Internet of Things for In-Home Health Monitoring Systems: Current Advances, Challenges and Future Directions

رامک ابراهیمی حق رو

پروژه درس معماری کامپیوتر پیشرفته

نام استاد : دکترسمیه جعفرعلی جاسبی

۱ مقدمه

نظارت بر سلامت خانگی اجازه می‌دهد تا مراقبت‌های سلامتی پس از ترخیص بیمار از بیمارستان، در درون منزل ادامه یابد. این بستر به ارائه دهنده مراقبت سلامتی اجازه می‌دهد تا بیرون از چهار دیوار بیمارستان به بیماران دسترسی داشته باشد، نظارت‌های مناسب روی شرایط سلامتی بیماران را انجام دهد، و به ارائه مراقبت با کیفیت و تعین افراد در معرض خطر کمک می‌کند. این ابزار همچنین به بیماران کمک می‌کند تا با ارائه دهندگان سلامت خود در ارتباط باشند، و آن‌ها را قادر می‌سازد تا با برنامه‌های درمانی سازگار باشند و شرایط سلامتی خود را بهبود دهند.

اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) یکی از اپلیکیشن‌های سلامت موبایل (mHeath) کلیدی است که مداخله سلامتی فعالانه و پیشگیرانه را محقق می‌کند.

در طی سال‌ها، در تعداد اپلیکیشن‌های سلامت موبایل در بازار رشد زیادی رخ داده است. طبق Global Market Insights، اندازه بازار سلامت موبایل در سال ۲۰۲۵ از ۲۸۹.۴ میلیارد دلار تجاوز خواهد کرد.

این افزایش قابل توجه در اپلیکیشن‌های سلامت موبایل و نظارت سلامت خانگی به دلیل سه فاکتور اساسی است:

الف. محدودیت‌های کنونی خدمات مراقبت بهداشتی و دستور العمل‌های برنامه ریزی سیاست گذاران سلامت.

به طور جهانی، جمعیت با سنت ۶۵ سال و بیشتر سریع‌تر از سایر گروه‌های سنی در حال رشد است. طبق تخمین سازمان سلامت جهانی (WHO)، تعداد افرادی بالای ۶۰ سال در طول بازه سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۵۰ از ۱۲٪ به ۲۲٪ خواهد رسید. طقریبا ۸۰٪ بزرگسالان حداقل یک و ۷۷٪ آن‌ها حداقل دو بیماری مزمن دارند .

Silver Tsunami در حال رشد، نیازهای پزشکی بیشتر و مراقبت‌های بیشتری را می‌طلبد، که در نهایت فشار بیشتر و بیشتری روی سیستم در حال فشار سلامت وارد می‌کند. بنابراین، به منظور یافتن راه‌های جدید و بهره گیری از تکنولوژی برای مدیریت بهینه و مقرون به صرفه سلامت مردم، این (سیستم نظارت راه دور) یک کلید برای ارائه بهترین کیفیت مراقبت پایدار است. طبق این نکته، درمان راه دور افراد با پشتیبانی از تکنولوژی یکی از اهداف برنامه ملی و سیاست گذاران سلامت جهانی است. اخیرا سازمان WHO یک چارچوب برای دسته بندی مداخلات سلامت دیجیتال ارائه کرده است :

- مداخلات برای کلاینت ها: کلاینت‌ها افرادی هستند که پتانسیل استفاده از خدمات سلامت را دارند یا در حال حاضر در حال استفاده از این خدمات هستند.
- مداخلات برای ارئه دهندگان مراقبت بهداشتی: ارائه دهندگان مراقبت بهداشتی، اعضای نیروی کار سلامت هستند که خدمات سلامت را ارئه می‌دهند.
- مداخلات برای سیستم سلامت یا مدیرهای منابع: مدیرها در مدیریت و برنامه ریزی سیستم‌های سلامت عمومی نقش دارند.
- مداخلات برای خدمات داده: این مورد شامل اعتماد پذیری برای پشتیبانی از مراحل مرتبط با جمع آوری، مدیریت و پردازش داده است.

برای حل منابع محدود مراقبت بهداشتی و اجتماعی، سیاست‌ها و برنامه‌های خدمات سلامت ملی (NHS) برای تغیر مدل‌های خدمات برای تداوم درمان بیماران در خانه و مراکز اجتماعی برای کاهش موارد بستری بیمارستانی، هزینه و ارائه کیفیت بهتری از زندگی تنظیم شده‌اند. به عنوان مثال، NHS UK، برای حل این نیازها، پنج تغیر را برای مدل خدمت NHS ارائه کرده است :

- تقویت مراقبت خارج از بیمارستان: تفکیک بین خدمات سلامتی اولیه و اجتماعی.
- بازطراحی NHS: برای کاهش فشار روی خدمات اورژانسی در بیمارستان ها.
- تقویت مراقبت شخصی سازی شده از بیماران: بیماران بتوانند روی سلامت خود کنترل داشته باشند.
- مراقبت دیجیتالی: ارائه بخشی از روش‌های مراقبتی اولیه و سرپایی روی NHS.
- سیستم‌های مراقبت یکپارچه: برای تمرکز روی سلامت افراد و همکاری بین سازمان‌های NHS محلی.

عنصر فعال ساز این ۵ تغیر عملی اساسی در مدل خدمت سلامت، اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامتی راه دور است. عبارت ذکر شده فوق «مراقبت بیرون از بیمارستان، کاهش خدمات بیمارستانی اورژانسی، مراقبت شخصی سازی شده، مراقبت دیجیتالی و مدل‌های سیستم‌ها مراقبت یکپارچه» را نمی‌توان بدون انواع اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت راه دور محقق کرد. در حقیقت، افزایش سریع تمرکز به سمت مراقبت پزشکی و شخصی شده دقیق، یکی از فاکتورهایی است که باعث پیشرفت بازار جهانی سلامت موبایل شده است .

ب. پیشرفت‌ها در تکنولوژی‌های زیرلایه از نظر قابلیت‌های گوشی موبایل، ارتباطات بی سیم، حسگرها، ابزارهای پوشیدنی و معماری‌های IoT و پروتکل ها.

هزینه نسبتا پایین و نفوذ اپلیکیشن‌های سلامت موبایل، به دلیل نفوذ بالای گوشی‌های هوشمند، آن را به یک مسیر سرمایه گذاری مطمئن در سطح جهان تبدیل کرده است. در سال ۲۰۱۷، تخمین زده شد که حدود ۵۰۰ میلیون کاربر جدید گوشی‌های هوشمند از چین و هند به شبکه جهانی اینترنت متصل شده‌اند .

اینترنت اشیا انقلاب IoT در حال رشد است که باعث شیفت پارادیم در چندین حوزه شامل مراقبت بهداشتی می‌شود. عبارت اینترنت اشیا را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: «یک کلمه کلیدی چتری برای پوشش جنبه‌های مختلف مرتبط با گسترش اینترنت و وب درون بستر فیزیکی، به روش بکارگیری گسترده از دستگاه‌های توزیع شده فضایی با قابلیت‌های نهفته شناسایی، حسگری و/یا اقدام، برای ایجاد امکان کلاس جدیدی از اپلیکیشن‌ها و خدمات». چنین اپلیکیشن‌هایی به دلیل توسعه پروتکل ارتباطاتی جدید که به طور ویژه برای دستگاه‌های IoT طراحی شده‌اند، مانند NB-IoT، LoraWan یا Sigfox، به رشد ادامه می‌دهد. علاوه بر این، آخرین پیشرفت‌ها در زیرساخت ارتباطات IoT شامل استاندارد 3GPP (5G IoT) برای ارائه توان پایین، نرخ داده پایین، و سطح پوشش گسترده ارتباطات سلولی برای انواع مختلفی از دستگاه‌های IoT مورد استفاده قرار می‌گیرد .

توسعه دستگاه‌های پزشکی هوشمند (مانند دستگاه فشار خون، گلوکز سنج، حسگرها دما، سنجش وزن، و غیره) و حسگرهای پوششی (برای اندازه‌گیری به عنوان مثال ECG، شتاب سنج، SPo2، نرخ ضربان قلب، و غیره) افزایش یافته است، و تمرکز آن روی توان پایین، اندازه کوچک، قابلیت حمل و پوشش و استفاده آسان است. حسگرهای پوششی به شکل لوازم جانبی (مانند دست بندها، حلقه ها)، لباس هوشمند، اتصالات به بدن و الحاقات به بدن (مانند پمپ‌های انسولین، ضربان ساز ها) است. در کنار این پیشرفت در حسگرهای پوششی، پیشرفت‌هایی در طراحی پارچه‌های‌های هوشمند، لباس هوشمند، یا پارچه الکترونیکی انجام شده است، که شامل مواد هادی در پارچه است که به یکدیگر متصل شده یا بافته می‌شوند. پیشرفت‌های خیره کننده در

تکنولوژی‌های پروفایل-پایین و بیوالکترونیک، تکنولوژی‌های نانو و مواد منجر به پیشرفت حسگرهای کاشتنی و دستگاه‌های پزشکی زیستی برای تشخیص و نظارت راه دور شده است. چالش‌های زیادی در طی این پیشرفت حل شده است که شامل اندازه حسگرها، عمر باتری و توسعه دستگاه‌های الکترونیکی کششی و قابل اتصال به پوست است کع می‌تواند به صورت پیوسته و بدون مزاحمت بر فعالیت‌های فردی و سیگنال‌های پزشکی بدون محدودیت در فعالیت‌های روزانه فرد، نظارت کند. دستگاه‌های پوششی به ماژول‌های ارتباطی با تکنولوژی‌هایی مانند بلوتوث، زیگبی، فروسرخ، شناساگر فرکانس رادیویی (RFID)، وای فای و ارتباطات میدان نزدیک (NFC) مجهز هستند. چنین تکنولوژی‌هایی به دستگاه‌های پوششی اجازه می‌دهد تا به سایر دستگاه‌های هوشمند (مانند گوشی هوشمند) متصل شوند و امکان تشخیص و نظارت راه دو برای کیفیت بهتر مراقبت را فراهم کنند .

پ. سند گزارش شده در خصوص مزایای اپلیکیشن‌های سلامت موبایل از نظر کیفیت مراقبت و کاهش هزینه

اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت خانگی در چند دهه گذشته تکامل یافته‌اند، و بسیاری از شرایط مراقبت‌های بهداشتی را تسهیل کرده‌اند. هدف آن‌ها ارائه خدمات مراقبت بهداشتی بهینه‌تر و ارائه کیفیت بهتری از زندگی و کاهش هزینه است. افزایش شدیدی در تعداد اپلیکیشن‌های پوشی هوشمند سلامت موبایل رخ داده است که هدف آن نظارت راه دور بر بیماری‌های مختلف و خود مدیریتی است، که به بیماران کمک می‌کند تا شرایط سلامت خود را بهتر مدیریت کنند و زندگی مستقلی داشته باشند. هدف آن تقویت افراد برای پیشگیری از بیماری، ترویج سلامتی و خود مدیریتی شرایط است . حدود ۷.۱ میلیون بیمار در سال ۲۰۱۶ با استفاده به دستگاه‌های نظارتی سلامت راه دور متصل شده‌اند، که بیش از ۱ میلیارد یورو (طی ۵ سال) برای NHS صرفه جویی به همراه داشته است؛ این صرفه جویی با کاهش اشغال تخت و مراجعات غیر ضروری رخ داده است.

علاوه بر مزایای ذکر شده فوق در خصوص نظارت راه دور بر سلامت، این ابزار به بیماران اعتماد به نفس می‌دهد که شرایط آن‌ها (مانند ضربان قلب، فشار خون، سطوح SPo2 و کیفیت خواب) تحت نظارت است و این ابزار می‌تواند در صورت نیاز به صورت آنی به متخصصان سلامت آن‌ها اطلاع دهد . در حقیقت، یک تحقیق نشان داده است که نظارت خانگی بیماران با بیماری‌های قلبی منجر به نرخ‌های بستری بیمارستانی پایین‌تر و بهبود اخلاقی شده است.

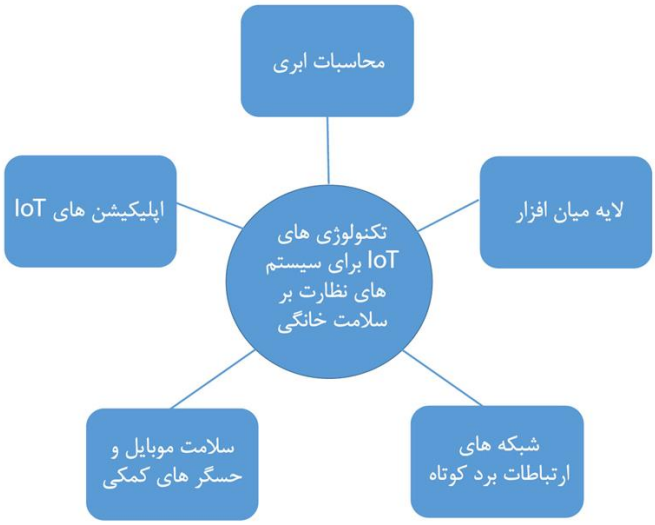
در این مقاله، اولین قدم را با بیان اجزای اصلی سیستم نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT همراه با چند مثال طی می‌کنیم. بخش ۲ با الهام از بلوک‌های سازنده تکنولوژی اصلی سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT، در خصوص پیشرفت‌های تکنولوژی استفاده شده استفاده شده در چنین سیستم‌هایی بحث می‌کند. بخش ۳ چالش‌های اصلی و مسیرهای آتی در توسعه سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی موفق را معرفی می‌کند کهقابلیت افزایش مقیاس و بکارگیری موفق در خدمات مراقبت بهداشتی ملی را دارند. بخش ۴ نتیجه گیری مقاله را با یک خلاصه بیان می‌کند.

۲ پیشرفت‌های کنونی در تکنولوژی‌ها و خدمات IoT و برای اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت خانگی

تکنولوژی IoT یکی از ابزارهای اصلی در معماری سیستم نظارت بر سلامت خانگی است. شکل ۱ یک مثال معمول از بلوک‌های سازنده اصلی سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی IoT را نمایش می‌دهد. شکل ۱ ماژول‌های عملکردی چنین سیستم‌هایی و نیز تعاملات آن‌ها را نمایش می‌دهد. هاب ابری سیستم شامل چندین ماژول (سرور ذخیره‌سازی، ماژول استخراج ویژگی، و سیستم پشتیبانی تصمیم) است. هاب بیمار تعامل با بیمار، حسگرها و دستگاه‌های پوششی و انتقال نشانه‌های حیاتی بیمار و دریافت برنامه درمانی را انجام می‌دهد. اپلیکیشن‌های هاب حرفه‌ای مراقبت بهداشتی با اعضای پزشکی تعامل دارند و درمان بیماران را تسهیل می‌کنند. در سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT، ارتباطات بین هاب ابری و سایر اپلیکیشن‌های کاربر مرتبط با بیماران و هاب حرفه‌ای مراقبت بهداشتی، از طریق API ارتباطات ابری ایمن و تعاملی (به عنوان مثال مبتنی بر خدمات وب RESTful) انجام می‌شود.

جدول ۱ خلاصه‌ای از چندین مورد از چنین اپلیکیشنی را نمایش می‌دهد. این ابزار شامل توصیف خلاصه‌ای از سیستم‌ها، مزایای آن‌ها و لیستی از حسگرهای استفاده شده در نظارت راه دور است.

شکل ۱. معماری‌های سیستم نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی بر IoT



شکل ۲. تکنولوژی‌های کلیدی برای سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT

معماری سیستم‌های نظارت سلامت خانگی مبتنی IoT معمولا شامل پنج تکنولوژی کلیدی IoT است که در شکل ۲ نشان داده شده است. با الهام از این پنج تکنولوژی، زیر بخش‌های زیر پیشرفت‌های کنونی در تکنولوژی‌های IoT و خدمات برای اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت خانگی ارائه شده است.

الف. سلامت موبایل و حسگرهای کمکی

این موارد بیان کننده حسگرهای مهاجم و غیر مهاجم استفاده شده برای نظارت بر سیگنال‌های پزشکی و تغیرات محیط زنده است. سیگنال‌های پزشکی مبتنی بر سبک زندگی افراد، شرایط روحی و پزشکی (مانند دیابت‌ها، COPD، سرطان و اختلالات روانی) هستند. چنین شرایط پزشکی به مدیریت و کنترل برخی از پارامترها مانند سطح گلوکز، فشار خون، دما، ECG و وزن نیاز دارد. و بنابراین نیاز است که دستگاه‌های حسگر چنین شرایطی را

اندازه‌گیری کنند. برای محیط زنده، وابستگی به تکنولوژی‌های کمک به زندگی وجود دارد که افراد به آن نیاز دارند، مانند هشدارهای شخصی، دستگاه‌های حسگر، دوربین، و غیره. برای فعال سازی ارتباطات سیگنال اندازه‌گیری شده با محیط اطراف، این حسگرها باید به ابزارهای ارتباطات بی سیم شامل RFID، NFC، بلوتوث و BLE، وای‌فای و زیگبی متصل شوند.

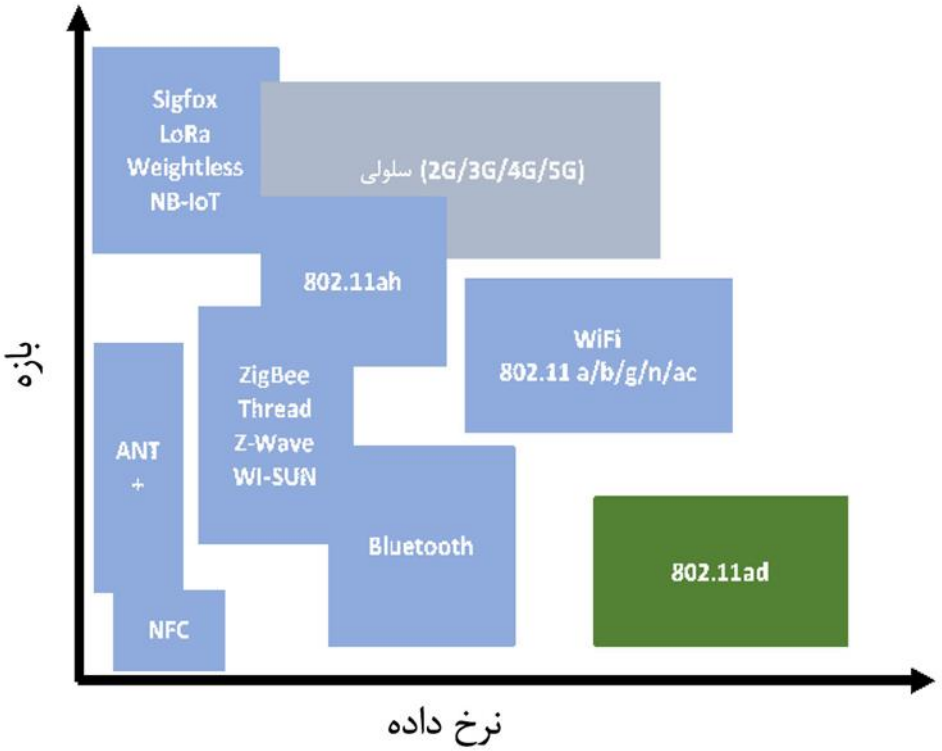
جدول ۱ مثال‌هایی از حسگرها و اپلیکیشن‌های مراقبت موبایل و کمک به زندگی

IoT In-home application	Sensor type	Description	Advantages	Photo
WELCOME system COPD with comorbidities integrated care management system [14, 59].	Spirometer, Glucose meter, BP, Weight scale, temperature sensors and wearable vest that include heart rate, ECG, RT, accelerometer and SPo2 sensors)	Wearable and cloud computing to support integrated care management for COPD patients with co-morbidities	To manage the COPD condition to give early detection of COPD complications (potentially reducing hospitalization) and the prevention and mitigation of comorbidities (Heart Failure, Diabetes, Anxiety and Depression).	
Smart Pill [53]	Ultra thin HPMC capsule with an embedded ingestible wireless sensor, powered by stomach fluid	The sensor gets activated when it comes into contact with stomach fluid to detect when the pill has been taken	For painless drug delivery, injectable drugs are converted into pills, The pill positions itself to inject the drug into the intestinal wall	
Asthma monitoring [54]	Breath sensor that measures levels of nitrogen monoxide, audio recorder, mobile APP connectivity	It is made for monitoring asthma patients and collecting data for a period of time in the patient's own home, by ambulatory recording (nocturnal whooze, cough).	It is useful for doctor in their design of treatment plans of asthma by knowing the respiratory function of the patients over a period of time.	
Skin cancer detection [55]	Ultraviolet detector/sensor	It is a wearable warning device that measures UV radiation level which is the most important environmental factor in developing skin cancer.	The sensor can accurately measure the UV dosage absorbed by skin, distinguishing between UVA and UVB (which cause different types of damage) and gives early warning	
Breast cancer detection [56]	Sports bra-like material encased with sensitive heat sensors	It detects small changes in temperature in breast tissue. The self-checking bra is worn close to the body. The collected data are sent by IoT and analyzed by AI, results of which are then sent to the user's smartphone.	This smart bra can detect abnormalities with a 90% and higher accuracy rating in women of old ages.	
Cancer biomarker in urine detection [57]	Chip-based sensor with an integrated laser	It detects very low levels of a cancer protein biomarker in a urine sample	This new technology is more sensitive than other designs and could lead to non invasive and inexpensive ways to detect molecules that indicate the presence or progression of a disease	
Closed loop insulin delivery [58]	Blood glucose sensor, electronic insulin pump	It acts like an artificial pancreas, this closed loop system automatically delivers insulin to people with type 1 diabetes, in response to the glucose levels of people with Type 1 diabetes It allows users to customize their diabetes treatment.	It automatically adjusts the users' insulin levels at a basal rate, to keep blood sugar levels steady.	
Coagulation tester [59]	Highly sensitive optical sensor	It measures the user' ability to clot, and how long it takes to clot. It help the user to self assess the risk of excessive bleeding or developing clots (thrombosis) somewhere in the blood vessels.	Early detection helps save lives because whenever such clots form, they can travel through the blood stream to the heart, lungs, or brain This can cause a heart attack, stroke, or even death	
Depression monitoring [60]	Smartphone: "Acceleration sensor, GPS sensor, microphone", Wearable: "inertial sensors - accelerometer, gyroscope, sweat sensor"	Wearable devices and smartphones are used together as multi modal approach to assess and monitor sleep for patients who are in depressive, anxiety, or psychotic disorders	It promotes long-term adherence, enabling monitoring for adaptive and personalized systems, which helps to predict risk/relapse sleep problems and depression	
Parkinson's and Alzheimer's diseases monitoring [61]	Behaviour sensors, RGB-D camera (for gait analysis), wearable pressure sensor and microphone (for verbal monitoring)	This system measures and assess bradykinesia and freezing of gait, mainly those symptoms that can be picked up by inertial sensors, and sensitive wearable sensors.	It is a self-care strategy that can help patients suffering from Parkinson's. Doctors will receive a fuller views of the behaviour disorientation hence better treatment plan could be made	

جدول ۱ لیستی از حسگرها و دستگاه‌های مرتبط با اپلیکیشن‌های مدیریت بیمارهای مزمن، پشتیبانی و کمک به زندگی را نشان می‌دهد. اغلب این حسگرها و دستگاه‌ها با استانداردهای ارتباطاتی ساخته شده‌اند تا امکان تعامل پذیری و ارتباطات با اپلیکیشن‌ها را فراهم کنند.

ب. شبکه‌های ارتباطات برد کوتاه

شبکه‌های ارتباطات برد کوتاه در این بحث با شبکه‌های حسگر بی سیم (WSN) و شبکه‌های شخصی (PAN) بیان شده است: WSN یک شبکه مرکب از مجموعه‌ای از حسگرها برای نظارت بر شرایط مختلف سلامتی و/یا پارامترهای کمک به زندگی است. معمولا، این بخش به شبکه بی سیم بدن (WBAN) در مورد تجهیزات پوششی اشاره دارد که باید توسط افراد پوشیده شود. PAN یک شبکه‌ای است که امکان ارتباطات بین حسگر (ها) و دستگاه‌های محاسبه گر شخصی، مانند گوشی‌های هوشمند با استفاده از ارتباطات برد کوتاه که شامل بلوتوث، VLE، وای‌فای و زیگبی است را فراهم می‌کند. استفاده از تکنولوژی ارتباطی به پهنای باند مورد نیاز بستگی دارد. به عنوان نمونه، برای سیگنال‌های حسگر با پهنای باند پایین ۰.۵ هرتز، مانند سیگنال SPo2، BLE برای ارسال داده مناسب است .در حالی که پهنای باند سیگنال‌های ECG می‌تواند به ۵۰۰ هرتز برسد؛ به دلیل این که پهنای باند مورد نیاز در این مورد بالا است، به ارتباطات وای فای نیاز است . شکل ۳ برخی از پروتکل‌های ارتباطاتی IoT را از نظر نرخ داده و برد نشان می‌دهد.



شکل ۳. پروتکل‌های IoT از نظر برد و نرخ داده

پ. لایه میان‌افزار

این بخش یک لایه نرم‌افزار خدمت محور است که به امکان ارتباطات با دستگاه‌های ناهمگن مانند حسگرها و کنش گرها از یک انتها و خدمات ابری در انتهای دیگر را فراهم می‌کند. نقش مرکزی لایه میان‌افزار، ایجاد یک اختصار از حسگرهای زیرلایه است. لایه میان‌افزار با جمع آوری و ارسال داده و آپلود آن‌ها در بستر ابری، به عنوان میانجی بین ابر و دستگاه‌های ابری عمل می‌کند. لایه میان‌افزار معمولا به روش واحدی توسعه داده به می‌شود که به ارتباطات با هر نوع از حسگر اجازه فعالیت می‌دهد و اپلیکیشن‌ها را با حداقل پیکربندی اجرا می‌کند . یک لایه میان‌افزار تعامل پذیری میان دستگاه‌های متصل را فراهم کرده و یک لایه اختصار برای تسهیل توسعه اپلیکیشن‌ها ایجاد می‌کند . به عبارت دیگر، میان‌افزار یک اختصار نرم‌افزاری بین لایه اپلیکیشن و زیرساخت سیستم است. بسترهای میان‌افزار با ایجاد و ارائه خدمات ارزش افزوده به اپلیکیشن‌ها بر مبنای ترکیب منابع موجود سیستم، انعطاف پذیری فیزیکی ارائه می‌کند. ملزومات کلیدی برای لایه میان‌افزار به صورت زیر است:

- این لایه برای پشتیبانی از اتصال چندین دستگاه ناهمگن، باید از قابلیت همکاری پشتیبانی کند.
- این لایه باید یک API سطح بالا برای دسترسی به خدماتی که دستگاه‌های زیرلایه را چکیده می‌کند، ارائه دهد.

موارد زیر اهداف اصلی طراحی هر لایه میان‌افزار برای اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی بر IoT است:

- ناهمگنی: طراحی باید برای پشتیبانی از پروتکل‌های بی سیم، دستگاه‌های حسگر و BAN ناهمگن، قابل توسعه باشد.
- تحرک پذیری: اپلیکیشن هاب بیمار سیستم نظارت راه دور خانگی باید به صورت غیر مزاحم اجرا شود تا بر خصوصیات مرتبط با سلامت مختلف نظارت کرده و از تحرک پذیری بیمار در خانه (مانند مشارکت در فعالیت‌های ساده خانگی مانند باغبانی) پشتیبانی کند.
- قابلیت همکاری: این بستر باید قابلیت همکاری کامل با ابر داشته باشد، و باید داده پزشکی ضبط شده را با ابر همگام سازی کند.
- تطبیق‌پذیری: معماری باید ماژولار و گسترش پذیر باشد تا تغیرات مختلف پیکربندی حسگر را مدیریت کند.

- تجربه کاربر: اعتماد پذیری و زمان سنجی، مهم‌ترین ملزومات عملکردی اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت راه دور خانگی سمت هاب بیمار است. این بخش علاوه بر اندازه‌گیری، ملزومات دسترسی و استفاده پذیری هاب بیمار را فراهم می‌کند.
- امنیت: مشابه با ملزومات معمول در هر بستر سلامت الکترونیک، امنیت و حریم شخصی فایل توجه برای پشتیبانی از اعتماد پذیری، صحت و دسترسی مورد نیاز است.

ت. محاسبات ابری

محاسبات ابری یک زیر سیستم دیگر از سیستم نظارت بر سلامت راه دور است. این سیستم از بستر محاسبات مبتنی بر اینترنت است که برای ارائه: محل ذخیره‌سازی داده برای ذخیره داده جمع آوری شده از دستگاه‌ها و حسگرهای مختلف IoT، سرورها برای پردازش و تحلیل داده جمع آوری، سیستم‌های هوشمند از داده تحلیل شده و برای تولید هشدار و دانش برای پشتیبانی تز تصمیمات به عنوان مثال متخصص سلامت برای درمان بیمار، استفاده می‌شود. اخیرا مفهوم محاسبات مه برای ارائه ترکیبی از خدمات محاسبات محلی و ابری ارائه شد که به عنوان یک بستر با مجازی سازی بالا عمل می‌کند و خدمات محاسباتی، ذخیره‌سازی، و شبکه سازی را میان دستگاه‌های انتهایی و مراکز داده پردازش ابری سنتی برقرار می‌کند [۶۳]. بسیاری از بسترهای محاسبات ابری IoT معرفی شده است که می‌توان از آن‌ها به عنوان زیرساخت خدمت (IaaS)، بستر خدمت (PaaS) یا نرم‌افزار خدمت (SaaS) استفاده کرد. جدول ۲ رایج‌ترین بسترهای IoT و مشخصه‌های کلیدی آن‌ها را نمایش می‌دهد.

بستر IoT	پروتکل‌های ارتباطاتی رایج (HTTP، CoAP، MQTT و غیره)	امنیت (احراز هویت، رمزنگاری احراز هویت شده)	قالب داده مورد پشتیبانی	بسترهای دارای قابلیت‌های تحلیلی قوی	پشتیبانی از زبان برنامه نویسی
خدمات وب آمازون (AWS)	HTTP، MQTT، WebSocket	رمزنگاری احراز هویت مجوز	JSON	بله	C, Java, NodeJS, Javascript, Python, Arduino, Android, iOS
بستر IoT گوگل	HTTP,MQTT	مجوز	JSON	بله	Java, .NET, Kode js, php, Python, Ruby
IBM Watson	HTTP, MQTT, REST API	احراز هویت مجوز	JSON, CSV	بله	C#, C, Python, Java, NodeJS

Microsoft Azure	HTTPS, MQTT, WebSocket, AMQP	رمزنگاری احراز هویت مجوز	JSON	بله	C, .NET, Java, NodeJS, Ruby, Android, iOS
Kaa	MQTT	رمزنگاری	REST API, JSON	بله، اما نه تحلیل‌های آنی	Java, C, C++
Oracle IoT	HTTP, MQTT, CoAP, WebSocket, AMQP و XMPP	احراز هویت مجوز	REST API, CSV	بله، اما نه یادگیری ماشین	C, Java, Javascript, Android, iOS

ث. اپلیکیشن‌های IoT

اپلیکیشن‌های IoT رابطی بین کار و دستگاه‌های هستند. آن‌ها تعاملات دستگاه با دستگاه، انسان با دستگاه، و انسان با انسان را امکان پذیر می‌کنند. آن‌ها باید بتوانند داده را به صورت بصری نمایش دهند، مشکلات را شناسایی کنند، و راه حل‌ها را پیشنهاد دهند. بسیاری از تحقیقات به صورت سیستمی ویژگی‌های چنین اپلیکیشن‌هایی را برای نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی بر IoT برای خود مدیریتی بیماری مزمن مرور کرده‌اند. به عنوان مثال، نویسندگان به صورت سیستم منابع را مرور کرده و ویژگی‌های اپلیکیشن‌های دیابت موبایل را شناسایی کرده‌اند. نویسندگان به صورت سیستمی مقالات را مرور کرده و ویژگی‌های اپلیکیشن‌های خود مدیریتی COPD را شناسایی کرده‌اند. هر دو تحقیق بر مبنای شناسایی ویژگی‌های اصلی اپلیکیشن‌های کاربری IoT انجام شده است. در زیر مثال‌هایی از چنین ویژگی‌ها برای اپلیکیشن‌های خود مدیریتی بیماری مزمن آورده شده است:

- اندازه‌گیری: این یک تعامل دستگاه با دستگاه است؛ این بخش امکان ارتباط بین اپلیکیشن در حال اجرا روی گوشی هوشمند و حسگرها را فراهم می‌کند. در خصوص دیابت، اندازه‌گیری سطح گلوکز خون انجام می‌شود.
- پرسش نامه: این تعامل دستگاه با انسان است؛ این بخش امکان جمع آوری وضعیت روحی (مانند حال فرد) بیمار را از طریق گفت و گو یا پرسش نامه‌های معتبر فراهم می‌کند.
- آموزشی: این تعامل دستگاه با انسان است؛ هدف از این کار، ارائه آموزشی شخصی سازی شده بر مبنای نیازهای بیمار (مانند آموزش اطلاعات تغذیه ای) است.
- تاریخچه: این یک تعامل دستگاه با انسان است؛ هدف از آن ارائه جزئیات در خصوص داده جمع آوری شده روی بازه‌ای از زمان است.
- سررسید و یاد آور: این یک تعامل دستگاه با انسان است؛ هدف از آن یادآوری به بیمار در خصوص زمان بندی برنامه درمانی است.

- ارتباطات: منظور از این بخش ارتباطات الکترونیک انسان به انسان است. مانند پیام انگیزشی بین متخصص سلامت و بیماران.
- تجویز دارو: این تعامل دستگاه با انسان است؛ این بخش به عنوان مثال لیستی از داروها، فرکانس و دوز آن‌ها را ارائه می‌کند.

۳ چالش‌ها، توصیه‌ها و مسیر آینده سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT

با توجه به این که تکنولوژی‌های IoT قابل استفاده می‌شوند و به صورت فزاینده توسط بیماران و کارکنان مراقبت بهداشتی مورد پذیرش قرار می‌کرد، اپلیکیشن‌های نوآورانه در حال رشداند و توسط بودجه‌های سرمایه گذاری و بودجه‌های پژوهشی از بخش خصوصی و نیز دولتی پشتیبانی می‌شوند. آینده IoT برای سلامت الکترونیک امیدوار کننده است، با پیشرفت‌ها تکنولوژیک در قابلیت‌های سخت افزاری حسگر، ارتباطات فراگیر، و پشتیبانی‌های تحلیلی محاسبات ابر/مه/داده بزرگ، کارکردهای جدید به محصولات و خدمات افزوده می‌شود. سلامت الکترونیک به عنوان اولویت در برنامه دیجیتال اروپا در افق ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده است. ذخیره حدود ۱۰۰ میلیارد یورو در هزینه‌های درمانی با کمک سلامت الکترونیک و سلامت موبایل امکان پذیر می‌شود. انتظار می‌رود که ارزش بازار دستگاه‌های پوششی که سلامتی گستره جهانی را اندازه‌گیری می‌کند، تا سال ۲۰۲۲ به بیش از ۱۲ میلیارد دلار آمریکا برسد. اخیرا بافری از اپلیکیشن‌های سلامت الکترونیک دارای قابلیت‌های IoT پدید آمده است، که از کمک به زندگی محیطی برای پیشگیری از بیماری تا خدمات اورژانسی امدادی برای نجات را شامل می‌شود.

یک سیستم نظارت بر سلامت خانگی کاملا یکپارچه، با جریان‌های کاری بهینه سازی شده در بیمارستان‌ها، در آینده نزدیک ارائه خواهد شد. به دلیل اینکه درمان و بهبود بیماری مزمن یک رویداد آنی نیست، آرایه کاملی از حسگرهای IoT باید در مکان قرار داده شود تا نظارت بدنی و محیطی را به عنوان یک رویکرد جامع انجام دهند.

این مقاله توصیه‌های زیر و مسیر آینده که باید در توسعه آتی سیستم‌های نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی بر IoT در نظر گرفته شود را بیان می‌کند:

الف. عملکرد، پایداری کارکرد و اطمینان‌پذیری

این شاخص‌ها مبتنی بر انتها به انتها هستند،و قابل اعمال به تمامی زیر بخش‌های معماری IoT شامل خانه شخصی تا خدمات ابری مراقبت بهداشتی هستند. برای خدمات ابری، باید اطمینان حاصل شود که زیرساخت ابری می‌تواند به حداکثر تعداد کلاینت‌ها بدون رها سازی درخواست خدمت دهد، و نیز باید گلوگاه‌های احتمالی

عملکردی در سمت سرور شناسایی شود. این کار شامل نظارت بر مصرف حافظه برای تشخیص مشکلات نشت نامطلوب حافظه و طراحی بد کش داده است.

ب. امنیت، حریم شخصی، اخلاق و قانون

حل مشکلات امنیت و حریم شخصی در طراحی و توسعه سیستم‌های IoT، برای گسترش اعتماد در استفاده از سیستم‌های مبتنی بر IoT در خوزه مراقبت بهداشتی ضروری است. مکانیزم‌های امنیتی باید در تمامی لایه‌ها و هر جز معماری IoT پیاده سازی شوند (حریم شخصی در طراحی)، تا از تهدیدات امنیتی و حمله‌ها پیشگیری کنند و حریم شخصی را حفظ کنند. دستگاه‌های تجاری و شخصی زیادی، بدون توجه به تامین این جنبه‌های امنیتی و حریم شخصی، ایجاد شده‌اند. نیاز است توسعه دهندگان اطمینان حاصل کنند که چیزهایی که در IoT تولید می‌شود و سیستم‌هایی که به آن‌ها متصل می‌شوند ایمن هستند؛ کاربران می‌توانند حسگرها، دستگاه‌ها، و دروازه‌ها، و خدمات IoT اطمینان کنند و هویت، امنیت، و حریم شخصی آن‌ها مورد حفاظت و نگه داری قرار خواهد گرفت. در بسیاری از اپلیکیشن‌های نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی IoT، توسعه دهندگان به مکانیزم‌های امنیتی نهفته (مانند رمزنگاری) در سخت افزاری ساخته شده و اجزای نرم‌افزاری حسگرها و فرستنده‌های ارتباطات بی سیم تکیه دارند. اغلب، توسعه دهندگان اپلیکیشن‌های اکتساب داده چنین حسگرها و دستگاه هایی، با طراحی و بکارگیری تمامی مکانیزم‌های امنیتی ممکن از نظر احراز هویت و احراز مجوز، ناشناسی و رمزنگاری داده ذخیره شده و موبایل، اساس طراحی چنین اپلیکیشن‌هایی را بر اصول حریم شخصی قرار می‌دهند. موارد بسیاری از چنین اپلیکیشن‌هایی معمولا به خدمات اطلاعاتی مراقبت بهداشتی موجود که مکانیزم‌های امنیتی و سیاست‌های حریم شخصی اعمال خود را دارند متصل‌اند، اما ممکن است به آخرین استانداردها و مکانیزم‌های امنیتی به روز نباشند.

پ. قابلیت همکاری

قابلیت همکاری را می‌توان به صورت «قابلیت دو سیستم برای ارتباط و اشتراک گذاری خدمات با یکدیگر» در نظر گرفت. قابلیت همکاری IoT را می‌توان به صورت قابلیت همکاری دستگاه، قابلیت همکاری شبکه، قابلیت همکاری نحوی، قابلیت همکاری معنایی، و قابلیت همکاری بستر دسته بندی کرد. قابلیت همکاری نقش اساسی در توسعه IoT و به خصوص در حوزه مراقبت بهداشتی ایفا می‌کند. نظارت بر سلامت راه دور خانگی مبتنی بر IoT شامل حسگرهای ناهمگن IoT، دستگاه‌ها، اپلیکیشن‌ها و خدمات است، که از حجم بالایی از تبادل داده در قالب‌های ناهمگن استفاده می‌کند. بنابراین، قابلیت همکاری باید توسط توسعه دهندگان IoT و سازندگان دستگاه پزشکی، هنگام توسعه سیستم‌های نظارت راه دور مبتنی بر IoT در نظر گرفته شود.

اگر چه بسیاری از استانداردها و بسترهای IoT توسعه داده شده است و به توسعه مسائل قابلیت همکاری IoT کمک کرده است، همچنان چالش‌های تحقیقی باز برای حل وجود دارد:

- تمرکز روی قابلیت همکاری بین-لایه و بین-بستر به جای تنها قابلیت همکاری حسگر/دستگاه و لایه شبکه، با استفاده از تکنولوژی‌های وب معنایی و APIهای میان شبکه ای.
- قابلیت همکاری باید مستقل از تکنولوژی‌های زیر لایه (مانند دستگاه‌های IoT) امکان پذیر باشد.
- نیاز است تست قابلیت همکاری به صورت خودکار انجام شود و نه فرآیند پیچیده کنونی تست قابلیت همکاری که شامل مشارکت کنندگانی از ارائه دهندگان تکنولوژی، توسعه دهندگان و کاربران نهایی است، که می‌تواند بر تست مناسب قابلیت همکاری تاثیر بگذار و در بسیاری از موارد ممکن است بر تست مکانیزم‌های امنیتی تاثیر بگذارد.

ت. مقیاس‌پذیری

مقیاس‌پذیری یک جنبه مهم دیگر از مسیر آینده IoT در نظارت بر سلامت راه دور خانگی است. این بخش به معنای امکان افزودن خدمات، حسگرها، دستگاه‌ها، و اپلیکیشن‌های جدید بدون تاثیر بر عملکرد کلی سیستم است. مقیاس‌پذیری به معنای توسعه بسترهای IoT است که از تعداد بالایی از حسگرها، دستگاه‌ها، در ترکیب با با ذخیره‌سازی‌های مختلف، پردازش، ارتباطات و ملزومات پهنای باند، پشتیبانی می‌کنند .لایه میان‌افزار و خدمات ابری مثال‌های مناسبی از مقیاس‌پذیری هستند. آن‌ها پشتیبانی کافی برای افزایش مقیاس سیستم IoT هنگام افزودن حسگرها، دستگاه‌ها و ملزومات خدمات جدید فراهم می‌کنند. این جهت منجر به پارادیم تحقیقی جدید در توسعه یک چارچوب IoT یکپارچه شده است که ملزومات سراسری را محقق می‌کند.

۴ نتیجه گیری

مفهوم تکنولوژی‌های IoT از یک دهه پیش، با پیاده سازی‌های موفق فزاینده در پروژه‌های شهر هوشمند و خانه هوشمند در سراسر جهان بالغ شده است. با این حال، سلامت الکترونیک از عصر حرکت‌های دیجیتالی مدرن از دهه‌ها پیش ریشه گرفته است، و از تجدید نظر در گزارش‌های سلامت الکترونیک تا تامین دارو راه دور را شامل می‌شود. با ترکیب توان محاسباتی فراگیر و قابلیت سنجش، IoT به اپلیکیشن‌های سلامت الکترونیک قدرت بهبود و تشخیص‌های بهتر، مشاوره، مدیریت دارو، و توصیه پیشگیرانه را داده است. مشخص شده است که IoT نقش اصلی در جمع آوری و توزیع اطلاعات، یا به خود کاربران نهایی به عنوان بازخورد وضعیت سلامت درون سازمان‌های مراقبت بهداشتی، یا میان بیماران و دکترهای راه دور برای اطلاعات کامل‌تر در خصوص شرایط فعلی و گذشته

بیمار و محیط زندگی ایفا می‌کند. پیشبینی شده است که نوآوری‌های بیشتری در امتداد این مسیر پیدا خواهد شد، و زمان فرصت‌های سرمایه گذاری سودمند توسط بسیاری از کشورها در سراسر جهان فرا خواهد رسید. همچنین شاهدی بر این ادعا این است که سرمایه گذاری‌ها در صنعت سلامت الکترونیک و استارتاپ‌ها در شرکت‌های IoT و سلامت الکترونیک در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

با استفاده از تکنولوژی‌های IoT، ایده‌های جدید مطرح می‌شود، و مسیرهای پزشکی موجود و فرآیندها بهبود داده می‌شوند، که در زنجیره ارزش منجر به تولید سود می‌شود. در آینده نزدیک، نمونه‌های مفهومی توسعه داده خواهد شد و به عملیات‌های سلامت الکترونیک روزانه وارد می‌شود که در نهایت به بخشی یکپارچه از زندگی‌ها در مراقبت بهداشتی ختم می‌شود. با وجود تمام مزایای سیستم‌های مراقبت بهداشتی، چنین مساله باز وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به (عملکرد، اطمینان‌پذیری، پایداری کارکرد)، (امنیت، حریم شخصی، قانون و اخلاق)، (سازگاری، قابلیت همکاری) و (قابلیت نگه داری، مقیاس‌پذیری) اشاره کرد.

با تکامل جامعه، بیماری و تکنولوژی‌ها ادامه یابند، سناریوهای سلامت موبایل جدید پدید خواهند آمد و به واقعیت تبدیل خواهند شد، این مسائل باز شناسایی شده ادامه خواهند یافت. انجمن‌های تحقیقی نیاز دارند تا به گزارش در خصوص مزایا، چالش‌ها، و درس‌های آموخته شده از بکارگیری سیستم‌های نظارت سلامت خانگی IoT ادامه دهند، تا توسعه سیستم جدید بتواند از آن‌ها بیاموزد.

این مقاله نیازها، پیشرفت‌های تکنولوژی، چالش‌ها، توصیه‌ها و مسیر آینده سیستم‌های نظارت بر سلامت خانگی مبتنی بر IoT را بیان کرد.