

Fortschrittliche Halbleitertechnologie für moderne Telemedizin-Anwendungen



Sanjay Pithadia
Anwendungsingenieur, Medical
Texas Instruments



Die neuesten Trends im Gesundheitswesen zeigen deutlich, dass sich derzeit ein Wandel von persönlichen Arztbesuchen hin zu mehr Selbstmedikation und Online-Visiten vollzieht.

Auf einen Blick

In diesem Whitepaper werden die neuesten technologischen Entwicklungen im Bereich der Telemedizin und die damit einhergehenden Designherausforderungen behandelt.



1 Biosensorik

Die Entwicklung von Biosensorik und portablen medizinischen Geräten ist mit einem großen Level an Komplexität behaftet.



2 Leistungsoptimierung

Tragbare Patientenüberwachungsanwendungen sind normalerweise batteriebetrieben, was die Batterielebensdauer zu einem wichtigen Faktor in der Entwicklung solcher Anwendungen macht.



3 Verbindung

Konnektivität ist ein entscheidender Aspekt bei der Entwicklung von Patientenüberwachungssystemen und medizinischen Geräten für Fernüberwachung und -diagnose.



4 Datensicherheit

Patientendaten müssen geheim bleiben und Datenklau kann schwerwiegende Folgen nach sich ziehen.

Diese Art der ärztlichen Betreuung dient vornehmlich der Kontaktminimierung. Jedoch hat sich gezeigt, dass neue Technologien der Allgemeinbevölkerung nie zuvor dagewesenen Zugang zu digitalen medizinischen Instrumenten zur Selbstüberwachung und Fernbehandlung ermöglicht.

Telemedizin dient dazu, Senioren Zugang zum Arzt zu verschaffen, die Ansteckungsgefahr in Arztpraxen zu verringern, die Reaktionszeiten in Notfällen zu verringern oder die medizinische Versorgung in ländlichen Gebieten zu sichern. Sie ist deshalb von unschätzbarem Wert für alle.

In diesem Whitepaper werde ich die neuesten technologischen Entwicklungen beschreiben, die Telemedizin und Telehealth in großem Maße beeinflusst haben. Darüber hinaus werde ich mich mit den Designherausforderungen für Krankenhäuser und das Zuhause von Patienten beschäftigen, die mit dieser Entwicklung einhergehen. Zu diesen Herausforderungen zählen unter anderem wie Vitalparameter gemessen werden,

wie der Stromverbrauch reduziert werden kann, es geht um die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Konnektivität und natürlich auch darum, wie man möglichst viele Funktionen in möglichst kompakte Anwendungen quetschen kann.

Herausforderungen bei der Entwicklung von Biosensorik-Anwendungen

Die Entwicklung von Biosensorik-Anwendungen und portablen medizinischen Geräten ist mit einem großen Level an Komplexität behaftet. **Abbildung 1** auf der folgenden Seite zeigt, wie mehrere Patienten an verschiedenen Standorten über eine drahtlose Verbindung gleichzeitig überwacht werden können. Ihre Vitalparameter werden auf einen Bildschirm im Schwesternzimmer eines Krankenhauses übertragen und können von den Krankenschwestern eingesehen werden. Die Anwendungsfälle bei der Nutzung medizinischer Geräte zur Vitalparameterüberwachung ist von Patient zu Patient unterschiedlich. Deshalb variieren auch

der Stromverbrauch, die Größe des Geräts und die Konnektivität von Anwendungsfall zu Anwendungsfall.

Analoge Front-End-Geräte (AFE) — Geräte, die als Schnittstellen zwischen digitaler Elektronik und den geräusch-, zeit-, und lichtsensitiven Sensoren in medizinischen Anwendungen dienen — haben Telemedizin-Endgeräte wie Pulsoximeter und Pulsmesser maßgeblich beeinflusst. Analog-Frontends werden als Vorverstärker für hochempfindliche Bildsensoren, in der Medizintechnik für die Verstärkung und Digitalisierung von medizinischen Messwerten in Wearables und nicht-standardmäßigen Peripheriegeräten eingesetzt, denn sie zeichnen sich durch Zuverlässigkeit, geringen Stromverbrauch und Flexibilität aus.

Analoge Frontends für Biosensorik-Anwendungen finden Einsatz in Pulsmessern, zur Messung der Variabilität und Sättigung des Blutsauerstoffgehalts (SpO_2), in Hörgeräten und optischen Blutdruckmessgeräten und in vielen weiteren Biosensorik-Anwendungen. AFEs wie der [AFE4400](#) besitzen integrierte On-Chip-Optik und Diagnosefunktionen

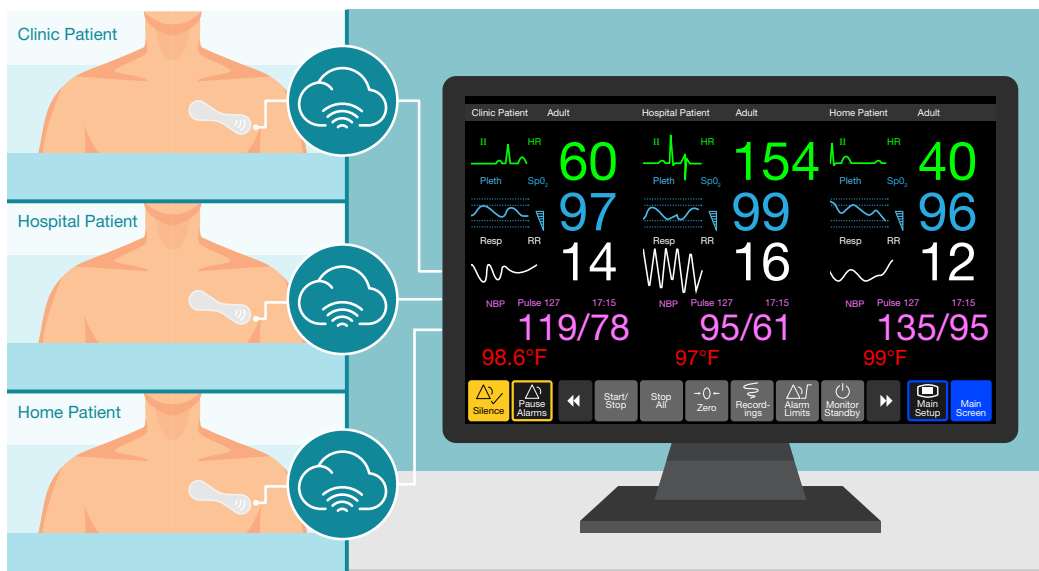


Abbildung 1. Drahtlose Vitalparameterüberwachung für mehrere Patienten.

zur Messung und LED-Fehlererfassung, und tragen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Pulsoximetern bei. AFEs zeichnen sich durch besonders anpassbare Zeitsteuerung für nicht-standardmäßige Verbindungen und besonders stromsparende Funktionen aus, die einen niedrigen Ruhestrom im normalen Betrieb und in Standby bieten, und eignen sich deswegen besonders gut zur Verstärkung und Digitalisierung der Messungen kompakter, batteriegesteuerter Wearables und für optische Mess- und Überwachungsfunktionen.

Ein weiterer neuer Trend im Bereich der Patiententemperaturmessungsanwendungen neben Pulsoximetern sind Pflaster die zur Temperaturmessung auf der Haut des Patienten angebracht werden können. Erhöhte Körpertemperatur kann ein Indikator für die Verschlechterung des Gesundheitszustands eines besonders gefährdeten Patienten sein. Für Patienten, deren Temperatur ständig gemessen werden muss, bieten solche Pflaster eine kostengünstige Option. Auch deshalb erfreuen sie sich immer größerer Beliebtheit. Temperaturmessungen für medizinische Zwecke müssen die Anforderungen der American Society for Testing and Materials erfüllen. Diese Organisation legt maximale Fehlerquoten für Messungen fest. Zur Erfüllung dieser Standards müssen wichtige Designüberlegungen in die Entwicklung einbezogen werden. Zum Beispiel kann die Fehlerquote verringert werden, indem ein möglichst guter thermischer Kontakt hergestellt wird und gleichzeitig andere Wärmequellen, die die Temperaturmessung beeinflussen könnten, isoliert werden. Texas Instruments (TI) hat den hochgenauen, stromsparenden digitalen Temperatursensor [TMP117M](#) so optimiert, dass die Selbsterwärmung des Bausteins auf ein Minimum beschränkt bleibt. Der Sensor befindet sich in einem sehr, sehr dünnen bleifreien Gehäuse. So eignet

er sich gut zur Anwendung in Temperaturmessschnittstellen von Haut zu IC. Um mehr zu erfahren, lesen Sie unseren Blog "[Designüberlegungen für portable medizinische Temperaturüberwachungssysteme.](#)"

Abbildung 2 zeigt das [Multiparameter-Front-End-Referenzdesign für Vitalparameter-Überwachung](#), ein batteriebetriebenes Multiparameter-Design zur Überwachung von Vitalparametern wie Herzfrequenz, SpO₂ oder der Atmung von Patienten. Dieses System verwendet mehrere Front-End-Bausteine (den [AFE4403](#) und den [ADS1292R](#)) und Temperatursensoren aus der TMP117 Serie zur genauen Messung von Puls, elektrischer Herzfrequenz und Hauttemperatur ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Gleichzeitig besitzt das System Verbindungen zur Erkennung von Herzschrittmachermodulen und eignet sich somit für Herzschrittmachererkennungsanwendungen. Aufgrund der natürlichen Schwankungen in optischen Signalen und der Beschaffenheit von Elektroden, benötigen Biosensorik-Anwendungen eigentlich einstellbare Gain- und Datenraten. Um diese Biopotenziale in den Griff zu bekommen, kann aber ein gut programmierbarer Analog-zu-Digital-Wandler, wie der ADS1292R eingesetzt werden.



Abbildung 2. Referenzdesign für Multiparameter-Frontend.

Leistungsoptimierung

Tragbare und mobile Patientenüberwachungsgeräte müssen konstant Parameter überwachen und

messen. Sie sind normalerweise batteriebetrieben, was die Lebensdauer der Batterie zu einem wichtigen Faktor in der Entwicklung derartiger Anwendungen und zum Hauptunterscheidungsmerkmal zu anderen Produkten macht. Der Separator in batteriebetriebenen Systemen muss dünn sein, damit der Innenwiderstand möglichst gering ist, eine hohe Packungsdichte und ein effizienter Stromverbrauch erzielt werden kann. Patienten und Ärzte wünschen sich immer mehr Funktionen, die noch besser funktionieren und in immer kleineren Ausführungen erhältlich sind, dabei sollte die Batterie möglichst lange einsatzbereit sein und nicht oft geladen werden müssen – das sind sehr hohe Ansprüche an eine Batterie.

Entwickler können stromsparende Mikrocontroller (MCUs) und analoge ICs einsetzen, aber es wird ihnen nicht möglich sein, die neuesten Technologien in ihrem Design zu nutzen, wenn sie ihr Energiemanagement nicht optimieren können. Die Energiearchitektur muss so effizient wie möglich sein und lange Batterielaufzeiten bieten.

Für Batteriedesigns mit einer MCU können Stromsparfunktionen wie Sleep-, Hibernate- und Shutdown-Modus wesentlich zur Verbesserung der Batterielebensdauer beitragen. Für drahtlose Kommunikation spielen außerdem der Stromverbrauch im Standby-Modus und zu den Aufweckzeiten eine Rolle.

Zusätzlich zu digitalen Stromsparoptionen müssen Entwickler auch analoge Energiemanagementkomponenten wie Regulatoren oder DC/DC-Wandler in ihrem Design berücksichtigen, um die Effizienz ihrer Anwendung zu optimieren. Dazu können sie Lastenschalter einbauen, um Peripheriegeräte abschalten zu können, wenn diese nicht in Betrieb sind, die Batterieart klug wählen und das Ladeprofil optimieren.

Der Transportmodus-Schaltkreis nutzt mehrere Komponenten, um die Batterieleistung während des Transports von batteriebetriebenen Elektronikanwendungen, wie Wearables, zu verlängern. Der **TPS22916** Lastenschalter kann als ein nicht invasiver Schalter unabhängig von der Hauptelektronik agieren. So kann Stromverlust durch Abschalten reduziert werden und die Batterie über ein E/A-Signal, das sich auf einem MCU-Pin befindet, oder über einen Knopf vom System getrennt werden. **Abbildung 3** veranschaulicht die Einfachheit dieses Schaltkreises.

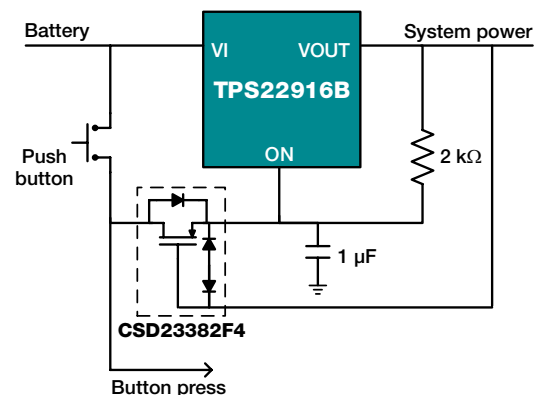


Abbildung 3. Der TPS22916 im Transport-Modus.

Zusätzlich zur Energieverwaltung während Lieferung und Lagerung, haben sich Batterielebensdauerüberwachung, Protokollierung und Vorhersage durch die Nutzung stromsparender und kostensparender Füllstandanzeige-ICs wesentlich verbessert. Viele Füllstandanzeige-ICs besitzen ein sehr kompaktes Ball Grid Array-Gehäuse, das mithilfe des Impedance Track™ Technologie-Algorithmus von TI vorprogrammierte chemische Profile zur Überwachung von Batteriekapazität, Ladezustand und Spannung enthält.

Drahtlose Vernetzung für Fernüberwachungssysteme

Ein weiterer entscheidender zu berücksichtigender Aspekt bei der Entwicklung von

Patientenüberwachungssystemen und mobilen medizinischen Geräten ist neben der Stromversorgung auch die Konnektivität. Die Displays für Patientenmonitore müssen eine hohe Auflösung besitzen und deutlich und klar lesbar sein, die Digitalanzeigen müssen je nach Anwendung Dual-Core-Verarbeitung oder Hochgeschwindigkeitsfunktionen besitzen. Mithilfe von Arm-Prozessoren wie den Prozessoren der Sitara™ ARM® Cortex®-A Serie bieten wir Unterstützung für Benutzerschnittstellen für hochwertigere Patientenmonitore. Zum Beispiel besteht der Prozessor [AM3358](#) aus einem skalierbaren Arm Cortex-A8-Kern und der Fähigkeit zur Unterstützung von 3D-Grafikdisplays.

Obwohl schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeiten für Displays nützlich sind, bringen diese Lösungen Herausforderungen im Bereich der drahtlosen Kommunikation mit sich, da mit der schnellen Verarbeitungsgeschwindigkeit auch die Latenz erhöht und Datenverarbeitungsanforderungen für Vitalparameterdisplays in Echtzeit steigen. Drahtlose Module wie die [WiLink™ 8 Technologie-Serie von TI](#) enthalten Dual-Band-Wi-Fi®, Bluetooth® oder eine Kombination beider Technologien (**Abbildung 4**); diese Module sind für Anwendungen mit Durchsatzraten von bis zu 100 Mbps geeignet und bilden eine gute Ergänzung zum Sitara-Prozessor. Die Bausteine dieser Serie bieten erweiterte WLAN-Sicherheitsfunktionen, Wi-Fi Protected Access 3 und sind mit dem in den USA gültigen Federal Information Processing Standard 140-2 der U.S.-Regierung kompatibel.

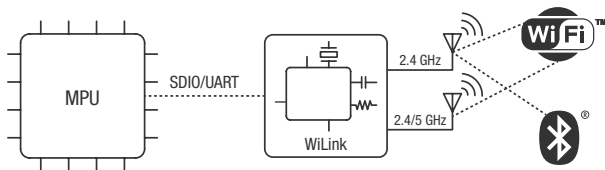


Abbildung 4. Kombilösungen für WiLink Wi-Fi und Bluetooth.

Als weitere Herausforderungen bei der Entwicklung von Anwendungen mit drahtloser Kommunikation, insbesondere für Wearables, gelten neben dem mit dieser Art von Anwendung assoziierte hohe Stromverbrauch, der auf den hohen Stromverbrauch bei der Funkübertragung zurückzuführen ist, auch die Integration von sperrigen Funkmodulen in kompakten Anwendungen. Das Referenzdesign für [Bluetooth-fähige, hochgenaue Sensorpflaster mit flexibler Leiterplatte zur Temperaturmessung](#) (**Abbildung 5**) verdeutlicht wie hochgenaue Temperaturmessung ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) – in Kombination mit einem 2,4 GHz Funkfrequenztransceiver und einer stromsparenden, drahtlosen MCU mit einem vollständigen Bluetooth-Stack auf einer kleinen flexiblen Leiterplatte (PCB) – in batteriebetriebenen Temperatursensorpflastern mit der Fähigkeit, die Temperaturmesswerte aus der Ferne zu übertragen, zum Einsatz kommt. Eine MCU mit extrem geringem Stromverbrauch, z. B. die [CC2640R2F](#), wie sie in dem Referenzdesign für Bluetooth-fähige Temperatursensorpflaster oben enthalten ist, kann energiesparende Datenübertragung unterstützen und die Aufwackzeiten für Standby- oder Shutdown-Zustände optimieren.

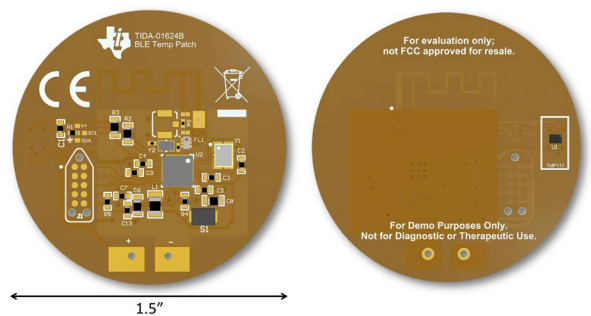


Abbildung 5. PCB-Pflaster-Referenzdesign.

Datensicherheit

Nur die besten Sicherheitsfunktionen sind gut genug für drahtlose medizinische Sensorpflaster und Patientenüberwachungsanwendungen.

Patientendaten müssen geheim bleiben und Datenklau kann schwerwiegende Folgen nach sich ziehen.

Es gibt bereits verschiedene Sicherheitsmaßnahmen, die den Datenklau von Patientendaten verhindern und das intellektuelle Eigentum schützen sollen. Derartige Maßnahmen sollen vor Angriffen schützen und die Datenübertragung sicher machen; nicht nur bei der Verarbeitung und Umwandlung der Vitalparameterdaten zur Anzeige auf einem Bildschirm, sondern auch während der Übertragung. Dies nennt man Sicherheit „Over-the-Air“.

Analoge Front-Ends (AFE) haben sich für Entwicklungsingenieure aufgrund ihrer Fähigkeiten, Biosensorik-Geräte kleiner und stromsparender machen zu können und multimodale Strommessung zu ermöglichen, als äußerst wirksame Tools bei der Entwicklung von Telehealth-Anwendungen erwiesen. Aber auch die Kombination von MCU-/Funkbausteinen und Multicore-Prozessoren haben zur Entwicklung von Remote-Anwendungen

beitragen, für die kontinuierliches Datenstreaming mit hohem Durchsatz von großer Bedeutung sind und die für Anwendungen wie Patientenmonitore und Digitalanzeigen zur Anzeige von Vitalparametern wie es sie in Schwesternzimmern in Krankenhäusern gibt, wichtig sind.

Fazit

Medizintechnik-Ingenieure beschäftigen sich mit der Lösung von Herausforderungen bei der Entwicklung besserer drahtloser, kostengünstiger und kompakterer Patientenüberwachungs- und Wearable-Pflaster-Lösungen mit Konnektivität, und leisten damit einen großen Beitrag zur schnellen technologischen Entwicklung in der Medizintechnik. Sowohl in Krankenhäusern in den Industriestaaten, als auch in Telehealth-Zentren in Entwicklungsländern und bei der Triage von verletzten Soldaten auf dem Schlachtfeld, weisen Wearables den Weg in die Zukunft der Gesundheitsversorgung, denn sie besitzen das Potenzial, die Pflege von Patienten überall auf der Welt zu verbessern.



Wichtiger Hinweis: Für den Verkauf der hier beschriebenen Produkte und Dienstleistungen von Texas Instruments Incorporated und seiner Tochterunternehmen gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen von TI. Kunden wird empfohlen, vor Bestellungen die aktuellen und umfassenden Informationen über TI-Produkte und Dienstleistungen einzuholen. TI übernimmt keine Haftung für Anwendungsunterstützung, Kundenanwendungen oder Produktdesigns, Softwareleistung oder Verletzung von Patenten. Die Veröffentlichung von Informationen über Produkte oder Dienstleistungen anderer Unternehmen bedeutet keine Freigabe, Garantie oder Empfehlung durch TI.

Impedance Track, Sitara und WiLink sind Marken von Texas Instruments. Alle anderen Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale (www.ti.com/legal/termsofsale.html) or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2020, Texas Instruments Incorporated