مروری بر ویژگی‌های فناوری‌های ارتباطی در خانه‌های هوشمند و چالش‌های پیش‌رو

الهام توکلی[1]، کارشناسی ارشد، علیرضا کشاورز حداد[2]، دانشیار

[1] دانشکده آموزش‌های الکترونیکی- دانشگاه شیراز- شیراز- ایران

etavakoli92@gmail.com

[2] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شیراز- شیراز- ایران

keshavarz@shirazu.ac.ir

چکیده: هوشمندسازی خانه‌ها یکی از موضوعات کاربردی و پررونق در دنیای امروز است که به افراد امکان تنظیم و کنترل از راه دور تجهیزات الکترونیکی و همچنین امکان برنامه‌ریزی آن‌ها جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی را می‌دهد. در سال‌های اخیر شرکت‌های مطرح سیستم‌های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای تجهیزات خانگی هوشمند و همچنین فناوری‌های ارتباطی آن‌ها عرضه کرده‌اند. این فناوری‌ها از جهات مختلفی نظیر شرایط پیاده‌سازی، هزینه، مقیاس‌پذیری، تکامل‌پذیری، امنیت، غیره با یکدیگر متفاوتند و به دلیل تنوع زیاد آن‌ها، انتخاب یک فناوری درخور با توجه به نیازمندی و امکانات موجود دشوار به نظر می‌رسد. پرواضح است که لازمه طراحی و پیاده‌سازی صحیح و اصولی یک خانه هوشمند، شناخت ویژگی‌ها و محدودیت‌های این فناوری‌ها در شرایط مختلف است. این مقاله مروری به فناوری‌های متداول ارتباطی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر سیم‌کشی مجزا، خطوط برق ساختمان، و ارتباطات بی‌سیم می‌پردازند و ویژگی‌ها و محدودیت‌های هر فناوری را بیان می‌کند، به علاوه به پژوهش‌های مرتبط و چالش‌های پیش‌رو جهت بهبود این فناوری‌ها می‌پردازد. نکات مطرح شده در مقاله به طراحان سیستم‌های هوشمند خانگی کمک می‌کند تا فناوری ارتباطی مناسبی را با توجه به شرایط موجود در خانه هوشمند انتخاب و استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: خانه هوشمند، ساختمان هوشمند، فناوری ارتباطی سیمی، فناوری ارتباطی بی‌سیمی، امنیت.

پذیرفته شده در مجله محاسبات نرم

© پیش نویس مجله محاسبات نرم، برای داوری در مجله

A Survey on the Characteristics of Communication Technologies in Smart Homes and the Challenges Ahead

Elham Tavakoli [1], Master of Science, Alireza Keshavarz-Haddad [2], Associate Professor

[1] School of E-learning, Shiraz University, Shiraz, Iran, Etavakoli92@gmail.com

[2] School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, keshavarz@shirazu.ac.ir

Abstract:

Home intelligence is one of the most practical and thriving topics in today's world, which allows people to remotely adjust and control electronic equipment, as well as program them to save energy. In recent years, many companies have introduced hardware and software systems as appliances and communication technologies for smart homes. These technologies differ from each other in various aspects such as implementation conditions, cost, scalability, security, etc., and due to their great diversity, it seems difficult to choose a suitable technology under given conditions. It is quite clear that the prerequisite for the proper design and implementation of a smart home is to know the features and limitations of these technologies in different conditions. This article reviews common communication technologies in smart homes based on the communication medium, i.e., wire, power lines, and wireless, and outlines the features and limitations of each technology, as well as the related research and challenges ahead to improve such technologies. Also, the highlighted points in the article can help the designers of smart home systems to select and use the appropriate technology according to the conditions in a smart home.

Keywords: *Smart home, smart building, wired communication technology, wireless communication technology, security.*

پذیرفته شده در مجله محاسبات نرم

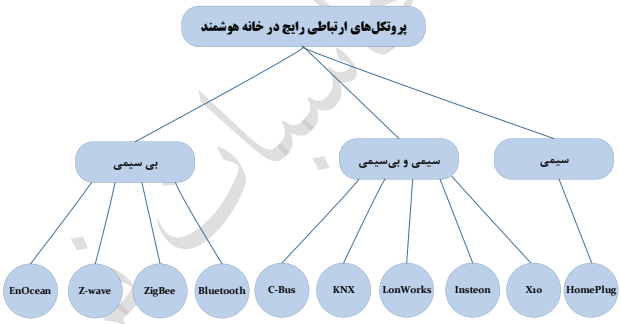
۱. مقدمه

بکارگیری امکاناتی که خانه را در اصطلاح هوشمند کند، همواره یکی از موضوعات مورد توجه زندگی مدرن بوده و در طول دوره‌های مختلف با توسعه‌ی فناوری راه‌حل‌های متعددی برای این منظور خلق شده است. طبق تعریف انجمن خانه‌های هوشمند، یک خانه هوشمند مجموعه‌ای از فناوری‌ها و سرویس‌ها در شبکه‌ای خانگی برای بهبود کیفیت زندگی است [۱و۲]. در واقع، خانه هوشمند به خانه‌هایی گفته می‌شود که ساکنین آن امکان تنظیم و کنترل تجهیزات الکترونیکی منزل خود را در فاصله نزدیک (داخل خانه) و یا از راه دور (خارج خانه) را داشته و قادر باشند برای کاربردهای مختلف نظیر کنترل عملکرد، صرفه‌جویی مصرف انرژی، و غیره برنامه‌های کاری مختلفی را روی تجهیزات خانگی استفاده کنند [۳و۴] .

در سال‌های اخیر در فناوری‌های خانه‌های هوشمند مفهوم ایجاد شبکه ارتباطی میان تجهیزات خانگی مطرح شده و به طور گسترده از سیستم‌ها و ابزارهای کامپیوتری جهت هوشمندسازی خانه‌ها استفاده شده است. خانه‌های هوشمند شامل امکانات ارتباطی، سرگرمی، امنیتی، آسایشی و اطلاعاتی، و همچنین خدماتی برای افراد معلول و سالمند می‌باشد که تحت سک ساختار شبکه‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند. خانه هوشمند تنها به معنای مکانی با تعدادی وسیله که وظایف و کارهای خاصی را انجام می‌دهند نیست، بلکه سیستم توزیع شده‌ای است شامل موجودیت‌هایی که در کنار یکدیگر کار می‌کنند و با هم همکاری دارند. برای این منظور، وسایل و سیستم‌ها نه تنها باید به یکدیگر وصل باشند، بلکه باید توانایی انجام اجرای کارهای مشترک را داشته باشند که به این توانایی "قابلیت همکاری" می‌گویند. به عبارت دیگر، شبکه خانه هوشمند شامل زیرسیستم‌های ناهمگونی است که نیازمند برقراری ارتباط و تبادل داده با یکدیگرند تا بتوانند وظایف مشترکی را به درستی اجرا کنند. برای انجام اینکار باید به دو مسئله پرداخته شود: اول برقراری ارتباط بین تجهیزات خانگی و دوم همکاری و انجام وظایف مشترک میان آن‌ها [۵].

فناوری‌های ارتباطی که تاکنون برای خانه‌های هوشمند توسعه یافته‌اند به دو دسته کلی قابل تقسیم هستند: ۱) فناوری‌هایی که در آن‌ها نیازی به کابل‌کشی مجزا جهت ارتباطات تجهیزات خانگی مختلف وجود ندارند و اطلاعات آن‌ها از طریق خطوط برق داخل ساختمان و یا با کمک امواج رادیویی منتقل می‌شود فناوری بی‌سیم گفته می‌شود. ۲) فناوری‌هایی که در آن‌ها برای تبادل اطلاعات و کنترل وسایل و ادوات مختلف نیاز به یک شبکه کابلی اختصاصی دیگر نیاز دارند فناوری سیمی گفته می‌شود [۶و۷].

در یک دسته‌بندی دیگر فناوری‌های ارتباطی خانه هوشمند را می‌توان به سه دسته سیمی، بی‌سیم، و ترکیب سیمی و بی‌سیم تقسیم می‌شوند. در شکل ۱ بر اساس مطالعات انجام در این مقاله پروتکل‌های ارتباطی در خانه‌های هوشمند دسته‌بندی و نمایش داده شده است.



شکل (۱): دسته بندی فناوری‌های رایج در خانه هوشمند

در سالهای اخیر برخی مقالات مروری در زمینه فناوری‌های خانه هوشمند منتشر شده که روی موضوعات متفاوتی تمرکز داشته‌اند. برای مثال، در مقالات [۴۵و۴۶] با توجه به نیازمندی‌های فنی و علایق مشتریان، اهداف، سیاست‌های توسعه‌ای، مخاطرات پیش رو برای شرکت‌های سازنده تجهیزات

مورد بحث قرار گرفته است. در [۴۶] به روش‌های کاهش مصرف انرژی با اجرای مکانیزم زمانبندی برای فناوری‌های ارتباطی خانه هوشمند پرداخته شده است. در مقالات [۴۷و۴۸] مروری روی موضوع امنیت و حفظ حریم شخصی در این فناوری‌ها صورت گرفته است. همچنین در مقالات [۵۵و۵۶] با رویکردی مشابه، بحث امنیت و حفظ حریم شخصی در شبکه های توزیع برق و ساختار بلاک–چین بررسی شده است.

در این مقاله سعی شده با تمرکز روی فناوری های ارتباطی رایج در خانه‌های هوشمند، ضمن معرفی هر فناوری به ویژگی های فنی، معایب و محدودیت‌های هر یک پرداخته شود. به علاوه، به نکات کاربردی در پیاده سازی هر فناوری بیان شده و چالش‌های پیش رو و موضوعات پژوهشی قابل طرح برای توسعه فناوری مطرح گردیده است. همچنین به مهم‌ترین تحلیل‌های موجود در مقالات در زمینه تاخیر، نرخ تلفات بسته‌ها، و بروندهی شبکه برای برخی از این فناوری‌ها اشاره می‌شود. البته به دلیل آنکه اغلب فناوری‌های ارتباطی خانه‌های هوشمند خاص منظوره و انحصاری هستند، تا کنون تحلیلی برای عملکرد آنها در مقالات علمی ارائه نشده است. در آخر، با تعریف برخی معیارهای کاربردی شامل محدودیت‌های ساختاری شبکه، هزینه تمام شده، سادگی در نصب و اجرا، سازگاری با فناوری‌های دیگر، مقیاس‌پذیری در تعداد تجهیزات هوشمند، تکامل‌پذیری در ارتقاء سیستم‌های موجود، و امنیت ارتباطات، این فناوری‌های ارتباطی خانه هوشمند با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج مقایسه به طراحان خانه‌های هوشمند کمک می‌کند تا با توجه به نیازمندی و شرایط موجود در هر خانه، از فناوری‌های مناسب ارتباطی جهت رسیدن اهداف‌شان بهره ببرند.

ادامه مطالب این مقاله در سه بخش ارائه می‌گردد. در بخش دوم مقاله به فناوری‌های ارتباطی سیمی پرداخته می‌شود. در بخش سوم فناوری‌های بی‌سیم در خانه‌های هوشمند تشریح می‌شود. همچنین توضیحات هر فناوری در یک زیربخش جداگانه ارائه می‌شود. در بخش آخر به اختصار فناوری‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و نتیجه‌گیری‌های نهایی ارائه می‌گردد.

قبل از پرداختن به فناوری های مختلف چند واژه فنی مرتبط با موضوع را بیان می‌کنیم. متن باز بودن یک استاندارد به این معناست که جزئیات فنی استاندارد منتشر شده و در اختیار همگان است. همچنین افراد مجازند که راهکارهای خود را نیز به آن بیافزایند. برای ارسال سیگنال روی هر بستر مخابراتی نیاز است از شکل موج‌های خاصی استفاده شود که به اینکار در مدولاسیون سیگنال گفته می‌شود. همچنین برای کنترل خطا در هنگام ارسال، از روشهای کدگذاری کانال استفاده می شود.

۲. فناوری‌های ارتباطات سیمی

در این بخش به فناوری‌های ارتباطی در خانه هوشمند مبتنی بر سیم‌کشی‌های خطوط برق ساختمان یا کابل‌کشی‌های اختصاصی جهت انتقال داده ارائه می‌شود.

۱.۲. فناوری ایکس۱۰[1]

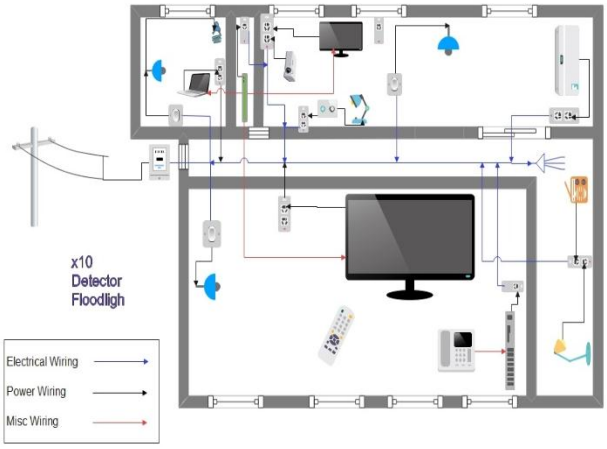
یکی از فناوری‌های معروف و قدیمی برای انتقال داده روی بستر سیم‌کشی برق ساختمان ایکس۱۰ می‌باشد. این فناوری به دلیل سهولت استفاده و قابلیت اطمینان بالا این فناوری به سرعت در اروپا فراگیر شده است و اخیرا نیز در حال گسترش در آسیاست. فناوری ایکس۱۰ یک زبان ساده جهت ارتباط تجهیزات اتوماسیون خانگی با یکدیگر تعریف کرده و اطلاعات را با مدولاسیون و کدگذاری مناسب روی خطوط برق ارسال می‌کند. این فناوری همه منظوره یک استاندارد باز برای تمامی بخش‌های اتوماسیون خانگی شامل تجهیزات امنیتی، کنترل وسایل، کنترل

1-X10

روشنایی محسوب می‌شود [۸]. در شکل ۲ هوشمندسازی خانه بر مبنای پروتکل ایکس۱۰ نمایش داده شده است.

ساختار شبکه ارتباطی ایکس۱۰ شامل دو نوع سخت‌افزار است:

- واحدهای ایکس۱۰: این واحدها برای کنترل وسایل به آن‌ها افزوده می‌شوند و معمولا روی سوکت‌های برق نصب می‌شوند.
- کنترل‌کننده ایکس۱۰: این تجهیز پیام‌های کنترلی را برای واحدهای ایکس۱۰ می‌فرستند و بر روی بستر ارتباطی پاسخ‌ها را دریافت می‌کند. برای کنترل وسایل خانه می‌توان از چند کنترل کننده ایکس۱۰ نیز استفاده نمود.



شکل (۲): هوشمندسازی خانه بر مبنای پروتکل ایکس۱۰ [۹]

کنترل‌کننده‌های ایکس۱۰ در سه دسته با قابلیت‌های متفاوت عرضه شده است:

- کنترل‌کننده‌های کوچک که به خطوط برق وصل می‌شوند و برای فرمان گرفتن از کاربران ساخته شده‌اند. اغلب آن‌ها برای نمایش وضعیت وسایل دارای صفحه نمایش‌اند.
- کنترل‌کننده‌های بی‌سیم که برروی خطوط برق نصب می‌شود و دارای ارتباط رادیویی هستند و کاربران از طریق یک کنترل از راه دور به آن‌ها فرمان می‌دهند.
- کنترل‌کننده کامپیوتری که معمولا از واسطهای خطوط برق و کابل سریال آر-اس ۲۳۲[۲] به کاربران اجازه می‌دهند که از طریق یک برنامه کاربردی نصب شده روی کامپیوتر تنظیمات و فرامین را به آن‌ها بدهند.

آدرس‌دهی در ایکس۱۰ براساس کد خانه و کد واحد انجام می‌شود. به عنوان مثال اگر کلیدی روی ریموت کنترل شما برای آدرس دی۸[۳] تنظیم شده باشد، کلیه ماژول‌هایی که با این آدرس تعریف شده باشد توسط این کلید روشن و خاموش می‌شود. تلفیق کد خانه و کد واحد امکان استفاده از ۲۵۶ تجهیز را در یک منزل فراهم می‌کند.

از مزایای ایکس۱۰ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- عدم نیاز به سیم‌کشی اضافی در خانه
۲- هزینه پایین برای پیاده‌سازی
۳- سادگی نصب و راه‌اندازی
۴- سازگاری با بسیاری محصولات تجاری.

البته ایکس۱۰ معایبی هم دارد، برای مثال:

۱- محدودیت ۲۵۶ تایی برای آدرسی‌دهی تجهیزات
۲- نرخ ارسال داده بسیار پایین ارتباطات
۳- مشخص نبودن به نوع تجهیز خانگی در پروتکل ارتباطی
۴- عدم مدیریت تصادم[۴] پیام‌ها: اگر دو پیام ایکس۱۰ تقریبا همزمان ارسال شوند بدلیل بروز تصادم، گیرنده‌ها قادر به دریافت پیام نخواهد بود. تصادم به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن دو یا چند تجهیز در زمان تقریبا یکسانی بر روی یک رسانه مشترک داده ارسال کنند و تداخل سیگنال‌های آن‌ها باعث از دست رفتن داده‌ها شود. پس از تصادم، هر تجهیز پس از یک وقفه کوتاه مجددا تلاش می‌کند تا داده خود را ارسال کند.

2-RS232

3-D8

4 -Collision

۵- عدم وجود مکانیزیم اطمینان از رسیدن و اجرای فرمان
۶- مشکل تداخل پیام: زمانی که فردی در خانه خود پیامی ارسال کند و سیگنال داده او به خانه دیگری وارد شود، ممکن است این فرمان به اشتباه در آنجا نیز به طریقی دیگر اجرا گردد. برای حل این مشکل لازم است فیلترهای الکترونیکی در ورودی خانه‌ها نصب شود.
۷- نویزی بودن خطوط برق که باعث پایین آمدن سطح اطمینان در این فناوری می‌شود.
۸- وجود ترانسفورماتور در میان مسیر ارتباطی یا داخل وسایل خانه باعث تضعیف شدید سیگنال ایکس۱۰ می‌شود و برخی وسایل برقی نظیر بخاری‌ها و خشک‌کن‌ها ممکن است باعث خاموش و روشن شدن ناخواسته آن‌ها گردد. به‌علاوه، روی وسایل مدرن امروزی نظیر تلویزیون و کامپیوتر فیلترهای نویزگیری و منابع تغذیه خاصی وجود دارد که ممکن است بدلیل عدم سازگاری با ایکس۱۰، سیگنال آن را از بین ببرند [۱۰و۱۱].

با توجه به موارد فوق، برای توسعه ایکس۱۰ لازم است توسعه فناوری جهت کاهش تداخل در پیام‌ها در زیرلایه مک[5] و بهبود نرخ ارسال و مقابله با نویز با ارتقاء مدولاسیون و کدگذاری در لایه فیزیکی اتفاق بیفتد. همچنین، باید در ساختار پیام‌ها تغییراتی اساسی در جهت بزرگتر کردن فضای آدرس و تعریف کردن نوع تجهیزات خانگی ایجاد شود.

۲.۲. فناوری اینستون[6]

فناوری اینستون با هدف رفع ایرادات پروتکل ایکس۱۰ و کوتاه کردن زمان پاسخ، و قابلیت اطمینان و پایداری بالا در انتقال داده ایجاد شد. برای رسیدن این هدف اینستون از ترکیب سیم‌کشی برق و ارتباطات رادیویی استفاده می کند [۸ و۱۱ و۱۲].

تجهیزات این فناوری اولین بار سال ۲۰۰۵ توسط شرکت اسمارت لب[7] ارائه شده و با علامت تجاری اینستون ثبت گردید [۱۳]. این فناوری امکان ایجاد یک شبکه نقطه-به-نقطه برای اتوماسیون خانگی با هزینه و پیچیدگی کم و قابلیت اطمینان بالا را فراهم می‌کند. در شبکه ارتباطی اینستون همه گره‌ها قابلیت ارتباط با یکدیگر را دارند و نیازی به یک کنترل‌کننده اصلی، نرم‌افزار مسیریاب پیچیده، گیرنده یا فرستنده یا تکرار کننده‌ی پیام‌ها نمی‌باشد. نکته جالب اینجاست که اضافه کردن وسایل به شبکه ارتباطی اینستون آن را بهبود می‌دهد چرا که وسایل پیام‌های یکدیگر را تکرار می‌کنند و بنابراین وسایل بیشتر، سیگنال‌های قوی‌تر و همچنین مسیرهای انتقال بیشتری را فراهم می‌کند. البته اینستون با محدود کردن تعداد تکرارهای پیام از کپی‌های بی‌رویه جلوگیری می‌کند [۸و۱۴] .

به علاوه، در اینستون قابلیت اتصال به شبکه‌های ارتباطی دیگری نظیر اینترنت، وای‌فای[8]، تلفن و همچنین سایر فناوری‌ها هوم‌پلاگ[9]، زد-ویو[10]، زیگ‌بی[11] و بلوتوث[12] وجود دارد. همچنین فناوری اینستون با ایکس۱۰ سازگاری کامل دارد. البته وسایل مجهز به اینستون سیگنال‌های وسایل ایکس۱۰ را دریافت و ارسال می‌کنند ولی آن‌ها را تقویت نمی‌کنند. در شکل ۳ ارتباطات دستگاه‌های اینستون نمایش داده شده است.

5-MAC

6-INSTEON

7-Smartlabs

8-WiFi

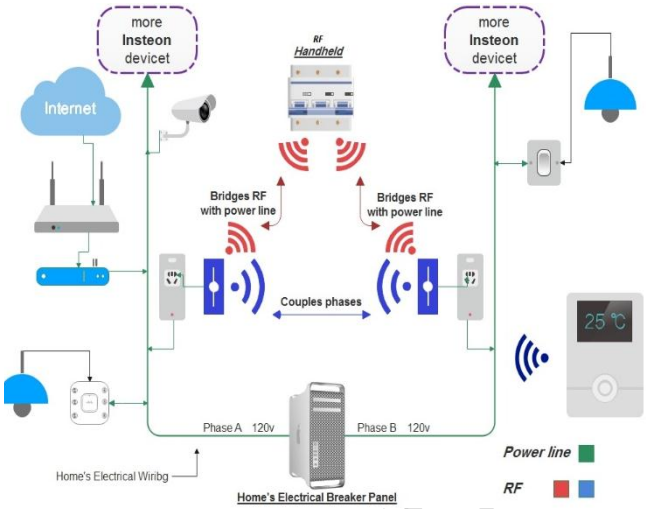
9-HomePlug

10-Z-Wave

11-ZigBee

12-Bluetooth

پذیرفته شده در مجله محاسبات نرم



شکل(۳): ساختار شبکه اینستون [۱۵]

ویژگی‌های فنی فناوری اینستون عبارتند از:

۱- پاسخ‌دهی سریع: وسایل اینستون بدون تاخیر به فرمان‌ها پاسخ می‌دهند.
۲- نصب آسان و بدون نیاز به سیم‌کشی اضافی
۳- قابلیت اطمینان بالا بدلیل تکرار پیام‌ها توسط وسایل مختلف
۴- هزینه‌ی پایین پیاده‌سازی به دلیل نبود کنترل‌کننده‌های خاص یا الگوریتم‌های مسیریابی پیچیده
۵- سازگاری با سایر فناوری‌ها همچون هوم‌پلاگ، زد-ویو، زیگ‌بی و بلوتوث.
۶- نرخ ارسال انتقال نسبتا خوب (۲۸۸۰ بیت بر ثانیه)
۷- استفاده از هر دو بستر مخابراتی خطوط برق و امواج رادیویی [۸ و۱۴].

موارد فوق نشان‌دهنده بلوغ کافی در طراحی اینستون می‌باشد. البته هنوز نیاز است که نرخ ارسال اطلاعات در اینستون بهبود یابد و با توجه به تکرار پیام‌ها توسط تمام گره‌های شبکه، عملکرد شبکه اینستون روی تعداد بالای وسایل و پیام‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. همچنین نیاز است مکانیزم‌های اصلاحی برای محدود کردن تکرارها با توجه به جایگاه گره‌های شبکه ارائه شود.

۳.۲. فناوری لانورک[۱۳]

فناوری لانورک انتخابی ارزان برای اتصال و شبکه‌سازی میان تجهیزات خانه‌های هوشمند می‌باشد. این فناوری می‌تواند یک شبکه نقطه-به-نقطه و همه منظوره از وسایل هوشمند ایجاد کرده و از واسط‌های ارتباطی مختلف نظیر کابل‌های هم‌محور، زوج سیم بهم تابیده، فیبر، خطوط برق و ارتباطات رادیویی و مادون قرمز استفاده کند. فناوری لانورک مبتنی بر طراحی سیگنال، مسیریاب‌ها، نرم‌افزار مدیریت شبکه، روی تراشه شرکت ایچلون[۱۴] می‌باشد. همچنین آلترا[۱۵] تراشه های خاصی با نام نیوز[۱۶] برای قابلیت همکاری میان سیستم‌ها طراحی و تولید نموده است. از طرف دیگر شرکت موتورولا[۱۷] سهامدار عمده شرکت ایچلون شده و موافقت نامه‌هایی با سایر سازندگان تراشه برای اعطای مجوز تولید دارد. بعلاوه شرکت توشیبا[۱۸] نیز در تولید تراشه‌ها وارد همکاری شده است.

در فناوری لانورک همه‌ی لایه‌های مدل مرجع اواس‌آی[۱۹] را طراحی شده و پروتکل ارتباطی آن که به صورت نرم‌افزاری دائمی در تراشه‌های نورون[۲۰] و فرستنده گیرنده‌های هوشمند پیاده‌سازی شده است. هر تراشه نورون سه کنترلر کوچک را در خود جای داده است که هر یک از این کنترلرها مسئول توابعی مطابق لایه‌های خاص مدل مرجع اواس‌آی است. کنترلر اول

13-LonWorks
14-Echelon
15-Altera
16-Nios
17- Motorola
18-Toshiba
19-OSI
20-Neuron

کنترل و پردازش در لایه فیزیکی را پیاده‌سازی می‌کند. کنترلر دوم مسیریابی و آدرس‌دهی شبکه (معادل لایه ۳ تا ۶) را مدیریت می‌کند. کنترلر سوم جهت اجرای سرویس‌های سیستم‌عامل و برنامه‌های کاربر استفاده می‌شود. هر گره شبکه شامل یک حسگر/ محرک، تراشه نورون با یک کد شناسایی ۴۸ بیتی یکتا بوده و همچنین یک فرستنده و گیرنده که به واسط فیزیکی متصل هستند [۱۶].

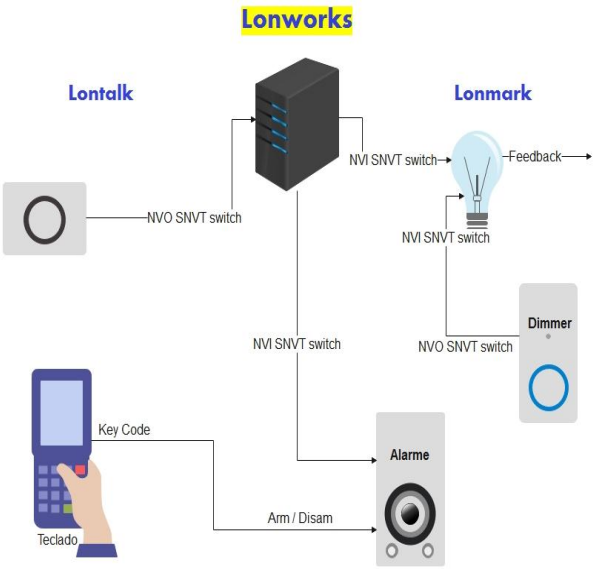
نصب شبکه کنترل لانورک بسیار ساده است زیرا از یک پروتکل استاندارد و واسط شبکه با قابلیت همکاری استفاده می‌کند. فرایند نصب شامل اتصال وسایل به یک واسط فیزیکی و توصیف وسایل و ابزارهای مرتبط به یکدیگر می‌باشد. ممکن است بسته به ابعاد شبکه و حجم ترافیک مسیریاب‌هایی برای اتصال وسایل افزوده شود. جهت تسهیل مسیریابی پیام‌ها، در پروتکل لانتاک[۲۱] آدرس‌دهی سلسله مراتبی را با استفاده از آدرس‌های دامنه، زیرسیستم و گره تعریف شده است. هر گره به طور فیزیکی به یک کانال برروی یکی بسترهای خطوط برق، فیبر نوری، ارتباط رادیویی و غیره متصل است. در شکل ۴ شبکه لانورک نمایش داده شده است.

ویژگی‌های فنی لانورک عبارتند از:

۱- درجه بالایی از قابلیت همکاری: یک گره لانورک از اجزا استاندارد لانمارک[۲۲] استفاده می‌کند که درجه بالایی قابلیت همکاری را تضمین می‌کنند.
۲- کاهش هزینه‌های نصب: در بسیاری از کاربردها، یک شبکه جدید می‌تواند برروی بستر سیم‌کشی موجود افزوده شود. البته در مقایسه با ایکس۱۰ گران‌تر است.
۳- سادگی توسعه‌ی نرم‌افزارها: از آنجا که برنامه‌ها توزیع شده هستند، وظایف نرم‌افزارها می‌توانند به قسمت‌های کوچک‌تر و برنامه‌های قابل مدیریت شکسته شوند.
۴- توسعه سریع سیستم‌های جدید: فناوری لانورک ارتباطات را مدیریت می‌کند و کافیست طراحان سیستم برروی کارکرد مناسب برنامه‌ها تمرکز کنند.
۵- آزادی عمل در انتخاب بسترهای ارتباطی: در لانورک از ارتباطات مختلف همچون سیم، رادیویی و غیره می‌توان بهره برد.

از معایب لانورک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پروتکل این فناوری باز نبوده و اختصاصی است.
۲- نیازمند سخت‌افزار خاص (تراشه نورون) است.
۳- برنامه‌های افزودنی تنها با هماهنگی با کنسرسیوم لانمارک مجاز است.
۴- استفاده از معماری ساده باعث شده که وسایل نیازمند اتصال به یک دستگاه کنترل جداگانه باشند.
۵- اکثر طراحان این نوع معماری را توصیه نمی‌کنند زیرا وقفه‌های شبکه می‌تواند باعث خرابی وسایل شود [۱۶].
۶- در سیستم‌های اتوماسیون ساختمان از فناوری لانورک بیشتر استفاده می‌شود [۱۸].



شکل (۴): شبکه لانورک [۱۷]

21-LonTalk

22-LonMarks

با توجه به موارد فوق، اختصاصی بودن سخت افزار و مسیریابی پیچیده چالش اصلی استفاده از فناوری لانورک محسوب می‌شود. جهت رفع این مسائل بهتر است نسخه جدید از این فناوری طراحی و توسعه یابد که با معماری های باز نظیر آی‌پی[۲۳] و تجهیزات مربوطه آن سازگار باشد.

در مقاله [۵۰] برای مدل‌سازی زیرلایه مک[۲۴] در لانورک از زنجیره مارکوف[۲۵] استفاده شده است. با در نظر گرفتن پارامترهای تعریف شده در استاندارد لانورک و است احتمال تصادم بسته‌ها محاسبه (p)، احتمال ارسال یک بسته در هر برش زمانی (τ) محاسبه شده است. همچنین می‌توان به سادگی نشان داد که احتمال تصادم p بر حسب τ بصورت زیر قابل محاسبه می باشد:

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \qquad (۱)$$

که در فرمول فوق n نشاندهنده تعداد گره های فعال روی شبکه لانورک می‌باشد. نهایتا با کمک دو معاله ای که برای p و τ بدست آمده این هر یک پارامترها قابل به دست خواهد آمد.

۴.۲. فناوری هوم‌پلاگ

فناوری هوم‌پلاگ به منظور توسعه ارتباطات وسایل خانگی با یکدیگر و اینترنت روی بستر خطوط برق ایجاد شد. حساسیت پایین هوم‌پلاگ به نویز الکتریکی روی خطوط برق با افزایش فرکانس حامل سیگنال ارتباطی و نرخ ارسال بالا ویژگی‌های اصلی این فناوری محسوب می‌شود.

اولین نسخه هوم‌پلاگ، با نام هوم‌پلاگ-۱٫۰[۲۶]، در سال ۲۰۰۱ منتشر شد. سپس هوم‌پلاگ-ای‌وی[۲۷] (برای داده‌های صوتی-تصویری) در سال ۲۰۰۵ ارائه شد که لایه فیزیکی آن نرخ داده‌ها را از حدود ۱۳ مگابیت بر ثانیه به ۲۰۰ مگابیت بر ثانیه افزایش داد [۱۶]. پس از آن، هوم‌پلاگ-گرین-پی‌اچ‌وای[۲۸] در سال ۲۰۱۰ عرضه شد و برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند برق به عنوان یک فناوری سازگار با هوم‌پلاگ-ای‌وی با هزینه کمتر، مصرف انرژی کمتر و کاهش توان عملیاتی را فراهم نمود. در همین سال، موسسه آی‌ای‌ای‌ی[۲۹] ۱۹۰۱ به تصویب رسید و هوم‌پلاگ-ای‌وی به عنوان پایه‌ی فناوری برای استاندارد داخلی اف‌اف‌تی-اواف‌دی‌ام پی‌اچ‌وای[۳۰] تبدیل به یک استاندارد بین المللی شد. هوم‌پلاگ کلیه محصولات استاندارد آی‌ای‌ای‌ی ۱۹۰۱ سازگار با سه نسخه هوم‌پلاگ-ای‌وی، هوم‌پلاگ-گرین-پی‌اچ‌وای، هوم‌پلاگ-ای‌وی۲ [۳۱] را شامل می‌شود [۱۹].

استاندارد هوم‌پلاگ-سی‌اندسی[۳۲] برروی مدل مرجع اواس‌آی طراحی شده است. این استاندارد به همراه هوم‌پلاگ-۱٫۰ قابلیت پهنای باند کم، هزینه کم ارتباطی با اطمینان بالا برای برنامه‌های محیط خانه هوشمند فراهم می‌کند. وسایل هوم‌پلاگ سی‌اندسی صرف‌نظر از نوع محصول، فروشنده، و برنامه با یکدیگر قابلیت همکاری دارند. پشته پروتکل هوم‌پلاگ سی‌اندسی به لایه پیوند داده متصل بوده و توابع و سرویس‌های متمم را فراهم می‌کند. برای اینکار هوم‌پلاگ سی‌اندسی مدل هفت لایه‌ای او-اس-آی را به دو لایه میزبان و واسط تقسیم می‌کند. لایه واسط شامل سه لایه اول مدل مرجع است یعنی لایه فیزیکی، لایه پیوند داده یا مک و لایه شبکه که انتقال داده‌ها، کشف و کنترل خطا و مسیریابی را به عهده دارند. لایه میزبان شامل چهار لایه بالاتر

23-IP

24-Medium Access Control

25-Markov Chain

24-HomePlug1.0

25-HomePlugAV

26- HomePlug Green PHY

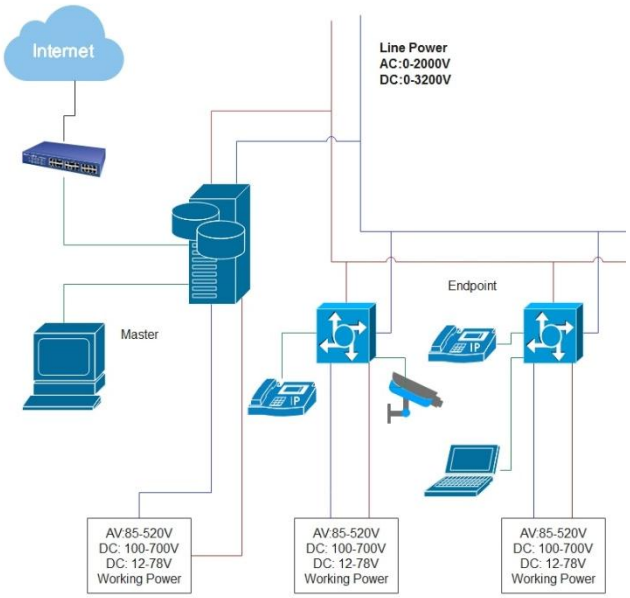
27-IEEE1901

28- FFT-OFDM PHY

29-HomePlug AV2

30- HomePlug C&C

است که زبان توصیف رایج را برای تعریف وسایل در رابطه با سرویس‌ها پشتیبانی شده، خاصیت‌ها و فعالیت‌های سرویس و قسمت‌هایی همچون اجرای پروفایل وسایل و اتصال سرویس‌های لایه‌های پایین‌تر ارائه می‌دهد. در شکل ۵ ساختار شبکه ارتباطی هوم‌پلاگ نمایش داده شده است.



شکل (۵): فناوری هوم‌پلاگ [۲۰]

برخی مزایای هوم‌پلاگ–سی‌اندسی عبارتند از:

۱- سرعت انتقال اطلاعات بالا و توانایی آدرس‌دهی ۲۵۶۰۰ وسیله روی شبکه
۲- قابلیت انتقال تصویر، دیتا و تلفن برروی یک باس
۳- قابلیت افزوده شدن به هر وسیله و برنامه در خانه هوشمند
۴- نصب راحت و ایجاد شبکه امن بدون نیاز به مهارت یا فرایند پیچیده
۵- قابلیت همکاری بین وسایل از تولیدکنندگان متفاوت با توسعه دادن پشته پروتکلی
۶- امکان آغاز ارتباطات توسط هر وسیله یا برنامه و همچنین امکان ارسال وضعیت به مبداء پیام [۱۶].
۷- برای مواردی که نیاز به ارسال داده را روی زوج سیم برای طول بالای ۱۰۰ متر باشد اترنت قابل استفاده نیست، اما از مودم‌های هوم‌پلاگ می‌توان استفاده نمود [۲۱].

معایب هوم‌پلاگ:

ضرورت اتصال به پریز برق در این فناوری بسیار محدودکننده است. همچنین نباید آداپتور هوم‌پلاگ را به تجهیز محافظ برق نظیر کاهش‌دهنده ولتاژ[۳۳] یا تهویه مطبوع[۳۴] متصل باشد، زیرا احتمالا سیگنال‌های آن از بین می‌روند. در صورتی‌که از تجهیز کامپیوتری با پورت یواس‌بی[۳۵] متصل شده باشد باید یک آداپتور هوم‌پلاگ بزرگ و جاگیر نیز استفاده شود. علاوه بر این، معمولا آداپتور پی‌سی کارت‌ها[۳۶] مجهز به هوم‌پلاگ نیست [۱۶و ۲۲].

با توجه به محدودیت‌های فوق به نظر می‌رسد استفاده از سایر بسترهای نظیر امواج رادیویی و سیم‌کشی‌های اختصاصی می‌تواند فناوری هوم‌پلاگ را تا حد زیادی بهبود دهد. البته لازم است مکانیزیم‌های مسیریابی برای وسایل خانگی که مجهز به چندین واسط ارتباطی هستند اصلاح گردد.

در مقاله [۵۱] مدل‌های موجود برای تحلیل زیرلایه مک در استاندارد هوم‌پلاگ مورد بررسی قرار گرفته و از مدل زنجیره مارکوف، رابطه‌ای مشابه (۱) برای احتمال ارسال بسته در یک برش زمانی و احتمال تصادم بسته ها استخراج شده است. همچنین با فرض اینکه نرخ تولید بسته ها در شبکه λ باشد، تابع توزیع طول صف (بافر) در هر گره تعیین شده است. همچنین میزان بروندهی هر گره با فرض داشتن بافری با طول نامتناهی، ببه صورت زیر به دست آمده است:

$$s = \rho \frac{L}{\chi} \quad (۲)$$

31-Surge Suppressor

32-Line Conditioner

33-USB

34- PC Card

که L طول بسته ها، ρ میانگین طول صف، و χ میانگین زمان مورد نیاز برای آزاد کردن یک بسته می باشد.

۵.۲. فناوری کی‌اناکس[۳۷]

فناوری کی‌اناکس یک استاندارد بر مبنای مدل لایه‌بندی اواس‌ای بوده و در واقع یک پروتکل شبکه است. کی‌اناکس جهت ایجاد همگرایی و تجمیع سه استاندارد قدیمی زیر برای خانه‌های هوشمند در اتحادیه اروپا ایجاد شده است [۱۱]:

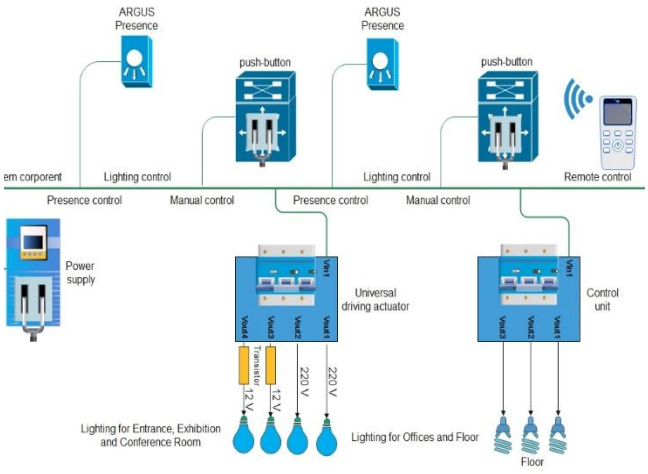
۱. (ای‌اچ‌اس[۳۸]) پروتکل سیستم خانه اروپا
۲. باس باتی[۳۹]
۳. (ای‌آی‌بی[۴۰]) نصب باس اروپایی

فناوری مورد استفاده در دستگاه‌های کی‌اناکس جدید با سیستم قدیمی ای‌آی‌بی سازگار بوده، بنابراین تمام تجهیزات پشتیبانی کننده کی‌اناکس یا ای‌آی‌بی متقابلا سازگار هستند.

کی‌اناکس فارغ از هرگونه سکوی سخت‌افزاری طراحی شده است. یک وسیله در شبکه کی‌اناکس می‌تواند توسط هر سخت‌افزاری از یک میکروکنترلر ۸ بیتی تا یک کامپیوتر شخصی کنترل شود [۲۳]. در شکل ۶ معماری کی‌اناکس نمایش داده شده است.

تجهیزات کی‌اناکس قابلیت‌های مختلفی دارند:

- قابلیت مد اتوماتیک: به صورت خودکار خودشان را برنامه‌ریزی می‌نمایند و نصب آن‌ها ساده است.
- قابلیت مد آسان: به آموزش‌های ابتدایی برای نصب نیاز دارند. رفتار آن‌ها از پیش برنامه‌ریزی شده و پارامترهای قابل برنامه‌ریزی نیز دارند که متناسب با نیاز کاربر تعریف می‌شوند.
- قابلیت مد سیستم: در ساخت سیستم‌های اتوماسیون سفارشی بکار گرفته می‌شوند. تجهیزات مد سیستم هیچ پیش‌فرض اولیه‌ای نداشته و توسط تکنسین‌های مجرب نصب و برنامه‌ریزی می‌شوند.



شکل (۶): معماری پروتکل کی‌اناکس [۲۴]

بسترهای ارتباطی زیر در کی‌اناکس قابل استفاده هستند:

- بستر زوج-سیم (تی‌پی[۴۱]): این بستر مبتنی بر در باس باتی است و بیشتر در فرانسه کاربرد دارد. اما امروزه اکثر سازندگان به تی‌پی۱ روی آورده‌اند.
- بستر زوج-سیم تی‌پی۱[۴۲]: از شرکت ای‌آی‌بی گرفته شده و بیشتر از ۹۰٪ محصولات فعلی کی‌اناکس بر این مبنا هستند. در تی‌پی۱ انتقال اطلاعات با کیفیت بالا با قیمت پایین فراهم شده است. توپولوژی تی‌پی۱ بسیار انعطاف‌پذیر بوده و شامل خطی، ستاره‌ای، درختی و یا تلفیقی از آن‌ها می‌باشد. برای ارسال اطلاعات، یک سیگنال کد شده در باند پایه با نرخ انتقال ۹۶۰۰ بیت بر ثانیه درنظر گرفته شده است. تجهیزاتی که به تی‌پی۱ متصل می‌شوند می‌توانند از طریق باس اصلی تغذیه شوند.

35-KNX

36- European Home System Protocol (EHS)

37-Bati BUS

38-European Installation BUS (EIB)

39-TP

40- TP1

- فناوری خطوط برق پی‌ال۱۱۰[۴۳]: این ساختار نیز برگرفته از ای‌ای‌بی می‌باشد. امروزه شرکت‌های محدودی پی‌ال۱۱۰ را پشتیبانی می‌کنند اما کماکان یک بازه کامل از محصولات را برای روشنایی، پرده و کرکره‌ها، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ارائه می‌نمایند. در حالت نرخ ارسال اطلاعات ۱۲۰۰ بیت بر ثانیه می‌باشد.
- فناوری خطوط برق پی‌ال۱۳۲[۴۴]: این ساختار از شرکت ای‌اچ‌اس برگرفته شده است و امروزه توسط سازندگان کمتری تولید می‌شود. نرخ ارسال اطلاعات در آن ۲۴۰۰ بیت بر ثانیه می‌باشد. عملاً در حال حاضر محصولاتی برای این استاندارد تولید نمی‌شود و احتمالاً در آینده کنار گذاشته خواهد شد.
- فناوری کی‌ان‌اکس آراف[۴۵]: در خانواده کی‌ان‌اکس یک فناوری تازه‌وارد محسوب می‌شود. پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک بسیاری از تولیدکنندگان به این استاندارد روی بیاورند. این فناوری از امواج رادیویی با فرکانس حامل ۸۶۸,۳۰ مگاهرتز و نرخ ارسال اطلاعات ۱۶۳۸۴ بیت بر ثانیه تقریباً برابر با تی‌پی۱ استفاده می‌کند [۱۱و ۲۵] .
- پروتکل اینترنتی کی‌ان‌اکس نت/آی‌پی[۴۶]: اخیراً به عنوان یکی از بسترهای کی‌ان‌اکس معرفی شده است و از آنجا که مطابق پروتکل آی‌پی طراحی شده انتظار می‌رود در آینده به یکی از مهم‌ترین بسترهای انتقال اطلاعات تبدیل شود.

ویژگی‌های فنی کی‌ان‌اکس عبارتند از:

۱- باز بودن پروتکل: امکان ارتباط با دیگر تجهیزات سیستم جامع مدیریت ساختمان وجود دارد.
۲- عمر بالای تجهیزات: در رله‌های مکانیکی تا سه میلیون بار و سایر تجهیزات الکتریکی تا یک میلیون بار عملکرد را پشتیبانی می‌کنند.
۳- امنیت بالای شبکه: از کلیدهای رمزنگاری به اندازه کافی بزرگ استفاده می‌کند.
۴- قابل کنترل با نرم‌افزار گرافیکی توسط کامپیوتر که کلیه مکان‌ها به صورت گرافیکی نمایش می‌دهد.
۵- ایمنی بالا در استفاده با بکارگیری ولتاژ ۲۹ ولت در محل کلیدهای کنترلی.
۶- نویزپذیری و نویزگذاری خیلی پایین به دلیل استفاده از کابل‌های مجزا و شیلددار
۷- هر وسیله یک ریزپردازنده دارد که باعث انعطاف‌پذیری سیستم در تغییر دادن آن‌ها می‌شود.
۸- کی‌ان‌اکس می‌تواند به شکل‌های مختلف برای کاربردهای مختلف داخل یک خانه پیاده‌سازی شود [۲۶].

محدودیت‌ها و معایب کی‌ان‌اکس شامل موارد زیر است:

۱- پروتکل کی‌ان‌اکس و تجهیزات هوشمند آن برای مشتری‌های غیرحرفه‌ای بسیار پیچیده است. برنامه نویسی تحت پروتکل کی‌ان‌اکس شبیه توسعه برنامه پایگاه داده می‌باشد و نیازمند تخصص بالا و صرف زمان زیادی است.
۲- برنامه نوشته شده هر ماژول قابل رویت برای برنامه نویس بعدی که به منزل برای خدمات مراجعه می‌کند نبوده و در صورت اصلاح یک برنامه در ماژول امکان از بین رفتن برنامه قبلی وجود دارد. لذا برای جلوگیری از بروز مشکلات در اجرای درخواست‌های مصرف کننده هر نوع برنامه ریزی ماژول‌ها باید در آرشیو شرکت فروشنده بایگانی شود و برنامه نویس در زمان مراجعه برای ارائه خدمات فایل برنامه را به همراه داشته باشد [۱۴و۲۳].

با توجه به نکات گفته شده، کی‌ان‌اکس از نظر ارتباطات فناوری جامع و انعطاف‌پذیری محسوب می‌شود. اما بخش نرم‌افزاری این فناوری نیاز به اصلاحات اساسی جهت تسهیل برنامه‌ریزی و عیب‌یابی وسایل مختلف دارد.

۶.۲. فناوری سی-باس[۴۷]

41- PL110

42-PL132

43- KNXRF

44-Internet Protocol KNX net/IP

45-C-BUS

فناوری سی-باس یک پروتکل ارتباطی براساس مدل هفت لایه‌ای اواس‌آی است و در آمریکا سی-باس تحت نام دی-اسکور[۴۸] شناخته می‌شود. سی-باس در سیستم‌های هوشمند خانگی و سیستم‌های کنترل روشنایی ساختمان‌های تجاری استفاده می‌شود. سی-باس از یک کابل ولتاژ پایین اختصاصی و یا شبکه بی‌سیم برای ارسال پیام‌های کنترلی استفاده می‌کند و امکان انتقال داده بین این دو بستر وجود دارد. این امر قابلیت اطمینان ارتباطات را بالا برده و آن را نسبت به سایر فناوری‌ها نظیر ایکس۱۰ برای ساختارهای بزرگ کاربردی‌تر می‌کند.

سیستم کابلی سی-باس از کابل‌های استاندارد یوتی‌پی کت-۵ [۴۹] استفاده می‌کند و نیازی به قطع کننده جریان در پایان خط ندارد. شرکت کلیپسال[۵۰] نوع خاصی از کابل‌ها کت-۵ را برای استفاده در پنل‌های توزیع برق تولید می‌کند که روکش صورتی رنگ خارجی دارد و برای اطمینان از جداسازی الکتریکی کافی بین ولتاژ اصلی برق موجود در پنل‌های توزیع و سیگنال‌های ضعیف سی-باس ساخته شده است. در خارج از پنل‌های توزیع می‌توان از کابل‌های استاندارد دسته‌ی یوتی‌پی کت۵ استفاده کرد. سیم‌کشی شبکه سی-باس از یک طرح معماری باز استفاده می‌کند. حداکثر طول کابل می‌تواند ۱۰۰۰ متر باشد و با استفاده از تجهیز پل[۵۱] می‌توان طول را افزایش داد.

حداکثر ۲۲۵ شبکه‌ی سی-باس در یک تأسیسات می‌تواند وجود داشته باشد. البته اگر از فناوری اترنت سی-باس استفاده شود، این محدودیت رفع می‌شود. بیش‌ترین تعداد شبکه‌هایی که به طور سری به شبکه محلی، توسط پل‌ها متصل هستند می‌تواند ۷ تا باشد. هر بخش از شبکه سی-باس برای به راه افتادن نیاز به جریان الکتریکی ۱۸ میلی‌آمپر و ولتاژ ۱۵-۳۶ ولت دارد، در حالی که برخی از بخش‌های سی-باس ممکن است تا ۴۰ میلی‌آمپر مصرف کنند. البته می‌توان روی شبکه سی-باس بیش از یک منبع تغذیه قرار داد. به علاوه، هر شبکه سی-باس نیازمند حداقل یک مولد کلاک برای هماهنگ‌سازی گره‌ها می‌باشد. در شکل ۷ سیستم سی-باس نمایش داده شده است.

ویژگی‌های فنی سی-باس عبارتند از:

۱- سرعت انتقال اطلاعات بسیار بالاست (۲۰۰مگابیت بر ثانیه)
۲- عمر تجهیزات ۳۰۰۰۰۰ بار است (البته عمر مفیدشان ۱۰ برابر کمتر از کی‌ان‌اکس است) [۸].

محدودیت‌ها و معایب سی-باس:

۱- هزینه اجرای پروژه بالاست.
۲- تنها یک شرکت سازنده دارد (وابستگی مصرف کننده به یک شرکت و محصولات آن) و انتخاب چندانی برای مشتریان وجود ندارد.

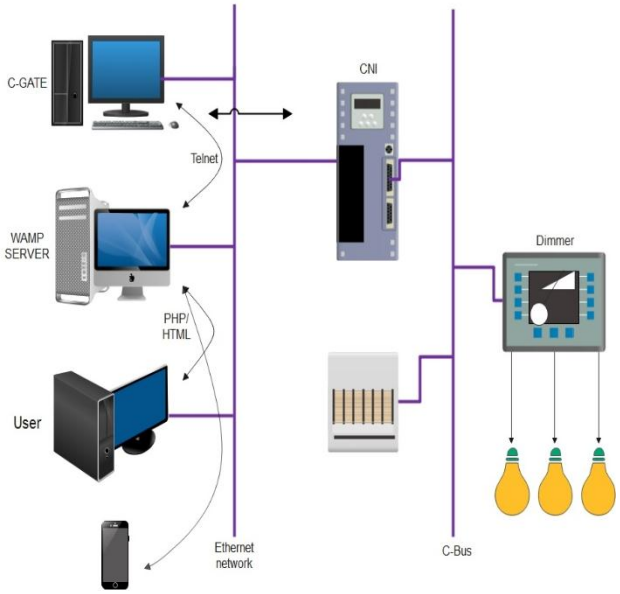
با توجه به نکات بحث شده، چالش اصلی فناوری سی-باس عدم سازگاری آن با سایر فناوری‌های ارتباطی خانه‌های هوشمند است. لذا جهت توسعه این فناوری لازم است که تجهیزات درگاهی خاصی جهت برقراری ارتباط میان شبکه‌های سی-باس و سایر شبکه‌های نظیر ایکس۱۰، کی‌ان‌اکس، لانورک، و هوم‌پلاگ طراحی و ساخته شود. همچنین ساخت واسط ارتباطی جدید جهت بهره‌گیری از خطوط برق برای انتقال اطلاعات در مواردی که وسایل نیاز به نرخ ارسال اطلاعات بالا ندارند، می‌تواند این فناوری را کاربردی‌تر سازد.

46- D-Square

47- Cat-5 UTP

48- Clipsal

49- Bridge



شکل (۷): سیستم سی-باس [۲۷]

۳. فناوری‌های بی‌سیم

در این بخش به فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم در خانه‌های هوشمند می‌پردازیم.

۱.۳. فناوری بلوتوث

فناوری بلوتوث یک ارتباط کم هزینه بی‌سیم برای وسایل قابل حمل با حداکثر نرخ ارسال داده‌ی حدود ۱مگابیت بر ثانیه در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر فراهم می‌کند. ساختار سخت‌افزاری بلوتوث همانند دیگر سیستم‌های بی‌سیم، شامل بخش‌های ارتباطات رادیویی، پردازش پروتکل، و یک ریزپردازنده با حافظه‌ی روم یا حافظه‌ی فلش برای نگهداری اطلاعات است [۲۸و۲۹]. در فناوری بلوتوث ارتباطات پایه مبتنی بر پیکونت[۵۲] است که از یک گره کارگزار[۵۳] و حداکثر هفت گره پیرو[۵۴] فعال تشکیل شده است. در یک خانه ممکن است چند پیکونت باشد که از طریق گروه‌هایی که نقش پل را ایفا می‌کنند به هم متصل شوند (شکل ۸). به مجموعه‌ای از پیکونت‌های متصل به هم اسکترنت[۵۵] گفته می‌شود.

در یک پیکونت علاوه بر ۷ گره فعال پیرو، ممکن است تا ۲۵۵ گره غیرفعال وجود داشته باشد. این گره‌ها وسایلی هستند که گروه اصلی آن‌ها را در حالت استراحت و کم توان قرار گرفته تا مصرف باطری آن کاهش یابد. یک ایستگاه در حالت غیرفعال هیچ کاری انجام نمی‌دهد و فقط به سیگنال فعال‌سازی خود یا سیگنال بیکون[۵۶] که از گروه کارگزار می‌رسد، پاسخ می‌دهد. گره‌های پیرو (مثل صفحه کلیدها، موس، چابگر) تقریباً غیرهوشمند و ساده هستند و اساسا آنچه را که گره کارگزار به آن‌ها دستور بدهد اجرا می‌کنند. زمانبندی ارسال‌ها در پیکونت مبتنی بر تی‌دی‌ام[۵۷] است که در آن گروه کارگزار بر سیگنال ساعت نظارت دارد و تعیین می‌کند که چه دستگاه‌های و در کدام برش زمانی مخابره داشته باشد. تبادل اطلاعات صرفاً بین گره کارگزار و گروه‌های پیرو انجام می‌شود و ارتباط مستقیم دو گره پیرو ممکن نیست [۲۸] .

بلوتوث از باند رادیویی آی‌اس‌ام[۵۸] ۲,۴ گیگاهرتز برای ارتباطات خود استفاده می‌کند و بر پایه خصوصیات زیر بنا شده است:

۱- محدوده اسمی مورد نیاز ۱۰ متر قدرت سیگنال آن صفر دسی‌بل‌میلی‌وات[۵۹] تنظیم است. البته امکان تقویت شدن به وسیله تقویت کننده منبع خارجی را تا ۱۰۰ متر با قدرت مثبت ۲۰ دسی‌بل‌میلی‌وات را دارد.

50- Piconet

51- Master

52 -Active Slave Node

53- Scatternet

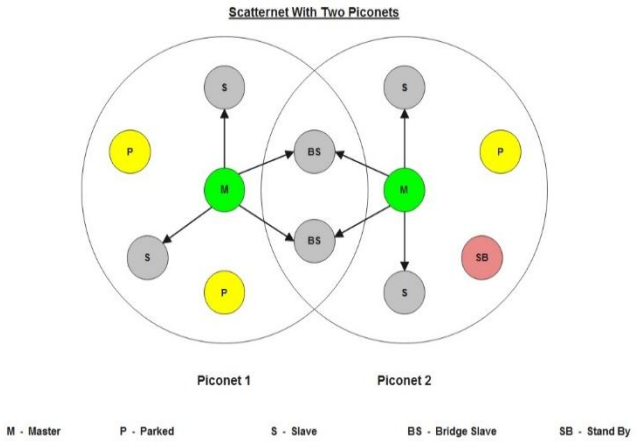
54- Beacon

55-TDM

56-ISM

57-dBm

۲- استفاده از فناوری طیف گسترده اف‌اچ‌اس‌اس که سیگنال آن ۱۶۰۰ بار در ثانیه فرکانس حامل جلوگیری از تداخل ناخواسته تغییر می‌دهد.
۳- پشتیبانی از یواس‌بی، یوای‌آرتی[۶۰]، و واسطهای معمولی صوت دیجیتال پی‌سی‌ام[۶۱]
۴- حداکثر نرخ انتقال داده (ناهمزمان) ۷۳۲ کیلوبیت بر ثانیه یا ارسال صوت دو طرفه (همزمان) ۴۲۳ کیلوبیت بر ثانیه روی یک ارتباط واحد می‌باشد.
۵- دستگاه‌های مجهز به تراشه‌های بلوتوث بطور خودکار یکدیگر را تشخیص داده و ارتباط برقرار می‌کنند.
۶- فناوری بلوتوث انرژی کمی برای برقراری ارتباط نیاز دارد. هر سیگنال که گوشی تلفن همراه ارسالی دریافت می‌کند فقط ۱ میلی‌وات از باتری آن را مصرف می‌کند.



شکل (۸) : معماری شبکه فناوری بلوتوث [۳۰]

در مقاله [۵۲] لایه فیزیکی و زیرلایه مک فناوری بلوتوث بررسی و تحلیل شده است. میزان بروندهی شبکه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$s = \frac{L}{connInterval} \qquad (۳)$$

که L طول بسته (تعداد بیت‌ها) و $connInterval$ فاصله زمانی بین دو رویداد متوالی می باشد که ضریبی از ۱,۲۵ میلی ثانیه است که حداقل آان ۷,۵ میلی ثانیه و حداکثر آن ۴ ثانیه است.

مسائل تعیین آدرس و رمزگذاری در لایه فیزیکی بلوتوث انجام می‌شود. برای این منظور بلوتوث یک مکانیزم چالش-پاسخ و یک کلید رمزنگاری که با یک شماره شناسایی شخصی (پین[۶۲]) که کاربر ایجاد کرده را استفاده می‌کند و کاربر را قادر می‌سازد که یک ارتباط را برقرار نماید و همچنین امکان تولید دنباله‌ای از کلیدهای رمزنگاری برای انتقال داده‌های بعدی را داشته باشد.

همانند هر سیستم رمزنگاری دیگری در این بلوتوث کلیدهای طولانی از کلیدهای کوتاه امن‌تر هستند. اگر هکری بتواند کلید عبور را کشف کند می‌تواند کلیدهای آغازین را محاسبه کند. در واقع استفاده از کلید آغازین جایگزین لینک‌های رمزنگاری یک نقطه ضعف اساسی در این فناوری محسوب می‌شود. لذا بهتر است که ارتباطات اولیه هر دو دستگاه بلوتوث در محل امنی صورت بگیرد. چرا که مهاجم می‌تواند داده‌های انتقالی که بر روی یک دستگاه بلوتوث فرستاده می‌شود را ضبط کرده و از آن برای دست یافتن به پین استفاده نماید. همچنین استفاده از یک کلید عبوری ثابت و کوتاه در تمام مواقع نیز می‌تواند امنیت یک ارتباط بلوتوث را به خطر بیندازد. بهترین حالت امنیتی این است که از کلیدهای پیچیده ترکیبی استفاده شود [۸و۱۶و۳۱ و۳۲].

با توجه به نکات فوق، امنیت یک چالش اصلی برای فناوری بلوتوث می‌باشد. بدلیل تنوع زیاد وسایلی که با این فناوری کار می‌کنند، جهت رفع این مشکل می‌بایست از مکانیزیم‌های امنیتی تکمیلی نظیر رمزنگاری انتها-به-انتها در لایه کاربرد تجهیزات بهره برد. ساختار کوچک پیکونت و محدودیت نرخ ارسال اطلاعات از ایرادات بنیادین بلوتوث برای استفاده در خانه‌های

58-UART

59-PCM

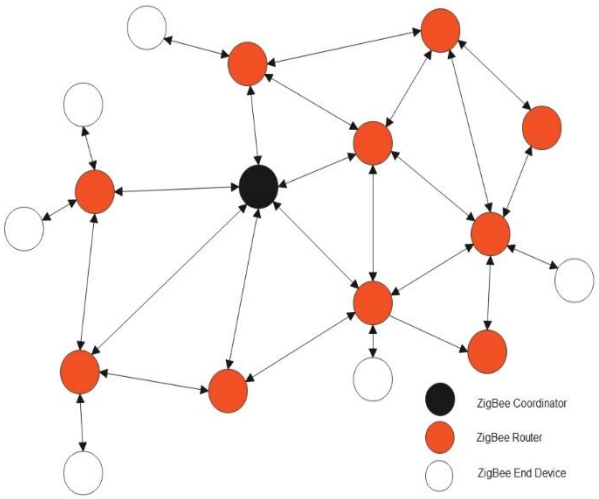
60-PIN

هوشمند محسوب می‌شوند. لذا بهتر است یکی دیگر از فناوری‌های ارتباطی به عنوان زیرساخت ارتباطات در خانه هوشمند استفاده شود و از بلوتوث فقط برای ارتباط وسایل با زیرساخت استفاده گردد.

۲.۳. فناوری زیگ‌بی

فناوری زیگ‌بی جهت ارتباطات شبکه‌ای بی‌سیم برد کوتاه با هزینه کم توسعه یافته است. این فناوری از فرستنده و گیرنده‌های دیجیتال کم مصرف برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم با نرخ ارسال داده پایین استفاده می‌کنند. زیگ‌بی به منظور تعریف یک فناوری ساده‌تر و ارزان‌تر و انعطاف‌پذیرتر از بلوتوث به وجود آمده است. با زیگ‌بی می‌توان بیش از ۶۴۰۰۰ وسیله را در یک شبکه به هم متصل نمود. این استاندارد به دلیل فقدان فناوری‌هایی با نرخ ارسال کم و سیکل اتصال پایین نظیر ارتباطات خانه هوشمند ایجاد شده است. همچنین فناوری زیگ‌بی برای محیط کنترل متمرکز که تعداد زیادی وسیله یا حسگرهایی مبتنی بر باتری بوده و حجم داده کمی را رد و بدل می‌کنند مناسب است [۱۴و ۳۳] .

در زیگ‌بی سه نوع گره در شبکه تعریف می‌شود: ۱) گره هماهنگ‌کننده که بر آرایش و امنیت شبکه نظارت می‌کنند، ۲) گره‌های با قابلیت کارکرد کامل که به صورت مسیریاب‌های معمولی استفاده می‌شوند که برای پشتیبانی از توپولوژی‌های مختلف استفاده می‌شود، و ۳) گره‌های با قابلیت کارکرد کم که در گوشه‌های شبکه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و عملکردهای حسی یا کنترلی خاص دارند. با این سه نوع وسیله، زیگ‌بی می‌تواند از طیفی از طرح‌های شبکه شامل ستاره و درخت خوشه و مش[۶۳] پشتیبانی کنند. ساختار شبکه زیگ‌بی در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل (۹): شبکه زیگ‌بی [۳۴]

ویژگی‌های فنی زیگ‌بی عبارتند از:

۱- کار در محدوده فرکانس ۲,۴ گیگاهرتز با سرعت انتقال ۲۵۰ کیلوبیت بر ثانیه. به علاوه ممکن است از بازه فرکانسی ۹۱۵ مگاهرتز در آمریکا با سرعت ۴۰ کیلوبیت بر ثانیه و ۸۶۸ مگاهرتز در اروپا با سرعت ۲۰ کیلو بیت بر ثانیه استفاده شود.
۲- برد ۱۰ تا ۱۰۰ متر با توجه به قدرت فرستنده و ویژگی‌های محیط
۳- مصرف توان کم، نرخ ارسال پایین، امنیت و قابلیت اطمینان بالا
۴- امکان پشتیبانی از بیش از ۶۵۶۳۵ وسیله در هر شبکه
۵- انعطاف در شبکه‌بندی با توپولوژی‌های چندگانه نظیر مش
۶- قابلیت تعریف به عنوان دستگاه انتهایی و حالت خواب برای کاهش مصرف انرژی
۷- تعریف پروفایل‌های مختلف برای برقراری ارتباط بین دستگاه‌ها به صورت بهینه [۲۹ و ۳۵].

61-Mesh

برخی از معایب عمده فناوری زیگ‌بی عبارتند از:

۱- راه‌اندازی شبکه زیگ‌بی به دستگاه‌های اضافی نیاز دارد که هزینه را افزایش می‌دهد.
۲- لوازم خانگی که فناوری زیگ‌بی را اجرا می‌کنند با سایر فناوری‌های شبکه نظیر وای‌فای سازگار هستند و اصولا نیازی به این فناوری در خانه‌های هوشمند نیست.
۳- فناوری زیگ‌بی دارای نرخ انتقال داده کم است و پشتیبانی از پروتکل آی‌پی را ندارد [۸و۳۳و۳۶] .

با توجه به موارد ویژگی‌های فنی زیگ‌بی، می‌توان گفت در طراحی این فناوری بی‌سیم بلوغ کافی وجود داشته است و نکات مهمی نظیر مقیاس‌پذیری، مصرف انرژی و امنیت در آن کاملا لحاظ شده است. تنها چالش مهم این فناوری سرعت انتقال اطلاعات در آن است که در طراحی و ساخت درگاه ارتباطی میان زیگ‌بی و سایر پروتکل‌های ارتباطی خانه‌های هوشمند این مشکل را برطرف نمود. زیرا می‌توان آن بخش از ارتباطات خانه هوشمند که نیازمند سرعت بالاست را با استفاده از یک فناوری دیگر پیاده‌سازی نمود.

در مقاله [۵۳] عملکرد زیرلایه مک فناوری زیگ‌بی بررسی شده و مشابه کارهای تحلیلی اشاره شده در فناوری‌های قبل، از زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تصادم استفاده شده است. میزان بروندهی شبکه از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$s = \frac{E[successful\ data\ tranmission]}{E[time\ interval]} \quad (۴)$$

به علاوه، مقاله با مدل‌سازی مصرف انرژی برای ارسال و دریافت بسته‌های داده و بسته‌های تصدیق، فرمولی برای میانگین مصرف انرژی گره ها ارائه کرده است.

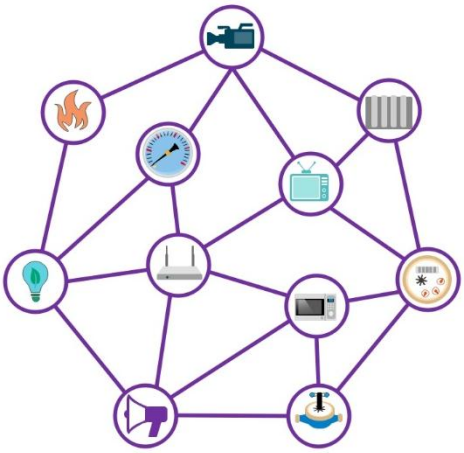
در مقاله [۵۷] یک روش خوشه-بندی برای کاهش انرژی در شبکه مبتنی بر فناوری زیگ‌بی ارائه شده است.

۳.۳. فناوری زد-ویو

زد-ویو یک فناوری ارتباطی بی‌سیم برای کاربردهایی مانند اتوماسیون خانگی و شبکه‌های حسگر می‌باشد که توسط شرکت‌های زنیس[۶۴] و زد-ویو ارائه شده است. این فناوری برای توان و پهنای باندهای کم طراحی شده است.

زد-ویو یک شبکه با کیفیت بالا و قیمتی که معادل کسری از قیمت فناوری‌های مشابه آن می‌باشد در اختیار کاربران می‌گذارد. این امر با تمرکز بر روی استفاده از پهنای باند کم و جایگزینی سخت‌افزارهای گران قیمت با روش‌های نرم‌افزاری امکان پذیر شده است. این فناوری مبتنی بر یک پشته پروتکلی کوچک که به منظور قابلیت اطمینان بالا دارد [۲۸و۳۷و۳۸]. فناوری شبکه مش برای زد-ویو می‌تواند دستورات را به صورت دو طرفه از یک وسیله به وسیله دیگری منتقل نماید حتی در شرایطی که موانع و یا نقاط کور رادیویی در محل موجود باشد. فناوری زد-ویو به صورت تراشه‌هایی در دسترس است و پروتکل آن درون تراشه جاسازی قرار داده شده است. همچنین در آن یک حافظه فلش جهت استفاده تولیدکنندگان محصولات به منظور بارگذاری نرم‌افزارهایشان تعبیه شده است و برخی از اطلاعات سخت‌افزار آن در اختیار عموم قرار داده شده است. به دلیل این که زد-ویو روی فرکانس مخصوصی کار می‌کند با هیچ یک از دیگر وسایل بی‌سیم مثل تلفن‌ها، و مودم‌ها و غیره تداخل فرکانسی ندارد. توپولوژی مش شبکه زد-ویو پوششی به مراتب بیش از یک خانه را فراهم می‌کند. البته از آنجا که تجهیزات زد-ویو جهت ارسال سیگنال نباید در حالت خواب باشند، اکثر دستگاه‌هایی که با باتری کار می‌کنند به عنوان تکرارکننده استفاده نمی‌شوند. یک شبکه می‌تواند شامل ۱۳۲ گره باشد که این تعداد با ایجاد پل میان شبکه‌ها قابل افزایش خواهد بود [۳۹و۴۰] . در شکل ۱۰ ساختار شبکه مش زد-ویو نمایش داده شده است.

62-Zensys



شکل (۱۰): ارتباطات زد-ویو [۴۱]

ویژگی‌های فنی زد-ویو عبارتند از:

۱- سادگی نصب و آدرس‌دهی اتوماتیک برای مدیریت شبکه
۲- هزینه‌ی کم بدلیل تجمیع سیستم بر روی یک تراشه
۳- مصرف برق بسیار پایین با کمک پشته پروتکلی کوچک و ساختار فریم فشرده شده
۴- ابعاد بسیار کوچک سخت‌افزار که آن را برای مجتمع شدن با دیگر وسایل مناسب می‌کند
۵- عملکرد خوب در جلوگیری از تداخل و نویزها با پشتیبانی از دو روش تایید، الگوریتم عقب‌گرد و پرهیز از تصادم
۶- نرخ ارسال اطلاعات مناسب (۴۰ کیلو بیت بر ثانیه).
۷- استفاده از باند فرکانسی اختصاصی ۸۶۸ مگاهرتز

البته در زد-ویو مکانیزم‌های امنیتی مناسبی پیاده‌سازی نشده است [۸و۱۶و۴۲]. لذا جهت توسعه این فناوری بی‌سیم می‌بایست روی طراحی پروتکل‌های امنیتی برای آن در اولویت قرار داده شود. نرخ ارسال اطلاعات در زد-ویو کم است و برای برخی کاربردهای انتقال اطلاعات صوت و تصویر مناسب نیست. همچنین برای سازگاری و قابلیت همکاری زد-ویو با سایر فناوری‌های ارتباطی خانه‌های هوشمند تاکنون کاری انجام نشده است. لذا بهتر است درگاه‌های ارتباطی میان زد-ویو و سایر فناوری‌ها طراحی و تولید شود تا بخشی از ارتباطات در خانه‌های هوشمند که نیازمند سرعت بالاتر هستند از سایر فناوری‌های ارتباطی بهره ببرند.

۴.۳. فناوری انوشن[۶۵]

فناوری انوشن در سال‌های اخیر توسط شرکتی با همین نام معرفی شده است. این فناوری ارتباط بی‌سیم مبتنی بر برداشت انرژی است. بوردهای الکترونیکی انوشن توان مصرفی بسیار ناچیزی دارند و قادرند از طریق نور یا دمایی که از محیط جذب می‌کنند توان مورد نیاز جهت برقراری ارتباطات رادیویی را تامین کنند. برد رادیویی گره‌های انوشن در فضای باز به ۳۰۰ متر و در داخل ساختمان به ۳۰ متر می‌رسد و بسته‌های داده در آن با طول ۱۴ بایت و با نرخ ۱۲۵ کیلوبیت بر ثانیه ارسال می‌شود [۴۳].

کاربرد اصلی این فناوری در خانه هوشمند برای مواردی‌ست که نخواهیم توان گره‌ها را از طریق برق یا باتری تامین کنیم. برای مثال می‌توان از این فناوری در سنسورهای نشت گاز، دما، رطوبت، روشنایی، و غیره استفاده نمود. توجه داشته باشید که این فناوری در خانه هوشمند به عنوان یک فناوری ارتباطی مستقل استفاده نمی‌شود، بلکه برای برقراری برخی از ارتباطات نظیر جمع‌آوری داده‌های سنسورها کاربرد دارد. برای مثال در شکل ۱۱ ساختار شبکه ارتباطی انوشن در یک ساختمان هوشمند در کنار فناوری بک-نت نمایش داده شده است.

مزیت اصلی این فناوری نسبت به سایر فناوری‌ها، عدم نیاز گره‌های آن به باتری و برق جهت تامین انرژی است. لذا گره‌ها می‌توانند در هر گوشه از دیوار یا سقف اتاق‌ها نصب شوند.

ایراد اصلی این فناوری محدودیت‌های آن در قدرت پردازش گره‌ها، میانگین نرخ ارسال داده و امکان ایجاد ساختارهای شبکه‌ای بزرگ می‌باشد. لذا این فناوری نمی‌تواند به عنوان یک

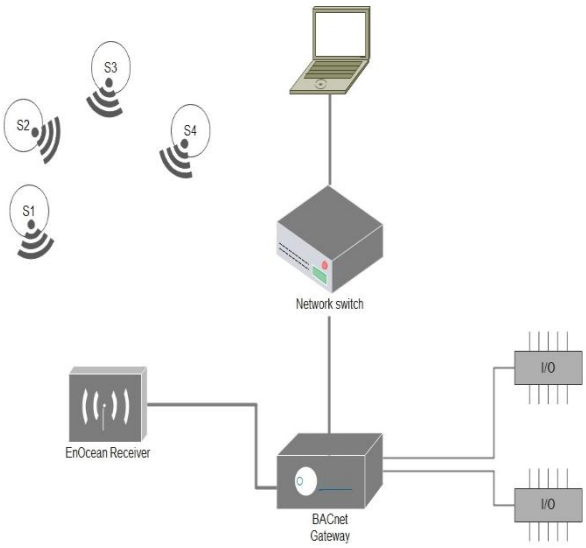
63-EnOcean

فناوری مستقل در خانه‌های هوشمند با امکانات متنوع استفاده شود [۴۳].

در مقاله [۵۴] از قضایای تئوری صف و مدل مارکوف مخفی برای مدلسازی زیرلایه مک استفاده شده است و فرمول احتمال تصادم بسته‌ها بدست آورده و فرمولی برای برندهی برای یک نرخ سرویس معین ارائه کرده است.

$$s = \sum_{d} \sum_{m} p_s(m) \lambda_m r_d \frac{1}{\mu} \quad (۵)$$

که m نشان‌دهنده کلاس داده، d نشان‌دهنده نوع وسیله، λ_m نرخ تولید بسته‌ها، $p_s(m)$ احتمال موفقیت در ارسال بسته، r_d طول پنجره عقب‌نشینی پس از تصادم، و μ نرخ سرویس‌دهی صف در ارسال بسته ها می باشد.



شکل (۱۱): مثالی از استفاده از فناوری انوشن در کنار شبکه بک-نت [۴۴]

۴. مقایسه فناوری‌های ارتباطی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به فناوری‌های ارتباطی متداول در خانه‌های هوشمند پرداخته شد. این فناوری‌ها از جهات مختلفی نظیر بستر مخابراتی (سیم‌کشی اختصاصی، سیم‌کشی برق، بی‌سیم)، تنوع در پشتیبانی تجهیزات، ساختار شبکه، مقیاس-پذیری شبکه، امنیت و سازگاری با سایر فناوری‌های مرتبط مورد بررسی قرار داده شدند. همچنین در مورد محدودیت‌های موجود و چالش‌های پیش‌رو برای توسعه هر فناوری بحث شد. بررسی‌های ما نشان می‌دهد در میان فناوری‌های مبتنی بر خطوط برق ساختمان، ایکس۱۰ به لحاظ ساگی، پشتیبانی از تجهیزات متنوع خانگی و سازگار با سایر فناوری‌ها از مزیت نسبی برخوردار است. در میان فناوری‌های با سیم‌کشی‌های اختصاصی، کی‌ان‌اکس کیفیت ارتباطات و امنیت بهتری را فراهم می‌کند. در میان فناوری بی‌سیم خانه‌های هوشمند، فناوری زیگ‌بی از نظر مقیاس-پذیری شبکه و امنیت مناسب‌تر است، ولی قابلیت همکاری پایینی با سایر فناوری های ارتباطی دارد. در اینجا ذکر این نکته لازم است که طبق بررسی‌ها، تمامی فناوری‌های ارتباطی متداول در خانه‌های هوشمند دارای مزایا و ویژگی‌ها و همچنین محدودیت‌های خاصی هستند، لذا می‌بایست طراحان سیستم‌ها براساس نیازمندی‌ها و شرایط موجود در ساختمان فناوری مناسب را انتخاب نمایند. در جدول ۱ این فناوری‌های مورد بحث در این مقاله و استاندارد هر یک عنوان شده است و در ادامه به طور مختصر این فناوری‌ها از جنبه‌های کاربردی نظیر نوع کاربرد، سازگاری با سایر فناوری‌ها، هزینه، سادگی در پیاده‌سازی، بستر ارتباطی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. توجه داشته باشید که معیار هزینه و سادگی در پیاده‌سازی بصورت نسبی برای نصب امکانات معمول در خانه‌های هوشمند ارائه شده است. ممکن است این معیارهای نسبی در برخی شرایط خانه‌های هوشمند اندکی متفاوت باشد.

جدول (۱): مقایسه فناوری های ارتباطی در اتوماسیون های خانگی و صنعتی

نام فناوری	استاندارد	نوع کاربری	سازگاری با سایر فناوری ها	هزینه	سادگی در پیاده‌سازی	بستر ارتباطی	چالش‌ها
KNX	ISO/IEC14543	اتوماسیون ساختمانی	دارد	بالا	پیچیده	سیمی PLC و بی‌سیم (غیر متداول)	نقص در نرم افزار مدیریت تجهیزات
X10	X10 Standard	اتوماسیون خانگی	دارد	پایین	ساده	سیمی	عدم اطمینان از انتقال پیام و کنترل محدود ارسال
LonWorks	ISO-14908	اتوماسیون خانگی و صنعتی	دارد	متوسط	متوسط	سیمی PLC و بی‌سیم (غیر متداول)	اختصاصی بودن سخت‌افزار و پروتکل
ZigBee	IEEE802.15.4	اتوماسیون خانگی و صنعتی	دارد	پایین	ساده	بی‌سیم	پایین بودن نرخ ارسال داده
Z-Wave	IEEE802.11	اتوماسیون خانگی	دارد	پایین	ساده	بی‌سیم	پایین بودن نرخ ارسال داده
INSTEON	X10 Standard	اتوماسیون خانگی	دارد	پایین	ساده	سیمی، بی‌سیم	پایین بودن نرخ ارسال داده و تکرار بی رویه پیام ها
HomePlug	IEEE1901	اتوماسیون خانگی	دارد	پایین	ساده	سیمی	نیاز هر سخت افزار خاص برای هر اتصال به برق
C-BUS	ISO/IEC 11801	اتوماسیون خانگی و ساختمانی	ندارد	پایین	متوسط	سیمی، بی‌سیم	انحصاری بودن تجهیزات و عدم سازگاری با سایر فناوری ها
Bluetooth	IEEE802.15.1	اتوماسیون خانگی	دارد	پایین	متوسط	بی‌سیم	محدودیت در ساختار شبکه و امنیت
EnOcean	ISO/IEC14543 -3-10	اتوماسیون خانگی	ندارد	پایین	ساده	بی‌سیم	محدودیت در ابعاد شبکه و عدم سازگاری با سایر فناورهای

نشده در مجله محاسبات نرم

مراجع

[1] Al-sumaiti, A.S., Ahmed, M.H., Salama, M.M., *"Smart home activities: A literature review. Electr. Power Compon. Syst"*, Vol. 42, pp. 294–305, 2014.

[2] Graditi, G., Ippolito, M.G., Lamedica, R., Piccolo, A., Ruvio, A., Santini, E., Siano, P., Izzo, G., *"Innovative control logics for a rational utilization of electric loads and air-conditioning systems in a residential building"*, Journal of Energy Build, Vol. 102, pp. 1–17, 2015.

[3] "Best Home Automation System-Consumer Reports", *www.consumerreports.org*. Retrieved 2016-02-14.

[4] Darby, S.J., *"Smart technology in the home: time for more clarity"*, Build. Res. Inf. 46 (1), PP.140–147, 2018.

[5] Rahimi, M., Songhorabadi, M., Kashani, M.H., *"Fog-based smart homes: A systematic review"*, Journal of Network and Computer Applications, PP.1-42, 2020.

[6] Yassein, M.B., Hmeidi, I., Shatnawi, F., Mardini, W., Khamayseh, Y., *"Smart Is Not Smart Enough to Protect You- Protocols, Challenges and Open Issues"*, The 10th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks, Journal of Procedia Computer Science, No.160, pp. 134–141, 2019.

[7] Kumar, P., Braeken, A., Gurtov, A., Iinatti, J., Phuong Hoai Ha., *"Anonymous secure framework in connected smart home environments"*, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 12(4), PP. 968–979, 2017.

[8] Mocrii, D., Chen, Y., Musilek, P., *"IoT-based smart homes: A review of system architecture, software, communications, privacy and security"*, Journal of Internet of Things, No. 1–2, pp 81–98, 2018.

[9] http://aryapardaz.com/?page=NewsDetails&newsId=727.

[10] Kailas, A., Valentina, C. and Mukherjee, A., *"Chapter 2-A Survey of Contemporary Technologies for Smart Home Energy Management. In Handbook of Green Information and Communication Systems"*, Eds., Academic Press, pp. 35–56, 2013.

[11] Mendes, T.D.P., Godina, R., Rodrigues, E.M.G., Matias, J.C.O and Catalao, J.P.S., *"Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources"*, Journal of energies, Vol.8, pp.7279-7311, 2015.

[12] Shailendra, E., Bhatia, P.K., *"Analyzing home automation and networking technologies"*, IEEE POTENTIALS, PP. 27-33, 2018.

[13] INSTEON-Trademark Details. www.justia.com Retrieved October 12, 2015.

[14] Poulakis, M., Vassaki, S., Pitsiladis, G., Kourogiorgas, C., Panagopoulos, A., Gardikis, G., Costicoglou, S., *"Wireless sensor network management using satellite communication technologies, in: Emerging Communication Technologies Based on Wireless Sensor Networks"*, CRC Press, 2016, pp. 201–232.

[15] http://sayansmart.blog.ir/by_author/D1vkdSDkAwA.

[16] Heartpeld, R., Loukas, G., Budimir, S., Bezemskij, A., Fontaine, J.R.J., Filippoupolitis, A., Roesch, E.,*"A taxonomy of cyber- physical threats and impact in the smart home"*, Journal of Computers & Security, PP.1-34, 2018.

[17] http://slideplayer.com.br/slide/290476.

[18] Lohia, K., Jain, Y., Patel, C., Doshi, N., *"Open Communication Protocols for Building Automation Systems"*, The 3rd International workshop on Recent advances on Internet of Things: Technology and Application Approaches (IOT-T&A), 2019.

[19] Yonge, L., Abad, J., Afkhamie, K., Guerrieri, L., Katar, S., Lioe, H., Pagani, P., Riva, R., Schneider, D. M., Schwager, A., chapter 14, *"HomePlug AV2: Next-generation Broadband over Power Line"*, CRC Press, pp. 391–426, 2014.

[20] http://www.world-infoteh.ir/post-107.aspx.

[21] Merkulov, A.G., Shuvalov, V.P., *"The Perspectives and Practice of PLC HomePlug AV Modems Application in the Network Devices and Industrial Tools"*, 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference, 2019.

[22] Dudek. S., "HomePlugAV PLC: practical attacks and backdooring, dooring", 2015. URL http://www.synacktiv.com/ressources.

[23] Vanus, J., Belesova, J., Martinek, R., Bilik, P., Zidek, J., Koval, L., *"Development of Software Tool for Operational and Technical Functions Control in Smart Home with KNX technology"*, Journal of IFAC-Papers online, No. 49-25, PP.431–436, 2016.

[24] Warning to U.S. Home Automation Industry: Step Away from the KNX, CEDIA 2015: KNX to Push Dominant European Home Automation Standard in the U.S, www.SchneiderElectric.com.

[25] Marksteiner, S., Exposito Jimenez, V.J., Vallant, H., Zeiner, H., *"An Overview of Wireless IoT Protocol Security in the Smart Home Domain"*, Joint 13th CTTE and10th CMI Conference on Internet of Things Business Models, Users, and Networks, Copenhagen, pp. 1-8, 2017.

[26] Sapundzhi, F., *"A Survey of KNX Implementation in Building Automation"*, TEM Journal. Vol. 9, Issue 1, PP. 144-148, 2020.

[27] http://iranlighting.mihanblog.com/post/53.

[28] Horyachyy, O., *"Comparison of wireless communication technologies used in a smart home: analysis of wireless sensor node based on Arduino in home automation scenario"*, http://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1118965/FULLTEXT02. Retrieved 2017.

[29] Orfanos, V.A., Kaminaris, S.D., Piromalis, D., Papageorgas, P., *"Smart Home Automation in*

the IoT Era: A Communication Technologies Review", AIP Conference Proceedings 2307, Published Online: December 2020.

[30] http://kayshav.com/ddinfo/bluetooth.html.

[31] Ho, G., Leung, D., Mishra, P., Hosseini, A., Song, D., D. Wagner, D., *"Smart locks: Lessons for securing commodity internet of things devices"*, In Asia Conference on Computer and Communications Security, ACM, 2016.

[32] Xu, F., Diaoyz, W., Lix, Z., Chen, J., Zhang, K., *"BadBluetooth: Breaking Android Security Mechanisms via Malicious Bluetooth Peripherals"*, Network and Distributed Systems Security (NDSS) Symposium 2019.

[33] Hafeez, A., Kandil, N.H., Al-Omar, B., T. Landolsi, T., and Al-Ali, A.R., *"Smart Home Area Networks Protocols within the Smart Grid Context"*, Journal of Communications (9) 9, pp. 665-671, 2014.

[34] http://www.csurambox.com/document/report/report.html.

[35] Toschi, G.M., Campos, L.B., Cugnasca, C.E., *"Home automation networks: A survey"*, Journal of Computer Standards & Interfaces, Vol. 50, PP. 42-54, 2017.

[36] Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S., *"Review of communication technologies for smart homes/building applications"*, Proceedings of the IEEE Innovative Smart Grid Technologies Asia, pp. 1–6, 2015.

[37] Hall, J., Ramsey, B., *"Tools for evaluating and exploiting z-wave networks using software-defined radios"*, 2018.

[38] Sciacca J., "*Smarten up your dumb house with Z-Wave automation*", Digital Trends, Retrieved 2016-03-12.

[39] Abent, E., *"August Home joins Z-Wave Alliance for Smart Lock Pro"*, Slash Gear, April 4, 2017.

[40] Danbatta, S.J., Varol, A., *"Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation"*, IEEE, 2019.

[41] https://www.khane-hoshmand.ir/articles/27-smart-home-articles/51-z-wave

[42] Smith, Ms.,*" Ez-wave: A z-wave hacking tool capable of breaking bulbs"*, abusing z-wave devices, 2018.

[43] http://en.wikipedia.org/wiki/EnOCean.

[44] Jernej,T., Kaur,J., Karsten,A. and Steffen Wendzel, S., *"Visualizing BACnet data to facilitate humans in building-security decision-making"*, In International Conference on Human Aspects of Information Security, Privacy and Trust, pp.693-704, Springer, 2015.

[45] Sovacool, B.K. and Del Rio, D.D.F. *"Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies"*. Renewable and sustainable energy reviews, 120, p.109663, 2020.

[46] El-Azab, R. *"Smart homes: Potentials and challenges"*. Clean Energy, 5(2), pp. 302-315, 2021.

[47] Makhadmeh, S.N., Khader, A.T., Al-Betar, M.A., Naim, S., Abasi, A.K. and Alyasseri, Z.A.A. *"Optimization methods for power scheduling problems in smart home: Survey"*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115, p.109362, 2019.

[48] Panwar, N., Sharma, S., Mehrotra, S., Krzywiecki, Ł. and Venkatasubramanian, N. *"Smart home survey on security and privacy"*. arXiv preprint arXiv:1904.05476, 2019.

[49] Hammi, B., Zeadally, S., Khatoun, R. and Nebhen, J. *"Survey on smart homes: vulnerabilities, risks, and countermeasures"*. Computers & Security, 117, p.102677, 2022.

[50] Wang, M., Lin, E., Woertz, E., & Kam, M. *"Collision resolution simulation for distributed control architectures using LonWorks"*. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. (pp. 319-326). 2005.

[51] Cano, C., & Malone, D. *"On efficiency and validity of previous Homeplug MAC performance analysis"*. Computer Networks, 83, 118-135, 2015.

[52] Tosi, J., Taffoni, F., Santacatterina, M., Sannino, R., & Formica, D. *"Performance evaluation of Bluetooth low energy: A systematic review"*. Sensors, 17(12), 2898, 2017.

[53] Chen, Z., Lin, C., Wen, H., & Yin, H. *"An analytical model for evaluating IEEE 802.15. 4 CSMA/CA protocol in low-rate wireless application"*. International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. 2007.

[54] Ploennigs, J., Ryssel, U., & Kabitzsch, K. *"Performance analysis of the EnOcean wireless sensor network protocol*". IEEE 15th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA) 2010.

[۵۵] فاطمه سعیدنژاد و مهدی مجیدی، " مروری بر امنیت شبکه های مخابراتی مورد استفاده در شبکه های توزیع برق "، مجله محاسبات نرم، جلد ۱۰، شماره ۲، ص ۱۶-۳۱، ۱۴۰۰.

[۵۶] حامد برنگی، فاطمه راجی، علی اکبر خاصه، " تحلیل تحقیقات امنیت و حریم خصوصی حوزه بلاکچین: یک مطالعه علم سنجی"، مجله محاسبات نرم، جلد ۹، شماره ۱، ص ۴۰-۵۵، ۱۳۹۹.

[۵۷] شایسته طباطبایی، " ارائهٔ یک روش خوشه بندی آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم خفاش و چاهک متحرک در شبکهٔ حسگر بیسیم"، مجله محاسبات نرم، جلد ۸، شماره ۲، ص ۱۰۲-۱۱۵، ۱۳۹۸.

پذیرفته شده در مجله محاسبات نرم