

Técnicas computacionais para síntese de acompanhamento musical expressivo

Roberto Piassi Passos Bodo

Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo

01 de Abril de 2014

Contexto

- popularização dos computadores;

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;
- sistemas em tempo real.

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;
- sistemas em tempo real.
 - ▶ instrumentos computacionais;

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;
- sistemas em tempo real.
 - ▶ instrumentos computacionais;
 - ▶ composição interativa;

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;
- sistemas em tempo real.
 - ▶ instrumentos computacionais;
 - ▶ composição interativa;
 - ▶ acompanhamento musical.

Contexto

- popularização dos computadores;
- aplicação na música;
- sistemas em tempo real.
 - ▶ instrumentos computacionais;
 - ▶ composição interativa;
 - ▶ acompanhamento musical. ←

Motivação

Quais as possibilidades de um estudante treinar um concerto?

Motivação

Quais as possibilidades de um estudante treinar um concerto?

- ensaio ao vivo com a orquestra completa;

Motivação

Quais as possibilidades de um estudante treinar um concerto?

- ensaio ao vivo com a orquestra completa;
- gravações *music-minus-one*;

Motivação

Quais as possibilidades de um estudante treinar um concerto?

- ensaio ao vivo com a orquestra completa;
- gravações *music-minus-one*;
- sistema de acompanhamento musical automatizado.

Acompanhamento Musical Automatizado

Divisão em 3 subproblemas:

Acompanhamento Musical Automatizado

Divisão em 3 subproblemas:

- processar a entrada do solista em tempo real;

Acompanhamento Musical Automatizado

Divisão em 3 subproblemas:

- processar a entrada do solista em tempo real;
- comparar os eventos da entrada com os de uma partitura;

Acompanhamento Musical Automatizado

Divisão em 3 subproblemas:

- processar a entrada do solista em tempo real;
- comparar os eventos da entrada com os de uma partitura;
- gerar o acompanhamento de acordo com o andamento do músico.

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado

Implementação em 4 módulos:

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado

Implementação em 4 módulos:

- pré-processador da entrada;

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado

Implementação em 4 módulos:

- pré-processador da entrada;
- casador;

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado

Implementação em 4 módulos:

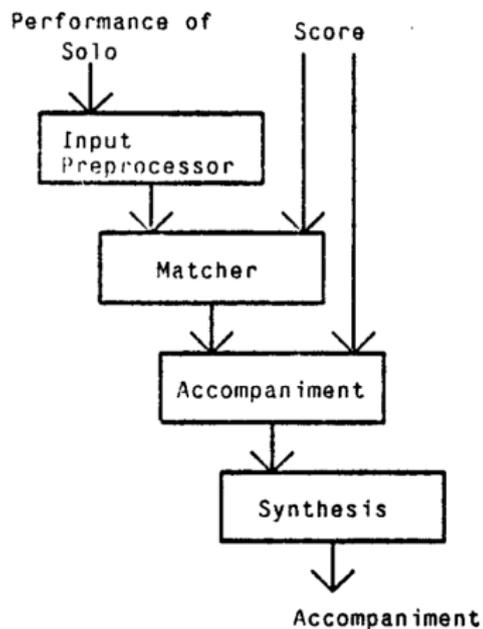
- pré-processador da entrada;
- casador;
- acompanhador;

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado

Implementação em 4 módulos:

- pré-processador da entrada;
- casador;
- acompanhador;
- sintetizador.

Sistema de Acompanhamento Musical Automatizado



Pré-processador da entrada

Possibilidades:

Pré-processador da entrada

Possibilidades:

- música simbólica;

Pré-processador da entrada

Possibilidades:

- música simbólica;
- transcrição melódica;

Pré-processador da entrada

Possibilidades:

- música simbólica;
- transcrição melódica;
- extração de características.

Pré-processador da entrada

Eventos MIDI:

Pré-processador da entrada

Eventos MIDI:

- altura musical (número MIDI);

Pré-processador da entrada

Eventos MIDI:

- altura musical (número MIDI);
- tempo do ataque (t_{noteOn});

Pré-processador da entrada

Eventos MIDI:

- altura musical (número MIDI);
- tempo do ataque (t_{noteOn});
- duração ($t_{noteOff} - t_{noteOn}$);

Pré-processador da entrada

Eventos MIDI:

- altura musical (número MIDI);
- tempo do ataque (t_{noteOn});
- duração ($t_{noteOff} - t_{noteOn}$);
- intensidade (velocidade).

Sintetizador

Possibilidades:

Sintetizador

Possibilidades:

- música simbólica;

Sintetizador

Possibilidades:

- música simbólica;
- técnicas de síntese de áudio;

Possibilidades:

- música simbólica;
- técnicas de síntese de áudio;
- reprodução de áudio com mudança de escala temporal.

Sintetizador

General MIDI:

Sintetizador

General MIDI:

- 16 canais polifônicos;

Sintetizador

General MIDI:

- 16 canais polifônicos;
- 24 vozes simultâneas;

Sintetizador

General MIDI:

- 16 canais polifônicos;
- 24 vozes simultâneas;
- 128 instrumentos (teclas, cordas, sopro, percussão);

Sintetizador

General MIDI:

- 16 canais polifônicos;
- 24 vozes simultâneas;
- 128 instrumentos (teclas, cordas, sopro, percussão);
- sintetizadores: TiMidity++ e FluidSynth.

Casador

Capacidades:

Casador

Capacidades:

- reconhecer e descartar erros (inerentes do músico e do pré-processamento);

Capacidades:

- reconhecer e descartar erros (inerentes do músico e do pré-processamento);
- manter-se sensível à informação útil disponível;

Capacidades:

- reconhecer e descartar erros (inerentes do músico e do pré-processamento);
- manter-se sensível à informação útil disponível;
- relatar a posição do músico na partitura.

Dannenberg1984

Casador

Dannenberg1984

- única informação relevante: altura musical;

Dannenbergl984

- única informação relevante: altura musical;
- performance e partitura: duas sequências de símbolos.

Casador

Dannenbergl984

- única informação relevante: altura musical;
- performance e partitura: duas sequências de símbolos.

performance:	A	G	E	D	G	B	C
				/			
best match:	A	G	E	G	B	C	
				/			
score:	A	G	E	G	A	B	C

Casador

Dannenberg1984

Casador

Dannenbergl984

- definição de melhor casamento: maior subsequência comum;

Casador

Dannenbergl984

- definição de melhor casamento: maior subsequência comum;
- algoritmo de programação dinâmica: *bottom-up*.

Casador

Dannenbergl984

- definição de melhor casamento: maior subsequência comum;
- algoritmo de programação dinâmica: *bottom-up*.

performance:

	A	G	E	D	G	B	C
score: A	<u>1</u>	1	1	1	1	1	1
G	1	<u>2</u>	2	2	2	2	2
E	1	2	<u>3</u>	3	3	3	3
G	1	2	3	3	<u>4</u>	4	4
A	1	2	3	3	4	4	4
B	1	2	3	3	4	<u>5</u>	5
C	1	2	3	3	4	5	<u>6</u>

Casador

Vercoe1985

Casador

Vercoe1985

- considera tempo do ataque, além da altura musical;

Vercoe1985

- considera tempo do ataque, além da altura musical;
- lida com erros qualitativos (adições e deleções) e quantitativos (antecipações e atrasos);

Vercoe1985

- considera tempo do ataque, além da altura musical;
- lida com erros qualitativos (adições e deleções) e quantitativos (antecipações e atrasos);
- trabalha com diferentes teorias de emparelhamento;

Vercoe1985

- considera tempo do ataque, além da altura musical;
- lida com erros qualitativos (adições e deleções) e quantitativos (antecipações e atrasos);
- trabalha com diferentes teorias de emparelhamento;
- escolhe a de menor custo.

Casador

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a nova nota possui uma correspondente na partitura;

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a nova nota possui uma correspondente na partitura;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j - 1)$
+ custo da altura estar errada
+ custo do ajuste linear do tempo

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a nova nota possui uma correspondente na partitura;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j - 1)$
+ custo da altura estar errada
+ custo do ajuste linear do tempo
- a nova nota possui correspondente, mas iremos ignorar o tempo dela;

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a nova nota possui uma correspondente na partitura;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j - 1)$
+ custo da altura estar errada
+ custo do ajuste linear do tempo
- a nova nota possui correspondente, mas iremos ignorar o tempo dela;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j - 1)$
+ custo caso a nota seja certa ou errada

Casador

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

Casador

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a i -ésima nota da performance pode ser extra;

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a i -ésima nota da performance pode ser extra;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j)$
+ penalidade de adição

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a i -ésima nota da performance pode ser extra;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j)$
+ penalidade de adição
- a j -ésima nota da partitura pode ser omitida;

Vercoe1985

São consideradas 4 teorias para o par (i, j) :

- a i -ésima nota da performance pode ser extra;
custo total = custo da melhor teoria $(i - 1, j)$
+ penalidade de adição
- a j -ésima nota da partitura pode ser omitida;
custo total = custo da melhor teoria $(i, j - 1)$
+ penalidade de deleção

Casador

Baird1993

Baird1993

- "pessoas reconhecem sequências de notas";

Baird1993

- "pessoas reconhecem sequências de notas";
- casamento de padrões;

Baird1993

- "pessoas reconhecem sequências de notas";
- casamento de padrões;
- considera unidades musicais (notas ou pausas);

Baird1993

- "pessoas reconhecem sequências de notas";
- casamento de padrões;
- considera unidades musicais (notas ou pausas);
- utiliza suas durações.

Casador

Baird1993

São considerados 4 tipos de casamentos entre sequências de unidades:

Casador

Baird1993

São considerados 4 tipos de casamentos entre seqüências de unidades:

- literal;

Score

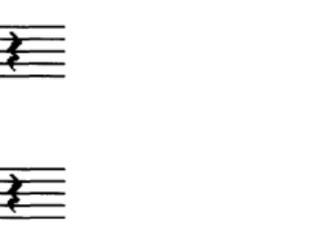


Live Performer

The image shows two staves of musical notation. The top staff is labeled 'Score' and the bottom staff is labeled 'Live Performer'. Both staves contain identical musical notation: a treble clef, a key signature of one sharp (F#), a 2/4 time signature, and a sequence of notes: quarter note G4, quarter note A4, quarter note B4, quarter note C5, quarter note B4, quarter note A4, quarter note G4, quarter rest, and quarter rest.

- amalgamado;

Score



Live Performer

The image shows two staves of musical notation. The top staff is labeled 'Score' and the bottom staff is labeled 'Live Performer'. Both staves contain musical notation: a treble clef, a key signature of one sharp (F#), a 2/4 time signature, and a sequence of notes: quarter note G4, quarter note A4, quarter note B4, quarter note C5, quarter note B4, quarter note A4, quarter note G4, quarter rest, and quarter rest. The notation is identical to the 'literal' case.

Casador

Baird1993

Casador

Baird1993

- sem interrupção;

Score



Live Performer

The image displays two staves of musical notation. The top staff is labeled 'Score' and the bottom staff is labeled 'Live Performer'. Both staves show a sequence of notes: a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, a quarter note C5, a quarter note B4, a quarter note A4, and a quarter note G4. The notes are connected by a horizontal line, indicating a continuous performance without interruption. The notation is in treble clef with a key signature of one sharp (F#).

Casador

Baird1993

- sem interrupção;

Score

Live Performer

The image shows two staves of musical notation. The top staff is labeled 'Score' and the bottom staff is labeled 'Live Performer'. Both staves contain a sequence of notes: a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, a quarter note C5, a quarter note B4, a quarter note A4, a quarter note G4, and a quarter rest. The notes are connected by a horizontal line, indicating they are played without interruption.

- pausa;

Score

Live Performer

The image shows two staves of musical notation. The top staff is labeled 'Score' and the bottom staff is labeled 'Live Performer'. Both staves contain a sequence of notes: a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, a quarter note C5, a quarter note B4, a quarter note A4, a quarter note G4, and a quarter rest. The notes are connected by a horizontal line, indicating they are played without interruption.

Tendências:

Tendências:

- abandono de técnicas baseadas em conhecimento;

Tendências:

- abandono de técnicas baseadas em conhecimento;
- performance musical = processo não-estacionário;

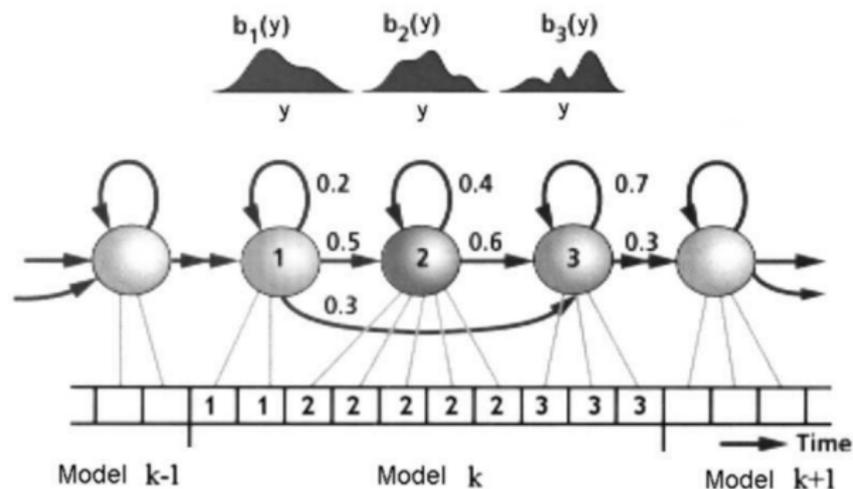
Tendências:

- abandono de técnicas baseadas em conhecimento;
- performance musical = processo não-estacionário;
- utilização de processos estocásticos.

Tendências:

- abandono de técnicas baseadas em conhecimento;
- performance musical = processo não-estacionário;
- utilização de processos estocásticos.
- Cano1999 e Raphael1999: *HMM*

Casador



Acompanhador

Basicamente, 2 abordagens:

Acompanhador

Basicamente, 2 abordagens:

- puramente reativa;

Acompanhador

Basicamente, 2 abordagens:

- puramente reativa;
exemplo: atualização de relógio virtual

Acompanhador

Basicamente, 2 abordagens:

- puramente reativa;
exemplo: atualização de relógio virtual
- predição temporal.

Acompanhador

Basicamente, 2 abordagens:

- puramente reativa;
exemplo: atualização de relógio virtual
- predição temporal.
exemplo: funções de evolução

Acompanhador

Objetivos:

Acompanhador

Objetivos:

- autonomia;

Acompanhador

Objetivos:

- autonomia;
- sincronismo;

Acompanhador

Objetivos:

- autonomia;
- sincronismo;
- flexibilidade;

Acompanhador

Objetivos:

- autonomia;
- sincronismo;
- flexibilidade;
- expressividade.

Acompanhador

Objetivos:

- autonomia;
- sincronismo;
- flexibilidade;
- expressividade. ←

Síntese expressiva

Sintetizar sons a partir de uma partitura de forma musicalmente fluente (em termos de andamento, dinâmica, articulação, etc).

Síntese expressiva

Sintetizar sons a partir de uma partitura de forma musicalmente fluente (em termos de andamento, dinâmica, articulação, etc).

Problema:

Síntese expressiva

Sintetizar sons a partir de uma partitura de forma musicalmente fluente (em termos de andamento, dinâmica, articulação, etc).

Problema:

O acompanhamento está definido em um único andamento.

Síntese expressiva

Sintetizar sons a partir de uma partitura de forma musicalmente fluente (em termos de andamento, dinâmica, articulação, etc).

Problema:

O acompanhamento está definido em um único andamento.

Como tocar a partitura em andamentos diferentes?

Síntese expressiva

Síntese expressiva

Desain1993: comparações entre um sequenciador MIDI e um pianista.

Síntese expressiva

Desain1993: comparações entre um sequenciador MIDI e um pianista.



acciaccatura em um andamento mais rápido

Síntese expressiva

Desain1993: comparações entre um sequenciador MIDI e um pianista.



acciaccatura em um andamento mais rápido



staccato em um andamento mais lento

Síntese expressiva

Clarke1985: perfil expressivo de tempo.

Síntese expressiva

Clarke1985: perfil expressivo de tempo.

Variações nos tempos das notas com base em diversas execuções.

Síntese expressiva

Clarke1985: perfil expressivo de tempo.

Variações nos tempos das notas com base em diversas execuções.

Jaffe1985: curvas de tempo.

Síntese expressiva

Clarke1985: perfil expressivo de tempo.

Variações nos tempos das notas com base em diversas execuções.

Jaffe1985: curvas de tempo.

Funções de tempo suavizadas com interpolação.

Síntese expressiva

Clynes1983: pulso do compositor.

Síntese expressiva

Clynes1983: pulso do compositor.

Padrões relacionados a compositores e métricas.

Síntese expressiva

Clynes1983: pulso do compositor.

Padrões relacionados a compositores e métricas.

Sundberg1983: sistema de regras.

Síntese expressiva

Clynes1983: pulso do compositor.

Padrões relacionados a compositores e métricas.

Sundberg1983: sistema de regras.

Aglomerado de regras para nuances.

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

- curvas de tempo;

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

- curvas de tempo;
- anotações da partitura (*accelerando* e *ritardando*);

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

- curvas de tempo;
- anotações da partitura (*accelerando* e *ritardando*);
- execuções anteriores;

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

- curvas de tempo;
- anotações da partitura (*accelerando* e *ritardando*);
- execuções anteriores;
- mudanças de andamento em tempo real de um músico.

Síntese expressiva

Tendência: junção de diversas fontes de informação.

- curvas de tempo;
- anotações da partitura (*accelerando* e *ritardando*);
- execuções anteriores;
- mudanças de andamento em tempo real de um músico.

Exemplo: utilização de filtros de Kalman.

Próximos passos

Implementar um sistema completo, modularizado, para testar a combinação de diversas técnicas estudadas.

Próximos passos

Implementar um sistema completo, modularizado, para testar a combinação de diversas técnicas estudadas.

Definir um protocolo de comunicação entre os módulos possibilitando a comunicação dos mesmos.

Próximos passos

Implementar um sistema completo, modularizado, para testar a combinação de diversas técnicas estudadas.

Definir um protocolo de comunicação entre os módulos possibilitando a comunicação dos mesmos.

Utilizar as APIs do ALSA e do JACK (em C) para tratar entrada/saída MIDI.

Próximos passos

Implementar um sistema completo, modularizado, para testar a combinação de diversas técnicas estudadas.

Definir um protocolo de comunicação entre os módulos possibilitando a comunicação dos mesmos.

Utilizar as APIs do ALSA e do JACK (em C) para tratar entrada/saída MIDI.

Pesquisar formatos diferentes para a partitura.

That's all folks!

The End! =)