

Estimación de canal MIMO en ondas milimétricas
mediante motores de juegos y aceleración por hardware

Guevara Ibarra, Dinael

Estimación de canal MIMO en ondas milimétricas mediante motores de juegos y aceleración por hardware / Dinael Guevara Ibarra, Andrés Navarro Cadavid, Jorge Gómez Rojas. -- 1a. ed. -- Santa Marta : Universidad del Magdalena, 2018.

116 p. – (Colección Ingeniería y tecnología. Serie Ingeniería electrónica)

Contiene bibliografía.

ISBN 978-958-746-110-7 -- 978-958-746-111-4 (digital)

1. MIMO (Sistema de Comunicación) 2. Sistemas de comunicación inalámbrica I. Navarro Cadavid, Andrés II. Gómez Rojas, Jorge III. Título IV. Serie

CDD: 621.38411 ed. 23

CO-BoBN- a1018441

Primera edición, marzo de 2018

© UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Editorial Unimagdalena

Carrera 32 No. 22 - 08

(57 - 5) 4217940 Ext. 1888

Bloque 8 - Segundo Piso

Santa Marta D.T.C.H. - Colombia

editorial@unimagdalena.edu.co

Colección: Ingeniería y Tecnología

Serie: Ingeniería Electrónica

Rector: Pablo Vera Salazar

Vicerrector de Investigación: Ernesto Amarú Galvis Lista

Coordinador de Publicaciones y Fomento Editorial: Jorge Enrique Elías-Caro

Editor: Clinton Ramírez C.

Diseño de portada: Andrés Felipe Moreno Toro

Diagramación: Xpress Estudio Gráfico y Digital

Corrección de estilo: Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura

Santa Marta, Colombia, 2018

ISBN: 978-958-746-110-7 (impreso)

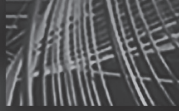
ISBN: 978-958-746-111-4 (digital)

Impreso y hecho en Colombia - Printed and made in Colombia

Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.S. - Xpress Kimpres (Bogotá)

El contenido de esta obra está protegido por las leyes y tratados internacionales en materia de Derecho de Autor. Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio impreso o digital conocido o por conocer. Queda prohibida la comunicación pública por cualquier medio, inclusive a través de redes digitales, sin contar con la previa y expresa autorización de la Universidad del Magdalena.

Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad del autor y no compromete al pensamiento institucional de la Universidad del Magdalena, ni genera responsabilidad frente a terceros.



ESTIMACIÓN DE CANAL MIMO

EN ONDAS MILIMÉTRICAS MEDIANTE MOTORES
DE JUEGOS Y ACELERACIÓN POR HARDWARE

Dinael Guevara Ibarra
Andrés Navarro Cadavid
Jorge Gómez Rojas

Colección: Ingeniería y Tecnología
Serie: Ingeniería Electrónica

Índice

Lista de figuras	7
Lista de tablas	10
Agradecimientos	13
1. Generalidades	15
1.1. Introducción.....	17
1.2. Motivación.....	17
1.3. Relevancia.....	18
1.4. Contribuciones	19
1.5. Preguntas de Investigación.....	19
1.6. Hipótesis	20
1.7. Objetivos.....	20
1.7.1. Objetivo General	20
1.7.2. Objetivos específicos	20
1.8. Organización del libro	21
2. Bases Teóricas	23
2.1. Ondas milimétricas	25
2.2. Trazado de rayos óptico	25
2.3. Método de imágenes	26
2.4. Método de fuerza bruta	27
2.5. Campo eléctrico en un punto	27
2.6. Pérdidas básicas de propagación	28
2.7. Reflexión de especular	28
2.8. Difracción uniforme.....	29
2.8.1. Polarización debida a la difracción	33
2.9. Parámetros del canal multicamino.....	34
2.10. Sistemas MIMO	36
2.10.1.Capacidad de canal en sistemas MIMO.....	37
2.11. Dispersión Difusa.....	38

2.11.1. Modelo Lambertiano.....	39
2.11.2. Modelo directivo.....	40
2.2. Antecedentes.....	40
3. Modelado.....	47
3.1. Elección de las plataformas.....	49
3.1.1. Software.....	49
3.1.2. Hardware.....	51
3.2. Modelo del escenario.....	51
3.3. Modelo de canal.....	52
3.3.1. Propagación de los rayos.....	54
3.3.2. Aceleración por hardware.....	58
4. Resultados.....	59
4.1. Canal MIMO en ondas milimétricas. Caso de estudio: Cartagena.....	61
4.1.1. Modelo del escenario.....	61
4.1.2. Campañas de medida.....	64
4.1.3. Comparación del lanzador de rayos con campaña de medida.....	67
4.1.4. Comparación del lanzador y el trazador de rayos.....	74
4.1.5. Aportes de la difusión.....	79
4.2. Mapas de capacidad de canal MIMO en ondas milimétricas.....	81
5. Conclusiones.....	83
6. Trabajos futuros.....	87
Referencias.....	91
Anexos.....	101
A.1. Gráficas y estadísticas de error para todas las ubicaciones.....	103

Lista de figuras

Figura 2.1.	Segundo orden de reflexión para la fuente S y el receptor R.	27
Figura 2.2.	Geometría y variables para la difracción en bordes [43]	31
Figura 2.3.	Efecto de la difracción sobre la interfaz	33
Figura 2.4.	Perfil de retardo de potencia para un canal [48]	35
Figura 2.5.	Elemento de superficie ubicado a una distancia del transmisor [63]	40
Figura 2.6.	Cálculo de las pérdidas por trayectoria. Resultados tomados de [72]	43
Figura 3.1.	Representación de un escenario con volúmenes limitadores implementado en ambiente exterior (derecha) y en ambiente interior (izquierda)	53
Figura 3.2.	Representación del lanzamiento de rayos usando la técnica de rayo tubo e icosaedro (izquierda) y la técnica de rayo cono	55
Figura 3.3.	Algoritmos usados para la estimación del canal. Pre-procesamiento de rayos a lanzar (izquierda) y estimación de las componentes debidas a reflexión y difracción	57
Figura 4.1.	Modelo en 3D del laboratorio	62
Figura 4.2.	Vista superior del Laboratorio de caracterización electromagnética, UPCT, España. Distribución de los puntos de medida	63
Figura 4.3.	Sistema de medidas para la campaña realizada entre 57 y 66 GHz	64
Figura 4.4.	Conformación de los arreglos virtuales (superior)	65
Figura 4.5.	Antena omnidireccional QoM55-65 VRA, base de los arreglos virtuales	65

Figura 4.6.	Patrones de radiación para la antena omnidireccional QoM55-65 VRA a 55GHz (superior), 60GHz (centro) y 65 GHz (inferior).....	66
Figura 4.7.	PDP para la ubicación 3 con 3,4,7 y 10 eventos	69
Figura 4.8.	Valores de mediciones y simulaciones para 4 y 10 eventos en la ubicación 4 con sus respectivos cálculos estadísticos.....	70
Figura 4.9.	Valores de mediciones y simulaciones para 4 y 10 eventos en la ubicación 5 con sus respectivos cálculos estadísticos.....	71
Figura 4.10.	Valores de mediciones y simulaciones para 4 y 10 eventos en la ubicación 10 con sus respectivos cálculos estadísticos.....	72
Figura 4.11.	Valores de mediciones y simulaciones para 4 y 10 eventos eventos en la ubicación 16 con sus respectivos cálculos estadísticos	73
Figura 4.12.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 17 con sus respectivos cálculos estadísticos.....	74
Figura 4.13.	PDP para la ubicación 3 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas.....	75
Figura 4.14.	PDP para la ubicación 7 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas.....	76
Figura 4.15.	PDP para la ubicación 11 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	77
Figura 4.16.	PDP para la ubicación 18 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	78

Figura 4.17.	Comparativa del los PDP para las medidas, simulaciones con el trazador (RT) y el lanzador (RL) con difusión	80
Figura 4.18.	Mapa de capacidad de canal normalizado para el escenario de pruebas de la UPCT	82

Lista de tablas

Tabla 2.1.	Síntesis de los aportes y los antecedentes revisados	46
Tabla 3.1.	Análisis de las compatibilidades en creación de escenarios	51
Tabla 4.1.	Valores de permitividad relativa y conductividad	63
Tabla 4.2.	Estadísticas de error para todas las ubicaciones del escenario de prueba	67
Tabla 4.3.	Tiempo de ejecución para la simulación de todas las ubicaciones según el número de eventos programados para la estimación de canal	68
Tabla 4.4.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 4 con sus respectivos cálculos estadísticos	69
Tabla 4.5.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 5 con sus respectivos cálculos estadísticos	71
Tabla 4.6.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 10 con sus respectivos cálculos estadísticos	72
Tabla 4.7.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 16 con sus respectivos cálculos estadísticos	73
Tabla 4.8.	Valores de mediciones y simulaciones para 3, 4, 7 y 10 eventos en la ubicación 17 con sus respectivos cálculos estadísticos	74
Tabla 4.9.	PDP para la ubicación 3 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	76

Tabla 4.10.	PDP para la ubicación 7 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	77
Tabla 4.11.	PDP para la ubicación 11 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	78
Tabla 4.12.	PDP para la ubicación 18 comparando los resultados del lanzador y trazador de rayos con respecto de las medidas	79
Tabla 4.13.	Valores del coeficiente de difusión (S) y del factor de ancho de lóbulo de difusión α_R para cada material	79
Tabla 4.14.	Comparativa de las estadísticas entre las simulaciones por trazado de rayos (RT) , lanzamiento de rayos (RL) y los aportes de la difusión	81

Agradecimientos

Los resultados de las simulaciones tienen validación con campañas de mediciones generosamente compartidas por la Universidad Politécnica de Cartagena (España) con la asesoría de los profesores Juan Pascual García y José María Molina García-Pardo, con quienes estamos muy agradecidos y esperamos continuar con la confrontación de resultados de investigación.

Los autores

1

GENERALIDADES