

## Capítulo III.

### Score-followers : Historia, evolución y estado actual

Alexis Perepelycia

#### I. Historia

*Score-followers* (Dannenberg 1984, 1988, 1989) (Seguidores de Partituras), también llamados *synthetic listener-performers* (oyente-ejecutante artificial) (Vercoe 1984; Vercoe & Puckette 1985), son dos términos empleados para describir un concepto introducido en el ambiente de la *Computer Music* (música por computadoras) a comienzo de los años 80, el cual intenta lograr un sincronismo entre computadoras e instrumentistas (solista), durante la performance musical. Dicho concepto fue desarrollado a partir de la necesidad de sincronizar la cinta (sonidos sobre soporte fijo) empleada como *acompañamiento*, con el instrumentista. Los score-followers fueron, desde un principio, programas de computación capaces de ‘escuchar’ y relacionar, en tiempo real, una partitura previamente cargada dentro del programa, con la música que el instrumentista está ejecutando. Estos sistemas analizan la señal de audio proveniente del instrumentista a fin de extraer información espectral y de este modo detectar la altura (frecuencia) del sonido; consecuentemente el programa puede determinar, previa comparación de la información obtenida y la partitura original, si el *clock* interno del programa debe generar una *accelerando* o un *rallentando*, para mantener la sincronía entre el instrumentista y el acompañamiento. Vale aclarar, que la información puede contener imperfecciones tanto de parte del instrumentista como de parte del programa de análisis. (Jordà 2005)

La primer publicación sobre el tema de la que se tiene conocimiento es *An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment* de Roger B. Dannenberg, citado en casi la totalidad de las publicaciones relacionadas a score-followers y fue publicado en los *proceedings* de la ICMC de 1984. Dannenberg, (Profesor/Investigador Asociado a los departamentos de Ciencias de la

computación y la Escuela de Artes dentro de la Carnegie-Mellon University, Pittsburgh) describe el proceso mediante el cual un algoritmo analiza y detecta información concerniente a la ejecución de una pieza musical para piano y computadora, y detecta tres problemas a los cuales nos enfrentamos durante el proceso de score-follow : en primera instancia debemos detectar y procesar la señal de entrada proveniente del instrumentista; luego debemos comparar la señal de entrada con respecto a la partitura previamente cargada y finalmente debemos generar la información temporal necesaria para la correcta sincronización del acompañamiento con el instrumentista. Una aclaración hecha por Miller Puckette es que “frecuentemente los *pitch followers* (seguidores de altura – de sonido) funcionan de manera mucho menos eficaz en vivo, que durante los ensayos, ya que los músicos suelen tocar de manera diferente, más *musicalmente*, durante el concierto. Cuanto mejor sea la ejecución (en términos musicales), más difícil será la detección de notas (alturas) para el score-follower.” (Puckette & Settle 1993)

Si bien el concepto de score-follower no es nuevo, hemos encontrado otros trabajos anteriores que entendemos, fueron pioneros en la idea de ingresar información a la computadora para establecer una intercomunicación entre músicos y computadora; algunos ejemplos que podemos mencionar son: el *sequential drum* de Max Mathews y Curtis Abbot (Mathews et al. 1980), la utilización de sensores tipo sonar para dirección musical (Hafliche et al. 1983), sistemas de detección de alturas (Clendinning et al. 1983) y diversos experimentos de audio y text warping (envolventes de texto basados en algoritmos de DTW<sup>1</sup> introducidos en los 60) empleados en doblajes para bandas sonoras de películas (Snell 1982).

Otros investigadores (Chafe et al. 1983, Foster et al. 1982) habían trabajado anteriormente en proyectos en los cuales, el problema del seguimiento

---

<sup>1</sup> DTW (Dynamic Text Warping): Envolventes de Texto Dinámicas, son algoritmos que han ganado popularidad por ser extremadamente eficientes como medidores de similitud en una serie temporal de eventos, minimizando el efecto de desfase y distorsión temporal, permitiendo una transformación elástica de la serie en cuestión, para así detectar formas similares con fases diferentes. (Senin 2008)

de una línea melódica era solucionado con antelación, proveyendo a la computadora, información acerca de cómo se iban a suceder los eventos en función del tiempo, y quitando margen para los imprevistos. Al depender de una suerte de notación que informa a la computadora acerca de la sucesión de eventos, creemos que este tipo de proyectos no está directamente relacionado con el nuestro.

También hemos encontrado trabajos posteriores de gran aporte en este area (Puckette et al. 1992, Puckette et al. 1998, Baird et al.1989a, Baird et al.1989b, Baird et al.1991, Baird et al.1993, Orio 2001a, Orio 2001b), principalmente estos autores abordan de nuevas maneras la problemática de la performance *hombre-máquina*.

### **IRCAM**

Durante la década del 80, en el IRCAM (Institute de Recherche et Création Acoustique et Musical) de Paris, surgió una nueva modalidad de composición que puede ser definida como *Interactive Signal Processing* (Proceso de Señal Interactivo) (Favreau et al. 1986; Winkler 1991; Lippe 1996). Si bien esta tendencia estuvo desarrollada a partir del principio de score-follower descrito por Roger Dannenberg (Dannenberg 1984, 1988, 1989) y especialmente por Barry Vercoe y Miller Puckette (Vercoe 1984; Vercoe & Puckette 1985), un avance importante en el tema fue el desarrollo dentro de IRCAM del sintetizador 4X por parte de Giuseppe Di Giugno (Di Giugno et al. 1981).

En 1983, Vercoe trabajó en IRCAM junto a Larry Beauregard (flautista del Ensemble Intercontemporain), quien agregó una serie de sensores ópticos a su instrumento para de ese modo proveer de entradas simbólicas (cues) a la computadora, ya que debido principalmente a limitaciones computacionales, durante su etapa inicial, los sistemas de Score Followers estaban limitados a aceptar entradas simbólicas del ejecutante, más que entrada de audio. (URL1)

Muchas de las obras con procesos de señal en tiempo real compuestas y desarrolladas en IRCAM, incluían score-followers. Todos los efectos aplicados eran escritos en la partitura, pero en lugar de depender de una escala temporal

fija, dependían de la información que el score-follower proveía, el cual constantemente le indicaba al sistema la posición del performer dentro la partitura (Lindeman 1990; Puckette 1991; Lippe & Puckette 1991).<sup>2</sup>

Durante la década de los 80, el advenimiento del protocolo MIDI (Musical Instrument Digital Interface) y su masiva comercialización generaron que los score follower fueron adaptados para aceptar información simbólica, pero esta vez en formato MIDI. Un claro ejemplo de este método fue empleado por el compositor Philippe Manoury para su obra Plutón (1989), para Piano y Live-electronics. (URL1)

En IRCAM, una interacción inteligente, en tiempo real, entre músicos y computadoras fue percibido por los compositores como una necesidad real: el uso de cintas magnéticas o ejecuciones automáticas de música escrita en la computadora prohíbe la flexibilidad de la interpretación instantánea y el uso de instrumentos de interacción directa como sintetizadores o cajas de transformación pasiva, prohíbe el uso de procesos computacionales inteligentes (Boisnée et al. 1986).

El hecho de contar con equipamiento dedicado para el procesamiento de información de audio, claros ejemplos de ello son las estaciones de trabajo 4X e ISPW en IRCAM, otorgó a los investigadores la posibilidad de crear los primeros score followers capaces de analizar audio y seguir las alturas (frecuencias) de las notas que aparecían en la partitura y que el ejecutante reproducía. Este fue el comienzo de la era de los *pitch-based score followers*. (URL1)

Muchas de las primeras obras para instrumentistas y electrónica en tiempo real, emplearon esta tecnología para sus ejecuciones. Otro claro ejemplo de ello, es la obra Júpiter (1987), para flauta y live-electronics, de Philippe Manoury. Compuesta originalmente para flauta MIDI y portada a versión audio en 1992, también *Music for Clarinet and ISPW* (1992) del compositor estadounidense Cort

---

<sup>2</sup> En esta época, también en IRCAM, Miller Puckette comenzó a desarrollar el entorno MAX, originalmente intentado como un score-follower para la workstation 4X. (Favreau et. al 1986, citado en Jordá 2005)

Lippe. En esta última obra, un sistema interactivo de score-follow sigue la ejecución del clarinetista (quien ejecuta clarinete acústico) al tiempo que el sistema responde con transformaciones tímbricas complejas, enfatizando el sonido del clarinete en una suerte de dialogo expansivo con una segunda voz musical basada en la regeneración y reinterpretación de la propia partitura del clarinete (Settle et al. 1992; Rowe 1993: 90)

Hacia fines de los años 90 hubo un gran incremento en los métodos probabilísticos para el procesamiento del habla y el audio. Idealmente los sistemas de score follow deberían considerar ciertas imprecisiones, tanto por parte del ejecutante, como de la máquina, apelando al uso de métodos probabilísticos para lograr mayor robustez. Esto llevó al desarrollo de una nueva generación de Score Followers basados en Modelos Ocultos de Markov (Hidden Markov Models; aka: HMM). Iniciados por Nicola Orio y Diemo Schwarz en 2000 en IRCAM, llevó al módulo *suivi~* y mejorado con un sistema de entrenamiento artificial. Este sistema fue empleado por primera vez en concierto en 2005 para la performance de obra del compositor Pierre Boulez, *...explosante fixe ...*, para flauta, orquesta y electrónica. (URL1)

Los objetivos musicales y científicos de los score followers son diferentes. Mientras que el objetivo científico requiere un alineamiento exacto, el objetivo musical apela a tener acceso a distintos parámetros musicales presentes en una performance en vivo, de manera tal de lograr que los eventos electrónicos se sincronicen con la performance. A fines de 2007, en colaboración con el compositor italiano Marco Stroppa, los sistemas de Score Follow en IRCAM dieron un nuevo paso hacia un paradigma anticipatorio, decodificando posición y tempo, en tiempo real; anticipando de este modo parámetros de la performance, de modo similar al que hacen los músicos. Estas consideraciones llevaron el desarrollo del proyecto *Antescofo*, el cual se ha vuelto una plataforma standard para score follow en muchas piezas que incluyen live-electronics.

Dada la eficacia de la detección en tiempo real de *Antescofo*, los objetivos musicales de dichos sistemas se han vuelto cada vez más explícitos. Esto llevó

a la extensión del paradigma de score following a lo que se conoce hoy en día como Synchronous Programming (Programación Sincronizada). Los eventos electrónicos son ahora programas polifónicos, ejecutándose en paralelo, conjuntamente con el ejecutante y siendo escritos en tiempo relativo. El intento es llenar el espacio entre los aspectos ligados a la performance (ejecución) y aquellos relacionados a la composición de la música con computadoras. (URL1)

## II. Sistemas Musicales Interactivos

En relación a obras con diferente nivel de interactividad, Robert Rowe propone, en su libro *Interactive music systems: Machine listening and composing* (Rowe 1993), una clasificación en tres niveles, la cual es considerada por muchos como el cuadro conceptual básico, en relación a sistemas musicales interactivos:

1. Métodos de respuesta transformativa, generativa o secuencial.
2. Sistemas basados en partitura versus sistemas basados sobre performance.
3. Paradigmas de instrumentos versus paradigmas de ejecutantes.

Debido a la naturaleza de nuestra investigación, nos focalizaremos en la segunda clasificación hecha por Rowe. En esta, Rowe distingue dos tipos diferentes de sistemas: aquellos que tienden a utilizar una colección almacenada de eventos o de fragmentos musicales, y aquellos que están basados en la performance propiamente dicha. En este sentido, a pesar de que el hecho de tener o no una partitura, tradicionalmente produce una dicotomía, un continuo es aún fácilmente imaginable, partiendo de un sistema basado en partitura. Sin dudas, este tendrá un enfoque mucho más 'compositivo', determinista y clásico, comparado a los métodos más improvisatorios y libres, empleados en los sistemas basados en la performance. Una primer crítica que podemos hacer a la taxonomía de Rowe, es que las primeras dos dimensiones parecen estar estrechamente relacionadas. Parece intuitivo, por ejemplo, que los sistemas

basados en partituras, tiendan, además, a ser de carácter secuencial<sup>3</sup>. Rowe menciona un score-follower, como un claro ejemplo de sistemas secuenciales basados sobre la partitura, pero en su libro, no hace referencia a ejemplos de sistemas basados sobre partitura que sean generativos y no transformativos.

En general, las obras basadas sobre partitura y particularmente las composiciones que emplean técnicas de score-following, postulan una cuestión fundamental: cuando el ejecutante se supone que debe seguir un camino predeterminado, que debe considerarse como interactivo?

Las técnicas de score-following, han sido comúnmente tildadas de 'interactivas', aparentemente por el solo hecho de que la computadora se comporta de un modo más 'inteligente'. Sin embargo, este ejemplo, si bien demuestra un cierto grado de 'inteligencia' por parte de las computadoras, denota as su vez un grado de interactividad nula. En una típica performance de música mixta, con un ejecutante tocando sobre una pista (cinta), dicha pista se comporta como 'maestro' y el ejecutante como 'esclavo' (Kimura 1995; McNutt 2003). Los score-followers invierten los roles, una situación que es per se, no más interactiva que el ejemplo anterior. No hay necesidad existente para los dos componentes (humano y máquina) de seguirse el uno al otro. Cuando ambos tratan de hacer esto, el sistema global tiende a ejecutar los eventos cada vez más rápido, en un continuo *accelerando*, hasta que colapsa (si el tempo del score-follower aumenta y el ejecutante acelera para alcanzarlo, el resultado es una carrera de tempo en un loop cerrado [closed-loop tempo runaway]) (Puckette & Settel 1993). Siguiendo con la metáfora de interacción conversacional, los score-follower parecen ofrecer un tipo de conversación bastante poco útil, en la cual ambos interlocutores son capaces solo de entender y responder a aquello que esperan escuchar.

---

<sup>3</sup> carácter secuencial, se refiere a eventos prefijados en el tiempo; por ejemplo, empleando secuenciadores. (nota del traductor)

Bert Bongers (Bongers 2000), emplea el término 'reactivo' para describir el comportamiento que usualmente es descrito como interactivo, a pesar de ser tan predecible como un (muy complejo) interruptor de luz.

Notemos que en algunos casos, solo parte del loop puede ocurrir, por ejemplo cuando la cognición es dejada de lado o cuando una de las componentes tiende a 'reaccionar', más que a 'interactuar'. Muchos sistemas interactivos en arte multimedial son de hecho sistemas reactivos. Idealmente la interacción entre humanos y un sistema debería ser mutuamente influenciable (Bongers 2000).



### III. Bibliografia

- Bongers, Bert Physical Interfaces in the Electronic Arts: Interaction Theory and Interfacing Technology for Real-time Performance, Chapter in Trends in Gestural Control in Music CDROM edited and published by IRCAM (Institut de Reserche et Coordination Acoustique / Musique), Fr., ISBN 2-84426-039. April 2000.
- Buxton, W.; Reeves, W.; Fedorkow, G.; Smith, K.C.; Baecker, R., A Microcomputer-based Conducting System. Computer Music Journal 4, 4 (Spring 1980), 8-21.
- Chafe, Chris; Mont-Reynaud, Bernard; Rush, Loren; Toward an Intelligent Editor of Digital Audio: Recognition of Musical Constructs. Computer Music Journal 6, 1 (Spring 1982), 30-41.
- Clendinning, Jane; Dworak, Paul E., Computer Pitch Recognition: A New Approach. 1983 ICMC Proceedings, Computer Music Association, 1983.
- Dannenberg, Roger B., An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment, In Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference. (1985) International Computer Music Association. 193-198. [www-2.cs.cmu.edu/~rbd/papers/icmc84accomp.pdf](http://www-2.cs.cmu.edu/~rbd/papers/icmc84accomp.pdf) (citada en: <http://www.cs.cmu.edu/~rbd/bib-accomp/html#icim84>)
- Dannenberg and Mukaino (1988). New Techniques for Enhanced Quality of Computer Accompaniment. In Proceedings of the International Computer Music Conference. San Francisco: Computer Music Association, (September 1988) pp 243-249.
- Foster, Scott; Schloss, W. Andrew; Rockmore, A. Joseph, Toward an Intelligent Editor of Digital Audio: Signal Processing Methods. Computer Music Journal 6, 1 (Spring 1982), 42-51.

Haflich, S. M., Burns, M. A., Following a Conductor: The Engineering of an Input Device, in 1983 ICMC Proceedings, Computer Music Association, 1983

Jordà Puig, Sergi Digital Lutherie: Crafting musical computers for new musics' performance and improvisation. PhD Thesis. Departament de Tecnologia Universitat Pompeu Fabra. (2005)

Mathews, M., Abbot, C.; The Sequential Drum, in Computer Music Journal 4, 4 (Winter 1980), pp. 45-49

Osgur Izmirli Compositional Imperatives for Implementing an Audio Alignment Program

Puckette, M. & Lippe, C. (1992). Score Following in Practice. In Proceedings of the 1992 International Computer Music Conference, San Francisco, CA: International Computer Music Association, 182-185.

Senin, Pavel Dynamic Time Warping Algorithm Review, Information and Computer Science Departament University of Hawaii, Honolulu 2008

Snell, John The Lucasfilm Real-Time Console for Recording Studios and Performance of Computer Music, Computer Music Journal 6, 3 (Fall 1982), pp. 33-45

Vercoe, B. (1984). The synthetic performer in the context of live performance. In Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference. San Francisco: International Computer Music Association.

Vercoe, B. & Puckette, M. (1985). Synthetic Rehearsal: Training the Synthetic Performer. In Proceedings of the 1985 International Computer Music Conference. San Francisco: Computer Music Association, 275-278.

### **Recursos On-line:**

#### **URL1**

IRCAM, Interaction Musical en Temps Réel

[http://imtr.ircam.fr/imtr/Score\\_Following\\_History](http://imtr.ircam.fr/imtr/Score_Following_History)