

Índice general

1. Antecedentes	2
1.1. Filtrado digital	3
1.2. Transformada Z	4
1.3. Transformada Discreta de Fourier	6
1.3.1. Transformada Rápida de Fourier	7
1.4. Filtros con respuesta finita al impulso (FIR).	12
1.4.1. Propiedades de los Filtros FIR	13
1.5. Filtros FIR en su forma cruzada	18
1.6. Diseño de Filtros FIR	21
2. Control Activo del Ruido (CAR)	25
2.1. Principios Acústicos	27
2.2. Aplicaciones generales	27
2.3. Cancelación Adaptiva del Ruido	28
2.3.1. Identificación Adaptiva de Sistemas	30
2.3.2. Efectos de la Trayectoria Secundaria	32
2.4. Control de Realimentación	34
2.4.1. Esquema de predicción adaptiva	37
2.5. Consideraciones Prácticas	38
3. Filtros adaptables	40
3.1. Introducción	40
3.2. Algoritmos Adaptivos	42
3.2.1. Algoritmo MSE	42

3.2.2. Método de pasos descendentes	45
3.3. Algoritmo LMS	46
3.3.1. Algoritmo FXLMS	47
3.4. Algoritmo RLS	49
3.4.1. Algoritmo RLS aplicado a CAR	54
3.5. Transformada Coseno Discreta Adaptiva	55
4. Implementación en Matlab	59
4.1. Consideraciones Iniciales	59
4.2. Algoritmo LMS	59
4.2.1. Simulación en SIMULINK	62
4.3. Algoritmo RLS	65
4.3.1. Simulación en SIMULINK	67
4.4. Conclusiones	70
4.5. Control Activo del Ruido en el Dominio de la Frecuencia	70
4.5.1. Transformada Coseno Discreta	71
4.5.2. Transformada Discreta de Fourier	74
5. Control Activo del Ruido en el DSP TMS320C25	77
5.1. Introducción	77
5.2. Arquitectura del DSP TMS320C25	80
5.2.1. Acumulador y ALU de 32 bits	80
5.2.2. Multiplicador en paralelo de 16×16	80
5.2.3. Timer	83
5.2.4. Memoria	83
5.2.5. Interrupciones y Subrutinas	83
5.2.6. Interfaces Externas	84
5.2.7. Conjunto de Instrucciones	84
5.2.8. Modos de direccionamiento	84
5.3. Implementación del algoritmo LMS	85
5.4. Consideraciones de implementación	88

5.4.1. Limitaciones en el rango dinámico	88
5.4.2. Errores de precisión finita	90
5.5. Simulación	90
6. Conclusión	94
6.1. Trabajo Futuro	95
A. Código Auxiliar	96
A.1. Código Auxiliar de MATLAB	96
A.2. Código Auxiliar Ensamblador	97
Bibliografía	100

Índice de figuras

1.1. Concepto básico de CAR	2
1.2. El círculo unitario en el plano z	5
1.3. Simetría de la Transformada Discreta de Fourier.	7
1.4. Diagrama de Flujo del algoritmo de Decimación en el Tiempo de una secuencia de $N = 8$ puntos dividida en dos.	9
1.5. Descomposición de una TDF de $N/2$ en un cálculo de $N/4$ puntos.	10
1.6. Diagrama de Flujo de una TDF de 8 puntos, resultado de sustituir 1.5 en 1.4.	11
1.7. Diagrama de Flujo de una TDF de 2 puntos ó “butterfly”.	11
1.8. Diagrama de Flujo de la Decimación en Tiempo de una TDF de 8 puntos	12
1.9. Diagrama de Flujo simplificado de la mariposa de FFT.	12
1.10. Filtro FIR en su forma directa transversal	13
1.11. Respuesta al impulso simétrica (M impar)	14
1.12. Respuesta al impulso simétrica (M par)	15
1.13. Respuesta al impulso anti-simétrica (M impar)	16
1.14. Respuesta al impulso anti-simétrica (M par)	16
1.15. Prediction Error Filter	19
1.16. Filtro FIR en cruz de primer orden	19
1.17. Ventanas más comunes.	24
2.1. Diagrama de la patente de 1936 por el físico alemán Paul Lueg.	26
2.2. Concepto básico de la cancelación adaptiva del ruido.	29
2.3. Diagrama de bloques de un cancelador adaptivo de ruido.	29
2.4. Identificación adaptiva de sistemas.	30
2.5. Identificación adaptiva de sistemas para CAR	30

2.6. Diagrama de bloques de un sistema CAR con trayectoria secundaria.	32
2.7. Diagrama de bloques simplificado de un sistema CAR.	34
2.8. Sistema CAR con control de realimentación de un solo canal.	35
2.9. Diagrama de bloques del sistema CAR con control de realimentación de un solo canal.	35
2.10. Feedback CAR usando la señal de referencia sintetizada de las señales disponibles ($y[n]$ y $e[n]$)	36
2.11. Feedback CAR toma la forma de un sistema CAR con control a priori (feed-forward)	37
2.12. Diagrama de Bloques de un Predictor Adaptivo	38
3.1. Filtro adaptable alimentado a priori (<i>feedforward</i>)	40
3.2. Cancelación de ruido a la salida	41
3.3. Cancelación de ruido a la entrada	41
3.4. Superficie de desempeño tridimensional para el caso $L = 2$	44
3.5. Diagrama de bloques de el algoritmo LMS	47
3.6. Diagrama de bloques de el algoritmo FXLMS	49
3.7. Diagrama de bloques de el algoritmo RLS.	54
3.8. Diagrama de bloques de el algoritmo FXRLS	55
4.1. Gráfica de la señal primaria.	60
4.2. Resultado del algoritmo LMS (SNR=13.79 [db])	61
4.3. Proceso de adaptación de los coeficientes para el algoritmo LMS	62
4.4. Modelo de un filtro con CAR y el algoritmo LMS en SIMULINK	63
4.5. Gráficas de las señales de entrada (original y ruido) y salidas (señal filtrada y error) del modelo en SIMULINK	64
4.6. Vector de coeficientes del filtro con $L = 24$ coeficientes (Modelo en SIMULINK)	64
4.7. Resultado del algoritmo RLS (SNR=12.93 [db])	66
4.8. Proceso de adaptación de los coeficientes para el algoritmo RLS	67
4.9. Modelo de un filtro con CAR y el algoritmo RLS en SIMULINK	68
4.10. Gráficas de las señales de entrada (original y ruido) y salidas (señal filtrada y error) del modelo en SIMULINK	68
4.11. Vector de coeficientes del filtro con $L = 24$ coeficientes (Modelo en SIMULINK)	69

4.12. Gráficas de la Simulación en MATLAB	72
4.13. Modelo del filtro con análisis en frecuencia por medio de la Transformada Discreta de Cosenos.	73
4.14. Señales de salida del modelo anterior.	73
4.15. Gráficas de la Simulación en MATLAB	75
4.16. Modelo del filtro con análisis en frecuencia por medio de la Transformada Discreta de Fourier.	75
4.17. Señales de salida del modelo anterior.	76
5.1. Arquitectura del DSP TMS320C25	79
5.2. Mapas de memoria para el TMS320C25.	82
5.3. Aritmética de Saturación	89
5.4. Modelo de Ruido por Redondeo de Punto Fijo	90
5.5. Esquema de cancelación de ruido usado en el Programa.	91
5.6. Señal de primaria.	92
5.7. Señal de ruido.	92
5.8. Señal de salida (señal recuperada).	93
5.9. Señal de error.	93