

Mohou počítače komponovat hudbu ?

Martin Dostál
katedra informatiky, Univerzita Palackého v Olomouci
<http://dostal.inf.upol.cz>

6.5. 2011

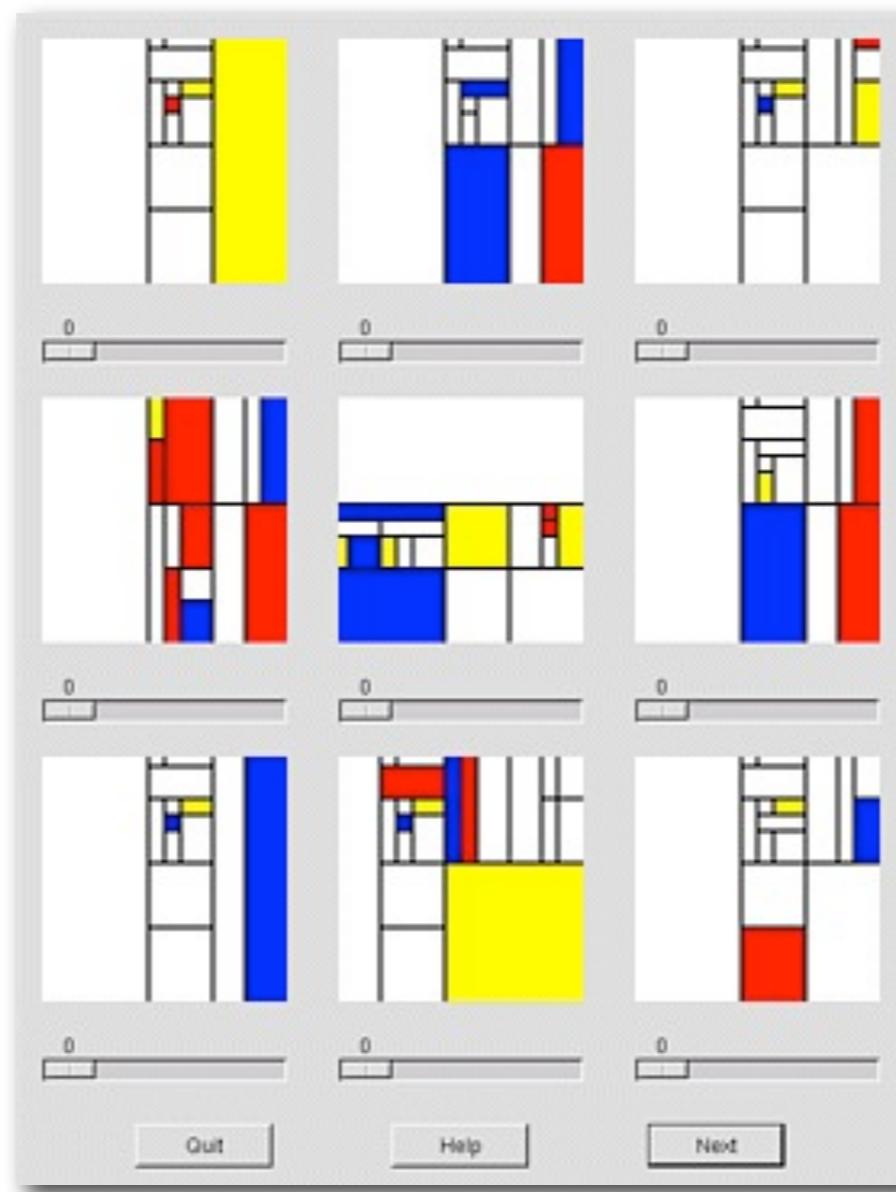
Přednáška

- co je „generative art“, „evolutionary art“
- umění, kreativita, invence ?
- co lze a jak
- Úvod do Genetických algoritmů
- GeneticDrummer

Generative Art

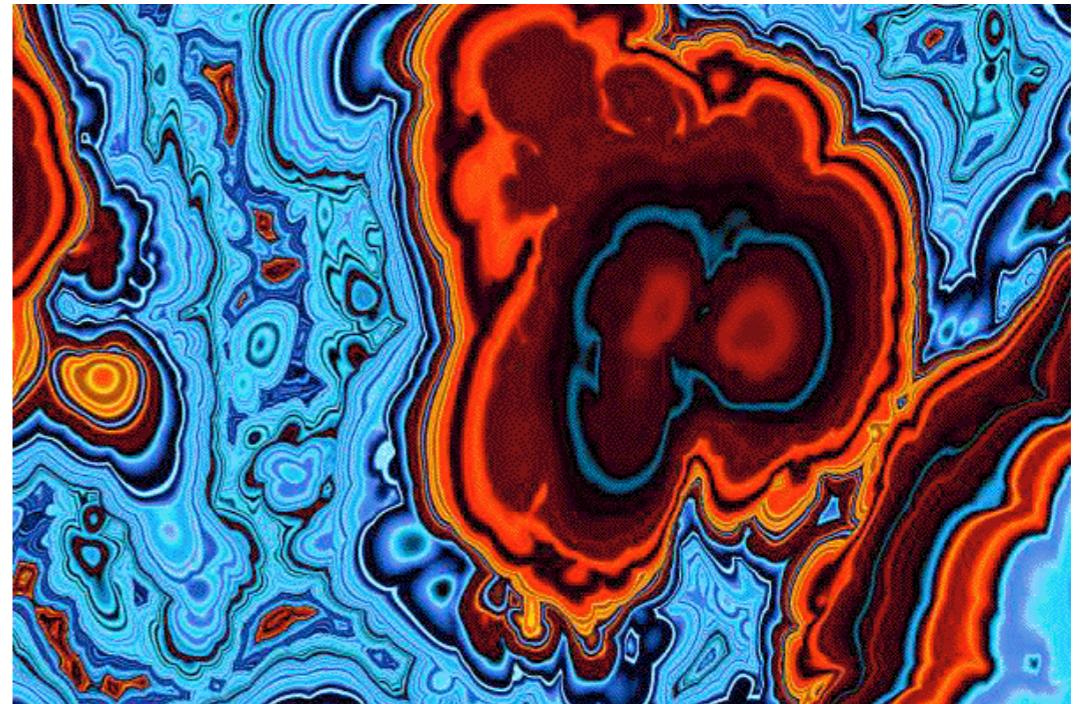
- strojová tvorba
 - hudba (harmonický doprovod, rytmický doprovod, melodie)
 - malba (napodobení výtvarných stylů)
 - dokonce text, ale ...
- používané techniky
 - náhoda
 - prohledávací/optimalizační techniky
 - genetické algoritmy, neuronové sítě
 - pravděpodobnostní modely
 - Markovovy řetězce, formální gramatiky

Mondriaan Evolution



Rooke: Musgrave Agave

- Steeve Rooke
- fraktálové obrázky
- genetický algoritmus



Genetické algoritmy: jemný úvod

Genetické algoritmy

- inspirace Darwinovským pojetím evoluce v živí přírodě
- heuristická prohledávací technika
- hodí se když
 - úloha výpočetně příliš náročná (spokojíme se suboptimálním řešením ale přijatelném čase)
 - úlohu nelze dobře formalizovat
- princip: náhdoně/heuristicky generujeme možná řešení a upřednostňujeme ta kvalitní
- základ: Simple Genetic Algorithm (SGA)

Jedinci a Populace

- genotyp/fenotyp
- chromzóm kóduje tzv. jedince
- pozice jsou tzv. alely
- jedinci tvoří populaci jedinců
- cíl: získávat lepší a lepší populace jedinců
- příklad:
 - kódování čísel
 - cesta v grafu
 - notový zápis
 - obraz
 - rozvrh hodin

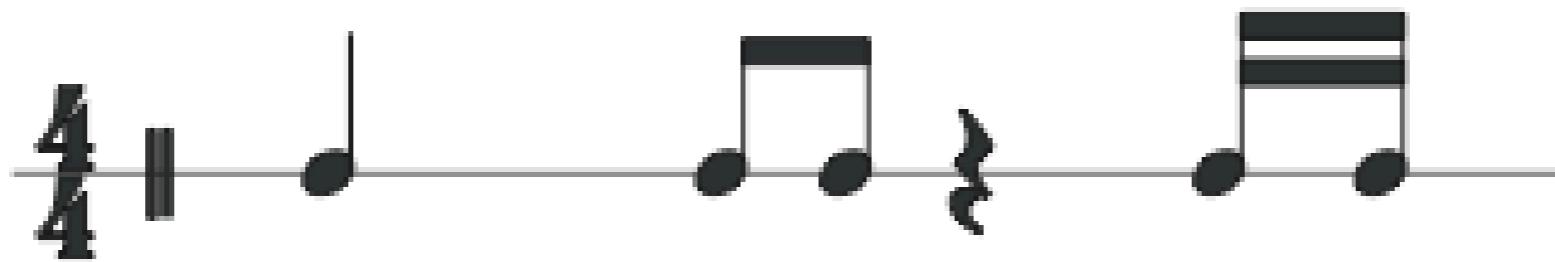
Příklad: binární číslo

SGA

5	4	3	2	1	0
32	16	8	4	2	1
0	1	0	0	0	1

GENOTYP / FENOTYP

Příklad: fráze

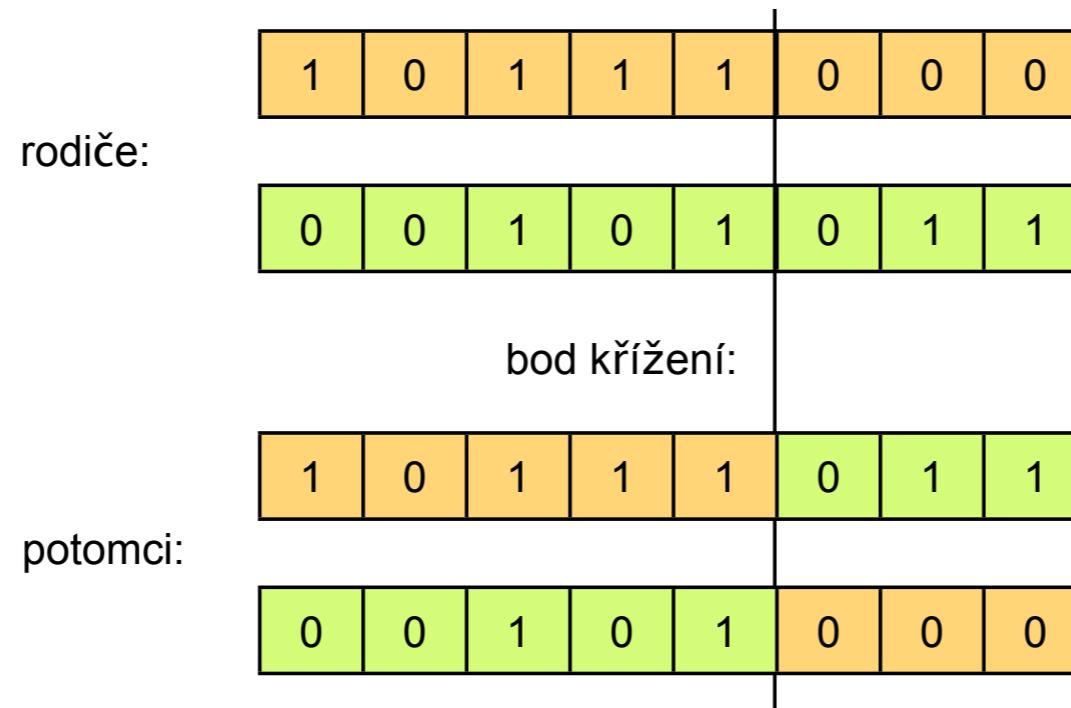


I	0	0	0	I	0	I	0	0	0	0	I	I	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

GENOTYP/FENOTYP

Křížení

- vytváří nové jedince
- kombinuje genetickou informaci
- jedno- (SGA), vícebodové křížení
- výběr pozice



Mutace

- změny v alelách chromozomu
- náhodně/heuristicky
- SGA: mutace bitovou inverzí
- může dodat novou informaci (!)

Původní chromozom:

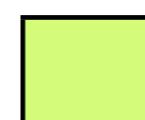
1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Mutovaný chromozom:

0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Test pozitivní (inverze)



Test negativní

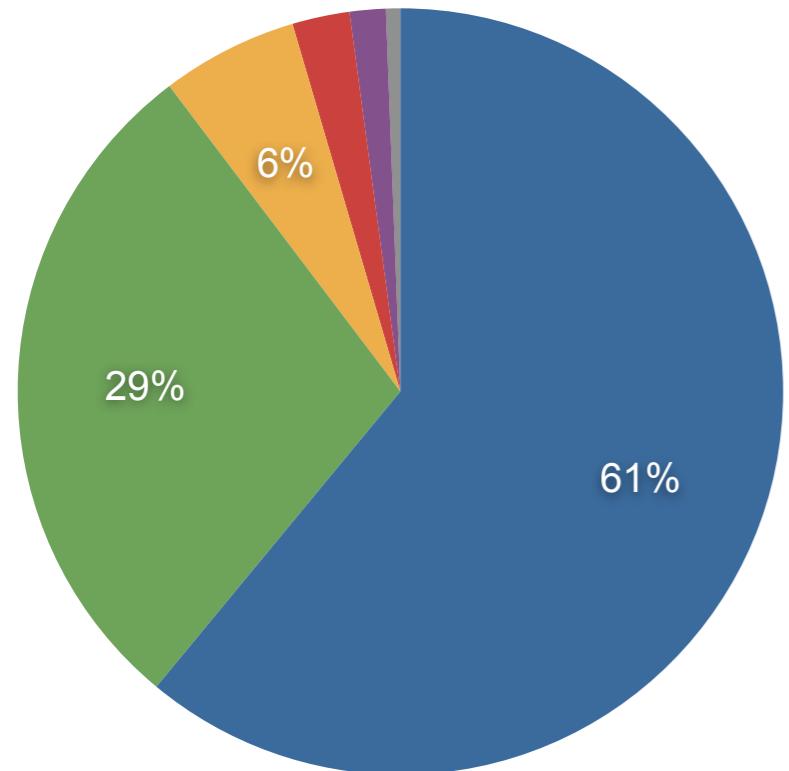
Ohodnocení a selekce

- ohodnocení přiřadí kvalitu (tzv fitness) jedinci
- selekce vybírá jedince do další generace
- princip „survival of the fittest“

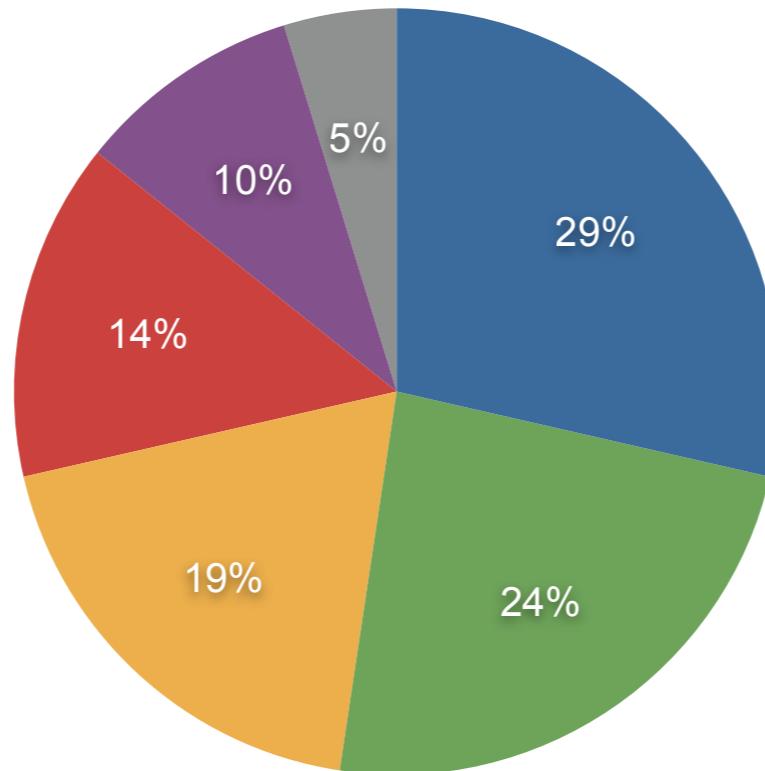
chromozom	fitness
(1 1 0 0 1 0 0 1 0)	402
(0 1 0 1 1 1 1 0 1)	189
(0 0 0 1 0 0 1 1 0)	38
(0 0 0 0 1 0 0 0 0)	16
(0 0 0 0 0 1 0 1 0)	10
(0 0 0 0 0 0 1 0 0)	4

Příklad: selekce

- (1 1 0 0 1 0 0 1 0)
- (0 1 0 1 1 1 1 0 1)
- (0 0 0 1 0 0 1 1 0)
- (0 0 0 0 1 0 0 0 0)
- (0 0 0 0 0 1 0 1 0)
- (0 0 0 0 0 0 1 0 0)



- (1 1 0 0 1 0 0 1 0)
- (0 1 0 1 1 1 1 0 1)
- (0 0 0 1 0 0 1 1 0)
- (0 0 0 0 1 0 0 0 0)
- (0 0 0 0 0 1 0 1 0)
- (0 0 0 0 0 0 1 0 0)



turnaj	vítěz
(1 1 0 0 1 0 0 1 0) fitness: 402	(1 1 0 0 1 0 0 1 0) fitness: 402
(0 1 0 1 1 1 1 0 1) fitness: 189	
(0 0 0 0 0 1 0 1 0) fitness: 10	(0 0 0 1 0 0 1 1 0) fitness: 38
(0 0 0 1 0 0 1 1 0) fitness: 38	
(0 1 0 1 1 1 1 0 1) fitness: 189	(0 1 0 1 1 1 1 0 1) fitness: 189
(0 0 0 0 1 0 0 0 0) fitness: 16	
(0 0 0 0 0 1 0 1 0) fitness: 10	(0 0 0 0 0 1 0 1 0) fitness: 10
(0 0 0 0 0 0 1 0 0) fitness: 4	
(0 0 0 0 0 1 0 1 0) fitness: 10	(0 0 0 1 0 0 1 1 0) fitness: 38
(0 0 0 1 0 0 1 1 0) fitness: 38	
(0 1 0 1 1 1 1 0 1) fitness: 189	(0 1 0 1 1 1 1 0 1) fitness: 189
(0 0 0 0 1 0 0 0 0) fitness: 16	

Ruletové kolo

Pořadová selekce

Turnajová selekce

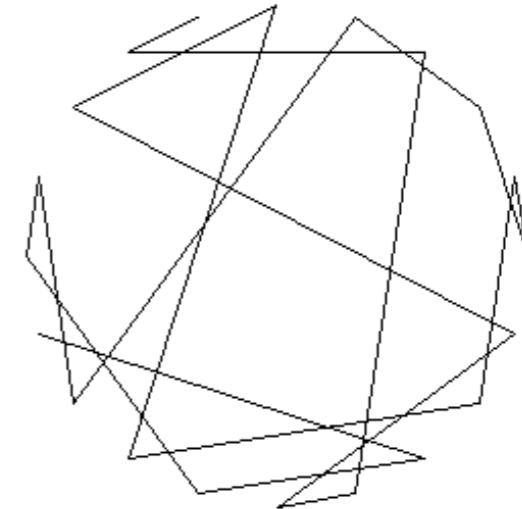
Schéma činnosti SGA

1. Inicializace výchozí populace, $G(t)$, $t=0$
2. Ohodnocení $G(t)$
3. Není-li splněna ukončovací podmínka, pak:
 4. $t=t+1$
 5. Selekce $G(t)$ z $G(t-1)$
 6. Reprodukce
 1. Křížení
 2. Mutace
 7. Ohodnocení $G(t)$
 8. Opakuj od bodu 3

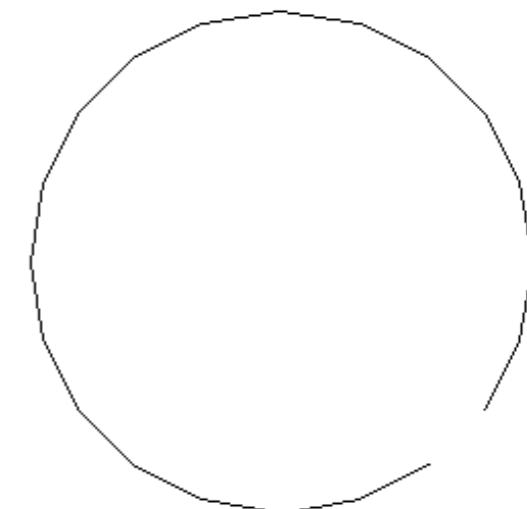
Příklad: TSP

- problém obchodního cestujícího (Travelling Salesman Problem)
- projít všechna města právě jednou s co nejmenšími náklady (např. délka trasu)
- přesné řešení je příliš výpočetné náročné pro věší počet měst, složitost $O(n!)$
- řešení genetickým algoritmem

Target Value: 5.945 Best so far: 20.240
Current generation: 0 Function Calls: 30



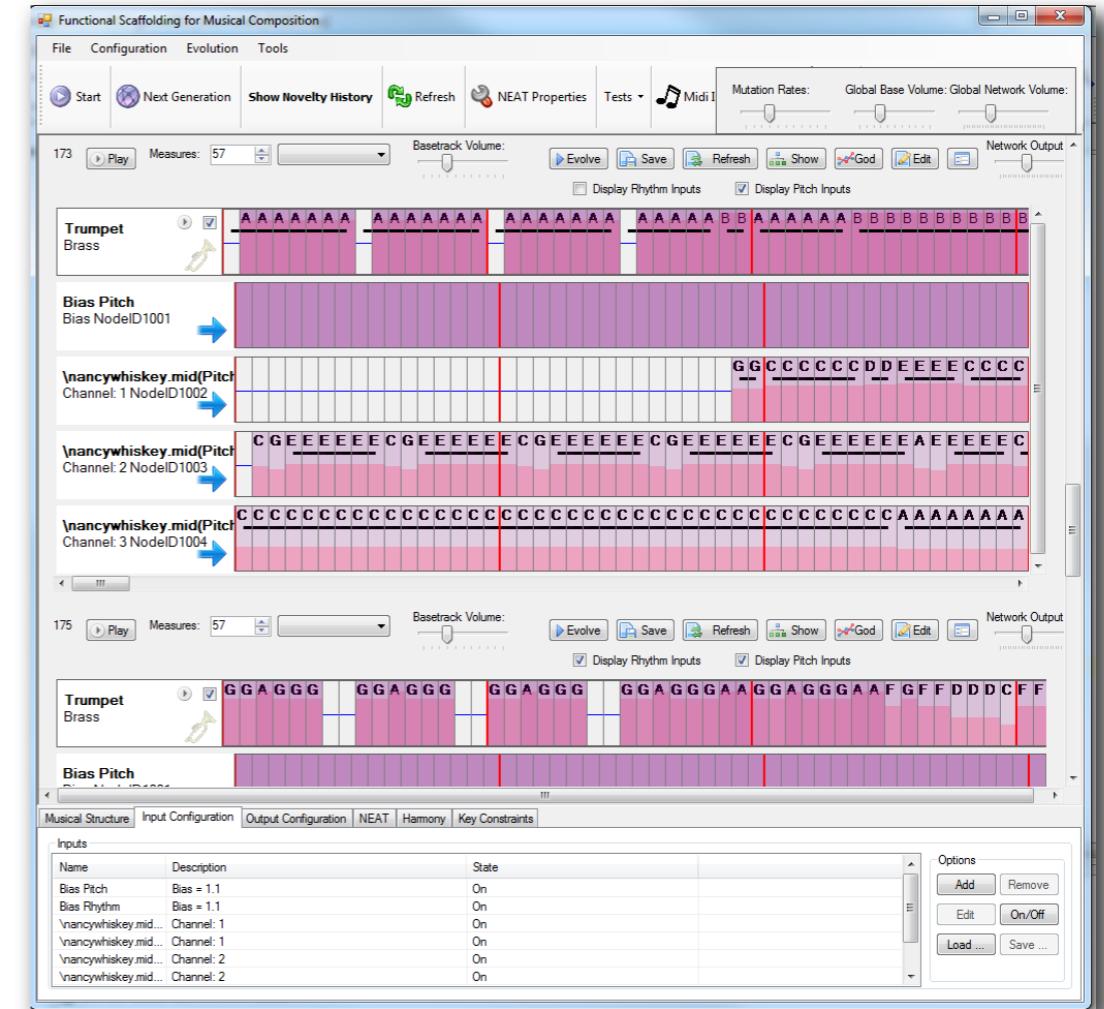
Target Value: 5.945 Best so far: 5.945
Current generation: 139 Function Calls: 4440



Aplikace v generování hudby

Interactive Scaffolding

- Amy Hoover et.al., 2011
- vytváří variace podle frází (Scaffolds)
- genetický algoritmus a umělá neuronová síť
- pitch/rhythm
- interaktivní systém
- MIDI
- příklad: A Bad Girl's Lament



zdroj: Hoover et al.: Interactively Evolving Harmonies through Functional Scaffolding

GenJam

- Al Biles, 1993–dosud
- Hra na trubku
- převod do MIDI převodníkem
- vytváří variace zahráných frází
- hraje s podkladem
- interaktivní genetický algoritmus
- výstup MIDI přes tónový generátor



zdroj: <http://www.ist.rit.edu/~jab/GenJam.html>

GenJam

- „poslouchá“ 4 takty
- převod MIDI/GA/MIDI
- „improvizace“ – počítač odpovídá
- kvantizace na 1/8
- hledání v tabulce
- mutace (otočení, rotace, transpozice, opakování části ...)
- transformační pravidla

chromozóm pro 1. takt b:
9 10 11 12 13 11 10 9

a) člověk:



b) transformovaná fráze:



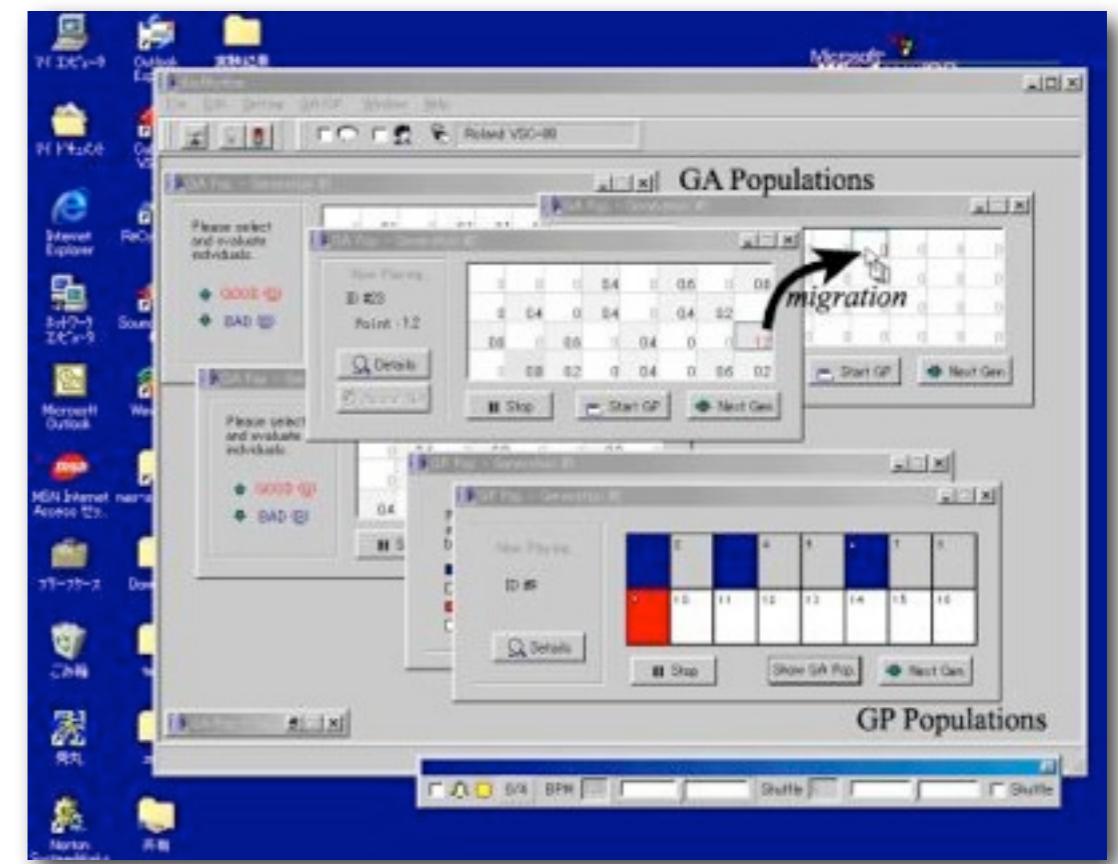
c) vygenerovaná fráze:



zdroj: <http://www.ist.rit.edu/~jab/GenJam.html>

Conga

- Tokui, Iba, 2000
- rytmické fráze 4-16 taktů
- 2d-chromozóm
- křížení
- mutace (náhodná, rotace, otočení, výměna, přehození mezi nástroji)
- bez ohledu na hudbu
- hodnotí uživatel
- neuronová síť se učí hodnotit (asistent)



zdroj: Biles. A. :Interactive GenJam: Integrating Real-Time Performance with a Genetic Algorithm

GeneticDrummer

GeneticDrummer

- systém pro automatické generování rytmického doprovodu
- založen na genetickém algoritmu
- důraz na „human-competitive“
- hudební kritéria
- automatická činnost (není tzv. interaktivní, což je výhoda)
- systém „poslouchá“ jeden nástroj-typicky pro harmonický doprovod
- uživatel specifikuje své preference o výsledku
- činnost přes MIDI (soubory)
- generování probíhá off-line

GeneticDrummer: Drumset

- bežná bicí souprava
 - bass drum
 - snare drum
 - 3x tom
 - floor tom
 - hi-hat
 - 2x crash cymbal
 - splash cymbal
 - ride cymbal



Rytmické elementy

- alely
- tvoří chromosomy a ty dále multichtomosomy
- přirozená reprezenace možností instrumentace
- jednoduchá tvorba variací

Note symbol	Meaning	Element type
		single stroke
		double stroke
		triple stroke
	 <i>mp</i>	flam
	 <i>p < mp</i>	drag
	 <i>p << mp</i>	ruff

Kódovací tabulky

playing technique	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>ff</i>	<i>fff</i>
closed hi-hat single stroke	11	12	13	14	15	16
closed hi-hat double stroke	21	22	23	24	25	26
closed hi-hat triple stroke	31	32	33	34	35	36
closed hi-hat flam stroke	41	42	43	44	45	46
closed hi-hat drag stroke	51	52	53	54	55	56
closed hi-hat ruff stoke	61	62	63	64	65	66
open hi-hat single stroke	71	72	73	74	75	76
foot pedal hi-hat stroke	81	82	83	84	85	86

Table 3. Hi-hat interpretation codes

playing technique	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>ff</i>	<i>fff</i>
single drumhead stroke	11	12	13	14	15	16
double drumhead stroke	21	22	23	24	25	26
triple drumhead stroke	31	32	33	34	35	36
drumhead flam stroke	41	42	43	44	45	46
drumhead drag stroke	51	52	53	54	55	56
drumhead ruff stroke	61	62	63	64	65	66
single side-stick stroke	71	72	73	74	75	76

Table 2. Snare drum interpretation codes

playing technique	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>ff</i>	<i>fff</i>
ride cymbal single stroke	11	12	13	14	15	16
ride cymbal double stroke	21	22	23	24	25	26
ride cymbal triple stroke	31	32	33	34	35	36
ride cymbal flam stroke	41	42	43	44	45	46
ride cymbal drag stroke	51	52	53	54	55	56
ride cymbal ruff stroke	61	62	63	64	65	66
ride bell single stroke	71	72	73	74	75	76
ride bell double stroke	81	82	83	84	85	86
ride bell triple stroke	91	92	93	94	95	96
ride bell flam stroke	101	102	103	104	105	106
ride bell drag stroke	111	112	113	114	115	116
ride bell ruff stroke	121	122	123	124	125	126

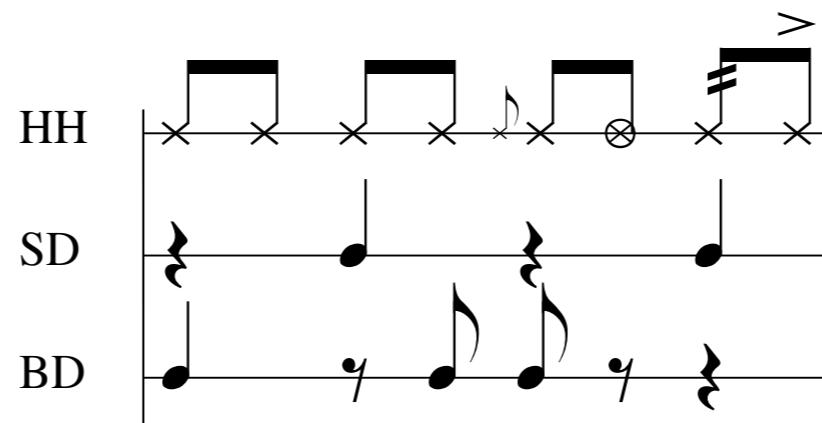
Table 4. Ride cymbal interpretation codes

playing technique	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>ff</i>	<i>fff</i>
single stroke	11	12	13	14	15	16

Table 6. Bass drum, Splash cymbal and Crash cymbals interpretation codes

Multichromozóm

((chromosome representing splash cymbal)	((empty))
((chromosome representing crash cymbal 2)	((empty))
((chromosome representing crash cymbal 1)	((empty))
((chromosome representing ride cymbal)	((empty))
((chromosome representing hi-hat)	'(14 00 14 00 14 00 14 00 44 00 74 00 24 00 15 00)
((chromosome representing snare drum)	'(00 00 00 00 14 00 00 00 00 00 00 00 14 00 00 00)
((chromosome representing bass drum)	'(14 00 00 00 00 00 14 00 14 00 00 00 00 00 00 00)
((chromosome representing small tom-tom)	((empty))
((chromosome representing medium tom-tom)	((empty))
((chromosome representing large tom-tom)	((empty))
((chromosome representing floor-tom))	((empty))

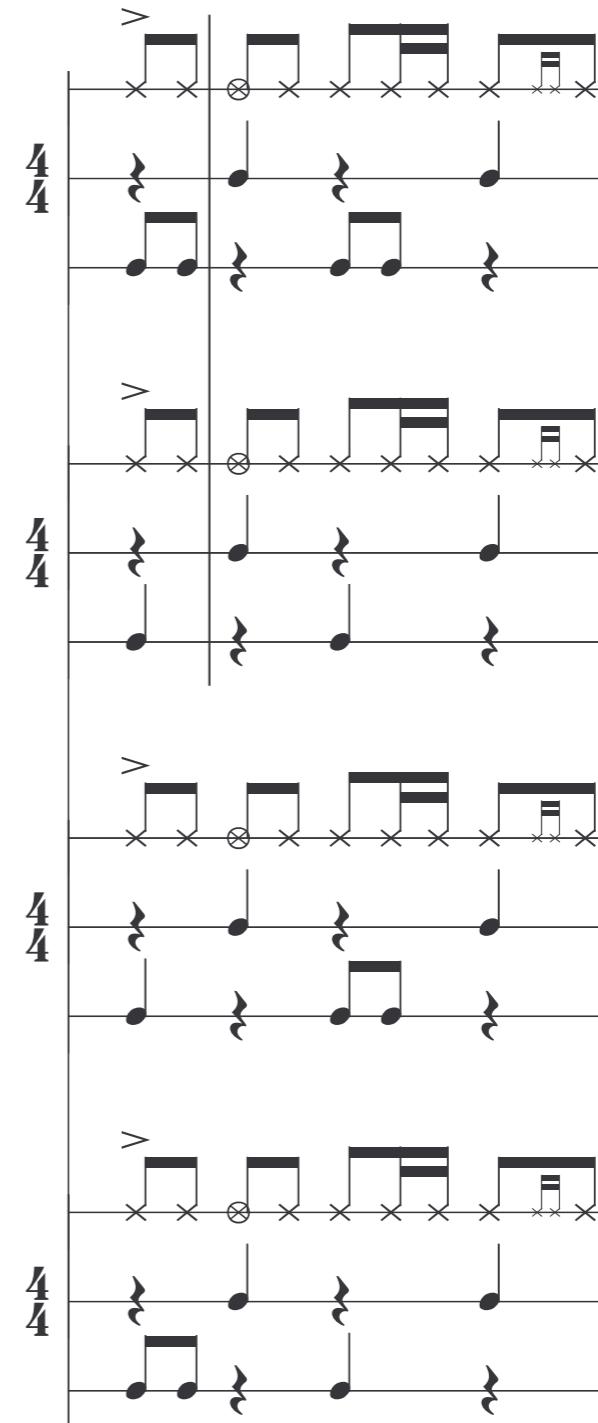


Populace

- kreativita vs. invence
- jak se GeneticDrummer učí ?
- populace se skládá z multichromozomů
 - groove-population
 - break-population
- každý multichromozóm reprezentuje jeden takt
- generování po frázích
- populace by mohly být nahrány živě – napodobování stylů

Křížení

- jednobodové
- po chromozómech



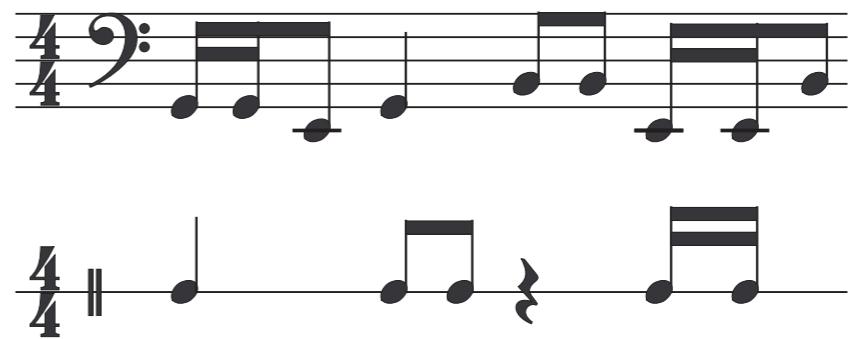
Měření kvality

měření kvality

- operátory
- fitness funkce je kompozice operátorů
- u některých uživatel definuje žádaný výsledek
- rhythm-conformity
- rhythm-unconformity
- dynamic-conformity
- instrument-quantity
- instrument-quantity-on-strong-beats

rhythm-(un)conformity

- (rhythm-conformity
<chromosome> music)
- (rhythm-unconformity
<chromosome> music)



dynamic conformity

- dynamická souhra
- (dynamic-conformity <chromosome> music)

instrument-quantity

- měří „hustotu“ doprovodu s ohledem na žádanou hodnotu specifikovanou uživatelem
- (instrument-quantity <chromosome> <ideal-value>)

Příklad

```
(lambda (music)
  (+ (* 25 (instrument-quantity 'notes-ride 0.8))
      (* 3 (rhythm-conformity 'notes-snare music))))
```

Mutace

accentuate

- (mut-accentuate <chromosome> <probability-of-gene-mutation>)

fretless-bass

The image shows three staves of musical notation for a fretless bass. The top staff is labeled "original" and features a bass clef, a 4/4 time signature, and a melody consisting of eighth and sixteenth notes. The middle staff is labeled "accentuate" and also has a bass clef and 4/4 time signature, but it shows the same notes with vertical strokes above them, indicating where they should be emphasized or accented. The bottom staff is a blank 4/4 time signature staff.

bass-consonance

- (bass-consonance <chromosome> <probability>)
- zvyšuje souhru
- přidává/odebírá noty podle stopy DHN

rhythm-element-change

- (rhythm-element-change <chromosome> <prob>)
- zámenuje rytmické elementy
- vytváří rytmické variace

syncopate

- (syncopate <chromosome> <prob>)
- napodobuje synkopizaci doprovou

The image shows two musical staves. The top staff is in 4/4 time, bass clef, and 8th note duration. It features vertical stems with dots above them, indicating a rhythmic pattern where notes are placed on or just before the beat. The bottom staff is also in 4/4 time and shows a corresponding pattern of vertical stems with dots. A curved arrow points from the first note on the bottom staff to the second note on the top staff, illustrating the relationship between the two patterns.

Příklad

```
(lambda (music)
  (mutation-bass-teamwork 'notes-bass 0.06 music)
  (mutation-bass-teamwork 'notes-cc-1 0.06 music))
```

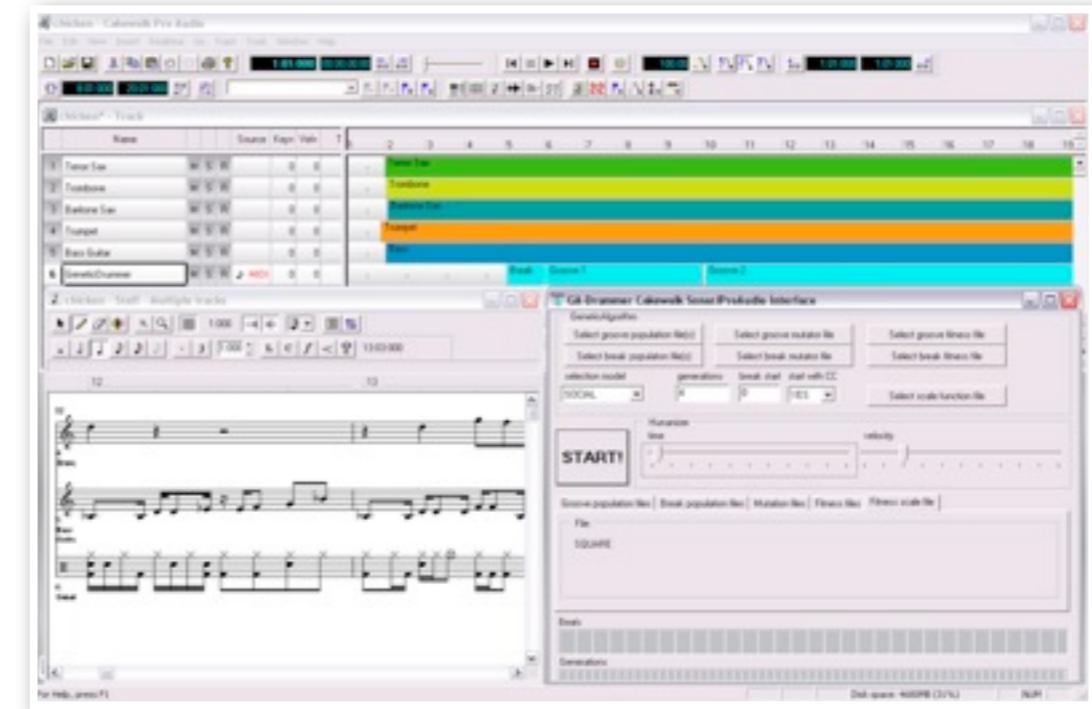
Shrnutí

- generování probíhá po frázích
- každá fráze může být zakončena přechodem
- fráze se generují po taktech
- výsledek se následně „humanizuje“ (čas a dynamika)

Příklady

Činnost GD

- koopreuje s Cakewalk ProAudio or Cakewalk Sonar
- označí se fráze
- nastaví se parametry
- vygeneruje se doprovod a vrátí jako nová stopa

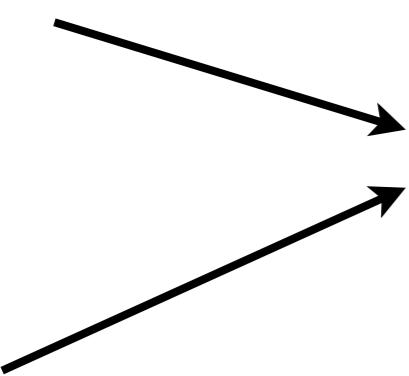


ProAudio a GeneticDrummer

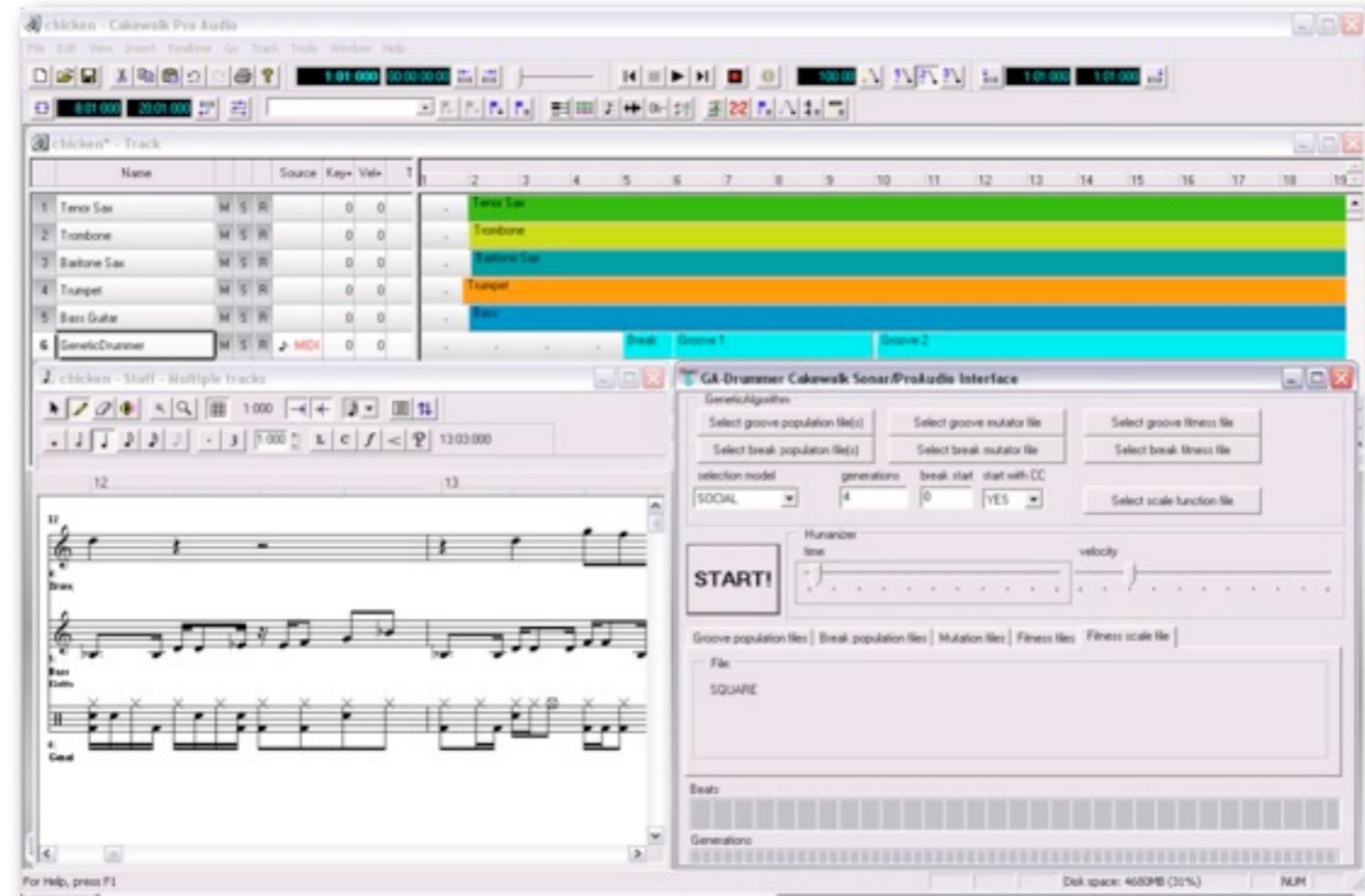
Cakewalk ProAudio GUI



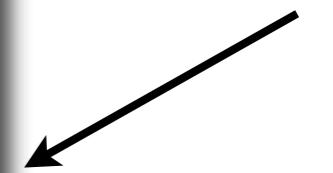
Stopa s doprovodným
nástrojem



Nová stopa



GeneticDrummer GUI



Příklad frází

Příklad frází

Bass guitar track -
HAI instrument

Phrase 1

Phrase 2

Phrase 3

