

Sommaire

Introduction.....	1
1. Quelques rappels sur le son	
A. Propagation des ondes sonores	2
B. Les caractéristiques des ondes sonores ...	3
C. La propagation des ondes sonores dans l'air	5
D. Du timbre au spectre	7
<hr/>	
2. La numérisation du son	
A. Pourquoi l'échantillonnage ?	11
B. L'échantillonnage est non-destructeur ...	12
C. Le repliement spectral ou <i>aliasing</i>	13
D. Éviter le repliement spectral	16
E. Quelle fréquence d'échantillonnage pour quelle application ?	17
F. La quantification du signal	18
G. La précision	20
<hr/>	
3. D'un monde à l'autre...	
A. La chaîne de traitement audionumérique .	22
B. Les convertisseurs analogique/numérique	22
B.1 Les convertisseurs à approximations successives	23
B.2 Les convertisseurs delta	25
B.3 Les convertisseurs sigma-delta	26
B.4 Améliorer la précision des convertisseurs	29
C. Les convertisseurs numérique/analogique	30
C.1 Le convertisseur parallèle à échelle R-2R	30

C.2 Les convertisseurs à sources pondérées ..	31
C.3 Les convertisseurs sigma-delta	34
D. Les liaisons entre convertisseurs et DSP	35
D.1 Les liaisons série synchrones	35
D.2 Le protocole I ² S	36
D.3 Les protocoles TDM	37
D.4 Le protocole AC'97	38
D.5 Le protocole AES/EBU (standard IEC958)	41

4. Des microprocesseurs aux DSP	
A. La structure de Von Neumann	44
B. La structure Harvard	45
C. Du microcodage au CISC	46
D. Prenons des RISC	47
E. Les DSP : l'optimisation ultime	47
F. DSP contre processeurs génériques	48

5. L'arithmétique des DSP	
A. Les nombres binaires non signés	51
B. Les nombres binaires signés	52
C. Les nombres à virgule fixe	53
D. Les limites du format à virgule fixe	54
D.1 Gamme dynamique limitée	54
D.2 Précision limitée	54
D.3 Altération du rapport signal/bruit	56
E. Les opérations arithmétiques sur nombres entiers et à virgule fixe	56
E.1 L'addition et la soustraction en virgule fixe	56
E.2 Multiplication entière sur n bits	57

E.3	Multiplication en virgule fixe	58			
E.4	Formatage automatique entier/flottant sur les DSP	59			
E.5	Division de nombres binaires à virgule fixe ou flottante	60			
F.	Les nombres à virgule flottante	62			
<hr/>					
6.	Développer sur DSP				
A.	Les DSP génériques	65			
A.1	Les DSP Texas Instruments	65			
A.2	Les DSP Motorola (alias On Semiconductors)	65			
A.3	Les DSP Analog Devices	67			
B.	Les DSP spécialisés	70			
C.	Développer sur DSP Analog Devices ...	70			
C.1	L'assembleur Analog Devices	70			
C.2	L'environnement Visual DSP++	76			
C.3	Les kits de développement EZKit-Lite ...	80			
C.4	Le cycle de développement sous VisualDSP++	83			
C.5	étendre les possibilités des EZKit (et des DSP en général...)	89			
D.	Développer sur des systèmes DSP préfabriqués	91			
D.1	Les cartes industrielles à DSP	91			
D.2	Les stations de travail à DSP	92			
<hr/>					
7.	Des applications audionumériques en temps réel sur PC				
A.	Un peu d'histoire... ..	93			
B.	À côté de MME et DirectX... ..	96			
C.	Développer des effets temps réel sous Windows	96			
D.	La base matérielle nécessaire pour des effets en temps réel	96			
E.	Le choix d'un langage	97			
F.	Le projet MME_TALKTHRU	98			
	<i>Première étape : identifier et lister les périphériques audio</i>	98			
	<i>Deuxième étape : activer les périphériques audio</i>	99			
	<i>Le traitement des interruptions par fonction de rappel</i>	101			
	<i>Troisième étape : la préparation des tampons</i>	103			
	<i>Quatrième étape : partager les tampons avec le pilote de la carte audio</i>	105			
	<i>Et on démarre...</i>	106			
	<i>Le traitement des échantillons</i>	106			
	<i>Renvoyer les données audionumériques traitées</i>	106			
	<i>Comment traiter les échantillons ?</i>	107			
	<i>On ferme et on range</i>	107			
	<i>Aller plus loin avec TALKTHRU</i>	110			
G.	Développer des effets temps réel avec DirectX	110			
H.	Et à part le PC sous Windows ?	112			
I.	D'autres voies à explorer... ..	113			
<hr/>					
8.	La génération de signaux				
A.	Ce qu'il ne faut surtout pas faire... ..	115			
B.	Génération de signaux par table d'échantillons	116			
C.	Le problème de la production de signaux à fréquence variable	117			
D.	La quadrature du cercle	118			
E.	L'interpolation entre en scène	120			
F.	Générateurs de bruit	124			
F.1	Qu'est-ce que le bruit ?	124			
F.2	Produire du bruit blanc avec les DSP ...	124			
F.3	Colorons un peu le bruit... ..	125			
<hr/>					
9.	Les traitements et les effets liés au gain				
A.	Implémentation d'un calcul de gain ...	127			
B.	Le problème de la réponse de l'oreille ...	128			
C.	Un mélangeur numérique	129			
D.	Le contrôle d'image panoramique ...	130			

E.	La balance stéréo	131
F.	Le trémolo	133
G.	Générateur automatique de panoramique (ou trémolo stéréophonique)	133
H.	Générateur d'enveloppe	134
I.	Modulateur d'amplitude et modulateur en anneau	134

10. Les effets à retard constant (*delays*)

A.	Origine physique des retards	136
B.	Différence entre retard, écho et réverbération	136
C.	Petite histoire du retard	137
D.	Obtention d'un retard constant avec un DSP	138
E.	Utilisation des générateurs d'adresse des DSP	139
F.	Utilisation des retards constants dans les effets	140
F.1	Le retard simple	140
F.2	Le doubleur	141
F.3	L'écho simple	143
G.	Le filtre en peigne (<i>comb filter</i>)	144
G.1	L'écho à sorties multiples	144
G.2	Le « Ping-Pong » stéréo	148

11. Les effets à retard variable

A.	Obtenir des retards variables	149
B.	Modulation du retard	150
C.	Les effets à retards variables	151
C.1	Le vibrato	151
C.2	Effet Leslie	152
C.3	Chorus	153
C.4	<i>Flanger</i>	154
D.	Le transposeur	156
D.1	Comment ça marche ?	159

12. Premiers pas vers les filtres numériques

A.	Les notions génériques des filtres	160
A.1	La réponse en fréquence	160
A.2	La réponse en phase	161
A.3	La réponse à l'échelon	161
A.4	La réponse impulsionnelle	163
A.5	Les réponses caractéristiques	163
	<i>Le filtre RC ou filtre du 1er ordre</i>	163
	<i>Réponse caractéristique de Butterworth</i>	164
	<i>Réponse caractéristique de Chebyshev</i>	165
	<i>Réponse caractéristique de Bessel</i>	165
	<i>Réponse caractéristique de Causer</i>	165
	<i>Les autres réponses caractéristiques</i> ...	166
	<i>Les cellules de filtrage</i>	166
B.	Premier pas vers les filtres numériques : modélisation d'un filtre RC passe-bas ..	166
C.	Filtre passe-bas RC : vers une modélisation plus exacte	169
D.	Modélisation numérique d'un filtre à variable d'état	170
D.1	Modélisation d'un intégrateur numérique	171
D.2	Modélisation d'une cellule à variable d'état du second ordre	173

13. Les filtres numériques en pratique

A.	Les filtres récursifs (ou filtres à réponse impulsionnelle infinie)	174
B.	Les filtres RIF/FIR	176
C.	Les filtres en treillis (<i>lattice filters</i>)	177
D.	La boîte à outils du filtrage audio : les filtres d'égalisation	177
D.1	Des filtres pour égaliseur graphique	178
D.2	Des filtres de correction de tonalité	179
D.3	Filtre paramétrique	179
D.4	Les filtres de croisement	180
E.	Un filtre déphaseur pour effet de phaseur	182
F.	Les filtres RIF : des filtres à géométrie variable	185
F.1	Première étape : savoir ce que l'on veut ..	189
F.2	Deuxième étape : numériser les courbes ..	189

F.3	Troisième étape : passer dans le domaine temporel	191
F.4	Dernière étape : vérifier la réponse réelle	193
G.	D'autres outils pour calculer les filtres numériques	194
G.1	Des outils prêts à l'emploi pour calculer des filtres	194
G.2	Les ressources de l'Internet	195
H.	Quelques conseils pour finir... ..	195
<hr/>		
14.	Les effets de réverbération	
A.	De l'écho à la réverbération	198
B.	Utilité de la réverbération	198
C.	Petite histoire de la réverbération	200
D.	Modélisation numérique de la réverbération	200
E.	Les algorithmes de Schroeder	202
F.	Les algorithmes de Moorer	202
G.	Les réverbérations à blocage (<i>gate reverberation</i>)	205
H.	Les réverbérations inversées (<i>reverse reverberation</i>)	206
I.	Et encore des algorithmes... ..	206
<hr/>		
15.	Le traitement de la dynamique	
A.	Compresseurs	209
B.	Expandeurs	212
C.	L'expandeur négatif (<i>noise gate</i>)	212
D.	Mesurer le niveau du signal	215
<hr/>		
16.	Les effets de distorsion	
A.	Du défaut léger à l'effet acoustique	218
B.	L'effet de distorsion en analogique	220
C.	La saturation en numérique	220
D.	La modélisation des amplificateurs à tube	223
<hr/>		
17.	La transformée de Fourier et ses applications audionumériques	
A.	Domaine temporel et domaine fréquentiel	225
B.	Une transformée, quatre familles	225
C.	Transformées directe et inverse	226
D.	Calculer les transformées discrètes de Fourier directe et inverse	228
E.	La transformée de Fourier rapide	229
F.	Fenêtrage	233
G.	Les applications et effets basés sur la transformée de Fourier	235
G.1	Analyse spectrale	235
G.2	Filtrage	235
G.3	Transposition (<i>pitch shifting</i>)	236
G.4	Étirement temporel (<i>time stretching</i>)	236
G.5	Conclusion	237
<hr/>		
	Conclusion	238
	Remerciements	238
	Bibliographie	238
	Glossaire	239
	Index	244
	Contenu du CD-ROM	245