هنگام ترافیک بار شبکه و مکان یابی برای مودم های خارجی به دلیل مسائل محیطی می باشد. در Nordic اندازه گیری هوشمند با استفاده از GSM/GPRS به طور گسترده پیاده سازی شده است.

۲-۲-۲- امواج رادیویی توان پایین

امواج رادیویی توان پایین^{۲۴} (LP-RF)، از تکنولوژی های ارتباط بی سیم است که برای ارسال اطلاعات کم در فاصله های کوتاه طراحی شده اند و معمولا در باندهای فرکانسی صنعتی، علمی و پزشکی^{۲۵} (ISM) کار می کنند. فرکانس کاری ISM ۸۶۸ MHz در اروپا، ۹۱۵ MHz در آمریکا و استرالیا و ۲/۴GHz در جهان تعیین شده است که جزو باندهای بدون نیاز به کسب مجوز می باشند. مصرف کم توان و حداکثر سازی عمر باتری نیز در انتخاب تکنولوژی مورد نظر توجه می باشد. امواج رادیویی توان پایین در تلفن های همراه، هدست ها و اتصال تجهیزات الکترونیکی به یکدیگر، اندازه گیری و ارتباطات راه دور، کنترل ساختمان و اتوماسیون منزل و در اندازه گیری هوشمند برای ارتباط محلی بین کنتورهای آب، گاز و برق یا نمایشگرها و دیگر تجهیزات هوشمند منزل به کار می رود.



شکل ۴: زیرساخت با استفاده از امواج رادیویی توان پایین

شکل ۴، زیرساخت شبکه امواج رادیویی توان پایین برای ارتباطات در شبکه LAN و WAN را نشان می دهد. سخت افزار مورد نیاز یک فرستنده و گیرنده امواج رادیویی مدار مجتمع

²⁶ Backhaul

²⁴ Low Power Radio Frequency

²⁵ Industrial, Scientific And Medical Band



کننده و در سطح بالاتر به نقطه دسترسی Wi-Fi متصل می‌گردد.

۳- شبکه مخابراتی طرح فهام

طرح فراسامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی (فهام) به عنوان اولین و زیربنایی‌ترین قدم در زمینه هوشمندسازی سیستم قدرت کشور و یکی از پروژه‌های ملی و مهم صنعت برق است. این پروژه در چند فاز به انجام خواهد رسید. در مرحله اول اجرای طرح فهام، کنتورهای هوشمند برای حدود یک میلیون مشترک در کل کشور و در بستر شبکه توزیع نصب خواهد شد و زیرساخت مخابراتی مناسب برای ارسال داده‌های اندازه‌گیری شده کنتورها به مرکز و ارسال فرامین از سیستم مرکزی به کنتورها سیستم‌های مخابراتی نیز فراهم می‌گردد. در این طرح مطابق با جدول ۶، کشور به ۵ منطقه تقسیم شده و برای مرحله اول، که در واقع یک پایلوت بزرگ می‌باشد، از هر منطقه یک ناحیه با حدود ۲۰۰ هزار مشترک با تنوع مشترکین انتخاب شده است.

در شکل ۵ معماری شبکه مخابراتی طرح فهام در فاز اول نشان داده شده است، زیرساخت ارتباطی در این طرح متشکل از کنتور هوشمند (M)، متمرکزکننده داده (DC) و سیستم مرکزی (CAS) می‌باشد. کنتورها به انواع کنتورهای تکفاز، کنتورهای سه فاز اتصال مستقیم، CT و CT/PT تقسیم‌بندی می‌گردند. متمرکزکننده‌های داده به منظور جمع‌آوری و یکپارچه کردن مقادیر قرائت‌شده گروهی از کنتورها بکار می‌رود و CAS نیز محلی برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده از کنتورها می‌باشد [۹].

جدول ۶: شرکت های توزیع نیروی برق انتخاب شده از هر منطقه

نام منطقه	شرکت‌های توزیع انتخاب شده	تعداد مشترکین
شمال شرق	شهرستان مشهد امورها ۳ و ۸	۱۷۵۰۰۰
جنوب شرق	استان بوشهر	۲۶۱۰۰۰
جنوب غرب	شهرستان اهواز مناطق ۱ و ۲	۱۹۰۰۰۰
شمال غرب	استان زنجان	۲۷۷۰۰۰
تهران و البرز	تهران بزرگ و غرب استان تهران	۱۲۱۰۰۰

در این طرح از تکنولوژی PLC در لایه LAN و از تکنولوژی

و گیرنده، آنتن با عملکرد در یک فرکانس مجوزدار است. زیرساخت سخت افزاری شامل دکل‌هایی با تجهیزات و یک مودم است تا اتصال شبکه میانی برای نقل و انتقال داده فراهم نماید. پروتکل WiMAX بر پایه استاندارد IEEE 802.16، بعنوان نسل چهارم (G4) ارتباطات از راه دور مبتنی بر زیرساخت‌های آنتن‌های شبکه سلولی و برای شبکه‌های بی‌سیم شهری با نرخ داده ۳۰ تا ۴۰ مگابایت در ثانیه طراحی شده است و امکان دسترسی تا فاصله ۵۰ کیلومتر برای شبکه ثابت (IEEE 802.16d) و ۵-۱۵ کیلومتر برای شبکه سیار (IEEE 802.16e) را فراهم می‌آورد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کابل و خطوط DSL باشد. در مقابل، Wi-Fi به عنوان یکی از معروفترین تکنولوژی‌های شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN) براساس استاندارد IEEE 802.11(x)، دارای محدوده دسترسی ۳۰ تا ۱۰۰ متر است و توپولوژی مش را پشتیبانی نمی‌کند. آنتن‌های WiMAX گرانتر از تجهیزات موبایل یا Wi-Fi و سخت‌افزار آن دارای مصرف توان بالاتر می‌باشد. در زیرساخت WiMAX، فواصل آنتن با یکدیگر ۳ تا ۱۰ کیلومتر است. سرعت‌های بالا در محدوده پایین‌تر از ۱ km امکان پذیر بوده و سرعت ارسال داده بسته به فاصله نقطه انتهایی از آنتن و تعداد آنها تغییر می‌کند. در سال ۲۰۱۰، ۶۴۰ میلیون نفر در ۱۴۷ کشور جهان تحت پوشش شبکه وایمکس قرار داشته‌اند که انتظار می‌رفت تا پایان سال ۲۰۱۰ این مقدار به بیش از ۸۰۰ میلیون نفر و در پایان سال ۲۰۱۱ به یک میلیارد نفر برسد [۸].

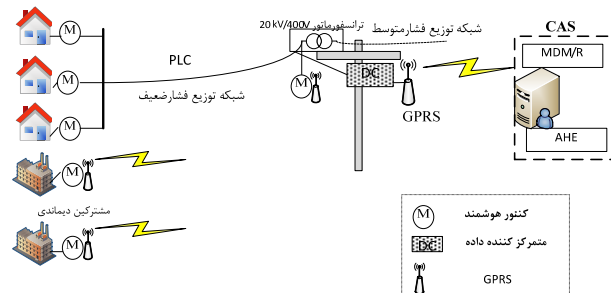
WiMAX برای اتصال بک‌هال متمرکزکننده‌های داده شرکت Hydro One در اونتاریو و طرح آزمایشی آن در سیدنی با یک ایستگاه اصلی و ۷۰۰۰ کنتور هوشمند توسط EnergyAustralia به کار رفته شده است. نمونه‌های کاربردی امواج دوربرد، پیاده‌سازی طرح Sensus FlexNet با برد در حدود ۴۰ مایل در شمال آمریکا برای قرائت یک طرفه و دو طرفه کنتورهای برق، آب و گاز، یا پیاده‌سازی در سطح کلان شهرها بر پایه Wi-Fi یا WiMAX است. Wi-Fi در برخی شهرهای آمریکا از قبیل Lafayette، Burbank، Corpus Christi برای اندازه‌گیری کنتور (AMI و AMR) به کار گرفته شده است. در این طرح کنتور به مودم مشتری متصل شده و مودم نیز به جمع

مطرح دنیا مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گرفته است و سعی گردیده است با استفاده از زیرساخت های مخابراتی و ارتباطی موجود کشور و همچنین به کارگیری تمامی قابلیت های سیستم های اندازه گیری هوشمند، هزینه های سرمایه گذاری اولیه به حداقل کاهش یابد.

مراجع

- [1] M. Rezaeian, H. Modaghegh & N. Salek Gilani, "Communication Technologies in Smart Metering Systems," *Iran Energy Efficiency Organization (IEEO)*, Department of Smart Metering Systems & Smart Grid, Special Report, No. 11, Apr. 2013.
- [2] M. Rezaeian & Sh. Jadid, "Smart Metering Systems: Components and Communication Infrastructure," *Iranian Journal of Artificial Intelligence & Instrumentation*, vol. 26, p.8, Jul. 2011.
- [3] S. Harrison, "Smart Metering WAN Communications – Definition of Options," *Energy Retail Association*, Nov. 2008.
- [4] D. Shaver. (2009, Dec 3). *Low Frequency, Narrowband PLC Standards for Smart Grid –The PLC Standards Gap!* [Online]. Available http://cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Globecom_2009/6_-12-03-09_shaver_smart_grid_panel_final.pdf.
- [5] *Texas Instruments Data Concentrator System Solution* [Online]. Available: http://www.ti.com/solution/data_concentrator.
- [6] R. Garcia Valle & J. A. Peças Lopes, "Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks," *Principles of Information Security*, Springer, Nov. 2013, pp. 141-145.
- [7] D. Boroughs. (2013, Jan 31). *Utility Communications* [Online]. Available: http://s3.amazonaws.com/sdieee/239-IEEE_San_Diego_session_31_jan_13_Boroughs_Quanta_Technology.pdf.
- [8] L. Dignan. (2010, Feb 15). *WiMax deployments ramp globally but U.S. lags* [Online]. Available <http://www.zdnet.com/blog/btl/wimax-deployments-ramp-globally-but-u-s-lags/30781>
- [9] "General, economic, functional, technical & communications requirements of Iranian Smart Metering Project (FAHAM)," *Iran Energy Efficiency Organization (IEEO)*, Department of Smart Metering Systems & Smart Grid, Final Rep, Dec. 2011.

GPRS در در لایه WAN استفاده می گردد. فرآیند قرائت بدین صورت است که کنتورها میزان مصرف برق مشترکین را اندازه گیری نموده و در خود ذخیره می نمایند. اطلاعات اندازه گیری کنتورهای دیماندی (CT و CT/PT) به صورت مستقیم و بنا به درخواست سیستم مرکزی در بستر GPRS ارسال گردد. برای کنتورهای غیردیماندی (تکفاز و سه فاز مستقیم) نیز ابتدا اطلاعات به صورت محلی و در یک شبکه مش از کنتورهای هوشمند جمع آوری می گردد. در مسیر ارسال اطلاعات به یک متمرکز کننده داده، برخی از کنتورها نقش تکرار کننده را ایفا می نمایند. در نهایت نیز اطلاعات در بستر GPRS از متمرکز کننده داده برای سیستم مرکزی ارسال می گردد. بستر مخابراتی PLC از نوع باند باریک با استفاده از استاندارد IEC 61334 با مدولاسیون S-FSK و یا استاندارد PRIME با مدولاسیون OFDM در لایه LAN انتخاب شده است.



شکل ۵: معماری شبکه مخابراتی طرح فهام

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تکنولوژی ها و استانداردهای مخابراتی کاربردی در سیستم های اندازه گیری هوشمند و همچنین اجزا و زیرساخت مخابراتی و مسائل پیرامونی آنها و به طور خاص زیرساخت مخابراتی طرح فهام پرداخته شده است و سعی گردیده است با توجه به گستردگی مباحث فنی در تکنولوژی های مخابراتی و انواع استانداردهای مخابراتی، دید خوبی برای خواننده ایجاد گردد. پیاده سازی زیرساخت مخابراتی در سیستم های اندازه گیری هوشمند، همواره از مهمترین چالش های فنی و اقتصادی پیش روی شرکت های برق است. در انتخاب تکنولوژی مخابراتی طرح فهام نیز پروژه های بزرگ و