An IoT-Based Glucose Monitoring Algorithm to Prevent Diabetes Complications

رامک ابراهیمی حقرو

نام استاد : دکتر سمیه جعفر علی جاسبی

پروژه درس معماری پیشرفته کامپیوتر

مقدمه

دیابت یک بیماری مزمن است و زمانی رخ می‌دهد که پانکراس در بدن به اندازه کافی انسولین تولید نمی‌کند و یا زمانی که بدن بیمار نمی‌تواند به طور موثر از انسولین تولیدشده استفاده کند . انسولین هورمونی است که سطح گلوکز خون را کنترل می‌کند و به‌عنوان یک منبع انرژی برای رفع نیازهای ارگان‌ها و بافت‌های بدن به کار می‌رود. انسولین به بدن ما کمک می‌کند تا از مواد غذایی به خصوص کربو هیدرات‌ها به شکل موثری استفاده کنیم. وقتی این فرآیند دچار نقص باشد، این مواد مغذی همراه با لیپیدها و چربی‌ها نمی‌توانند به انرژی تبدیل شوند. به دلیل این ناهنجاری، گلوکز در خون جمع می‌شود و منجر به زوال قابل‌توجه در سلامت انسان می‌شود.

تکنیک‌های اندازه‌گیری گلوکز

نگرانی اصلی فرد مبتلا به دیابت، کنترل پارامتر گلوکز خون به منظور جلوگیری از اختلالات در مرزهای میزان گلوکز است. تکنیک‌های پایش این سطوح به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: تهاجمی، حداقل تهاجمی و غیرتهاجمی به شرح زیر توصیف می‌شوند:

- گروه تهاجمی شامل تکنیک‌هایی است که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا بیش‌ترین دقت نتایج را (به دلیل نمونه گیری مستقیم از خون بیمار) ارائه می‌دهند. تکنیک سنتی بریدن انگشت است و فوق‌العاده برای بیماران دردآور است. همچنین فرایند اندازه‌گیری باید در شرایط کاملا پاک و استریل انجام شود چون ممکن است عفونت رخ دهد .
- گروه حداقل تهاجمی شامل تکنیک‌هایی است که از منافذ ریز استفاده می‌کنند که در واقع سوراخ‌های کوچکی

هستند که روی پوست توسط اشعه لیزر ایجاد می‌شوند. هنگامی که منافذ باز هستند، یک دستگاه ویژه یک فشار خلا پیوسته را روی منافذ اعمال می‌کند و مقدار کمی مایع از آن‌ها استخراج می‌کند. طبق نمونه به‌دست‌آمده، فرآیندهای الکترود مبتنی بر آنزیم سطح گلوکز را اندازه‌گیری می‌کنند.

- گروه غیرتهاجمی شامل ابزارهای اندازه‌گیری گلوکز (گلوکومترها) غیرتهاجمی است که در آن هدف اصلی، جایگزینی متغیر خون با یک متغیر دیگر است که دسترسی به آن توسط یک ابزار خارجی محقق می‌شود. عملیات آن شامل درج یک سنسور بر روی یک ناحیه خاص بدن برای به دست آوردن یک خوانش گلوکز است. قابلیت اطمینان مقادیر تقریبا ۱۰۰ درصد است، زیرا متخصصان اطمینان داده‌اند که مقدار گلوکز در خون با مقدار یافت‌شده در پوست بیمار کاملا برابر است. مایع‌های بدن نظیر بزاق دهان، ادرار، عرق و یا اشک‌ها نیز بر روی تست‌های گلوکز مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند، اما متاسفانه امکان ردیابی مداوم سطوح گلوکز در این مولفه‌ها وجود ندارد.

ثابت شده‌است که پایش شدید سطح گلوکز، کنترل فرایندهای متابولیک بیمار را بهبود می‌بخشد و مشخصه بهتری از تغییرات گلوکز در کل روز فراهم می‌کند. برای مثال، ما می‌توانیم از طریق تحلیل روند سطح گلوکز با الگوریتم‌های هوشمند مقدار گلوکز را پیش‌بینی کرده و از مقادیر بحرانی اجتناب کنیم. اخیرا، رهیافت‌های متعددی برای پایش پارامتر گلوکز بیماران توسعه داده شده‌است. این تکنیک‌ها از روش‌های غیرتهاجمی و همچنین فن‌آوری انتقال و پردازش داده استفاده می‌کنند و شرایط خوانش به موقع و بلادرنگ را هم فراهم می‌کنند. فرصت‌های زیادی در ارتباط با استفاده از الگوریتم‌های کارآمدتر برای ایجاد فرایندهای ارزیابی و معماری‌های موثرتر وجود دارد .

کارهای مرتبط

پلت‌فرم‌هایِ مختص پایش بی‌سیم سطوح گلوکز به دنبال بهینه‌سازی ارتباطات و گنجاندن انواع مختلف سنسورهای غیرتهاجمی هستند. این بخش طرح‌های پیشنهادی مهم و یافت‌شده در مرور ادبیات را توضیح می‌دهد. تکنیک‌های غیرتهاجمی که گلوکز را اندازه‌گیری می‌کنند در جستجوی جایگزین کردن خون با یک عنصر دیگر هستند و در اصل هدف اصلی آن‌ها ایجاد یک ابزار قابل‌حمل برای بیماران است. یکی از اولین تلاش‌ها در این حوزه مبتنی بر اصل تشخیص تغییر در بهره‌وری انتقال انرژی رزونانس فلورسانسِ یک پروتیینِ سنتز شده به عنوان تابعی از غلظت آنالیت است . فناوری‌هایی نظیر GSM (سامانه جهانی برای ارتباطات سیار) در پایش گلوکز مورد استفاده قرار می‌گیرد. انواع مختلفی از سنسورهای غیرتهاجمی برای انجام سنجش پیشنهاد شده‌اند. آرایه

نانوسیم‌های ساخته شده از ZnO (اکسید روی) و یک دیود ساطع کننده مادون‌قرمز متشکل از GaAs نمونه‌هایی از این دسته هستند .

تلاش‌های جامعه تحقیقاتی به پی‌گیری میزان گلوکز محدود نمی‌شوند. پارامترهای دیگری نیز برای تشکیل یک سیستم جامع اضافه شده‌اند. در ، علاوه بر سطح گلوکز، بیماری‌های قلبی نیز تحت نظارت و بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، ارتباطات از طریق ماژول زیگ‌بی[1] بهبود می‌یابد و مشخصه‌های نمایش خوانش‌ها نیز اضافه می‌شوند. ارتباطات بلادرنگ و مصرف توان کم باعث شده WSNs (شبکه‌های حسگر بی‌سیم) به یک تکنولوژی جذاب برای تکنیک‌های پایش تبدیل شوند. ادغام یک شبکه WSN با یک سنسور کوچک امکان قابلیت حمل و کاهش اندازه را فراهم می‌آورد. سنسور در لایه بافت زیر پوستی بدن قرار داده می‌شود تا مقدار اکسیژن را تعیین کند و متعاقبا سطح گلوکز را به عنوان تابعی از اکسیژن مشخص خواهد کرد .

قابلیت حمل عامل مهمی برای ردیابی افراد مسن است. سنسورهای غیرتهاجمی متصل به یک مکانیسم الکترونیکی مینیاتوری شرایط ردیابی بهتر را ارائه می‌دهند. سنسورهای نوع کرونوآمپرومتری و ASIC (مدار مجتمع خاص منظوره) یک دستگاه کوچک بدون باتری ایجاد می‌کنند. تلفن‌های هوشمند و ویژگی‌های سیستم عامل آن‌ها را می‌توان برای وظایف اتصال و مصورسازی مورد استفاده قرار داد. سیستم‌عامل آندروید را می‌توان به راحتی برای انجام وظایف بکار برد. حسگرهای تهاجمی و غیرتهاجمی می‌توانند برای برقراری ارتباط با یک دستگاه تلفن همراه استفاده شوند.

به این ترتیب، بیماران خودشان می‌توانند بر خوانش ها نظارت داشته باشند. علاوه بر این، نتایج را می‌توان به ابر ارسال کرد تا بتوانند در هر جایی توسط پزشک و بستگان بیمار دیده شوند. سنسورهای غیرتهاجمی هنوز یک فرصت تحقیقاتی به شمار می‌آیند و بنابراین محققان همچنان در جستجوی طرح‌های جایگزینی هستند که برای بیماران مناسب باشند .در ، نویسندگان طرحی را پیشنهاد کردند که در آن یک ترانزیستور اثر/میدان حساس به یون به یک میکروکنترلر متصل است. خوانش‌ها از طریق یک ماژول وای فای به پزشک ارسال می‌شوند. برای غلبه بر محدودیت‌های موجود مثلا در معرض آلودگی قرار گرفتن سنسور، به تحقیقات بیشتری نیاز هست. همچنین ارسال مقادیر گلوکز با استفاده از یک شبکه ناحیه بدن بی‌سیم (wban) بهینه می‌شوند . برای راستی‌آزمایی، نویسندگان از یک سنسور تجاری و ارتباط از طریق پروتکل زیگ‌بی استفاده کردند. به علاوه، سیستم داده‌ها را در یک برنامه کاربردی مبتنی بر دسکتاپ ذخیره می‌کند. به این ترتیب، اطلاعات برای پزشک، پرستار و بستگان

[1] Zigbee

بیمار در دسترس هستند. برای دستیابی به دقت بهتر در خوانش‌ها، اِعمال اصلاحات به خواننده گلوکز امکان پذیر است. مقدار اسید گلوکز که توسط سنسور شناسایی می‌شود جریانی را تولید می‌کند که به ولتاژ تبدیل می‌شود و متعاقبا با یک میکروکنترلر پردازش می‌شود تا مقدار گلوکز را نشان دهد. معماری‌های مبتنی بر IoT توجه محققان را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده‌اند. آن‌ها از تکنولوژی‌های استاندارد برای پایش سطوح گلوکز و همچنین دمای بدن استفاده می‌کنند. در این نوع معماری، امکان داشتن بلادرنگ خوانش‌ها و ذخیره اطلاعات در سرورهای پشتیبان وجود دارد. مراقبان بیمار می‌توانند تکامل درمانی او را از دستگاه موبایل خود یا دسترسی به یک صفحه وب دنبال کنند.

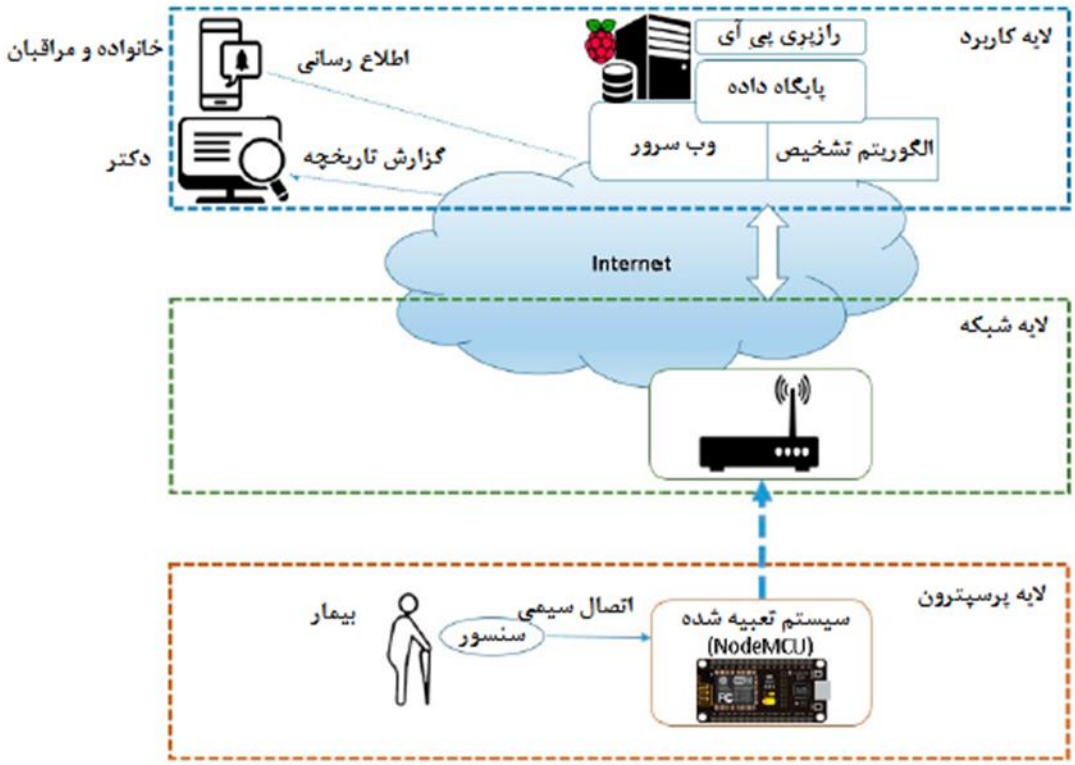
ادغام یک معماری IoT و سنسورهای غیرتهاجمی شرایط قابلیت حمل و قابلیت دسترسی داده را فراهم می‌کند. مثالی از این تعامل، یک LED مادون‌قرمز است که وظیفه آن اندازه‌گیری غلظت گلوکز در خون بسته به شدت نور دریافتی است. با توجه به عملیات و پیکربندی LED، اتصال آن به معماری بسیار ساده است. سنسورهای زیستی گلوکز قابل کاشتنی برای مصارف بلند مدت با موفقیت مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند. این نوع سنسورها، عنصر کلیدی برای مطالعات قابل‌اعتماد در سیستم‌های پایش هستند. آن‌ها نتایج خوبی را در مقایسه با خوانش از سر انگشت نشان داده‌اند. تاثیر یک الگوریتم درمانی بلادرنگ نیز در طرح‌های اخیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. در مورد تکنولوژی‌های بی‌سیم، محدودیت‌های مربوط به استفاده شخصی و فن‌آوری‌های برد کوتاه‌مدت، به خصوص زمانی که برای افراد مسن استفاده می‌شوند، همچنان پابرجا هستند.

اهمیت فن‌آوری‌های IoT در مطالعات اخیر اثبات شده‌است، به عنوان مثال، در ، نویسندگان یک معماری مبتنی بر رزبری پای ایجاد کرده‌اند و دقت سنسور و کارایی انتقال را تحلیل کردند. برای مثال، در یک تکنیک طبقه‌بندی داده گلوکز برای ارزیابی معماری با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی داده برای تشخیص صحیح از طریق سیستم پیش‌بینی پیشنهاد شده‌است. نویسندگان بر انتقال مناسب از طریق پیام‌های SMS و ارزیابی تکنیک‌های مورد استفاده تمرکز کردند. در اغلب موارد، اشکالات پایش سنتی را می‌توان با این فن‌آوری حل و فصل کرد. این امکان وجود دارد که از الگوریتم‌های پیچیده برای انجام پیش‌بینی و ذخیره داده‌ها در ابر استفاده کنیم. آن‌ها همچنین یک گزینه خوب برای پی‌گیری دقیق‌تر بسیاری از بیماران و کاهش هزینه پزشک و مراقبان هستند.

معماری سیستم

معماری IoT نتایج قابل‌توجهی را برای پایش گلوکز مورد کسب کرده است. طرح پیشنهادی ما توسط یک معماری IoT پشتیبانی می‌شود، همانطور که در شکل ۱ نشان‌داده شده‌است. اصل عملیات مبتنی بر یک سنسور بی‌سیم

است که توسط بیمار مسن پوشیده می‌شود. هیچ گونه مداخله‌ای از سوی افراد دیگر لازم نیست. با توجه به محدودیت‌ها، خوانش یک بیمار با استفاده از یک گلوکزسنج[۲] سنتی استخراج می‌شوند. مشخص کردن دوره برای هر خوانش ضروری است. حسگر به دستگاه IoT که یک NodeMCU است با استفاده از یک اتصال سیمی متصل می‌شود. ما دستگاه و روتر خود را به‌گونه‌ای پیکربندی کردیم تا یک شبکه ناحیه خانگی ایجاد کنیم. هنگامی که تراشه به شبکه متصل است، خوانش هایی که توسط سنسور به دست آمده‌اند را کنترل می‌کند و آن‌ها را با استفاده از وای فای به یک روتر می‌فرستد. این اطلاعات توسط یک سرور براساس پردازنده رزبری پای ، که الگوریتم در آن ذخیره می‌شود، دریافت می‌شوند. در اینجا داده‌ها برای تولید یک پیش‌بینی با استفاده از مقادیر تاریخچه پردازش می‌شوند. هر خوانش به وب سرور فرستاده می‌شوند تا نمایش داده شوند. در نهایت، سطح گلوکز برای بستگان و مراقبان بیمار در یک صفحه وب نشان داده می‌شود. بسته به مقادیر خوانش، سیستم اعلان‌های مربوطه را ارسال می‌کند. برای درک بهتر، ما این طرح پیشنهادی را به سه لایه تقسیم می‌کنیم: (۱) ادراک (۲) شبکه و (۳)کاربرد.



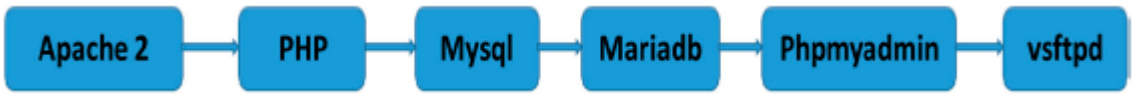
لایه ادراک وظیفه به دست آوردن سطح گلوکز بیمار دارد. یک حسگر بی‌سیم غیرتهاجمی پیشنهاد شده‌است.

[2] glucometer

سنسور گلوکز به یک پلت‌فرم منبع باز مانند NodeMCU متصل می‌شود. این دستگاه یک میکروکنترلر و یک مبدل A / D دارد. با مبدل A / D، امکان تبدیل خوانش به مقادیر دیجیتالی وجود دارد. نحوه اتصال در شکل ۲ نشان‌داده شده‌است.

شکل ۲. مرحله ارسال

لایه شبکه از قابلیت وای فای NodeMCU برای اتصال بی‌سیم به روتر استفاده می‌کند. وظیفه این دستگاه فراهم کردن ارتباطات بر روی اینترنت و ارسال مقادیر گلوکز به سرور است. لایه کاربرد دارای یک سرور وب مبتنی بر رازبری پی‌آی و یک پایگاه‌داده توسعه‌یافته در SQL (زبان پرس و جو ساخت‌یافته) است. عناصری که سرور را می‌سازند و همچنین زنجیره پیشنهادی نصب هر یک از بسته‌ها در شکل ۳ نشان‌داده شده‌اند. همه این عناصر در یک محیط باز مانند لینوکس پشتیبانی می‌شوند.



شکل ۲. مولفه‌های درون سرور

ما می‌توانیم به پایگاه داده بصورت محلی و از راه دور دسترسی داشته باشیم تا به سوابق کاربران مختلف و همچنین تاریخچه خوانش آن‌ها بدون اتکا به سرویس میزبانی دسترسی داشته باشیم. الگوریتم تشخیص در سرور ذخیره می‌شود و مسیول تجزیه و تحلیل تاریخچه ارزیابی‌ها است. با این الگوریتم، ما می‌توانیم یک روند را پیش‌بینی کنیم و مشخص کنیم که آیا لازم است یک هشدار را از طریق SMS به پزشک و بستگان ارسال کنیم یا خیر. این سیستم می‌تواند فرایند خوانش سطح گلوکز بیماران مختلف را برای یک دوره مشخص که قبلا توسط پزشک تعیین شده بر عهده بگیرد (دقیقه یا ساعت). مقادیر بدست‌آمده در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. الگوریتم از خوانش‌ها (y_t) برای محاسبه میانگین خوانش‌های تاریخچه از طریق تکنیک میانگین متحرک دوگانه استفاده می‌کند. اول، میانگین ($\hat{y}_{t+1}$) را روی n دوره از خوانش اجرا می‌کند.

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{y_t + y_{t-1} + y_{t-2} + \cdots + y_{t-n+1}}{n}$$

با توجه به $M_1 = \hat{y}_{t+1}$. سپس پیام دوم M'_t به عنوان میانگین پیام‌های قبلی به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$M'_t = \frac{M_t + M_{t-1} + M_{t-2} + M_{t-2} \ldots + M_{t-n+1}}{n}$$

معادله ۳ برای محاسبه اختلاف بین مقادیر میانگین استفاده می‌شود:

$$a = 2M_t - M'_t,$$

متعاقبا یک عامل تنظیم محاسبه می شود مانند اندازه‌گیری یک شیب که در طول زمان تغییر می‌کند.

$$b_t = \frac{2}{n-1}(M_t - M'_t)$$

در نهایت معادله ذیل برای ایجاد پیش‌بینی p دوره در آینده به‌کار می‌رود.

$$\hat{y}_{t+1} = a + b_t p,$$

که در آن

n = تعداد دوره‌های تعریف شده برای محاسبه میانگین

Y_t = مقدار حقیقی در دوره t

p = تعداد دوره‌هایی که باید در آینده پیش‌بینی شوند.

آزمایش‌ها در یک محیط خصوصی و کنترل‌شده انجام شدند. چندین آزمایش برای تایید ارسال صحیح تفاسیر انجام شدند. این الگوریتم در هر سی دقیقه خوانش‌ها را می‌پذیرد. همچنین الگوریتم مزبور به سه خوانش تاریخچه نیاز دارد (n = ۳). در دور اول، میانگین اول با استفاده از این مقادیر محاسبه می‌شود. سپس، همان دوره n، برای محاسبه میانگین دوم دور اول استفاده می‌شود. ما یک دوره سوم را برای p (این دوره را می‌توان با توجه به مشخصه بیمار تطبیق داد) برای تولید یک پیش‌بینی پیشنهاد می‌کنیم. پیش‌بینی بدست‌آمده توسط سیستم برای تعیین اینکه آیا شرایط بحرانی وجود دارد یا خیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین باید روشن شود که مراقبت کننده باید زمان مورد نظر برای هر وعده غذایی را تامین کند و باید برای سیستم نیز در نظر گرفته شود. نمایش این اطلاعات روی یک صفحه وب انجام می شود. برای توسعه آن، ابزارهایی مانند ادوب دریم‌ویور، جاوا اسکریپت و

جی‌کوئری مورد استفاده قرار گرفتند. آژاکس نیز نقش مهمی در حفظ ارتباطات غیرهمگام بین مرورگر و سرور ایفا می‌کند و انعطاف‌پذیری کافی را به صفحه اضافه می‌کند. برای اعتبارسنجی مقادیر بدست‌آمده با مقادیر یک گلوکزسنج سنتی مقایسه می‌شوند. اختلاف کم‌تر از یک رقم حاصل شد (یک mg / dl).

برای تضمین کارکرد انتها به انتها، ما تست‌ها را به سه مرحله تقسیم کردیم. در مرحله اول، ما سنسور و دستگاه تعبیه‌شده به بیمار (شناسه) و مقدار بدست‌آمده در خروجی را تایید کردیم. مرحله دوم به راستی‌آزمایی پیکربندی شبکه، انتقال بین دستگاه تعبیه‌شده و روتر و چگونگی ارسال پیام‌ها اشاره دارد. در مرحله سوم، ما پذیرش داده‌های صحیح و احرازهویت پروفایل در سرورها را تایید کردیم. پس از آن، اطلاعات توسط الگوریتم پیش‌بینی پردازش می‌شوند. علاوه بر این، ارزیابی‌ها در صفحه وب برای دوره تعریف‌شده و پروفایل مشخص‌شده نمایش داده می‌شوند. ما همچنین اعلان ها را نیز چک کردیم. صفحه وب زمانی یک پیام را نشان می‌دهد که هیچ داده‌ای دریافت نمی‌شود یا یک مشکل ارتباطی وجود دارد. در نتیجه ما تحویل خوانش دقیق را تضمین می‌کنیم.

آزمایش‌ها در یک محیط خصوصی و کنترل‌شده انجام شدند. چندین آزمایش برای تایید ارسال صحیح تفاسیر انجام شدند. این الگوریتم در هر سی دقیقه خوانش‌ها را می‌پذیرد. همچنین الگوریتم مزبور به سه خوانش تاریخچه نیاز دارد ($n = ۳$). در دور اول، میانگین اول با استفاده از این مقادیر محاسبه می‌شود. سپس، همان دوره n، برای محاسبه میانگین دوم دور اول استفاده می‌شود. ما یک دوره سوم را برای p (این دوره را می‌توان با توجه به مشخصه بیمار تطبیق داد) برای تولید یک پیش‌بینی پیشنهاد می‌کنیم. پیش‌بینی بدست‌آمده توسط سیستم برای تعیین اینکه آیا شرایط بحرانی وجود دارد یا خیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین باید روشن شود که مراقبت کننده باید زمان مورد نظر برای هر وعده غذایی را تامین کند و باید برای سیستم نیز در نظر گرفته شود. نمایش این اطلاعات روی یک صفحه وب انجام می شود. برای توسعه آن، ابزارهایی مانند ادوب دریم‌ویور، جاوا اسکریپت و جی‌کوئری مورد استفاده قرار گرفتند. آژاکس نیز نقش مهمی در حفظ ارتباطات غیرهمگام بین مرورگر و سرور ایفا می‌کند و انعطاف‌پذیری کافی را به صفحه اضافه می‌کند. برای اعتبارسنجی مقادیر بدست‌آمده با مقادیر یک گلوکزسنج سنتی مقایسه می‌شوند. اختلاف کم‌تر از یک رقم حاصل شد (یک mg / dl).

برای تضمین کارکرد انتها به انتها، ما تست‌ها را به سه مرحله تقسیم کردیم. در مرحله اول، ما سنسور و دستگاه تعبیه‌شده به بیمار (شناسه) و مقدار بدست‌آمده در خروجی را تایید کردیم. مرحله دوم به راستی‌آزمایی پیکربندی شبکه، انتقال بین دستگاه تعبیه‌شده و روتر و چگونگی ارسال پیام‌ها اشاره دارد. در مرحله سوم، ما پذیرش داده‌های صحیح و احرازهویت پروفایل در سرورها را تایید کردیم. پس از آن، اطلاعات توسط الگوریتم پیش‌بینی پردازش می‌شوند. علاوه بر این، ارزیابی‌ها در صفحه وب برای دوره تعریف‌شده و پروفایل مشخص‌شده نمایش داده می‌شوند.

ما همچنین اعلان ها را نیز چک کردیم. صفحه وب زمانی یک پیام را نشان می‌دهد که هیچ داده‌ای دریافت نمی‌شود یا یک مشکل ارتباطی وجود دارد. در نتیجه ما تحویل خوانش دقیق را تضمین می‌کنیم.

نتایج

برای ارزیابی عملکرد این طرح، تست‌های متعدد در هر یک از مراحل و کل سیستم انجام شدند. در ابتدا، ارسال مقدار گلوکز توسط NodeMCU را بررسی کردیم. پس از آن، اتصال به شبکه وای فای قبلا تعریف شده شکل گرفت. سپس به کارگزار متصل شد و شروع به انتقال اطلاعات کرد. برای تایید نتیجه این الگو، رایج‌ترین مرورگرهای وب یعنی اینترنت اکسپلورر، فایرفاکس موزیلا و گوگل کروم، برای کسب نتایج مشابه در هر سه مورد استفاده شدند. شکل ۴ صفحه اصلی مرورگر کروم را نشان می‌دهد. می توان مشاهده کرد که تصویر کاملا بارگذاری شده و عناصر در موقعیت درست و صحیح قرار گرفته‌اند. مارکوئی (انیمیشن در وب) به درستی کار می‌کند و منو و عناصر باقی مانده هم به طور موفقیت‌آمیز مستقر می‌شوند.

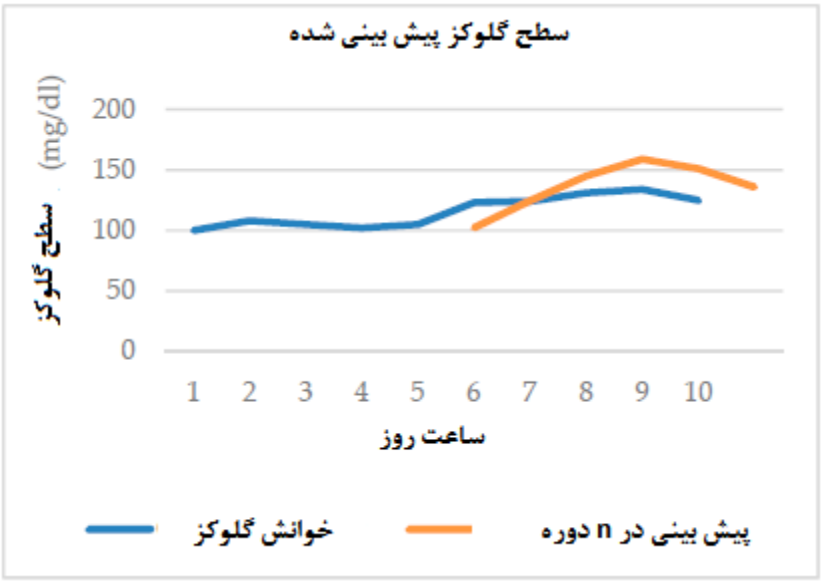
شکل ۴. صفحه وب استفاده شده برای نمایش پروفایل (مشخصه) بیماران

بیمار به نام خوان کارلوس لوپز با شماره سریال ۱۱۱ برای نمونه در نظر گرفته شد و ده مقدار در جدول ۱ فهرست شدند. ما اولین سنسور بی‌سیم غیرتهاجمی را پیشنهاد کردیم که در این سیستم مورد استفاده قرار گیرد. در عین حال، با توجه به محدودیت‌ها، خوانش‌ها با استفاده از یک گلوکزسنج سنتی برای یک بیمار مسن بدست آمدند.

جدول ۱. مقادیر گلوکز خون برای یک بیمار شبیه‌سازی شده.

خوانش	مقدار گلوکز خون
1	100
2	108
3	105
4	102
5	105
6	123
7	124
8	131
9	134
10	125

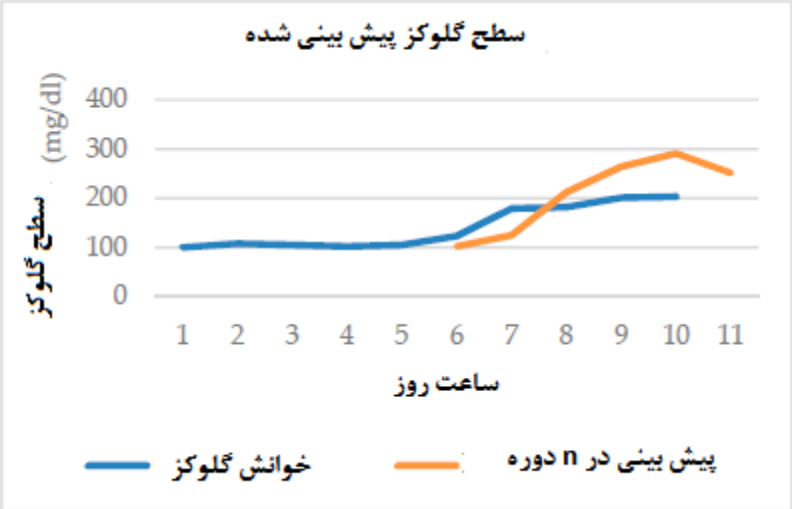
مقادیر جدول به تکنیک میانگین متحرک دوگانه داده شدند تا در یک دوره سه‌ساعته پیش‌بینی انجام شود. مطابق با مصرف مواد غذایی و مقدار پیک (اوج) که تولید می‌کند، این دوره مطلوب و مناسب در نظر گرفته می‌شود. نمودار بدست‌آمده در شکل ۵ نشان‌داده شده‌است.



ما توصیه‌های فدراسیون بین‌المللی دیابت و انجمن دیابت آمریکا را دنبال کردیم، که پیشنهاد می‌کنند کنترل گلوکز خون در بزرگسالان مسن متناظر با گلوکز پلاسما (قبل از خوردن) ۹۰ تا ۱۳۰ mg/dL و گلوکز پلاسما (پس از خوردن) تا ۱۸۰ mg/dL است. ما همچنین هر دو گروه وابستگی، مستقل و وابسته به عملکرد تعریف‌شده توسط فدراسیون بین‌المللی دیابت را در نظر گرفتیم. نیازی به مداخله برای استخراج خوانش‌ها وجود ندارد. اقدامات

مراقبین بعد از اخطار باید توسط متخصص تعریف شود. طبق نمودار، مشخص است که هیچ مقدار پیک یا اختلافی در پیش‌بینی تولید شده توسط سیستم وجود ندارد، هیچ حالت بحرانی وجود ندارد، و بنابراین هیچ هشداری لازم نیست. طبق خوانش‌های تحلیل شده، ساعات اولیه در مرحله (قبل از خوردن) قرار گرفت.

متعاقبا، مصرف غذا رخ داد که باعث افزایش میزان گلوکز شد، اما از ۱۸۰ mg / dl فراتر نرفت. در غیاب مقادیر بیشتر از ۱۸۰ mg / dl لازم نبود یک هشدار نارنجی ارسال شود. اگر پیش‌بینی از ۲۰۰ mg / dl فراتر رود، به این معنی است که یک گرایش رو به بالا وجود دارد و سیستم هشدار قرمز نشان می‌دهد و به معنای شرایط بحرانی بیمار است. لازم به ذکر است که این الگوریتم زمانی که بیمار به صرف غذا نیاز دارد را هم در نظر می‌گیرد و به هیچ وجه اعلان غلط صادر نمی‌کند. در مرحله بعد ما به طور دستی خوانش‌ها را تغییر دادیم تا عملکرد الگوریتم تحت این وضعیت را هم تست و آزمایش کنیم، همانطور که در شکل ۶ نشان‌داده شده‌است. هنگام تشخیص یک گرایش رو به بالا در چندین ساعت (که ناشی از صرف غذا نیست)، سیستم مکانیزم ارسال اعلان را فعال می‌کند، به عنوان مثال، اول یک هشدار متوسط و سپس یک هشدار بالا. پیش‌بینی برای سه ساعت در بالای مقدار بحرانی است، بنابراین، اعلان درست است، چون یک وضعیت بحرانی با یک گرایش نزولی وجود دارد. سیستم با ایجاد پروفایل‌های مختلف برای موارد مختلف راستی آزمایی و تایید شد. صفحه شخصی بیمار خوان کارلوس لوپز با شماره سریال ۱۱۱ که در تست‌های قبلی استفاده شد نیز ذخیره شد. در گوشه سمت چپ بالا، یک موتور جستجو مشابه در بخش آنلاین می‌بینیم، اما برای مورد ما بهتر است دکتر بتواند مقادیر ویژه را از طریق تاریخ‌ها یا میزان گلوکز پیدا کند. شکل ۷ تمام عناصری که صفحه را تشکیل می‌دهند و داده‌های تحلیل‌شده کاربر را نشان می‌دهد. هنگامی که یک خویشاوند به صفحه نگاه می‌کند، تنها پروفایل بیمار مربوطه ظاهر می‌شود.



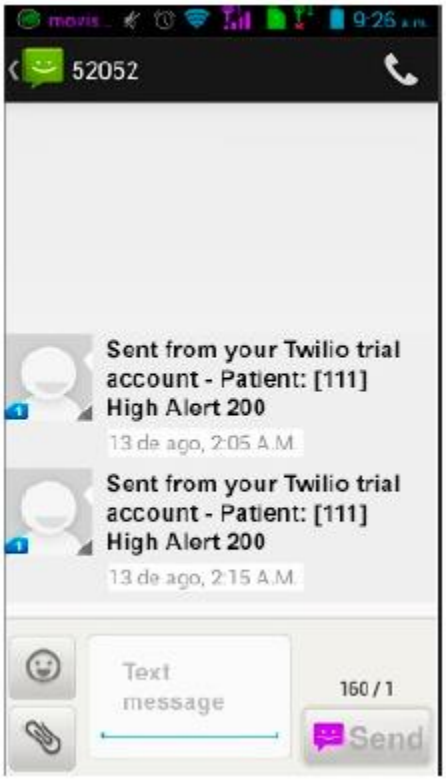
شکل ۶. سطح گلوکز پیش‌بینی شده با استفاده از تکنیک میانگین متحرک دوگانه (نشان دهنده شرایط بحرانی)

شکل ۷. صفحه وب مورد استفاده برای نمایش پروفایل بیماران و تولید گزارش‌ها

با کمک پایگاه‌داده‌های سیستم، امکان دستیابی به داده‌های بیمار برای هر روز وجود دارد. با این اطلاعات، ما می‌توانیم یک گزارش تهیه کرده و آن را از طریق یک نمودار (در همان صفحه یا اکسل)نمایش دهیم تا خوانش‌ها را در طول روز، هفته یا ماه تفسیر کنیم. این در قسمت پایین شکل ۷ نشان‌داده شده‌است. در قسمت مرکز بالا، دو دکمه قرار دارند: Stop SMS (قرمز) که برای متوقف‌کردن خدمات پیام‌کوتاه یا هشدار SMS است و Send SMS (سبز) که برای ارسال است. وقتی شرایط بحرانی شبیه‌سازی شد، سیستم، هشدارهای مربوطه را ارسال کرد. شکل ۸ نشان می‌دهد که چگونه دو پیام هشدار دهنده با فاصله پنج دقیقه به تلفن همراه فرستاده شدند؛ سپس دکمه فشار داده شد تا سرویس قطع شود و ارسال هشدار را پایان دهد. حالت را می‌توان به طور اتوماتیک پیکربندی کرد و دوره تناوب هم می‌تواند تغییر کند.

ما دقت طرح پیشنهادی را از طریق مقایسه با تکنیک هموارسازی نمایی مورد ارزیابی قرار دادیم. ما خطای درصد مطلق میانگین (mape) را برای هر دو مورد با استفاده از مقادیر جدول ۱ و مقادیر پیش‌بینی محاسبه کردیم. ما رقم حدود ۶ ٪ را در هر دو مورد بدست آوردیم. یکی از مضرات هموارسازی نمایی این است که برای خوانش‌های قبلی، صعودی یا نزولی، پیش‌بینی بعدی گرایش را دنبال می‌کند و منجر به یک هشدار کاذب می‌شود. طرح

پیشنهادی ما از این وضعیت با در نظر گرفتن بیش از یک مقدار از تاریخچه اجتناب می‌کند و یک پیش‌بینی هموارتر را تولید می‌کند. به علاوه، هموارسازی نمایی نیاز به پیداکردن ضریب وزن (آلفا) دارد. مقایسه با طرح‌ها و پیشنهادهای دیگر امکان پذیر نیست زیرا نتایج مشابهی را ارایه نمی‌کنند. دقت مربوط به طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف است. از لحاظ تاخیر، ما رهیافت خود را با طرح‌های مشابه از نظر ارسال خوانش‌ها مقایسه کردیم. نویسندگان یک تاخیر متوسط ۳۳.۹۶ را برای دریافت پیام گزارش کرده‌اند. تاخیر حدود ۳۲ ثانیه با استفاده از پیام‌های SMS گزارش شده است. در مورد ما، تاخیر ۳۰ ثانیه با استفاده از ابزار Twilio برای ارسال اعلان به دست آمد. نتایج بسیار شبیه هستند، همانطور که در شکل ۹ نشان‌داده شده‌است.



شکل ۸. نمونه‌ای از پیام‌های فرستاده شده زمانی که سطح گلوکز بالاتر از ۲۰۰ میلی گرم است.

نتیجه‌گیری و کارهای آینده

تمرکز ما در این تحقیق روی استفاده از معماری IoT است که شامل یک الگوریتم پیش‌بینی در جهت اعلان بهتر شرایط بیماران به پزشکان و بستگان بیماران است. این طرح یک تکنیک جدید برای تشخیص افزایش و کاهش سطوح گلوکز است. این سیستم از خوانش‌های قبلی برای ایجاد گرایش استفاده می‌کند. با این مقدار براحتی

مشخص می‌شود که آیا بیمار در دوره کوتاهی از ثبات است یا در شرایط قبل از غذا خوردن یا پس از غذا خوردن قرار دارد و بنابراین از اعلان‌های اشتباه اجتناب می‌کند. طرح ما تنها دوره‌های طولانی ثبات را در نظر می‌گیرد و بر اساس پیش‌بینی یک هشدار ارسال می‌کند. معماری از یک رزبری پای به عنوان سرور اصلی استفاده می‌کند.که الگوریتم در آن واقع شده‌است و پیش‌بینی انجام می‌شود. تا آنجا که می‌دانیم، مطالعات معدودی شامل تکنیک‌هایی برای بزرگسالان مسن هستند. این موضوع اهمیت طرح پیشنهادی ما را نشان می‌دهد. در مقایسه با طرح‌های اخیر یافت‌شده در ادبیات، کار ما شامل یک معماری IoT کامل همراه با یک الگوریتم پیش‌بینی بلادرنگ است. ما یک الگوریتم مبتکرانه را برای انجام پیش‌بینی بدون اعلان ارایه می‌کنیم، بنابراین، از اضافه‌بار شبکه جلوگیری می‌کنیم. وظیفه ارسال پیام به سرور اختصاص داده می‌شود. مرحله سنسور انرژی کمی را در مقایسه با انرژی مصرفی برنامه بر روی یک گوشی هوشمند، مصرف می‌کند. از آنجا که سرور محلی است، هیچ تاخیری وجود ندارد، که در آن پیام‌های SMS مورد استفاده قرار می‌گیرند. ما از برنامه‌های اختصاصی برای به دست آوردن یک سیستم مقرون‌به‌صرفه‌تر با اتصال‌های متعدد (بیماران) استفاده نمی‌کنیم. ما عملکرد معماری، الگوریتم پیش‌بینی و ارسال هشدارها را برای دو شرایط، نرمال (یک بیمار با ورودی) و حیاتی ارزیابی کردیم. برای حفظ حریم خصوصی، این سیستم از یک ID اختصاصی برای هر بیمار در یک سیستم تعبیه‌شده استفاده می‌کند. جنبه امنیتی با معرفی پروتکل‌های امنیتی در هر مرحله از معماری مورد بررسی قرار می‌گیرد. این رهیافت به بهبود کیفیت زندگی بیماران مسن که به دلیل شرایط خاص قادر به حضور در بیمارستان نیستند، کمک می‌کند. از طریق این سیستم، مراقبت کنندگان از وضعیت بیمار با استفاده از یک دستگاه تلفن همراه متصل به اینترنت آگاه خواهند شد. هدف از این طرح پیشنهادی تهیه یک ابزار برای کمک به مراقبت کنندگان است. هنگامی که این سیستم برای یک شخص مسن به کار می‌رود، متخصص یک ارزیابی کامل را طبق دستورالعمل‌های ذکر شده انجام می‌دهد. ما صفحه وب Guardian Connect CGM را مورد بررسی قرار دادیم و دیدم که طرح ما در مقایسه با محصولات تجاری، دارای معماری انعطاف‌پذیرتری است، افزودن پروفایل جدید آسان‌تر است و کاملا مقرون‌به‌صرفه‌تر است. در کار آینده، ما امیدواریم که یک حسگر بی‌سیم غیرتهاجمی کوچک را ادغام کنیم که برای افراد مسن قابل‌حمل باشد.