Archive of SID

طراحی و پیاده سازی شبکه حسگرهای بیسیم مبتنی بر تکنولوژی ZigBee

افسانه فلاح زاده [۱]، فرانک فتوحی قزوینی[۲]، حامد شهبازی [۳]

[۱] گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه قم، Afsaneh.fallahzadeh@Gmail.Com

[۲]گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه قم، Faranak_Fotouhi@Gmail.Com

[۳] گروه مهندسی مکاترونیک دانشگاه اصفهان، Hamedshahbazi@Gmail.Com

چکیده

در این پژوهش شبکه‌ای کاملا بیسیم از حسگرهای شتاب‌سنج مبتنی بر تکنولوژی ZigBee و بر پایه توپولوژی مش بعنوان نمونه آزمایشگاهی طراحی و پیاده‌سازی شده است. هدف از انجام این پژوهش ساخت شبکه بیسیم پایه، مبتنی بر عملکرد حسگرهاست به گونه ای که قابلیت نصب و راه‌اندازی در محیط‌هایی همچون بدن انسان، ساختمان، فضای باز را داشته و قادر به جمع‌آوری و ارسال داده‌ها در کوتاهترین زمان و باکمترین خطای محاسباتی باشد. شبکه طراحی شده با بکارگیری حسگرهای موجود اطلاعات محیط را به صورت بیسیم جمع‌آوری کرده، آن‌ها را دسته‌بندی می‌نماید. در هر گره از شبکه بطور مستقل عملیات ساخت بسته قابل انتقال در شبکه بر اساس پروتکل مربوطه انجام شده و وارد شبکه مش می‌شود، سپس بصورت کاملا بیسیم به گره مرکزی انتقال می‌یابند و همزمان از گره مرکزی به کامپیوتر فرستاده می‌شوند. داده‌های آمده از شبکه در کامپیوتر گسسته شده و براساس نام و آدرس حسگر فرستنده دسته‌بندی می‌گردند. پس از آن داده‌ها در دیتابیس ذخیره شده و برای هرگونه تحلیل و نتیجه‌گیری آماده می‌شوند. براساس ساختار تعریف شده برای نوع بسته‌های انتقال‌داده در این شبکه، بسته‌ها کاملا انعطاف‌پذیر بوده و می‌توانند برای هر نوع بسته اطلاعاتی در شبکه‌های دیگر مجددا پیکربندی شوند.

واژه‌های کلیدی

شبکه حسگر، بیسیم، تکنولوژی ZigBee، توپولوژی مش

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد بسیاری را در زمینه شبکه‌های حسگر، شاهد بوده ایم. شبکه‌های حسگر شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک می‌باشند که برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند و امکان مشاهده و انجام عکس‌العمل مناسب با رخداد یا پدیده به وجود آمده را برای مدیر شبکه میسر می‌سازد. محیطی که شبکه حسگر در آن پیاده‌سازی شده است می‌تواند یک مکان فیزیکی، یک سیستم بیولوژیک و یا یک چارچوب مبتنی بر IT باشد [2]. سیستم‌های حسگر در آینده به یکی از پرکاربردترین سیستم‌های جهانی تبدیل شده و شاهد پیشرفت‌های وسیعی در این زمینه خواهید بود. کاربردهای معمول این سیستم شامل جمع‌آوری داده ها، مانیتورینگ و کاوش کردن می‌باشد. از جمله این کاربرد ها می توان به استفاده در میدان‌های جنگی، شناسایی محیط‌های آلوده، نظارت بر محیط زیست، بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی، جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند، کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی و... اشاره کرد. گره‌ها در شبکه‌های حسگر، معمولاً فاقد آدرس‌های منحصر بفرد می‌باشند و آنچه بیشتر در این شبکه‌ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. شبکه حسگر نیز مانند هر شبکه‌ای دارای محدودیت‌هایی است از جمله به دلیل عدم دسترسی به گره‌ها پس از فرآیند پراکندن آن‌ها در محیط، گره‌های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد بعلاوه نرخ انتقال داده در این شبکه‌ها معمولاً بالا نیست.

هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزان قیمت با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه ای از اجزای سخت افزاری تشکیل می شود که در کنار یکدیگر وظایف هر گره را به انجام می رسانند. شبکه حسگر شامل ۴ قسمت اصلی می باشد [1] :

۱. حسگرهای قرار داده شده در محل

۲.یک شبکه متصل به هم

www.SID.ir

Archive of SID

۳.یک نقطه مرکزی برای جمع‌آوری داده‌ها به صورت خوشه‌ای
۴.تعدادی منابع محاسبه‌گر در نقطه مرکزی برای کنترل‌داده‌ها

به دلیل حجم بالای داده‌های جمع‌آوری شده، روش‌های الگوریتمی برای مدیریت داده‌ها نقشی اساسی در شبکه ایفا می‌کند. علاوه بر آن میزان انرژی گره(طول عمر باتری) نیز یکی از کلیدهای مهم طراحی این نوع شبکه‌ها می باشد. شبکه‌های حسگر را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱. شبکه‌های مبتنی بر مش که دارای مسیریابی پویا هستند. گره‌ها در این نوع از شبکه‌ها به صورت چندگامی بوده و برای پیاده سازی شبکه‌های بزرگ و توزیع‌شده مناسب می‌باشند.
۲. شبکه‌های نقطه به نقطه‌ای ستاره‌ای که ارتباطات تک گامی داشته، مسیریابی در آنها به صورت استاتیک بوده و برای برقراری ارتباطات کوتاه برد مانند شبکه‌سازی بین تجهیزات منزل مناسب می‌باشند.

هدف از انجام این پژوهش ساخت شبکه بیسیم پایه مبتنی بر تکنولوژی ZigBee است به همین جهت در بخش بعدی به معرفی این تکنولوژی و مقایسه آن با دیگر تکنولوژی‌های روز دنیا در ضمینه شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته شده است. بخش سوم ارائه دهنده یک نمونه از پیکربندی حسگر شتاب‌سنج به‌عنوان حسگر تستی برای ایجاد شبکه است. در بخش‌های چهارم و پنجم به ترتیب پیکربندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری شبکه توضیح داده شده است و نهایتا بخش ششم به ارائه نتایج اختصاص داده شده است.

۲- تکنولوژی ZigBee

اوایل قرن ۲۱ شروعی برای استانداردسازی دستگاه‌های تجاری مرتبط با حسگرها بوده است. به منظور ایجاد یک استاندارد برای شبکه حسگر بیسیم، طراحان و توسعه دهندگان به بررسی استانداردهای موجود پرداختند. در درجه اول دریافتند که استاندارد wifi برای کاربردهای درون ساختمانی بسیار پیچیده بوده و پهنای باند این استاندارد بسیار بیشتر از پهنای باند موردنیاز برای حسگر می‌باشد، دوم سیستم‌های مادون قرمز نیز نیازمند دید مستقیم می‌باشند که این امر همیشه امکان‌پذیر نیست. بنابراین بلوتوث به عنوان اولین استاندارد برای برقراری ارتباطات بین گره های شبکه‌ی حسگر مورد استفاده قرار گرفت. اما محققان خیلی زود دریافتند این استاندارد نیز پرهزینه و نسبتا پیچیده می‌باشد. نهایتا استاندارد جدیدی به نام ZigBee به وجود آمد که در باند فرکانسی ۲,۴ گیگاهرتز عمل کرده و توانایی انتقال ۲۵۰ کیلوبیت داده در ثانیه را دارا می باشد. ZigBee به عنوان مکملی برای تکنولوژی بیسیم مانند بلوتوث و wifi طراحی شده و هدف از آن برقراری ارتباط در مکان‌هایی است که امکان به کارگیری کابل نبوده و نیازمند انرژی و هزینه بسیار کم می‌باشد. با وجود این پروتکل، شبکه‌ی حسگر پیشرفت چشم‌گیری داشته است، به طوری که پیش‌بینی می‌شود در دهه‌ی آینده تعداد دستگاه‌های مجهز به ZigBee سه برابر بیشتر از دستگاه‌های عمل کننده با wifi شود [2]. در جدول۱ مقایسه‌ای برروی تکنولوژی‌های موجود در جهان برای ایجاد شبکه حسگرهای بیسیم صورت گرفته است.

جدول ۱: مقایسه تکنولوژی‌های روز دنیا به منظور ایجاد شبکه حسگرهای بیسیم [3]

Wireless Networking Technologies

	ZigBee	Bluetooth	UWB	Wi-Fi	LonWorks	Proprietary
Standard	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.3a (to be ratified)	IEE 802.11a, b, g (n to be ratified)	EIA 709.1, 2, 3	Proprietary
Industry organizations	ZigBee Alliance	Bluetooth SIG	UWB Forum and WiMedia Alliance	Wi-Fi Alliance	LonMark Interoperability Association	N/A
Topology	Mesh, star, tree	Star	Star	Star	Medium-dependent	P2P, star, mesh
RF frequency	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz	3.1 to 10.6 GHz (U.S.)	2.4 GHz, 5.8 GHz	N/A (wired technology)	433/868/900 MHz, 2/4 GHz
Data rate	250 kbits/s	723 kbits/s	110 Mbits/s to 1.6 Gbits/s	11 to 105 Mbits/s	15 kbits/s to 10 Mbits/s	10 to 250 kbits/s
Range	10 to 300 m	10 m	4 to 20 m	10 to 100 m	Medium-dependent	10 to 70 m
Power	Very low	Low	Low	High	Wired	Very low to low
Battery operation (life)	Alkaline (months to years)	Rechargeable (days to weeks)	Rechargeable (hours to days)	Rechargeable (hours)	N/A	Alkaline (months to years)
Nodes	65,000	8	128	32	32,000	100 to 1000

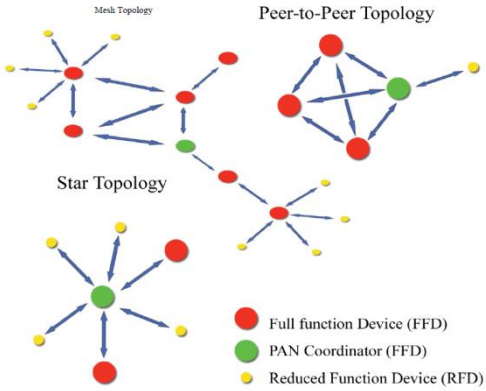
مطابق جدول۱، ZigBee تنها تکنولوژی مبتنی بر استانداردهای بیسیم است که به طور منحصربه‌فردی با مصرف انرژی بسیار پایین، قدرت پایین در حسگرهای wireless و برای کنترل شبکه در هر مکانی طراحی شده است. ZigBee با دارا بودن ویژگی مقرون به صرفگی در کنار هوشمندی بالا، به طور موثری باعث بهبود در بهره‌وری، امنیت، ایمنی، قابلیت اطمینان و راحتی در تولید محصولات شده است. استاندارد IEEE 802.15.4 طراحی استاندارد عمومی‌ای برای ایجاد سخت‌افزار و نرم‌افزار در شبکه‌های حسگر بیسیم (WSN) است که نیازمند قابلیت اطمینان بالا، هزینه و مصرف انرژی پایین ، مقیاس پذیری و سرعت پایین در انتقال داده هستند.

ZigBee از این پروتکل ارتباطی در پهنای باند اختصاصی که دیگر پروتکل‌ها اجازه استفاده از آن را ندارند به انتقال اطلاعات می‌پردازد. هر ساختار شبکه‌ای ZigBee از سه نوع دستگاه هماهنگ‌کننده ZigBee، روتر ZigBee و گره انتهایی ZigBee استفاده می‌کند [4]. با به‌کارگیری استاندارد IEEE 802.15.4 می‌توان از دو توپولوژی ستاره‌ای و نظیربه‌نظیر در لایه زیرین شبکه ZigBee استفاده کرد. همچنین توپولوژی مش ازترکیب توپولوژی‌های ستاره‌ای و نظیربه‌نظیر حاصل می‌شود. در توپولوژی ستاره‌ای تنها یک هماهنگ‌کننده وجود دارد که با تمام گره‌های انتهایی بطور مستقیم در ارتباط است. با توپولوژی نظیربه‌نظیر دو گره به هم متصل می‌شوند. در این بین حتما باید یه هماهنگ‌کننده وجود داشته باشد و گره دیگری می‌تواند روتر یا گره انتهایی باشد. پیکربندی مش علاوه بر استفاده از گره هماهنگ‌کننده، از مسیریاب نیز استفاده می‌کند. این گره‌ها باعث انتقال پیام‌های موجود در سیستم بین مسیریاب‌ها و دستگاه‌های نهایی مختلف می‌شوند. در شکل۱ توپولوژی‌های مختلف به نمایش گذاشته شده اند. شبکه‌های ZigBee در درجه اول برای شبکه‌های حسگر با چرخه عمر

www.SID.ir

Archive of SID

کوتاه در نظر گرفته شده است (کمتر از ۱٪). یک گره جدید ممکن است در زمانی در حدود ۳۰ میلی ثانیه به شبکه شناسانده شود و وارد شبکه گردد. بیدار شدن گره‌های در حالت خواب کمتر از ۱۵ میلی‌ثانیه زمان می‌گیرد.



شکل ۱: توپولوژی‌های ستاره‌ای، مش و نظیربه‌نظیر [4]

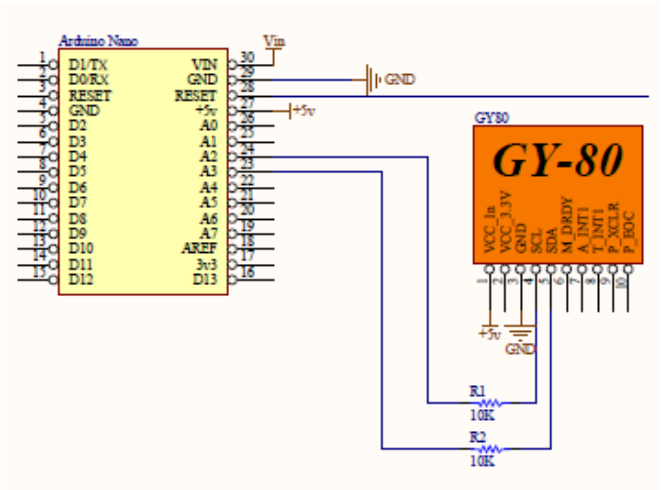
همین میزان زمان نیز برای دسترسی به یک کانال ارتباطی و انتقال‌داده از طریق آن کانال، برای هر گره کافی است. شبکه‌های ZigBee دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله ارسال سریع اطلاعات و قدرت تفکیک اطلاعات از هم، هدایت به حالت خواب و خواب عمیق هستند که همگی باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر باتری در حسگرها می‌شوند. از میان برندهای مختلفی که به پیاده‌سازی پروتکل ZigBee پرداختند برند XBee به دلیل سهولت استفاده، هزینه مناسب‌تر و قابلیت اتصال به میکروکنترلرهای Arduino محبوب‌ترین است[1]. در این پژوهش از سخت‌افزار سری دوم XBee به همراه آنتن سیمی برای برد ارتباطی بالا در شبکه بهره‌گرفته‌ایم

۳- پیاده‌سازی حسگر ADXL'HAF

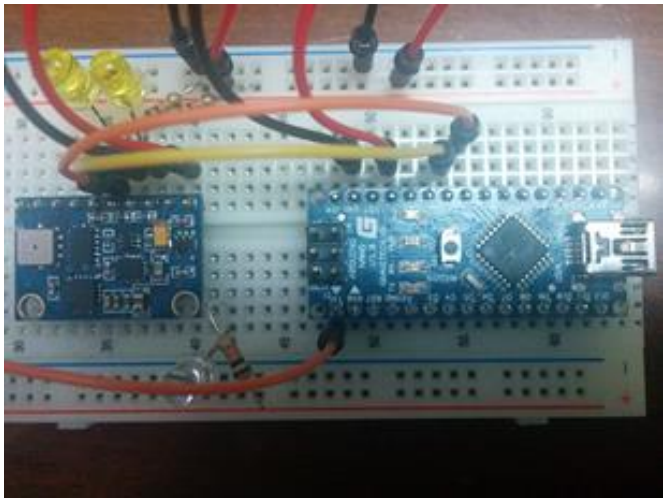
هرشبکه به تعدادی حسگر و یک گره مرکزی نیازمند است. در این پژوهش به عنوان مثال شتاب سنج موجود برروی ماژول GY80 در قالب حسگر راه اندازی گردید. ماژول ADXL345 یک شتاب‌سنج سه محوره کوچک، نازک و کم مصرف است که بوسیله تکنولوژی MEMS به همراه سه ماژول دیگر برروی GY80 تعبیه شده‌است. خروجی‌های دیجیتالی ADXL345 با فرمت ۱۶ بیتی از طریق رابط دیجیتالی I^2C در دسترس هستند[5]. یکی دیگر از مهره‌های اصلی حسگرها واحد پردازشگر مرکزی یا میکروکنترلرها هستند.

در ساخت ADXL'HAF از میکروکنترلر Arduino Nano بهره گرفته شده است. Arduino Nano با دارا بودن ویژگی کوچکی ابعاد، پشتیبانی از I^2C و دارا بودن ارتباط سریال پورت توسط پین‌های TX و RX یکی از بهترین گزینه‌ها در ساخت حسگر ADXL'HAF است. همانطور که پیش‌تر گفته شد ماژول ADXL345 برای انتقال‌داده‌ها از رابط دیجیتالی I^2C استفاده می‌کند. این ارتباط تنها با دو خط Serial Data Line (SDL) برای ارسال داده و Serial Clock Line (SCL) برای کلاک ساعت صورت می‌گیرد. با اتصال پین‌های SDL و SCL در Arduino Nano و ADXL345 ارتباط سخت‌افزاری مانند مدار شکل ۲ برقرار می‌شود. نمونه اولیه ساخته شده از حسگر ADXL'HAF در شکل ۳ نمایش داده شده‌است.

دو نوع آزمایش بر روی این ماژول براساس خصوصیات شتاب‌سنج انجام می‌پذیرد که یکی در شرایط استاتیک و دیگری در شرایط دینامیک هستند. تست در شرایط استاتیک میزان شتاب وارده بر هر یک از محورهای شتاب‌سنج را اندازه‌گیری می‌کند. تست در شرایط دینامیک میزان تغییرات وارده بر هر یک از محورهای شتاب‌سنج را اندازه‌گیری می‌کند. محدوده تغییرات در این حسگر بین $\pm 8g$ است. بنابراین می‌توانیم به ارزش درستی این حسگر در شرایط مختلف اطمینان قابل ملاحضه‌ای داشته باشیم.



شکل ۲: مدار راه‌اندازی حسگر براساس المان‌های Arduino Nano و GY80

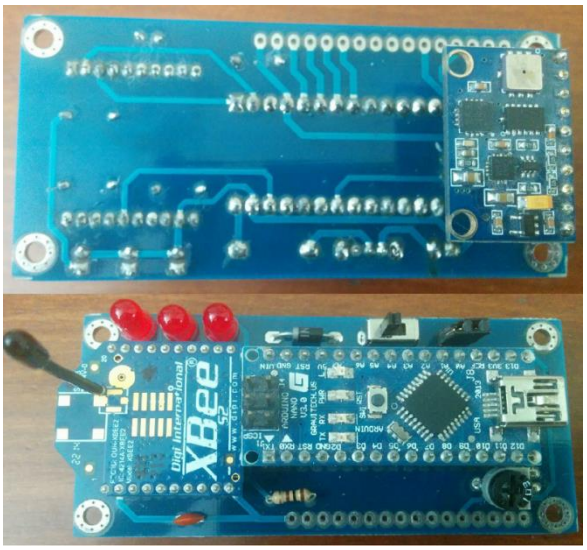


شکل ۳: پیاده‌سازی نمونه اولیه حسگر شتاب‌سنج بر روی بردبرد (نمونه آزمایشگاهی)

www.SID.ir

Archive of SID

برای وارد کردن حسگرها به شبکه لازم است تا ماژول XBee به مدار آن‌ها اضافه گردد. طریقه بهم‌بندی ماژول XBee و Arduino در بخش پیکربندی سخت‌افزاری شبکه توضیح داده خواهد شد. با فرض افزودن ماژول XBee به مدار موردنظر نمونه نهایی از سخت‌افزار حسگر در شکل۴ نمایش داده شده است. مطابق شکل۴ مدار طراحی شده در شکل۲ به صورت برد دو طرفه در ابعاد 2.9 cm × 3.9 × 8.3 (به ترتیب از چپ به راست طول، عرض و ارتفاع) طراحی و چاپ گردید. ماژول GY80 حاوی شتاب‌سنج ADXL345 در قسمت زیرین برد و ماژول‌های XBee و Arduino Nano در قسمت بالایی برد قرار گرفته اند.



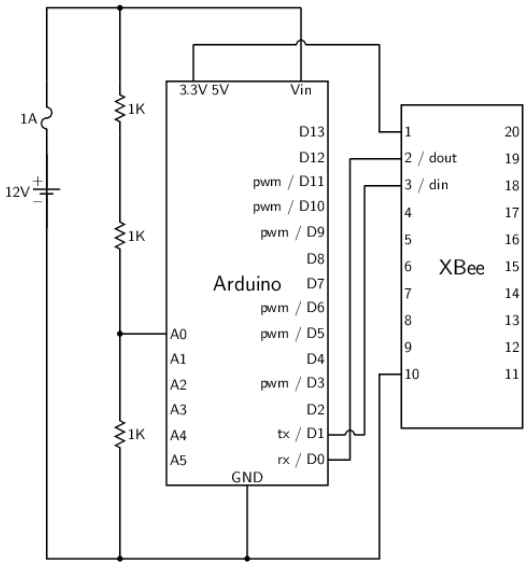
شکل ۴: پیاده‌سازی حسگر شتاب‌سنج در کنار ماژول XBee برای استفاده در شبکه

۴- پیکربندی سخت‌افزاری شبکه

برای تنظیم و پیکربندی XBee و ارسال و دریافت داده‌ها به یک کامپیوتر، برنامه XCTU، برد تبدیل USB، برد تبدیل پین XBee (جهت انجام تست روی بردبرد) نیازمندیم. به منظور ارتباط XBee با حسگرها و گره مرکزی بایستی بین پین‌های منبع تغذیه ۳,۳ ولت، خروجی داده TX و ورودی داده RX در XBee و Arduino Nano اتصال ایجاد نماییم. نمای شماتیک این بهم‌بندی درشکل ۵ نشان داده شده است.

بایستی هر یک از XBeeها به طور جداگانه با برنامه XCTU پیکربندی شوند. ماژول XBee در حسگرها به عنوان یک روتر و گره انتهایی در مد API برنامه‌ریزی می‌گردد و همچنین ماژول XBee در گره مرکزی به عنوان یک Coordinator در مد API پیکربندی خواهد شد. به همین منظور هر ماژول XBee را برروی برد تبدیل قرار داده و با USB به کامپیوتر متصل می‌نماییم. در برنامه XCTU پورت اتصال یافته شناسایی می‌شود و برای انتقال‌داده توسط آن، پارامترهای پورت در ابتدای کار تنظیم می‌گردند.

از جمله این پارامترها می‌توان به Baud Rate، Data Bit، Parity اشاره کرد. این پارامترها برای تمام ماژول‌های شبکه بایستی به صورت یکسان تنظیم شوند سپس مطابق آنچه در بالا گفته شد ماژول‌های XBee در مد API به عنوان روتر و گره مرکزی پیکربندی می‌شوند. بنابراین از قسمت Update Framework حالت‌های Router API و Coordinator API به ترتیب برای حسگرها و گره مرکزی اعمال می‌شود. همچنین نامی یکتا برای شبکه انتخاب شده و بر روی تمام XBee ها قرار داده می‌شوند. ما HAFNET را به عنوان نام شبکه در نظر گرفته‌ایم.



شکل ۵: نمای کلی از طریقه بهم‌بندی Arduino و XBee [1]

هر ماژول XBee دارای دو نوع آدرس سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. آدرس سخت‌افزاری دارای دو قسمت SH و SL بوده و توسط شرکت سازنده به صورت منحصربه‌فرد ایجاد می‌شود [6]. آدرس‌های نرم‌افزاری آدرس‌هایی هستند که در شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و از قسمت‌های DH و DL تشکیل می‌شوند. آدرس‌های نرم‌افزاری هم از طریق برنامه XCTU و هم از طریق برنامه میکروکنترلر قابل دسترسی است. در HAFNET آدرس Coordinator برای شناخته‌شدن در شبکه به حسگرها نسبت داده می‌شود.

۵- پیکربندی نرم‌افزاری شبکه

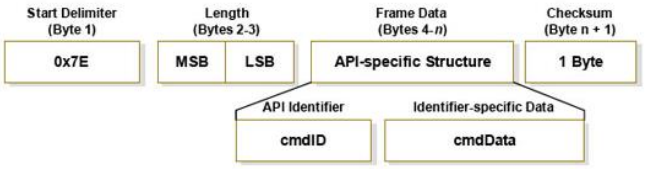
میکروکنترلر Arduino Nano که در HAFNET مورد استفاده قرار گرفته است برای اتصال با ماژول XBee به کتابخانه آن نیازمند است. در قسمت برنامه‌نویسی نرم‌افزاری برای میکرو ابتدا کتابخانه XBee را افزوده و سپس یکی از پورت‌های سریال میکرو را به عنوان پل ارتباطی‌اش با XBee معرفی می‌کند. درنظرداشته باشید که برای Coordinator به میکروکنترلی با حداقل دو پورت سریال، یکی برای ارتباط با XBee و دیگری برای اتصال به کامپیوتر نیازمندیم. گره‌ها در هر شبکه توسط Packetها با هم ارتباط برقرار می‌کنند، این امر دو مورد شبکه‌های حسگرهای بیسیم نیز صادق است. Packetها در این نوع شبکه‌ها از سه قسمت اصلی آدرس، محتوای داده‌ای (Payload) و طول Packet تشکیل می‌شود. در شکل۷ Packet

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های شبکه ZigBee با جزئیات بیشتر به روایت تصویر نشان داده شده است.

اولین مرحله برای ایجاد ارتباط در شبکه تنظیم آدرس‌هاست. پیش‌تر گفته شد که هر ماژول XBee دارای آدرس سخت‌افزاری است، پس آدرس سخت‌افزاری گره مرکزی را در حسگرها به عنوان آدرس مقصد و به صورت XBee Address 64 معرفی می‌نماییم.



شکل ۷: Packet داده در شبکه حسگرهای بیسیم[1]

Palyload در HAFNET از یک عدد Float به عنوان میزان شتاب اندازه‌گیری شده توسط شتاب‌سنج و یک Char به عنوان نام حسگر تشکیل می‌شود. عددی با فرمت Float از چهار بایت و Char از یک بایت داده‌ای تشکیل شده‌اند بنابراین طول محتوای Packet در HAFNET برابر با پنج بایت خواهد بود.

پس از تنظیم المان‌های Packet یک درخواست از سمت فرستنده و در قالب ZBTXRequest که شامل آدرس مقصد، Payload و طول Payload است در شبکه ارسال می‌شود. حسگر پس از ارسال درخواستش به شبکه گوش می‌دهد و منتظر بررسی وضعیت Packet ارسالی می‌ماند. پس از دریافت Packet توسط Coordinator، یک پیغام در قالب ZBTXStatusResponse و با مقدار SUCCESS برای فرستنده Packet ارسال می‌گردد. این عملیات به طور مستمر و تا زمان مورد نیاز در شبکه ادامه پیدا می‌کند [1,5,6]. در این بین Coordinator وظیفه انتقال داده‌ها برروی سریال پورت متصل به کامپیوتر را نیز داراست. به همین منظور Coordinator محتوای Payload آمده از هر Packet را بیرون کشیده و به حالت Float و Char برگردانده و به صورت یک String برروی پورت سریال می‌فرستد. داده‌ها پس از سرازیر شدن به سمت پورت سریال کامپیوتر توسط برنامه‌ای که در محیط C# نوشته شده است دریافت می شود. در این برنامه یک پورت سریال با خصوصیات ارتباطی مشابه ماژول XBee در Coordinator به منظور یکسان‌سازی سرعت انتقال‌داده بین فرستنده و گیرنده ایجاد شده است. برای ایجاد ارتباط پورت نرم‌افزاری با پورت سخت‌افزاری در کامپیوتر از طریق ComboBox تمام پورت‌های فعال کامپیوتر شناسایی شده و پورت مورد نظر توسط کاربر انتخاب می‌شود. در ادامه Stringهای دریافت شده توسط کلاس DataPacketXBee به محتوای Float و Char شکسته شده و در دیتابیس ذخیره می‌شود. داده‌های جمع‌آوری شده قابل بررسی و استفاده‌های دیگر خواهد بود. به عنوان مثال داده‌های جمع‌آوری شده از شبکه HAFNET را می‌توان برای تشخیص حرکت یک جسم در فضا و یا شناسایی الگوی حرکتی یک جسم در بازه زمانی مشخص مورد استفاده قرار داد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله چگونگی ایجاد یک شبکه حسگر کاملا بیسیم بر مبنای تکنولوژی ZigBee، قطعات XBee به همراه توپولوژی مش شرح داده شده است. لازم به ذکر است که در نتیجه مقایسه توپولوژی‌های مش و ستاره‌ای در نبرد کمترین میزان تاخیر انتقال‌داده و میانگین توان عملیاتی، براساس آمار شبیه‌سازی‌های مختلف توپولوژی مش پیشتاز بوده است. برای اندازه‌گیری توان عملیاتی از فرمول (۱) استفاده می‌شود [6] :

$$TH = \frac{8 * number\ of\ bytes}{total\ transformation\ time\ (sec)} \qquad (1)$$

در این آزمون‌ها قدرت انتقال‌داده و پهنای باند انتقال‌داده در هر دو توپولوژی یکسان درنظر گرفته شده است و آنچه باعث پیروزی مش شده است چند سطحی بودن مسیر انتقال ارتباطات و کاهش ترافیک در گره مرکزی بوده است [8]. پروتکل ZigBee با بکارگیری مدل CSMA/CA در لایه فیزیکی ساختارش توانسته به کمک شبیه‌سازی ها میزان تصادم‌ها در طول یک شبکه برای اعلام شکست شبکه را بین سه تا چهار تصادم کاهش دهد. به عبارت دیگر ساختار عملیاتی در پروتکل ZigBee آنچنان منظم و دقیق است که طبق آمار بدست آمده، سه الی چهار تصادم در این شبکه تعداد زیادی بشمار می‌آید و غیرقابل قبول است. از طرفی با جداسازی باند انتقال‌داده ZigBee از دیگر پروتکل‌ها میزان تصادم و قطعی کاهش یافته و تداخل با دیگر پروتکل‌ها نیز از میان برداشته شده است.

برای بهبود کارایی شبکه‌های مبتنی بر ZigBee می‌بایست از بیشترین توان عملیاتی آن استفاده کرد. درنظر داریم با افزودن حالت Sleep به شبکه HAFNET طول عمر حسگرها را به حداکثر زمان افزایش داده و با تنظیم بخش امنیت، امنیت ماژول‌های XBee و در نتیجه امنیت کل شبکه را افزایش دهیم.

مراجع

[۱] میزانیان، یدالهی، **شبکه‌های حسگر بیسیم پیاده‌سازی به کمک میکروکنترلر**، نوبت چاپ اول، یزد، انتشارات دانشگاه یزد، ۱۳۹۱.

[2] M.A Labrador, and O.D. Lara Yejas, "Hyman Activity Recognition Using Wearable Sensor And Smartphone," CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton. London. New York, October 2013.

[3] www.Zigbee.org

[4] P.V. Ingalkar, and A.B .Deshmukh, "ZigBee Wireless Sensor Network Technology," International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol.3 Issue.4, April- 2014, pg. 891-897.

[5] Ch. Bell, "Beginning Sensor Network with Arduino and RespberyPi," 2013.

[6] R. Faludi, "Building Wireless Sensor Network, A Practical Guide to the ZigBee Mesh Network Protocol," Beijing. Cambridge. Farnham. Köln. Sebastopol. Tokyo, 2011.

www.SID.ir

Archive of SID

[7] R. Piyare, and S.Lee, "Performance Analysis of XBee ZB Module Based Wireless Sensor Network," International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 4, April-2013.

[8] B. Mihajlov, and M. Bogdanoski, "Overview and Analysis of the Performances of ZigBee based Wireless Sensor Networks," International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 29– No.12, September 2011.

www.SID.ir