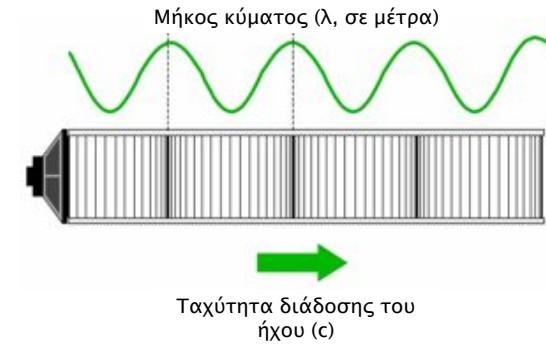


Ακουστική και Ψυχοακουστική

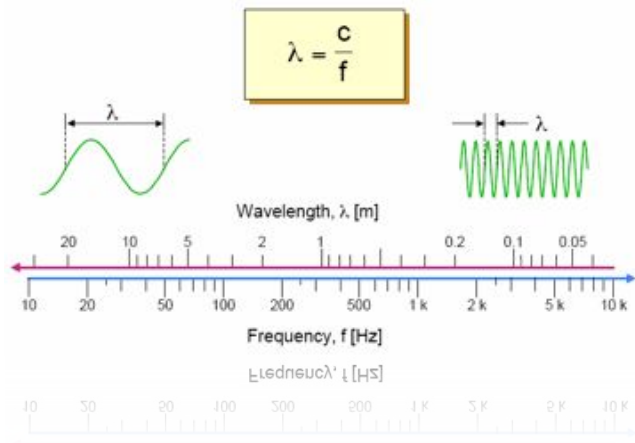
Διάλεξη 4: “Ανάλυση του Ήχου”

Φλώρος Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

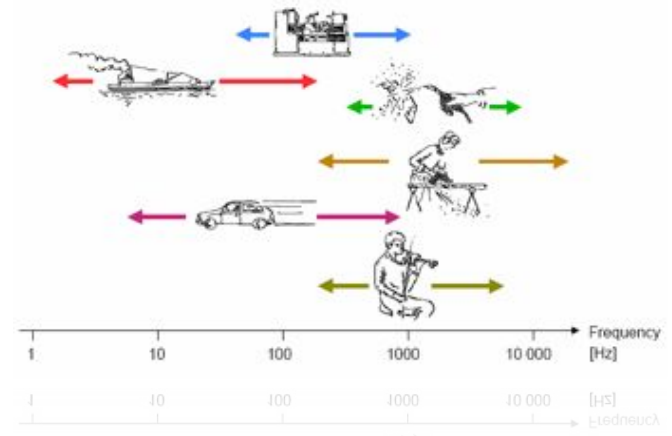
Μικρή επανάληψη...



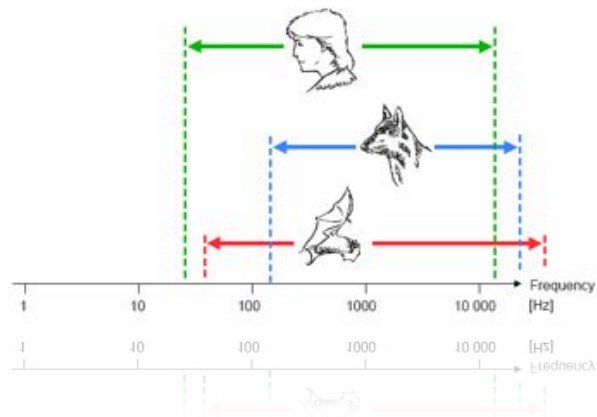
Μήκος κύματος & συχνότητα



Συχνότητες ηχητικών πηγών



Αντιληπτά όρια συχνοτήτων



Ο ήχος ως σύνθετο σήμα

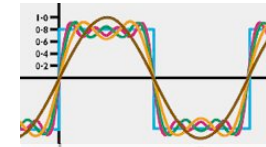
- Ο ήχος είναι σύνθετο σήμα
 - άθροισμα περιοδικών σημάτων
 - ... ή περιοδικών μεταβολών πίεσης
 - Ο συνδιασμός των σημάτων αυτών σε κάποιο σημείο του χώρου μας δίνει το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα

• Κατηγορίες ήχου

- Τόνοι
- Αρμονικοί τόνοι
- Θόρυβος

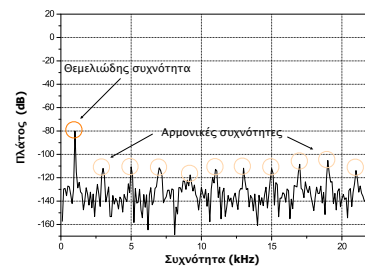
• Ανάλυση του ήχου

- Η αντίστροφη διαδικασία προσδιορισμού των βασικών συνιστωσών του ηχητικού κύματος

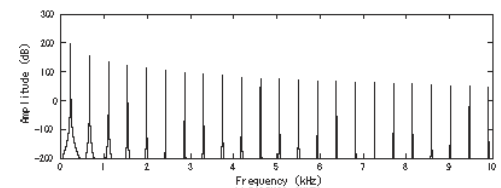
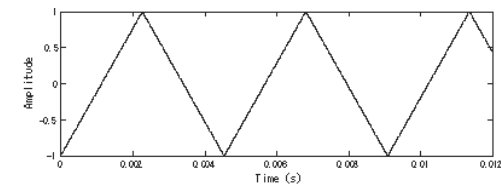


Παράδειγμα: περιοδικός ήχος

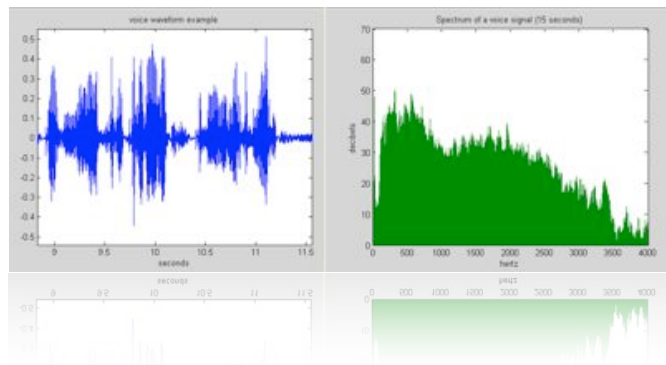
- Φάσμα περιοδικού σήματος



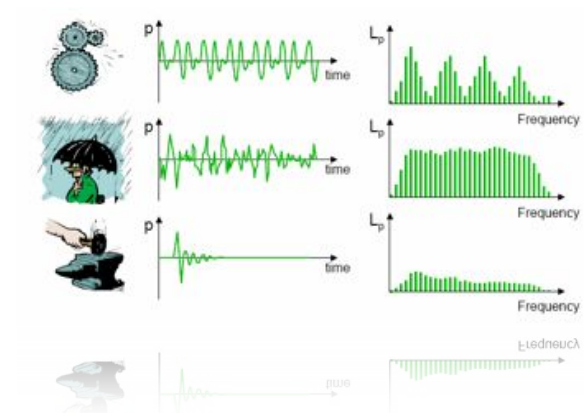
Παράδειγμα: περιοδικός ήχος (2)



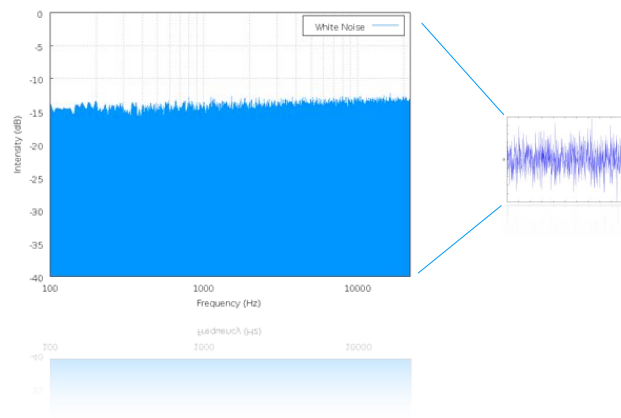
Παράδειγμα: μη περιοδικός ήχος



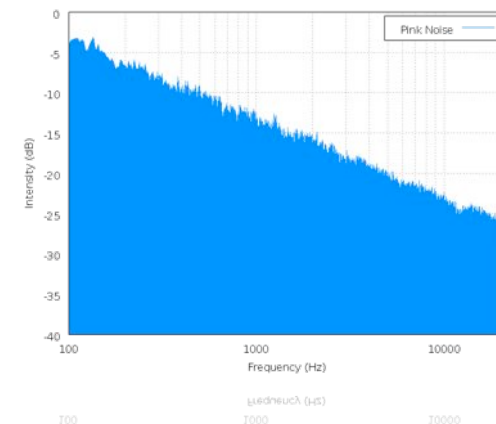
Διάφορα παραδείγματα



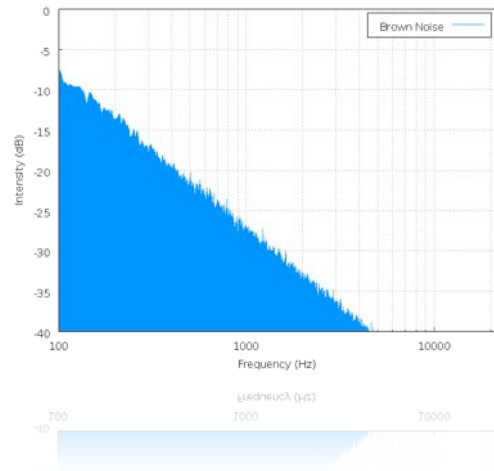
Παράδειγμα 1: Λευκός θόρυβος



Παράδειγμα 2: Ροζ θόρυβος



Παράδειγμα 3: Καφέ θόρυβος



Ανάλυση Fourier

- Ένα **περιοδικό** σήμα $f(t)$ μπορεί να αναπαρασταθεί ως

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos \frac{2n\pi}{T} t + b_n \sin \frac{2n\pi}{T} t \right]$$

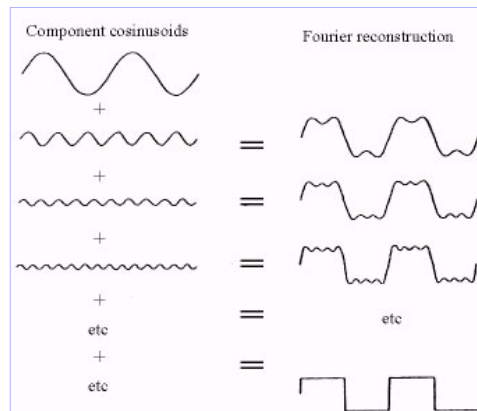
- όπου

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos \frac{2n\pi}{T} t dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin \frac{2n\pi}{T} t dt$$

- και

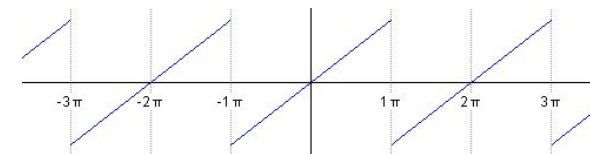
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

Ανάλυση Fourier (συν.)



Ανάλυση Fourier – παράδειγμα

- Έστω $f(x) = x$ ένα περιοδικό σήμα
 - $-\pi \leq x \leq \pi$ (βασική περίοδος)
 - $T=2\pi$



Ανάλυση Fourier – παράδειγμα (συν.)

- Ανάλυση Fourier:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x \cos(nx) dx = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x \sin(nx) dx = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} x \sin(nx) dx$$

$$= \frac{2}{\pi} \left(\left[-\frac{x \cos(nx)}{n} \right]_0^{\pi} + \left[\frac{\sin(nx)}{n^2} \right]_0^{\pi} \right) = 2 \frac{(-1)^{n+1}}{n}$$

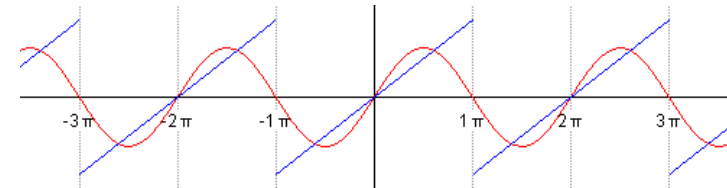
- Οπότε

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

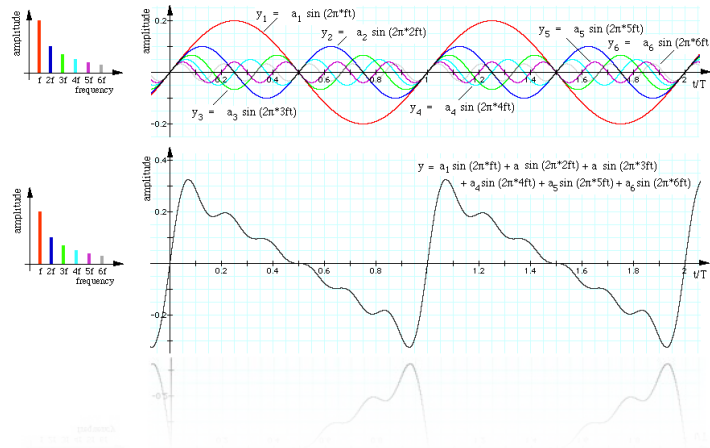
$$= 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \sin(nx), \quad \forall x \in [-\pi, \pi].$$

Ανάλυση Fourier – παράδειγμα (συν.)

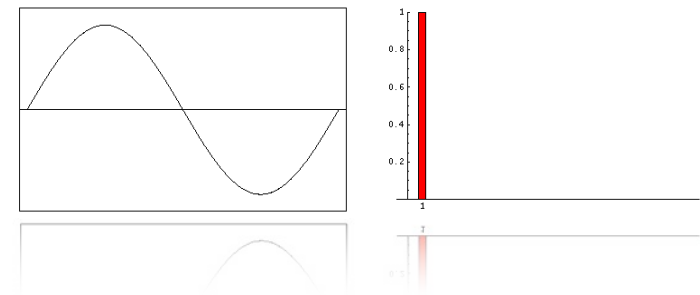
- ... Και το αποτέλεσμα...



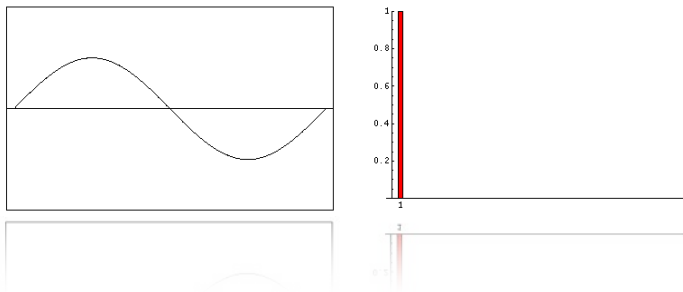
Παράδειγμα αρμονικής σύνθεσης



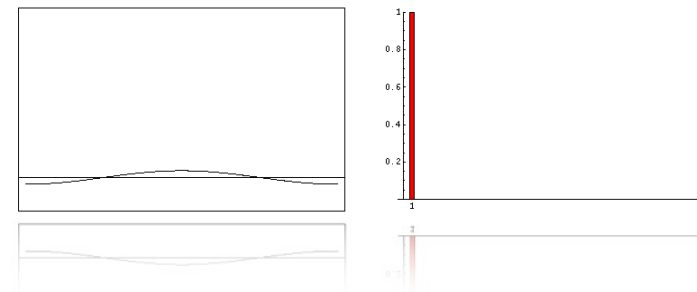
Παράδειγμα αρμονικής σύνθεσης (2)



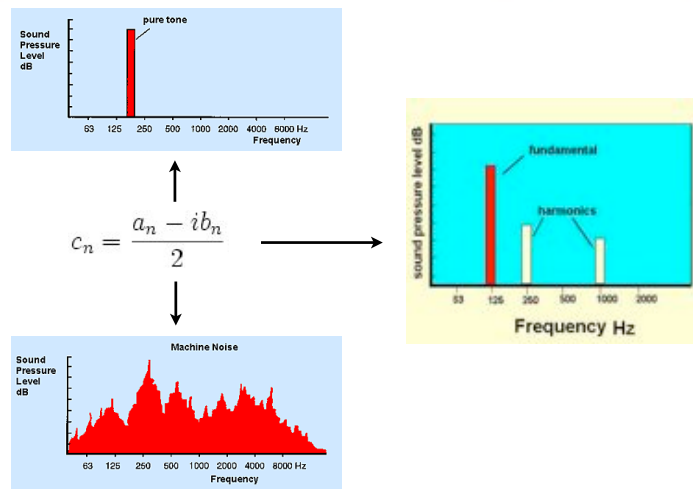
Παράδειγμα αρμονικής σύνθεσης (3)



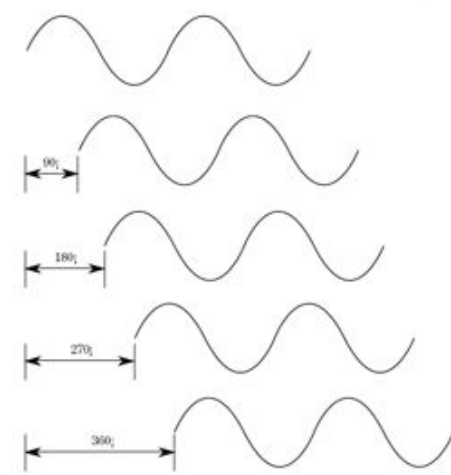
Παράδειγμα αρμονικής σύνθεσης (4)



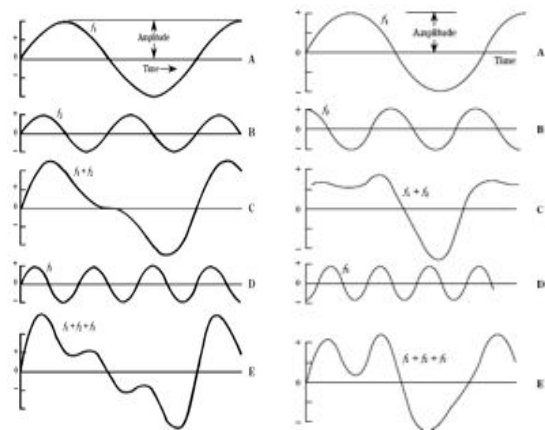
Ανάλυση Fourier & φάσμα ηχητικών σημάτων



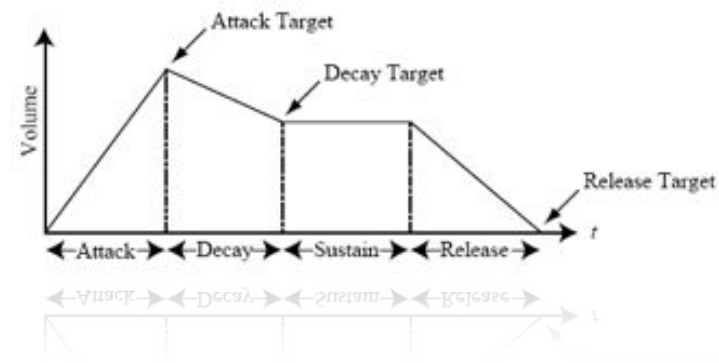
Η έννοια της φάσης



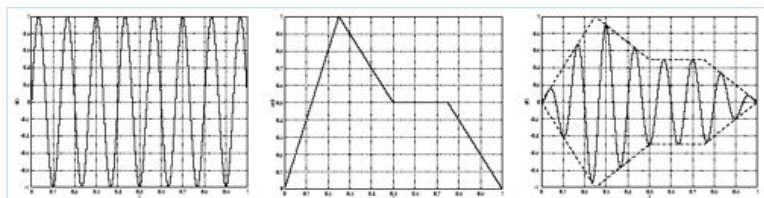
Η έννοια της φάσης (συν.)



Χρήση περιβάλλουσας για μουσικές νότες



Χρήση περιβάλλουσας για μουσικές νότες (συν.)



Όμποε (No ADSR)

Φλάουτο (No ADSR)

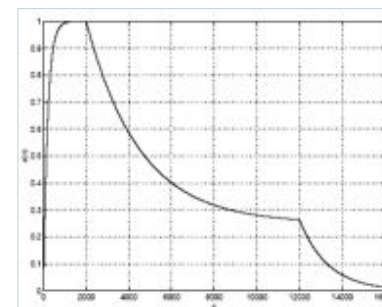
Όμποε (With ADSR)

Φλάουτο (With ADSR)

Χρήση περιβάλλουσας για μουσικές νότες (συν.)

- Για κάθε όργανο διαφορετική περιβάλλουσα

Περιβάλλουσα πιάνου



Εφαρμογή: Helmholtz vowel synthesizer

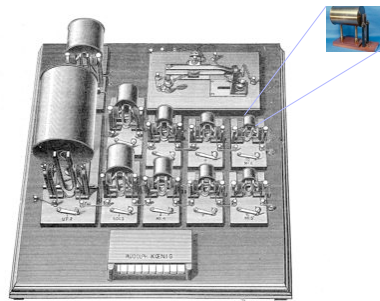
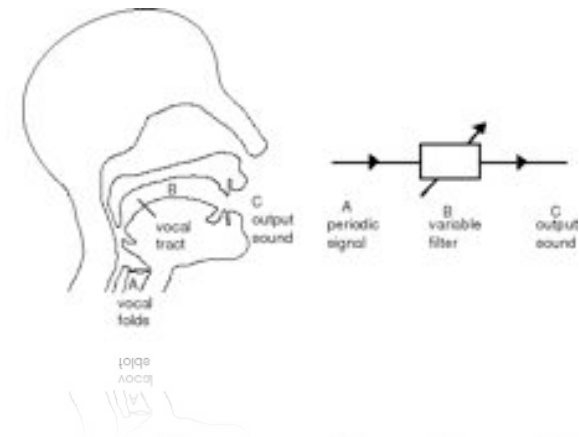


Fig. 75.
Appareil pour reproduire les voyelles, de Helmholtz.

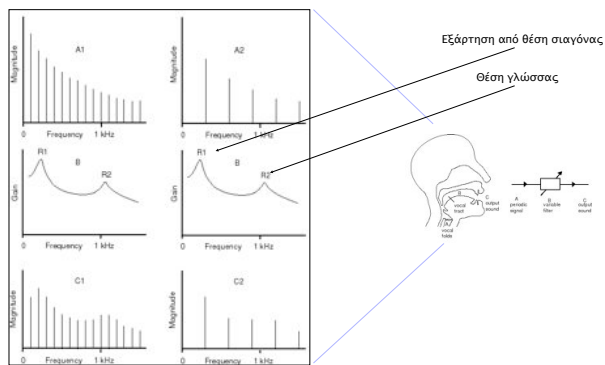


Hermann von Helmholtz
1821-1894

Εφαρμογή: speech physics

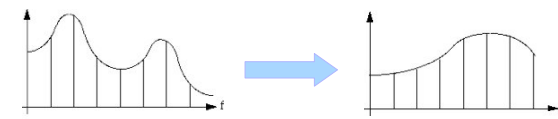


Εφαρμογή: speech physics (συν.)



...και η επίδραση του ηλίου

- Υψηλότερη ταχύτητα ήχου




Ομιλία (αέρας)

Ομιλία (ήλιο)

Pitch (αέρας)

Pitch (ήλιο)

Μουσικές Συχνότητες



«Μουσικές Συχνότητες»

• Πίνακας συχνότητων

Notes	Frequency (Hz)				
	55.00	110.00	220.00	440.00	880.00
A	58.27	116.54	233.08	466.16	932.32
A#	61.74	123.48	246.96	493.92	987.84
B	65.41	130.82	261.64	523.28	1046.56
C	69.30	138.60	277.20	554.40	1108.80
C#	73.42	146.84	293.68	587.36	1174.72
D	77.78	155.56	311.12	622.24	1244.48
D#	82.41	164.82	329.64	659.28	1318.56
E	87.31	174.62	349.24	698.48	1396.96
F	92.50	185.00	370.00	740.00	1480.00
F#	98.00	196.00	392.00	784.00	1568.00
G					



$$\text{NewFreq} = \text{Freq} * 2^{N/12}$$

όπου N ο αριθμός από τις νότες μεταξύ των συχνότητων Freq και NewFreq

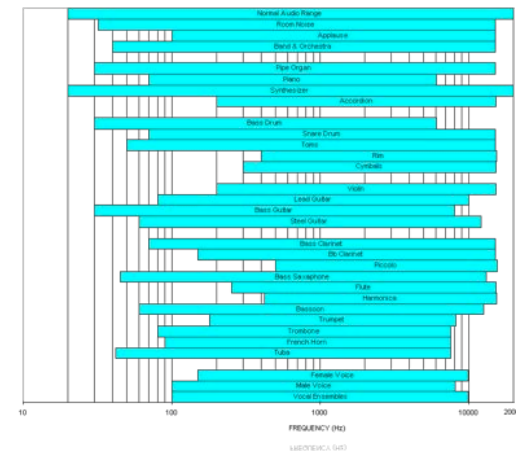
Application: <http://www.phys.unsw.edu.au/music/note/>

«Μουσικές Συχνότητες» (συν.)

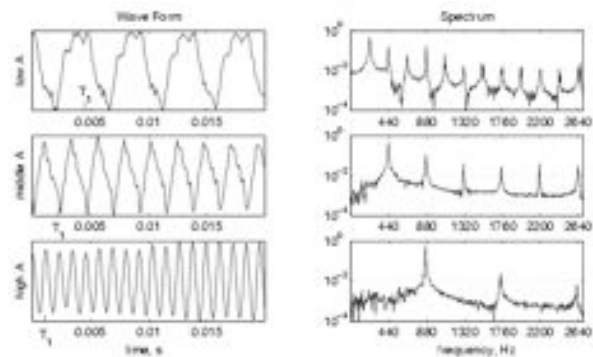
Frequency	Keyboard	Note Name	MIDI number
4156.0		B7	109
3750.0		B7	107
3322.0		A7	105
2960.0		A7	103
2650.0		G7	101
2375.0		G7	99
2130.0		F#7	97
1910.0		F#7	95
1710.0		F7	93
1530.0		F7	91
1370.0		E7	89
1230.0		E7	87
1110.0		D#7	85
1000.0		D#7	83
900.0		D7	81
810.0		D7	79
730.0		C#7	77
660.0		C#7	75
600.0		C7	73
550.0		C7	71
510.0		B7	69
470.0		B7	67
440.0		A#7	65
410.0		A#7	63
380.0		A7	61
350.0		A7	59
320.0		G#7	57
300.0		G#7	55
280.0		G7	53
260.0		G7	51
240.0		F#7	49
220.0		F#7	47
200.0		F7	45
180.0		F7	43
160.0		E7	41
140.0		E7	39
120.0		D#7	37
110.0		D#7	35
100.0		D7	33
90.0		D7	31
80.0		C#7	29
70.0		C#7	27
60.0		C7	25
50.0		C7	23
40.0		B7	21
30.0		B7	19
20.0		A#7	17
15.0		A#7	15
10.0		A7	13
7.5		A7	11
5.0		G#7	9
3.75		G#7	7
2.5		G7	5
1.875		G7	3
1.25		F#7	1
0.9375		F#7	-1
0.625		F7	-3
0.46875		F7	-5
0.3125		E7	-7
0.234375		E7	-9
0.15625		D#7	-11
0.1171875		D#7	-13
0.078125		D7	-15
0.05859375		D7	-17
0.04396875		C#7	-19
0.03298125		C#7	-21
0.02473125		C7	-23
0.01854375		C7	-25
0.01390625		B7	-27
0.01043125		B7	-29
0.007821875		A#7	-31
0.00586625		A#7	-33
0.0044046875		A7	-35
0.003303515625		A7	-37
0.002477640625		G#7	-39
0.00185823046875		G#7	-41
0.001403673046875		G7	-43
0.0010527546875		G7	-45
0.000790066015625		F#7	-47
0.00059254951171875		F#7	-49
0.0004444119140625		F7	-51
0.0003333089375		F7	-53
0.00025003171875		E7	-55
0.000187523828125		E7	-57
0.00014061787109375		D#7	-59
0.00010546340625		D#7	-61
0.00007909765625		D7	-63
0.000059323046875		D7	-65
0.0000444921875		C#7	-67
0.000033369140625		C#7	-69
0.000025001953125		C7	-71
0.00001875146484375		C7	-73
0.00001406109375		B7	-75
0.0000105466796875		B7	-77
0.000007909328125		A#7	-79
0.000005932009375		A#7	-81
0.00000444965625		A7	-83
0.000003337246875		A7	-85
0.0000025001953125		G#7	-87
0.000001875146484375		G#7	-89
0.000001406109375		G7	-91
0.00000105466796875		G7	-93
0.0000007909328125		F#7	-95
0.0000005932009375		F#7	-97
0.000000444965625		F7	-99
0.0000003337246875		F7	-101
0.00000025001953125		E7	-103
0.0000001875146484375		E7	-105
0.0000001406109375		D#7	-107
0.000000105466796875		D#7	-109
0.00000007909328125		D7	-111
0.00000005932009375		D7	-113
0.0000000444965625		C#7	-115
0.00000003337246875		C#7	-117
0.000000025001953125		C7	-119
0.00000001875146484375		C7	-121
0.00000001406109375		B7	-123
0.0000000105466796875		B7	-125
0.000000007909328125		A#7	-127
0.000000005932009375		A#7	-129
0.00000000444965625		A7	-131
0.000000003337246875		A7	-133
0.0000000025001953125		G#7	-135
0.000000001875146484375		G#7	-137
0.000000001406109375		G7	-139
0.00000000105466796875		G7	-141
0.0000000007909328125		F#7	-143
0.0000000005932009375		F#7	-145
0.000000000444965625		F7	-147
0.0000000003337246875		F7	-149
0.00000000025001953125		E7	-151
0.0000000001875146484375		E7	-153
0.0000000001406109375		D#7	-155
0.000000000105466796875		D#7	-157
0.00000000007909328125		D7	-159
0.00000000005932009375		D7	-161
0.0000000000444965625		C#7	-163
0.00000000003337246875		C#7	-165
0.000000000025001953125		C7	-167
0.00000000001875146484375		C7	-169
0.00000000001406109375		B7	-171
0.0000000000105466796875		B7	-173
0.000000000007909328125		A#7	-175
0.000000000005932009375		A#7	-177
0.00000000000444965625		A7	-179
0.000000000003337246875		A7	-181
0.0000000000025001953125		G#7	-183
0.000000000001875146484375		G#7	-185
0.000000000001406109375		G7	-187
0.00000000000105466796875		G7	-189
0.0000000000007909328125		F#7	-191
0.0000000000005932009375		F#7	-193
0.000000000000444965625		F7	-195
0.0000000000003337246875		F7	-197
0.00000000000025001953125		E7	-199
0.0000000000001875146484375		E7	-201
0.0000000000001406109375		D#7	-203
0.000000000000105466796875		D#7	-205
0.00000000000007909328125		D7	-207
0.00000000000005932009375		D7	-209
0.0000000000000444965625		C#7	-211
0.00000000000003337246875		C#7	-213
0.000000000000025001953125		C7	-215
0.00000000000001875146484375		C7	-217
0.00000000000001406109375		B7	-219
0.0000000000000105466796875		B7	-221

- Παράδειγμα 1
 - Έστω η νότα D (146.84Hz)
 - Η αμέσως επόμενη F θα είναι
 - $146.84 * 2^{3/12} = 174.62$ (Hz)
- Παράδειγμα 2
 - Έστω μία νότα συχνότητας F1
 - Η οκτάβα της θα είναι (N=12)
 - $F2 = F1 * 2^{N/12} = 2 * F1$

«Μουσικές Συχνότητες» (συν.)



Παράδειγμα: νότες πιάνου

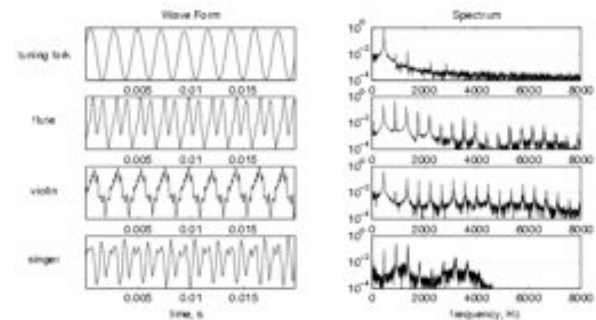


A3 (low A)

A4 (middle A)

A5 (high A)

Παράδειγμα: η νότα A4



Διαπασών

Φλάουτο

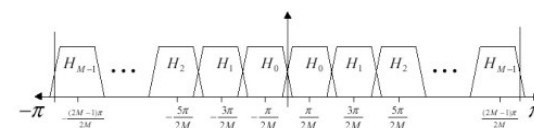
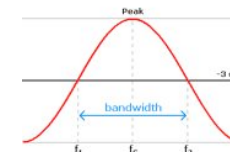
Βιολί

Τραγουδιστής

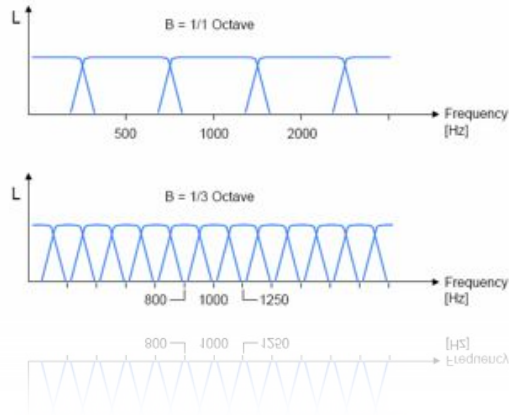
Συστήματα Φασματικής Ανάλυσης

Φασματικοί αναλυτές

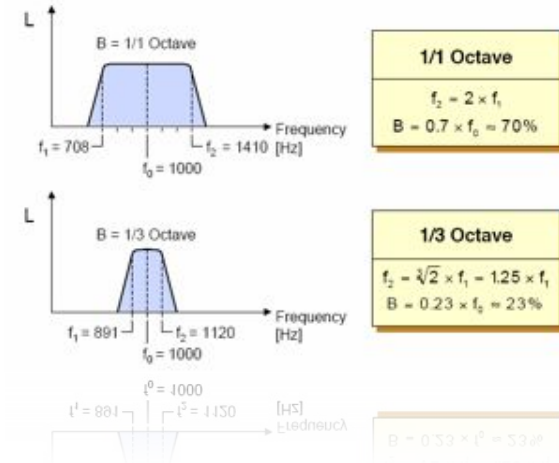
- Υλοποίηση σε
 - Υλικό
 - Λογισμικό
- Χρήση τράπεζας φίλτρων
- Υλοποίηση σε πραγματικό χρόνο
 - Γρήγορος μετασχηματισμός Fourier του σήματος εισόδου
 - Επιλογή κατάλληλου παραθύρου



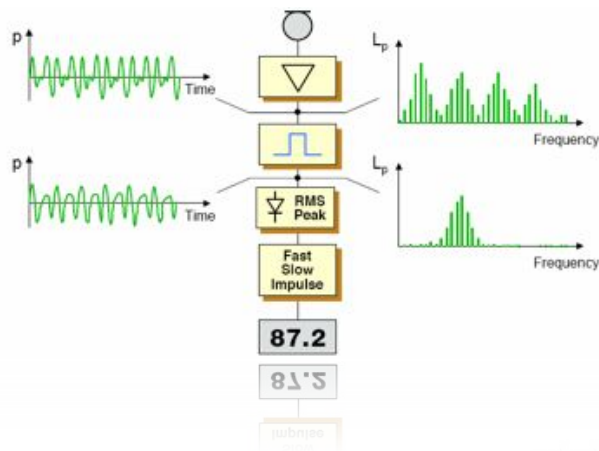
Χρήση τράπεζας φίλτρων



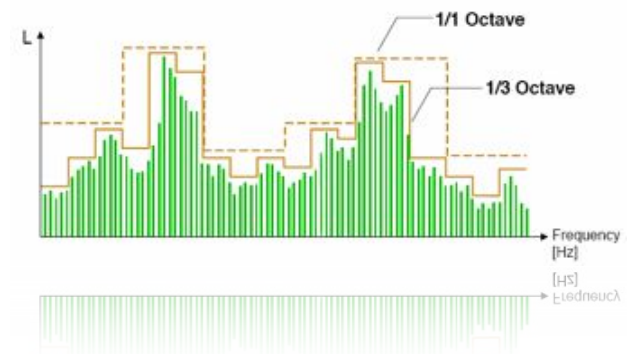
Χρήση τράπεζας φίλτρων (συν.)



Χρήση τράπεζας φίλτρων (συν.)



Φασματική ανάλυση

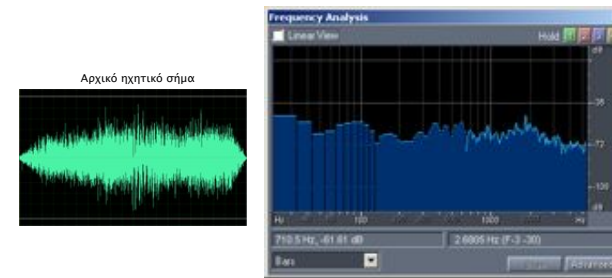


Συχνότητες φασματικής ανάλυσης

Όρεσά άγπί οδ 1 ι εούάά, ός-ι ύοςόδ (Hz)
8, 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000

Όρεσά άγπί οδ 1/3 ι εούάά, ός-ι ύοςόδ (Hz)
6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000

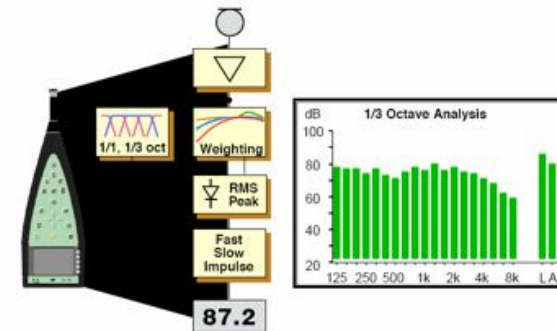
Φασματικός αναλυτής σε λογισμικό



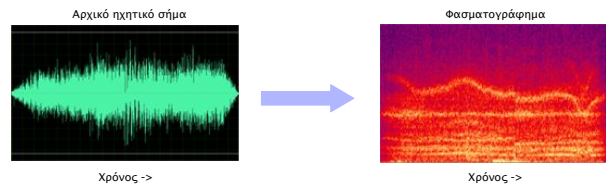
Φασματικός αναλυτής σε υλικό



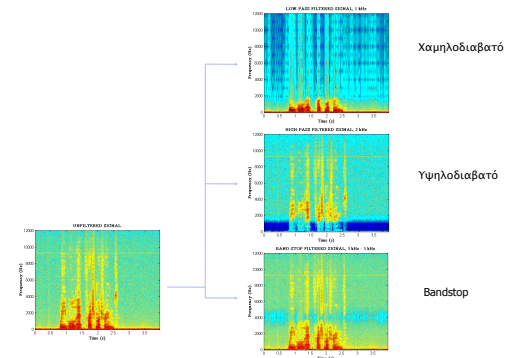
Φορητός φασματικός αναλυτής



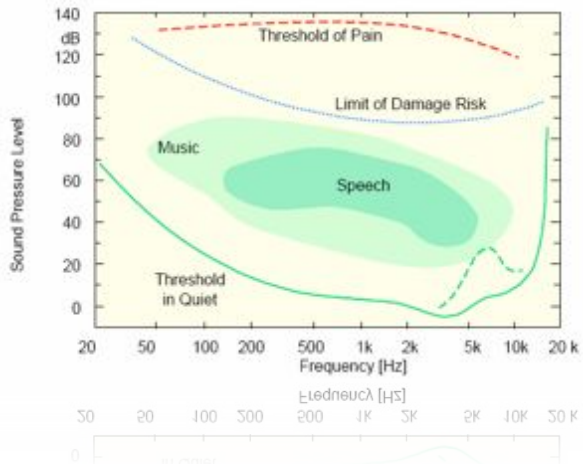
Φασματογράφημα (spectrogram)

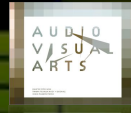


Κατηγορίες φίλτρων ηχητικών σημάτων



Συνοψίζοντας...





Ανδρέας Φλώρος

floros@ionio.gr

<http://www.ionio.gr/~floros>