Projeto e Utilização de Instrumentos Musicais Digitais

MARCELO M. WANDERLEY

Resumo

A introdução de computadores pessoais com grande capacidade de processamento e a baixo custo associada ao desenvolvimento contínuo de novos métodos de síntese sonora tornou possível o aparecimento de novos instrumentos digitais musicais nos quais a geração sonora é realizada pelo computador. A questão que se coloca então é como aproveitar musicalmente esta capacidade de geração sonora em tempo real. Neste capítulo apresentaremos algumas das possíveis estratégias para a criação de dispositivos de entrada de dados (novas interfaces gestuais) utilizando diversos sensores eletrônicos. Em seguida discutiremos o projeto e a utilização de interfaces gestuais em dois contextos: em situações de concerto, no âmbito do projeto Orquestra Digital e seu uso em experimentos cognitivos em *scanners* de ressonância magnética.

Introdução

Neste capítulo abordaremos o projeto de instrumentos musicais digitais utilizando exemplos de dispositivos desenvolvidos no laboratório *Input Devices and Music Interaction* (IDMIL) da Universidade McGill.

Um instrumento musical digital – IMD (do inglês, *digital musical instrument*) (WANDERLEY, 2006)(MIRANDA & WANDERLEY, 2006) pode ser definido como sendo composto de uma interface (gestual) *hardware*[1] que envia sinais de controle a algoritmos de síntese sonora[2] (LAZZARINI, 2010) através de estratégias de mapeamento ou correspondência de

[1] Ou "controlador gestual".

[2] Normalmente, na forma de algoritmos em um computador ou em sintetizadores.

parâmetros[3] pré-definidas (WANDERLEY & DEPALLE, 2004). Alem de sons, outros tipos de sinais podem ser gerados/controlados por um IMD como outros tipos de mídia (e.g. vídeo), vibrações mecânicas, forças, etc.

Este fato é importante na diferenciação entre IMDs e instrumentos musicais acústicos: no segundo caso, sons são produzidos devido às características acústicas de seus elementos vibrantes. Como nos IMDs em princípio não existem elementos vibrantes, mas algoritmos em um computador, também não existe uma relação pré-definida entre causa (por exemplo, o movimento vertical de uma tecla) e efeito (o som de uma corda excitada por um martelo de piano) e esta relação tem que ser construída pelo inventor do instrumento. Desta forma, não há limites quanto ao tipo de relação a adotar[4] ou ao tipo de mídia a ser controlada.

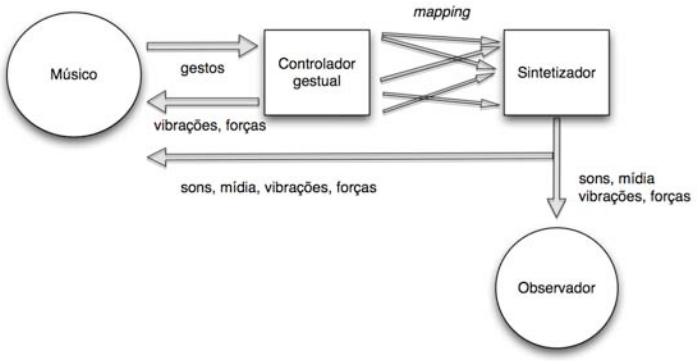

Fig 1: Um representação de um IMD.

Com relação à interface de controle, esta pode, mas não precisa, ser semelhante a instrumentos acústicos existentes (JORDÀ, 2005). Com efeito, ela pode nem mesmo existir fisicamente e neste caso diríamos um "instrumento musical virtual" (do inglês, *virtual musical instrument*) (MULDER, 2000). Graças a sua inerente flexibilidade, IMDs também podem ser

[3] Do inglês, *mapping*.

[4] Por exemplo, um mesmo movimento de um musico tocando um IMD pode produzir efeitos opostos.

multiusuários, onde várias pessoas tocam um mesmo instrumento, como no caso da *ReacTable** (JORDÀ, 2003). Também não existem mais limitações quanto ao tamanho destas interfaces ou a sua distribuição espacial. Uma interface pode estar em um mesmo local físico ou a vários quilômetros de distância, onde usuários interagem via dados enviados pela internet (BARBOSA, 2010), como no caso da *Global String* (TANAKA & BONGERS, 2001).

Como podemos ver, praticamente não existem limitações ao projeto de interfaces, nem tampouco quanto aos sons a serem gerados, ou mesmo às estratégias de correspondência de parâmetros entre sinais de controle da interface e variáveis de entrada dos algoritmos de síntese sonora. Como então decidir quais direções tomar no projeto de novos instrumentos musicais digitais?

Neste capítulo, nós discutiremos o projeto e a utilização de instrumentos musicais digitais. Na primeira parte discutiremos alguns exemplos de interfaces e de instrumentos desenvolvidos no IDMIL. Na segunda parte discutiremos vários aspectos do uso destes dispositivos em diferentes contextos.

Projeto de Interfaces Gestuais e Instrumentos Musicais Digitais

Nesta seção, discutiremos alguns exemplos de interfaces gestuais clássicas e vários exemplos de dispositivos criados no laboratório IDMIL, focalizando-nos mais especificamente nas questões tecnológicas destes projetos.

Ponto de Partida

Como dissemos, não existem regras definidas para o projeto de interfaces de controle, para a escolha dos sons a serem controlados ou para o mapeamento entre ambos. Como então decidir qual forma estes terão?

Uma maneira de resolver este problema é a utilização de objetos do dia-a-dia associados a sensores diversos, ou partir de uma idéia composicional para tal instrumento (COOK,

2001), ou ainda de uma metáfora de controle (WESSEL & WRIGHT, 2002)(FELS, GADD & MULDER, 2002).

Por exemplo, Michel Waisvisz—o finado diretor do Centro STEIM em Amsterdam e provavelmente o maior virtuoso de instrumentos digitais—queria tocar (manipular) sons com as mãos. O resultado foi a criação da interface *Hands* (WAISVISZ, 1985). Esta interface é composta de dois dispositivos em madeira que o intérprete utiliza como luvas em suas mãos. A distância entre estas é medida utilizando-se sensores de ultrasom e a sua orientação usando-se sensores de inclinação (*tilt*), além do uso de várias chaves liga-desliga para selecionar *presets*, por exemplo. Em várias oportunidades Waisvisz também utilizava um microfone para gravar sua voz ou ruídos da sala de concerto (por exemplo, uma salva de palmas), que eram então manipulados usando a interface *Hands*. Os sons utilizados, alem das amostras sonoras, poderiam também incluir outros métodos de geração sonora, como a síntese por modulação de freqüência.

Fig 2: Michel Waisvisz com a interface *Hands* em sua palestra convidada na conferência *New Interfaces for Musical Expression* (NIME03) em 24 de maio de 2003, na Universidade McGill (foto a partir do vídeo da apresentação gravado por Eileen TenCate).

É interessante observar que basicamente os mesmos gestos de Waisvisz poderiam ser capturados por outros sensores, ou por outras interfaces. Por exemplo, a distância entre as mãos poderia ser medida com sensores de luz infravermelha (IR) e a inclinação das mãos com acelerômetros. De fato, os movimentos de Alex Nowitz, que realiza

performances com dois *Wiimotes* e um microfone[5], muitas vezes lembram os movimentos nas performances de Waisvisz, mas desta vez utilizando interfaces comerciais.

Um exemplo clássico de evolução técnica de uma interface é o caso do *Continuum*, de Lippold Haken (HAKEN, ABDULLAH & SMART, 1992), uma interface do tamanho aproximado de um teclado de piano, mas oferecendo a possibilidade de se medir a posição de um ou mais dedos continuamente em três dimensões: X, Y e Z. A idéia por trás do conceito do *Continuum* era a de se criar uma superfície sensível ao toque para o controle de processos musicais. A primeira versão da interface usava uma câmera de vídeo para captar a posição de dedos quando este tocavam uma superfície transparente iluminada por uma fonte de luz. As posições dos dedos criavam padrões circulares que eram identificados pela câmera. Devido a problemas de implementação desta tecnologia nos anos 80 (aquecimento da superfície, lentidão na análise dos padrões, sobreposição dos padrões de dedos colocados próximos), uma segunda tecnologia foi desenvolvida para implementar a mesma idéia: borracha condutora. Colocando-se fibras condutoras verticalmente em uma placa de borracha, esta pode medir a pressão e a posição dos dedos de um músico, esta última graças a uma matriz de contatos colocada sob a borracha. Mesmo se esta tecnologia funcionou melhor do que a primeira opção, ainda assim não se pode comercializar a interface pois a placa de borracha não era suficientemente confiável, isto é, as fibras se partiam com uma utilização prolongada impedindo as medidas de pressão e de posição nas regiões onde isto acontecia. Finalmente uma terceira tecnologia foi desenvolvida, utilizando-se finas barras metálicas sob uma camada de material flexível. Estas barras, quando pressionadas, movem-se em ambas as extremidades. Sensores a efeito *Hall* e imãs são colocados sob cada extremidade de cada barra. Assim, quando um músico aplica uma pressão com um ou mais dedos, as barras sob os dedos vão se deslocar e este deslocamento será medido pelos sensores. Note-se que, neste caso, a medida da posição no eixo horizontal

[5] Por exemplo: http://steim.org/jamboree08/?p=663 (acessado em 12 de março de 2010)

(X) não é mais contínua, mas discreta (várias barras independentes). Para se obter uma medida contínua do movimento em X necessita-se interpolar os valores obtidos pelas barras próximas ao(s) ponto(s) de contato. Esta terceira implementação foi finalmente comercializada por Haken[6] desde o fim dos anos 90.

Mas além das características puramente técnicas do projeto de interfaces e do design sonoro, já em 1985, Waisvisz escrevia que depois de se decidir as questões técnicas, era o momento de se aprender a tocar o novo instrumento. Quem teve a oportunidade de vê-lo ao vivo em concertos, ou mesmo por vídeo[7], ficou provavelmente impressionado por sua maestria no controle de seu instrumento.

Este é um fato importante na performance com novos IMDs: por mais que se aperfeiçoem as questões técnicas, um músico terá que desenvolver uma prática instrumental para seu instrumento (BUTLER, 2008). Mas como desenvolver uma técnica instrumental para um instrumento sem história alguma e/ou para o qual não existem métodos de ensino? Discutiremos estas questões na segunda parte deste capítulo.

Exemplos de Interfaces Gestuais Desenvolvidas no IDMIL

Nesta seção discutiremos cinco projetos de interfaces gestuais e de IMDs desenvolvidos no laboratório IDMIL da Universidade McGill: *Gyrotyre*, *Rulers*, *T-Stick*, *T-Box* e um teclado derivado de um piano. Estes exemplos variam de instrumentos desenvolvidos para a expressão musical a interfaces criadas para experimentos médicos em *scanners* de ressonância magnética, entre outras[8].

Gyrotyre

O *Gyrotyre* (SINYOR & WANDERLEY, 2006) é baseado em uma roda de bicicleta que pode ser manipulada segurando-

[6] *Haken Audio* - http://www.cerlsoundgroup.org/Continuum/ (acessado em 15 de fevereiro de 2010)

[7] www.youtube.com/ e procurar por "waisvisz" (acessado em 12 de março de 2010)

[8] Vários outros projetos são descritos em: www.idmil.org/projects/ (acessado em 12 de março de 2010)

a a partir de um manete acoplado a esta. Neste caso, mede-se a velocidade de rotação da roda com um giroscópio e/ou com sensores de luz infravermelha ou de efeito *Hall*, sua inclinação em dois eixos com um acelerômetro, a força com que se segura o manete com resistores sensíveis à força aplicada (do inglês, *Force Sensing Resistors* – FSRs), além de chaves liga-desliga.

O uso de múltiplos sensores para medir a velocidade de rotação da roda de bicicleta se explica pelas limitações técnicas de cada tipo de sensor. Por exemplo, o giroscópio usado mede ao máximo rotações de 300˚/s, quer dizer, menos de uma volta por segundo. Por outro lado, ambos os sensores de infravermelho e de efeito *Hall* podem medir vários pulsos a cada volta, dependendo do número de emissores e de receptores colocados sobre a roda[9].

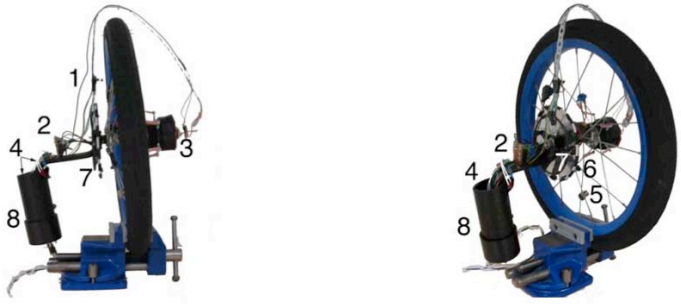

Fig 3: o *Gyrotyre*, de Elliot Sinyor. As partes indicadas na figura são: 1) sensor a efeito *Hall*, 2) acelerômetro, 3) giroscópio, 4) resistor sensível à força, 5) imã (utilizado com o sensor a efeito *Hall*), 6) fotodiodo, 7) suporte circular para os fotodiodos(um diodo emissor de luz é colocado na roda) e 8) manete (SINYOR & WANDERLEY, 2006).

[9] Por exemplo, se colocarmos um diodo emissor de luz infravermelha (*LED* IR) e um fotodiodo receptor de IR, a cada volta completa da roda teremos um pulso quando ambos se posicionam face à face. Se por acaso utilizarmos múltiplos emissores (ou múltiplos receptores), por exemplo 2 emissores, teremos múltiplos pulsos (e.g. 2 pulsos) por volta, e assim por diante. O mesmo é válido para o caso de sensores a efeito *Hall*, onde se utilizariam sensores e imãs. Em ambos os casos, esta solução é interessante para velocidades angulares elevadas, i.e. várias voltas por segundo. Para se medir baixas rotações, o sinal contínuo do giroscópio é mais indicado.

A idéia por traz desta interface era a de se utilizar sistemas mecânicos com propriedades dinâmicas próprias (SINYOR, 2006). Como a roda gira em torno de um eixo, um movimento perpendicular a este eixo vai causar uma resposta equivalente no terceiro eixo (precessão), perpendicular a estes dois, devido à lei de conservação do momento angular (FRADEN, 2004). Este fenômeno está na base do desenvolvimento de giroscópios mecânicos no século XIX, daí o nome escolhido para interface: *Gyrotyre*.

Como a interface tem um comportamento dinâmico próprio[10], o usuário deve levar em conta este comportamento quando tocar um IMD que a utiliza. De modo similar ao que acontece com instrumentos acústicos quando se muda de registro, por exemplo, em uma clarineta, o músico deve adaptar seus gestos para manter uma continuidade sonora (nível sonoro, freqüência e timbre) entre registros. O mesmo se aplica ao *Gyrotyre*: movendo-se a interface em diferentes direções causa efeitos distintos, forçando o músico a adaptar seu gesto ao comportamento da interface. O objetivo final é se obter mais expressividade na performance graças a este comportamento dinâmico e ao aprendizado do músico para controlá-lo.

Rulers

A interface *Rulers* é composta de várias "réguas" ou hastes metálicas de diferentes comprimentos e foi desenvolvida por David Birnbaum (MALLOCH, BIRNBAUM, SINYOR & WANDERLEY, 2006). Abaixando-se ou levantando-se estas hastes, assim como percutindo-as, suas vibrações e diferentes posições são captadas por sensores infra-vermelhos colocados abaixo delas.

Deste modo, pode-se tocá-la de um modo similar a um carrilhão de igreja, ou seja, percutindo as hastes, ou modulando continuamente para cima ou para baixo suas posições quando as pontas destas são seguradas com os dedos, ou mesmo com os braços.

[10] Isto é, não é completamente passiva mas também não utiliza motores para gerar energia mecânica.

Fig 4: Esquerda: *T-Box*, de Geoff Holbrook, Eileen TenCate e Mark Marshall. Os quatro receptores de ultrasom são colocados na caixa de madeira. Os dois emissores estão colocados nas tiras em cada mão. Direita: *Rulers*, de David Birnbaum. Cada haste metálica (alumínio) oscila de maneira diferente devidos as vários comprimentos (Fotos de Vanessa Yaremchuk, musico: Fernando Falci de Souza)

T-Stick

A idéia por trás do *T-Stick*, desenvolvido por Joseph Malloch (MALLOCH & WANDERLEY, 2006), era a de se construir uma interface em forma de bastão que fosse sensível ao toque em toda a sua superfície. Alguns dos principais requisitos do projeto eram:

- *Metáfora de controle*: interação com uma corda ou barra virtual, com a possibilidade de se excitar ou atenuar a vibração destas estruturas;
- *Sensores e mapeamento deveriam ser definidos de forma integral*, isto é, capazes de medir gestos de maneira simultânea e de forma inter-relacionada;
- *Simplicidade de operação*: a interface deveria ser simples de ser operada, tal como um instrumento elétrico;
- *Robustez*: a interface deveria poder ser tocada durante várias horas por dia sem que esta parasse de funcionar.

O primeiro *T-Stick* foi construído a partir de um tubo plástico de 120 cm dividido em dois, de forma a colocar os dispositivos eletrônicos dentro do tubo.

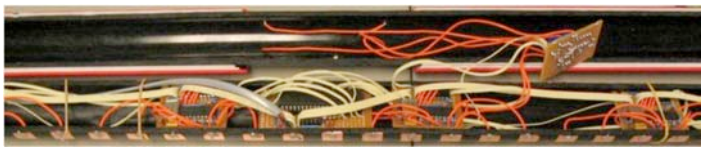

Fig 5: Vista parcial dos circuitos e conexões dentro de um *T-Stick*. (Foto de Joseph Malloch)

Vários sensores capacitivos (campo elétrico) discretos (liga-desliga) são utilizados para medir se o músico toca um ponto determinado da interface, sendo o número final de sensores dependente da resolução esperada. Tiras de cobre são usadas como eletrodos destes sensores e cobrem a superfície de um dos lados do tubo.

Fig 6: O primeiro *T-Stick* construído. (Foto de Joseph Malloch)

Outros sensores utilizados são: dois acelerômetros (de 3 eixos cada) colocados em cada extremidade do tubo, sensores de pressão feitos com papel condutor (KOEHLY, CURTIL & WANDERLEY, 2006) na metade do tubo onde não são colocados sensores capacitivos, e um cristal piezo-elétrico colado ao tubo para medir tensões na estrutura resultantes de torções e impactos.

Uma outra característica importante do projeto de desenvolvimento do *T-Stick* era a utilização da idéia de "famílias de instrumentos"[11] no contexto de interfaces gestuais de IMDs (MALLOCH, 2007). No caso do *T-Stick*, foram criados diversos modelos da interface de controle com diferentes dimensões (*T-Stick* tenor e *T-Stick* soprano), resoluções (24 ou 48 eletrodos para sensores capacitivos em uma mesma distância), saídas de dados (cabo USB ou sem fio), ou variações em alguns dos tipos de sensores utilizados. Por exemplo, um dos *T-Stick* recentemente construído utiliza, além dos sensores descritos acima, sensores de luz ambiente (resistores sensíveis à luz), sensores de sopro e sensores de proximidade utilizando luz infravermelha.

Uma nova geração de *T-Sticks* utiliza sensores inerciais e de posição (giroscópio e compasso eletrônico), além dos acelerômetros, para indicar a orientação espacial da interface em tempo real. Este *T-Stick* foi construído para um projeto[12] envolvendo um dançarino que utilizava esta interface enquanto dançava para *espacializar* sons gerados por um violoncelo em um ou mais de 16 alto-falantes distribuídos no espaço da performance.

Independentemente do tipo de *T-Stick*, todas as interfaces gestuais compartilham as mesmas características básicas descritas acima e podem assim ser tocadas de forma similar. Obviamente, a questão dos timbres produzidos por uma mesma família de instrumentos acústicos não se aplica ao caso dos IMDs.

T-Box

A história da *T-Box* começou com o compositor Geoff Holbrook. A interface original utiliza sensores de ultrasom para medir a distância entre as mãos de um músico (MIRANDA & WANDERLEY, 2006, pg. 128) de maneira similar as *Hands* de

[11] Por exemplo, a família das cordas, composta pelos violinos, violas, violoncelos e contrabaixos. Estes vários instrumentos musicais têm características comuns (o uso de cordas que serão excitadas por um arco ou pelos dedos) e são tocados de modo similar.

[12] Coordenado pelo compositor Sean Ferguson e pela coreógrafa Isabelle Van Grimde.

Michel Waisvisz. Holbrook usou a medida da intensidade do sinal de ultrasom emitido (40kHz) por um canal de uma placa de som, contrariamente à medida do tempo de propagação de um pulso (em inglês, *time-of-flight*) que é uma técnica mais comum. A vantagem da medida de intensidade é sua simplicidade, i.e. envia-se um sinal com intensidade conhecida e mede-se este sinal na chegada. Entretanto, suas limitações incluem a não linearidade da medida assim como o fato de que a intensidade do sinal diminui tanto com um aumento da distancia emissor-receptor quanto com uma variação no ângulo de um deles com relação à linha imaginária que os une.

A versão utilizada no projeto Orquestra Digital[13] foi alterada por Holbrook e por Eileen TenCate para utilizar uma referência fixa onde os receptores são colocados. Mede-se assim a distância entre os (2) emissores, um em cada mão e os (4) receptores na referência[14]. O fato de medir tanto a distância quanto o ângulo permite o desenvolvimento de técnicas de performance onde o músico é capaz de controlar variáveis continuamente (usando principalmente a distância) ou de maneira discreta (usando principalmente o ângulo), criando assim mais condições para aumentar a expressividade no uso desta interface.

Teclado Compatível com Scanners de Ressonância Magnética

O projeto de interfaces musicais para o uso em situações medicais traz novos desafios para o projetista. Neste caso, fomos contatados pelo neurologista Robert Zatorre (Instituto Neurológico de Montreal, Universidade McGill) e pela psicóloga Virginia Penhune (Universidade Concórdia) para saber se seria possível desenvolver instrumentos musicais digitais compatíveis com exames de ressonância magnética.

Um *scanner* de ressonância magnética (SRM) é um aparelho capaz de detectar fluxo sanguíneo no cérebro usando campos magnéticos estáticos e pulsantes. Desta forma, dispositivos que contenham materiais metálicos, em especial

[13] Ver descrição deste projeto na segunda parte deste artigo.

[14] Por exemplo, em duas hastes de madeira em forma de cruz ou , em uma versão mais recente desenvolvida por Mark Marshall, em um caixa.

materiais ferromagnéticos, não podem ser utilizados com estes sistemas, pois seriam atraídos com violência para o centro do *scanner*. Assim, a maioria dos instrumentos musicais existentes não podem ser usados neste contexto, não só pela presença de metais, mas também devido às reduzidas dimensões dos *scanners* e aos ruídos produzidos em funcionamento. Desta forma, se quisermos verificar o que acontece no cérebro de um músico enquanto este interpreta uma partitura no *scanner*, devemos desenvolver instrumentos compatíveis com estes sistemas. Na impossibilidade de se desenvolver tais instrumentos, muitas das pesquisas atuais com músicos em SRM são feitas com teclados de plástico onde se remove as partes eletrônicas, ou mesmo com os músicos fingindo tocar um teclado, mas com os dedos no ar.

Avrum Hollinger desenvolveu no IDMIL um teclado que utiliza fibras óticas e a medida de intensidade luminosa para se determinar a posição e a velocidade de 11 teclas de piano[15] (HOLLINGER, PENHUNE, ZATORRE, STEELE & WANDERLEY, 2007). Com a escolha de fibras óticas, pode-se colocar os circuitos de controle e de condicionamento das medidas a vários metros de distância da interface em uma sala separada, e assim evitar possíveis problemas de segurança.

As principais características de uma interface musical compatível com *scanners* de ressonância magnética são:

- Segurança para os utilizadores;
- Não causar interferência nas medições obtidas pelo *scanner*;
- Confiabilidade.

A primeira característica diz respeito à segurança das pessoas envolvidas nos testes. É óbvio que não se pode tolerar quaisquer riscos à saúde de músicos, técnicos ou pesquisadores enquanto a interface é utilizada na sala de exames. Mas além das questões óbvias de segurança, também é importante que a interface não interfira no funcionamento do *scanner*, isto é, que não haja distorções nas medidas obtidas.

[15] O tamanho escolhido para a escala da interface (menos de 1 oitava) é principalmente função das limitações de espaço no scanner.

Finalmente, é essencial que a interface seja confiável. A necessidade de uma interface confiável vem da necessidade que os dados obtidos sejam os mais exatos (i.e. pequenos erros) e precisos (i.e. boa repetição das medidas) possível. Também é importante desenvolver uma interface de fácil utilização para técnicos de serviços de medida por ressonância magnética, de forma que os projetistas não necessitem estar constantemente à disposição durante exames.

Fig 7: O protótipo de interface de piano desenvolvido no IDMIL por Avrum Hollinger e um exemplo de sua utilização durante um teste em um SRM no Instituto Neurológico de Montreal. (Fotos de Avrum Hollinger)

No caso do teclado compatível com SRM, vemos que não somente a escolha de sensores, mas também o tamanho e a funcionalidade da interface gestual, foram feitas em função da aplicação e não unicamente das características desejadas pelo projetista ou pelo músico que a utilizará ou mesmo do objetivo artístico desta utilização.

Utilização de Instrumentos Musicais Digitais

Na segunda parte deste capítulo discutiremos a utilização de interfaces e IMDs em vários contextos musicais, assim como a influência destes no projeto de novos instrumentos. Levantaremos várias questões ligadas à performance de IMDs e proporemos algumas respostas baseadas na experiência obtida durante o projeto Orquestra Digital.

Uso de Instrumentos Musicais Digitais em Concertos e Performances

Como descrito no caso das *Hands* de Michel Waisvisz, talvez o mais óbvio uso de IMD é como uma ferramenta de expressão musical em concertos e performances em geral. Nestas condições, um IMD pode ser utilizado de forma similar a um instrumento acústico, isto é, em interpretações de peças pré-compostas, em improvisações, em solo ou em grupos.

Obviamente, IMDs podem ser usados em outras aplicações, por exemplo como ferramentas pedagógicas. Na figura 8 pode-se ver crianças interagindo com um *T-Stick* durante o festival *Wired NextFest* 2007 em Los Angeles, Califórnia.

Fig 8: Três crianças brincando com um *T-Stick* durante o festival *Wired NextFest* 2007. (Foto de Joseph Malloch)

Nesta situação, não existe a possibilidade de aprendizado de técnicas de interpretação por um músico que desenvolve gradualmente seu controle do instrumento. De fato, já que não se pode prever exatamente o que vai acontecer, o funcionamento do instrumento deve ser suficientemente claro para que as crianças se interessem por ele, mas também suficientemente robusto para suportar ações inesperadas de dezenas ou centenas de crianças.

No caso do teclado compatível com *scanners* de ressonância magnética, vemos que, diferentemente da utilização em concertos ou eventos musicais, as maiores implicações no projeto são de ordem do ambiente em que esta interface é utilizada.

Protótipos ou Instrumentos

Independente da utilização almejada, é imprescindível que um IMD se comporte de maneira previsível e estável. Embora estas características possam ser consideradas óbvias em instrumentos acústicos (mas nem sempre), uma grande parte das novas interfaces propostas não se comportam desta forma.

De fato, um dos mais importantes passos na criação de um IMD é a passagem de um protótipo de laboratório a um instrumento que pode ser utilizado profissionalmente em vários ambientes externos ao laboratório onde este foi concebido. Esta questão é de vital importância: em laboratórios têm-se normalmente ambientes controlados (luz, temperatura, ruído...) O uso de um IMD fora do laboratório vai expô-lo a propriedades de ambientes que podem afetar seu funcionamento.

Um exemplo clássico é o uso de sensores de luz IR para medir posição ou a vibração de uma corda (OVERHOLT, 2005). Esta técnica de medição em geral funciona bem e é de baixo custo. Mas quando a se utiliza em concertos, luzes em um palco ou flashes de câmeras fotográficas podem causar interferências e erros nas medidas dos sensores, erros que não serão detectados em um laboratório com um ambiente controlado. A interface de controle neste caso pode não funcionar ou funcionar de maneira defeituosa.

O mesmo pode ocorrer com vários outros tipos de sensores, por exemplo, sensores magnéticos, quando a presença de metais em um ambiente pode modificar seu funcionamento, ou com sensores de ultrasom ou extensômetros (do inglês, *strain gauges*), que são sensíveis à variações de temperatura e/ou de umidade.

A passagem de um protótipo que funciona bem em um laboratório a um instrumento que pode ser usado em diversas situações foi um grande desafio no projeto Orquestra Digital, cujos IMDs foram desenvolvidos no IDMIL.

A idéia por trás da Orquestra Digital era de se utilizar IMDs em um contexto de performance musical onde peças seriam compostas principalmente por estudantes de composição e executadas por estudantes de mestrado e doutorado em performance da universidade McGill. Neste caso, os vários desenvolvimentos do IDMIL tiveram que ser aprimorados para poder ser utilizados em concertos públicos[16]. Estes deveriam se comportar como instrumentos acústicos, de modo que um músico competente pudesse utilizá-los sem a ajuda de um técnico em permanência a seu lado.

Fig 9: Vários instrumentos, músicos e engenheiros do projeto Orquestra Digital. Da esquerda para a direita: o engenheiro Mark Marshall, utilizando os emissores da interface *T-Box*; a violoncelista Cloé Domingues, com luvas aumentadas com sensores de pressão isométricos (resistores sensíveis à força) desenvolvidas por Pierre-Yves Fortier e por Mark Marshall; Fernando Rocha, professor de percussão na UFMG e na época estudante de doutorado em interpretação na McGill, com o *T-Stick*; o compositor D. Andrew Stewart com as *Rulers* (Foto de Joseph Malloch).

[16] Que aconteceram em Março de 2008 na sala Pollack da universidade McGill.

Mas não só as interfaces de controle necessitaram aprimoramentos. Como se utilizam computadores de uso geral para gerar os sons controlados pelas interfaces, e como estes computadores não são nem projetados, nem adaptados para usos musicais onde restrições de tempo real são importantes[17] se comparadas ao seu uso em atividades de escritório (processamento de textos) ou de navegação de *web-sites*, o desenvolvimento e a utilização de softwares para o mapeamento e para a síntese sonora tiveram que levar em conta as necessidades de uso em concertos (MALLOCH, SINCLAIR & WANDERLEY, 2008).

Flexibilidade ou Limitações

Quando se inicia o projeto de um IMD, uma idéia freqüente é a de se fazer instrumentos flexíveis ou adaptáveis ao músico e/ou ao ambiente. Desta forma, tenta-se incorporar um grande número de características a um IMD, principalmente em nível de programação software. Mas seria a flexibilidade total uma necessidade?

Novamente, se analisarmos instrumentos musicais acústicos, veremos que algumas das técnicas de interpretação se construíram em torno de limitações destes objetos. Um exemplo são as técnicas para se tocar sons multifônicos em instrumentos de sopro, que basicamente tentam obter sons estáveis em uma região de funcionamento instável do instrumento. Esta discussão se baseia na pergunta: um instrumento que não tenha limites pode ser tocado? Obviamente, a definição da flexibilidade ou dos limites de um IMD deve ser função dos objetivos do projetista, mas pessoalmente acho importante que IMDs tenham um caráter próprio, incluindo limitações que serão utilizadas por músicos quando estes os utilizarem em suas interpretações.

---

[17] Um projeto recente no IDMIL utiliza uma plataforma hardware baseada no microcontrolador ARM7 para gerar sons, de forma a possibilitar a geração de sons junto à interface sem a necessidade de utilizar computadores para este fim (HOLLINGER, THIBODEAU & WANDERLEY, 2010).

Ergonomia

A questão da ergonomia de IMDs também é um fator muito importante. Não se procura necessariamente fazer instrumentos fáceis de tocar—ver por exemplo a discussão da relação entre esforço e expressão musical, por Joel Ryan (1992)—mas aprendemos durante o projeto Orquestra Digital que músicos não vão necessariamente aceitar aprender a tocar a interface de um instrumento que requeira esforço físico suscetível de causar problemas físicos. Este foi o caso com o *Gyrotyre*.

Fig 10: Elliot Sinyor demonstrando o *Gyrotyre*. (Fotos a partir de um vídeo feito por Elliot Sinyor)

Pessoalmente acho o *Gyrotyre* uma interface bastante interessante e com um alto potencial expressivo[18], mesmo assim este não foi escolhido pelos músicos participantes no projeto como parte dos instrumentos a serem utilizados no concerto final. A razão principal foi o seu peso e o esforço do antebraço, necessário para suportá-lo no ar. Como os músicos do projeto tocavam profissionalmente instrumentos acústicos, estes preferiram não se lançar no aprendizado do *Gyrotyre* por

[18] Vídeos em www.youtube.com/idmil (acessado em 12 de março de 2010)

medo de sofrerem lesões, e com toda a razão, pois uma possível lesão causaria problemas em suas carreiras profissionais.

Composição – Notação

Como dissemos, os sons gerados por um IMD são definidos pelo inventor da interface e/ou por seus usuários. Qual é então a "voz" de um instrumento musical digital?[19] Esta questão tem uma conseqüência direta nas estratégias de composição musical utilizando IMDs: como compor para instrumentos que não têm tessituras pré-definidas? No caso da Orquestra Digital, como várias peças foram compostas para mais de um IMD, foi necessário definir características sonoras para cada um deles[20] (FERGUSON & WANDERLEY, 2009).

Outra questão importante é a escritura de partições para IMDs. Como escrever a partitura de uma peça composta, com símbolos musicais que indicam a altura e a intensidade de uma nota como para instrumentos acústicos, ou anotando-se os gestos necessários para tocar tal instrumento? Talvez uma combinação de ambos seja uma solução, pois como não existem métodos para novas interfaces, não existem informações de como tocá-las no contexto de uma peça.

Na figura 11 vemos a solução adotada por D. Andrew Stewart em sua peça *Catching Air and the Superman* (STEWART, 2010), para 2 *T-Sticks* sopranos, teclado eletrônico, e orquestra de câmara. A parte do T-Stick é anotada em três linhas, sendo que a superior e a inferior representam os extremos superior e inferior da superfície coberta pelos sensores capacitivos. Vê-se assim as indicações dos gestos necessários para se produzir os sons desejados.

[19] Outra questão importante é como combinar sons sintetizados (e.g. sons eletrônicos criados por criados por IMDs) com sons de instrumentos acústicos em peças mistas (SOUZA, 2010).

[20] Estas características podem obviamente variar entre aplicações.

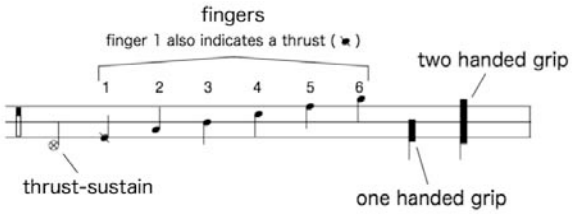

Fig 11: Um exemplo de notação para o *T-Stick*, pelo compositor D. Andrew Stewart em sua peça *Catching Air and the Superman* (2010). Vê-se a indicação do dedilhado e do modo de como segurar a interface.

Interpretação

Mas uma questão ainda não foi abordada diretamente: como desenvolver uma técnica instrumental para uma nova interface gestual ou IMD? Isto é, como desenvolver e depois ensinar a maneira de tocar este novo instrumento? Como já dissemos, como não existem limitações acústicas (por exemplo, a vibração de uma membrana), a flexibilidade no projeto é total. Poderemos sempre nos referir às possíveis *affordances* da interface, i.e. quais movimentos seriam os mais óbvios ou naturais quando as utilizamos, mas mesmo assim não existe uma resposta única a esta questão.

Novamente, se nos referirmos ao caso do *T-Stick*, pelo menos três técnicas de interpretação foram desenvolvidas para esta interface, como ilustrado na figura 12. Note-se que, na figura da esquerda, o T-Stick tem uma haste de metal acoplada a uma de suas extremidades para mantê-lo no solo, de maneira semelhante a um violoncelo. A técnica de performance principal neste caso consiste em aplicar torções em torno de seu eixo, assim como deslizar a mão direita na direção do eixo da interface para se criar sons ou para modular sons existentes. Na foto central o T-Stick é mantido no ar. Neste caso, a técnica principal consiste em dedilhados acionando os sensores capacitivos (geração de notas musicais) e na constante inclinação do instrumento. Finalmente na foto da direita a técnica consiste em movimentos bruscos, que também incluem variações na forma como se segura a interface, mas não inclui dedilhados (Fotos feitas a partir dos vídeos dos concertos).

As duas primeiras técnicas foram desenvolvidas simultaneamente pela pianista Xenia Pestova e pelo percussionista Fernando Rocha, ambas durante um curso sobre IMDs na universidade McGill em 2006, quando o *T-Stick* foi concebido. Na parte direita da figura 12 vê-se uma terceira técnica de interpretação do *T-Stick*, desta vez desenvolvida pelo compositor D. Andrew Stewart. Neste caso, Stewart usa a interface como um bastão de artes marciais (sem necessariamente batê-lo contra uma superfície), utilizando gestos mais abruptos. Note-se que, neste caso, ele toca um *T-Stick* soprano, com a metade do tamanho de um *T-Stick* tenor.

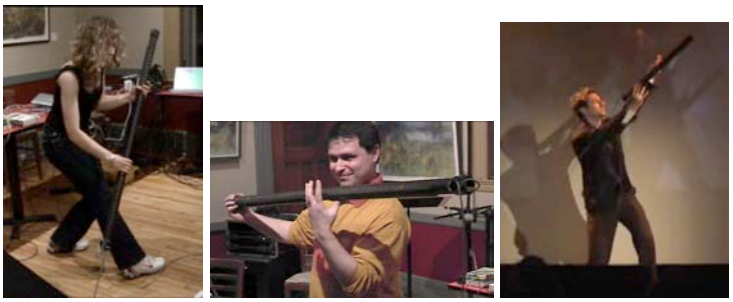

Fig 12: Xenia Pestova (esquerda) e Fernando Rocha (centro) com o primeiro protótipo de um *T-Stick* (tenor) e D. Anfrew Stewart (direita) interpretando sua peça "*Everybody to the Power of One*", para *T-Stick* soprano.

Entre estas três opções, qual seria então a técnica mais apropriada ao *T-Stick*? Todas ou talvez nenhuma, a resposta depende do intérprete que utilizará a interface. Mas no caso do T-Stick tivemos a sorte de contar com dois intérpretes (Rocha e Stewart) que se dedicaram durante anos a inventar e a aprimorar suas técnicas instrumentais e que continuam a desenvolver suas habilidades com este instrumento, tornando-se ambos virtuosos do *T-Stick*. Talvez outros músicos se inspirarão destes exemplos para começar carreiras como intérpretes de instrumentos musicais digitais e criarão eles mesmos novas técnicas de interpretação.

Conclusões

Neste capítulo discutimos exemplos de projetos de interfaces gestuais de instrumentos musicais digitais, assim como suas utilizações em diferentes contextos. Depois de passar em revista alguns dos dispositivos criados no laboratório IDMIL da Universidade McGill, discutimos seu uso em projetos artísticos como a Orquestra Digital ou em exames médicos para a pesquisa sobre a performance musical utilizando scanners de ressonância magnética. Vimos que estes contextos definem em grande parte a forma final de um IMD, e que múltiplas soluções existem para o projeto e para a interpretação musical com estes novos instrumentos. Como não existem soluções únicas (nem necessariamente óbvias), é necessário muito trabalho e dedicação para desenvolver novos instrumentos e técnicas de interpretação que possibilitem a músicos explorar de forma satisfatória as infinitas possibilidades musicais oferecidas pela tecnologia digital.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos alunos e aos pesquisadores citados neste capítulo pela colaboração durante vários anos no IDMIL e pelo uso de imagens de seus trabalhos: David Birnbaum, Avrum Hollinger, Joseph Malloch, Mark Marshall, Fernando Rocha, Elliot Sinyor e D. Andrew Stewart. Também gostaria de agradecer às agencias de financiamento de pesquisa *Natural Sciences and Engineering Council of Canada* (NSERC) e *Canadian Foundation for Innovation* (CFI), pelo suporte a esta linha de pesquisa e ao *Fonds Québécois de Recherche sur la Société et la Culture* (FQRSC), pelo financiamento do projeto Orquestra Digital. Obrigado finalmente a Fernando Falci de Souza e aos revisores anônimos pela releitura atenta deste capítulo.

Referências

BARBOSA, Álvaro. "Performance Musical em Rede: Ultrapassando os desfasamentos temporais entre o gesto performativo e a resposta acústica." Keller, D. (org.), *Criação Musical e Tecnologias: Teoria e Prática Interdisciplinar 1*, ANPOM, 2010.

BUTLER, Jennifer. "Creating Pedagogical Etudes for Interactive Instruments." In *Proceedings of the 2008 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME08)*, Genoa, Italy, pp. 77-80, 2008.

COOK, Perry. "Principles for Designing Computer Music Controllers." In *online Proceedings of New Interfaces for Musical Expression Workshop (NIME01)*, Seattle, WA, 2001. Available from: http://www.nime.org/2001/ (acessado em 12 de março de 2010)

FRADEN, Joseph. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Design and Applications*. 3rd ed. London: Springer-Verlag. 2004.

FELS, Sidney, GADD, Ashley e MULDER, Axel. "Mapping Transparency through Metaphor: Toward more expressive musical instruments," *Organized Sound* 7(2): 109–126, 2002.

FERGUSON, S. e WANDERLEY, Marcelo. "The McGill Digital Orchestra: Interdisciplinarity in Digital musical Instrument Design." In *Proceedings of the 5th International Conference on Interdisciplinary Músicology*, 26-29 October 2009, Paris, France.

HAKEN, Lippold, ABDULLAH, Radi, e SMART, Mark. "The Continuum: A Continuous Music Keyboard." In *Proceedings of the 1992 International Computer Music Conference (ICMC92),* pp. 81–84, 1992.

HOLLINGER, Avrum, PENHUNE, Virginia, ZATORRE, Robert, STEELE, Chros e WANDERLEY, Marcelo. "fMRI-Compatible Electronic Controllers." In *Proceedings of the 2007 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME07)*, New York City, USA, pp. 246-249.

HOLLINGER, Avrum, THIBODEAU, Joseph e WANDERLEY, Marcelo. "An Embedded Hardware Platform for Fungible Interfaces." Aceito para publicação no *Proceedings of the 2010 International Computer Music Conference (ICMC10).*

JORDÀ, Sergi. "Sonigraphical Instruments: From FMOL to the reacTable*" In *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME03)*, Montreal, Canada, pp. 70-76.

JORDÀ, Sergi. "Digital Lutherie: Crafting musical computers for new musics' performance and improvisation." *Ph.D. Thesis*, Universitat Pompeu Fabra, 2005.

KOEHLY, Rodolphe, CURTIL, Denis e WANDERLEY, Marcelo. "Paper FSRs and Latex/Fabric Traction Sensors: Methods for the Development of Home-Made Touch Sensors." In *Proceedings of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06)*, Paris, France, pp. 230-233, 2006.

LAZZARINI, Victor. "Técnicas Fundamentais para Instrumentos Computacionais de Síntese e Processamento de Áudio." Keller, D. (org.), *Criação Musical e Tecnologias: Teoria e Prática Interdisciplinar 1*, ANPOM, 2010.

MALLOCH, Joseph e WANDERLEY, Marcelo. "The T-Stick: From Musical Interface to Musical Instrument." In *Proceedings of the 2007 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME07)*, New York City, USA, pp. 66-69.

MALLOCH, Joseph, BIRNBAUM, David, SINYOR, Elliot e WANDERLEY, Marcelo. "A New Conceptual Framework for Digital Musical Instruments." In *Proceedings of the 9th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06)*, Montreal, Canada, pp. 49-52, 2006.

MALLOCH, Joseph. "A Consort of Gestural Musical Controllers: Design, Construction, and Performance", *M.A. thesis*, McGill University. August 2007.

MALLOCH, Joseph, SINCLAIR, Stephen e WANDERLEY, Marcelo. "A Network-Based Framework for Collaborative Development and Performance of Digital Musical Instruments." In R. Kronland-Martinet, S. Ystad, and K. Jensen (org.), *CMMR 2007, - Proc. of Computer Music Modeling and Retrieval 2007 Conference*, LNCS 4969. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 401–425, 2008.

MIRANDA, Eduardo e WANDERLEY, Marcelo. *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction beyond the Keyboard,* Madison: A-R Editions, Spring 2006. ISBN 0-89579-585-X

MULDER, Axel, "Toward a Choice of Gestural Constraints for Instrumental Performers," in *Trends in Gestural Control of Music*, M. Wanderley and M. Battier, (org.), Paris, France: Institut de Recherche et Coordination Acoustique Musique-Centre Pompidou, 2000, pp. 315–335.

OVERHOLT, Dan. "The Overtone Violin." In *Proceedings of the 2005 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME05)*, Vancouver, Canada, pp. 34-37.

RYAN, Joel. "Effort and Expression." In *Proceedings of the 1992 International Computer Music Conference (ICMC92),* pp. 414–416.

SINYOR, Elliot. "Digital Musical Instruments: A Design Approach Based on Moving Mechanical Systems", *M.A. thesis*, McGill University. August 2006

SINYOR, Elliot e WANDERLEY, Marcelo. "Gyrotyre: A Hand-held Dynamic Computer-Music Controller Based on a Spinning Wheel." In *Proceedings of the 2005 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME05*, Vancouver, Canada, pp. 42-45, 2005. Stewart, 2010.

SOUZA, Rodolfo Coelho de. "Da interação entre sons instrumentais e eletrônicos." Keller, D. (org.), *Criação Musical e Tecnologias: Teoria e Prática Interdisciplinar 1*, ANPOM, 2010.

STEWART, David Andrew. "Catching Air and the Superman." *D.Mus. Thesis*, McGill University, 2010.

TANAKA, Atau e BONGERS, Bert. "Global String: A Musical Instrument for Hybrid Space." In *Proceedings of Cast01: Living in Mixed Realities*, Sankt Augustin, Germany, pp. 177–81, 2001.

WAISVISZ, Michel. "The Hands: A Set of Remote MIDI-controllers." In *Proceedings of the 1985 International Computer Music Conference (ICMC85),* pp. 313–18, 1985.

WANDERLEY, Marcelo. "Instrumentos Musicais Digitais: Gestos, Sensores e Interfaces." In B. Ilari, (org.), *Em Busca da Mente Musical*, Editora da Universidade Federal do Paraná, 2006.

WANDERLEY, Marcelo e P. Depalle. "Gestural Control of Sound Synthesis". *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, No. 4 (April), pp. 632-644, 2004.

WESSEL, David e WRIGHT, Matthew, "Problems and Prospects for Intimate Musical Control of Computers," *Computer Music Journal* 26(3):11–22, 2002.