

## IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA WAVE FIELD SYNTHESIS (WFS) SOBRE NODOS ACÚSTICOS DISTRIBUIDOS

PACS: 43.60.Gk

Mihaita Lupoiu<sup>1</sup>; Jose A. Belloch<sup>2</sup>; Enrique S. Quintana-Orti<sup>2</sup>; Alberto Gonzalez<sup>1</sup>; Antonio M. Vidal<sup>3</sup>

1 Institute of Telecommunications and Multimedia Applications, Universitat Politècnica de València, camino de vera s/n 46022 Valencia, España, [milu@upvnet.upv.es](mailto:milu@upvnet.upv.es), [agonzal@ocom.upv.es](mailto:agonzal@ocom.upv.es)

2 Dpt of Computer Science and Engineering (ICC), Universidad Jaime I de Castellón, Av. de Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana, España. [jbelloch@uji.es](mailto:jbelloch@uji.es), [quintana@uji.es](mailto:quintana@uji.es).

3 Dpt de Sistemas Informáticos y Computación, Universitat Politècnica de València, camino de vera s/n 46022 Valencia, España, [avidal@dsic.upv.es](mailto:avidal@dsic.upv.es)

### ABSTRACT

Wave Field Synthesis (WFS) is a spatial audio reproduction system that provides an accurate spatial sound field in a wide area. When the system involves multiple loudspeakers and multiple sound sources, the computational requirements increase meaningfully. The configuration of a distributed system composed of acoustic nodes allows us not only to implement a modular and scalable system, but also to share the computational load among all nodes. An important issue to tackle in distributed systems is the synchronization among all nodes, even more when spatial effect perception depends on the accurate delays in the sound signals. The present work analyzes synchronization issues for two different node distributions that implement a WFS system.

### RESUMEN

El sistema WFS es un sistema de reproducción de audio que recrea con bastante verosimilitud el campo producido por una fuente sonora dentro de una área de escucha. Cuando el número de fuentes a sintetizar y de altavoces en el sistema es amplio, los requisitos computacionales aumentan significativamente. La elaboración de sistemas distribuidos nos permite poder implementar un sistema modular y escalable, al tiempo que la carga computacional requerida por la implementación es repartida entre sus diferentes nodos. Un problema importante a resolver por estos sistemas distribuidos es la sincronización entre nodos ya que es un factor limitante para muchas aplicaciones de audio. El presente trabajo analiza el sincronismo que existe entre nodos para dos tipos de sistemas distribuidos que implementan un sistema WFS.

### 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, ha surgido un creciente interés en mejorar la experiencia sonora y más concretamente en la generación del sonido espacial. Hoy día, uno de los sistemas de reproducción de audio espacial más prometedor es Wave Field Synthesis [1][2], en el que un campo sonoro se sintetiza con alta calidad en un área amplia de escucha por medio de un número elevado de altavoces. El sistema WFS está basado en la creación de un campo sonoro determinado en una zona de escucha (generalmente en 2D a la altura de las cabezas de los

oyentes) mediante la interferencia de los sonidos producidos por un número de fuentes sonoras puntuales (fuentes sonoras secundarias). La Figura 1 muestra cómo la interferencia de los sonidos emitidos por los altavoces produce una onda cuyo frente de ondas equivale a una fuente virtual situada detrás del array de altavoces (que en este caso sería un piano).

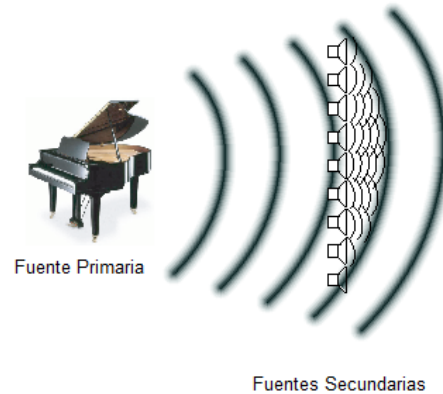


Figura 1. Fundamentos del sistema Wave Field Synthesis.

En un sistema donde el número de altavoces puede incluir desde decenas a centenas, existen muchas operaciones que se realizan para cada uno de los altavoces del sistema, lo que requiere una alta capacidad computacional, y por tanto, una gran demanda de energía. Estos dos requisitos anteriores pueden reducirse si utilizamos un sistema distribuido compuesto por varios nodos acústicos donde cada nodo se encargue de procesar las señales de un número limitado de altavoces. Cada nodo acústico estará compuesto por un procesador de bajo consumo y en base a la posición de las fuentes sonoras del sistema activará o desactivará sus altavoces.

El principal problema cuando implementamos una aplicación WFS sobre un sistema distribuido es el sincronismo entre sus nodos, pues el éxito de la aplicación de WFS depende de la interferencia constructiva de las señales emitidas por los altavoces. En este artículo hemos analizado el comportamiento de las placas Jetson Kit [3] cuando éstas se usan como nodos acústicos, así como el nivel de sincronismo que se obtiene entre los diferentes nodos.

El artículo se estructura de la siguiente forma. La Sección 2 analiza y diseña un sistema WFS sobre un sistema distribuido. Las prestaciones computacionales de un sistema WFS sobre un nodo acústico son mostradas en la Sección 3. Finalmente, la Sección 4 resume las principales conclusiones de este trabajo.

## **2. ANALISIS DE SINCRONISMO PARA DISEÑAR UN SISTEMA WFS SOBRE UN SISTEMA DISTRIBUIDO**

Un sistema distribuido está formado por varios nodos acústicos que intercambian información para conseguir de manera colaborativa un fin común. En este caso, el fin común es la Síntesis de Campo Acústico, el cual, requiere máxima sincronización entre los nodos. La plataforma utilizada para implementar el nodo acústico es el la placa Jetson Development Kit [3], la cual está compuesta por el procesador Tegra X1, el cual, está compuesto a su vez por una GPU de 192 cores y un procesador ARM de 4 cores. Para esta implementación únicamente haremos uso de un único core de ARM. Para el resto del artículo, nos referiremos como Jetson al nodo acústico.

## 2.1 Diseño Inicial de la red de nodos

El primer diseño consistió en configurar un sistema compuesto por dos Jetsons y comprobar cómo se pueden sincronizar entre ellos. Para ello, una Jetson toma el papel de Master-Servidor, ya que su reloj será usado como referencia en el sistema, mientras que la otra toma el papel de Esclavo-Cliente.

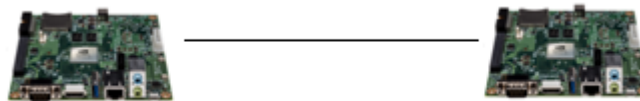


Figura 1. Sistema compuesto por dos Jetsons.

Para sincronizar las Jetsons se ha utilizado el protocolo **Precision Time Protocol (PTP)** cuyo objetivo es sincronizar relojes en una misma red. Existen dos modos de utilizar el protocolo PTP: por hardware y por software. Si lo usamos a través de hardware, este protocolo es capaz de conseguir precisiones de nanosegundos. Esta precisión supera a la que se obtendría si se utilizara el protocolo estándar **Network Time Protocol (NTP)** que se utiliza comúnmente para sincronizar relojes de cualquier computador y cuya precisión es de apenas milisegundos [4] [5].

El sistema operativo instalado en las Jetsons es Ubuntu 14.10, que tiene soporte para la sincronización de protocolo PTP y sigue el estándar IEEE 1588 para Linux. Un paso importante antes de usar el protocolo es comprobar la compatibilidad de la interfaz Ethernet con el protocolo mediante la herramienta `ethtool` [6].

Si utilizamos el protocolo PTP por hardware, es importante comprobar que en la tarjeta ethernet nos aparezcan estos parámetros:

```
SOF_TIMESTAMPING_RAW_HARDWARE
SOF_TIMESTAMPING_TX_HARDWARE
SOF_TIMESTAMPING_RX_HARDWARE
```

Mientras que si utilizamos el protocolo PTP por software, deberá aparecer:

```
SOF_TIMESTAMPING_SOFTWARE
SOF_TIMESTAMPING_TX_SOFTWARE
SOF_TIMESTAMPING_RX_SOFTWARE
```

Si ejecutamos en la Jetson el comando `ethtool`, observamos lo siguiente:

```
#]~$ ethtool -T eth0
Time stamping parameters for eth0:
Capabilities:
    software-transmit      (SOF_TIMESTAMPING_TX_SOFTWARE)
    software-recv         (SOF_TIMESTAMPING_RX_SOFTWARE)
    software-system-clock (SOF_TIMESTAMPING_SOFTWARE)
PTP Hardware Clock: none
Hardware Transmit Timestamp Modes: none
Hardware Receive Filter Modes: none
```

Lo que nos devuelve el comando ethtool nos indica que la Jetson solo dispone de sincronización por software en la tarjeta ethernet integrada. Por tanto, esto podría empeorar la sincronización, ya que existe un tiempo de comunicación adicional entre ambas Jetsons, tal y como se aprecia en la Figura 2, la cual, muestra el intercambio de mensajes del protocolo PTP por software [7].

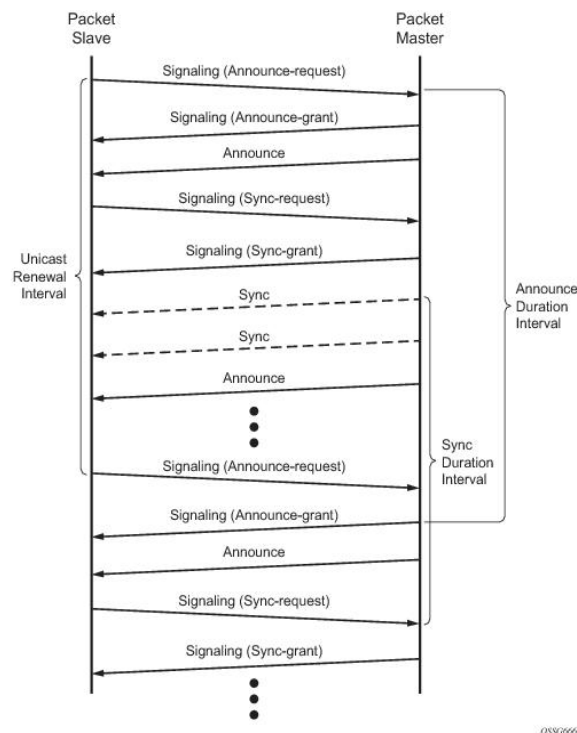


Figura 2 Secuencia de mensajes entre los relojes PTP del esclavo y maestro [7]

Una vez configuradas las Jetsons para ser usadas con el protocolo PTP por software, es necesario evaluar la viabilidad de la aplicación WFS. Para ello, se va a realizar múltiples medidas de tiempo en ambas Jetsons de cara a evaluar su sincronismo. Estas medidas están mostradas en la Figura 3.

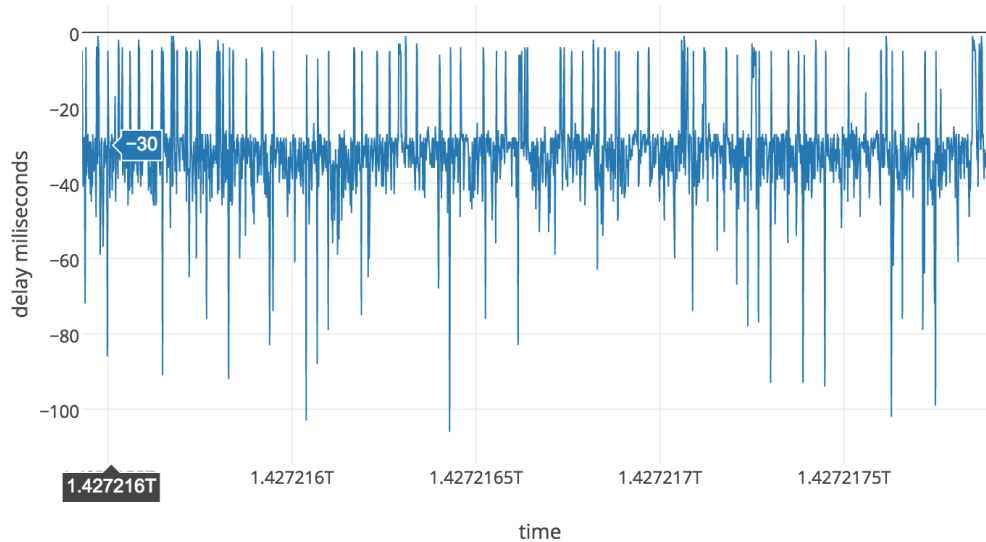


Figura 3 Tiempos de sincronización entre la Jetson Master-Servidor y la Jetson Esclavo-Ciente.

De la Figura 3, podemos extraer un primer resultado y es que, en media, entre ambas Jetsons existe un desfase de 30 milisegundos. Este valor hace inviable a un sistema acústico de síntesis de onda donde se requiere un máximo desvío de sincronización de 5 ms [8]. En el caso de que el desfase fuera superior a 5 ms, un oyente percibiría un sonido más un eco en lugar de un único sonido. Por tanto, debemos buscar un diseño que reduzca el tiempo de sincronismo entre las Jetsons.

## 2.2 Diseño de una red con reloj en un dispositivo externo

Una alternativa al diseño anterior consiste en usar una máquina independiente que estuviera conectada a la red a la que se conectan las Jetsons y que se usara únicamente como referencia temporal. La Figura 4 muestra el esquema del sistema donde el reloj representa la máquina que ofrece la referencia temporal y que jugará el papel de Maestro-Servidor. A la red también se conectará un computador de propósito general que será usado por un usuario para ejecutar la aplicación del WFS, es decir, introducirá número de fuentes y las posiciones que tendrán éstas en el sistema WFS.

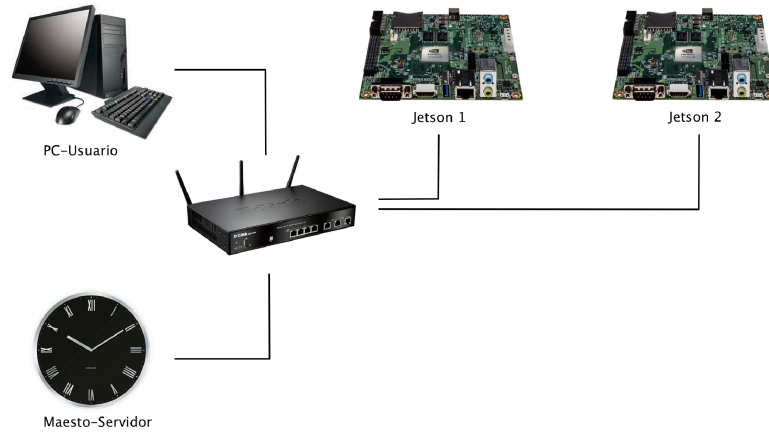


Figura 4. Esquema del sistema compuesto por dos Jetsons, una máquina usada como referencia temporal (Maestro-Servidor) y un ordenador de propósito general.

Una vez montado el nuevo sistema de distribución, ejecutamos primeramente el protocolo PTP en el Maestro-Servidor para que comparta su reloj. Posteriormente, ejecutamos este mismo protocolo en las Jetsons, los cuales, actuarán como Esclavo-Cliente. Al cabo de unos segundos después de haber ejecutado el protocolo en las Jetsons, éstas quedarán sincronizadas con el Maestro-Servidor. El hecho de que en esta distribución ambas Jetsons tomen el mismo papel de Esclavo-Cliente, hace que ambas estén desfasadas en el mismo tiempo con respecto al Maestro-Servidor, y a su vez estén sincronizadas entre ellas. La Figura 5 muestra el desfase en milisegundos entre cada una de las Jetsons y el Servidor.

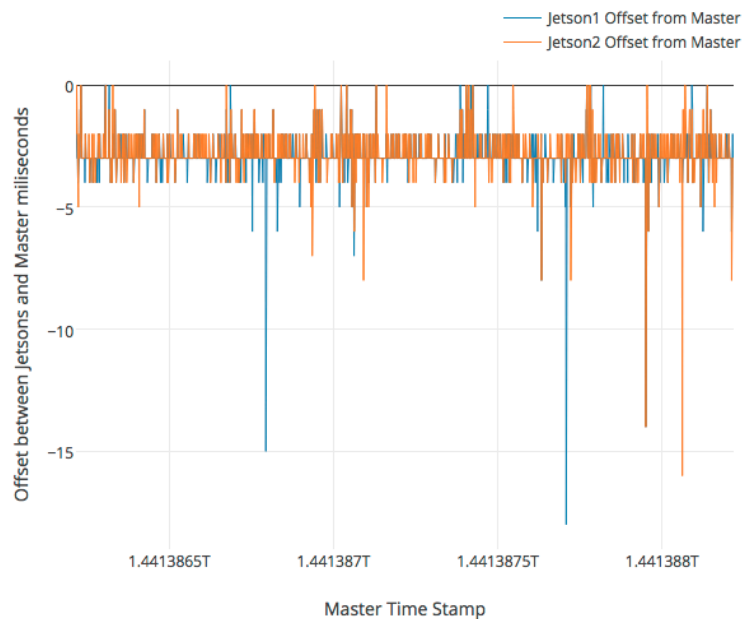


Figura 5. Diferencia de tiempos entre las Jetsons en modo Esclavo-Cliente respecto al Maestro-Servidor.

Por otra parte, la Figura 6 muestra cómo la diferencia de tiempos entre las dos Jetsons no supera mayoritariamente los 5 milisegundos.

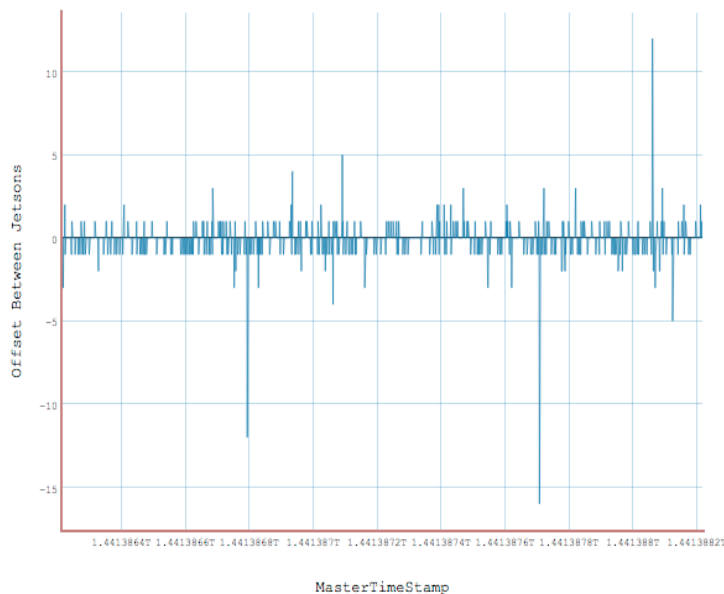


Figura 6. Diferencia de tiempos de sincronización entre las dos Jetsons.

Para poder comprobar de manera más fiable el sincronismo que existe entre las Jetsons, hemos tomado 2000 muestras de reloj de cada una de ellas y hemos calculado su diferencia. Como se puede apreciar en la Tabla 1, más del 80% del tiempo están totalmente sincronizadas y más de un 15% del tiempo están sincronizadas con 1 milisegundo de diferencia. Estos datos muestra la alta sincronización que existe entre las dos Jetsons. A pesar de estos buenos resultados, queda un ínfimo porcentaje (0.15%) de tiempo en que las Jetsons están desincronizadas.

<b>Milisegundos de diferencia entre Jetsons</b>	16	12	5	4	3	2	1	0
<b>Numero de repeticiones</b>	1	2	2	2	14	34	303	1642
<b>%</b>	0,05	0,1	0,1	0,1	0,7	1,7	15,15	82,1

Tabla 1. Error temporal de sincronismo que existe entre las Jetsons.

### 3. PRESTACIONES COMPUTACIONALES

Por otra parte, hemos analizado las prestaciones computacionales que ofrece el procesador ARM de una Jetson. Para ello, hemos medido el tiempo invertido por el procesador para generar las señales de salida variando el tamaño de los buffers de muestras y el número de altavoces, y el número de fuentes que reproducen a 4. La Figura 7 muestra como el tiempo de procesado aumenta de manera lineal tal con el incremento del tamaño del buffer y el número de altavoces.

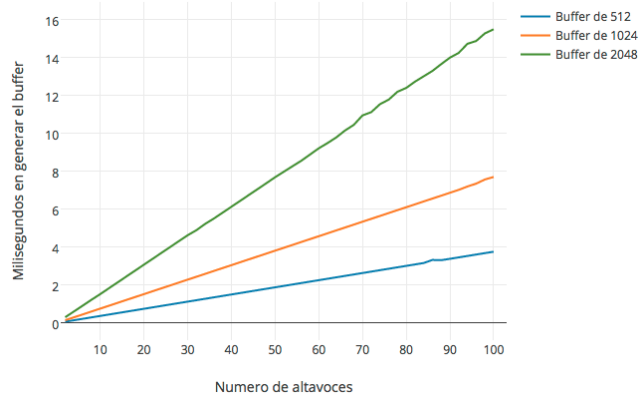


Figura 7. Tiempo de procesado empleado por una Jetson para diferentes tamaños de buffers de muestras y número de altavoces.

#### 4. CONCLUSIONES.

En este trabajo hemos analizado las prestaciones que ofrece la placa Jetson kit si ésta se utiliza como nodo acústico para implementar un sistema WFS distribuido. Los resultados muestran que las Jetsons pueden funcionar como nodo acústico en un sistema WFS siempre que se utilice una máquina externa que ofrezca una referencia temporal. Aún así existe un mínimo porcentaje de tiempo (0.15%) donde se pierde el sincronismo. Futuros trabajos tratarán de reducir u ofrecer soluciones para reducir aún más este porcentaje de desincronización.

#### 5. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por TIN2011-23283, TIN2014-53495-R, TEC2012-38142-C04-01 PROMETEO FASE II 2014/003, P1-1B2013-20 y EU FEDER.

#### 6. REFERENCIAS.

- [1] A.J. Berkhout, "An holographic approach to acoustic control", Journal of the Audio Engineering Society, vol.36, pp.977–995, December 1988.
- [2] A.J. Berkhout, D. de Vries, and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis", Journal of Acoustic Society of America, vol. 93(5), pp. 2764–2778, May 1993.
- [3] Mobile GPU: Jetson, [http://developer.download.nvidia.com/embedded/jetson/TK1/docs/Jetson\\_platform\\_brief\\_May2014.pdf](http://developer.download.nvidia.com/embedded/jetson/TK1/docs/Jetson_platform_brief_May2014.pdf), (22 Noviembre2014 ).
- [4] "NTP and PTP (IEEE 1588) A Brief Comparison", 2010, en4tel.com <http://www.en4tel.com/pdfs/NTPandPTP-A-Brief-Comparison.pdf>, (8 Septiembre 2015).
- [5] "Comparing NTP and PTP", 2015, FSMLabs, <http://www.fsmlabs.com/news/2015/03/12/ptpvsntp.html>, (8 Septiembre 2015).
- [6] "Red Hat Enterprise Linux 6 Deployment Guide", Red Hat, (8 Septiembre 2015), [https://access.redhat.com/documentation/en-US/Red\\_Hat\\_Enterprise\\_Linux/6/html/Deployment\\_Guide/s1-Using\\_PTP.html](https://access.redhat.com/documentation/en-US/Red_Hat_Enterprise_Linux/6/html/Deployment_Guide/s1-Using_PTP.html).
- [7] "Network Synchronization", [https://infoproducts.alcatel-lucent.com/html/0\\_add-h-f/93-0070-10-01/7750\\_SR\\_OS\\_System\\_Basics\\_Guide/System-Intro.html](https://infoproducts.alcatel-lucent.com/html/0_add-h-f/93-0070-10-01/7750_SR_OS_System_Basics_Guide/System-Intro.html), (8 Septiembre 2015).
- [8] J. Blauert. "Spatial Hearing-Revised Edition: The Psychophysics of Human Sound Localization" The MIT Press, 1996.