

MAC 0337 – Computação Musical

Composição Algorítmica:

Histórico, exemplos e pesquisas recentes

Alexandre L. J. H. Albano

06/11/2007

Resumo

- Definição breve: o que é composição algorítmica?
- Histórico
- Exemplos recentes
 - Sumário do ferramental mais usado
 - Exemplo de composição algorítmica evolutiva: *Vox Populi*

Composição algorítmica: é a criação de música com auxílio de um algoritmo.



Aqui, usamos a palavra algoritmo em um sentido amplo: qualquer conjunto de instruções que admita a noção de entrada e saída, e que possa ser executado em um número finito de “passos”.

Breve Histórico (1/2)

- 1757:** Johann Kirnberger, pupilo de Bach, publica “*Der allezeit fertige Polonaisen und Menuetten Komponist*”, livro que ensina o leitor a compor *Polonaises* e minuetos sem precisar de expertise.
- 1793:** É publicado, *post mortem*, o “Musikalisches Würfelspiel” (jogo de dados), com autoria atribuída a Wolfgang Amadeus Mozart.
- 1840:** Ada Lovelace propõe a Charles Babbage utilizar sua máquina analítica para criar música.
- ~1920:** Arnold Schönberg cria o serialismo dodecafônico: composição feita a partir da repetição de um elemento atômico que sofre transformações bem definidas.
- ~1945:** Messiaen, Boulez e outros, estendem a técnica de Schönberg para outros parâmetros musicais, como duração e dinâmica.
- 1951:** John Cage utiliza-se do I Ching para tomar decisões composicionais, como qual nota usar e quando incluí-la na composição.

Breve Histórico (2/2)

1957: Lejaren Hiller e Leonard Isaacson criaram a que é considerada a primeira composição automaticamente gerada por computador : “The Illiac Suite for String Quartet”, utilizando cadeias de Markov e outros artifícios.

1957: Boulez cunha o termo “acaso controlado”, e a emprega na criação de sua “*Third Piano Sonata*”, delegando ao executor da composição a escolha de alguns elementos a partir de conjuntos (não muito grandes) de possibilidades.

1969: John Cage e Lejaren Hiller criam o *HPSCHD*, obra multimídia composta em função de números pseudo-aleatórios gerados por um computador.

1970: Stockhausen cria o “formula composition”, técnica derivada do serialismo dodecafônico de Schönberg.

Histórico: *Musikalisches Würfelspiel*

Dice 1	Dice 2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	x										
1	2		x									
1	3			x								
1	4				x							
1	5					x						
1	6						x					
2	1		x									
2	2			x								
2	3				x							
2	4					x						
2	5						x					
2	6							x				
3	1			x								
3	2				x							
3	3					x						
3	4						x					
3	5							x				
3	6								x			

4	1				x							
4	2					x						
4	3						x					
4	4							x				
4	5								x			
4	6									x		
5	1					x						
5	2						x					
5	3							x				
5	4								x			
5	5									x		
5	6										x	
6	1						x					
6	2							x				
6	3								x			
6	4									x		
6	5										x	
6	6											x
	Total:	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1

Histórico: *Musikalisches Würfelspiel*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	96	22	141	41	105	122	11	30	70	121	26	9	112	49	109	14
3	32	6	128	63	146	46	134	81	117	39	126	56	174	18	116	83
4	69	95	158	13	153	55	110	24	66	139	15	132	73	58	145	79
5	40	17	113	85	161	2	159	100	90	176	7	34	67	160	52	170
6	148	74	163	45	80	97	36	107	25	143	64	125	76	136	1	93
7	104	157	27	167	154	68	118	91	138	71	150	29	101	162	23	151
8	152	60	171	53	99	133	21	127	16	155	57	175	43	168	89	172
9	119	84	114	50	140	86	169	94	120	88	48	166	51	115	72	111
10	98	142	42	156	75	129	62	123	65	77	19	82	137	38	149	8
11	3	87	165	61	135	47	147	33	102	4	31	164	144	59	173	78
12	54	130	10	103	28	37	106	5	35	20	108	92	12	124	44	131

Histórico: *Musikalisches Würfelspiel*

Muitos outros compositores criaram sistemas tabulares de composição, por exemplo: Kirnberger, Stadler, de la Chevardiere, Hadyn, Graf, Fiedler, Fischer, Catrofo e Calegari.

Alguns desses sistemas eram impressos em livros, prometendo ao leitor a autoria de composições primorosas, mesmo sem a formação (e/ou genialidade) musical.

Histórico: Schönberg e o Serialismo dodecafônico

Nascido em Viena, Schönberg foi compositor, pintor e teórico de música. Para ele, o desenvolvimento musical obtido pelos trabalhos de Wagner, Strauss e Mahler indicavam sinais de saturação composicional.

Segundo sua visão, era preciso portanto haver uma renovação na linguagem musical.

Schönberg é o inventor do serialismo dodecafônico, técnica de composição que assegura igualdade no número de ocorrências de cada uma das doze notas da escala temperada.



**Arnold Schönberg
(1874-1951)**

Histórico: O Serialismo dodecafônico

A composição serial começa definindo uma “base” chamada *prime series*.

Uma *prime series* é uma permutação das doze notas da escala temperada. Obviamente, em uma *prime series* cada nota ocorre exatamente uma vez.

Naturalmente, existem então $12! \approx 4,7 * 10^8$ *prime series* possíveis.



Exemplo de prime series: B, Bb, G, C#, Eb, C, D, A, F#, E, Ab, F

Histórico: O Serialismo dodecafônico

A composição serial será, então, uma repetição de um número arbitrário de uma *prime series* fixada. É de se esperar que, permitir somente isso nos traria apenas composições entediadas.

Portanto, permite-se também aplicar uma ou mais das seguintes transformações em cada repetição de uma *prime series*:

- Transposição (aumentar ou diminuir igualmente a altura de cada nota)
- Retroagir (reversão temporal)
- Inverter (reversão de alturas)

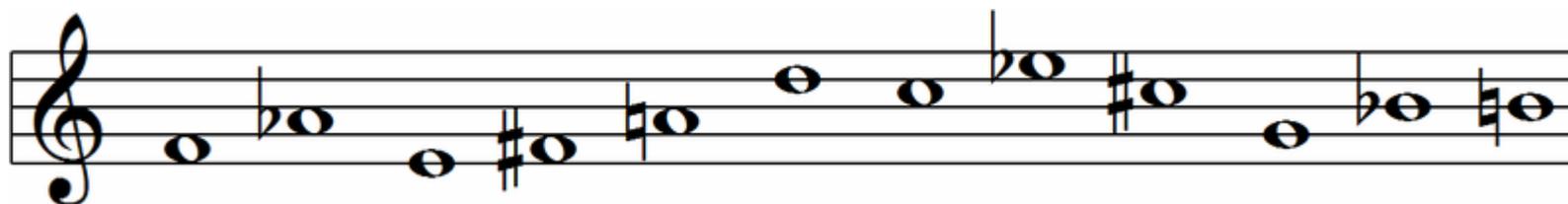
Histórico: O Serialismo dodecafônico

Exemplo: Considere novamente a *prime series*:



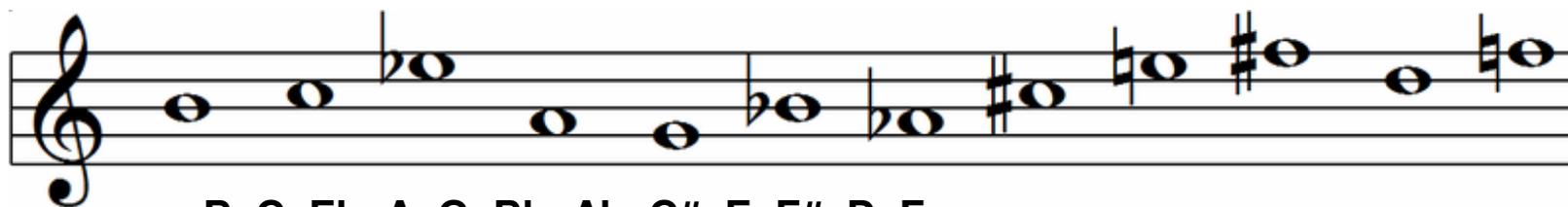
B, Bb, G, C#, Eb, C, D, A, F#, E, Ab, F

Sua retrógrada é:



F, Ab, E, F#, A, D, C, Eb, C#, G, Bb, B

E sua inversa é:



B, C, Eb, A, G, Bb, Ab, C#, E, F#, D, F

Histórico: John Cage

O americano John Cage é considerado um dos compositores mais importantes de seu tempo, apesar de controverso.

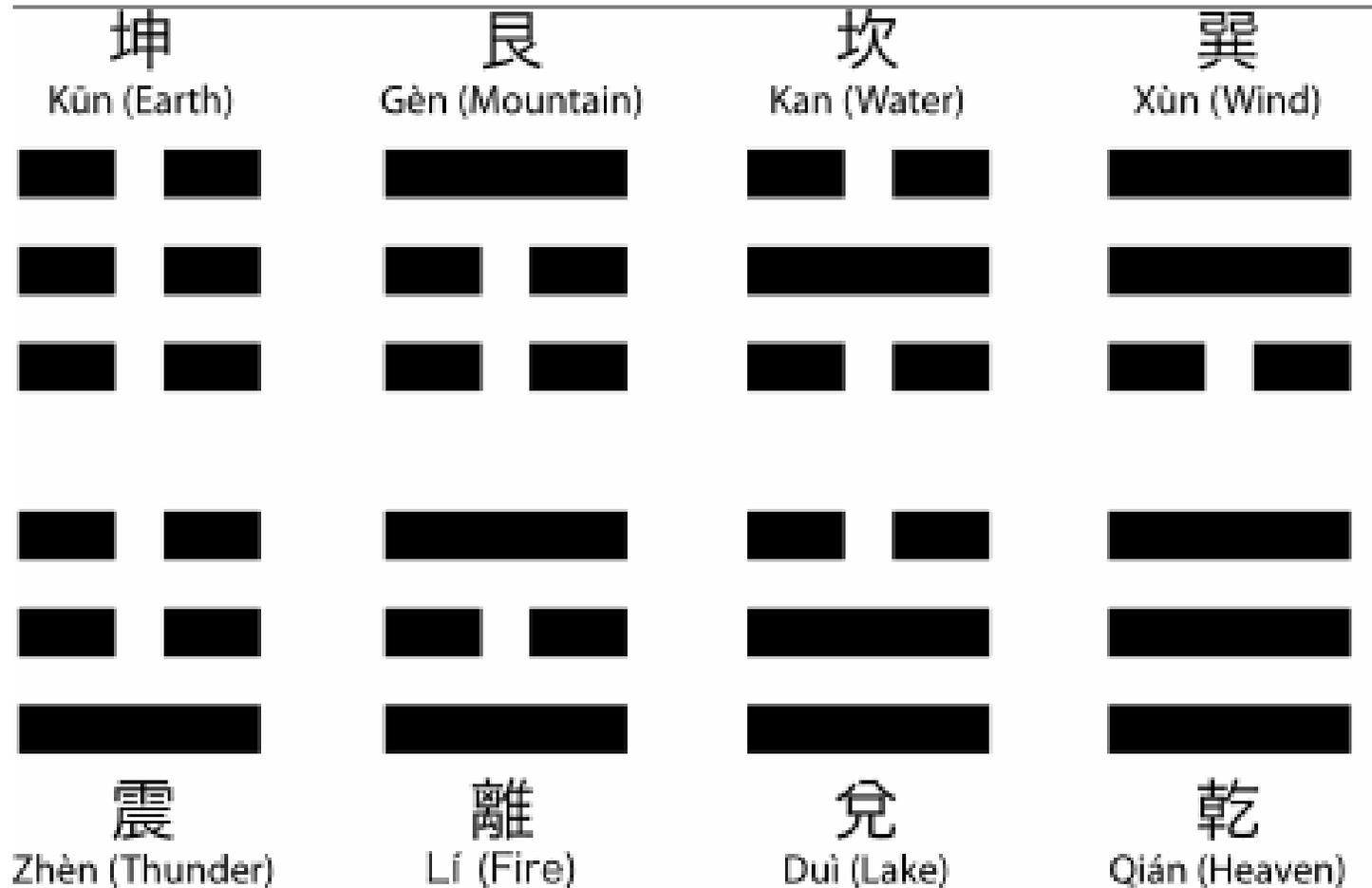
Em 1951, cria “Music of Changes”, composição criada com auxílio do *I-Ching*. As decisões tomadas em função do *I-Ching* eram pertinentes ao *tempo*, dinâmica e durações de silêncio e notas.

Apesar de haver aleatoriedade na composição, essa obra não continha aleatoriedade na execução. Mais tarde, Cage explorou aleatoriedade também na execução de obras.



**John Cage
(1912-1992)**

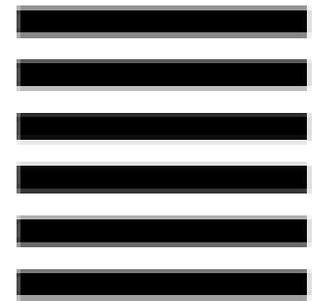
Histórico: John Cage



Os oito triagramas do I-Ching: ao combiná-los dois a dois obtemos 64 hexagramas possíveis.

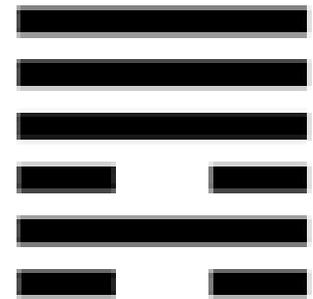
Histórico: John Cage

O Hexagrama à direita significa “força” (qián), e é composto por dois triagramas (iguais) chamados “céu”. Outros significados para este hexagrama: “Deus”, “Ação incisiva”.



Força

Este hexagrama significa “conflito”, é formado pelos triagramas “água” e “céu”.



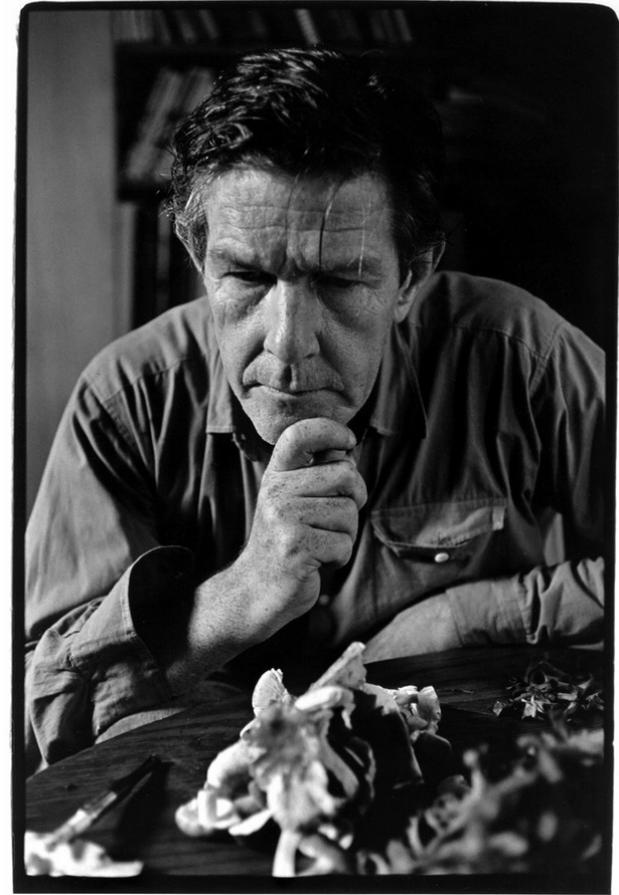
Conflito

Histórico: John Cage

Ainda em 1951, o compositor americano compõe *Imaginary Landscape No. 4*, utilizando basicamente o mesmo processo composicional de *Music of Changes*.

Havia, no entanto, uma inovação expressiva: a obra foi composta para 24 intérpretes que utilizam 12 rádios; para cada rádio, um intérprete controla o volume e outro controla a frequência sintonizada.

Desta maneira, havia aleatoriedade na execução da obra (pois não podemos prever o que as radiodifusoras estarão transmitindo). Esta característica não estava presente em *Music of Changes*.



Histórico: Hiller, Isaacson e *Illiatic Suite*

Em 1957, Lejaren Hiller e Leonard Isaacson utilizaram o computador *Illiatic I* para gerar uma composição para quatro instrumentos de corda.

Também era quatro o número de movimentos que compunham o *Illiatic Suite*:

No primeiro movimento, notas eram escolhidas de acordo com uma distribuição uniforme de probabilidade e era forçada a presença de contraponto simples: se uma nota pseudo-aleatoriamente escolhida violasse alguma regra de contraponto, essa nota era descartada e a geração da nota era repetida (técnica *generate and test*).

O segundo movimento contava, a princípio, com notas aleatórias que ao longo do tempo começavam a sofrer restrições, resultando em conformidade com regras de contraponto ao final do movimento.



**Lejaren Hiller
(1924-1994)**

Histórico: Hiller, Isaacson e *Illiac Suite*

O terceiro movimento inicialmente contava com notas iguais para cada instrumento; e logo dava-se lugar a notas aleatoriamente escolhidas: primeiramente usando regras composicionais clássicas pré-estabelecidas (escalas?) e depois usando regras do serialismo.

O quarto movimento foi gerado de acordo com uma cadeia de Markov que determinava a próxima nota a ser tocada, em função de uma ou mais notas anteriores.

Histórico: O HPSCHD

Em 1969, John Cage e Lejaren Hiller criaram uma composição multimídia chamada HPSCHD.

As decisões composicionais eram parecidas com “*Music of Change*” de John Cage, mas desta vez foi usado um computador da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, que cuidava de gerar os inteiros pseudo-aleatórios necessários para a composição.

Uma outra diferença neste projeto é o caráter multimídia: Além de 7 cravos que executam trechos de Mozart aleatoriamente concatenados, projetores de filmes e de slides mostram cenas de viagens espaciais e ficções científicas.

A execução dessa obra dura quatro horas e meia.



John Cage (esq) e Lejaren Hiller

Pesquisas recentes

Recentemente, ferramentas matemáticas muito utilizadas são:

- Gramáticas formais (o usuário pode definir a macroestrutura das composições: exposição, desenvolvimento, transição, ...). Utilizado, por exemplo, no Bol Processor.
- Processos iterativos (em particular, sistemas caóticos e fractais). Utilizado, por exemplo, no Fractmus.
- Autômatos celulares (CAMUS)
- Algoritmos genéticos (Vox Populi, Harmony Seeker)
- Redes Neurais
- Algoritmos probabilísticos (CAMUS*)

Pesquisas recentes: fractais

The screenshot shows the FractMus 2000 software interface. The main window is titled "Untitled - FractMus 2000" and has a menu bar with "File", "Playback Controls", "Algorithms", "Options", "View", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations, playback, and settings.

The main area contains a table with 16 rows, each representing a voice. The columns are: Voices, Offset, Modulate, Octaves, Note, Scale, Note value, and Extra. The "Modulate" column has a "Yes" checkbox. The "Octaves" column has a dropdown menu. The "Note" column has a dropdown menu. The "Scale" column has a dropdown menu. The "Note value" column has a dropdown menu. The "Extra" column has a "Set" button.

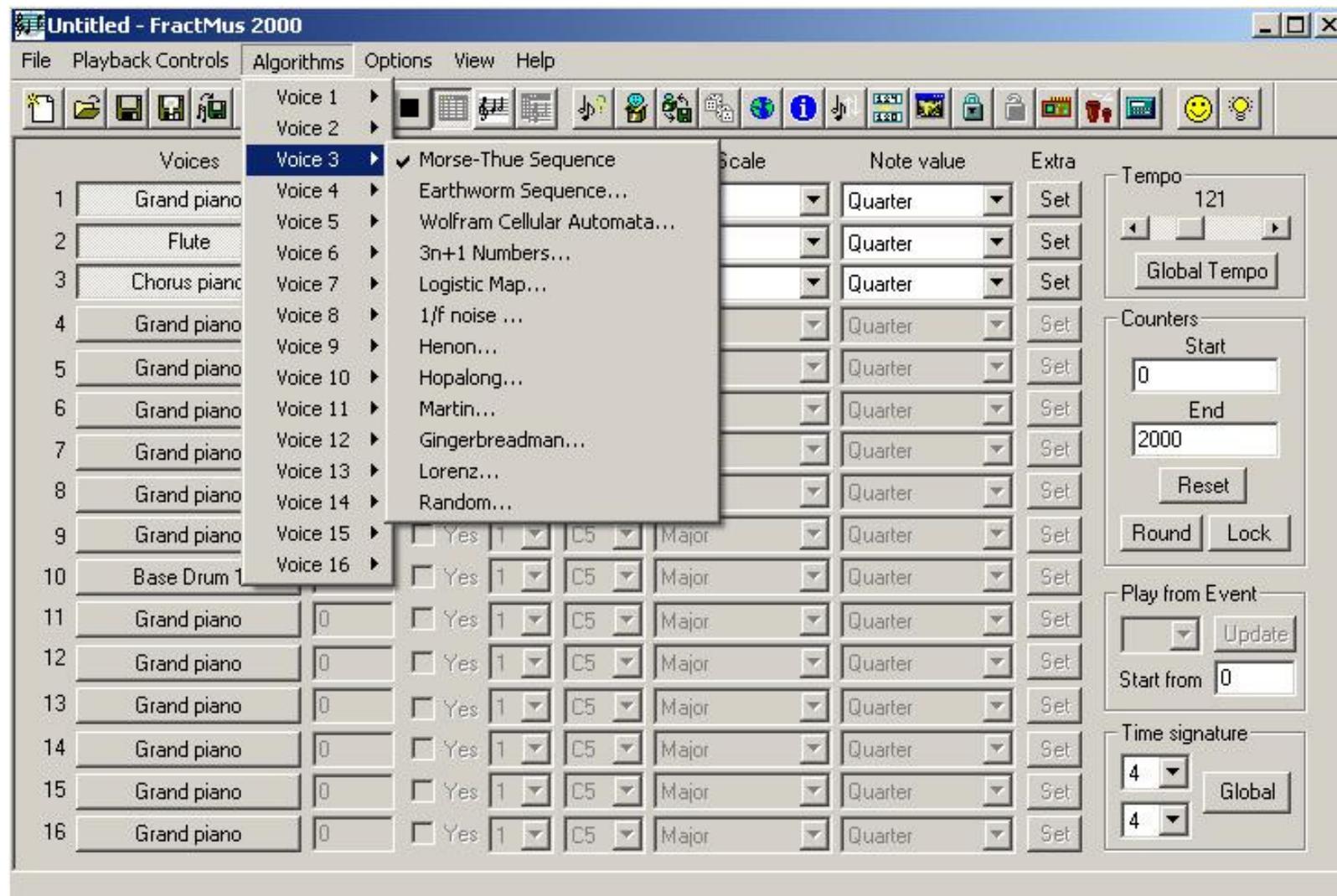
Voices	Offset	Modulate	Octaves	Note	Scale	Note value	Extra
1 Grand piano	1000	<input type="checkbox"/> Yes	1	C4	Major	Quarter	Set
2 Flute	5000	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
3 Chorus piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
4 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
5 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
6 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
7 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
8 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
9 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
10 Base Drum 1	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
11 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
12 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
13 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
14 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
15 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set
16 Grand piano	0	<input type="checkbox"/> Yes	1	C5	Major	Quarter	Set

On the right side of the interface, there are several control panels:

- Tempo:** A slider set to 121, with a "Global Tempo" button below it.
- Counters:** Two input fields for "Start" (0) and "End" (2000), with "Reset", "Round", and "Lock" buttons.
- Play from Event:** A dropdown menu and an "Update" button, with a "Start from" input field set to 0.
- Time signature:** Two dropdown menus set to 4, with a "Global" button.

At the bottom left, there is a text label: "For Help, press F1".

Pesquisas recentes: fractais

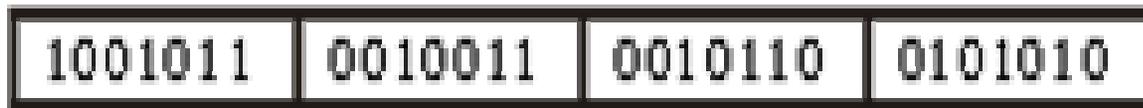


Pesquisas recentes: *Vox Populi*

Criado, em 1998-1999, por Artemis Moroni, Jônatas Manzolli, Fernando Von Zuben e Ricardo Gudwin (pesquisadores, quase todos da UNICAMP), o *Vox Populi* é intitulado um “sistema composicional evolutivo”.

Acordes de quatro notas são os indivíduos da população. Equivalentemente, usando o jargão dos algoritmos genéticos, temos:

- Um genótipo é um bloco de quatro palavras de 7 bits:



- Seu fenótipo associado é um acorde de 4 notas MIDI.

Pesquisas recentes: *Vox Populi*

- Uma população é um conjunto de 30 acordes.

A população inicial é formada por 30 acordes pseudo-aleatoriamente gerados (provavelmente segundo a distribuição uniforme de probabilidade).

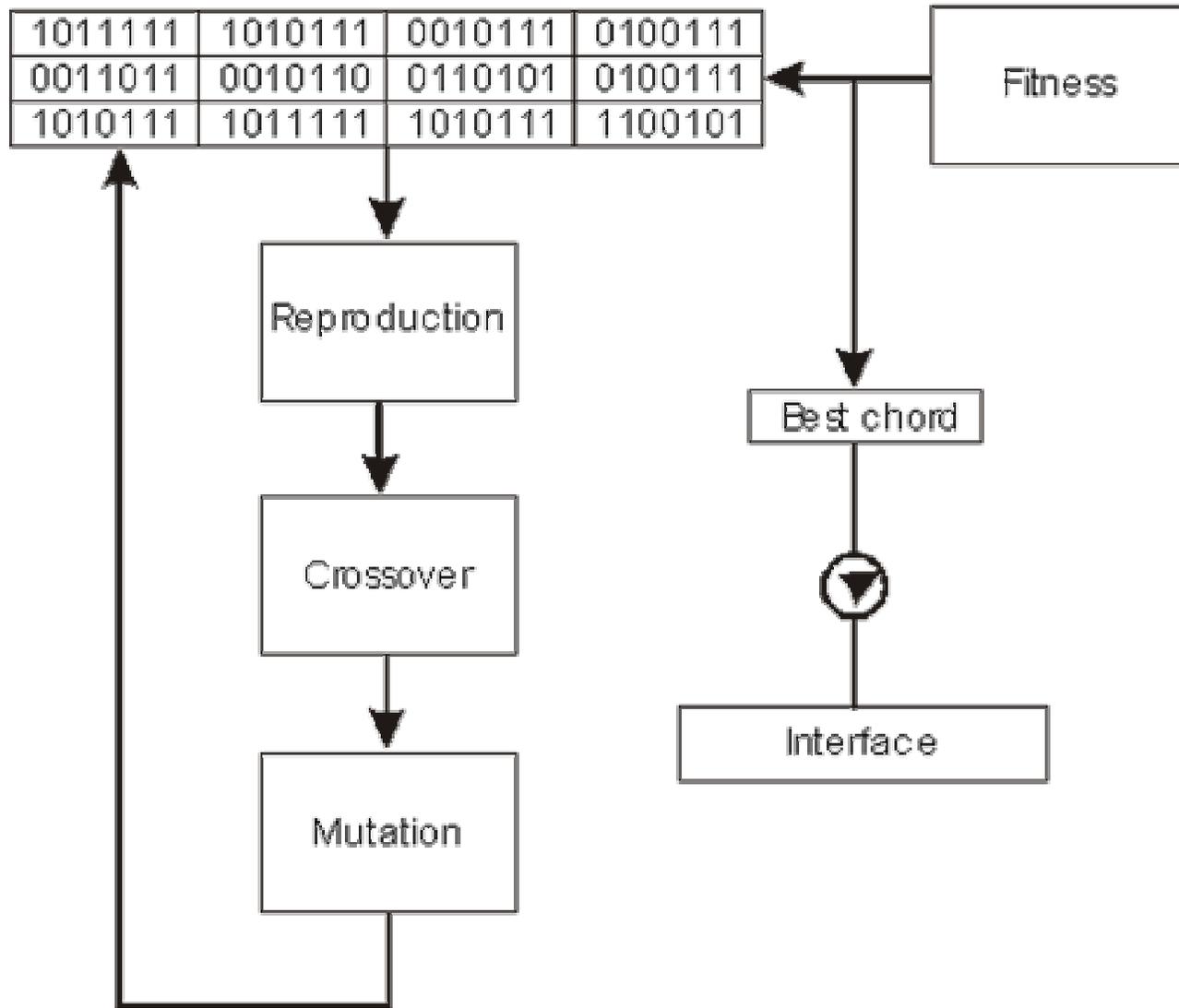
Um processo reprodutivo é responsável por transformar a população em função do tempo, mas preservando seu tamanho (de 30 acordes).

Pesquisas recentes: *Vox Populi*

Podemos sumarizar o funcionamento do programa:

1. Crie uma população randomicamente.
2. Enquanto o usuário não clica em “stop”, faça:
3. Avalie o *fitness* de todos os indivíduos da população.
4. Aplique os operadores genéticos em cada indivíduo da população, levando em conta o *fitness* de cada indivíduo, ou seja:
5. *Reproduza*: copie um genótipo para a nova população.
6. *Faça crossover*: troque dois pedaços entre dois genótipos, o genótipo resultante dessa troca irá para a nova população.
7. *Faça mutação*: troque um ou mais bits de um genótipo e leve esse genótipo modificado para a nova população.
8. Volte ao passo 2.

Pesquisas recentes: *Vox Populi*



Representação gráfica do funcionamento do *Vox Populi*

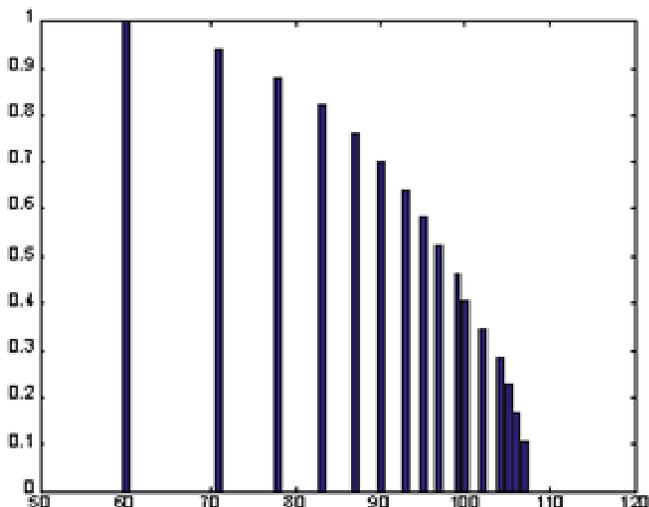
Pesquisas recentes: *Vox Populi*

O cálculo do *fitness* envolve três parcelas:

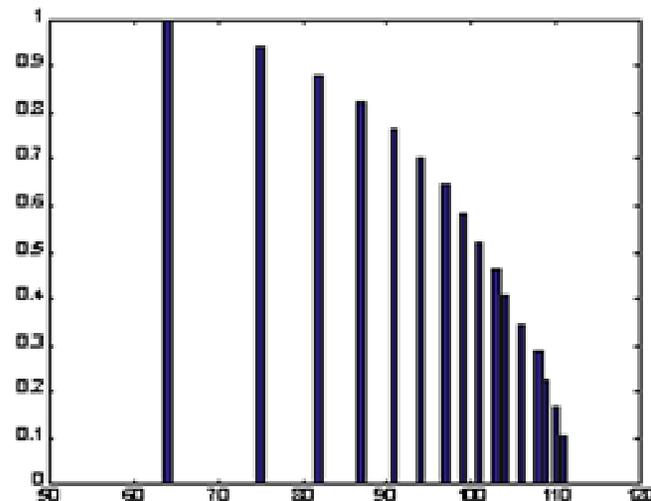
Fitness musical = Fitness melódico + Fitness harmônico + Fitness vocal.

Para o *Vox Populi*, o *Fitness* harmônico de duas notas é proporcional à intersecção dos espectros dessas duas notas.

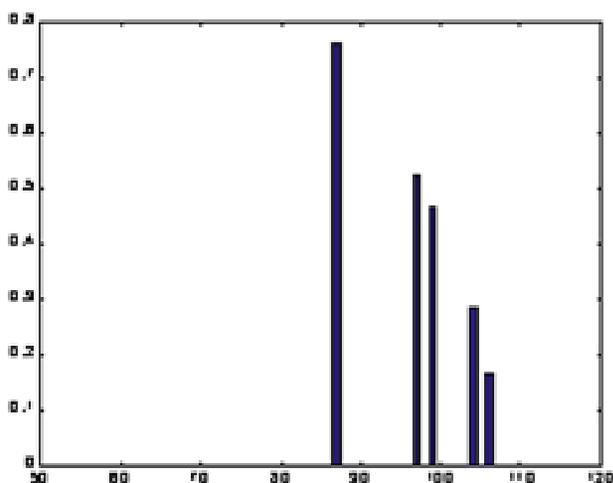
Pesquisas recentes: *Vox Populi*



Espectro do dó (piano)



Espectro do mi (piano)



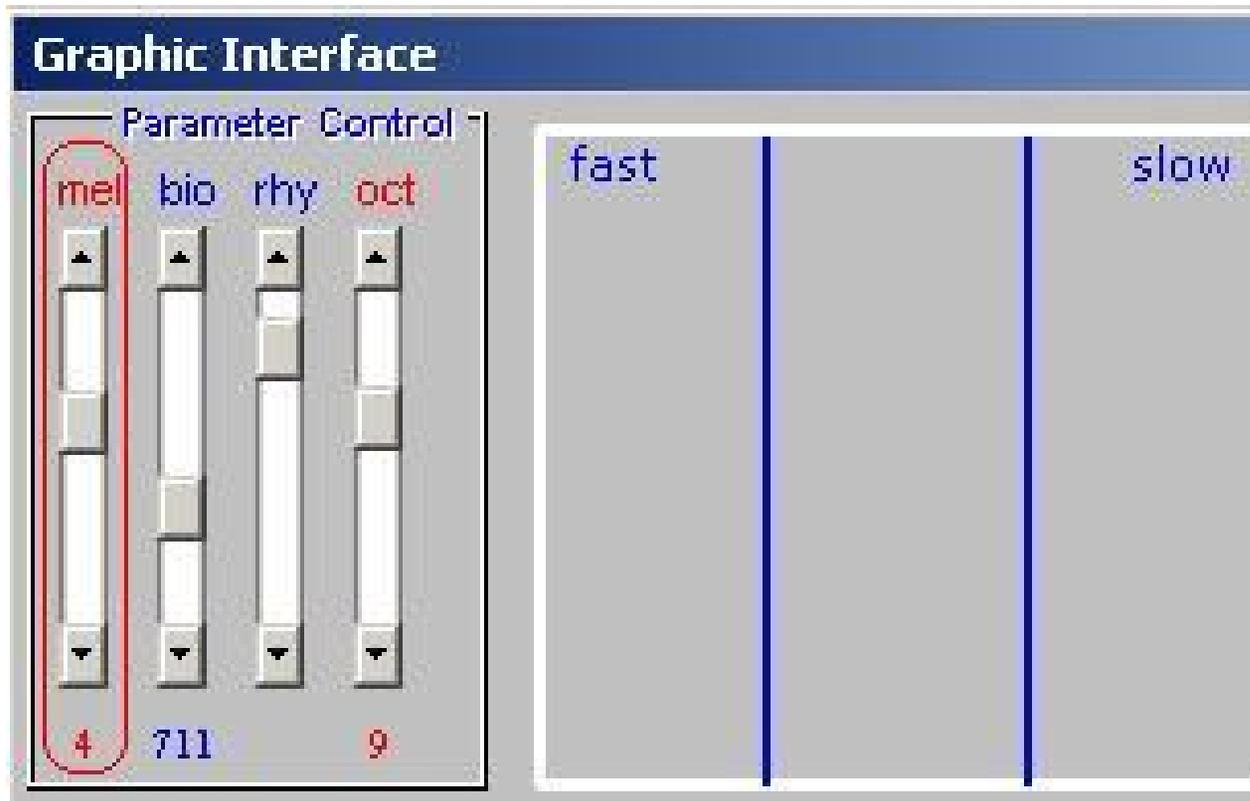
Intersecção dos espectros

Sobre a intersecção dos espectros é aplicada uma valoração *fuzzy* que retorna um número real no intervalo $[0,1]$ representando o *fitness* harmônico.

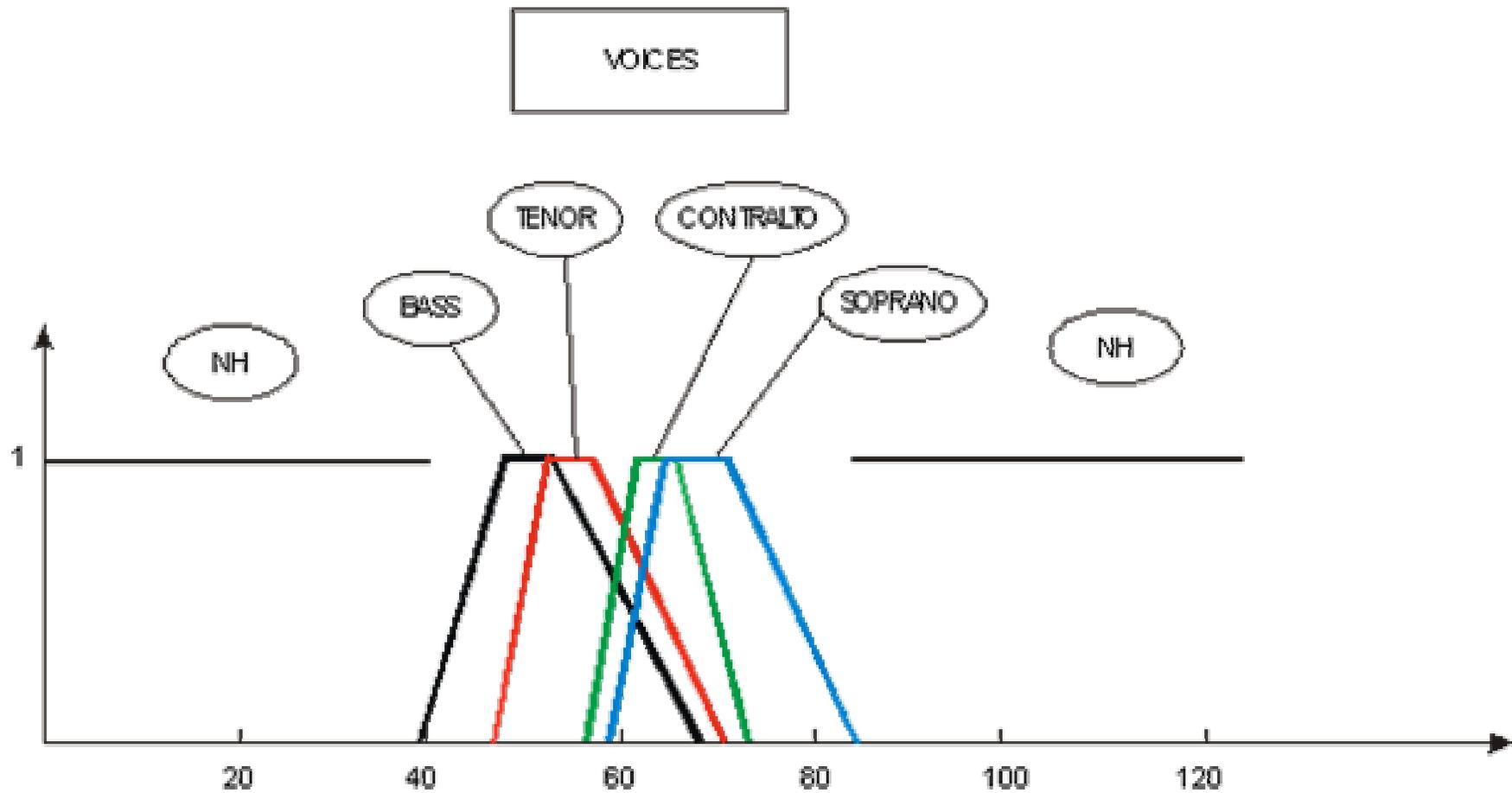
Zero indica intersecção vazia, e um indica igualdade dos dois espectros.

Pesquisas recentes: *Vox Populi*

O *fitness* melódico de um acorde é calculado considerando-se a distância de cada nota do acorde ao centro tonal (parâmetro fornecido pelo usuário).



Pesquisas recentes: *Vox Populi*



Cálculo do *fitness* vocal

Bibliografia

Composing music with computers - Eduardo Reck Miranda, Focal press

Links relacionados

<http://en.wikipedia.org/wiki/Serialism>

<http://www.sciencenews.org/articles/20010901/mathtrek.asp>

<http://www.britannica.com/eb/art-72218/>

John-Cage-in-performance-on-January-1-1961-seated-at

<http://www.emfinstitute.emf.org/exhibits/hpschd.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/I_Ching_hexagram_01

http://www.music.psu.edu/Faculty%20Pages/Ballora/INART55/illiac_suite.html

Links relacionados

http://muse.jhu.edu/demo/leonardo_music_journal/v010/10.1moroni.html

<http://www.myatari.net/issues/jul2002/camus.htm>