

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2.CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS..	4
3. MODELOS DE PROPAGACIÓN DE RAYOS EN INTERIOR.....	7
3.1 INTRODUCCIÓN A LOS DIFERENTES MODELOS.....	7
3.2 RAY TRACING.....	9
3.3 PÉRDIDAS EN INTERIOR.....	11
3.3.1 Pérdidas en espacio libre (FSPL).....	12
3.3.2 Line of sight (LOS).....	12
3.3.3 None line of sight (NLOS).....	14
3.3.4 Fenómenos de propagación.....	16
4. ALGORITMOS DE SÚPER RESOLUCIÓN.....	18
4.1 INTRODUCCIÓN A MATRIX PENCIL Y MUSIC.....	18
4.2 ALGORITMO DE SÚPER RESOLUCIÓN MATRIX PENCIL.....	18
4.2.1 Introducción.....	18
4.2.2 Modelo del canal y estimación.....	19
4.2.3 Algoritmo Matrix Pencil.....	19
4.2.4 Resultados de Matrix Pencil	21

4.3 ALGORITMO DE SÚPER RESOLUCIÓN MUSIC.....	25
4.3.1 Introducción.....	25
4.3.2 Implementación del algoritmo MUSIC.....	25
4.3.3 Utilización en la implementación práctica.....	25
4.3.4 Determinación de los parámetros L y Lp.....	28
4.3.5 Resultados de MUSIC.....	29
4.4 COMPARACIÓN ENTRE MATRIX PENCIL Y MUSIC...32	
5. CALIBRACIÓN DE RESULTADOS.....34	
5.1 RESPUESTA IMPULSIVA.....35	
5.1.1 PÉRDIDAS EN ESPACIO LIBRE (FREE SPACE LOSS).....35	
5.1.1.1 Outdoor.....	36
5.1.1.2 Indoor	37
5.1.1.3 Simulación.....	39
5.1.1.4 Comparación.....	39
5.1.1.5 Calibración de la trayectoria directa.....	41
5.1.2 CALIBRACIÓN DE LA REFLEXIÓN.....42	
5.1.3 CALIBRACIÓN DE LA PARED GLASS (H3).....45	
5.1.3.1 Protocolo de las medidas.....	45
5.1.3.2 Resultados teóricos.....	46
5.1.3.3 Resultados de Matrix Pencil y MUSIC.....	47
5.1.3.4 Calibración.....	50
5.1.4 CALIBRACIÓN DE LA PARED CONCRETE WALL (H6).....51	
5.1.4.1 Protocolo de las medidas.....	52
5.1.4.2 Resultados teóricos.....	53
5.1.4.3 Resultados de Matrix Pencil y MUSIC.....	53
5.1.4.4 Calibración.....	56
5.1.5 CALIBRACIÓN DE LA PARED BLACKBOARD (VD).....57	
5.1.5.1 Protocolo de las medidas.....	58
5.1.5.2 Resultados teóricos.....	59
5.1.5.3 Resultados de Matrix Pencil y MUSIC.....	59
5.1.5.4 Calibración.....	62
5.1.6 CALIBRACIÓN DE LA PARED STONE (VA).....63	
5.1.6.1 Protocolo de las medidas.....	64
5.1.6.2 Resultados teóricos.....	65
5.1.6.3 Resultados de Matrix Pencil y MUSIC.....	65
5.1.6.4 Calibración.....	67
5.2 POTENCIA RECIBIDA.....68	
5.2.1 Introducción.....	68
5.2.2 Resultados.....	69
6. CONCLUSIONES.....72	
7. BIBLIOGRAFÍA.....75	

I LISTA DE TABLAS

3.1	Tabla esquemática con resultados de Ray Tracing	10
3.2	Valores de E_r en distintas paredes.....	11
3.3	Free Space Loss con Line of Sight.....	13
3.4	Pérdidas en espacio libre con None Line of Sight.....	15
4.1	Resultados con MATRIX PENCIL.....	23
4.2	Resultados con MUSIC.....	31
4.3	Comparación de tiempos de llegada.....	33
5.1	Tiempo de llegada y Amplitud usando Matrix Pencil (OUTDOOR).....	37
5.2	Tiempo de llegada y amplitud usando Matrix Pencil (INDOOR)	39
5.3	Tiempos de llegada y Amplitud usando RAY TRACING.....	39
5.4	Comparación de TOA y amplitud usando RAY TRACING y Matrix Pencil.....	41
5.5	Comparación entre simulación y Matrix Pencil.....	44
5.6	Ángulos para las diferentes medidas	45
5.7	Glass (H3)Tx=(631, 4160, 1245)Rx=(931, 4160, 1245)Tx=0° Rx=180°.....	47
5.8	Glass (H3)Tx=(631, 4160, 1245)Rx=(931, 4160, 1245)Tx=60° Rx=120°.....	47
5.9	Glass (H3)Tx=(631, 4160, 1245)Rx=(931, 4160, 1245)Tx=70° Rx=110°.....	48
5.10	Glass (H3)Tx=(631, 4160, 1245)Rx=(931, 4160, 1245)Tx=60° Rx=120°.....	49
5.11	Glass (H3)Tx=(631, 4160, 1245)Rx=(931, 4160, 1245)Tx=60° Rx=120°.....	49
5.12	Datos utilizados para calcular E_r	51
5.13	Ángulo para diferentes medidas.....	51
5.14	Concrete (H6)Tx=(851, 4340, 1245)Rx=(1151, 4340, 1245)Tx=0°Rx=180.....	53
5.15	Concrete (H6)Tx=(851, 4340, 1245)Rx=(1151, 4340, 1245)Tx=0°Rx=180.....	54
5.16	Concrete (H6)Tx=(851, 4340, 1245)Rx=(1151, 4340, 1245)Tx=290°Rx=250....	54
5.17	Concrete (H6)Tx=(851, 4340, 1245)Rx=(1151, 4340, 1245)Tx=300°Rx=240....	55
5.18	Concrete (H6)Tx=(851, 4340, 1245)Rx=(1151, 4340, 1245)Tx=340°Rx=200....	56
5.19	Comparación entre Amplitud Matrix Pencil y Ray Tracing.....	57
5.20	Ángulos para diferentes medidas.....	57
5.21	Blackboard (VD)Tx=(826, 4360, 1245)Rx=(826, 4060, 1245)Tx=270°Rx=90° ..	59
5.22	Blackboard (VD)Tx=(826, 4360, 1245)Rx=(826, 4060, 1245)Tx=310°Rx=50°....	60
5.23	Blackboard (VD)Tx=(826, 4360, 1245)Rx=(826, 4060, 1245)Tx=320°Rx=40°	60
5.24	Blackboard (VD)Tx=(826, 4360, 1245)Rx=(826, 4060, 1245)Tx=340°Rx=20°....	61
5.25	Blackboard (VD)Tx=(826, 4360, 1245)Rx=(826, 4060, 1245)Tx=360°Rx=0°.....	62

5.26 Comparación entre la amplitud de Matrix Pencil y Ray Tracing.....	63
5.27 Ángulos para distintas medidas.....	63
5.28 Stone (VA) $T_x = (400, 4250, 1245)$ $R_x = (400, 4050, 1245)$ $T_x=220^\circ$ $R_x=140^\circ$	65
5.29 Stone (VA) $T_x = (400, 4250, 1245)$ $R_x = (400, 4050, 1245)$ $T_x=220^\circ$ $R_x=140^\circ$	66
5.30 Stone (VA) $T_x = (400, 4250, 1245)$ $R_x = (400, 4050, 1245)$ $T_x=230^\circ$ $R_x=130^\circ$	66
5.31 Stone (VA) $T_x = (400, 4250, 1245)$ $R_x = (400, 4050, 1245)$ $T_x=250^\circ$ $R_x=130^\circ$	67
5.32 Comparación entre la amplitud de Matrix Pencil y Ray Tracing.....	68
5.33 Comparación entre E_r , Reflexión y Potencia recibida.....	70
6.1 E_r antes y después de la calibración.....	73

II LISTA DE FIGURAS

2.1 Antena.....	4
2.2 Patrón de radiación horizontal.....	5
2.3 Patrón de radiación vertical.....	5
2.4 Analizador de Red.....	6
2.5 Señal transmitida.....	6
2.6 Ruta de la señal transmitida.....	6
3.1 Figura esquemática de Ray Tracing.....	8
3.2 Trayectoria de propagación en escenarios de interior.....	8
3.3 Figura esquemática de Ray Launching.....	9
3.4 Figura esquemática de las reflexiones.....	10
3.5 Plano de la clase SN.22.2.....	11
3.6 Frente de ondas de propagación.....	12
3.7 Posición de Tx y Rx.....	13
3.8 Representación de pérdidas en una línea.....	14
3.9 Posición de Tx y Rx.....	15
3.10 Representación de pérdidas en una línea con NLOS.....	16
4.1 Esquema del aula SN.22.2.....	22
4.2 Respuesta Impulsiva en el tiempo.....	23
4.3 Amplitud para $T_x=80^\circ$ y $R_x=100^\circ$	24
4.4 Comparación entre Respuesta Impulsiva y MATRIX PENCIL.....	24
4.5 Plano del aula SN.22.2.....	29
4.6 Respuesta Impulsiva en el dominio del tiempo.....	30
4.7 Resultados de MUSIC para $T_x=80^\circ$ y $R_x=100^\circ$	31
4.8 Comparación entre Respuesta Impulsiva y MUSIC.....	32
4.9 Esquema del aula SN.22.2.....	32
4.10 Comparación entre teoría, MATRIX PENCIL y MUSIC.....	33
5.1 Distancia entre Tx y Rx.....	35
5.2 Distancia entre Tx y Rx 3 m.....	36
5.3 Distancia entre Tx y Rx 5 m.....	36
5.4 Distancia entre Tx y Rx 7 m.....	36
5.5 Distancia entre Tx y Rx 2 m.....	37

5.6 Distancia entre Tx y Rx 3 m.....	38
5.7 Distancia entre Tx y Rx 5 m.....	38
5.8 Distancia entre Tx y Rx 6 m.....	38
5.9 Distancia entre Tx y Rx 7 m.....	38
5.10 Comparación entre Simulación y Outdoor	40
5.11 Comparación entre Simulación e Indoor	40
5.12 Factor de Calibración (A1/A2).....	41
5.13 Esquema de calibración.....	42
5.14 Tx y Rx con ángulo=30°.....	42
5.15 Tx y Rx con ángulo=50°.....	43
5.16 Tx y Rx con ángulo=70°.....	43
5.17 Tx y Rx con ángulo=90°.....	43
5.18 Relación entre Simulación y Matrix Pencil	44
5.19 Posicionamiento en el aula SN.22.2.....	45
5.20 Esquemas de las trayectorias directas y reflejadas	46
5.21 Resultados Matrix Pencil Tx=60° Rx=120°.....	47
5.22 Resultados Matrix Pencil Tx=70° Rx=110°.....	48
5.23 Resultados Matrix Pencil Tx=80° Rx=100°.....	49
5.24 Resultados Matrix Pencil Tx=90° Rx=80°.....	49
5.25 Relación entre Amplitud Medida y Amplitud Simulada.....	50
5.26 Ángulo incidente.....	51
5.27 Disposición de las antenas en SN.22.2.....	52
5.28 Esquema del rayo directo o reflejado	52
5.29 Matrix Results Tx=0° Rx=180°.....	53
5.30 Matrix Results Tx=290° Rx=150°.....	54
5.31 Matrix Results Tx=300° Rx=240°.....	55
5.32 Matrix Results Tx=340° Rx=200°.....	55
5.33 Relación entre amplitud medida y simulada	56
5.34 Ángulo incidente.....	57
5.35 Disposición de las antenas en SN.22.2.....	58
5.36 Esquema del rayo directo y reflejado	58
5.37 Resultados de Matrix Pencil Tx=310° Rx=50°.....	59
5.38 Resultados de Matrix Pencil Tx=320° Rx=40°.....	60
5.39 Resultados de Matrix Pencil Tx=340° Rx=20°.....	61

5.40 Resultados de Matrix Pencil $T_x=360^\circ$ $R_x=0^\circ$	61
5.41 Relación entre amplitud teórica y simulada.....	62
5.42 Ángulo incidente.....	63
5.43 Disposición de las antenas en SN.22.2.....	64
5.44 Esquema de la trayectoria directa y reflejada	64
5.45 Resultados de Matrix Pencil $T_x=220^\circ$ $R_x=140^\circ$	65
5.46 Resultados de Matrix Pencil $T_x=230^\circ$ $R_x=130^\circ$	66
5.47 Resultados de Matrix Pencil $T_x=250^\circ$ $R_x=130^\circ$	67
5.48 Relación entre amplitud medida y simulada.....	68
5.49 Ángulo incidente.....	68
5.50 Posición del Tx y Rx.....	69
5.51 Received Power / Epsilon R.....	71
5.52 Reflection / Epsilon R.....	71