

Sobre los límites de los gestos de los intérpretes instrumentales

Axel G. E. Mulder

I. Introducción

Un gran número de personas asumen que el aprendizaje de un instrumento musical requiere la dedicación de muchos años para conseguir desarrollar las habilidades motoras necesarias que permitan obtener los sonidos deseados, así como para desarrollar una intuición y conocimiento de las estructuras y lenguaje del estilo musical de interés.

Este ensayo propone argumentos para examinar, al menos en parte, esta concepción, según la cual los instrumentos musicales deben estar adaptados a las habilidades motoras que el intérprete pueda tener o preferir, o a aquellas a las que pueda estar limitado. Este enfoque sobre la relación entre intérprete e instrumento debería llevar a una mayor libertad para el primero a la hora de elegir y desarrollar un "vocabulario" gestual personal y, si éste dispone ya de una cierta habilidad para esta expresión gestual, a un dominio más rápido de la actividad musical.

Ha sido imposible llevar esta idea a la práctica debido a la realización física de los instrumentos musicales actuales, tanto acústicos como electrónicos, ya que las modificaciones en la disposición del teclado, válvulas y cursores no pueden ser efectuadas fácilmente por un intérprete. En el caso de los instrumentos acústicos, tales cambios también se ven limitados por los principios de generación de sonido en función de los cuales el instrumento ha sido diseñado.

Los instrumentos musicales electrónicos han permitido la separación del dispositivo de control (por ejemplo, teclas, piezas cursores, válvulas, etc.) del dispositivo generador de sonido (por ejemplo, los altavoces). Esta disociación ha llevado al desarrollo de una plétora de "controles alternativos" como pueden ser el Theremin y los guantes de datos. Los más recientes tipos de control denominados de "manos libres" no conllevan ningún tipo de restricción del movimiento de las manos y, por lo tanto, permiten la realización de dispositivos de control imaginarios o virtuales de una dimensión y forma prácticamente ilimitados.

Esto ha supuesto que se empezaran a emplear para el control del sonido tanto los gestos formalizados, empleados en lenguajes de señas, como los gestos menos formalizados, a menudo denominados gesticulación. No obstante, tales gestos, en la medida en que tienen la finalidad de transmitir información simbólica estructurada, se aplican sobre todo para el control de estructuras musicales, como por ejemplo en la dirección musical. Como ocurre en muchos modelos de síntesis, los gestos de manipulación aplicados a un dispositivo

de control representado visualmente parecen más apropiados allí donde el control de sonido es representado como un espacio multidimensional de parámetros continuos, ya que los gestos tienen la finalidad de controlar múltiples variables continuas.

Sin embargo, en el caso de que existan algunas limitaciones en el dispositivo de control de estos mecanismos de "manos libres", éstas no facilitan una representación del dispositivo de control como si fuera un objeto físico familiar. En sentido general, para lograr una imagen mental de los dispositivos de control virtuales resulta necesario mantener un cierto nivel de continuidad con respecto al mundo físico.

Esta limitación ha llevado directamente a la noción de Instrumento Musical Virtual (VMI - *Virtual Musical Instrument*), un instrumento musical que carece de dispositivo de control físico, pero que en su lugar dispone de un dispositivo de control virtual que está más o menos inspirada en el mundo físico. De este modo, será el dispositivo de control virtual, y no cualquier dispositivo o sensor físico, el que será el centro de atención del intérprete. Puesto que un VMI se define enteramente a través del software, los cambios llevados a cabo en el dispositivo de control se realizarán a través de programación, lo que en muchos casos es mucho más fácil y accesible que la realización de cambios en los componentes del hardware.

II. Análisis del intérprete y del instrumento

En la figura 1 vemos un gráfico tomado de Pressing³⁷ en el que se representa un sencillo modelo de interacción entre intérprete e instrumento durante la actividad musical, cuyo resultado son efectos auditivos percibidos por el público. Se incluyen también la comunicación y el *feedback* visuales y propioceptivos (*feedback* táctil y de fuerza). Se indica también la intención. A la hora de representar la actividad musical, también se debe tener en cuenta el hecho de que ésta puede ser representada de diferentes maneras. Así, por ejemplo, si denominamos "oír" la actividad del público, esto implica una representación diferente a la que implicaría la denominación de "escuchar" para el mismo proceso. Del mismo modo, con respecto al sistema motor, los términos "movimiento" y "gesto" reflejan diferentes representaciones del proceso interpretativo. Asimismo, dos tipos de interpretación –la dirección musical y la interpretación instrumental–

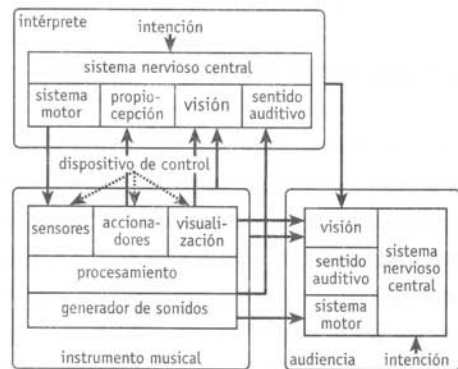


Figura 1

representan los dos extremos desde un punto de vista abstracto. La ejecución de la dirección musical, esto es, el control de las estructuras musicales, se describe a menudo como una gestualización estructurada simbólicamente, mientras que la interpretación musical de un instrumento, esto es, el control y obtención de sonidos por medio de la manipulación de materiales físicos, se describe frecuentemente como el movimiento simultáneo y continuo de diferentes miembros.

II.1. Definición de gesto

La palabra gesto ha sido empleada en lugar de posición y viceversa. No obstante, normalmente se percibe el gesto como algo dinámico y la posición como algo estático. En la literatura prosaica y poética, la palabra gesto se emplea a menudo para expresar el inicio o el final de una interacción humana en la que el movimiento humano puede no estar implicado. Así, es muy habitual la idea de un gesto musical que no implica, en su realización, un movimiento humano, sino que tan sólo se refiere a él. Resulta obvio que la expresión musical está íntimamente relacionada con el movimiento humano, y de ahí la existencia de esta expresión. Así, un gesto o un movimiento manual será definido como el movimiento de los dedos, manos y brazos, mientras que una posición manual lo será como la posición de la mano y los dedos en un determinado momento. No obstante, tanto el gesto como la posición manuales describen situaciones en las que las manos se emplean como un medio para comunicarse bien con una máquina, bien con un ser humano. Los gestos de manos libres o vacías se emplean habitualmente para indicar el uso de las manos para propósitos comunicativos sin una manipulación física de un objeto.

II.2. Definición de dispositivo de control

El dispositivo de control sería una superficie física o virtual que, cuando se aplican fuerzas (virtuales) a través de partes del cuerpo, como por ejemplo las manos, identifica todos los movimientos humanos a los que responde el instrumento. En otras palabras, consiste en sensores para la captación del movimiento humano, accionadores para el *feedback* táctil y de fuerza que proporcionan una representación de las sensaciones táctiles y, por último, pero no menos importante, una representación visual. El dispositivo de control proporciona datos que representan los movimientos y gestos y que son transformados en variaciones de sonido después de su procesamiento. El dispositivo de control puede cambiar su forma, posición u orientación como resultado de la aplicación de estas fuerzas. Por ejemplo, el dispositivo de control puede requerir un conjunto de movimientos táctiles como los empleados para tocar el piano, o movimientos de control a distancia como los que se utilizan en el

Theremin. De igual modo, ha de tenerse en cuenta que, como ocurre por ejemplo en el caso del Theremin, el dispositivo de control podría no ser visible físicamente como un objeto, ni virtualmente en una pantalla gráfica. Asimismo, como ocurre también con el Theremin, la imagen mental del dispositivo de control no tiene que ser necesariamente idéntica a la representación visual del instrumento musical. En el caso de la dirección musical, la representación visual del instrumento sería la orquesta o conjunto, cuya representación es muy diferente del dispositivo de control. En este caso, el dispositivo de control es muy difícil o quizá imposible de representar.

II.3. La compatibilidad entre el intérprete y el instrumento

Debido a la configuración del dispositivo de control, los instrumentos musicales actuales requieren el aprendizaje de gestos y movimientos específicos que no son necesariamente compatibles con las preferencias y/o habilidades del intérprete. Moore definió la compatibilidad entre el intérprete y el instrumento como "intimidad de control": "La intimidad de control determina la conjunción entre la variedad de sonidos musicales adecuados que se producen y las habilidades psicofisiológicas de un intérprete experto".²⁶

Las investigaciones dirigidas a aumentar esta compatibilidad han tenido como resultado una gran variedad de nuevos diseños de instrumentos musicales, muchos de los cuales emplean sistemas de control de producción de sonido alternativos, que conjugan de un modo innovador diferentes formas de expresión corporal con la creación de sonidos y de la música. Sin embargo, existen dos deficiencias que resultan comunes a todos los instrumentos, tanto a los tradicionales como a los más nuevos. La primera es la falta de flexibilidad. Es posible que la capacidad de control físico y/o motor del intérprete pueda variar con la edad o debido a traumas corporales, del mismo modo que su vocabulario gestual puede cambiar debido a intereses personales, influencias sociales o tendencias culturales. A menos que el instrumento pueda ser adaptado (y que se disponga de un experto técnico que pueda realizar tales adaptaciones), el ajuste a estos cambios requiere el paso a otro instrumento. Las habilidades motoras adquiridas pueden perderse en esta transición, del mismo modo que también serán necesarios un nuevo aprendizaje y la familiarización con el nuevo instrumento. Esta capacidad de adaptación por parte de los instrumentos musicales actuales puede ser ampliada de un modo extraordinario.¹

La otra deficiencia consiste en la estandarización. La mayoría de los instrumentos musicales están diseñados para personas dotadas de unas proporciones y funcionalidad de sus miembros normales desde un punto de vista demográfico. La existencia de violines de diferentes tamaños es de este modo la excepción que confirma la regla. Así pues, la posibilidad de ajustar los instrumentos musicales a las necesidades de personas con

unas proporciones o un funcionamiento de sus miembros fuera de la norma es un terreno todavía relativamente inexplorado. Se puede afirmar que muchos diseños de instrumentos musicales no explotan las capacidades particulares del intérprete, de modo que estas personas, cuyas habilidades están fuera de la norma, necesitan más tiempo para llegar a tocar un instrumento concreto, si es que pueden llegar a tocarlo.

Así pues, resulta evidente que existe una necesidad de diseñar instrumentos musicales con interfaces gestuales que puedan adaptarse por sí mismas teniendo en cuenta la capacidad del intérprete, o que puedan ser adaptadas por éste a sus propios gestos y movimientos sin que sea necesaria la actuación de un técnico.

II.4. Los factores humanos y la comunicación gestual

La investigación en el contexto de los factores humanos engloba aspectos como la ergonomía, la interfaz humana, la comunicación entre las máquinas y el ser humano, la interacción entre el ser humano y el ordenador, el control motor, etc. Por su parte, la investigación en el terreno de la comunicación gestual engloba aspectos como el lenguaje por señas, la comunicación no verbal, etc. Asimismo, se han realizado estudios acerca de la compatibilidad entre el intérprete y el instrumento atendiendo a factores como la "naturalidad" de la interfaz,³⁴ que desembocan en la "transparencia" de la misma. Los aspectos de la interfaz que se consideran constitutivos de la falta de naturalidad son su consistencia (con relación al modo en el que ésta debe ser operada y a su apariencia) y su adaptabilidad a las preferencias del usuario (tanto de modo autónomo por parte del instrumento, como por parte del usuario).⁴⁶ En el caso de actividades de control multidimensionales se ha demostrado que la posibilidad de separación (o de integración) de la estructura perceptiva dominante de la actividad debería ser reflejada por el dispositivo de entrada¹⁴ (por ejemplo, si un usuario empleará las dimensiones separadamente y de modo secuencial para alcanzar un punto final en el espacio de control). La investigación en el terreno de la compatibilidad entre el instrumento y el intérprete realizada hasta el momento ha perseguido, en primera instancia, la facilidad de uso de la interfaz.^{51, 52} En este sentido, Shackel⁴³ propone cuatro criterios de valoración: el aprendizaje del usuario, la facilidad de uso, la flexibilidad del sistema y la actitud del usuario. El enfoque central de la investigación llevada a cabo en este contexto está dirigido a la búsqueda de una nueva configuración del dispositivo de control o de nuevos sistemas de control que reduzcan la carga motora y cognitiva aplicable bien a grupos específicos, bien a todos los seres humanos en general. Normalmente esto se hace a través de generalizaciones realizadas a partir de la investigación experimental.

II.5. La música y las artes performáticas

La investigación llevada a cabo en el contexto de la música y de las artes performáticas suele estudiar la compatibilidad entre el intérprete y el instrumento desde el punto de vista del oyente, centrándose primeramente en los sonidos que crean la imagen artística que debe ser proyectada al público y, en un segundo lugar, en estrategias de control gestual posibles y adecuadas. Debido a la unicidad de cualquier pieza artística, gran parte del trabajo realizado en el campo de los controles alternativos ha tenido como resultado controles de características prácticamente únicas e idiosincrásicas. El concepto de "esfuerzo" (tal como lo emplea Vera Maletic²¹ y más tarde citado también por otros⁴¹, que para algunos parecía surgir de una cierta incertidumbre en la ejecución musical⁴⁰, contrasta con el objetivo de las investigaciones en el campo de los factores humanos que aspiran a una mayor facilidad de uso. También se ha sugerido que una mayor facilidad de uso tendrá como resultado una pérdida del poder expresivo, ya que la ejecución musical requerirá un menor esfuerzo y, por lo tanto, movimientos menos refinados.⁵³ Desde la perspectiva del artista, el incremento de la facilidad de uso como tal no tiene otro objetivo más que el desplazamiento de los límites de interpretación definidos por los condicionantes gestuales y musicales del instrumento. Muchos artistas creen firmemente que es imposible interpretar sonidos musicales originales y transmitir el sentimiento de las emociones del intérprete sin el esfuerzo necesario para desafiar el límite de la interpretación, independientemente de dónde éste se encuentre.^{17,15} Sin embargo, cada intérprete puede tener preferencias con respecto a la definición precisa del límite de la interpretación, así como con respecto a la transmisión de una expresión artística más personal. Así, esta observación ha derivado en el desarrollo de instrumentos musicales adaptados al intérprete individual, con un límite de la interpretación que a menudo tan sólo desafía a ese intérprete.^{60, 59, 20, 61}

III. Visión global de la investigación relacionada con este campo

Teniendo en cuenta los diferentes objetivos de los estudios llevados a cabo dentro de estos dos terrenos delimitados anteriormente, las investigaciones realizadas con el fin de aumentar la compatibilidad entre el intérprete y el instrumento se han centrado en uno o en los dos puntos siguientes: la esfera gestual y la adaptabilidad.

El primer punto tiene como objetivo ampliar la esfera gestual actual de los instrumentos existentes, explotar gestos o movimientos no convencionales o aspectos inusuales de los gestos convencionales, de modo que se pueda expandir la esfera de adaptación, a pesar de que ésta continuaría estando limitada por las leyes físicas.

El objetivo de la adaptabilidad es la búsqueda de métodos para hacer el instrumento musical lo más adaptable posible (tanto si es el intérprete el que realiza la adaptación como si es el instrumento mismo el que se adapta).

Estas investigaciones han tenido como resultado el desarrollo de toda una serie de controles alternativos^{35, 38, 13, 32, 5, 50}, ya sean completamente nuevos, ya sean derivados de los instrumentos musicales tradicionales (por ejemplo, los hiperinstrumentos).²⁰ Con el fin de permitir esferas gestuales cada vez mayores, los controles alternativos han ido evolucionando de aquéllos que requieren un contacto con algún tipo de superficie física determinada en el espacio, hasta llegar a los que no requieren prácticamente ningún tipo de contacto físico. En este último caso, la realización de una representación adecuada de las sensaciones táctiles resulta muy difícil. Desgraciadamente la integración de varios controles diferentes a menudo es impedida por la forma y el tamaño físico, así como por limitaciones de protocolo MIDI. El digitalizador denominado sistema I-Cube –un dispositivo sensitivo modular configurable por el usuario⁵⁸– se ha inspirado en este enfoque. No obstante, por el momento no cubre la totalidad de la esfera gestual humana. Asimismo, los usuarios deben montar el control de acuerdo con sus necesidades, lo cual a menudo requiere habilidades técnicas importantes.

A continuación, con el fin de proporcionar una visión global de la investigación realizada hasta el momento, se comentarán diferentes sistemas de control, que van desde los controles táctiles, pasando por los controles de esfera expandida hasta llegar a los controles de inmersión, que imponen poco o ningún tipo de restricción al movimiento, pero que tampoco proporcionan un *feedback* de las sensaciones táctiles adecuado hasta el momento. Los controles de inmersión se dividen en tres tipos diferentes: internos, externos y simbólicos.

III.1. Controles táctiles

La mayoría de controles que facilitan el aumento de la esfera gestual todavía requieren que el intérprete toque un dispositivo de control físico, que normalmente está fija en un espacio, pero que a veces puede ser transportable. Aunque todos estos controles pueden ser adaptados para satisfacer las necesidades o preferencias gestuales específicas de un intérprete individual, esta adaptación se encuentra limitada por la construcción física particular del control en cuestión. De este modo, cualquier adaptación que vaya más allá de estos límites requerirá no sólo un conocimiento técnico muy específico, sino también la dedicación de una importante cantidad de tiempo. Por otra parte, una ventaja significativa de los controles táctiles es su habilidad para proporcionar una representación de las sensaciones táctiles.

III.1.1. "aXiO"

Un ejemplo típico de un control alternativo que requiere el contacto físico es el "aXiO", un dispositivo de control ergonómico que consiste en tiradores, piezas cursores y botones.⁶ A pesar de que ha sido diseñado tomando en consideración los factores humanos y de que podría calificarse de control ergonómico, las características propiamente ergonómicas tan sólo se hacen evidentes dados un "vocabulario" y una postura gestuales específicos. Asimismo, la adaptación de este control presentaría importantes dificultades técnicas y requeriría una importante inversión de tiempo.

III.2. Controles de esfera expandida

Estos controles pueden no requerir el contacto físico o requerirlo de forma limitada, aunque tienen una esfera limitada de gestos efectivos. A pesar de su esfera gestual expandida en comparación con los controles táctiles, el intérprete puede siempre "escapar" al dispositivo de control y hacer movimientos que carezcan de consecuencias de tipo musical. La representación de las sensaciones táctiles de estos controles es bastante reducida o incluso inexistente debido al escaso contacto físico.

III.2.1. El sistema "Hands"

En los Países Bajos, en el centro STEIM (Stichting voor Electro-Instrumentale Muziek- Estudio para la Música Electro-Instrumental) se diseñó una serie de controles alternativos, entre otros el sistema "Hands".² "Hands" permite que las manos se muevan casi con total libertad en el espacio, y el movimiento de los dedos se limita al movimiento de apretar botones. La distancia entre las manos se percibe ultrasónicamente y tampoco existe una representación del dispositivo de control. Así pues, se trata de una especie de híbrido de un control como el Theremin (véase más abajo) y otros controles alternativos que requieren contacto físico, como el aXiO.

III.2.2. "Lightning"

El "Lightning tm" de Buchla consta de una unidad de sujeción manual que sigue el movimiento de las manos en un plano vertical bidimensional a través de un escáner de infrarrojos. Posteriormente, los movimientos de las manos son representados como señales MIDI, permitiendo así el control de sonidos.⁵⁶ Las variaciones del movimiento de manos resultan limitadas debido al hecho de que éstas tienen que sostener la unidad de transmisión de

infrarrojos. En este sentido, es comparable al sistema "Hands". Debido a estas limitaciones, Lee¹⁹ empleó redes neuronales para llevar a cabo una correlación adaptable de los gestos de dirección a los parámetros musicales.

III.2.3. "Radio Drum"

La "Radio Drum" de Mathews y de Boie ²² (figura 2) , consta de dos baquetas de tambor con bobinas en los extremos que emiten cada una un campo electrostático con una frecuencia diferente. Ambos campos son recogidos por cuatro electrodos situados en un plano horizontal por debajo de las baquetas. La posición tridimensional de cada extremo de las baquetas puede ser medida en función de las señales detectadas, que varían de forma correspondiente. De nuevo, la configuración de las manos no puede ser empleada para el control de la interpretación musical, y tampoco existe ningún tipo de representación del dispositivo de control.^{42,15}

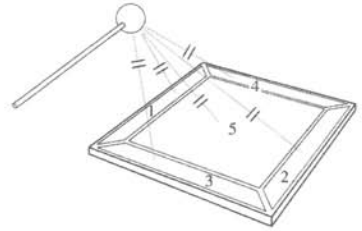


Figura 2. "Radio Drum". Cortesía de William Putnam and R. Benjamin Knapp (USA).

III.2.4. "Theremin" y "Dimension Beam"

El "Theremin" es un tipo de control sobradamente conocido.^{9, 23} El "Theremin" consta de dos antenas que detectan la masa del cuerpo humano en una cierta esfera de proximidad, produciendo dos señales de control, una para el tono y otra para el volumen. Los gestos resultan efectivos tan sólo en el campo en el que actúa el sensor, y el dispositivo de control es bidimensional. La tecnología de campos eléctricos empleada para el "Theremin" ha sido utilizada en el diseño de otros controles ^{36, 54}, incluyendo un sistema para lograr una geometría de la mano más detallada.⁴⁸ El "Dimension Beam" ⁵⁵ emplea un seguimiento por medio de infrarrojos dentro del campo en el que actúa un sensor oval que tiene una dimensión de control. Sus limitaciones son similares a las del "Theremin".

III.3. Controles de inmersión

Los controles alternativos que imponen restricciones limitadas o nulas a los movimientos son los más adecuados para ser adaptados a las capacidades o necesidades gestuales de un intérprete. A menudo, éstos se basan en el uso de un guante de datos (figura 3) o un traje de datos para seguir prácticamente todos los movimientos humanos, creándose así una sensación de inmersión, ya que el intérprete está en todo momento en el interior del

campo en el que actúa el sensor.³¹ En el caso de los controles de inmersión y con la tecnología actual, el *feedback* táctil y/o de fuerza se da sólo de modo muy limitado, si es que llega a producirse.^{12, 3, 44, 45} Estos tipos de *feedback* generalmente se consideran necesarios para

alcanzar una coordinación temporal adecuada, así como un mayor grado de refinamiento en los movimientos debido a su ancho de banda.⁷ Los controles de inmersión pueden ser clasificados en tres grupos: control interno, control externo y control simbólico.

Los controles internos disponen de un dispositivo de control cuya representación coincide con la forma física del mismo cuerpo humano. Los rasgos de los miembros, como por ejemplo los ángulos de las articulaciones, se correlacionan uno a uno con los parámetros de sonido o musicales.

Los controles externos disponen de un dispositivo de control cuya representación es tan diferente de la forma física del cuerpo humano que el intérprete la concibe como algo separado de su cuerpo y en algunos casos dicha representación no corres-

pone a una forma física. Los rasgos de los miembros pueden ser complejos (por ejemplo los extraídos de la distancia entre las puntas de dos dedos) y/o éstos se correlacionan de un modo complejo con los parámetros de sonido o musicales (esto es, de modo no lineal o de-muchos-a-uno).

Los controles simbólicos disponen de un dispositivo de control que, debido a su complejidad, resulta prácticamente imposible de representar, o que tan sólo puede ser representada parcialmente. Asimismo requiere conjuntos de gestos formalizados, como los lenguajes por señas y formas empleadas en la dirección de orquesta. Los patrones gestuales corresponden a aspectos estructurales de la música.

III.3.1. Los controles internos

Con el fin de realizar un experimento para controlar los efectos de sonido a través de movimientos de la totalidad del cuerpo, el autor diseñó un traje ajustado para ser llevado por bailarines. Este traje tiene ocho sensores incorporados que deben captar las flexiones de las muñecas, de los codos, de los hombros y de las rodillas. Éstas se traducen en mensajes MIDI, que controlan un dispositivo de efectos de sonido que procesa la voz del intérprete (figura 4). Este control no impone ningún tipo de

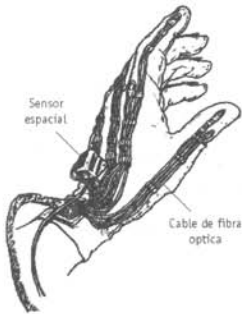


Figura 3. Guante de datos. Cortesía IEEE (USA).

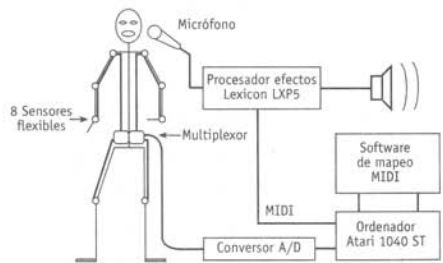


Figura 4. Diagrama funcional del traje de datos.

restricción a las posibilidades gestuales, pero tampoco capta todos los aspectos de los movimientos, de modo que los gestos efectivos son en cierto modo limitados. No obstante, se logra la inmersión. El cuerpo del intérprete funciona como dispositivo de control y cada articulación controla un parámetro de síntesis al igual que un cursor en un panel de control de síntesis. Esta correlación resultó ser muy difícil de aprender. En primer lugar, los movimientos humanos a menudo implican el movimiento simultáneo de diferentes miembros, así que cuando se intentaba cambiar uno o más parámetros específicos, otros parámetros de síntesis eran a menudo coarticulados, esto es, cambiaban de manera no intencionada. Y lo que quizá sea todavía más importante, la correlación no estimulaba el uso de movimientos familiares, como por ejemplo gestos de manipulación o simples señas o gestos simbólicos. Por el contrario, el intérprete tenía que aprender a mover cada una de las articulaciones separadamente. Otro modo más fácil de desplegar este dispositivo de control podría ser que otro intérprete moviera el cuerpo de la persona que lleva el traje a través de gestos de manipulación.

El "Biomuse"¹⁶ establece una relación entre la tensión muscular y el sonido musical a través de la captación de voltajes microeléctricos de la piel humana con electrodos EMG. La dimensión del dispositivo de control depende del número de electrodos EMG empleados. Cuando se usan suficientes electrodos, este método se convierte en un control de inmersión. El control requiere que el intérprete centre su atención en la tensión de los músculos en cuestión⁴⁹, a menos que se diseñe un dispositivo de control que pueda ser representado con una forma diferente de la del cuerpo del intérprete. Si no es así, tal y como ocurre con el traje musical, el cuerpo del intérprete (o una parte del mismo) funciona como dispositivo de control y ésta sería más fácil de controlar si otro intérprete moviera el cuerpo de la persona que lleva el "Biomuse" (éste deberá resistirse al movimiento para crear la tensión muscular).

III.3.2. Controles externos

Hartono, junto con otros especialistas¹¹, realizó un mapeo de los parámetros de movimiento captados por un guante de datos respecto a un espacio multidimensional de parámetros de sonido, utilizando para ello un sistema de redes neuronales. La adaptación fue realizada a partir del empleo de las capacidades de aprendizaje activo de las redes neuronales. Este método minimizó el problema que requería que el usuario produjera la totalidad del gesto (el conjunto de los datos de sonido se ajusta cada vez que una parte de los mapeos se expande o modifica). A pesar de que el instrumento ha podido ser adaptado casi totalmente a las necesidades del intérprete, no se pusieron en práctica dispositivos de control que requiriesen que éste tuviera que empezar desde cero a diseñar un dispositivo de control. Tampoco se proporcionaron representaciones de los dispositivos de control, de modo que los gestos quedaban limitados a simples gestos de manipulación o trayectorias espaciales.

Fels¹⁰ empleó, para su adaptación del gesto a un sistema de discurso (figura 5), la tecnología de redes neuronales y toda una serie de tecnologías de rastreo de movimiento, incluyendo un guante de datos. Las redes neuronales se utilizaron para posibilitar el establecimiento de correlaciones específicas y no lineales, que permitieran la producción de discursos a través de gestos manuales. La forma en que se establecían sus correlaciones se podía aprender, en un nivel aceptable, al cabo de unas cien horas, quizá porque el dispositivo de control posibilitaba el uso de gestos de manipulación familiares y trayectos espaciales sencillos, aunque no era fácilmente representado. A pesar de que una representación gráfica de los mecanismos que generaban el sonido del discurso probablemente no facilitaría, sino que incluso, quizá, haría el control más confuso, una representación gráfica del dispositivo de control indicando cómo se deberían realizar los gestos podría haber abreviado el tiempo de aprendizaje.

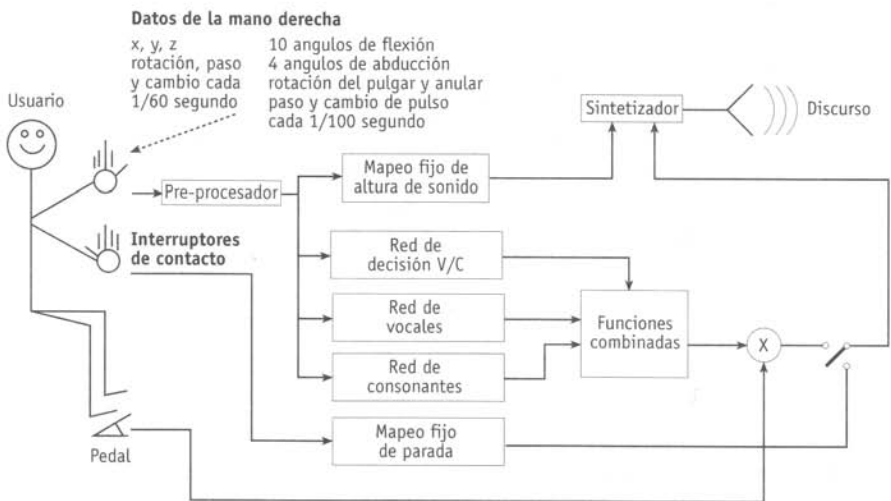


Figura 5. Diagrama funcional del Glove Talk II. Cortesía Sidney Fels (Canadá)

III.3.3. Controles simbólicos

Con el fin de experimentar con controles simbólicos, el autor empleó un guante de datos para realizar un juego de percusión que podía ser activado realizando con la mano una de las señales de un conjunto de señales predeterminadas, a la vez que hacía un movimiento repentino con la muñeca²⁹. La figura 6 nos muestra el diagrama funcional de esta aplicación. La señal realizada con la mano era reconocida a través del procesamiento de diez valores que representan la forma de la mano con una red neuronal de

retropropagación con una capa oculta de quince nodos y tres salidas que hacían posible la codificación de siete valores diferentes de notas MIDI. Cada uno de ellos representaba un sonido de percusión. Los sonidos podían ser asignados a los gestos en función de las preferencias del usuario, pero como no se llevaba a cabo un aprendizaje activo, la totalidad del conjunto tenía que ser especificada cada vez que se le hacía algún cambio, lo cual requería mucho tiempo. El empleo de señales con las manos no ayudaba a lograr una representación de un dispositivo de control para los diferentes sonidos. Así pues, parece probable que el uso de un conjunto de gestos de manipulación específicos y familiares habría supuesto una mejor elección (la variación en el conjunto tendría que corresponder a la variación de los sonidos).

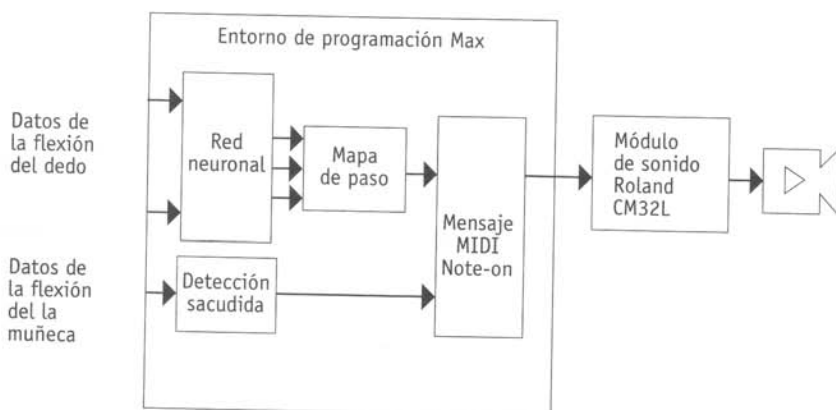


Figura 6. Diagrama funcional del guante de datos.

El Miburi⁵⁷ es un instrumento musical que traduce tanto posturas y gestos corporales concretos (medidos con sensores flexibles sujetos al cuerpo) como accionamientos de teclas (a través de botones sujetos a las manos) en sonidos musicales activados. En este caso, el intérprete tiene que aprender los gestos y posturas concretos, esto es, la adaptabilidad se limita al conjunto de posturas y gestos.

Morita y otros especialistas²⁷ pusieron en práctica una orquesta virtual. El sistema controlaba una orquesta electrónica con una compleja base de datos mediante una cámara CCD y un guante de datos para gestos de dirección de orquesta normales. Expertos con grandes conocimientos técnicos hicieron posible esta adaptación, ya que éste es uno de los controles más completos en los que se emplean gestos formalizados. Su éxito se basa en el uso de un conjunto de gestos existentes para un paradigma de interpretación existente, por ejemplo, la dirección de orquesta.

IV. Diseño de las limitaciones gestuales para los músicos

IV.1. Métodos actuales

IV.1.1. Limitaciones físicas y sensoriales

Tal como se ha indicado más arriba, la adaptación de controles táctiles –que requieren contacto con un dispositivo de control físico determinado en el espacio– al abanico de gestos de un intérprete individual se encuentra actualmente limitada por la realización física del instrumento musical. Cualquier adaptación que vaya más allá de estos límites requiere la actuación de técnicos especializados y la dedicación de mucho tiempo. Parece poco probable la idea de crear de la nada una interfaz gestual para un instrumento musical basado en las capacidades y necesidades gestuales y de movimiento específicas de un intérprete debido a la existencia de estas limitaciones y a que sea accesible sólo para aquellos intérpretes con grandes conocimientos técnicos o para aquéllos que trabajan en institutos de investigación. Algunos controles han conseguido escapar a las limitaciones del contacto físico y han ampliado la esfera de captación gestual en algunos campos, aunque todavía limitan o impiden de manera considerable los movimientos manuales.

IV.1.2. La representación del dispositivo de control

Aunque con la tecnología actual resulta sumamente difícil una representación de las sensaciones táctiles en el caso de los controles inmersivos, éstos pueden captar la totalidad de los gestos con suficiente fiabilidad y resolución, por lo que son empleados para el control musical. Sin embargo, en el caso de los controles internos se crea una cierta confusión, ya que el objeto sobre el que se actúa coincide con el objeto que actúa. En el caso de los controles externos, hasta ahora la representación del dispositivo de control ha resultado demasiado compleja o imposible, lo que, por un lado, posiblemente ha limitado su uso y, por otro, ha hecho que los gestos manipuladores sean más difíciles de aprender. A pesar de que un músico experto no necesita la representación gráfica de un dispositivo de control, la mayoría de los músicos han aprendido a manipular el dispositivo de control de su instrumento estudiando las representaciones visuales y táctiles de la misma, así como su comportamiento.⁴⁷ Así pues, se puede afirmar que si se tienen que usar gestos manipuladores, debería ser siempre posible visualizar y/o imaginar la "sensación" táctil de un dispositivo de control. Por el contrario, si se emplea otro tipo de gestos que no sean manipuladores, la representación no sería necesaria y se podrían utilizar controles simbólicos. A pesar de que todavía sea importante la extracción de información estructurada simbólicamente a partir

de gestos formalizados como las señas,³⁰ los controles simbólicos son, hasta el momento, extremadamente adaptables y mucho más adecuados para desplegar la totalidad de los gestos. Sin embargo, estos controles no son adecuados para el control simultáneo de espacios multidimensionales con parámetros continuos tal como se emplean para la descripción del sonido, puesto que las señas conllevan principalmente la selección y estructuración de sucesos diferentes y discontinuos representados como símbolos.²⁴

IV.1.3. Continuidad con respecto al mundo real

Si nos encontramos ante la necesidad de controlar simultáneamente múltiples parámetros de sonido continuos, los gestos manipuladores pueden resultar más adecuados que los gestos para la comunicación de estructuras simbólicas. Sin embargo, los controles de inmersión realizados hasta el momento no son demasiado favorables para el uso de gestos manipuladores, ya que estos gestos son ejecutados de modo mucho más adecuado con respecto a una visualización y a una representación de las sensaciones táctiles del dispositivo de control que se asemeje a los objetos físicos. Lo que se necesita es la habilidad de crear y adaptar dispositivos de control multidimensionales que sean fácilmente representables y sensibles a los gestos manipuladores; en otras palabras, la habilidad de crear y adaptar dispositivos de control multidimensionales que no difieran demasiado con respecto a la mayoría de las formas con las que tenemos contacto en la vida diaria.

IV.2. Instrumentos musicales virtuales

Las exposiciones anteriores nos llevan a la posibilidad de la solución siguiente. Las limitaciones impuestas por la física pueden ser superadas empleando sensores que rastreen las manos en su totalidad, tal como se usan en los controles de inmersión y en los entornos virtuales. De este modo, en un entorno virtual se pueden crear instrumentos que existan tan sólo en forma de software. Con buenas interfaces, para los intérpretes resultará mucho más fácil programar el software y diseñar su propio control que hacerlo a partir de piezas de hardware (modulares). Así, cualquier aspecto de este control será programable, ninguna limitación se impondrá por principios acústicos o físicos y el intérprete no tendrá que sujetar componentes físicos, de modo que el instrumento será adaptable al máximo a las capacidades o necesidades de un intérprete individual.

No obstante, para posibilitar un uso efectivo de los gestos manipuladores y otros movimientos similares, estos instrumentos deben proporcionar algún tipo de continuidad respecto al mundo real, con un dispositivo de control fácilmente representable que incluya, asimismo, una representación adecuada de las sensaciones táctiles. Así pues, las formas

de estos instrumentos musicales deberían estar inspiradas o ser copias de objetos de nuestra vida cotidiana, a pesar de que el establecimiento de correlaciones con los parámetros de sonido pueda ser muy diferente del de los instrumentos acústicos. Este tipo de instrumentos se denominan Instrumentos Musicales Virtuales (VMI - Virtual Musical Instruments).³²

En otras palabras, y desde el punto de vista de una persona que interactúa con un ordenador, la idea es ampliar la interfaz en 2D de medios de síntesis musical y de sonido (o de lo que a veces se denomina $2\frac{1}{2}$ D debido a la presencia de un ratón tridimensional representado como un puntero bidimensional en una pantalla igualmente bidimensional) a una interfaz en 3D donde se superpongan el espacio de control y la representación visual y táctil.

IV.2.1. Situación actual

Hasta la fecha se han realizado numerosas investigaciones en el terreno de los instrumentos musicales virtuales en $2\frac{1}{2}$ D, pero muy pocas en el campo de los instrumentos musicales virtuales en 3D. Estas investigaciones no apuntan hacia instrumentos totalmente adaptables o hacia un medio en el cual diseñar estos instrumentos, sino que se centran principalmente en la creación de ejemplos virtuales concretos de instrumentos musicales familiares, como la percusión⁴, las flautas³³, las guitarras e incluso el Theremin⁴, con todas las limitaciones conocidas de los dispositivos de control del instrumento original. En muy pocos casos investigadores o artistas como Lanier¹⁸ han sido capaces de desarrollar su propia variación de un VMI inspirado en instrumentos musicales tradicionales. Choi y otros investigadores⁸ desarrollaron un entorno virtual en el cual se representaban trayectorias espaciales en 3D. Al seguir estas trayectorias (un tipo de movimiento íntimamente relacionado con los gestos manipuladores) se lograban diferentes variaciones de sonido. De modo similar al trabajo presentado en esta tesis, Modler²⁵ ha realizado recientemente "objetos musicales virtuales interactivos", que consisten en simples objetos gráficos en 3D, con los cuales el usuario puede interactuar a través de movimientos de manos tridimensionales que obtienen resultados musicales. El autor ha realizado el prototipo de un entorno para el diseño de VMI²⁸ que permite la edición de sonido en tiempo real y la interpretación musical a través de la manipulación de objetos virtuales en 3D. No obstante, no hay por el momento *feedback* de sensaciones táctiles debido a limitaciones de tipo técnico. Los objetos virtuales usan modelos físicos para simular las diferentes formas y tienen como resultado comportamientos que recuerdan el de una lámina de goma o de un globo de goma. La posición, orientación y forma del objeto virtual y las diferentes formas se usan para controlar el timbre del sonido y los parámetros de espacialización.

AGRADECIMIENTO

Este texto es una adaptación realizada a partir de la tesis doctoral del autor. Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del Natural Sciences and Engineering Research Council de Canadá.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Tim Anderson y Debbie Hearn, "Using hyperinstruments for the redistribution of the performance control interface", *Proceedings of the International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca). San Francisco CA, EE.UU., International Music Association, 1994, pp.183-184.
- 2 Craig Anderton: "STEIM, in the land of alternate controllers", *Keyboard*, agosto 1994, pp. 54-62.
- 3 Massimo Bergamasco, "Manipulation and exploration of virtual objects", in: N. Magnenat Thalmann y D. Thalmann (eds.), *Artificial life and virtual reality*. Nueva York, Wiley, 1994, pp. 149-159.
- 4 Mark Bolas y Phil Stone, "Virtual mutant theremin", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (San Jose, California, EE.UU.). International Computer Music Association, San Francisco, CA, EE.UU., 1992, pp. 360-361.
- 5 Bert Bongers, "The use of active tactile and force feedback in timbre controlling electronic instruments", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca). San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1994, pp. 171-174.
- 6 Brad Cariou, "The aXiO MIDI controller", in: *Proceedings of the International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca). San Francisco, EE.UU., International Computer Music Association, 1994, pp. 163-166.
- 7 Chris Chafe, "Tactile audio feedback", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Tokio, Japón). San Francisco, CA, EE.UU., ICMA - The International Computer Music Association, pp. 76-79.
- 8 Insook Choi, Robin Bargar y Camille Goudeseune: "A manifold interface for a high dimensional control interface", in: *Proceedings of the International Computer Music Conference* (Banff, Canadá). San Francisco CA, EE.UU., International Computer Music Association, 1995, pp. 385-392.
- 9 R.L. Doerschuk, "The life and legacy of Leon Theremin", *Keyboard*, febrero 1994, pp. 48-68.
- 10 S. Sidney Fels y Geoffrey E. Hinton, "Glove-TalkII: Glove-Talk II, A neural network interface which maps gestures to parallel formant speech synthesizer controls", in: *IEEE Transactions on Neural Networks*, 9, 1998, nº 1, pp. 205-212.
- 11 P. Hartono, K. Asano, W. Inoue, S. Hashimoto, "Adaptive timbre control using gesture", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca). San Francisco CA, EE.UU., International Computer Music Association, 1994, pp. 151-158.
- 12 Koichi Hirota y Michitaka Hirose, "Providing force feedback in virtual environments", *IEEE Computer graphics and applications*, septiembre 1995, pp. 22-30.
- 13 Bart Hopkin, *Gravikords, whirlies and pyrophones - experimental musical instruments*. Roslyn, NY, EE.UU., Ellipsis arts, 1996.
- 14 R.J.K. Jacob, L.E. Silbert, D.C. McFarlane y M.Jr. Preston Mullen, "Integrity and separability of input devices", *ACM transactions on computer-human interaction*, 1, 1994, nº 1, pp. 3-26.
- 15 David A. Jaffe y W. Andrew Schloss, "A virtual piano concerto - coupling of the Mathews/Boie radio-drum and the Yamaha Disklavier grand piano in the seven wonders of the ancient world", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca). San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1994, pp. 192-195.
- 16 R. Benjamin Knapp y Hugh Lusted, "A bioelectric controller for computer music applications", *Computer Music Journal*, 14, 1990, nº 1, pp. 42-47.
- 17 Volker Krefeld, "The hand in the web: An interview with Michel Waisvisz", *Computer Music Journal*, 14, 1990, nº 2, pp. 28-33.

- ¹⁸ Jaron Lanier, "The sound of one hand", <http://www.well.com/user/jaron/vr.html>
- ¹⁹ Michael Lee, Adrian Freed y David Wessel, "Real time neural network processing of gestural and acoustic signals", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Burnaby, BC, Canadá). San Francisco, CA, EE.UU., ICMA - The International Computer Music Association.
- ²⁰ Tod Machover y Joe Chung, "Hyperinstruments: Musically intelligent and interactive performance and creativity systems", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Columbus, OH, EE.UU.).
- ²¹ Vera Maletic, *Body space expression: the development of Rudolf Labans movement and dance concepts*. Berlín, Mouton de Gruyter, 1987.
- ²² Max Mathews y W. Andrew Schloss, "The radiodrum as a synthesis controller", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Columbus, OH, EE.UU.). San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1989.
- ²³ D. Mattis y Robert Moog, "Leon Theremin: Pulling music out of thin air", *Keyboard*, febrero 1992, pp. 45-54.
- ²⁴ David McNeill, *Hand and mind: what gestures reveal about thought*. Chicago, University of Chicago Press, 1992.
- ²⁵ Paul Modler, "Interactive control of musical structures by hand gestures", in: *Proceedings of the Fifth Brazilian Symposium on Computer Music* (Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 3-5 agosto 1998, durante el 18º Congreso Anual de la Brazilian Computer Society), pp.143-150. Belo Horizonte, MG, Brasil, Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.
- ²⁶ F. Richard Moore, "The dysfunctions of MIDI", *Computer Music Journal*, 12, 1988, nº 1, pp.19-28.
- ²⁷ H. Morita, S. Hashimoto y S. Ohteru, "A Computer music system that follows a human conductor", *IEEE Computer*, julio 1991, pp. 44-53.
- ²⁸ Axel G. E. Mulder, *Design of three-dimensional virtual instruments with gestural constraints for musical applications*. Burnaby, BC, Simon Fraser University, 1998. Accesible a través de la red en <http://www.cs.sfu.ca/~amulder/personal/vmi/AM98-thesis.ps>
- ²⁹ Axel G. E. Mulder, "Getting a GRIP on alternate controllers: Addressing the variability of gestural expression in musical instrument design", *Leonardo Music Journal*, nº 6, 1996, pp. 33-40.
- ³⁰ Axel G. E. Mulder, "Hand gestures for HCI", Technical Report, NSERC Hand Centered Studies of Human Movement project. Burnaby, BC, Simon Fraser University, 1996. Accesible a través de la red en <http://www.cs.sfu.ca/~amulder/personal/vmi/HCI-gestures.htm>
- ³¹ Axel G. E. Mulder, "Human Movement Tracking Technology", Technical Report, NSERC Hand Centered Studies of Human Movement project. Burnaby, BC, Simon Fraser University, 1994. Accesible a través de la red en <http://www.cs.sfu.ca/~amulder/personal/vmi/HMTT.pub.html>
- ³² Axel G. E. Mulder, "Virtual Musical Instruments: Accessing the Sound Synthesis Universe as a Performer", *Proceedings of the First Brazilian Symposium on Computer Musica*, (Caxambu, Minas Gerais, Brasil, 2-4 agosto 1994, durante el 14º Congreso Anual de la Brazilian Computer Society), pp. 143-150. Belo Horizonte, MG, Brasil, Universidade Federal de Minas Gerais, 1994. Accesible a través de la red en <http://www.cs.sfu.ca/~amulder/personal/vmi/BSMC1.ps.Z>
- ³³ Gary Ng., *A virtual environment for instrumental music performance*. Tesis doctoral, Manchester, Reino Unido, Department of Computer Science, Manchester University, 1994.
- ³⁴ D. A. Norman, *The psychology of everyday things*, Nueva York, Doubleday, 1988.
- ³⁵ Joe Paradiso, "New ways to play", *IEEE Spectrum*, diciembre 1997, nº 12, pp. 18-30.
- ³⁶ Joseph A. Paradiso y Neil Gershenfeld, "Musical applications of electric field sensing", *Computer Music Journal*, 21, nº 2, 1997, pp. 69-89.
- ³⁷ Jeff Pressing, "Cybernetic issues in interactive performance systems", *Computer Music Journal*, 14, nº 1, 1990, pp. 12-25.
- ³⁸ Jeff Pressing, "Non-keyboard controllers", in: Jeff Pressing (ed.), *Synthesizer performance and real-time techniques*. Madison, Wisconsin, A-R editions, 1992.

- ³⁹ Miller Puckette: "Combining event and signal processing in the MAX graphical programming environment", *Computer Music Journal*, 15, nº 3, 1991, pp. 68-77.
- ⁴⁰ Miller Puckette: "Nonobvious roles for electronics in performance enhancement", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Tokio, Japón), San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1993, pp. 134-137.
- ⁴¹ Joel Ryan, "Some remarks on musical instrument design at STEIM", *Contemporary Music Review*, 6, nº 1, 1991, pp. 3-17.
- ⁴² W. Andrew Schloss, "Recent advances in the coupling of the language MAX with the Mathews/Boie radio drum", in: *Proceedings International Computer Music Conference* (Glasgow, Reino Unido), San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1990, pp. 398-400.
- ⁴³ B. Shackel, "Human factors and usability", in: J. Preece y L. Keller (eds.), *Human-computer interaction: Selected readings*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990.
- ⁴⁴ Karum B. Shimoga, "A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: part II. Finger touch feedback", *Proceedings of the IEEE Virtual reality annual international symposium*, Seattle, WA, Nueva York, IEEE, septiembre 1993, pp. 271-179.
- ⁴⁵ Karum B. Shimoga, "A survey of perceptual feedback issues in dextrous telemanipulation: part I. Finger force feedback", *Proceedings of the IEEE Virtual reality annual international symposium* (Seattle Washington, septiembre 18-22), Nueva York, IEEE, pp. 263-270.
- ⁴⁶ Ben Shneidermann, *Designing the user interface*. Reading, Massachussets, Addison-Wesley, 1992.
- ⁴⁷ John A. Sloboda, "Music performance: expression and the development of excellence", in: R. Aiello (ed.) *Music Perception*, Nueva York, Oxford University Press, 1994, pp.152-169.
- ⁴⁸ J. R. Smith, "Field mice: Extracting hand geometry from electric field measurements", *IBM Systems Journal*, 25, 1996, nº 3-4, pp. 587-608.
- ⁴⁹ Atau Tanaka, "Musical technical issues in using interactive instrument technology eith application to the BioMuse", *Proceedings International Computer Music Conference* (Tokio, Japón), San Francisco, CA, EE.UU., The International Computer Music Association, 1993, pp.124-126
- ⁵⁰ Mark Vail, *It's Dr. Moog's travelling show of electronic controllers*. Keyboard, marzo 1993, pp.44-49.
- ⁵¹ Roel Vertegaal, *An evaluation of input devices for timbre space navigation*. Tesis doctoral. Bradford, Reino Unido, Department of Computing, Bradford University, 1994.
- ⁵² Roel Vertegaal, "An evaluation of input devices for use in the ISEE human synthesizer interface", in: *Proceedings of the International Computer Music Conference* (Aarhus, Dinamarca), San Francisco CA, EE.UU., International Computer Music Association, 1994, pp. 159-162
- ⁵³ Roel Vertegaal y Tamas Ungvary, "The sentograph: Input devices and the communication of bodily expression", in: *Proceedings of the International Computer Music Conference* (Banff, Canadá), San Francisco CA, EE.UU., International Computer Musica Association, 1995, pp. 253-256.
- ⁵⁴ David M. Waxman, *Digital theremins: interactive musical experiences for amateurs using electric field sensing*. Tesis doctoral, Cambridge, MA, EE.UU., MIT.
- ⁵⁵ Dimensionbeam. <http://www.dimensionbeam.com/db/index.htm>
- ⁵⁶ Lightning. <http://www.buchla.com/index.shtml>
- ⁵⁷ Miburi. <http://www.yamaha.com>
- ⁵⁸ I-Cube System. <http://www.infusionsystems.com>
- ⁵⁹ Troika Ranch. <http://www.art.net/troika/troikahome.html>
- ⁶⁰ Laetitia Sonami. <http://www.otherminds.org/Sonami.html>
- ⁶¹ Sensorband. <http://wwwusers.imaginet.fr/atau/sensorband/index.html>