

Instrumentos Musicais Digitais - Gestos, Sensores e Interfaces

Marcelo M. Wanderley

Sound Processing and Control Laboratory
Music Technology Area – Faculty of Music
McGill University
Montréal, Québec, Canada
marcelo.wanderley@mcgill.ca

Introdução

Com a introdução de modelos de computadores pessoais com grande capacidade de processamento e a baixo custo tornou-se comum a utilização destas máquinas para a geração sonora em tempo real (síntese sonora). Criou-se assim a possibilidade de utilização de computadores pessoais na criação de sons de alta qualidade (com pelo menos 16 bits e 44.100 amostras/s) em modo de processamento nativo, isto é, sem a adição de placas de processamento extras para o cálculo das amostras sonoras¹. Associado ao desenvolvimento contínuo de novos métodos de síntese sonora nos últimos 50 anos, estas máquinas possibilitaram o aparecimento de novos instrumentos musicais nos quais a geração sonora é toda realizada pelo computador. A vantagem deste método de geração sonora comparado aos sintetizadores eletrônicos – analógicos ou digitais – já existentes há várias décadas é a sua inerente flexibilidade, pois estes computadores podem simular inúmeros métodos de síntese por software e assim serem utilizados em diferentes contextos.

A questão que se coloca desde então é: como utilizar esta capacidade de geração sonora em tempo real? Ou, como *tocar um computador?* (Wessel e Wright, 2002)

Para isto, é preciso decidir quais os tipos de controles que serão postos à disposição dos possíveis músicos. Dito de outra maneira, não se concebe, com exceção de aplicações muito específicas, como, por exemplo, *laptop music*, a utilização do mouse e do teclado standard como interface de controle. Necessita-se assim criar dispositivos (normalmente à base de sensores eletrônicos diversos) que serão conectados ao computador para controlar a geração sonora. Em inglês, estes dispositivos chamam-se “*gestural controllers*”, termo que pode ser traduzido para o português como *interfaces ou controladores gestuais*.

Mas se a conexão de interfaces gestuais a um computador para o controle de algum processo musical é um processo que se desenvolveu a partir dos anos 60 (por exemplo:

¹ O caso da estação de trabalho ISPW (IRCAM Signal Processing Workstation) no fim dos anos 80 e começo dos anos 90 é interessante: para fornecer uma capacidade de processamento suficiente para síntese e transformação sonoras variadas, ela era baseada no computador NeXT com uma, duas ou três placas de processamento especializadas extras (Lindemann et al. 1991).

Mathews e Moore, 1969), a definição de instrumentos musicais “eletrônicos” baseados em interfaces gestuais inovadoras é muito mais antiga (Manning, 1993; Chadabe, 1997).

Não vamos apresentar aqui uma extensiva lista de dispositivos eletrônicos, apesar de alguns como o Theremin (Manning, 1993) e o Electronic Sackbut (Young, 1984) serem exemplos de instrumentos musicais eletrônicos que apresentavam características muito avançadas para a época em que foram construídos². Concentrar-nos-emos na análise de sistemas de geração sonora controlados por gestos e que utilizam o computador como gerador de sons.

Sistemas de Geração Sonora Controlados por Gestos

Para começar, é importante termos em mente que, graça à flexibilidade oferecida pela geração sonora por meios eletrônicos, o projeto de interfaces gestuais não necessita seguir os padrões existentes dos instrumentos musicais acústicos a que estamos acostumados.

Na realidade, graças ao enorme desenvolvimento da tecnologia de sensores, praticamente qualquer ação física pode ser transformada em sinais elétricos que serão, em seguida, utilizados para gerar novos sons ou controlar sons já existentes.

Mas, quais gestos?

Para começar, utilizaremos uma definição bastante ampla da palavra *gesto* (Cadoz & Wanderley, 2000). Em geral, vários autores tendem a considerar um *gesto* (das mãos) como oposto a uma *postura* (Mulder, 1998). Assim, um gesto seria *dinâmico*, uma postura, *estática*; uma fotografia de um gesto em um determinado instante. O problema desta definição é que ela não leva em conta as forças envolvidas na sustentação da postura, que não poderia ser reduzida a uma simples amostra de um gesto.

No contexto deste artigo, um *gesto* pode significar um movimento das mãos que *contenha* uma informação (Kurtenbach e Hulteen, 1990) ou que *transporte* uma informação (Hummels et al., 1998), além de *ações físicas* como a *manipulação* de uma ferramenta com um objetivo de comunicação; um *gesto instrumental* (Cadoz, 1988).

Além disso, um gesto pode não ser necessariamente executado pelas mãos (por exemplo, o sopro de um flautista); podemos falar de um *gesto corporal instrumental*. Outro gesto importante em música, aquele que acompanha os movimentos executados por um instrumentista quando ele toca o seu instrumento, é o *gesto acompanhador* (Delalande, 1988) ou *auxiliar* (Wanderley, 2001) (Wanderley, 2002^b), também chamado *movimento expressivo* (Davidson, 1993). Finalmente, em um nível mais elevado, um *gesto musical* pode não ter, necessariamente, uma relação direta com um movimento corporal (Delalande, 1988). Para evitar confusões de terminologia, utilizaremos a palavra gesto adjetivada para

² Mesmo se comparado a vários sintetizadores modernos, o Electronic Sackbut de Hugh LeCaine, desenvolvido em 1948, apresenta características avançadas como o controle contínuo do timbre do instrumento pela mão esquerda, enquanto a direita seleciona a frequência e a amplitude de notas em um teclado sensível à pressão em duas dimensões.

indicar de qual tipo de movimento se trata.

O interesse no estudo dos gestos a serem utilizados para controlar um instrumento reside no fato de que dependendo do movimento analisado, existem diferenças no projeto do sistema de aquisição destes movimentos. Um exemplo é a definição do tipo de *retroação* (do inglês, *feedback*) disponível para o instrumentista. Por exemplo, em uma manipulação as forças envolvidas podem variar significativamente dependendo do tipo de empunhadura (de precisão ou de força), assim como a destreza. Um sistema que utilize a empunhadura poderá também ser capaz de proporcionar ao usuário uma retroação tátil ou de força (Cadoz et al., 1984), comum em vários instrumentos acústicos (como a sensação de força nas teclas devido ao mecanismo de excitação das cordas, a vibração tátil sensível nos lábios de um saxofonista, etc.).

Em geral, podemos considerar dois tipos de retroação: passiva ou ativa (Bongers 2000), também chamadas respectivamente de primária e secundária (Vertegaal et al. 1996). Retroação passiva é aquela inerente ao dispositivo, como, por exemplo, o som das teclas de um computador quando se escreve um texto; retroação ativa é aquela produzida por um sistema específico, tal como a força produzida por um motor para simular o mecanismo de uma tecla de piano (Cadoz, Lisowski e Florens, 1990).

Estes tipos de retroação são importantes na execução de um instrumento acústico e são, portanto, necessários nas interfaces gestuais que simulam tais instrumentos (Cadoz et al. 1990; Oboe e de Poli, 2002; Gillespie, 1992; Nichols, 2000). Assim, para se implementar um instrumento musical digital com retroação tátil ou de força, é necessário recorrer a transdutores como alto-falantes (tátil) ou motores (força), também chamados acionadores.

Já no caso de um gesto sem contato físico com um instrumento (no caso do Theremin, por exemplo), não há uma necessidade iminente de se produzir uma retroação de força ou tátil, embora alguns estudos mostrem que a sua utilização possa servir a melhorar a performance musical nestes instrumentos (O'Modhrain e Chafe, 2000; Rován e Hayward, 2000).

Também com relação ao sistema, diferentes gestos podem implicar projetos bastante diferentes. Tome-se o exemplo de dois tipos de gestos relacionados à linguagem (McNeill, 1992): a *linguagem de sinais* e os *gestos co-verbais* (gesticulação). Ambos os gestos podem ser adquiridos por sistemas de visão por computador (câmeras) – como, por exemplo, Eyesweb (Camurri et al., 2000) ou o sistema VNS (Very Nervous System), de David Rokeby – ou ainda por meio de luvas de dados que utilizam vários sensores (Manzoli, 1995).

A diferença entre os sistemas não estaria na tecnologia utilizada, mas sim no tratamento dos dados obtidos. No primeiro caso, sabe-se que a linguagem de sinais tem propriedades similares a de uma linguagem tradicional, que ela é regulada por normas comumente aceitas—pelo menos dentro de uma determinada comunidade lingüística, como, por exemplo nos casos do JSL (Japão), FSL (França), ASL (Estados Unidos)—e não é acompanhada por uma linguagem falada. Quanto aos gestos co-verbais, estes não têm propriedades de uma linguagem (vocabulário, gramática), são normalmente idiosincráticos e seus significados dependem da língua falada.

Assim, um sistema que possa entender uma linguagem de sinais deve levar em conta estas propriedades, isto é, sabe-se de antemão quais os gestos a serem detectados dentro de uma comunidade, como eles se seguem, que mão é responsável por qual movimento. Já no caso da gesticulação, não se pode dizer de antemão qual gestos serão efetuados, nem como eles se seguem, embora se tenham informações sobre suas características temporais (Wilson et al., 1996). O sistema deve ser mais flexível para identificar diferentes tipos de movimentos, mas neste caso poderá utilizar informações derivadas da linguagem falada (reconhecimento da voz) para ajudar na aquisição, pois ambos estão intimamente ligados (McNeil, 1992).

Resumindo, pode-se ter várias possibilidades de movimentos corporais: gestos de manipulação de uma interface (força, posição, etc.), gestos sem contato físico com uma interface, associados ou não à linguagem, movimentos que não são inicialmente produzidos para criar ou modificar sons (e.g. dança), mas que podem ser também utilizados para produzir sons, gestos do dia-a-dia (andar, mover-se, agitar os braços) tornando-se variáveis de controle em instalações sonoras interativas, entre outros.

Mas nestes casos, como se pode notar, a noção tradicional de instrumento musical não tem mais sentido, assim como, em vários destes casos, a noção de instrumentista.

Como é possível então compararmos estes *sistemas* de geração sonora?

Análise e Comparação de Sistemas de Geração Sonora Controlados por Gestos

Existem varias opções para a análise e comparação de sistemas de geração sonora controlados por gestos. Concentremo-nos em dois casos: uma análise de cada sistema a partir de suas características do *ponto de vista da interação homem-máquina* (IHM) e uma análise das suas *características puramente tecnológicas* (Wanderley, Orio e Schnell, 2000).

Perspectiva de Interação Homem-Máquina

Do ponto de vista da IHM, é importante levar em conta quais os objetivos tanto dos movimentos de controle quanto dos sons gerados, do nível de controle exigido do “instrumentista”, assim como se o sistema é controlado por uma ou por várias pessoas, se estas pessoas estão no mesmo espaço físico ou em diferentes regiões, se o objetivo final é uma forma de comunicação ou a exploração de um espaço.

Começemos por analisar qual o contexto da interação musical. Existem várias opções como:

- *Manipulação instrumental*, i.e. utilização de uma interface gestual para controlar parâmetros musicais em tempo-real, similar ao que ocorre no caso da performance de um instrumento musical acústico ou elétrico. Alguns exemplos incluem interfaces/instrumentos como *The Hands* (Waisvisz, 1985), *BoSSA* (Trueman e Cook, 1999), entre várias outras. Utilizando-se a classificação proposta por Schloss (Schloss, 1990) para os diferentes níveis de controle em

um processo musical, este contexto corresponde aos controles *normal* e *microscópico*³.

- *Interação ao nível de controle de sequencias pré-enregistradas* (Marrin, 1996; Mathews e Moore, 1969; Boulanger e Mathews, 1997). Este contexto corresponde ao terceiro nível proposto por Schloss, *macroscópico*;
- *Interação ao nível de projeção de sons* ou de *pós-produção*. Um exemplo pré-computador é o *potentiomètre d'espace*, desenvolvido por J. Poulin nos anos 50 (Manning, 1993, pp. 27) para controlar em tempo real a espacialização de sons de musique concrète gravados em múltiplos canais.
- *Interação em instalações multimidia* (interativas) (Winkler, 2000);
- *Interação em sistemas dança-música* (Camurri, 1995);
- *Interação em um sistema de jogo eletrônico* (Blaine e Forlines, 2002).

É importante notar que nos dois últimos casos, a geração de sons não constitui, necessariamente, o objetivo principal da interação.

O papel do som em sistemas interativos

Pressing (1997) propôs três papéis principais para o som, em analogia às três pistas sonoras presentes em filmes e produção vídeo:

- *Artístico/expressivo*: todos os tipos de música e canção;
- *Informacional*: fala, alarmes, dados sonificados;
- *Ambiental*: barulhos de animais, sons de vento, barulho industrial, etc.

Podemos ver que o primeiro papel, o artístico/expressivo, é normalmente o mais comum em instrumentos musicais digitais, enquanto os dois demais podem ser mais frequentes em instalações sonoras.

Características Básicas da Interação

Podemos também escolher algumas características de base da interação homem-máquina em musica, como por exemplo⁴:

- *Objetivo da interação*: expressão, comunicação ou exploração;
- *Nível de proficiência necessário*: debutante, semi-expert, expert;
- *Principal canal de comunicação*: auditório, visual, tátil;
- *Número de participantes*: um (músico-instrumento), vários;
- *Localização*: local ou distante;
- *Fisicalidade*: com ou sem contato físico.

Além de características mais relacionadas à disciplina de ergonomia (ou fatores humanos), como:

³ Schloss (1990) propôs três níveis de controle de processos musicais: controle *microscópico* (nível do timbre), *normal* (nível da nota ou instrumento) e *macroscópico* (nível do processo)

⁴ Note que estas características não são mutuamente exclusivas, nem forçosamente independentes (por exemplo, as duas primeiras). Outras variáveis são discutidas em (Pressing, 1990).

- Partes do corpo envolvidas na interação;
- Número de graus de liberdade envolvidos;
- Tipo de retroação disponível: auditiva, visual, tátil.

Avaliação de interfaces gestuais:

Também podemos perguntar como é possível avaliarmos diferentes interfaces gestuais. Quais os critérios que devem ser observado na hora de escolher uma interface existente para realizar uma determinada tarefa? Uma forma de analisar este problema é a partir das técnicas desenvolvidas na interação homem-máquina, como o desenvolvimento de taxonomias de interfaces e o uso de testes com metodologias bem definidas (Wanderley e Orio, 2002).

Exemplos:

Vamos comparar dois sistemas de geração sonora controlados por gestos: uma instalação sonora interativa e um instrumento musical digital⁵.

Uma instalação sonora (ou multimídia) interativa muitas vezes consiste em um ambiente onde câmeras e/ou outros sensores são utilizados para monitorar ações de uma ou mais pessoas e, assim, gerar som e/ou imagens. Estas ações podem ser simples posições do corpo no espaço ou movimentos específicos. Embora estes ambientes sejam geralmente baseados em tecnologias de sensores para medidas sem contato físico, a manipulação de objetos também pode ser utilizada.

De maneira geral, o objetivo de uma pessoa interagindo em uma instalação sonora não é produzir sons como no caso de instrumentos musicais (geração de uma nota musical, variações de articulações, efeitos de vibrato ou trêmolo, etc.), mas *explorar* um ambiente e *descobrir* relações entre suas ações e os resultados destas (sons ou imagens).

É importante notar que os participantes de instalações interativas não são necessariamente usuários ‘experts’ destes sistemas, pois geralmente não existe a necessidade de prática musical prévia para que o usuário possa usufruir da instalação. Em grande parte das instalações interativas, os usuários interagem uma ou poucas vezes com o sistema, pois, geralmente, estas não são permanentes, ou nem sempre os usuários podem utilizá-las continuamente.

Neste caso, o conceito de público perde o seu sentido tradicional em música, e as pessoas que interagem com o sistema são muitas vezes os únicos ouvintes.

Finalmente, a geração de sons não é forçosamente o principal objetivo da instalação, nem o papel dos sons gerados é necessariamente artístico ou expressivo, podendo também ser ambiental ou informacional.

⁵ Estamos aqui utilizando exemplos “arquetipos” para melhor ilustrar a análise, como por exemplo às instalações descritas em (Winkler, 2000) e a interface gestual *Hands* (Waisvisz, 1985). Em alguns casos, como em *Global String*, de Tanaka e Toeplitz (Tanaka, 2000), esta separação entre instalação e instrumento não é tão clara, ou mesmo impossível de ser feita.

Já um instrumento musical digital usualmente consiste em um sistema de geração de sons a partir de gestos de manipulação (gestos *instrumentais*), mas também gestos sem contato físico (gestos *livres*) de modo a permitir ao instrumentista comunicar idéias musicais a outros músicos ou a um público com o objetivo de *produzir uma experiência auditiva específica nos ouvintes* (Sloboda, 1982).

A prática instrumental: em instrumentos acústicos, são necessários anos de estudo formal para se atingir um nível de expert em performance (Lehmann, 1997). Da mesma maneira, no caso de instrumentos musicais digitais, a prática instrumental é um fator importante para a expressão musical (Waisvisz, 1985; Tanaka, 2000).

Finalmente, em instrumentos digitais, a produção de sons é normalmente o objetivo primordial da interação – sons artísticos ou expressivos – embora muitos instrumentos também permitam o controle de imagens e vídeos em tempo-real.

Perspectiva Tecnológica

No segundo caso, analisam-se quais as tecnologias empregadas para a aquisição dos movimentos, o tipo de correspondência entre as variáveis eletrônicas derivadas dos movimentos físicos e as variáveis de controle dos sons a serem produzidas ou alteradas (do inglês, *mapping* que pode ser traduzido por mapeamento funcional) e finalmente as opções de algoritmos disponíveis para a geração sonora (Wanderley e Depalle, 2004)⁶.

Aquisição de movimentos:

Os movimentos dos instrumentistas são normalmente capturados através do uso de sensores diversos, mas esta não é necessariamente a única opção. Considerando-se a situação da interação entre um instrumentista e um instrumento acústico, podemos ter:

- *Aquisição direta:* através do uso de sensores. Um ou mais tipos de sensores são utilizados para monitorar os movimentos do instrumentista. Os sinais elétricos disponíveis dos sensores representam variáveis físicas isoladas, tais como força, posição ou deslocamento, velocidade, aceleração, pressão do ar, etc. (Bongers, 2000);
- *Aquisição indireta:* onde a informação sobre os movimentos é obtida a partir da análise do som gerado pelo instrumento. Técnicas de processamento de sinais de áudio são utilizadas para extrair a influência das ações do instrumentista tais que a frequência e o envelope de amplitude da nota tocada. Exemplos de sistemas utilizando a aquisição indireta incluem sistemas que obtêm informações sobre os movimentos de clarinetistas (Egozy, 1995) ou violonistas (veja Orio, 1999; Traube, Depalle e Wanderley, 2003). Neste caso, um único sensor é utilizado: um microfone;

⁶ Neste capítulo não analisaremos opções de algoritmos para a síntese sonora, limitaremos ao estudo da tecnologia das interfaces e do mapeamento funcional. Uma excelente fonte de informações sobre a síntese sonora por computador é o livro *Computer Music: Synthesis, Composition and Performance* (Dodge e Jerse, 1997).

- *Aquisição de sinais fisiológicos*: quando se obtêm informações sobre os movimentos pela medida da atividade dos músculos (Knapp e Lusted, 1990; Tanaka, 1993) ou de ondas cerebrais (Miranda et al., 2003).

As diferentes opções acima citadas apresentam, cada uma, vantagens e desvantagens: a aquisição direta é potencialmente simples, mas negligente nas possíveis interrelações entre as variáveis; a aquisição indireta mantém intactas as relações originais entre as ações medidas, mas é potencialmente irrealizável devido à complexidade relativa ao processo de separação da influência das ações dos efeitos acústicos do instrumento, da sala e do sistema de gravação sonora. Já a terceira opção, a aquisição de sinais fisiológicos, vai direto à origem dos movimentos, mas neste caso não sempre é óbvio obter sinais significativos.

A utilização de mais de uma estratégia pode levar a um sistema que pode ter um desempenho superior. É o caso do *Hypercello* (Machover, 1992), no qual alguns dos movimentos do violoncelista são adquiridos através do uso de sensores, como a posição do arco, e outros pela análise do som gerado, como a frequência da nota tocada.

Neste capítulo, iremos nos concentrar na aquisição direta através do uso de sensores.

Tipos de sensores:

Vários sensores podem ser utilizados para obtermos informações sobre os movimentos humanos. A maioria dos sensores utilizados em aplicações musicais foram desenvolvidos para outras atividades industriais (e.g. como a indústria automobilística), mas o caso inverso também pode existir (Paradiso, 2003).

O estudo dos diferentes sensores e das formas de conexão destes a sistemas de medidas (que hoje normalmente utilizam computadores) é assunto de uma disciplina da engenharia elétrica chamada de *instrumentação eletrônica*. Em sistemas musicais controlados por gestos, os princípios da instrumentação eletrônica são igualmente importantes na definição do tipo de sensores a serem utilizados em projetos de novos instrumentos musicais digitais.

Alguns destes princípios são⁷:

- A classificação de sensores de acordo com as variáveis medidas: força/pressão, posição/deslocamento, velocidade, aceleração, luminosidade, etc.
- A especificação das características dos sensores: exatidão, precisão⁸, erro, estabilidade, etc.

⁷ Para mais informações sobre sensores, indico Fraden (2004), Pallàs-Areny e Webster (2001), Nyce (2004), e no caso específico de aplicações musicais: Bongers (2000).

⁸ Muitas vezes se confundem os termos exatidão e precisão: exatidão é o quanto à medida de um sensor é próxima do valor real a ser medido. Por exemplo, se vamos medir uma força de 10 N, um sensor exato seria aquele que mediria, digamos, 9,9N. Precisão é a característica que indica qual a similaridade entre medidas repetidas efetuadas por um sensor. Por exemplo, suponhamos que o sensor descrito acima nos dê valores entre 9.8 e 10.2 para uma série de medidas de uma força real de 10N. Um outro sensor que nos dê 9.5N, mas para cada medida o mesmo valor, seria um sensor menos exato, mas mais preciso do que o primeiro.

- Os tipos de circuitos de condicionamento de sinais necessários.
- A definição de protocolos de transmissão de dados digitais (se os sensores forem conectados a sistemas digitais de medição ou a computadores).

Começamos então por uma rápida lista dos sensores mais utilizados em música⁹. Bongers (2000) divide os sensores com aplicações musicais entre força/pressão e deslocamento/movimento.

Sensores de força/pressão incluem:

- *resistores sensíveis à força* (force sensitive resistors), os comuns FSR de Interlink Electronics, que medem qualitativamente uma força normal a sua superfície;
- *strain gauges*, que medem compressão ou extensão de um material, como o EK-06-250BF-10C de Vishay Measurement Group, utilizado no *Hyperbow* de Young (2002);
- *chaves liga-desliga*;
- *joystick isométricos* (onde não há deslocamento) como o *Trackpoint* nos computadores portáteis IBM ThinkPad.

Sensores de movimento/deslocamento (com ou sem contato físico) incluem desde:

- *potenciômetros* (lineares or rotativos);
- *sensores de flexão*;
- *sensores a efeito Hall* (lineares ou discretos), que fornecem uma medida de posição em pequenas dimensões por efeito magnético, como o Analog Devices AD22151;
- *acelerômetros*, que medem aceleração e inclinação em uma ou mais dimensão, como o Analog Devices ADXL 202 (2 eixos),
- *gyroscópios*, que medem velocidades angulares, como o Analog Devices ADXRS 300;
- *sensores de ultrasom*, e.g. sistemas de medida de posição em 3 dimensões (Lima et al., 1996; Fléty, 2000), ou o dispositivo de medida de movimento descrito por Taelman (2002);
- *sensores infravermelho*, como o Sharp GP2D12, que utiliza um emissor e um receptor infravermelhos em um mesmo dispositivo e mede distâncias de um objeto ao sensor entre 10 e 80 cm, ou os sensores utilizados no Buchla Lightning II;
- *sensores capacitivos* (Paradiso e Gershenfeld, 1997), etc.

Alguns sensores medem ao mesmo tempo força e posição, como o potenciômetro linear Standard CPS² 155 FSR da LuSense, utilizado por Goto (2000) e Hewitt e Stevenson (2003).

⁹ Por questões de espaço, não discutirei sistemas baseados em câmeras de vídeo, como o VNS e o *EyesWeb*, que entretanto são muito utilizados em instalações musicais interativas.

Circuitos de Condicionamento de Sinais:

Os circuitos de condicionamento de sinais são necessários para transformar o sinal de saída de um sensor de modo que este esteja de acordo com as necessidades do sistema de medida. Exemplos da utilização de circuitos de condicionamento incluem a linearização do sinal de saída de um sensor, a amplificação do nível do sinal, entre outras.

Alguns sensores já apresentam seus sinais de saída em formato digital e assim não necessitam de condicionamento.

Outros sensores já incluem o circuito necessário, como o Sharp GP2D12, onde seu sinal de saída já é uma tensão no padrão do sinal de entrada da maioria das interfaces entre sensores e MIDI ou OSC, como o I-Cube Digitizer (Mulder, 2000).

Sensores como o FSR, sensores de flexão, e por exemplo, resistores dependentes de luz (LDR – light dependent resistor), necessitam de um simples divisor de tensão, consistindo geralmente em um amplificador operacional (como por exemplo o μA 741) e alguns resistores.

Evidentemente, os circuitos de condicionamento podem ser mais complicados. Não podemos descrever aqui os vários circuitos disponíveis; o leitor então é convidado a consultar livros especializados como o de Pallàs-Areny e Webster (2001).

Interfaces Sinais Analógicos X Protocolos MIDI ou OSC:

Finalmente, uma vez obtidos os sinais analógicos, necessita-se converter estes sinais em dados a serem enviados a um sintetizador ou a um computador. Estes dados são sinais digitais que seguem protocolos de comunicação especiais como o MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ou o OSC (Open Sound Control) (veja Wright and Freed, 1997), um protocolo mais recente, mais flexível que a norma MIDI e que não necessita de conectores especiais, pois utiliza conectores e cabos de rede compatíveis com praticamente todos os computadores mais recentes.

Várias interfaces sensores-MIDI/OSC estão disponíveis comercialmente, como, por exemplo:

- *SensorLab*, da Steim (Holanda)
- *MicroLab*, um sistema baseado no SensorLab
- *Digitizer/I-Cube*, de Infusion Systems (Canada) (Mulder, 2000)
- *MiniDig*, de Infusion Systems
- *AtoMIC Pro*, do IRCAM (França) (Fléty, 2002)
- *EoBody*, um sistema derivado da AtoMIC Pro (Fléty, 2003)
- *MIDICreator*, do York Electronics Centre (Reino Unido)
- *Kroonde e Toaster*, da Kitchen (França) (Coduys et al., 2004)
- *Kit PAiA* (Estados Unidos)
- *Teleo*, de Making Things (Estados Unidos)

Assim como uma nova interface desenvolvida na IRCAM (Ethersense) que, tal qual a *Kroonde* e a *Toaster*, utilizará tecnologia de redes (Fléty et al. 2004), entre várias outras.

Estas interfaces variam em preço e funcionalidade, como entrada para vários sensores analógicos (normalmente entre 8 e 32), entradas e saídas digitais, facilidades de programação on-board, etc.

Por exemplo, a *Kroonde* e a *Toaster* (Coduys et al., 2004), da Kitchen, podem enviar sinais no formato MIDI ou OSC (7 ou 10 bits para a *Kroonde* e 16 bits de resolução para a *Toaster*). A *Kroonde* é uma interface sem fio, onde os sensores são colocados em um transmissor que pode ser utilizado a vários metros da unidade de tratamento de sinais.

É também possível desenvolver uma interface sensores-MIDI/OSC de baixo custo, com a utilização de microcontroladores como o Basic Stamp (Verplank et al. 2001), PIC, Atmel (Wilson et al. 2003), entre outros. Necessita-se, neste caso, de conhecimentos de programação de microcontroladores (normalmente linguagem C ou Basic, no caso do Basic Stamp), mas o esforço é compensado pelo tamanho reduzido da interface (que pode ser inserida no controlador gestual), o baixo custo e a flexibilidade da programação.

Exemplos de Algumas Interfaces Gestuais Desenvolvidas:

Mostraremos em seguida três exemplos de dispositivos utilizando sensores que foram desenvolvidos recentemente na Universidade McGill.

O primeiro exemplo é um novo instrumento musical digital que foi criado por Pierre-Yves Fortier em um projeto de fim de curso de graduação em tecnologia da música, inspirado na luva de dados desenvolvida por Butch Rovin (Depalle et al., 1997) e no *Hands* de Michel Waisvisz.

Pierre-Yves utilizou diversos sensores, entre eles FSRs, o LuSense CPS² 155, sensores de flexão, o sensor de posição por infravermelhos Sharp GP2D12, além de outras interfaces gestuais como o *AirFX*, para criar um sistema de luvas de dados que controla um sampler em tempo real desenvolvido em Max/MSP.

As luvas têm sensores FSR nas pontas dos dedos, um sensor de flexão em um dos dedos, o Sharp GP2D12 no pulso, um CPS² 155 inserido em uma T-shirt, além de várias chaves on-off. Os dados de todos os sensores são enviados a uma interface sem fio *Kroonde* e por Open Sound Control até um computador portátil Macintosh que roda Max/MSP.

Com este sistema, Pierre-Yves consegue controlar diversas características sonoras, como a escolha da amostra a ser tocada, a velocidade de leitura do buffer onde o som está colocado, a direção da leitura, a região do buffer a ser lida, o número de vozes a cada instante, entre outras.

<inserir fotos Pierre-Yves>

Figuras 1 e 2: Pierre-Yves Fortier e suas luvas de dados durante a Conferência NIME03, em Montreal, Maio de 2003.

O segundo exemplo é a interface criada por Geoff Holbrook, estudante de mestrado em composição participante do curso Instrumentos musicais digitais: tecnologia, performance e

composição (*Digital Musical Instruments: Technology, Performance and Composition*), coordenado pelo autor e pelos professores D'Arcy Philip Gray e Sean Ferguson e oferecido pela primeira vez no inverno 2003 na Universidade McGill.

Geoff desenvolveu uma interface usando sensores de ultra-som para medir a distância entre as mãos de um instrumentista. O princípio é similar ao utilizado por Waisvisz no *Hands*, mas Holbrook não mede o *tempo* que um pulso de ultra-som leva para atravessar a distância entre o transmissor e o receptor, mas a *intensidade* de uma onda senoidal de frequência 40 kHz.

A medida da intensidade ao invés do tempo de trânsito (*transit time*) possibilita o uso de interfaces simples, como a *MOTU828 mkII*, sem a necessidade de se desenvolver circuitos especializados ou a utilização de microcontroladores/microprocessadores. O problema neste caso é que, devido a alta direcionalidade dos transdutores de ultra-som utilizados, foi necessária a utilização de uma mola entre as interfaces em cada mão, a fim de manter os transdutores posicionados corretamente.

<inserir fotos Geoff Holbrook>

Figuras 3 e 4: O instrumento desenvolvido por Geoff Holbrook (duas cópias) e sua utilização durante um ensaio antes da apresentação de fim de curso. As instrumentistas são Louise Campbell (esquerda) et Elisabeth Leblanc (direita).

Finalmente, Mark Zadel e Paul Kosek, estudantes de mestrado em tecnologia da música, desenvolveram uma interface “maleável” que também mede inclinação, aceleração e velocidade angular usando 3 acelerômetros e um giroscópio como projeto do curso Interação homem-máquina: controle gestual da música para computador em tempo real (*Human-Computer Interaction: Real-time Gestural Control of Computer Music*), ministrado pelo autor.

Uma idéia é utilizar esta interface para produzir sons percussivos (graças à medida de aceleração em três eixos) e modificar estes sons através da medida da inclinação do dispositivo (em 2 eixos), da rotação lateral (medida pelo giroscópio) e dos valores dos vários sensores de flexão colocados em forma matricial.

Os sinais dos sensores são enviados a uma interface AtoMIC Pro que por sua vez envia sinais MIDI a um computador Linux PC rodando Pure Data (PD) (Puckette, 1996).

<inserir foto Zadel>

Figura 5: Mark Zadel e sua interface “maleável”. Os acelerômetros e o giroscópio não são mostrados na figura.

Estas três interfaces gestuais são exemplos de sistemas desenvolvidos por estudantes em poucos meses como partes de projetos práticos em cursos. Mesmo sendo simples, estas interfaces possibilitam um controle musical expressivo, mas obviamente requerem aprendizado e prática musical.

Um dos fatores que influenciam a expressividade de um instrumento musical digital é a escolha da correspondência entre sinais dos sensores e as variáveis de controle do algoritmo de síntese sonora utilizado.

Mapeamento funcional

Esta correspondência entre sinais dos sensores e as variáveis do algoritmo de síntese sonora (Wanderley, 2002^a) é uma parte essencial no projeto de novos instrumentos musicais digitais (Hunt et al., 2003), sendo uma das responsáveis pelo potencial de expressividade do instrumento (Rovan et al. 1997).

Pode-se estabelecer esta correspondência de várias formas: *implicitamente*, como por exemplo através de métodos com redes neurais, ou *explicitamente*, definindo-se cada relação entre os dois conjuntos de variáveis.

Mas como implementar esta correspondência? Por que associar uma variável gestual a uma determinada variável de síntese e não a outra? Por que ter associações do tipo um-para-um (*one-to-one*), ao invés de associações mais complexas onde duas ou mais variáveis gestuais controlam uma variável de síntese (*many-to-one*) ou o contrário (*one-to-many*)? Ou então uma combinação das opções acima? (Iazzetta, 2000)

No caso de interfaces gestuais que simulam instrumentos acústicos existentes, já se sabe de antemão qual o tipo de correspondência que se procura. Por exemplo, no caso da utilização de um controlador WX7 da Yamaha – uma interface gestual que imita um saxofone, sem a geração de sons – usando síntese aditiva, sabe-se que se necessita de correspondências onde o valor da pressão dos lábios sobre a palheta (de plástico e que não vibra) e o valor do sopro do instrumentista interajam de forma não-linear para controlar a amplitude do som resultante, assim como o timbre. Em um instrumento musical digital simulando uma clarineta, isto pode ser feito em software, sem alterar a interface gestual pela adição de novos sensores nem o algoritmo de síntese sonora (Rovan et al. 1997).

Mas o que fazer no caso de uma interface gestual “alternativa”, isto é, uma interface que não apresenta uma semelhança com instrumentos existentes? Neste caso, não existem modelos pré-estabelecidos e normalmente a correspondência é definida pelo método de tentativa e erro. Uma possível saída para este caso é a utilização de metáforas de controle, como proposto por Gadd e Fels (2002), mas ainda há muito a ser estudado com relação à definição de estratégias de mapeamento funcional para instrumentos musicais digitais.

Discussão

Existem várias questões sobre o estado atual da concepção e utilização de instrumentos musicais digitais. Por exemplo, por que não existem mais opções de interfaces gestuais e instrumentos musicais digitais disponíveis no mercado? Por que os sintetizadores comerciais, na sua maioria, ainda estão baseados em teclados imitando pianos? Por que esta situação continua se a tecnologia para desenvolver novas interfaces gestuais é disponível, e vários projetos inovadores já foram propostos? Não há respostas simples para tais questões,

mas aproveito para comentar alguns problemas que dizem respeito aos instrumentos digitais.

O primeiro é a questão da *perenidade*. Até quando poderemos utilizar um instrumento musical digital sem que sejam necessários ajustes importantes para adaptá-lo às tecnologias mais atuais, principalmente com respeito ao software utilizado? Qual o nível de esforço necessário para desenvolver tais ajustes?

Outra questão importante é a *disponibilidade* da interface e o *repertório*. Como poderemos nos interessar e começar tocar um instrumento que não está disponível ou que para o qual não existem exemplos musicais variados? Muitas vezes, os instrumentos musicais digitais existem em exemplares únicos e os exemplos sonoros disponíveis são gerados por um mesmo instrumentista. Como então apreciar a flexibilidade de tal instrumento? Isto é, como saber se um determinado instrumento é versátil se só se ouviu música tocada por um mesmo instrumentista que normalmente também é o compositor das peças tocadas?

A situação está mudando com o crescimento das atividades relacionadas a novas interfaces gestuais. Prova disso é a criação de cursos em universidades que estudam e desenvolvem novos instrumentos musicais digitais – por exemplo, Stanford, Princeton, MIT Media Laboratory, University of British Columbia, McGill, New York University, University of York, Leeds University, Queensland University of Technology, e o Núcleo Interdisciplinar de Comunicações Sonoras (NICS – UNICAMP), entre várias outras – o número de publicações e livros sobre o assunto (veja Wanderley e Battier, 2000), e principalmente a recém criada Conferência Internacional *New Interfaces for Musical Expression - NIME* (www.nime.org), que é dedicada a esta área de pesquisa. Em seu quarto ano, a conferência NIME já atrai centenas de pesquisadores, músicos e criadores de instrumentos de vários países, já percorreu três continentes (NIME01 em Seattle, NIME02 em Dublin, NIME03 em Montréal e NIME04 em Hamamatsu) e apresenta o estado da arte nesta disciplina, incluindo concertos e demonstrações de novos instrumentos.

Quanto ao *projeto de instrumentos musicais digitais*, existem metodologias que indicam direções a seguir? Qual a linha de separação entre um novo instrumento musical digital e um “brinquedo” (no sentido da palavra inglesa *gadget*)?

Não basta colocar sensores em objetos comuns para se criar instrumentos. Vários dos instrumentos citados acima foram projetados para proporcionar opções para problemas musicais (e.g. *The Hands*). A colocação arbitrária de sensores em objetos pode dar a luz a interessantes objetos que podem ser muito úteis em várias situações, até mesmo musicais, mas não é evidente que estes dispositivos possam ser utilizados como instrumentos musicais (Wessel e Wright, 2002).

Em realidade, não existem regras pré-definidas para o projeto de interfaces gestuais e de novos instrumentos musicais digitais. Pode-se desenvolver um dispositivo para uma determinada idéia composicional (Cook, 2001), a partir de metáforas de controle (Gadd e Fels, 2002), ou mesmo arbitrariamente.

Também não existe uma relação direta entre a complexidade da interface gestual e o potencial expressivo do instrumento resultante. A idéia de que quanto mais graus de liberdade (i.e. mais sensores) leva forçosamente a um instrumento com mais expressividade não está provada (e provavelmente está errada).

Não devemos esquecer que a tecnologia é uma ferramenta que nos auxilia a expressar idéias novas (ou idéias antigas sob novas formas), mas não é o objetivo final do processo. Mesmo com um instrumento digital, ainda há espaço para a prática musical. Sem ela, o que se vê são demonstrações das possibilidades técnicas de dispositivos.

Finalmente, não vejo como instrumentos musicais digitais poderão um dia “substituir” os instrumentos acústicos, ou pior, os instrumentistas. Espero sim que estes possam vir a ser tão expressivos quanto os instrumentos acústicos que conhecemos, quando nas mãos de músicos excepcionais. Isso já acontece em alguns casos, como nas performances de Michel Waisvisz, que pode ser considerado um virtuoso do *Hands*.

Desta forma, haverá sempre espaço para o músico na utilização criativa da tecnologia, mesmo se estamos falando de um tipo de músico diferente do que conhecemos hoje em dia.

Agradecimentos

Agradeço a Beatriz Ilari pelo convite para escrever este capítulo e pela insistência em vê-lo terminado. Muito do material aqui apresentado resultou de discussões com vários pesquisadores e músicos nos últimos vários anos, aos quais sou muito grato.

Parte deste trabalho foi suportado pelos fundos de pesquisa McGill Individual New Researcher, FQRNT (Fonds Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies), CFI (Canadian Foundation for Innovation) e NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) através de financiamentos a projetos de pesquisa individuais e ao Laboratório de Processamento e Controle de Sons (SPCL), Universidade McGill.

Referências

- Blaine, T., and C. Forlines. “JAM-O-WORLD: Evolution of the Jam-O-Drum into the Jam-O-Whirl Gaming Interface.” In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 17-22, 2002.
- Bongers, B. “Physical Interfaces in the Electronic Arts. Interaction Theory and Interfacing Techniques for Real-time Performance.” In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. IRCAM - Centre Pompidou, pp. 41-70, 2000.
- Boulanger, R., and M. V. Mathews. “The 1997 Mathews' Radio Baton and Improvisation Modes.” In *Proceedings of the 1997 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 395-398, 1997.
- Cadoz, C., A. Luciani, and J. L. Florens. “Responsive Input Devices and Sound Synthesis by Simulation of Instrumental Mechanisms: The Cordis System.” *Computer Music Journal* 8(3): 60-73, 1984.

- Cadoz, C. "Instrumental Gesture and Musical Composition." In *Proceedings of the 1988 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 1-12, 1988.
- Cadoz, C., L. Lisowski, and J. L. Florens. "A Modular Feedback Keyboard Design." *Computer Music Journal* 14(2):47-51, 1990.
- Cadoz, C, and M. Wanderley. "Gesture-Music." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. IRCAM - Centre Pompidou, pp. 71-93, 2000,
- Camurri, A. "Interactive Dance/Music Systems." In *Proceedings of the 1995 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 245-252, 1995.
- Camurri, A., P. Coletta, M. Peri, M. Ricchetti, A. Ricci, R. Trocca, and G. Volpe. "A Real-time Platform for Interactive Dance and Music Systems." In *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 262-265, 2000.
- Chadabe, J. *Electric sound - the Past and Promise of Electronic Music*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 336 p., 1997.
- Coduys, T., C. Henry, and A. Cont. "TOASTER and KROONDE: High-Resolution and HighSpeed Real-time Sensor Interfaces." *Proceedings of the 2004 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME04*, 2004.
- Cook, P. "Principles for Designing Computer Music Controllers." Presented at the NIME Workshop - CHI 2001.
- Davaïdson, J. "Virtual Performance of Music on a Real-time Platform." *Proceedings of the 2004 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME04*, 2004.
- Delaunay, F. "L'analyse des gestes et de la gestuelle." In *Proceedings of the 2004 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME04*, 2004.
- Depalle, P., S. Tassart and M. Wanderley. "Instruments Virtuels". *Résonance*, number 12, pp. 5-8, 1997.
- Dodge, C. and T. A. Jerse. *Computer Music. Synthesis Composition, and Performance*. 2nd Edition. Schirmer - Thomson Learning, 1997.
- Egozy, E. B. "Deriving Musical Control Features from a Real-Time Timbre Analysis of the Clarinet." *Master's thesis*. Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- Fléty, E. "3D Gesture Acquisition Using Ultrasonic Sensors." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: IRCAM – Centre Pompidou, pp. 193-207, 2000.

- Fléty E. "AtoMIC Pro: A Multiple Sensor Acquisition Device." In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 96-101, 2002.
- Fléty, E. and M. Sirguy. "EoBody: a Follow-up to AtoMIC Pro's Technology." In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME03*, pp. 225-226, 2003.
- Fléty, E., N. Leroy, J.-C. Ravarini, and F. Bevilacqua "Versatile sensor acquisition system utilizing Network Technology." In *Proceedings of the 2004 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME04*, 2004.
- Fraden, J. *Handbook of Modern Sensors. Physics, Design and Applications*. Third Edition. New York, Springer-Verlag, 2004.
- Gadd A., and S. Fels. "MetaMuse: Metaphors for Expressive Instruments." In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 143-148, 2002.
- Gillespie, B. "The Touchback Keyboard." In *Proceedings of the 1992 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 447-448, 1992.
- Goto, S. "Virtual Musical Instruments: Technological Aspects and Interactive Performance Issues." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: IRCAM – Centre Pompidou, pp.217-229, 2000.
- Hewitt, D. and I. Stevenson. "E-mic: Extended Mic-stand Interface Controller." In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME03*, pp. 122-128, 2003.
- Huismans, C., G. Smets, and K. Overbeeke. "An Intuitive Two-Handed Gestural Interface for Computer Supported Product Design." In *Workshops on Intelligent Workspaces and Intelligent Manufacturing*. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Manufacturing Systems and Flexible Automation - ICMIS/IFAA 1998*. *Springer-Verlag*, pp. 197-208, 1998.
- Hunt, A., M. Wanderley, and M. Paradis. "The Importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design." *Journal of New Music Research*, 32(4):429-440, 2003.
- Iazzetta, F. "Meaning in Musical Gesture." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: IRCAM – Centre Pompidou, pp. 259-268, 2000.
- Knapp, R. B., and H. S. Lusted. "A Bioelectric Controller for Computer Music Applications." *Computer Music Journal* 14(1):42-47, 1990.
- Kuorteva, G. and E. Huilte. "Gestural Interfaces for Computer Music." In *Workshops on Intelligent Workspaces and Intelligent Manufacturing*. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Manufacturing Systems and Flexible Automation - ICMIS/IFAA 1998*. *Springer-Verlag*, pp. 197-208, 1998.

□C□o□m□p□u□t□e□r□ □I□n□t□e□r□f□a□c□e□ □D□e□s□i□g□n□.
□A□d□d□i□s□o□n□ □W□e□s□l□e□y□, □1□9□9□0□□.

- Lehmann, A. C. "Efficiency of Deliberate Practice as a Moderating Variable in Accounting for Sub-Expert Performance." In I. Deliège and J. Sloboda, eds. *Perception and Cognition of Music*. Psychology Press, 1997.
- Lima, G. H. T., M. Maes, M. Bonfim, M. V. Lamar, and M. M. Wanderley. "Dance-Music Interface based on Ultrasound Sensors and Computers." In *Proceedings of the 3rd Brazilian Symposium on Computer Music*, pp. 12-16, 1996.
- Lindemann, E., F. Dechelle, B. Smith, and M. Starkier. "The Architecture of the IRCAM Musical Workstation." *Computer Music Journal* 15(3):41-49, 1991.
- Machover, T. "Hyperinstruments - a Progress Report 1987 - 1991." *Technical report*. Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- Manning, P. *Electronic and Computer Music*. Second Edition. Oxford, UK: Oxford University Press, 399 p., 1993.
- Manzolini, J. "The Development of a Gesture's Interface Laboratory." In *Proceedings of the 2nd Brazilian Symposium on Computer Music*, pp. 88-91, 1995.
- Marrin, T. A. "Toward an Understanding of Musical Gesture: Mapping Expressive Intention with the Digital Baton." *Master's thesis*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- Mathews, M. V., and R. Moore. "GROOVE, a Program for Realtime Control of a Sound Synthesizer by a Computer." In *Proceedings of the 4th Annual Conference of the American Society of University Composers*, New York: ASUC, Columbia University, pp. 22-31, 1969.
- McNeill, D. *Hand and Mind: what Gestures Reveal about Thought*. The University of Chicago Press, 1992.
- Miranda, E. R., K. Sharman, K. Kilborn, and A. Duncan, "On Harnessing the Electroencephalogram for the Musical Braincap." *Computer Music Journal*, 27(2): 80-102, 2003.
- Mulder, A. *Design of Virtual Three-Dimensional Instruments for Sound Control*. PhD. thesis. Burnaby, BC, Canada: Simon Fraser University, 1998.
- Mulder, A. "Towards a Choice of Gestural Constraints for Instrumental Performers." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: IRCAM – Centre Pompidou, pp. 315-335, 2000.
- Nichols, C. "The vBow: A Haptic Musical Controller Human-Computer Interface." In *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 274-276, 2000.
- Nyce, D. S. *Linear Position Sensors: Theory and Application*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2004.

- Oboe R., and G. de Poli. "Multi-instrument virtual keyboard - the MIKEY project." In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 23-28, 2002.
- O'Modhrain, S., and C. Chafe. "The Performer-Instrument Interaction: A Sensory Motor Perspective." In *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 145-148, 2000.
- Orio, N. "A Model for Human-Computer Interaction Based on the Recognition of Musical Gestures." In *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 333-338, 1999.
- Pallás-Areny, R., and J. G. Webster. *Sensors and Signal Conditioning*. Second Edition. New-York: Wiley Interscience, 2001.
- Paradiso, J. and N. Gershenfeld. "Musical Applications of Electric Field Sensing." *Computer Music Journal* 21(2):69-89, 1997.
- Paradiso, J. "Dual-Use Technologies for Electronic Music Controllers: A Personal Perspective." In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME03*, pp. 228-234, 2003.
- Pressing, J. "Cybernetic Issues in Interactive Performance Systems." *Computer Music Journal* 14(1):12– 25, 1990.
- Pressing, J. "Some Perspectives on Performed Sound and Music in Virtual Environments." *Presence* 6(4):482–503, 1997.
- Puckette, M. "Pure Data." In *Proceedings of the 1996 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 269-272, 1996.
- Rovan, J., M. Wanderley, S. Dubnov, and P. Depalle. "Instrumental Gestural Mapping Strategies as Expressivity Determinants in Computer Music Performance." In *Proceedings of the AIMI International Workshop Kansei, The Technology of Emotion*. Genoa: Associazione di Informatica Musicale Italiana, pp. 68-73, 1997.
- Rovan, J., and V. Hayward. "Typology of Tactile Sounds and their Synthesis in Gesture - Driven Computer Music Performance." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: Ircam - Centre Pompidou, pp. 355-368, 2000.
- Schloss, W. A. "Recent Advances in the Coupling of the Language MAX with the Mathews/Boie Radio Drum." In *Proceedings of the 1990 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 398-400, 1990.
- Sloboda, J. "Music Performance." In D. Deutsch, ed. *The Psychology of Music*. Academic Press, 1982.
- Taelman J. "A low-cost Sonar Interface for Unobtrusive Man-Machine Interfacing." In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 92-95, 2002.

- Tanaka, A. "Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with Application to the Biomuse." In *Proceedings of the 1993 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp.124-126, 1993.
- Tanaka, A. "Musical Performance Practice in Sensorbased Instruments." In M. Wanderley and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: Ircam - Centre Pompidou, pp. 398-405, 2000.
- Traube, C., P. Depalle, and M. Wanderley. "Indirect Acquisition of Instrumental Gesture Based on Signal, Physical and Perceptual Information." In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME03*, pp. 42-47, 2003.
- Trueman, D., and P. Cook. "BoSSA: The Deconstructed Violin Reconstructed." In *Proceedings of the 1999 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 232-239, 1999.
- Verplank, B. 2001. "A Course on Controllers." Presented at the NIME Workshop - CHI 2001.
- Vertegaal, R., T. Ungvary, and M. Kieslinger. "Towards a Musician's Cockpit: Transducer, Feedback and Musical Function." In *Proceedings of the 1996 International Computer Music Conference*. San Francisco, CA: International Computer Music Association, pp. 308-311, 1996.
- Waisvisz, M. "The Hands, a Set of Remote MIDI-Controllers." In *Proceedings of the 1985 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 313-318, 1985.
- Wanderley, M., and M. Battier, eds. *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: Ircam - Centre Pompidou, 2000.
- Wanderley, M., N. Orio, and N. Schnell. "Towards an Analysis of Interaction in SOUND Generating Systems." Presented at the *2000 International Symposium on Interactive Arts ISEA 2000*, Paris, France, 2000.
- Wanderley, M. *Performer-Instrument Interaction: Applications to Gestural Control of Music*. PhD Thesis. Paris, France: University Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2001.
- Wanderley, M., ed. "Mapping Strategies in Real-time Computer Music. *Organised Sound* 7(2), 2002. (a)
- Wanderley, M. "Quantitative Analysis of Non-Obvious Performer Gestures." In I. Wachsmuth and T. Sowa, eds. *Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*. Springer Verlag, pp. 241-253, 2002. (b)
- Wanderley, M. and N. Orio. "Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI". *Computer Music Journal*, 26(3), pp. 62-76, 2002.
- Wanderley, M., and P. Depalle. "Gestural Control of Sound Synthesis." *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, No. 4 (April), G. Johannsen, ed., Special Issue on Engineering and Music - Supervisory Control and Auditory Communication, pp. 632-644, 2004.

- Wessel, D., and M. Wright. "Problems and Prospects for Intimate Musical Control of Computers." *Computer Music Journal* 26(3), 2002.
- Wilson, A., A. Bobick, and J. Cassell. "Recovering the Temporal Structure of Natural Gesture." In *Proceedings of the 2nd Int. Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 1996.
- Wilson, S., M. Gurevich, B. Verplank, and P. Stang. "Microcontrollers in Music HCI Instruction - Reflections on our Switch to the Atmel AVR Platform." In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME03*, pp. 24-29, 2003.
- Winkler, T. "Participation and Response in Movement-Sensing Installations." In *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 137-140, 2000.
- Wright, M. and A. Freed. "Open SoundControl: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers." In *Proceedings of the 1997 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 101-104, 1997.
- Young, G. "Hugh Le Caine's 1948 Sackbut Synthesizer: Performance Mode of Electronic Instruments." In *Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 203-212, 1984.
- Young, D. "The Hyperbow Controller: Real-Time Dynamics Measurement of Violin Performance." In *Proceedings of the 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02*, pp. 65-70, 2002.