



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Intelligent design of mmWave conference networks in built environments

Departamento de Comunicaciones
Universitat Politècnica de València

A thesis submitted for the degree of
Doctor por la Universitat Politècnica de València
Valencia, June 2024

Author:
Monika Drozdowska

Supervisors:
Dr. Narcis Cardona

Abstract

Indoor wireless networks are an integral part of today's communications. Due to the high demand for reliability and the huge density of indoor networks, some of them are migrating towards the millimeter wave (mmW) frequencies spectrum, where larger bandwidth and throughput are available. Designing the network for the mmW band offers solutions to some problems present in lower frequencies but also poses new challenges. This Thesis focuses in particular on conference use cases in large environments. Therefore, the set of requirements for the network design and deployment resulting from conference standards, data types, structure of transmitted data, propagation in indoor environments, and physical phenomena related to the wavelength are presented.

Existing wireless conference solutions are provided in Wi-Fi frequencies using the 802.11 standards family. To allow an easy transition towards the mmW frequency band, the 802.11ay standard for the 60 GHz frequency is studied. The standard is found to be inadequate for the type and amount of data sent in the wireless conference networks. The 802.11ay standard is designed to work with large amounts of data. Meanwhile, the primary data in conference networks is real-time audio. Sending data frames with that little information introduces significant overhead due to the preamble data in Physical Protocol Data Unit (PPDU). Nevertheless, some of its features are considered worth further exploration.

Assuming that the conference networks in mmW bands do not have to work with the 802.11 family of standards, this Thesis also focuses on frequencies other than 60 GHz. Considering frequencies introduced in Frequency Range 2 (FR2) Fifth Generation (5G) New Radio (NR) and setups dedicated to the conferences, materials properties and antenna placement influence on the propagation are studied. Several measurement campaigns were performed in different environments, such as the auditory, the large classroom, the meeting room, and the seminar room. The results highlight the importance of knowing the environments in order to optimize network deployment. In light of this assumption, the Ray Tracing (RT) tool is used to deepen the analysis of measurements. Finally, it enables the simulation of available environments for other frequencies, antenna setups, and furniture configurations.

Resumen

Las redes inalámbricas interiores son una parte integral de las comunicaciones actuales. Debido a la gran demanda de confiabilidad y la enorme densidad de redes interiores, algunas de ellas están migrando hacia el espectro de frecuencias mmW, donde se encuentran disponibles mayor ancho de banda y rendimiento. Diseñar la red para la banda mmW ofrece soluciones a algunos problemas presentes en frecuencias más bajas pero también plantea nuevos desafíos. Esta Tesis se centra en particular en casos de uso de conferencias en entornos grandes. Por lo tanto, se presenta el conjunto de requisitos para el diseño y despliegue de la red resultantes de los estándares de la conferencia, tipos de datos, estructura de los datos transmitidos, propagación en ambientes interiores y fenómenos físicos relacionados con la longitud de onda.

Las soluciones de conferencias inalámbricas existentes se proporcionan en frecuencias Wi-Fi utilizando la familia de estándares 802.11. Para permitir una fácil transición hacia la banda de frecuencia mmW, se estudia el estándar 802.11ay para la frecuencia de 60 GHz. Se considera que el estándar es inadecuado para el tipo y la cantidad de datos enviados en las redes de conferencias inalámbricas. El estándar 802.11ay está diseñado para funcionar con grandes cantidades de datos. Mientras tanto, los datos principales en las redes de conferencias son el audio en tiempo real. Enviar tramas de datos con esa poca información introduce una sobrecarga significativa debido a los datos del preámbulo en PPDU. Sin embargo, se considera que algunas de sus características merecen una mayor exploración.

Suponiendo que las redes de conferencias en bandas mmW no tienen que funcionar con la familia de estándares 802.11, esta Tesis también se centra en frecuencias distintas a 60 GHz. Considerando las frecuencias introducidas en el Rango de Frecuencia 2 (FR2) 5G NR y las configuraciones dedicadas a las conferencias, se estudian las propiedades de los materiales y la influencia de la ubicación de las antenas en la propagación. Se realizaron varias campañas de medición en diferentes ambientes, como el auditorio, el aula grande, la sala de reuniones y la sala de seminarios. Los resultados resaltan la importancia de conocer los entornos para optimizar el despliegue de la red. A la luz de este supuesto, se utiliza la herramienta RT para profundizar en el análisis de las mediciones. Finalmente, permite la simulación de entornos disponibles para otras frecuencias, configuraciones de antenas y configuraciones de muebles.

Resum

Les xarxes sense fil d'interior són una part integral de les comunicacions actuals. A causa de l'alta demanda de fiabilitat i l'enorme densitat de xarxes interiors, algunes d'elles migren cap a l'espectre de freqüències mmW, on hi ha una amplada de banda i un rendiment més grans disponibles. Dissenyar la xarxa per a la banda mmW ofereix solucions a alguns problemes presents en freqüències més baixes però també planteja nous reptes. Aquesta tesi se centra especialment en casos d'ús de conferències en entorns grans. Per tant, es presenta el conjunt de requisits per al disseny i desplegament de la xarxa resultant dels estàndards de conferència, els tipus de dades, l'estructura de les dades transmeses, la propagació en entorns interiors i els fenòmens físics relacionats amb la longitud d'ona.

Les solucions de conferències sense fil existents es proporcionen en freqüències de Wi-Fi mitjançant la família d'estàndards 802.11. Per permetre una transició fàcil cap a la banda de freqüència mmW, s'estudia l'estàndard 802.11ay per a la freqüència de 60 GHz. Es considera que l'estàndard és inadequat per al tipus i la quantitat de dades enviades a les xarxes de conferències sense fil. L'estàndard 802.11ay està dissenyat per funcionar amb grans quantitats de dades. Mentrestant, les dades principals de les xarxes de conferències són àudio en temps real. L'enviament de trames de dades amb aquesta poca informació introdueix una sobrecàrrega important a causa de les dades del preàmbul a PPDU. No obstant això, es considera que algunes de les seves característiques mereixen una exploració més detallada.

Suposant que les xarxes de conferències en bandes mmW no han de funcionar amb la família d'estàndards 802.11, aquesta tesi també se centra en freqüències diferents de 60 GHz. Tenint en compte les freqüències introduïdes en el rang de freqüències 2 (FR2) 5G NR i les configuracions dedicades a les conferències, s'estudien les propietats dels materials i la influència de la col·locació de l'antena en la propagació. Es van realitzar diverses campanyes de mesura en diferents entorns, com l'auditori, l'aula gran, la sala de reunions i la sala de seminaris. Els resultats posen de manifest la importància de conèixer els entorns per tal d'optimitzar el desplegament de la xarxa. A la llum d'aquesta hipòtesi, s'utilitza l'eina RT per aprofundir en l'anàlisi de mesures. Finalment, permet la simulació d'entorns disponibles per a altres freqüències, configuracions d'antenes i configuracions de mobles.