

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:

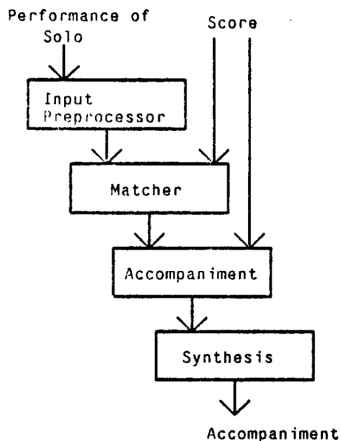
- pré-processador da entrada;
- casador;
- acompanhador;

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;

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;

Casador

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.

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 displays two musical staves, one labeled 'Score' and one labeled 'Live Performer'. Both staves contain the same sequence of notes: a quarter note G4, a dotted 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 key signature is one sharp (F#) and the time signature is 4/4. The notes are written on a treble clef staff.

Casador

Baird1993

São considerados 4 tipos de casamentos entre seqüências de unidades:

- literal;

Score

Live Performer

- amalgamado;

Score

Live Performer

Casador

Baird1993


Casador

Baird1993

- sem interrupção;

Score

Live Performer




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 rest, 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 continuous line, indicating no interruption in the performance.

- 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 rest, 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 continuous line, indicating no interruption in the performance.

Tendências:

Tendências:

- abandono de técnicas baseadas em conhecimento;

Tendências:

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

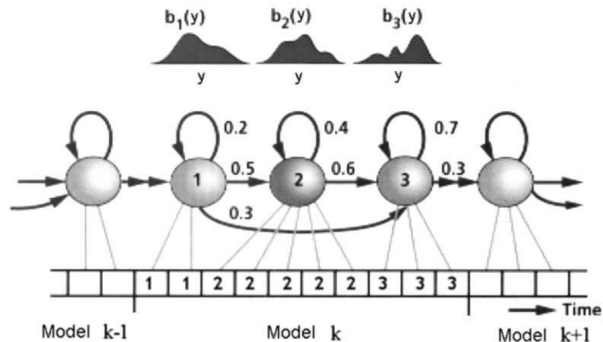
Tendências:

- 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! =)