

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE GRADO

PLATAFORMA INALÁMBRICA PARA LA
WEB FÍSICA

GRADO EN INGENIERÍA DE
TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

JOSÉ ANTONIO YÉBENES GÁLVEZ
MÁLAGA, 2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Reunido el tribunal examinador en el día de la fecha, constituido por:

D./D^a. _____

D./D^a. _____

D./D^a. _____

para juzgar el Trabajo de Fin de Grado titulado:

Plataforma inalámbrica para la web física

del alumno D./D^a. *JOSÉ ANTONIO YÉBENES GÁLVEZ*

dirigido por D./D^a. *Ignacio Herrero y José Manuel Cano*

ACORDÓ POR _____ OTORGAR LA

CALIFICACIÓN DE _____

y, para que conste, se extiende firmada por los componentes del tribunal, la presente diligencia.

Málaga, a _____ de _____ de _____

El Presidente:

El Vocal:

El Secretario:

Fdo.: _____ Fdo.: _____ Fdo.: _____

Universidad de Málaga
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

PLATAFORMA INALÁMBRICA PARA LA WEB FÍSICA

REALIZADO POR
JOSÉ ANTONIO YÉBENES GÁLVEZ

DIRIGIDO POR
Ignacio Herrero y José Manuel Cano

Dpto. de: Tecnología Electrónica (DET)

Palabras clave: IOT, web, red, sensores, inalámbrica, física, objetos, internet

Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Resumen: Aquí se explica un breve resumen del proyecto, en qué consiste, cuál es su propósito, etc.

Puede usarse más de un párrafo si es necesario.

Málaga, 29 de enero de 2018

A mi familia,
por permitirme cumplir mis objetivos.
A Lucía,
por aguantarme.

El autor

Acrónimos

API	<i>Application Programming Interface</i>
APL	<i>Application</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CCS	<i>Code Composer Studio</i>
ETSIT	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación
H2M	<i>Human-to-Machine</i>
HP	<i>Hewlett-Packard</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IOT	Internet de las cosas o <i>Internet Of Things</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MT	<i>Managment and Test</i>
NWK	<i>Network</i>
PHY	<i>Physical</i>
QR	<i>Quick Response</i>
RF	Radiofrecuencia
TFG	Trabajo Fin de grado
UMA	Universidad de Málaga

URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
Wavenis-OSA	Wavenis Open Standard Alliance
WSN	<i>Wireless Sensor Networks</i>

Índice

Acrónimos	IX
I Introducción	1
1 Objetivos	3
2 Especificaciones	5
Especificaciones principales	5
Especificaciones secundarias	5
3 Metodología	7
II Estado del arte	9
4 Web física	11
5 Redes inalámbricas e internet de las cosas	15
Visión general de las soluciones existentes	16
III Desarrollo del proyecto	19
6 Descripción general	21
Esquema General	21
Nodo	21
Concentrador	22
Raspberry Pi	23
Servidor	23

7	Nodo	25
	Introducción	25
	Estructura del proyecto	25
	Funcionamiento	25
8	Concentrador	27
	Introducción	27
	Estructura del proyecto	27
	Funcionamiento	27
9	Servidor	29
	Backend	29
	Frontend	29
IV	Pruebas y funcionamiento	31
10	Consumo	33
	Introducción	33
	Medida del consumo	33
	Resultados	34
V	Conclusiones y líneas futuras	37
	Conclusiones y líneas futuras	39
VI	Apéndices	41
11	Apéndice	43
	11.1 Primera sección	43
	Bibliografía	46

Índice de figuras

4.1	Logo de la web física	11
4.2	Ejemplos de comunicación cercana	12
6.1	Esquema general del proyecto	22
10.1	Programas de LabView	34
10.2	Consumo en mA del nodo a la máxima frecuencia de muestreo	34

Índice de Tablas

Parte I

Introducción

Capítulo 1

Objetivos

La web física es un término que describe la forma de comunicar cualquier objeto físico con la web. A partir este enfoque, es posible navegar y controlar objetos en el mundo a través de dispositivos móviles. Esto ofrece a los usuarios la manera de realizar sus tareas diarias utilizando los objetos de su entorno. Para utilizar este enfoque, lo primero que hay que elegir es la manera con la que el objeto se comunicará con el usuario, tal como códigos QR o etiquetas RFID. De los diferentes enfoques que tiene la web física, el que se va a tratar en este proyecto es el basado en proximidad inalámbrica.

El modelo que plantea la web física, los objetos pueden necesitan un canal por donde enviar y recibir datos. Hay diferentes técnicas enmarcadas dentro del Internet de las cosas o *Internet Of Things* (IOT). El problema se agrava cuando los objetos están distribuidos y no tienen cerca un punto de acceso a internet o tienen que funcionar con baterías. En estos casos, buscar una solución de comunicación inalámbrica de gran alcance y bajo consumo es prioritario.

Con estos conceptos en mente, el presente trabajo de fin de grado va a abordar el concepto de web física, implementando una red inalámbrica que permita comunicarse con los objetos con el fin de ser una red versátil. Finalmente, esta tecnología se aplicará en un caso concreto de uso.

Capítulo 2

Especificaciones

Contenido

Especificaciones principales	5
Especificaciones secundarias	5

Especificaciones principales

Especificaciones secundarias

Capítulo 3

Metodología

El proyecto tiene diferentes partes, cada una de ellas con su propia metodología de trabajo y requerimientos específicos.

Para trabajar con el microcontrolador seleccionado he utilizado los diferentes programas que recomiendan el fabricante. Aunque principalmente ha sido el uso de *Code Composer Studio* (CCS) como herramienta para la programación y depuración del microcontrolador.

Parte II

Estado del arte

Capítulo 4

Web física

El primer concepto que hay que conocer para afrontar el proyecto es el de Web Física. La Web Física es un término que describe el proceso de presentar objetos cotidianos en internet[1]. Este enfoque ofrece a los usuarios móviles la posibilidad de gestionar sus tareas diarias en el uso de objetos cotidianos. Los objetos comienzan a ser inteligentes y remotamente controlables. Este modelo permite a los usuarios móviles navegar y controlar los objetos físicos que rodean al dispositivo móvil. Además, esto ayuda al desempeño de tareas diarias dependiendo de los objetos cercanos [2].



Figura 4.1: Logo de la web física

Podemos mencionar en este contexto a los conocidos códigos *Quick Response* (QR), los códigos QR son un código de barras en dos dimensiones, a menudo utilizados para mapear *Uniform Resource Locator* (URL) con objetos físicos [3].

Las etiquetas inalámbricas son uno de los enfoques más utilizados para el marcado de objetos físicos. Las etiquetas inalámbricas pueden soportar protocolos como *Bluetooth Low Energy* (BLE) y *WiFi*. Los protocolos mencionados son soportados por la mayoría de los teléfonos móviles modernos.

En la Web Física, personas, lugares y objetos tienen páginas web que proveen información y mecanismos de interacción. Sin embargo, es la amplitud y la profundidad de la pila que rodea a la web, que hacen de esta una atractiva visión para la evolución del IOT.[1]

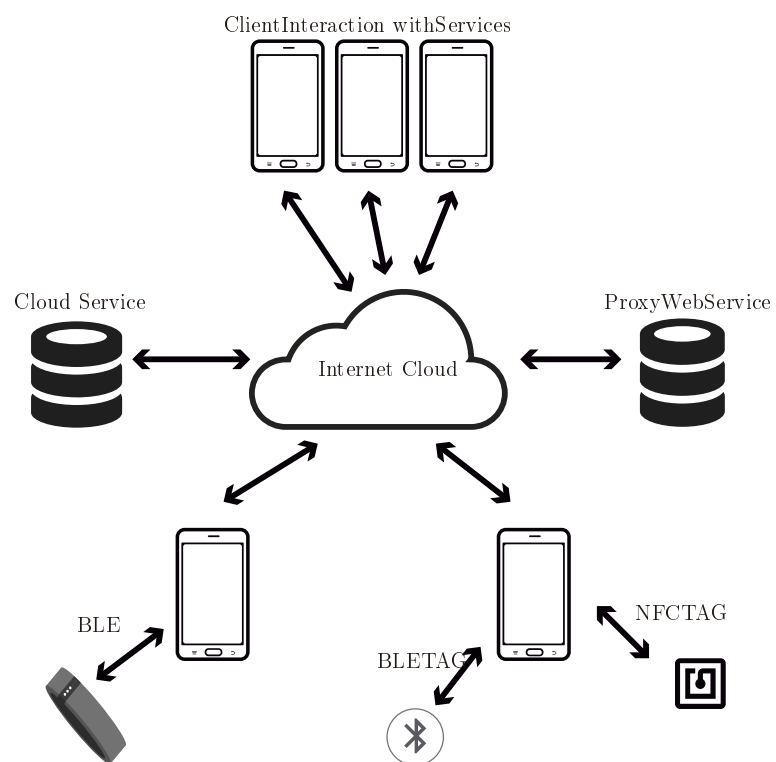


Figura 4.2: Ejemplos de comunicación cercana

Las páginas web son una fantástica tecnología para interacción *Human-to-Machine* (H2M), pero muchos de los casos de uso del IOT son interacciones *Machine-to-Machine* (M2M). Los formatos de datos usados por **Schema.org** y otros, permiten a los agentes de usuario y servicios en la nube analizar los datos para eventos, organizaciones, personas, lugares, productos y así sucesivamente, acutando sobre ellos de forma interactiva y proactiva. [1]

Uno de los primeros proyectos en fomentar esta idea fue *Hewlett-Packard* (HP) con *Cooltown*, que usaba balizas infrarrojas para transmitir URLs. Más recientemente, BLE proporciona una similar baliza de bajo consumo que puede emitir URL en paquetes periódicos (www.uribeacon.org). [1]

Capítulo 5

Redes inalámbricas e internet de las cosas

Contenido

Visión general de las soluciones existentes	16
---	----

El futuro de internet tiene como meta integrar diferentes tecnologías de comunicación, cableadas e inalámbricas, con el objetivo de contribuir sustancialmente a mejorar el concepto de IOT [4]. Aunque hay muchas maneras de describir el IOT, podemos definirlo como una red con objetos interconectados con direcciones únicas, basadas en un protocolo estándar de comunicación.[5]

Los sensores de bajo costo han facilitado la proliferación de *Wireless Sensor Networks* (WSN) en muchos escenarios como monitorización medioambiental, agricultura, salud, y construcciones inteligentes. WSN están caracterizadas por una alta heterogeneidad porque están basadas en diferentes soluciones, propietarias y no propietarias. Este gran rango de soluciones está retrasando actualmente desarrollos a gran escala de estas tecnologías a fin de que se obtenga una gran red virtual de sensores que permita integrar todos las existentes redes de sensores.[6]

Las redes de sensores basadas en sistemas cerrados o propietarios son islas conectivamente hablando, con limitadas comunicaciones con el mundo exterior. Por lo general, es necesario usar *gateways* con conocimiento específico de la aplicación para exportar los datos de la WSN a otros dispositivos conectados a Internet. Además, no hay comunicación directa entre diferentes protocolos a menos que se implementen complejas conversiones específicas para la aplicación en los *gateways* o *proxies*.

Visión general de las soluciones existentes

En este apartado presentaremos una rápida visión general de las principales tecnologías usadas para WSN [7]. Analizaremos las soluciones que no están basadas en los protocolos de internet.

ZIGBEE

ZigBee es una tecnología de red inalámbrica desarrollada por la ZigBee Alliance para baja tasa de transmisión de datos y aplicaciones de corto alcance [8]. La pila de protocolos ZigBee está compuesta por 4 principales capas: la capa *Physical* (PHY), la capa *Medium Access Control* (MAC), la capa *Network* (NWK) y la capa *Application* (APL). PHY y MAC de ZigBee están definidas por el estándar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.15.4, mientras el resto de la pila está definida por la especificación ZigBee.

Esta versión inicial del IEEE 802.15.4, en la que ZigBee está basado, funciona en la bandas de 868 MHz (Europa), 915 MHz (Norteamérica) y 2.4 GHz (global).

Una nueva especificación de ZigBee es RF4CE [9], que tiene una simplificada pila de red para topologías en estrellas solamente, ofreciendo una solución simple para el control remoto de electrónica de consumo.

Z-WAVE

Z-Wave es un protocolo inalámbrico desarrollado por ZenSys y promovida por la Z-Wave Alliance para automatizaciones residenciales y pequeños entornos comerciales. El principal objetivo de permitir transmisiones seguras de cortos mensajes desde una unidad de control hasta uno más nodos en la red [10]. Z-Wave esta organizado de acuerdo a un arquitectura cumpuesta por 5 capas principales: PHY, MAC, transferencia, enrutado y capas de aplicación.

Z-Wave opera principalmente en la banda de 900 MHz (868 MHz en Europa y 908 MHz en Estados Unidos) y 2.4 GHz. Z-Wave permite tasas de transmisión a 9.6 kb/s, 40 kb/s y 200 kb/s.

INSTEON

INSTEON [?] es una solución desarrollada por SmartLabs y promovida por la INSTEON Alliance. Una de las distintivas características de INSTEON es el hecho de como define una topología de red compuesta de Radiofrecuencia (RF) y *power*

line links. Los dispositivos pueden ser RF, *power-line*, o pueden soportar ambos tipos de comunicación.

INSTEON opera a 904 MHz como frecuencia central, con una tasa de datos bruta de 38.4 kb/s.

Los dispositivos INSTEON son parejas, lo que significa que cualquiera de ellos pueden tener el rol de emisor, receptor o repetidor. La comunicación entre ambos dispositivos que no estén en el mismo rango se logra mediante un enfoque «multisalto» que usa los repetidores en un esquema de sincronización temporal.

WAVENIS

Wavenis es un protocolo inalámbrico desarrollado por Coronis System para el control y monitorización de aplicaciones en entornos exigentes, incluida la domótica y la automatización de edificios. Wavenis actualmente está promovida y gestionada por la Wavenis Open Standard Alliance (Wavenis-OSA). Está definido por la funcionalidad de las capas física, de enlace y de red [11]. Los servicios de Wavenis pueden ser accedidos desde capas superiores mediante una *Application Programming Interface* (API).

Wavenis opera principalmente en las bandas de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, que son bandas reservadas para *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) en Asia, Europa y Estados Unidos. Algunos productos también operan en la banda de 2.4 GHz. Las tasas de transmisión mínimas y máximas dadas por Wavenis son 4.8 kb/s y 100 kb/s, respectivamente, con 19.2 kb/s como valor típico.

TI 15.4-STACK

Parte III

Desarrollo del proyecto

Capítulo 6

Descripción general

Contenido

Esquema General	21
Nodo	21
Concentrador	22
Raspberry Pi	23
Servidor	23

Esquema General

El presente trabajo de fin de grado se puede representar como se observa en la figura 6.1, donde están representados los diferentes elementos que componen la arquitectura.

Del diagrama se extrae que hay cuatro dispositivos distintos: nodo, concentrador, Raspberry Pi y servidor. Cada uno de estos elementos tiene su propia línea de ejecución diferente de los demás. También se observa como están interconectados los diferentes dispositivos usando protocolos diferentes según sea la comunicación. En los siguientes apartados se repasarán la función de cada uno de los dispositivos y como se comunican con los demás.

Nodo

El nodo es uno de los extremos de la red, y es el encargado de comunicarle al usuario la URL tal y como define la web física. Este está basado en el microcontro-

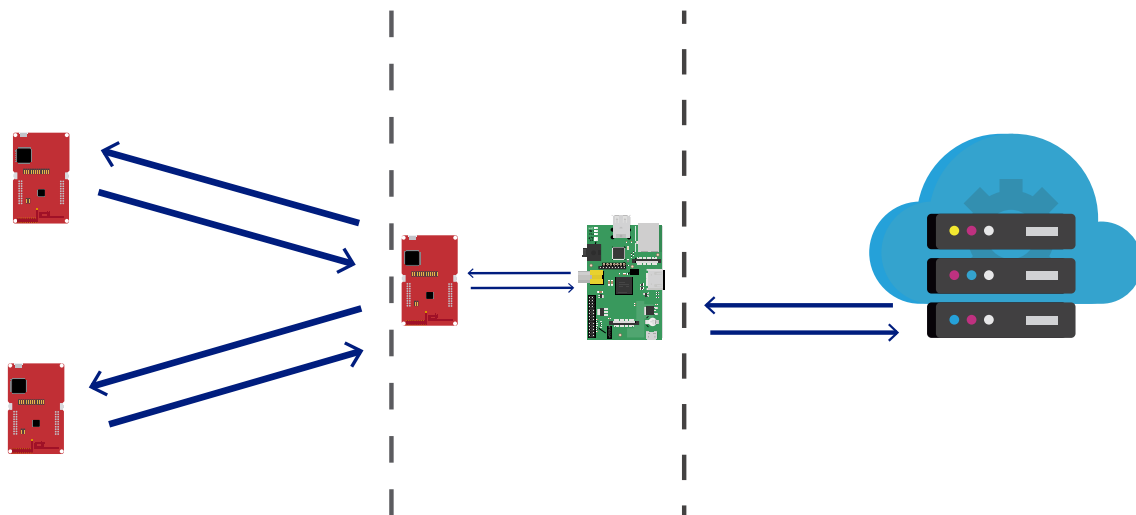


Figura 6.1: Esquema general del proyecto

lador CC1350 SimpleLink™ de Texas Instruments que nos permite comunicación en dos bandas de frecuencia diferentes, en nuestro caso 868MHz y 2.4Ghz.

Con el uso de estas dos bandas de frecuencia, el nodo se comunicará con el usuario usando la banda de 2.4GHz y el protocolo bluetooth. Y con el resto de la red usando la banda de 868MHz y el protocolo TI 15.4 Stack.

Usando la red inalámbrica TI 15.4 Stack, el nodo podrá enviar y recibir información desde otros puntos de la red, como por ejemplo cambiar la url que está enviando o enviar datos de sensores.

Concentrador

El concentrador es el nodo central de la red TI 15.4 Stack, este se encarga de comunicarse con los nodos a 868MHz. Este dispositivo ejecuta un código precompilado, que implementa una capa 802.15.4e/g MAC/PHY y proporciona una interfaz basada en el protocolo *Management and Test* (MT) que conecta el dispositivo con el host linux, en nuestro caso una Raspberry Pi.

Raspberry Pi

Servidor

Capítulo 7

Nodo

Contenido

Introducción	25
Estructura del proyecto	25
Funcionamiento	25

Introducción

Estructura del proyecto

Funcionamiento

Capítulo 8

Concentrador

Contenido

Introducción	27
Estructura del proyecto	27
Funcionamiento	27

Introducción

Estructura del proyecto

Funcionamiento

Capítulo 9

Servidor

Contenido	
Backend	29
Frontend	29

Backend

Frontend

Parte IV

Pruebas y funcionamiento

Capítulo 10

Consumo

Contenido

Introducción	33
Medida del consumo	33
Resultados	34

Introducción

Para una exitosa implementación del IOT uno de los requisitos más importantes es un consumo eficiente del sistema.

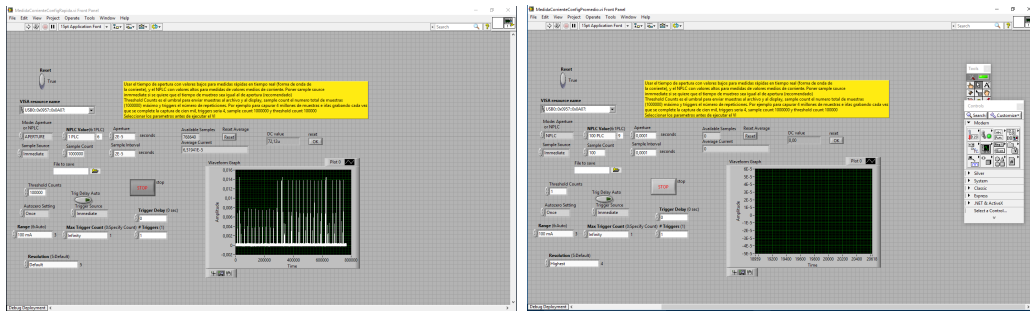
La comunicación inalámbrica entre los nodos comienza a ser un problema cuando la fuente de alimentación es limitada. Un sistema que pueda funcionar con una sola pila AAA durante años es lo ideal en el IOT [12]. Por ello, durante el desarrollo de este proyecto se ha utilizado como protocolo inalámbrico el IEEE 802.15.4, que destaca su bajo consumo.

Medida del consumo

Para realizar la medida de consumo se ha utilizado el multímetro digital Keysight 34411A, que proporciona 6 dígitos y medio de resolución y una velocidad de muestreo de 50000 muestras/s. [13]

Para el control del multímetro se ha utilizado dos programas de LabView, uno de ellos permite obtener datos a la máxima velocidad de muestreo aunque eso limite

la resolución a 4 dígitos (figura 10.1a) y el otro programa permite tomar datos promediados en intervalos de tiempo (figura 10.1b).



(a) Captura rápida

(b) Captura promedio

Figura 10.1: Programas de LabView

Resultados

Aunque el objetivo de esta prueba es conocer el consumo medio de corriente del nodo. Antes de nada se necesita conocer que fondo de escala utilizar en el multímetro para la medida en promedio, para ello se hace uso del programa de captura a máxima frecuencia de muestreo, donde se obtiene la corriente instantánea máxima que consume el nodo, unos 15 mA (figura 10.2).

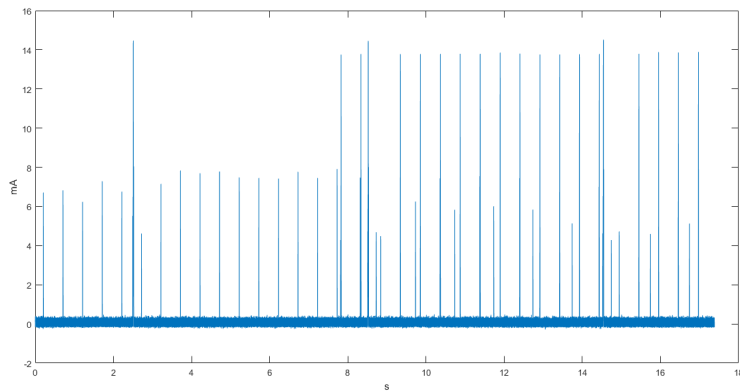


Figura 10.2: Consumo en mA del nodo a la máxima frecuencia de muestreo

Finalmente, utilizando el programa de medida promediada de LabView con un fondo de escala de 100mA, realizamos una medida de la corriente promedio durante 50 ciclos de subidas al servidor. Con esta configuración se obtiene que el consumo

medio de un nodo es de $169.6 \mu A$, lo que equivale a más de 5 meses de funcionamiento utilizando una pila de botón CR 2477.

Parte V

Conclusiones y lineas futuras

Conclusiones y líneas futuras

Después de todo el desarrollo del proyecto, es pertinente hacer una valoración final del mismo, respecto a los resultados obtenidos, las expectativas o el resultado de la experiencia acumulada.

En esta sección se exponen todos esos conceptos y enuncian unas conclusiones finales.

Además, considerando también el estado de la técnica, se pueden deducir líneas futuras de trabajo, proponer otros puntos de vista o cualquier otra sugerencia como postámbulo del presente trabajo, para ser considerada por el lector o el tribunal evaluador.

JOSÉ ANTONIO YÉBENES GÁLVEZ

29 de enero de 2018

Parte VI

Apéndices

Capítulo 11

Apéndice

Contenido

11.1 Primera sección	43
--------------------------------	----

11.1. Primera sección

Bibliografía

- [1] Roy Want, Bill N. Schilit, and Scott Jenson. Enabling the internet of things. *Computer*, 2015.
- [2] Dmitry Namiot and Manfred Sneys-Snepe. The physical web in smart cities. *Advances in Wireless and Optical Communications*, 2015.
- [3] Yue Liu, Ju Yang, and Mingjun Liu. Recognition of QR code with mobile phones. In *Control and Decision Conference*.
- [4] Gerd Kortuem, Fahim Kawsar, and Vasughi Sundramoorthy. Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*, 2009.
- [5] Luca Mainetti, Luigi Patrono, and Antonio Vilei. Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. *Telecommunications and Computer Networks*, 2011.
- [6] Michele Zorzi, Alexander Gluhak, and Sebastian Lange. From today’s intranet of things to a future internet of things: a wireless and mobility-related view. *IEEE Wireless Communicationss*, 2010.
- [7] Carles Gomez and Josep Paradells. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE Communications Magazine*, 2010.
- [8] Zigbee Alliance. Zigbee home automation public application profile. Technical report, Zigbee Alliance, 2007.
- [9] Zigbee Alliance. The zigbee rf4ce standard. Technical report, Zigbee Alliance, 2009.
- [10] Z-Wave. Z-wave protocol overview. Technical report, Z-Wave, 2007.
- [11] Ana Belén García Hernando, José Fernán Martínez Ortega, Juan Manuel López Navarro, Aggeliki Prayati, and Luis Redondo López. *Problem Solving for Wireless Sensor Networks*. Springer, 2008.

- [12] Mahmoud Shuker Mahmoud and Auday AH Mohamad. A study of efficient power consumption wireless communication techniques/modules for internet of things (iot) applications. *Advances in Internet of Things*, 6(02):19, 2016.
- [13] Keysight. *Keysight Technologies 34410A and 34411A Multimeters. Data sheet.*