اولین همایش بین المللی مدیریت و مهندسی
۱۴ تیر ۱۳۹۷ – دانشگاه تهران
1st International Conference on Management & Engineering
5 July 2018 - University Of Tehran

شهرهای هوشمند و سامانه‌های آمادگی در برابر زلزله با استفاده از فناوری شبکه ی حسگرهای فیبر نوری پنجره براگ (FBG)

محمدرضا هدایتی
استادیار ،تهران بلوار دانش ،دانشکده علمی کاربردی پست و مخابرات
hedayati.rov@gmail.com
علی اصغر عمیدیان
استادیار ،تهران بلوار دانش ،دانشکده علمی کاربردی پست و مخابرات
aliamidian@gmail.com
وحید یزدانیان
استادیار ،تهران بلوار دانش ،دانشکده علمی کاربردی پست و مخابرات
yazdanian@gmail.com
محمدحسین امیری
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد تهران شمال
amiriictgroup@gmail.com.com

چکیده

ساختار های باکیفیت شهر های مدرن و هو شمند با دا شتن سامانه های مدیریت و هدایت برای ارائه بهترین خدمات، اهتمام جهت افزایش کیفیت زندگی، کاهش هزینه ها، ارتقاء شرایط اقتصادی، ایجاد مشاغل جدید، بهسازی و ارتقاء زیرساخت های اساسی و مهم از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این راستا تلاشهایی در یکی از زیر مجموعه های وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در بکارگیری فناوری فیبر نوری جهت ایجاد سامانه های پایش، کنترل و سلامت سنجی زیرساخت های مهم شهرهای هوشمند انجام پذیرفته است. در این تحقیق پیشنهاد بکارگیری فناوریهای اینترنت اشیاء (IOT) و سامانه های مبتنی بر حسگر های پراکنده و انتقال اطلاعات از طریق بستر فیبر نوری برای افزایش ارائه خدمات سریعتر، ایمنی بیشتر، تصمیم سازی بهتر و سریعتر در زمان وقوع زلزله مورد بررسی قرار گرفته ا ست. در این را ستا با فراهم آوردن امکان "و ضعیت سنجی در یک نگاه" اولویت های مورد نظر شنا سایی و اندازه گیری پارامترهای زلزله و پایش سلامت سازه ها، کنترل، مدیریت و ارتقاء برنامه ریزیهای کارآمدتر در شهر هوشمند مد نظر قرار گرفته است. در روش پیشنهادی استفاده از فناوری نوین مبتنی بر فیبر نوری و بهره گیری از امکانات مونیتورینگ سلامت زیر ساخت های شهری و بهره برداری از ابزارها و سنجشگرهای حساس به کرنش و ارتعاش جهت کاهش خسارت ها، کمک به مدیریت تامین حمایتهای اضطراری در مواقع بروز بحران، بررسی وضعیت عمومی و تشخیص بعد کلی خسارات و اولویت بندی مراکز بحران زده جهت تخصیص منابع حمایتی نیز مورد تاکید قرار گرفته ا ست .امکان سنجی ا ستقرار شبکه های سلامت سنجی مبتنی بر فناوری پنجره فیبر براگ (FBG) در حوزه زیر ساخت های شهری با ارائه راهکارهای فنآورانه از دیگر د ستاورد های این پژوهش ا ست که با توجه به پتانسیل ها و منابع موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.در پایش اثرات زلزله برای ایجاد یک "سامانه هشدار بی درنگ زمین لرزه"[1](EEWS) و سامانه پاسخ سریع[2] (RRS) با استفاده از بستر های مطمئن و کم هزینه "فیبر نوری درب منزل"[3] (FTTH) به صورت طرح پیشنهادی ارایه گردیده است.

واژگان کلیدی: پایش زلزله، حسگر پنجره فیبر نوری براگ ، شهر هوشمند، شبکه سلامت سنجی.

[1] Earthquake Early Warning System
[2] Rapid Response System
[3] Fiber To The Home

Archive of SID
www.SID.ir

۱ مقدمه

افزایش گسترده جمعیت و تمرکز آن در شهرهای پرتراکم در سراسر جهان به شکل چشمگیری نحوه ی زندگی اغلب انسان ها را تحت تاثیر قرار داده اســت. مراکز تجمع جمعیت به‌ویژه در کشــورهای درحال توســعه، به‌شــکلی فزاینده، در معرض بحران‌های ناگوار قرار دارند(Granath et al, 2012). زلزله، سیل، فقر، آ سیب‌های زیست محیطی، فقدان خدمات شهری، ضعف زیر ساخت های ا سا سی، فقدان د سترسی به زمین و سرپناه و در نهایت، اتلاف سرمایه‌های طبیعی و انسانی از جمله بحران‌های موجود در این‌گونه شهرها می با شد. در این زمینه، « شهر هو شمند» با بهره‌گیری از راهکارهای خلاقانه، «اینترنت ا شیا»، برای رفع ب سیاری از م شکلات شهرهای امروزی مطرح شده است. در واقع، شهرهای هوشمند، دیگر تخیلی دور از ذهن از آینده نیستند. با گسترش مفهومِ اینترنت اشیا سامانه های خبره، شبکه های هو شمند و ضعیت سنجی و تأثیرات انکارناپذیر آن بر حوزه ی خدمات ر سانی شهری، به تدریج شاهد ر شد فزاینده شهرهای مدرن هوشمند در اقصا نقاط جهان می باشیم (A.Mulligan et al, 2015).

۱-۱ مدیریت بحران با استفاده از محیط مجهز به سامانه های هوشمند

در عصر جدید، فناوری اطلاعات به بنیادی‌ترین محورِ تحول و توسعه در جهان تبدیل شده و دستاوردهای حاصل از آن، چنان با زندگی روزمره‌ی شهروندان عجین شده است که بی‌توجهی به آن، رفاه، آسایش و آرامش مردم را با اختلالی عظیم روبه‌رو می‌کند (Dodgson et al, 2015).

یکی از مهم ترین گستره‌های شهر هوشمند و اینترنت اشیا که با مدیریت بحران و مقاوم سازی در برابر بلایای طبیعی ارتباط نزدیک دارد، «پایش اثرات بلای طبیعی» است. در جهان امروز، اتصال اشیا به شبکه های رایانه ای و اینترنت، به سرعت روبه افزایش است و انسان برای مدیریت شایسته ی وضع موجود و منابعی که در اختیار دارد، ناگزیر است اطلاعات را با بهره‌گیری از حسگرهای گوناگون، از این اشیا گردآوری و تحلیل کند و بر پایه‌ی این تحلیل‌ها، تصمیم های لازم را اتخاذ نماید (Dewalska and Anna, 2014). در یک شهرهوشمند، اطلاعات توسط انواع حسگرها (سنسورها) جمع‌آوری می‌شود و با تبادل و به‌اشتراک‌گذاری این اطلاعات، امکان مدیریت لحظه‌ای سیستم‌های پیچیده‌ی شهری فراهم می‌شود. امروزه، به لطف پیشرفت در حوزه‌ی حسگرها و تجهیزات مخابراتی، امکان بهره‌گیری گسترده و ارزان‌قیمت از آنها در مناطق گوناگون شهری و غیرشهری فراهم شده است. بدیهی است با پایشِ هوشمندانه‌ی رخدادهای کوچک زیست‌محیطی، می‌توان از بروز بسیاری از فجایع بزرگ جلوگیری کرد و دست کم از خسارت‌های جانی و مالی فراوانی که برای شهروندان و طبیعت ایجاد می‌شود، به میزان چشمگیری کاست (Anttiroiko et al, 2015).

به طور کلی، سامانه‌های مطرح در محیط های هوشمند را می توان در چهار گروه زیر دسته بندی کرد:

۱) سامانه‌های پایش کیفیت و سلامت هوا، آب و خاک (داخل و خارج شهر، خروجی کارخانجات و ...)
۲) سامانه‌های تشخیصِ زودهنگام سیل، زلزله، طوفان، آتش‌سوزی جنگل‌ها و ...
۳) سامانه‌های پایش از راه دورِ انواع گونه‌های جانوری
۴) سامانه های وضعیت سنجی و پایش سلامت سازه های مهم مانند پل ها، سدها، تونل ها و ...

۱-۲ کاربرد اینترنت اشیا در پایش زلزله

هرساله بیش از ۷۰ تا ۷۵ زمین لرزه بزرگ در سراسر جهان در یک منطقه‌ی پرجمعیت با شدت کافی برای تخریب گسترده رخ می‌دهد که مرگ و بی خانمانی هزاران نفر را در پی دارد. بر پایه‌ی آمار موجود، به طور میانگین، هر ۱۰ سال یک زمین لرزه با بزرگی بیش از ۷ درجه ریشتر و هر سال ۱،۳ زمین لرزه با بزرگی بین ۶ تا ۷ درجه ریشتر و ۱۰ زمین لرزه با بزرگی ۵ تا ۶ درجه ریشتر در ایران روی داده است. بی‌توجهی به اصول مقاوم سازی در برابر زلزله، به‌ویژه در ساخت و سازهای روستایی، باعث شده است تا حتی زمین لرزه‌هایی با بزرگای متوسط نیز با تلفات جانی و خسارات مالی فراوان در کشور ایران همراه باشد(A. Mulligan et al, 2015).

Archive of SID
www.SID.ir

از آنجایی که زلزله بدون هیچ‌گونه هشدار قبلی رخ می‌دهد بنابراین می تواند به عنوان یکی از دلخراش ترین بلایای طبیعی محسوب شود این در حالی است که اگر بتوان چند ثانیه پیش از وقوع آن، به ساکنان منطقه هشدار داد و تدابیر خودکار ایمنی را به کار بست، از خسارات جانی این پدیده‌ی طبیعی، تا حد زیادی کاسته می‌شود، در همین زمان کوتاه، حرکت اتومبیل ها بر روی پل ها و تونل ها و قطارها و فعالیت دستگاه‌های خطرآفرین در کارخانه‌ها متوقف می‌شوند و بسیاری از ساکنان شهر فرصت رفتن به محیط امن را پیدا خواهند نمود (Amaba and Ben A, 2015).

IOT یا اینترنت اشیا می تواند به پیش بینی زلزله در شهرها کمک کند. در بکارگیری این فناوری مجموعه ای از ساختمان ها، پل ها، کابل های زیرزمینی، خطوط آب و فاضلاب، ترافیک، کیفیت هوا و... که همگی با استفاده از بسترهای مخابراتی خاصی با یکدیگر ارتباط دارند را تحت پایش به لحظه و برخط، سلامت سنجی و کنترل قرار دهد. در صورتی که وضعیت و شرایط از پیش تعریف شده برای این تعاملات به نحوی دچار اختلال شوند مشکلات عدیده ای برای شهروندان ایجاد خواهد شد و نیاز به اقدام و انجام عملیات حمایتی و ریکاوری در آن حوزه خواهد بود(C. Chin et al, 2010).

از جمله ایده های مفید در پیش بینی زمین لرزه و رفتار شناسی زلزله در گسل‌ها، بررسی و تحلیل هشدارهای ظریف، اما قابلِ تشخیص پیش از وقوع لرزش و زلزله اصلی میباشد. دانشمندان به شماری از سیگنال‌های هشداردهنده، از جمله رفتار عجیب حیوانات، تغییرات در مقدار آب دریاچه ها و الگوهای جریان الکتریکی و مغناطیسی در زمین دست یافته اند. اگر تجهیزات و دستگاه های IOT با شبکه حسگرهای چندگانه ی جاسازی‌شده در سازه های مهم، پل ها، ایستگاه های مترو، نیروگاه ها، تونل های زیرزمینی، دریاچه ها، جاده ها، کوه ها و... نصب و مرتبط شوند، می توان داده های گوناگون را در خصوص وضعیت و سلامت آنها دریافت و تحلیل نمود. اگرچه این پیش بینی کامل نیست، اما به کمک آن، محققین می توانند درک بهتری در رابطه با زمین لرزه‌های آینده و چگونگی رخداد آنها داشته و در نتیجه ابزار قابل اعتمادی را برای حمایت و کمک به مدیران شهری در زمان بحران های پیش آمده به دلیل زمین لرزه ایجاد می نماید و مدیران شهری می‌توانند شهروندان را برای زمین لرزه‌ی نهایی آماده کنند(A. C. D. Bonganay et al, 2017) (J. Cubo et al, 2016).

۱-۲-۱ سامانه‌های آمادگی در برابر زلزله در جهان

به طور کلی، در سطح بین‌المللی، دو نوع سامانه‌ی «هشدار سریع» و «پاسخ سریع» برای آمادگی کلان‌شهرها در برابر زلزله مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. هریک از این سامانه‌ها دارای ویژگی‌های خاص و کاربرد ویژه به شرح زیر می باشند:

۱-۲-۲ سامانه ی هشدار سریع EWS (Early Warning System)

امروزه در برخی از کشورهای توسعه یافته، سامانه‌های هشدار سریعِ زمین لرزه با بهره گیری از اختلاف زمانِ دریافت موج طولی و موج برگشتی کار می‌کنند. این نوع سامانه‌ها، امکان هشدار را، چند ثانیه پیش از رسیدن امواج ویرانگر زلزله (موج برگشتی S) فراهم می سازد (Craglia, et al, 2015). مهم ترین چالش پیرامون راه اندازی سامانه های الکترونیکی هشدار زلزله، هزینه‌های اولیه‌ی پیاده سازی سیستم و مخارج بالای نگهداری آن است. در این نوع سامانه‌ها، توزیع شمار فراوانی از حسگرها در یک منطقه‌ی جغرافیایی گسترده، برای انتقال سریع اطلاعاتِ مربوط به زلزله ضروری است. در مطلوب ترین حالت، این سامانه‌های الکترونیکی اخطارها را چند ده ثانیه پیش از رویداد زمین لرزه اعلام می‌کنند که زمانی بسیار اندک است، اما همین زمان اندک، با قطع جریان سیستم‌های خطرآفرین مانند گاز، الکتریسیته و آب و آمادگی نسبی نهادهای مسئول و نیز شهروندان می‌توانند خسارات را تا حد زیادی کاهش دهند. بنابراین به طور کلی، سامانه های هشدار سریع زلزله، برای شهرهایی که فاصله ی بیشتری از کانون لرزه دارند، مناسب ترند (B. Ndibanje et al, 2015).

سامانه ی هشدار سریعِ زلزله شهر مکزیکوسیتی با شمار زیادی دستگاه شتاب نگار، یکی از نمونه‌های بارزسیستم پیش اخطارمی باشند. در این شهر، کانون‌های لرزه‌خیز، در فاصله‌ی ۳۰۰ کیلومتری شهر قرار گرفته اند. لذا اختلاف زمانِ دریافت امواج طولی و عرضی زلزله حدود ۴۰ ثانیه است. این زمان، امکان واکنش سریع بسیاری از مراکز پرخطر، از جمله شبکه‌ی برق، گاز، راه آهن، مترو و... را ممکن می سازد. سامانه ی توقف اضطراری قطارهای مدیترانه (فرانسه)، یکی دیگر از سامانه‌های

Archive of SID
www.SID.ir

هشدار سریع جهان است که از این فناوری استفاده می نماید. در این سامانه، ۲۴ حسگر در طول ۲۴۰ کیلومتر از خطوط ریلی فرانسه نصب شده است. در شرایط رویداد زمین‌لرزه و احتمال خسارت به خطوط ریلی، سامانه‌ی مزبور قطار را به طور خودکار متوقف می‌کند اگرچه تعداد حسگرها نسبتا کم می باشد . این سامانه به خوبی باعث توقف خودکار قطار در زمان وقوع زلزله میگردد.

۱- ۲- ۳ سامانه‌ی پاسخ سریع RRS (Rapid Response System)

سامانه‌های پاسخ سریع، پس از دریافت اطلاعات زمین لرزه از طریق حسگرهای نصب شده با توجه به مشخصات زلزله، ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات، مشخصات فنی ساختمان‌ها را از نظر استحکام و آثار مخرب زلزله به بافت شهری ارزیابی کرده و با ارائه‌ی بهنگامِ نقشه‌های خسارت، مدیریت بحران زلزله و یکپارچه سازی عملیات امداد و نجات، در بازه ی زمان طلایی پس از وقوع آن اولویت های حمایتی را مشخص می سازد. از جمله سامانه‌های پاسخ سریع زلزله، سامانه‌ی هشدار و پاسخ سریع شهر استانبول می باشد. پژوهش‌ها حاکی از آن است که به احتمال ۷۰ درصد، در طی ۲۵ سال آینده، زمین‌لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۷٫۲ ریشتر در شهر استانبول رخ می‌دهد. بنابراین، با توجه به تراکم جمعیت و موقعیت این شهر به عنوان قطب اقتصادی ترکیه، ضرورت وجود سامانه‌ی پاسخ سریع در این شهر به‌شدت احساس می‌شد و در پی آن، با نصب حدود ۱۵۰ دستگاه شتاب نگار در این کلان شهر پایش ارتعاشات و جابجایی های نقاط مهم به صورت بر خط امکانپذیر گردیده است. این سامانه ترکیبی از دو سامانه‌ی هشدار سریع و پاسخ سریع است که علاوه بر محدوده‌ی استانبول، با ارسال SMS، مناطق مجاور را نیز می تواند از وقوع زلزله آگاه نماید.

۱- ۳ سوابق تجربه‌های موفق پایش زلزله

سامانه ی پیشرفته ی لرزه نگاری ملی ایالات متحده، از شتاب‌سنج‌ها و تجزیه و تحلیل داده های زمان واقعی برای نظارت بر سلامت ساختاری ساختمان ها در مناطق زلزله خیز بهره گیری می کند. حسگرهای جابجایی درجه ی حرکت جنبش را تشخیص می‌دهند و می‌توانند سرعتی را که امواج لرزه‌ای از طریق ساختمان عبور می دهد و باعث تغییر در چهارچوب ساختمان ها می شوند را شناسایی کنند. نرم‌افزارهای به‌کاررفته شده می‌توانند داده‌ها را بلافاصله برای تعیین ساختار ساختمان، تجزیه‌وتحلیل کند و گزارش مرتبط را به سازمان های مربوطه ارسال نماید (Lim, K et al, 2015).

کره جنوبی به صورت گسترده از سامانه های پاییش سلامت و وضعیت سازه های مهم بهره برداری نموده است یکی از نخستین پل‌های هوشمندِ تمام‌اتوماتیک در دنیاست که به سامانه‌ای با بیش از ۶۰۰ حسگرِ بی‌سیم مجهز شده است. این سامانه به طور مداوم، سلامت ساختاری پل را پایش می کند. لازم به ذکر است موج زلزله با سرعت تقریبی ۳٫۲ کیلومتر بر ثانیه حرکت می‌کند؛ حال با فرض اینکه شهری از کانون زلزله ۳۲ کیلومتر فاصله داشته باشد، ساکنان این شهر ۱۰ ثانیه زمان دارند تا در مکان امنی پناه بگیرند. خسارت به زیرساخت‌ها را با غیرفعال‌کردنِ خودکار سیستم حمل‌ونقل عمومی، شبکه های گاز، آب، می تواند به شدت کاهش دهد(Anttiroiko et al, 2015).

ژاپن به عنوان یکی از کشورهای زلزله خیز، پس از زلزله ی مرگبار ۷٫۳ ریشتری در سال ۱۹۹۵ که به کشته شدن حدود ۶/۵ هزار نفر از شهروندان آن کشور انجامید. سرمایه گذاری وسیعی را در پیاده سازی راهکارهای کاهش تلفات زلزله انجام داد. در این زمین لرزه، حدود ۷۰۰ نفر در آتش سوزی تأسیسات شهری، جان خود را از دست دادند؛ درحالی‌که در زلزله‌ی ۸٫۹ ریشتری و سونامی مهیب ۲۰۱۱ در سندای ژاپن، به کمک سامانه‌های هوشمند، علاوه بر جلوگیری از حوادث ثانویه و اطلاع رسانی ۸ دقیقه پیش از سونامی به روش‌های گوناگون برای تخلیه‌ی ساحل اقدام گردید و شمار کشته ها به حدود ۱۵۰۰ نفر کاهش یافت. اکنون ژاپن، با بیش از یک و نیم میلیارد دلار سرمایه‌گذاری، پیشرفته‌ترین کشور در بکارگیری سامانه‌ی پیش‌بینی زلزله محسوب می شود (Komninos et al, 2012).

طراحی، ساخت و بکارگیری حسگرهای دقیق و موثر به همراه کاهش مطلوب قیمت آنها و سادگی در اتصال به اینترنت یکی از دلایل استقبال دولت ها از فناوری اینترنت اشیا در این حوزه به شمار می رود. در این راستا شرکت های ژاپنی علاوه بر

Archive of SID
www.SID.ir

توسعه روشهای مطلوب برای تولید حسگر های مختلف به صورت گسترده نسبت به بکارگیری آنها در ساختارهای شهرهای هوشمند با استفاده از فناوری IOT اقدام نموده اند (Tranos et al, 2015).

۱- ۴ فیبر نوری وکاربرد فناوری FBG جهت اندازه گیری تنش و حرارت

صنعت فیبر نوری طی 25 سال گذشته پیشرفت زیادی داشته است. در ابتدا به عنوان بستری برای حمل نور و تصویر برای کاربردهای آندوسکوپی پزشکی استفاده می شد .در اواسط دهه ی 1960برای انتقال اطلاعات مکالمات مورد استفاده گسترده قرار گرفتند .تاکنون فناوری فیبر نوری موضوعی شایان توجه برای پژوهش بوده است به طوری که امروزه سیستم های ارتباطی با امواج نوری، روش ترجیح داده شده برای انتقال مقدار انبوه داده و اطلاعات از نقطه ای به نقاط دیگر است . دلایل جذابیت الیاف نوری میزان اتلاف کم، عرض باند زیاد، اطمینان الکترومغناطیسی، اندازه ی کوچک، وزن کم، ایمنی مطلوب، قیمت نسبتاً کم، نیازکم به بازسازی و نگهداری و غیره است (W. Li et al, 2018).

فیبرهای نوری در کاربردهایی چون سنسورها، کنترل و تجهیزات مورد توجه قرار گرفته اند. الیافی که برای این کاربردها ساخته می شوند دارای حساسیت بالاتری نسبت به انواع دیگری که در صنایع ارتباطات بکار گرفته می شوند هستند و شبکه های فیبر نوری براگ FBG طی چند سال گذشته بطور گسترده در صنعت مخابرات برای چندگانه سازی طول موج متراکم،(de-multiplexing) جبران پاشندگی، پایدارسازی لیزر و ارتقا تقویت کننده ها تا ۱۵۵۰nm مورد استفاده قرار گرفته اند(Fidanboylu et al, 2015). پیاده سازی سامانه سلامت سنجی مبتنی بر حسگرهای FBG پیاده شده جهت سنجش ارتعاشات به صورت نمونه اولیه در آزمایشگاه فیبر نوری دانشکده علمی کاربردی پست و مخابرات وابسته به وزارت فناوری ارتباطات و اطلاعات در شکل ۱-۱ ارایه گردیده است.

FBG ها برای طیف وسیعی از کاربردها از جمله سازه های ساختمانی (سدها)، تست های غیرمخرب(کامپوزیت ها،ورقه ایی ها)، سنجش از راه دور(چاه های نفت)، سلامت سنجی کابل های برق، خطوط لوله، ایستگاه های فضایی)، سازه های هوشمند(بال های هواپیما، بدنه های کشتی)، اندازه گیری کرنش، فشار و دما مورد تحقیق قرار گرفته اند .مزیت اصلی FBG ها این است که این ابزارها تبدیل مستقیم پارامتر حس شده را به طول موج نوری، مستقل از سطوح نور، اتلاف های متصل کننده ی فیبری و یا سایز FBGها در طول موج های مختلف انجام می دهند. همچنین از حسگرهای فیبر نوری برای اندازه‌گیری از راه دور در کاربردهای گسترده‌و متفاوت مانند اندازه‌گیری دما، فشار، رطوبت ،سرعت و حس‌گرهای شیمیایی که در آن‌ها طرح اندازه‌گیری از راه دور برای برآورده کردن نیازمندی‌های این‌گونه کاربرهای ضروری است استفاده می شود. اندازه گیری تنش ها و ارتعاشات به وجود آمده به دلیل زمین لرزه یکی از کاربردهای مهم این گونه حسگرها می‌تواند محسوب گردد زیرا می‌توان کمیتهای فیزیکی مورد نظر را با دقت بسیار زیاد اندازه گیری نمود و با استفاده از بستر انتقال داده فیبر نوری ضمن بهره گیری از مزایای مخابرات فیبر نوری نسبت به انتقال اطلاعات پخش شده به مسافت های بسیار دور از طریق شبکه‌های مختلف مبتنی بر فناوری فیبر نوری اقدام نمود، اندازه‌گیری، کنترل و تحلیل داده برای اهداف نظارتی از طریق ارتباطات اپتیکی و شبکه اینترنت را محقق نمود. در این تحقیق با توجه به مراتب فوق اندازه گیری ارتعاشات و جابجایی به عنوان یکی از اهداف مهم مورد نظر قرار گرفته است. استفاده خطی از حسگرهای فیبر نوری درون یک شبکه پیاده‌سازی شده به منظور پایش و سلامت سنجی پیشنهاد گردیده است. در طرح پیشنهادی کاربرد FBG ها برای اندازه‌گیری از راه دور ارتعاشات در سطوح و مقاطع مورد نظر و سلامت سنجی همه ی زیرساخت های مشخص شده به صورت همزمان امکان پذیر گردیده است (M.H.Hedayati et al, 2018).

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۱-۱ مدل آزمایشگاهی سامانه سلامت سنجی مبتنی بر FBG (دانشکده علمی کاربردی پست و مخابرات)

Archive of SID

۱-۴-۱ مزایای استفاده از تکنولوژی FBG

۱) کلاً غیرفعال، گرمایش سنجی غیر مقاومتی
۲) اندازه کوچک
۳) باند باریک با دامنه طول موج وسیع
۴) غیر هادی(ایمن در مقابل تداخل الکترومغناطیسی)
۵) از نظر محیطی پایدارتر(شیشه در مقابل مس)
۶) اتلاف پایین فیبر به خصوص در محدوده 1550 nm
۷) هزینه خیلی پایین بواسطه سادگی ابزار
۸) نیاز به تعمیر و نگه داری ناچیز
۹) دارای عمر طولانی

۱-۴-۲ ساختار، تئوری و عملکرد شبکه فیبر براگ FBG (fiber bragg grating)

فیلتر بازتاب دهنده وابسته به طول موجی می باشد که به وسیله‌ی ایجاد تغییرات متناوب در ضریب شکست هسته‌ی فیبر نوری تشکیل می‌شود. FBG ها در قسمت کوتاهی از طول قیبر نوری (در حدود ۷-۵ میلیمتر و با فواصل پنجره حدود ۵۰۰ نانومتر) ساخته شده و می‌تواند طول موج‌های خاص از نور را منطبق با طول موج براگ (λ_B) و در رابطه با فاصله پنجره ها و تعداد آنها بازتاب دهد و مابقی طول موج ها را از خود عبور دهد. زمانی که یک طیف نوری از داخل فیبر عبور می‌کند، وقتی به شبکه برخورد می‌کنند، بخشی از آن بازتاب داده می‌شوند و بخشی دیگر از شبکه عبور می‌کنند. سیگنال منعکس شده بسیار نازک خواهد شد و بر طول موج Bragg منطبق می‌شود. هر تغییری در فاصله‌ی تناوب‌ها در شبکه که توسط کرنش و یا تغییرات دما ایجاد می‌شود می‌تواند موجب تغییر طول موج Bragg شود. این خاصیتی است که در کاربری‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

سنسورهای FBG مقبولیت زیادی را در کاربردهای پایش سلامت برای اندازه گیری کرنش، تنش، ارتعاشات، آکوستیک، شتاب، فشار، دما در صنایع مختلفی چون صنایع نظامی، هوایی، خودروسازی، سازه‌های عمرانی، پتروشیمی و ... پیدا کرده است. به دلیل وزن کم، مبدل‌های سایز کوچک و مقاومت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی، این سنسورها به راحتی می‌توانند در در داخل قطعه و یا در سطح آن کار گذاشته شوند و درشرایط نامناسب و محیط‌های خطرناک بکار گرفته شوند.

www.SID.ir

سنسور های FBG می‌توانند بر روی فیبرهای نوری شیشه‌ای و یا پلاستیکی تولید شوند. با استفاده از این سنسورها میتوان از یک فیبر به عنوان چند سنسور برای اندازه گیری پارامترهای مختلف استفاده کرد.

در واقع FBG به عنوان یک فیلتر طیفی عمل می‌کند، بدین ترتیب که طول موج‌های خاصی از نور را که نزدیک طول موج‌های رزونانس Bragg است را به سمت عقب فیبر بازتاب داده و به آنها اجازه عبور از شبکه را نمی‌دهد و سایر طیف‌های سیگنال‌های نوری را از شبکه عبور می‌دهد.

در حال حاضر FBG به میزان زیادی در حوزه‌های مختلفی مانند ارتباطات، پردازش سیگنال و کاربردهای حسگری استفاده می‌شود. FBG شامل یک مدولاسیون تناوبی از ضریب شکست در هسته‌ی یک فیبر نوری تک-مد می‌باشد. طول‌موج FBG به‌صورت شکل ۱-۳ نشان داده می شود.

$$\lambda_B = 2n\,\Lambda \quad (1)$$

λ_B طول‌موج مرکز فضای آزاد نور ورودی است که از یک توری براگ منعکس خواهد شد و n ضریب شکست موثر هسته فیبر در طول‌موج مرکز فضای آزاد است و Λ دوره تناوب شاخص شبکه براگ می‌باشد.

۱-۴-۳ حساسیت نسبت به بار

بار اعمال‌شده روی یک شبکه براگ نشان‌دهنده‌ی تأثیر استرس/کشش روی یک فیبر نوری است که به بار شی مرتبط است.

شکل ۱-۲ عملکرد فیزیکی یک حسگر FBG در رابطه با اندازه تغییرات تنش و حرارت به ازای طول موج های بازتابش

تغییر مربوط به فاصله شبکه های براگ و تغییرات ناشی از تنش نوری که بدلیل تغییر در ضریب شکست میباشد به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\lambda\Delta_B = \lambda_B(1 - P_e)\varepsilon \quad (2)$$

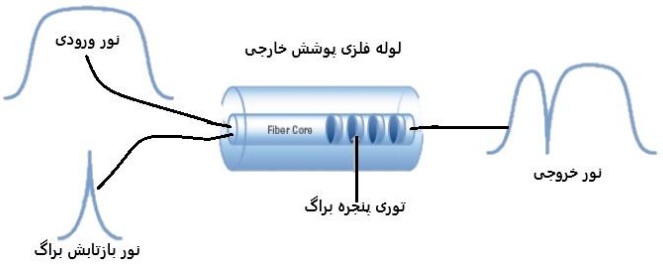
که در آن ε یک ضریب ناشی از کشش و p_e یک ضریب تنش نوری مؤثر می‌باشد به‌صورت زیر تعریف شده است.

$$P_e = \frac{n^2}{2}\left[P_{12} - V(P_{11} - P_{12})\right] \quad (3)$$

p11 و p12 اجزای حس‌گر تنش نوری، n شاخص هسته می‌باشد و v نرخ پوآسن است. برای یک فیبر نوری متداول p_{11}=0.113، p_{12}=0.252، v=0.16 و n=1.482 می‌باشد. با استفاده از مقدار p_e، معادله (۲) به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$\lambda\Delta_B = (0.30)\lambda_B\varepsilon \quad (4)$$

تغییر $\lambda\Delta_B$ زمانی رخ داد که فشار واردشده روی فیبر تشخیص داده شد و رابطه بین فشار اندازه‌گیری شده و $\lambda\Delta_B$ مشاهده گردید که می‌تواند در کاربردهای وابسته به حفاظت در برابر فشار استفاده شود (M.H.Hedayati et al, 2018).



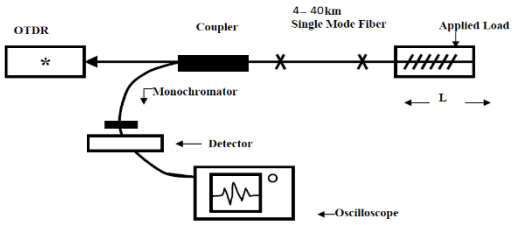
۲ تشریح فرآیند پایش و سلامت سنجی پیشنهادی

۲-۱ طرح سامانه سلامت سنجی مبتنی بر FBG

سامانه پیشنهادی اندازه‌گیری ارتعاشات تنش و حرارت در محل نصب حسگرها را به عهده داشته و می‌تواند به‌طور همزمان ارتعاشات و تنش ها در نقاط مختلف سازه های منتخب آن را از راه دور اندازه گیری نماید. این سامانه پس از تجزیه تحلیل

Archive of SID
www.SID.ir

داده ها، جهت انجام فرایند کنترل و تصمیم سازی مورد نیاز اطلاعات مذکور را می تواند به یک شبکه مدیریت دانش انتقال دهد. استفاده از حسگر های شبکه توری براگ به عنوان یک سنجشگر که می تواند به شبکه ایجاد شده متصل گردد و اطلاعات خود را از طریق بستر فیبر نوری مخابراتی ارسال نماید برای این‌گونه از کاربردها در نظر گرفته شده است. در این ماژول، انعکاس طول موج های خاص براگ به عنوان ناظر بر تنش و ارتعاشات اعمال شده به حسگر در نظر گرفته شده است. اندازه‌گیری طول موجی که بتواند خواسته های سیستم پایش را برآورده کند از خروجی های این سامانه می باشد. دیاگرام شماتیک سامانه پیش نهادی و نحوه تنظیمات راه‌اندازی آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است. پالس نوری از طریق منبع نوری مشخص شده یا OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) به درون یک کوپلر 2*1 ارسال می شود که یکی از پرتوهای نوری از درون یک فیبر عبور کرده و سپس از یک حسگر شبکه ای براگ عبور می‌کند درحالی‌که پرتوی دیگر در ناحیه کوپلر از بین می‌رود. سیگنال تداخلی درون دستگاه حسگر رخ می‌دهد و سپس به ناحیه‌ی کوپلر منعکس می‌شود و سپس به مونوکروماتور رسیده و سپس توسط یک موج یاب تشخیص داده‌شده و با اسیلوسکوپ نشان داده می‌شود. سطح سیگنال، برای مثال ولتاژ، همان‌گونه که در بخش تئوری تشریح گردید به پارامتر اندازه‌گیری موردنیاز تفسیر می‌شود. طول‌موج اسکن شده ۱ نانومتری برای تشخیص شدت خروجی در نقطه‌ی اوج موردنظر به‌کاررفته است. میزان مشخصی از شدت تشخیص داده‌شده و طول بازه زمانی را می‌توان روی اسیلوسکوپ مشاهده و اندازه‌گیری کرد. شکل ۲-۱ نمای شماتیک را نشان میدهد.

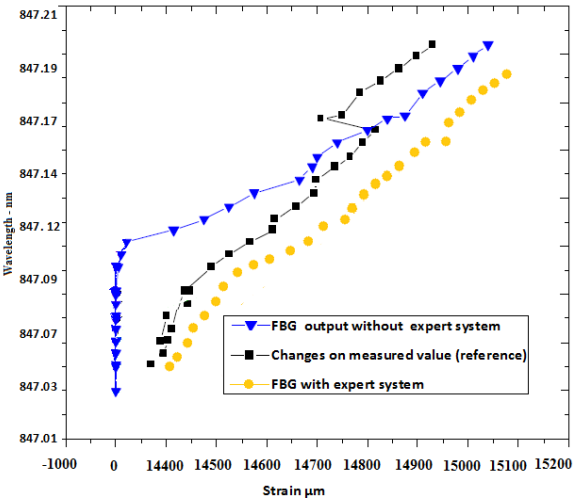


شکل ۲-۱ نمای شماتیک موقعیت حسگر FBG و نحوه ارتباط آن در یک سامانه ی اندازه گیری تنش

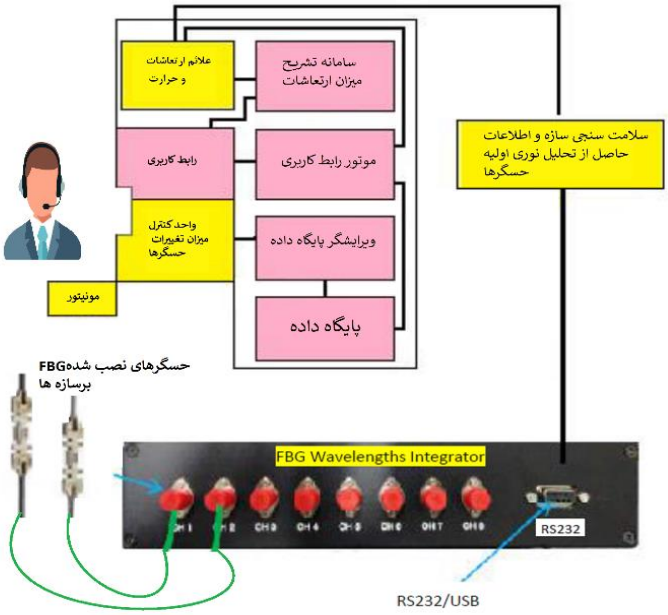
در این طرح با توجه به تحلیل خروجی اخذ شده از حسگرها توسط ابزار تحلیلگر نوری استفاده از یک نرم افزار تصمیم ساز با الگوریتم ارایه شده در شکل ۲-۲ استفاده شده است. اطلاعات اخذ شده از حسگر و تحلیل گر نوری پس از انتقال به سامانه خبره و مقایسه اطلاعات موجود در خصوص سلامتی سازه با تصحیح به صورت نمودار شکل ۲-۳ ارایه می شود. در این نمودار مقایسه سیگنال ها با تاثیر سامانه خبره ارایه گردیده است.

شکل ۲-۲ سامانه خبره پیش نهادی جهت ارتقای وضعیت سیگنال خروجی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲-۳ مقایسه خروجی سامانه تحلیل سیگنال بازتابش FBG در مقایسه با شرایط بکارگیری سامانه خبره

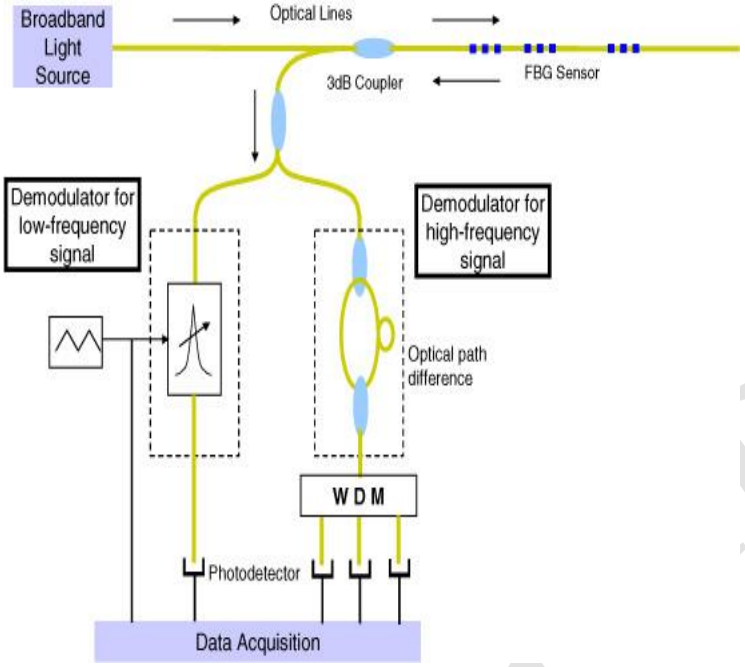


۲-۲ فناوری FTTH و شبکه نوری غیر فعال PON(Passive Optical Network)

شبکه فیبر نوری تا درب خانه یا FTTH به عنوان یک ضرورت حوزه فناوری ارتباطات هم اکنون در بسیاری از شهرهای کشور به عنوان بستر اصلی انتقال داده های اینترنت در حال اجرا می باشد. اساساً FTTH یک شبکه دسترسی نوری باند پهن با توپولوژی یک نقطه به چند نقطه است. دارای عناصر غیر فعال می باشد و ارائه دهنده سرویسهای مختلف سرویس Data, Voice, CAT می باشد در این شبکه از جدا کننده های نوری غیر فعال برای تقسیم پهنای باند از یکدیگر و بین چندین کاربر در فاصله تا حدود ۲۰ کیلومتر استفاده می‌شود، شکل ۲-۲ نحوه قرار گیری سنسور نوری در شبکه ی مخابراتی نوری را نشان می دهد. در این تکنیک از OLT در مراکز مخابراتی و ONU در نزدیکی کاربر استفاده می‌شود که آنها عناصر فعال می‌باشند این در حالی است که تمام تجهیزات میانی و جداکننده ها در فاصله بین OLT و ONU غیر فعال هستند و نیازی به تغذیه الکتریکی ندارد در طرح پیشنهادی ارسال کننده های سیگنال حسگرهای FBG در بخش OLT می باشد و به شبکه FTTH وارد می شوند (White Paper2013).

Archive of SID

www.SID.ir



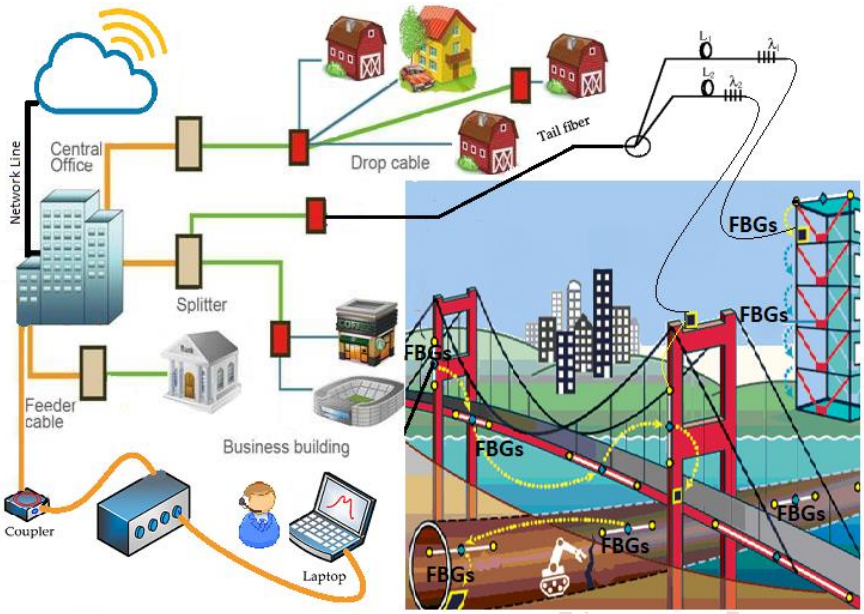
شکل ۲-۴ چگونگی قرار گرفتن حسگرهای FBG در یک شبکه مخابراتی

در این تحقیق ضمن بررسی نحوه بکارگیری حسگرهای FBG در شبکه FTTH و عملکرد آن به عنوان یک شبکه سنجشگر ارتعاشات حاصل از زمین لرزه یک راهکار فناورانه در خصوص مانیتورینگ و پایش وضعیت و سلامت در زیرساخت های شهری، ارائه راهکارهای مناسب جهت ارزیابی ایجاد یک سامانه جامع اندازه گیری ارتعاشات حاصل از زلزله با استفاده از سامانه ها و شبکه های موجود مخابراتی اقدام گردیده است. *شکل ۲-۵ طرح پیش نهادی سامانه سلامت سنجی تاسیسات و ساختار های شهری با استفاده از شبکه FTTH را نشان می دهد.*

FTTH یک تکنولوژی قابل اعتماد و کارآمد می باشد و برتری های زیادی نسبت به فناوری های کنونی دارد. مانند پهنای باند بالا، هزینه کم، امنیت بیشتر و ...غیره . به همین دلیل FTTH در کشورهای مختلف بسیار مورد استفاده قرار گرفته و به سرعت در حال توسعه می باشد. مزیت اصلی FTTH یا fiber-to-the-premises FTTP: این است که امکان اتصال پرسرعت تر در فاصله بیشتری نسبت به کابلهای Twisted Pair، خطوط DSL یا کابل کواکسیال را دارا می باشد. برای مثال یک زوج سیم مسی توانایی انتقال ۶ تماس تلفنی را دارد. ولی یک زوج فیبر می تواند ۲/۵ میلیون تماس تلفنی را به صورت همزمان انتقال دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲-۶ طرح پیش نهادی سامانه سلامت سنجی تاسیسات و ساختار های شهری با استفاده از شبکه FTTH

اتصالات فیبر به خانه، تنها فناوری با پهنای باند کافی برای راه اندازی فناوری های پیشبینی شده برای کاربران خانگی و اداری و درخواستهای مشترکان با قیمت مناسب در دهه ی آینده می باشد. فیبر واقعاً دارای پهنای باند نامحدودی می باشد، علاوه بر اینکه فاصله دسترسی طولانی دارد. ایجاد این شبکه به عنوان یک شبکه امن و یک رسانه استاندارد زمان زیادی را سپری خواهد کرد. با وجود اینکه پهنای باند فوق العاده زیادی دارد ولی در قیمت تقریباً با فناوری های کنونی قابل مقایسه می باشد. بر اساس اطلاعات اتحادیه بین المللی مخابرات راه دور(ITU) هزینه های کابل کشی با استفاده از فناوری FTTH کمتر از هزینه های سیم کشی های کابل های مخابراتی است.

FTTH با داشتن قابلیت کاربرد در استفاده های نسل آینده اینترنت می‌تواند قابلیت‌های انتقال داده‌هایی بسیار زیاد را نیز داشته باشد مانند انتقال سند های سه بعدی و یاHDTV. برای رسیدن به این فناوری ها FTTH قابلیت دسترسی اینترنتی با سرعت چند گیگابایت درثانیه را دارد همچنین ارتباطات پهن باند FTTH قابلیت گردآوری سرویس های ارتباطی سه گانه یا) Triple Playدیتا، صوت، تصویر) را برای مشترکان دارد.

با توجه به توانمندی های مذکور هزینه‌های کاربران کاهش یافته و دریافت سرویس ها نسبت به خطوط قدیمی بسیار آسان تر خواهد بود از مهم‌ترین مزایای FTTH ارایه یک پهنای باند بسیار بالا با قابلیت اطمینان و کارآمدی و تنوع برای کاربران می باشد. بنابراین فناوری مذکور تنها راه برای تحقق نیاز به پهنای باند بالای کاربران می باشد (White Paper2013).

اتصال Broadband این فناوری موجب خلق محصولات جدید شده که علاوه بر فرصت‌های اقتصادی جدید می‌تواند بستر مطلوبی برای حمایت از ارائه خدمات و سرویس‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیاء، حسگرها و پزشکی از راه دور محسوب شود.

بخش گسترده ای از شبکه های فیبر تا درب خانه اصولا از فناوری PON[۱] بهره برداری می‌نماید. PON یک شبکه فیبر نوری است که بعد از فیبر و قطعات غیر فعال مانند تقسیم کننده ها و وصل کننده ها بدون بکارگیری مدارهای الکترونیکی و تغذیه الکتریکی استفاده می نماید در این شبکه تقویت کننده های الکترو آپتیکی و تکرار کننده ها با تغذیه الکتریکی وجود ندارند. هزینه های نصب و بهره بردای این شبکه ها به دلیل عدم وجود قطعات اکتیو و نیازمند به تغذیه الکتریکی به طور چشمگیری کاهش یافته است. بیشترین عیب آنها کوچک بودن بازه پوشش به دلیل محدود بودن توان سیگنال نوری می باشد. یک شبکه فعال نوری به راحتی میتواند یک بازه ی ۲۰ کیلومتری را پوشش دهد ولی یک شبکه PON حداکثر قابلیت

[۱] Passive Optical Network

Archive of SID
www.SID.ir

پوشش ۲۰ کیلومتری را دارد. عبارت FTTx بیانگر آن است که فیبر تا چه محلی و چگونه کشیده شده است در ترکیب FTTH منظور از H خانه است که به جای X قرار گرفته است و در نوع FTTP، P به معنای Premises یا دارای ها و سایت هایی می باشد. و در ترکیب FTTB منظور از B اصطلاح Building است که این ۳ ترکیب می‌توانند بسته به ضرورت مورد استفاده قرار میگیرند. مزیتهای کلی FTTH را می توان به شرح زیر ارایه نمود :

- کاهش هزینه تجهیزات نگهداری شبکه
- پاسخگو به نیازهای آینده
- قابلیت اطمینان و امنیت بالا
- توانایی انتقال همه سرویس ها روی یک مسیر باند پهن با سرعتی بیشتر از ۱۰۰ Mbps تا ۱Gbps برای هر کاربر
- افزایش سرویس های ارزش افزوده و ایجاد فرصتهای تجاری جدید
- عدم تاثیرات محیطی و همچنین عدم تداخل الکترومغناطیسی
- بالا بردن کیفیت زندگی

۳ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج اولیه به‌دست‌آمده از این حقیق نشان می دهد روش پیشنهادی اندازه گیری از راه دور می تواند به خوبی در شبکه FTTH پارامترهای مورد نظر (تنش و تغییر حرارت) را اندازه گیری نماید. نتایج اولیه به دست آمده در مدل آزمایشگاهی نشان می دهد که سامانه طراحی شده میتواند بستر مطلوبی را جهت تامیین اطلاعات سامانه های نظارتی و تصمیم سازی محقق نماید. از آنجاییکه زمین‌لرزه تقریباً هرگز مردم را به طور مستقیم نمی‌کشد. مرگ‌ومیر و بسیاری از صدمات، افزون بر سقوط اجسام و فروپاشی سازه‌ها، ناشی از آتش‌سوزیِ حاصل از شکستگی خطوط گاز، اختلال در خطوط برق و یا نشت مواد شیمیایی خطرناک در زمان وقوع زلزله می باشد.

به طور کلی در حدود ۹۰ درصد از مساحت کشور تحت پوشش گسل های مختلف می باشد، با پاییش فعالیت این گسل ها و بکارگیری حسگرهای دقیق و موثر می توان به شکل کارآمد تاثیرات جابجایی و ارتعاشات ایجاد شده در مراکز متراکم جمعیتی و کلان شهرها را مورد بررسی ومطالعه قرار داد.

بکار گیری این اطلاعات در قالب داده های تصمیم ساز و استفاده از فناوری اینترنت اشیا می تواند محیط زیستی امن تر را برای شهروندان فراهم آورد و در نهایت با بکار گیری سامانه های جامع و روزآمد کاهش تلفات جانبی و مالی را در کنار دیگر راهکارهای تصمیم سازی بخصوص در کلان شهر در زمان وقوع زلزله شاهد باشیم.

در این تحقیق ضمن ارائه یک راهکار عملی نوین جهت مونیتورینگ و پایش اثرات زمین لرزه در نقاط دور از شهر، امکان بکارگیری روش پیشنهادی برای زیرساخت های مهم در یک شهر نوین مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. معایب و مزایای سیستم مانیتورینگ و پایش متداول و ماژول پیشنهادی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت . استفاده از شبکه حسگر های فیبر براگ برای کاربردهای مرتبط با استفاده از فناوری FTTH و اندازه‌گیری اپتیکی از راه دور تنش در سازه ها و محل نصب حسگرها مورد بررسی قرار گرفت و نمونه هایی از خروجی سیستم پایش پیشنهادی از طریق تحلیل اطلاعات اپتیکی حسگرهای FBG ارائه گردید. نتایج بدست‌آمده نشان می دهد که بین تنش اعمال‌شده و تغییرات طول‌موج رابطه خطی وجود دارد. سیگنال‌های اندازه‌گیری شده از نقاط شروع و نقاط پایان نیز می‌تواند برای مشخص کردن ارتعاشات، تنش و تغیرات حرارت به کار گرفته شوند و سپس سیگنال های تحلیل شده می توانند جهت تصمیم سازی به موقع و اقدام به سامانه های هشدار پیش بینی شده منتقل گردند. نتایج این تحقیق می تواند به صورت بسیار گسترده در شبکه FTTx کشور در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

Archive of SID
www.SID.ir

۴ منابع

Mohammad Reza Hedayati, Ali Asghar Amidian, Mohammad Hossein Amiri, Fatemeh Khodadadi. 2018. Fiber Bragg Grating (FBG) Sensing Network Condition Monitoring of Harbour and Jetty Structures in Iran, ICSES Transactions on Computer Networks and Communications (ITCNC), Pages 1-6, Vol. 4

W. Li, C. Xu, S. Ho, B. Wang, and G. Song, 2017. Monitoring Concrete Deterioration Due to Reinforcement Corrosion by Integrating Acoustic Emission and FBG Strain Measurements, Sensors, vol. 17, no. 3, p. 657

C. Chin, 2010. fiber-optic smart structures for monitoring and managing the health of transportation infrastructures, Project Report

Lim, K.; Wong, L.; Chiu, W.K.; Kodikara, J. 2015. Distributed fiber optic sensors for monitoring pressure and stiffness changes in out-of-round pipes. Struct. Control Health Monit. 23, 303–314

P.T. Inovacoo, Evolution of FTTH Networks for NG-PON2, White Paper 2013

Fidanboylu, K, and Efendioglu, H. S., Fiber Optic Sensors and Their Applications, proceeding of the 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09), Karabuk,

Komninos, Nicos, Marc Pallot, and Hans Schaffers. 2012. Special Issue on Smart Cities and the Future Internet in Europe. Journal of the Knowledge Economy 4(2):119–34.

Tranos, Emmanouil, and Drew Gertner. 2015. Smart Networked Cities Innovation: The European Journal of Social Science Research 25(2):175–90.

B. Ndibanje, H.-J. Lee, and S.-G. Lee. 2015. Security Analysis and Improvements of Authentication and Access Control in the Internet of Things, Sensors, vol. 14, no. 8, pp. 14786–14805.

Granath, Malin, and Karin Axelsson. 2014. Stakeholders' Views on ICT and Sustainable Development in an Urban Development Project. in ECIS 2014 Proceedings - 22nd European Conference on Information Systems. Association for Information Systems.

A. Mulligan, Catherine E., and Magnus Olsson. 2015. Architectural Implications of Smart City Business Models: An Evolutionary Perspective. IEEE Communications Magazine 51(6):80–85.

Amaba, Ben A. 2015. Industrial and Business Systems for Smart Cities. Pp. 21–22 in Proceedings of the 1st International Workshop on Emerging Multimedia Applications and Services for Smart Cities - EMASC '14. New York, New York, USA.

A. C. D. Bonganay, J. C. Magno, A. G. Marcellana, J. M. E. Morante, and N. G. Perez. 2017. Automated electric meter reading and monitoring system using ZigBee-integrated raspberry Pi single board computer via Modbus," in 2017 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS). pp. 1–6.

Anttiroiko, Ari-Veikko, Pekka Valkama, and Stephen J. Bailey. 2015. Smart Cities in the New Service Economy: Building Platforms for Smart Services." AI & SOCIETY 29(3):323–34.

Cohen, Stephen, William Money, and Michele Quick. 2014. Improving Integration and Insight in Smart Cities with Policy and Trust. Pp. 1–9 in Proceedings of the 4th International nference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14) - WIMS '14. New York, New York, USA: ACM Press.

J. Cubo, A. Nieto, and E. Pimentel. 2016. A Cloud-Based Internet of Things Platform for Ambient Assisted Living, Sensors, vol. 14, no. 8, pp. 14070–14105.

Archive of SID
www.SID.ir

Craglia, Massimo, Lila Leontidou, Giampaolo Nuvolati, and Jürgen Schweikart. 2015. Towards the Development of Quality of Life Indicators in the 'Digital' City. *Environment and Planning B: Planning and Design* 31(1):51–64.

Dewalska–Opitek, Anna. 2014. Smart City Concept – The Citizens' Perspective. Pp. 331–40 in Communications in Computer and Information Science, vol. 471.

Dodgson, Mark, and David Gann. 2015. Technological Innovation and Complex Systems in Cities. Journal of Urban Technology 18(3):101–13.

Archive of SID

www.SID.ir