**A Low-Cost Flexible IoT System Supporting Elderly's Healthcare in Rural Villages (Un Sistema de IoT Flexible y de Bajo Costo que Apoya la Atención Médica de las Personas Mayores en las Aldeas Rurales)**

## RESUMEN

Proponemos crear un sistema que, al explotar las posibilidades que ofrece Internet de las cosas (IoT), ofrezca una solución económica y asequible para prevenir y controlar los problemas de salud de las personas, especialmente las personas mayores, que viven en aldeas rurales, donde se evalúan las buenas instalaciones de salud. Es una gran preocupación. El sistema consiste en una combinación heterogénea de aplicaciones y dispositivos basados ​​en Arduino que conectan a pacientes y proveedores de servicios de salud ubicados de forma remota. Una característica importante desde el punto de vista de la interacción es que el sistema es fácilmente configurable por personas no técnicas, por ejemplo, cuidadores.

## Introducción

Este documento describe nuestro trabajo continuo en el diseño de un sistema cuyo objetivo es mejorar la prevención y el control de los problemas de salud de las personas, especialmente los ancianos, que viven en aldeas rurales en Nigeria. Estamos explotando la tecnología de Internet de las cosas (IoT) [5], que ofrece muchas posibilidades para abordar los problemas destacados anteriormente. El sistema incluye iHealthBag, es decir, un dispositivo IoT basado en Arduino [4]; En el diseño actual, proporciona sensores y herramientas para medir diferentes parámetros vitales (por ejemplo, frecuencia cardíaca, temperatura, ECG, presión arterial, glucosa, pulso), enviar alarmas en caso de anomalías y gestionar el consumo de medicamentos. Los datos recopilados por iHealthBag se almacenan localmente y luego se transfieren al dispositivo móvil del cuidador del paciente, que utiliza una aplicación para visualizar adecuadamente los diferentes tipos de datos, tomar algunas decisiones de primeros auxilios y comunicarse con los médicos. Debido al contexto abordado, el desafío final ha sido la identificación de un sistema que pueda adoptarse con éxito en el escenario considerado. Tiene que ser barato y asequible, fácilmente configurable y utilizable, no requiere dispositivos móviles sofisticados, especialmente porque las partes interesadas (por ejemplo, médicos, enfermeras, cuidadores informales, pacientes) generalmente no son expertos en TI. Dado que en las aldeas rurales los servicios de Internet pueden no estar disponibles, las capacidades de comunicación del sistema tienen que ser flexibles, explotando también la red celular GSM para enviar datos y mensajes que luego son analizados para que el sistema los use adecuadamente.

El principal desafío de un sistema que debe apoyar la atención médica de las personas mayores en las aldeas rurales africanas es que debe ser barato y fácil de usar por los cuidadores que tienen un conocimiento limitado de la tecnología.

Creamos un equipo de diseño que incluía ingenieros electrónicos, ingenieros de software y diseñadores de interacción. Ellos son los autores de este artículo. La mayoría de ellos son expertos en tecnologías IoT. Además, el primer autor es estudiante de doctorado en una universidad nigeriana, se graduó en Ingeniería Electrónica y actualmente está en nuestro Departamento para una visita de 5 meses. Es la persona de referencia para ilustrar las diferentes facetas de la realidad del área rural nigeriana y proporcionar más información sobre los requisitos del contexto. Otros miembros del equipo tienen experiencia previa en el diseño de tecnología para Ambient Assisted Living (AAL). Ver, por ejemplo, [2, 6].

El diseño del sistema constaba de tres fases principales, como se describe a continuación. Con el fin de obtener más ideas sobre el sistema a visualizar, también tomamos en cuenta los proyectos desarrollados como asignación para los estudiantes de doctorado que asistieron a un curso sobre "Tecnologías y herramientas de IoT para configurar entornos inteligentes". La tarea consistió en diseñar un sistema AAL para personas mayores en áreas desfavorecidas.

Durante la primera fase, el equipo identificó los elementos de contexto que influyen en el diseño de la solución propuesta. Primero, se consideraron las limitaciones de la infraestructura y luego se identificaron las partes interesadas y sus relaciones, habilidades y roles. Se supo que la solución debería ser barata y asequible, fácil y simple de usar con procedimientos de configuración mínimos requeridos. No debe depender de dispositivos móviles altamente sofisticados, ya que está destinado a las aldeas rurales de África donde los servicios de Internet pueden no estar disponibles. Debe ser flexible para adaptarse a una variedad de enfermedades, partes interesadas, dispositivos e infraestructuras disponibles.

A la persona de edad avanzada se le proporciona un dispositivo capaz de detectar diferentes parámetros (por ejemplo, frecuencia cardíaca, temperatura, ECG, presión arterial, glucosa, pulso); los datos recopilados se almacenan localmente y luego se transfieren al dispositivo móvil de un cuidador informal, generalmente esposa / esposo, hijos / hijas o un pariente. La persona mayor también puede usar su dispositivo para enviar alarmas SOS al teléfono móvil del cuidador informal. La aplicación aquí instalada permite al cuidador visualizar los parámetros de salud y transferirlos a médicos u otros cuidadores profesionales. El médico, utilizando una aplicación web o móvil, puede acceder a los datos que se han recopilado previamente del dispositivo del paciente y luego transferidos por la aplicación informal del cuidador.

Sobre la base de los resultados de la primera fase, durante la segunda fase, el equipo participó en el diseño del dispositivo para proporcionar a las personas mayores. Después de evaluar y discutir diferentes prototipos, finalmente se decidió que el mejor diseño sería un maletín, o bolsa, compuesto por una unidad central más diferentes módulos, cada uno capaz de realizar mediciones específicas, para agregar o quitar de acuerdo con las enfermedades del paciente. El nombre elegido para el sistema fue iHealthBag. Se definieron las modalidades de comunicación entre los componentes del sistema.

Finalmente, inspirado por [6], el equipo de diseño se centró en diseñar el dispensador de píldoras, un componente adicional del dispositivo del paciente que administra la administración de la terapia con medicamentos. El dispensador de pastillas se caracteriza por las siguientes características:

* Modularidad, ya que la terapia puede cambiar con el tiempo.
* Informe preciso de la ingesta de drogas, para que los cuidadores puedan verificar que el paciente esté tomando las píldoras correctamente.
* Modificación de la terapia remota: si el cuidador profesional decide cambiar la terapia, puede programar de manera remota el comportamiento del dispensador de píldoras utilizando la interfaz visual disponible en la aplicación instalada en su computadora o teléfono móvil. Es responsabilidad del cuidador informal (generalmente un pariente cercano del paciente) cambiar las píldoras en el dispensador en consecuencia.

**4 El Sistema iHealthBag**

El sistema iHealthBag se propone como una combinación heterogénea de aplicaciones y dispositivos asequibles basados en Arduino que conectan a pacientes (ancianos) y proveedores de servicios de salud ubicados de forma remota. El sistema despliega una amplia variedad de sensores y actuadores para monitorear y observar los signos vitales de salud del paciente y lo conecta interactivamente (suponemos que es hombre) con el cuidador o médico informal las 24 horas y los 7 días de la semana.



**Figura 2. El dispositivo iHealthBag entregado a los pacientes.**

El dispositivo iHealthBag que se proporcionará al paciente está compuesto por un dispositivo de la Unidad Central que viene con ranuras expandibles donde se puede insertar una combinación diferente de sensores, llamados Módulos de sensores (consulte la Figura 2). La Unidad Central contiene una placa de microcontrolador Arduino Uno, un módulo Bluetooth, una placa de nodo MCU [11], una tarjeta SD (en la Figura 2 es la caja de doble tamaño con la etiqueta iHealthBag; al lado está el módulo de batería). Cada módulo de sensor es una caja que proporciona todos los sensores necesarios para detectar los parámetros de una enfermedad específica, p. diabetes. Se pueden conectar varios módulos de sensores, por lo que se pueden controlar varias enfermedades. Cada caja está impresa con una impresora 3D y contiene: una placa de nodo MCU, los sensores específicos y los protectores necesarios para ellos, puertos de entrada / salida si es necesario (por ejemplo, conector). La caja también tiene conectores para tomar y proporcionar energía de las cajas a las que está conectada. Las placas nodeMCU disponibles tanto en la Unidad Central como en los Módulos de Sensor permiten la transferencia de datos entre cada componente del dispositivo iHealthBag o para conectarlo a una red local, a Internet o a la red GSM.

Los datos recopilados por los sensores pueden almacenarse y recuperarse en la tarjeta SD disponible en el dispositivo de la Unidad Central y luego transferirse automáticamente a un receptor Bluetooth, es decir, el teléfono inteligente informal del cuidador. Opcionalmente, el dispositivo iHealthBag se puede proporcionar con un módulo GSM si Internet no está disponible: en este caso, si como un Módulo Sensor detecta una anomalía con las condiciones del paciente, el iHealthBag envía inmediatamente mensajes de alerta al cuidador informal por SMS.

El módulo dispensador de píldoras tiene las mismas dimensiones que el módulo de la unidad central. Contiene un microcontrolador nodeMCU y una serie de pequeñas cajas que contienen píldoras de diferentes tipos. Cada pastillero tiene una luz LED, que se enciende automáticamente cuando hay que tomar esa píldora. Para confirmar que tomó la píldora, el paciente presiona un botón en el pastillero y la luz se apaga.

****

**Figure 3. Pantalla de la aplicación iHealthBag para el cuidador informal.**

El cuidador informal, utilizando la aplicación instalada en su teléfono inteligente, monitorea las condiciones del paciente y posiblemente brinda algunos primeros auxilios predefinidos preliminares. En el ejemplo que se muestra en la Figura 3, el paciente realizó su prueba regular de azúcar y tomó los medicamentos relacionados, de ahí el color verde. El paciente revisó su ECG pero no tomó el medicamento de ECG, de ahí el color naranja. Sin embargo, no examinó la presión arterial (PA) ni tomó medicamentos para la PA, por lo tanto, la línea de la PA se resalta en rojo.

Se espera que el cuidador informal visite a los ancianos y se asegure de que revise su presión sanguínea y tome sus medicamentos diarios pendientes. Una vez hecho esto, se borran todas las alarmas. La aplicación informal para cuidadores también sirve para contactar a un médico para obtener asesoramiento profesional, así como para transmitir, de manera inmediata o periódica, los datos recopilados a un servidor central a través de Internet. La aplicación también permite al usuario monitorear el estado del dispensador de píldoras y configurar y administrar la terapia de píldoras configurando adecuadamente el dispositivo. Vale la pena señalar que nuestro grupo de investigación trabaja en enfoques que permiten a las personas que no son expertas en tecnología configurar fácilmente objetos inteligentes. Este tipo de investigación es de gran interés en este momento (por ejemplo, ver [10]).

La comunicación está mediada por ThingSpeak, una aplicación de IoT de código abierto y API para almacenar y recuperar datos de cosas que utilizan el protocolo HTTP a través de Internet o a través de una red de área local [15]. ThingSpeak permite la creación de aplicaciones de registro de sensores, aplicaciones de seguimiento de ubicación y una red social de cosas con actualizaciones de estado. El médico, utilizando una aplicación web o móvil, puede acceder a los datos del paciente que se han recopilado previamente desde el dispositivo iHealthBag y luego transferidos por la aplicación informal para cuidadores en ThingSpeak.

**5 Discusión and Conclusión**

En este documento hemos discutido el diseño de un sistema de IoT con el objetivo de dar acceso a una buena atención médica en las aldeas rurales. Para construir un sistema que se pueda adoptar realmente, se deben gestionar varias compensaciones en la solución diseñada, para abordar adecuadamente los requisitos a menudo conflictivos sobre la efectividad, la eficiencia y el contexto específico. Nuestra propuesta difiere de la investigación mencionada sobre Ambient Assisted Living (AAL) en varias formas con fundamentos muy básicos:

* Proponemos una implementación con sensores rentables que haga que todo el proyecto sea asequible para las comunidades de bajos ingresos en África.
* Nuestra solución no depende totalmente de Internet. La infraestructura de Internet sigue siendo un problema importante en las aldeas africanas, por lo tanto, diseñamos con Internet como una opción.
* Ofrecemos un conjunto de módulos de sensores personalizables. Cada módulo se puede incorporar en el sistema a medida que surja la necesidad.

Actualmente estamos implementando la aplicación para el dispositivo móvil del cuidador informal y tanto la aplicación web como la aplicación móvil para los cuidadores profesionales. Una vez que todos los componentes del sistema estén operativos, estamos planeando realizar un estudio longitudinal que involucre a usuarios reales, evaluando así la viabilidad y la aceptabilidad de la solución propuesta. Somos conscientes de que otros problemas son muy importantes en el dominio AAL, por ejemplo, la fiabilidad del sensor y la seguridad de los datos. Aún creemos que nuestro proyecto, que se encuentra en sus etapas iniciales, puede proporcionar un primer producto válido para satisfacer algunos requisitos principales de las aldeas rurales.