

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Desarrollo de Aplicaciones Informáticas
Recibido: 13/04/2015 | Aceptado: 23/06/2016

Módulos para la simulación de modelos de propagación en la herramienta Andrómeda

Modules for simulation of propagation models in the Andromeda tool

Lianet Cylwik López¹, Ariel Llanes Díaz².

¹ Facultad 4. Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera de San Antonio de los Baños, Km 2½. Torrens. Ciudad de La Habana. lcylwik@uci.cu.

² Facultad Introductoria de las Ciencias Informáticas. Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera de San Antonio de los Baños, Km 2½. Torrens. Ciudad de La Habana. llanes@uci.cu.

* Autor para correspondencia: lcylwik@uci.cu

Resumen

Con el incremento tecnológico de la actualidad, el desarrollo de las redes inalámbricas ha alcanzado un auge significativo, llevando sus aplicaciones incluso a la automatización de edificios. El diseño del despliegue de la red de sensores inalámbricos en una edificación es una compleja tarea que necesita simular el comportamiento de la señal de radio frecuencia en el interior de edificaciones. El presente trabajo consiste en la implementación de modelos de propagación que permitan determinar con precisión la conectividad entre dispositivos inalámbricos, de forma tal que se puedan posicionar correctamente en el interior de un edificio. En el desarrollo de la propuesta se utilizó Java para la implementación, NetBeans como Entorno de Desarrollo Integrado y *Visual Paradigm for UML* como herramienta para el modelado. En su primera versión, la solución implementada es capaz de calcular la propagación de ondas utilizando el modelo Multi-Wall y el modelo de Trayecto Dominante.

Palabras clave: modelos de propagación; Multi-Wall; Redes Inalámbricas de Sensores y Actuadores; simulación; trayectoria dominante.

Abstract

With increased technological present, the development of wireless networks has reached a significant boom, bringing their applications to building automation. The design of the deployment of wireless sensor network in a building is a complex task, which requires the simulation of the radio frequency signal inside buildings. The present work consists in implementing propagation models for determining accurately the connectivity between wireless devices, so that they

can be positioned correctly inside of a building. In developing the proposal is used Java for implementing, NetBeans as an Integrated Development Environment and Visual Paradigm for UML as a tool for modeling. In its first version, the implemented solution is able to calculate wave propagation using the Multi-Wall model and the model Parent Path.

Keywords: *propagation models; Multi-Wall; Wireless Networks of Sensors and Actuators; simulation; dominant path.*

Introducción

En los últimos años las Redes Inalámbricas de Sensores se han convertido en un campo de estudio que se encuentra en continuo crecimiento. Consisten en un conjunto de nodos de pequeño tamaño, de muy bajo consumo, que se comunican entre sí inalámbricamente formando una red y que a su vez se conectan con un sistema central siguiendo diferentes topologías. (Buendía, 2010) Con la evolución de esta tecnología surgen los nodos actuadores. Mientras los sensores van reuniendo información sobre el medio físico, los actuadores toman decisiones y ejecutan las acciones apropiadas sobre el entorno. Estas redes son conocidas como Redes Inalámbricas de Sensores y Actuadores (WSAN, según sus siglas en inglés). (Muñoz Castejón, 2011)

La gama de aplicaciones y servicios ofrecidos por este tipo de sistemas son muy amplias, se pueden encontrar desplegados en aplicaciones agrícolas, militares, industriales, para la salud, en la dogmática, etc. Otra importante aplicación de las WSAN, es su utilización en los Sistemas de Control de Edificios (SCE) debido a las ventajas que brinda, dentro de las más significativas se encuentran: ahorro energético, supervisión del consumo eléctrico, telegestión remota, etc. (Landstorfer, 2012)

Lamentablemente, el uso de WSAN en algunos tipos de escenarios puede conllevar al surgimiento de complejos problemas, ejemplo de ello es el despliegue de estas redes dentro de una edificación. En entornos interiores los niveles de señal de Radio Frecuencia (RF) fluctúan en mayor medida que en entornos exteriores; por consiguiente, la cobertura inalámbrica se caracteriza por ser compleja y muchas veces puede resultar incontrolable en el interior de una edificación.

En la actualidad, existen varias investigaciones que enfrentan el problema antes mencionado, sin embargo, aún existen enfoques que no han sido abordados y deficiencias sin resolverse, los cuales representan campos de investigación abiertos a nuevas innovaciones. Las principales deficiencias de las herramientas actuales son: incorrecta selección de los modelos de propagación de la señal de RF, en las simulaciones no se tiene en cuenta el tipo de material y los obstáculos presentes en las edificaciones, solo consideran la cobertura y la conectividad interna de la red a la hora de generar las propuestas de despliegue, entre otras.

Como consecuencias de las deficiencias anteriores y otros problemas identificados por (*Nodarse Mora, 2010*) en las herramientas actuales, fue necesario crear una herramienta software que genere de forma automática el número y la posición de los dispositivos de una WSA. Dicha herramienta lleva por nombre Andrómeda y está siendo desarrollada por el grupo de investigación del mismo nombre perteneciente a la Facultad 4 de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI).

Para el desarrollo de Andrómeda, se identificaron funcionalidades importantes que la misma debe incluir para lograr la simulación de la propagación de la señal de RF. Entre las cuales se encuentra: la implementación de métodos numéricos capaces de determinar con precisión la propagación de ondas electromagnéticas en ambientes confinados, donde la onda transmitida encuentra obstáculos en su camino propios de ambientes interiores, antes de llegar al receptor y que pueden producir la pérdida de la señal. Esto requiere de la valoración de múltiples fenómenos que son dependientes tanto de los materiales como de su configuración geométrica, debido a la influencia que tienen las paredes y muros, las puertas y ventanas, los materiales de construcción usados, así como el tipo y el diseño arquitectónico de la edificación.

Para simular el comportamiento de la señal de RF dentro de edificaciones, resulta importante la utilización de modelos de propagación en interiores. Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos utilizados para representar las características de radio de un ambiente dado. (*Landstorfer, 2013*) La literatura propone diversas variantes de clasificación de estos modelos, de forma general, se pueden clasificar en empíricos o estadísticos y teóricos o deterministas. Los primeros se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de mediciones realizadas sobre el terreno, mientras que los segundos se apoyan en principios físicos en cuanto a la propagación de ondas de radio y fenómenos paralelos.

Producto de lo antes expresado, se identificó el siguiente problema a resolver: ¿Cómo simular la propagación de la señal de radio frecuencia para predecir conectividad de dispositivos inalámbricos en la herramienta Andrómeda? Con el propósito de encontrar una solución al problema planteado se propuso como objetivo general: Desarrollar módulos para la simulación de modelos de propagación en la herramienta Andrómeda.

Materiales y métodos o Metodología computacional

Con el desarrollo vertiginoso de las tecnologías, y específicamente en el campo de las telecomunicaciones, la conexión de diferentes tipos de dispositivos se realiza de manera inalámbrica, incluso en áreas críticas como lo pueden ser los SCE. Es por ello que resulta imprescindible que exista un buen funcionamiento de los dispositivos que integran estas

redes y se garantice la conectividad entre ellos. Para conocer la potencia de la señal de RF recibida o, simplemente, determinar si existe comunicación entre los dispositivos en un medio inalámbrico, se utilizan los modelos de propagación. En el desarrollo de este trabajo se abordarán sus clasificaciones, así como algunas características de los seleccionados para la herramienta Andrómeda.

Modelos de propagación para entornos interiores

Los modelos de propagación permiten predecir el comportamiento de las señales electromagnéticas, en un ambiente determinado, lo cual es indispensable en procesos de planificación de redes inalámbricas y en general en cualquier tipo de sistema de comunicación inalámbrico. Dependiendo del tipo de sistema de comunicación que se desee estudiar, algunos parámetros tales como: pérdidas de trayecto, longitud del trayecto, lento desvanecimiento y penetración en muros; toman mayor o menor importancia, por lo que diversos modelos han sido desarrollados a fin de estimar con mayor facilidad los parámetros pertinentes, en un estudio dado. (Aguilar, 2010)

Los modelos de propagación para entornos interiores se clasifican en empíricos o estadísticos y en teóricos o deterministas. En la Tabla 1 se muestra un resumen de la clasificación de los modelos más usados, obtenido como resultado de la revisión del estado del arte.

Tabla 1. Clasificación de los modelos de propagación para entornos interiores

Modelo de propagación	Clasificación
Modelo de Propagación en el Espacio Libre. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo Log – Normal Shadowing Path Loss. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo de Pérdida de Trayecto basado en COST 231. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo basado en el número de muros y suelos. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo ITU-R. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo de Atenuación de Trayecto Linear. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo de Propagación de Doble Pendiente. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo Keenan-Motley. (Landstorfer, 2012)	Empírico
Modelo Multi-Wall. (Galetzka, et al., 2012)	Empírico
Modelos basados en Técnicas de Trazado de Rayos. (Landstorfer, 2013)	Teórico
Modelo Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo. (Landstorfer, 2012), (Arfken, 2013)	Teórico
Modelos basados en el método de los momentos. (Landstorfer, 2012)	Teórico
Modelo de Trayecto Dominante. (Nodarse Mora, et al., 2010), (GmbH, 2012)	Teórico

Modelos de propagación seleccionados

Los modelos empíricos, como el Multi-Wall, tienen a su favor su gran eficiencia computacional, (Núñez López, 2009) además, consideran las influencias propias del entorno de manera implícita en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de forma aislada. Sin embargo, la exactitud de sus simulaciones, depende de la precisión y similitud de las

medidas del entorno donde fueron tomadas y el nuevo entorno donde se va a aplicar el modelo. Además, se basan en el cálculo de la señal transmitida en la trayectoria directa desde el transmisor hacia el receptor, sin considerar mecanismos de propagación en interiores, causantes del problema del multitrayecto de la señal.

En cambio, el modelo Trayecto Dominante, (Wolfe, et al., 2013) se centra en el/los trayecto(s) dominante(s) entre el transmisor y el receptor. Este modelo establece los parámetros que determinan estos trayectos dominantes (longitud del trayecto, las propiedades de los materiales de los objetos con los que interactúa el trayecto, el número y el tipo de interacciones, etc.), los cuales son usados en la predicción.

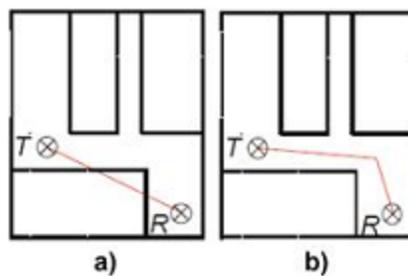


Figura 1. a) Modelo Multi-Wall, b) Modelo Trayecto Dominante

Teniendo en cuenta las ventajas que presentan los modelos Multi-Wall y Trayecto Dominante, las simulaciones realizadas por la herramienta propuesta, en su primera versión, se considera deben estar basadas en estos dos modelos de propagación. A continuación, serán descritas sus principales características.

Modelo Multi-Wall

El modelo Multi-Wall está caracterizado por un exponente de $n = 2$, como pérdida de trayecto en espacio libre; junto con factores de pérdida relacionados con el número de plantas (n_f) y muros (n_w) que interceptan la línea en visión directa a la distancia (d) entre los terminales. La fórmula utilizada es la siguiente: (Galetzka, et al., 2012)

$$PL_{MW}(d) = PL_1 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w$$

Donde:

- PL_1 : Pérdida de trayecto a 1 metro.
- d : Distancia entre el transmisor y el receptor.
- a_f : Factor de atenuación de suelos.
- a_w : Factor de atenuación de muros.
- n_f : Número de suelos atravesados.

- n_w : Número de muros atravesados.

Modelo de Trayecto Dominante

El Modelo Trayecto Dominante determina exactamente el camino dominante entre el transmisor y el receptor. Así que el tiempo de cálculo en comparación con el trazado de rayos se reduce significativamente y la exactitud casi idéntica a dicho método. La ecuación utilizada para el cálculo de la pérdida de trayectoria fue: (Wofle, et al., 2013)

$$L = 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 10p \log(d) + \sum_{i=0}^n f(\varphi, i) + \sum_{j=0}^m t_j - \Omega$$

Donde:

- λ : Longitud de onda.
- d : Distancia entre el transmisor y el receptor.
- p : Exponente de pérdida de trayectoria, dependiendo de la situación actual de propagación.
- $f(\varphi, i)$: Función de atenuación individual para cada interacción i de todas las n interacciones.
- t_j : Pérdida de transmisión para cada penetración j a través de una pared.
- Ω : Ganancia causada por el guiado de ondas para cada píxel a lo largo de una trayectoria de propagación.

Este modelo puede distinguir entre varios modos de propagación para definir el exponente de pérdida de trayectoria. Los modos son: LOS, línea de visión directa entre el transmisor y el receptor; OLOS (obstruido LOS), el transmisor y el receptor se encuentran en la misma habitación y el camino no necesita ninguna penetración de la pared, pero no hay una línea de visión directa entre el transmisor y el receptor; NLOS (non-LOS), se requiere al menos una penetración a través de una pared entre el transmisor y el receptor (12). Los valores sugeridos para los diferentes modos son: LOS de 2.0 a 2.2, OLOS de 2.1 a 2.3, NLOS de 2.3 a 2.5. (GmbH, 2012)

Lenguaje de programación

Para la selección del lenguaje de programación de la herramienta se tuvo en cuenta la complejidad de los algoritmos que serán usados para predecir conectividad de dispositivos inalámbricos, los requisitos relacionados con la visualización 3D del entorno, además de que es necesaria la utilización de técnicas de inteligencia artificial. Basado en estas características el equipo de arquitectos de la herramienta definió la utilización de Java como lenguaje de implementación.

Java fue desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

Las aplicaciones desarrolladas con Java pueden ser ejecutadas indistintamente en muchos equipos, ya que son independientes de la arquitectura, es un lenguaje de desarrollo público y se puede tener acceso gratis al conjunto de herramientas de desarrollo de aplicaciones de Java (JDK según sus siglas en inglés). Posee gran conectividad con Bases de Datos y otros sistemas. (QTX, 2012)

Una característica importante que se debe tener en cuenta para el desarrollo de la herramienta propuesta, es el trabajo con modelos tridimensionales, aspecto en el que Java tiene un buen desempeño, debido a que presenta gran variedad de librerías libres con buena potencia gráfica. Además, se caracteriza por ser muy utilizado en la implementación de aplicaciones que incorporan técnicas de inteligencia artificial.

Existe además variada documentación y una amplia comunidad sobre este lenguaje. Sin embargo, resulta importante señalar que los programas realizados en Java suelen ser un poco lentos y para el manejo de código de bajo nivel, se deben utilizar métodos nativos, disminuyendo así su portabilidad.

Entorno de desarrollo

Para el desarrollo de la solución el equipo de arquitectura seleccionó como Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, según sus siglas en inglés) el NetBeans 7.3. Es libre y de código abierto. Posee todas las herramientas necesarias para crear aplicaciones profesionales de escritorio, empresariales, web y aplicaciones móviles con la plataforma Java. (Oracle Corporation, 2010)

Es conocido por la integración con el lenguaje Java, facilita el desarrollo utilizando funcionalidades como completamiento de código, coloreo de sintaxis, permite la utilización y edición de los componentes visuales de forma sencilla. Incluye también el control de versiones, lo cual representa una ventaja debido a que permite administrar las diferentes versiones del código fuente.

Librería 3D para el desarrollo

Para la representación y el modelado en tercera dimensión, Java posee potentes librerías gráficas que facilitan el trabajo y la interacción con los objetos 3D, dentro de las principales librerías se encuentran: JOGL, JGL y Java3D. El equipo de desarrollo del visor de la herramienta Andrómeda, teniendo en cuenta las características de las librerías gráficas para el modelado 3D, seleccionó la librería Java3D dadas las ventajas que esta presenta sobre las librerías antes mencionadas,

por ejemplo: la librería JOGL necesita además de los ficheros .jar las librerías de enlaces dinámicos dependiendo de la plataforma donde se ejecute la aplicación, no siendo esto necesario si se utiliza Java3D, ya que no usa librerías de enlace dinámico. Tanto JOGL como JavaGL no están orientadas a objetos lo cual atrasa considerablemente el desarrollo de la aplicación, en cambio Java3D permite a los desarrolladores generar aplicaciones de forma rápida empleando las facilidades que brinda la Programación Orientada a Objetos. Además del soporte a los cargadores que permite que se adapte a un gran número de formatos de ficheros. (*Bandomo Ruíz, et al., 2012*)

Librería para cargar ficheros IFC

Se utilizará para el manejo de ficheros en formato IFC (*Industry Foundation Classes*) a la librería OpenIFCTools1. Es un proyecto de código abierto y multiplataforma que utiliza tecnología Java.

El uso de esta librería permite el desarrollo orientado a objetos. Cada clase del fichero IFC está representada por una clase Java con sus atributos correspondientes. En este sentido, es posible crear una instancia y manejar cualquier objeto usando las clases de Java. Es posible leer y escribir ficheros en formato IFC haciendo uso de métodos sencillos, así como registrar *listeners* en el modelo para informar los cambios que ocurren en el mismo, lo cual puede aplicarse a cualquier objeto utilizando los métodos de acceso en lugar de acceder directamente a los atributos (todos los atributos son públicos, lo que permite el acceso a los datos). (*Tulke, et al., 2010*)

Resultados y discusión

Para el desarrollo de la solución en la arquitectura (*Molina Toledo, et al., 2012*) de la herramienta se seleccionó la Plataforma de NetBeans, debido a que su uso permite crear aplicaciones modulares. Haciendo uso del IDE NetBeans, el cual está desarrollado sobre esta plataforma, se facilita considerablemente el desarrollo del tipo de aplicaciones como la que se desea implementar, favoreciendo notablemente las soluciones creadas con dicha tecnología, debido a que no se necesita modificar directamente el núcleo de la aplicación para agregar nuevos módulos, lo cual la hace más flexible.

Plataforma Andrómeda

Según se definió en la arquitectura (*Molina Toledo, et al., 2012*): “Andrómeda es el subsistema que hace referencia al núcleo del sistema final a desarrollar. El mismo es una instancia de la Plataforma de NetBeans, por lo cual está provisto

¹ www.openifctools.com

del conjunto de APIs y clases que provee la plataforma. A su vez es el encargado de la gestión de carga de otros módulos. Inicia el menú de la aplicación y carga la biblioteca de sensores a ser usados en el proyecto.”

La Plataforma de NetBeans permite las relaciones entre módulos estableciendo dependencias entre ellos. Además, posee un mecanismo definido por la plataforma llamado Lookup, el cual posibilita que cada módulo intercambie información con los restantes.

Módulos del Sistema

A la herramienta Andrómeda se le adicionarán tres módulos donde se implementarán los modelos de propagación: MultiWallModel, DominantPathModel e IndoorModel. A continuación, se describen cada uno de estos.

- IndoorModel: Módulo encargado de contener las clases interfaces que serán implementadas en los restantes módulos, además de contener las clases que gestionarán geoméricamente el modelo 3D.
- MultiWallModel: Módulo que implementa el modelo de propagación en interiores Multi-Wall, este contiene solo la clase MultiWallModel que se encarga de buscar todas las paredes y techos que intercepta la señal en su camino directo desde el transmisor (Tx) al receptor (Rx) y con esto calcula la pérdida de trayecto en decibeles (dB).
- DominantPathModel: Módulo que implementa el modelo de propagación en interiores Trayecto Dominante, contiene la clase principal DominantPathModel que se encarga de calcular la pérdida de trayecto por el mejor camino que transita la señal de RF, además contiene el resto de las clases que permiten dividir un modelo 3D en habitaciones para lograr encontrar el trayecto dominante y calcular los diferentes fenómenos físicos.

Paquetes del sistema

Siguiendo la estructura convencional de aplicaciones Java para lograr una mejor organización del código, cada módulo de la aplicación se desarrolló centrado en la arquitectura de la plataforma Andrómeda.

La estructura de paquetes en Java se organiza de la siguiente manera: paquetepincipal.subpaquete, por lo que quedan organizados los paquetes que conforman los módulos nuevos como:

- cu.andromeda.IndoorModel
- cu.andromeda.MultiWallModel
- cu.andromeda.DominantPathModel

Para más detalles ver la Figura 2.

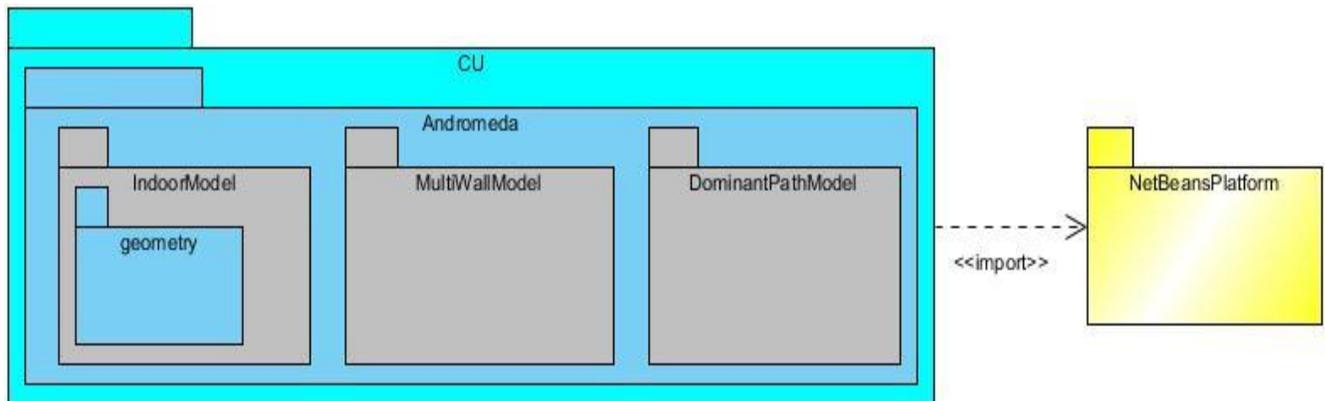


Figura 2. Diagrama de paquetes

A continuación, se describen cada uno de los paquetes:

- `cu.andromeda.IndoorModel`: Este paquete almacena las clases e interfaces principales que implementarán los distintos modelos de propagación de la señal de RF.
- `cu.andromeda.IndoorModel.geometry`: Este paquete tiene las clases que definen los elementos geométricos necesarios para implementar los distintos modelos de propagación.
- `cu.andromeda.MultiWallModel` y `cu.andromeda.DominantPathModel`: Estos paquetes contendrán las clases necesarias para implementar el modelo de propagación Multi-Wall y el modelo de propagación Trayecto Dominante respectivamente.

Modelo de datos

El modelo de datos es la descripción de la organización de una base de datos, constituyéndose en una representación gráfica orientada a la obtención de la estructura de datos mediante métodos. A continuación, se muestra un fragmento del mismo.

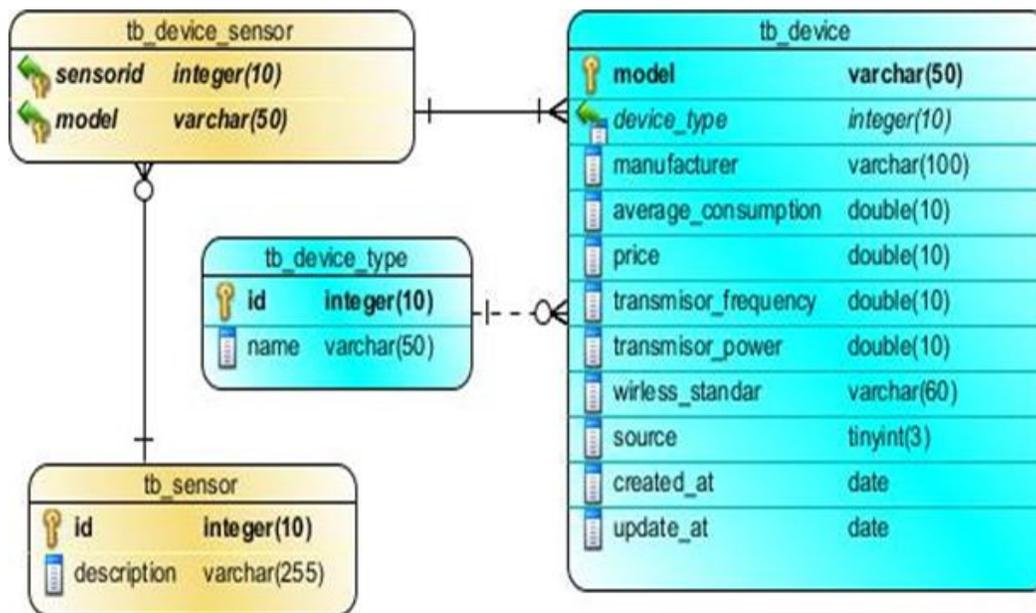


Figura 3. Modelo de Datos

A continuación, se muestra la descripción de las tablas que conforman la Base de Datos empleadas por la herramienta para su funcionamiento.

tb_device: Almacena la información persistente de los dispositivos empleados para el trabajo con la herramienta.

tb_device_type: Esta tabla es un nomenclador que almacena los diferentes tipos de dispositivos que son empleados para el trabajo con la herramienta. Los mismos pueden ser *Coordinator*, *Router* y *EndDevice*.

tb_sensor: Nomenclador que almacena los tipos de sensores que pueden estar contenidos dentro de los dispositivos utilizados en el sensado.

tb_device_sensor: Esta tabla representa la relación que existe entre los dispositivos y los sensores correspondientes a cada dispositivo.

tb_material: Almacena la información de los diferentes materiales de los elementos no estructurales que pueden estar dentro de las edificaciones.

Diagrama de componentes

Los Diagramas de componentes son usados para estructurar el modelo de implementación en términos de subsistemas de implementación y mostrar las relaciones entre los elementos de implementación. Como se muestra en la Figura 4.

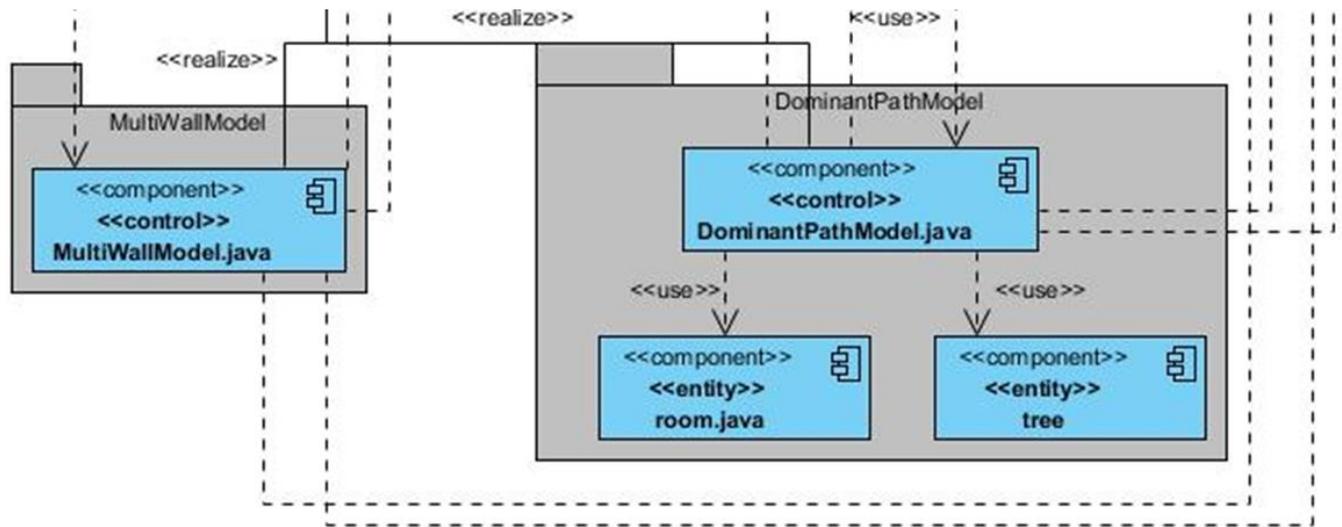


Figura 4. Diagrama de componentes correspondiente de los módulos MultiWallModel y DominantPathModel.

El módulo **IndoorModel** contendrá los componentes principales que se encargarán de la gestión de los modelos de propagación que empleará la herramienta Andrómeda para su funcionamiento. Cada modelo de propagación de la señal de RF debe implementar la interfaz **IModelConnectivity**, la cual consta de una función encargada de predecir la conectividad entre dos dispositivos. Esta función será utilizada por el subsistema **Algorithms** para comprobar la conectividad entre dos dispositivos.

Pruebas experimentales

Para medir el nivel de precisión de los resultados generados por los modelos de propagación implementados, en cuanto a la pérdida de señal en dB, se realizaron pruebas experimentales en un escenario real (ala izquierda del segundo piso del Docente 5 de la UCI, ver Figura 5). Para la realización de dichas pruebas se utilizaron dispositivos del tipo XBee-Pro S2 haciendo uso del protocolo de comunicación ZigBee (operando en la banda de frecuencia de 2.4 GHz), estos dispositivos poseen un umbral de sensibilidad de -102 dBm.

Para la realización de las pruebas se fijó el dispositivo transmisor en un punto cualquiera del escenario, a partir de este se comenzó a trasladar el dispositivo receptor (XBee-Pro S2) hacia varias direcciones, tomando la posición donde el receptor indica a través del LED RSSI (apagado si no recibe señal alguna) que no existe conexión y en donde se supone existe una pérdida de -102 dBm. Luego, se colocó la posición del transmisor y los puntos donde se pierde la conexión con el receptor en la herramienta Andrómeda y se compara el resultado con el valor supuesto. Este experimento se realizó en varias ocasiones variando la posición del transmisor y del receptor, arrojando como resultado que los modelos

de propagación implementados para la herramienta proveen resultados con una exactitud aproximada de ± 4 dBm para el Trayecto Dominante y de ± 10 dBm para el Multi-Wall.

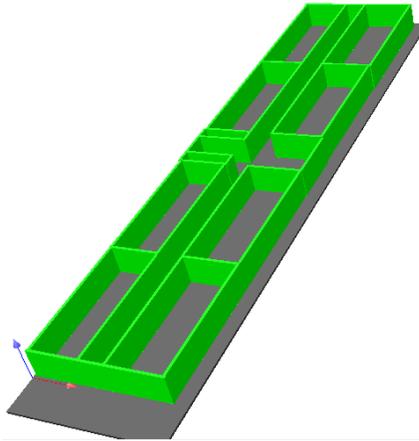


Figura 5. Ala izquierda del docente 5

Beneficios y nivel de aplicación

En la última década se ha producido un crecimiento espectacular en las comunicaciones inalámbricas. La necesidad de evaluar de un modo eficaz la propagación de radio en edificios está aumentando. También es crítico optimizar las localizaciones de las estaciones bases requeridas para asegurar el funcionamiento satisfactorio de los sistemas. Por lo tanto, la predicción de la propagación de radio para los entornos de interior, que forma la base de la optimización para la localización de las estaciones base, se ha convertido en un asunto de investigación importante. (*Landstorfer, 2012*)

Como resultado de esta herramienta se tendrá un despliegue que cumpla con los objetivos de optimización de una WSA dentro de una edificación, trayendo como beneficios una reducción en los costos de despliegue (costo de cada dispositivo), los costos de mantenimiento, la conectividad de la red y la reducción del consumo eléctrico. Además, es una herramienta de gran utilidad para la comunidad científica internacional que investiga el problema del despliegue de WSA en entornos interiores. El diseñador de WSA contará con una herramienta que facilitará su trabajo y elevará su calidad, así como se elevará la calidad de vida de las personas que residen o trabajan en edificaciones que la contengan.

Este tipo de sistema tiene gran aplicación, los podemos ver desplegados en: seguridad, control de acceso, gestión de la energía (iluminación, climatización, aguas y riegos), monitorización y control (avisos y alarmas, monitorización de la salud, automatización de tareas domésticas), ocio y entretenimiento (equipos multimedia, cultura), comunicación con sistemas y servidores externos, operación y mantenimiento de las propias instalaciones. (*Muñoz Castejón, 2011*)

En nuestro país se podrá aplicar en el control medio ambiental, en la agricultura, en la prevención de incendios, en la construcción, el turismo, etc.

Conclusiones

La investigación realizada estableció que en la literatura se proponen diversas variantes de clasificación de los modelos de propagación, de forma general, se pueden clasificar en empíricos o estadísticos y teóricos o deterministas. Los primeros se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de mediciones realizadas sobre el terreno, mientras que los segundos se apoyan en principios físicos en cuanto a la propagación de ondas de radio y fenómenos paralelos. Fueron implementados los modelos de propagación Multi-Wall y Trayecto Dominante, los cuales se desarrollaron como parte de la arquitectura de la herramienta Andrómeda, posibilitando que la misma tenga la capacidad de predecir la conectividad entre dos dispositivos inalámbricos de una WSA en un entorno interior. Para el desarrollo de la propuesta de solución se usó como lenguaje de programación Java, utilizando como IDE NetBeans v7.3. Las librerías usadas para el desarrollo fueron Java 3D y OpenIFCTools. Las pruebas experimentales realizadas evidenciaron que los modelos de propagación implementados para la herramienta proveen resultados con una exactitud aproximada de ± 4 dBm para el Trayecto Dominante y de ± 10 dBm para el Multi-Wall. El resultado obtenido le permitirá al diseñador de WSA, determinar con precisión la propagación de onda entre dos dispositivos y así posicionarlos correctamente en el interior de un edificio.

A partir del trabajo realizado y después de haber analizado los resultados obtenidos se sugiere a los futuros desarrolladores de la herramienta las siguientes recomendaciones que aportarían un mayor valor de uso en la misma:

- Implementar nuevos módulos con otros modelos de propagación.
- Implementar un banco de pruebas el cual incluya un número significativo de modelos de propagación y permita a la comunidad científica realizar experimentos y comparaciones según su nivel de precisión en diferentes tipos de entornos.

Referencias

- AGUILAR, JHON JAIRO PADILLA. 2010. Modelo de propagación en interiores. Ingeniería Telemática. 2010.
- ARFKEN, G. 2013. Ecuaciones De Maxwell. España : s.n., 2013.

- BANDOMO RUÍZ, JAVIER and TORRES SAAVEDRA, ORLANDO. 2012. Visor tridimensional de entornos interiores para la herramienta Andrómeda. La Habana : s.n., 2012.
- BUENDÍA, MANUEL , VERA, JOSE y LOSILLA, FERNANDO . 2010. Redes de Sensores y Actuadores (WSAN) en domótica. Cartagena, España : s.n., 2010.
- GALETZKA, MIHAEL, y Otros. 2012. Challenges of Simulating Robust Wireless Sensor Network Applications. Germany : s.n., 2012.
- GMBH. 2012. AWE Communications. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de 3 de 2013.] www.awe-com.com.
- LANDSTORFER, F. M. 2012. Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas de Interiores. 2012.
- LANDSTORFER, F.M. 2013. Modelos de propagación de rayos en interior. 2013.
- MICHAEL GALETZKA, JÜRGEN HAUFE, MICHAEL LINDIG, UWE EICHLER, PETER SCHNEIDER. 2012. Challenges of Simulating Robust Wireless Sensor Network Applications. Germany : s.n., 2012.
- MOLINA TOLEDO, PABLO and RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, HENRY. 2012. Arquitectura de la herramienta Andrómeda. 2012.
- MUÑOZ CASTEJÓN, RODRIGO. 2011. Interconexión de redes de sensores inalámbricos 802.15.4 en localizaciones remotas. Madrid : s.n., 2011.
- NODARSE MORA, ISMAEL ARMANDO y DÍAZ RODRÍGUEZ, MANUEL. 2010. Utilización de WSANs en Sistemas de Control de Edificios. 2010.
- NÚÑEZ LÓPEZ, PABLO ANDRÉS. 2009. Estudio de la Propagación de señales Electromagnéticas en edificios en banda de Wi-fi y WiMax. 2009.
- ORACLE CORPORATION. 2010. NetBeans. [En línea] 2010. <http://netbeans.org>.
- QTX. 2012. Qualitrain. [En línea] 2012. <http://www.qualitrain.com.mx/objeIndirecto/javavsvbasic.htm>.
- TULKE, JAN, et al. 2010. Open Ifc Tools. [Online] 2010. http://www.openifctools.org/Open_IFC_Tools/Features.html.
- WOLFLE, G and LANDSTORFER. 2013. Dominant paths for the field strength prediction. University of Stuttgart. Germany : s.n., 2013.