

Instalación de JACK

JACK

- Para crear agentes de JACK se requiere instalar el servidor JACK.
- Así como las bibliotecas que permiten acceder a las funcionalidades de JACK.
 - Las bibliotecas oficiales son en el lenguaje C.
 - El sistema operativo mayormente soportado es Linux.

JACK y Otros Lenguajes

- Hay otros lenguajes que también pueden acceder a las funcionalidades de JACK.
 - Aunque no están soportados oficialmente.
- **JAVA: JNAJack**
 - <https://code.google.com/archive/p/java-audio-utils/>
- **Python: JACKclient-python**
 - <https://jackclient-python.readthedocs.io/>

JACK y Otros Sistemas Operativos

- También, se puede instalar JACK en otros sistemas operativos.
- Windows:
 - <http://jackaudio.org/downloads/>
 - Sección “Windows”
- Mac OS X (Snow Leopard)
 - <http://jackaudio.org/downloads/>
 - Sección “OS X”

JACK y Proyecto Final

- En este curso utilizaremos el lenguaje oficial de la biblioteca (C) en el sistema operativo mayormente soportado (Linux).
- Pero el proyecto final lo pueden hacer en cualquier lenguaje y en cualquier sistema operativo.
 - Se califica el desempeño final, no la herramienta.

“Si funciona bien, no puedo argumentar en contra.”

Instalación

- Cada computadora es su propio mundo, pero normalmente en Ubuntu 12.04 en adelante lo siguiente debe funcionar:

```
sudo apt-get install jackd2 libjack-jackd2-dev  
pulseaudio-module-jack qjackctl
```

- Respondan que “sí” al preguntarles que si quieren que corra en tiempo real.

Instalación

- jackd2 : servidor de JACK
- qjackctl : una interfaz para configurar y controlar al servidor de JACK
- libjack-jackd2-dev : librerías de C para crear agentes de JACK
- pulseaudio-module-jack : módulo de PulseAudio para que puedan vivir a la vez JACK y PulseAudio

JACK en Tiempo Real

- El servidor de JACK corre en tiempo real sólo si el usuario que lo levanta pertenece al grupo “audio”.
- Utilicen el comando “groups” para saber a cuáles grupos su usuario pertenece.

Agregar Usuarios a Grupos

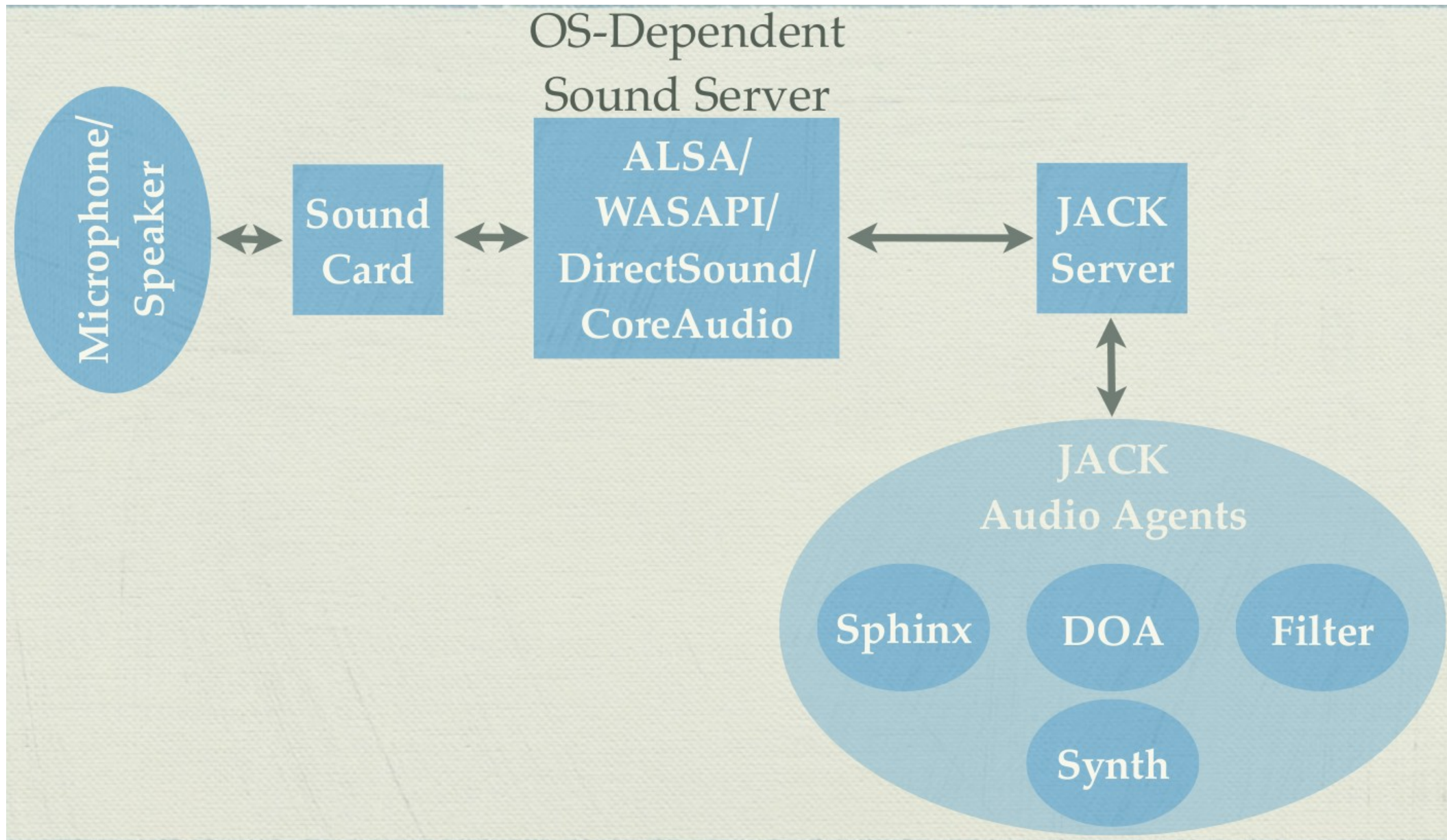
- Corran:

```
sudo adduser <usuario> audio
```

Y para terminar...

- Reinicien su sesión para que los cambios se apliquen.
- Vuelvan a correr “groups” para verificar que su usuario ya está en el grupo “audio”.

Antes de proseguir,
algo de conceptos...



JACK no es lo único

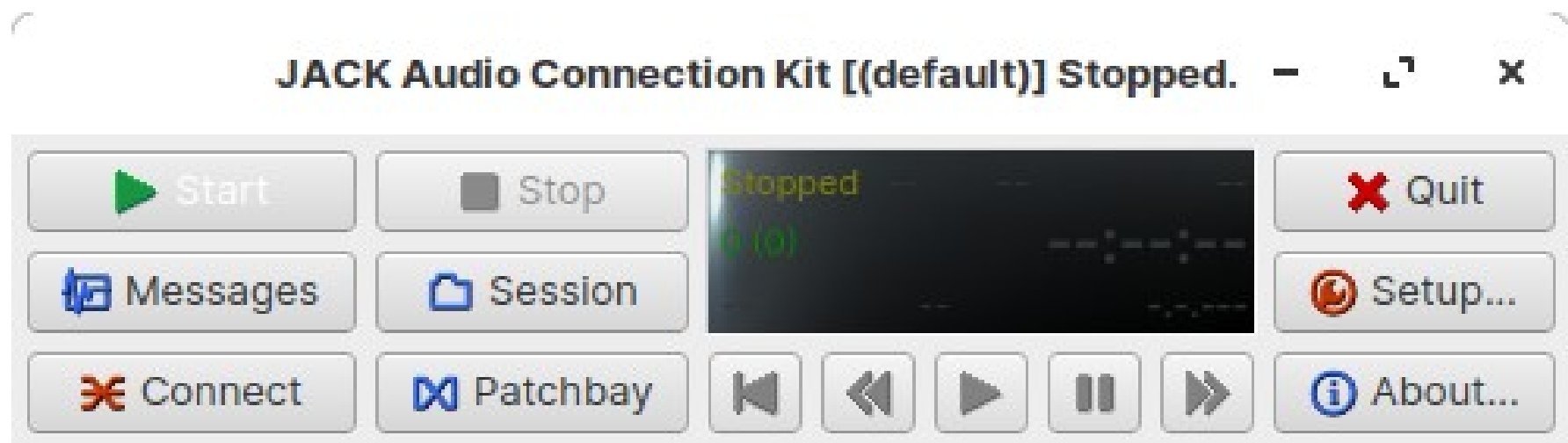
- Hay otros sistemas con los que se pueden capturar audio.
 - Por ejemplo, PulseAudio es la forma por defecto de Ubuntu.
- Y están corriendo en paralelo.
- Por lo que no se sorprendan si al subir/bajar el volumen con la interfaz de Ubuntu, no sube/baja el volumen para JACK.

Bien.

Vamos a correr a JACK con

`qjackctl`

QJackCtl



Setup - JACK Audio Connection Kit



Settings

Options

Display

Misc

Preset Name: (default)



Save



Delete

Parameters

Advanced

Driver: alsa



Interface: (default)



MIDI Driver: none

☒ Realtime

Sample Rate: 48000



Frames/Period: 1024



Periods/Buffer: 4

☐ Verbose messages

Latency: 85.3 msec

Cancel

OK

Settings	Options	Display	Misc
Preset Name: (default) ▼		Save	Delete
Parameters		Advanced	
Please do not touch these settings unless you know what you are doing.			
Server Prefix: /usr/bin/jackd ▼		Name: (default) ▼	
<input type="checkbox"/> No Memory Lock	Priority: ault) - +	Audio: Duplex ▼	
<input type="checkbox"/> Unlock Memory	Word Length: 16 ▼	Dither: None ▼	
<input type="checkbox"/> H/W Meter	Wait (usec): 21333 ▼	Output Device: hw:PCH ▼	
<input type="checkbox"/> Monitor	Channels: ault) - +	Input Device: hw:PCH ▼	
<input type="checkbox"/> Soft Mode	Port Maximum: 256 ▼	Channels I/O: default) + - default) + -	
<input type="checkbox"/> H/W Monitor	Timeout (msec): 500 ▼	Latency I/O: default) + - default) + -	
<input type="checkbox"/> Force 16bit			
<input type="checkbox"/> Ignore H/W			
Server Suffix: ▼		Start Delay: 2 secs - +	
Cancel OK			

Configurar al Servidor JACK

- Cerciorar que el “Realtime” esté seleccionado.
- Periods/Buffer sea 4 (2 normalmente da problemas)
- Seleccionar al dispositivo de salida y entrada en “Input Device” y “Output Device”.
 - Utilizar los dispositivos generales como “**hw:0**” o “**hw:1**”, NO los específicos como “hw:1,0” o “hw:0,2”.
 - Recomendable que el de salida y entrada sea el mismo dispositivo.

Correr JACK

- Suban el volumen de las bocinas y de su micrófono.
 - JACK asume dichos niveles como sus máximos.
- Intenten correr JACK por medio de pulsar el botón de Inicio (*Start*).

JACK con PulseAudio

- De Ubuntu 16.04 en adelante, es posible que JACK se conecte automáticamente con PulseAudio.
 - Utilizando el paquete *pulseaudio-module-jack*
 - Convierte a todo PulseAudio a un agente de JACK
- Es importante que el sistema de Dbus esté activado en JACK para que esto funcione adecuadamente.

Setup - JACK Audio Connection Kit



Settings

Options

Display

Misc

Other

☐ Start JACK audio server on application startup☒ Confirm application close☒ Confirm server shutdown☐ Keep child windows always on top☐ Enable system tray icon☒ Show system tray message on close☐ Start minimized to system tray☒ Single application instance☒ Save JACK audio server configuration to:☐ Configure as temporary server☒ Enable ALSA Sequencer support☒ Enable D-Bus interface☒ Enable JACK D-Bus interface☒ Stop JACK audio server on application exit

Buttons

☐ Hide main window Left buttons☐ Hide main window Right buttons☐ Hide main window Transport buttons☐ Hide main window button text labels

Defaults



Base font size:

Cancel

OK

JACK con PulseAudio

- Si todo está en orden, en la configuración de PulseAudio (clic derecho en botón de audio de Ubuntu → Configuración) tiene como salida y entrada a:
 - Jack Sink
 - Jack Source
- Esta conexión no es esencial para nuestros propósitos, pero se aprecia.

 Settings

Wi-Fi

Bluetooth

Appearance

Notifications

Search

Region & Language

Universal Access

Online Accounts

Privacy

Sharing

Sound





Power

Network

Devices →


Details →

Sound

Output volume:  

Over-Amplification

Allows raising the volume above 100%. This can result in a loss of audio quality; it is better to increase application volume settings, if possible.




Output


Input


Sound Effects


Applications


Choose a device for sound output:


 HDMI / DisplayPort 2 - HDA NVidia

 Digital Output (S/PDIF) - HyperX Virtual Surround Sound


 Analog Output - HyperX Virtual Surround Sound

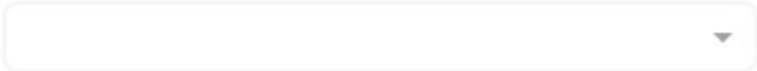
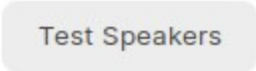
 Digital Output (S/PDIF) - Built-in Audio



 Line Out - Built-in Audio

 Jack sink (PulseAudio JACK Sink)

Settings for the selected device:

Balance: 

Profile:  

  Settings

Wi-Fi

Bluetooth

Appearance

Notifications

Search

Region & Language

Universal Access

Online Accounts

Privacy

Sharing

Sound




Power

Network

Devices →

Details →

Sound

Output volume:    ☒

100%

Over-Amplification

Allows raising the volume above 100%. This can result in a loss of audio quality; it is better to increase application volume settings, if possible.




☒

Output

Input


Sound Effects

Applications


Input volume:    ☒


100%


Input level:





Choose a device for sound input:

 Digital Input (S/PDIF) - HyperX Virtual Surround Sound

 Headset Microphone - HyperX Virtual Surround Sound

 Digital Input (S/PDIF) - OrbiCam

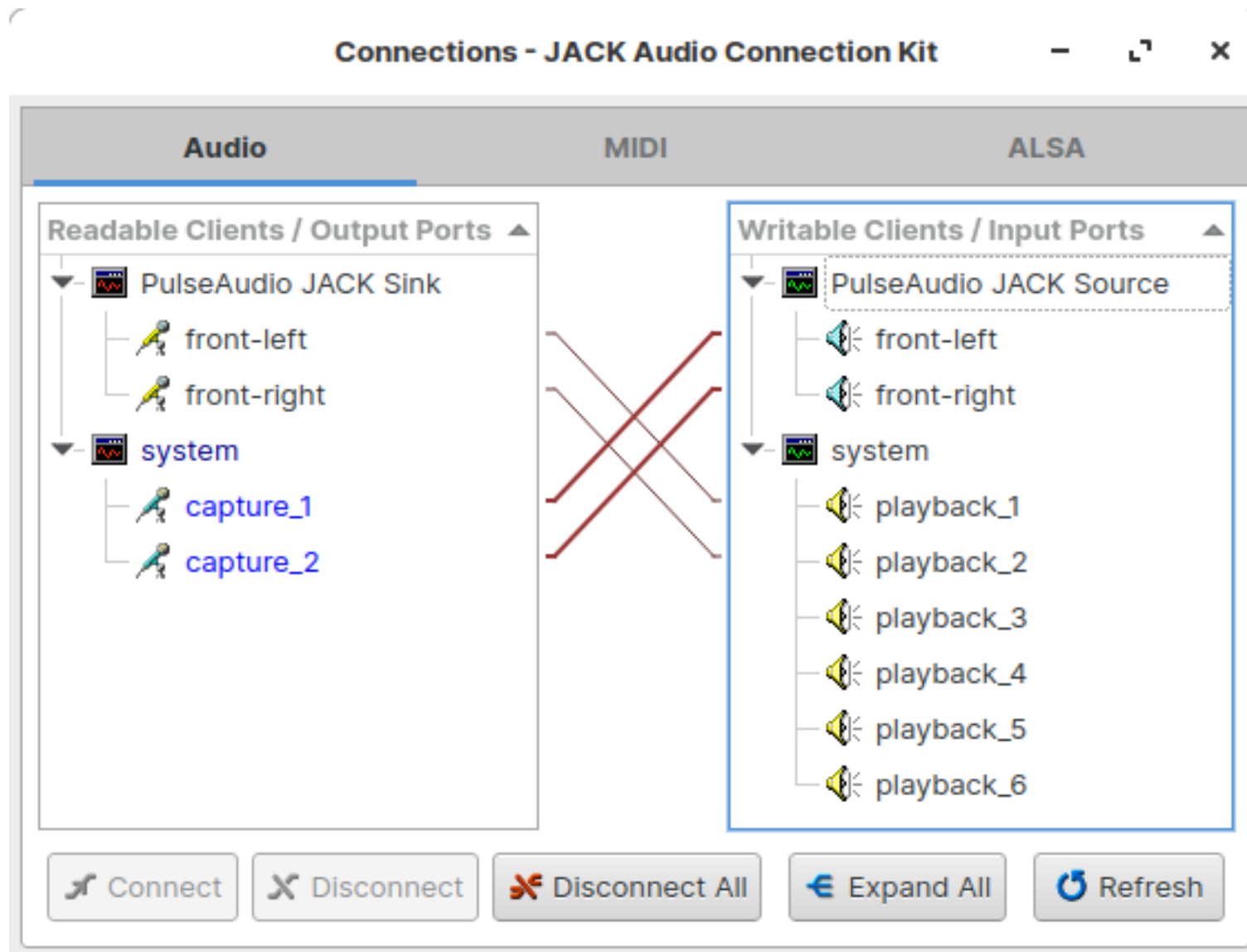
 Microphone - OrbiCam

 Jack source (PulseAudio JACK Source)

En caso de problemas...

- Es posible que los dispositivos seleccionados no sean válidos.
 - Utilizar otros.
- Es posible que PulseAudio no quiera prestar los dispositivos.
 - Reiniciar PulseAudio por medio de:
pulseaudio --kill
pulseaudio --start

QjackCtl → Connect



Probar Salida

- En una terminal corran:
 - `jack_simple_client`
- Deben escuchar un tono.
- Observen que en la ventana de “Connect” de QjackCtl se ha agregado un nuevo agente.
- Presionar CTRL + C en la terminal cuando se harten del tono.

Probar Entrada

- En la ventana de Connect.
- De la columna izquierda, seleccionen uno de los puertos bajo “system”, que sus nombres comienzan con “capture”.
- De la columna derecha, seleccionen uno de los puertos bajo “system”, que sus nombres comienzan con “playback”.
- Presionen el botón “Connect”.
- ¿Se escuchan?

Por cierto...

- ¡Felicidades!
- Ya están procesando audio.
 - Muy simple, pero se vale aplaudir.

Ahora, a crear nuestro primer agente de JACK

Agentes de JACK

- Cada agente se comunica con JACK por medio de escribir y/o leer valores de energía en arreglos de datos.
- Dichos arreglos representan *ventanas* de audio.

Agentes de JACK

- La comunicación agente-servidor se hace de por medio de una función *callback*.
 - Son funciones especiales que se hacen accesibles al exterior del programa.
 - Y se pueden correr desde otros programas como forma de comunicación.


```
void func_callback(int *a){  
    *a = 1;  
}
```

```
int main(){  
    /* codigo que determina a func_callback como nuestro callback */  
  
    while(1){  
        /* codigo que hace otra cosa */  
    }  
}
```

Agentes de JACK

- Todo agente de JACK tiene que tener una función callback a la que el servidor JACK puede mandar a llamar en cada *ciclo de audio*.
 - Un ciclo de audio es el intervalo de tiempo que el servidor JACK permite a todos sus agentes trabajar en sus callbacks correspondientes.
 - Usualmente es limitado por la cantidad de tiempo de “respuesta” (*latency*) que tiene que garantizar para que sea tiempo real.

Setup - JACK Audio Connection Kit



Settings

Options

Display

Misc

Preset Name: (default)



Save



Delete

Parameters

Advanced

Driver: alsa



Interface: (default)



MIDI Driver: none

☒ Realtime

Sample Rate: 48000



Frames/Period: 1024



Periods/Buffer: 4

☐ Verbose messages

Latency: 85.3 msec

Cancel

OK

Agentes de JACK

- Aquellos que no respondan en el tiempo propuesto (*latency*), se levanta un error de “overrun”.
- Esto significa que la información en las salidas del agente tardío es ignorada en el siguiente ciclo de audio.

Ciclo de Audio

- En cada ciclo de audio, el servidor JACK manda a llamar a la función callback de TODOS los agentes JACK conectados.
- En dicha función, los agentes de JACK pueden acceder a los datos de audio en su entrada y/o escribir información en su salida.

Ciclo de Audio

- En cada ciclo de audio, el servidor JACK provee a sus agentes buffers de datos de los cuales se puede:
 - Leer, si es buffer de entrada.
 - Escribir, si es buffer de salida.
- El tamaño de dichos buffers es configurado en el servidor JACK.

Setup - JACK Audio Connection Kit



Settings

Options

Display

Misc

Preset Name: (default)



Save



Delete

Parameters

Advanced

Driver: alsa



Interface: (default)



MIDI Driver: none

☒ Realtime

Sample Rate: 48000



Frames/Period: 1024



Periods/Buffer: 4

☐ Verbose messages

Latency: 85.3 msec

Cancel

OK

¿Frames? ¿Periodos?

- Los buffers son conocidos como *periodos*.
- Los datos dentro los buffers son conocidos como *frames*.
- ADVERTENCIA: la opción de Periods/Buffers habla de los buffers internos de JACK, no de los buffers que provee a los agentes.
 - A los desarrolladores de JACK les gusta confundir a la gente.

Código Ejemplo

- Para proseguir, es más fácil apoyarnos en un ejemplo simple de un agente de JACK.
- Bajarlo de la página del curso, ó:
http://calebrascon.info/jack/jack_in_to_out.c
- Vamos a revisar sus partes...
- Se recomienda tener a la mano:
<https://jackaudio.org/api/>

Creación del Agente

- Se hace uso de *jack_client_open*
- Requiere de:
 - El nombre del agente.

Creación del Agente

– Opciones de comienzo:

- El más común es *JackNoStartServer* que le dice a la función que no comience al servidor JACK si no está comenzado (lo cual hace por defecto).
- Otra posible opción es *JackNullOption*, que no manda ninguna opción que no sea las de por defecto.
- Más opciones en:

https://jackaudio.org/api/types_8h.html#a396617de2ef101891c51346f408a375e

Creación del Agente

- Un apuntador a una variable que describirá el estado de la creación del agente:
 - Si el resultado de la función es apuntador a NULL, significa que hubo un error. El apuntador del “estado” da una mejor descripción de dicho error.
 - Tipos de Error:
https://jackaudio.org/api/types_8h.html#aaf80297bce18297403b99e3d320ac8a8
 - Se revisan de la siguiente manera:

```
jack_client_t *client;
```

```
int main(){  
    jack_options_t options = JackNoStartServer;  
    jack_status_t status;  
  
    client = jack_client_open ("name", options, &status);  
  
    if (status & JackServerFailed){  
        ...  
    }  
  
    if (status & JackNameNotUnique){  
        ...  
    }  
}
```

Importante: no es doble &, es sólo un &.

Un & por sí sólo hace una operación binaria, el cual regresa un valor diferente a 0 si son equivalentes en un bit específico.

Creación del Agente

- (Opcional) El nombre del servidor de JACK.
 - Útil si hay varios servidores corriendo a la vez.
 - En nuestro caso, se puede ignorar este argumento.

Nombre de Agente

- *jack_client_open* intenta asignarle el nombre a nuestro agente que le dimos.
- Es posible que dicho nombre ya esté ocupado, si fuera éste el caso:
 - El bit de *JackNameNotUnique* nos lo hace saber.
 - La función nos asigna un nombre similar.
 - *jack_get_client_name* nos regresa el nombre que se nos ha asignado.

Callback

- *jack_set_process_callback* define cual función es la que el servidor JACK va a mandar a llamar para este agente.
- En este caso, nuestra función callback se llama: “jack_callback”
- Recibe dos argumentos:
 - El número de frames que hay en los buffers.
 - Un argumento adicional para otros datos misceláneos.

Callback

- Este es donde hacemos la mayor parte del trabajo, por lo que vamos a dejar la discusión de esta parte del código para el final.

On Shutdown

- *jack_on_shutdown* le hace saber a JACK cual función mandar a llamar cuando:
 - El servidor JACK se muere.
 - Cuando el agente requiere ser desactivado.
- Requiere de otra función callback: “jack_shutdown”
 - Lo único que hace es matar al agente.
 - `exit(0)` forza al agente a terminar, regresando un valor de 0 al sistema operativo (equivalente a `return 0` del main).

Registro de Puertos

- Todo agente de JACK requiere por lo menos un puerto registrado.
- En nuestro caso, tenemos uno de salida y otro de entrada.
- Los registramos por medio de:
jack_port_register

jack_port_register

- Requiere de:
 - La variable del cliente creada por *jack_client_open*
 - El nombre del puerto
 - El tipo de dato de audio que va a manejar
 - Usualmente *JACK_DEFAULT_AUDIO_TYPE*
 - Banderas descriptivas del puerto
 - *JackPortIsInput*: si es de entrada
 - *JackPortIsOutput*: si es de salida

jack_port_register

- El último argumento es para el tamaño del buffer, pero es sólo para puerto no-nativos. Se ignora con puertos nativos.
 - Todos los puertos que vamos a manejar son nativos.
 - Se puede dejar en 0.
- Regresa el apuntador que describe al puerto.
 - Hay una cantidad máxima de puertos que JACK puede manejar.
 - Si no se pudo registrar un puerto porque ya no hay más puertos que JACK pueda manejar, el apuntador que *jack_port_register* regresa es igual a NULL.



Settings

Options

Display

Misc

Preset Name: (default)

Save

Delete

Parameters

Advanced

Please do not touch these settings unless you know what you are doing.

Server Prefix: /usr/bin/jackd

Name: (default)

☐ No Memory Lock

Priority: ault) - +

Audio: Duplex

☐ Unlock Memory

Word Length: 16

Dither: None

☐ H/W Meter

Wait (usec): 21333

Output Device: hw:PCH

☐ Monitor

Channels: ault) - +

Input Device: hw:PCH

☐ Soft Mode

Port Maximum: 256

Channels I/O: default) + - default) + -

☐ H/W Monitor

Timeout (msec): 500

Latency I/O: default) + - default) + -

☐ Force 16bit☐ Ignore H/W

Server Suffix:

Start Delay: 2 secs - +

Cancel

OK

Activación del Agente

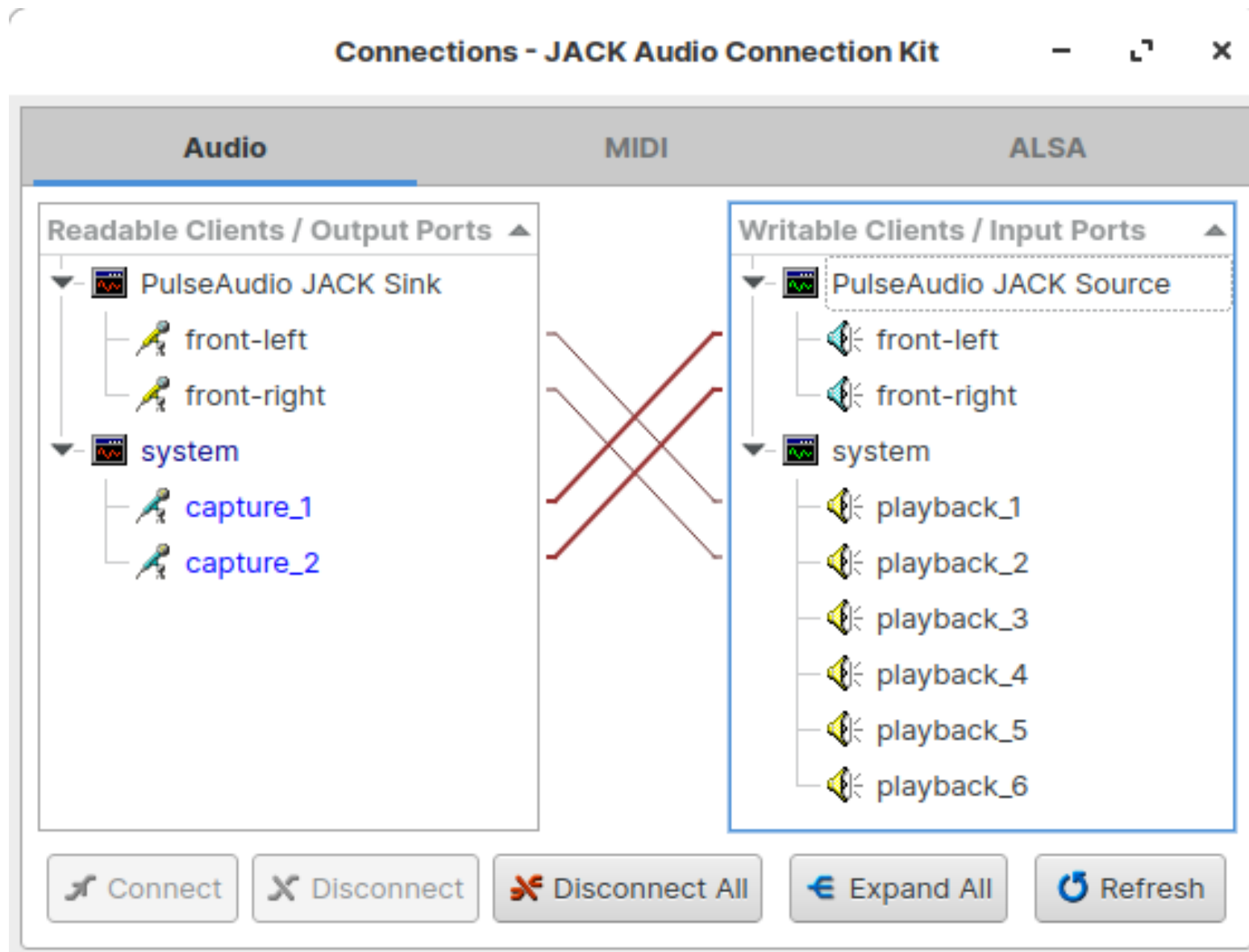
- *jack_activate* activa al agente.
- Si la activación es exitosa (si *jack_activate* regresa 1), entonces el agente es agregado a la lista de agentes del servidor JACK.
 - Y el servidor JACK comienza a llamar a su función callback correspondiente.
- Se pueden registrar puertos después de haber activado el cliente, pero no es recomendable.

Conexión de Puertos

- Tras haber activado el cliente, se puede conectar sus puertos a otros agentes.
- Se conectan salidas de agentes a entradas de agentes, en ese orden.
 - No es posible conectar salidas con salidas o entradas con entradas.
- Se puede hacer de manera manual:
 - En la interfaz “Connect” en QjackCtl.
 - O con los comandos de terminal `jack_connect`

SALIDAS

ENTRADAS



jack_connect

- *jack_connect* requiere de los nombres de los puertos a conectar.
 - Primero el de salida, y luego el de entrada.
- El formato del nombre de un puerto para *jack_connect* es:
<nombre de agente>:<nombre de puerto>
 - Por ejemplo system:playback_1

Conexión de Puertos

- También podemos hacerlo desde C, por medio de la función *jack_connect* que manda a llamar el programa *jack_connect*.
 - Valga la redundancia.
- Requiere:
 - La variable del cliente creada por *jack_client_open*
 - El nombre del puerto de salida
 - El nombre del puerto de entrada
- Regresa un 1 si fue exitoso, 0 si no.

Conexión de Puertos

- Para obtener nombres de puertos disponibles, usamos *jack_get_ports*
- Requiere:
 - La variable del cliente creada por *jack_client_open*
 - Un patrón del nombre del puerto a buscar
 - Un patrón del tipo de datos de audio que utiliza el puerto a buscar
 - Banderas descriptivas del puerto a buscar

jack_get_ports

- Usualmente queremos que nuestro agente se conecte al micrófono y bocinas.
 - Para JACK, éstos son los puertos del agente “system”, también conocidos como “puertos físicos”.
- Para buscar estos puertos es más fácil utilizar la bandera descriptiva: *JackPortIsPhysical*
- Así como añadirle la bandera descriptiva de que si es de entrada o de salida: *JackPortIsOutput* ó *JackPortIsInput*.

jack_get_ports

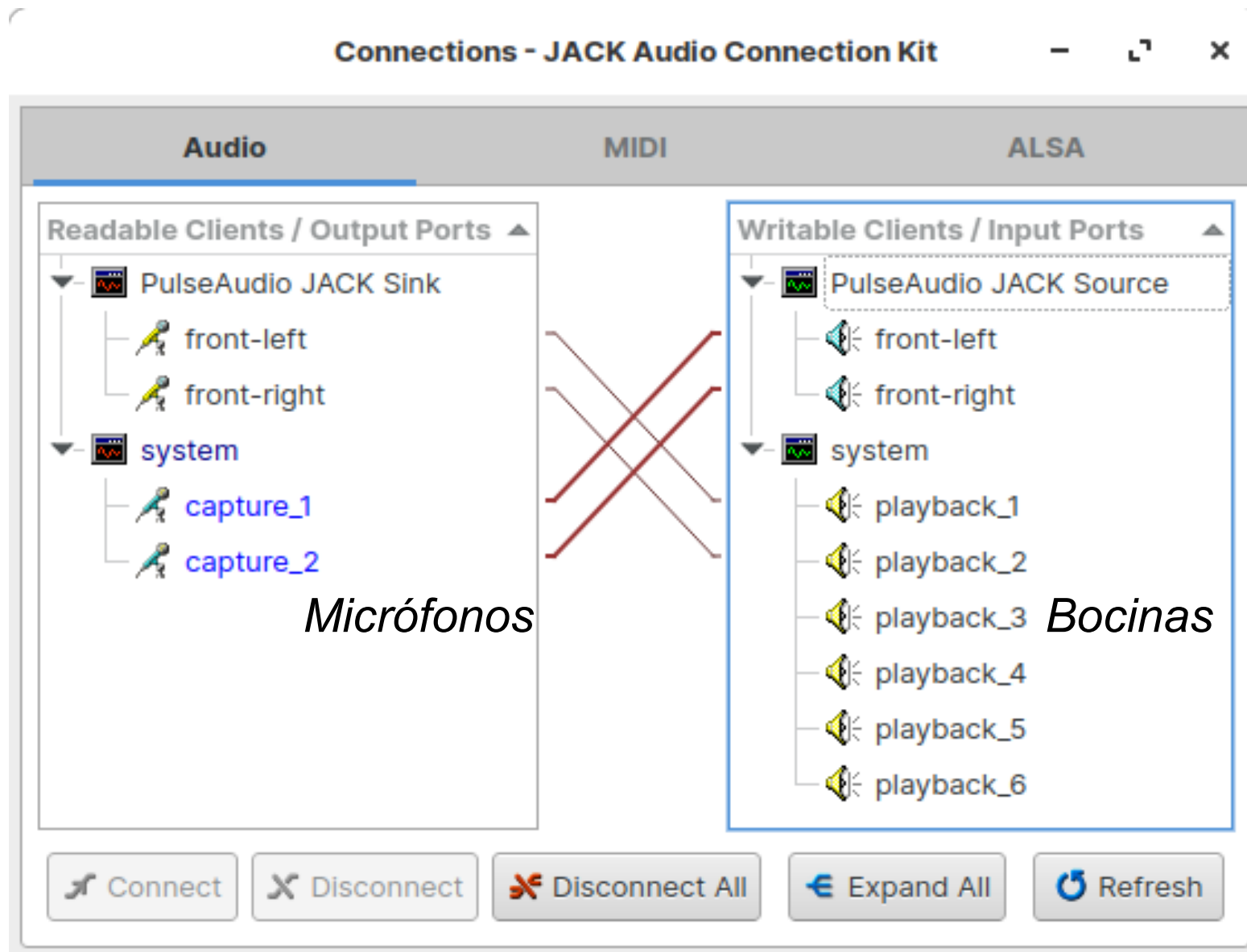
- Regresa una serie de strings con los nombres de los puertos que cumplen con las características que le indicamos.
- Si no hay puertos con esas características, regresa NULL.

Salidas a Entradas ... físicas

- *De nuevo:* siempre se debe conectar una salida a una entrada.
- *De nuevo:* los puertos físicos son presentados a los agentes como los puertos del agente “system”.
 - Una **salida** del agente sistema es un **micrófono**.
 - Una **entrada** del agente sistema es una **bocina**.
 - No es un typo...

SALIDAS

ENTRADAS



Salidas a Entradas ... físicas

- Por lo tanto, debemos conectar:
 - Nuestras salidas a las entradas de “system” (bocinas).
 - Las salidas de “system” (micrófonos) a nuestras entradas.

¿Cierre del Agente?

- Ya teniendo todo listo, es sólo cuestión de esperar a que el servidor JACK mande a llamar nuestro callback.
- ¿Mientras tanto?
 - Hacemos nada.

Sleep

- La función sleep hace que el programa duerma por una cantidad de segundos específica.
 - Viene en la librería unistd.h, por eso el include.
- Requiere:
 - Número de segundos. Si este número es -1, se duerme indefinidamente.

¿“Dormir”?

- Es posible que en vez de utilizar sleep, pusieramos un while(1){}
- Pero, el programa estaría gastando recursos al estar verificando la condicional en cada ciclo de operación.
- Además, “dormir” es sólo un decir, el agente sigue alerta de cualquier callback.
 - El callback funciona como un despertador.

jack_client_close

- Esta parte del código realmente es de adorno, ya que del sleep(-1) en adelante, nada se corre.
 - Ya que es indefinido.
- Pero lo ponemos ahí por completitud.

Callback... de nuevo

- Dijimos que íbamos a volver al tema del callback.
- *jack_port_get_buffer* es una función que regresa un apuntador a un buffer de datos de audio de algún puerto.
 - Dicho buffer puede ser de entrada o salida, dependiendo del tipo de puerto que se especifique.

jack_port_get_buffer

- Requiere:
 - La variable del puerto creada por *jack_port_register*
 - De cuantos frames se quiere el buffer
- El apuntador apunto a un arreglo de tipo *jack_default_audio_sample_t*
 - Este tipo es casi igual a un tipo double, y se puede utilizar como tal.
 - Sus valores van del -1 a 1.
- Siendo un arreglo, se puede acceder como cualquier arreglo: `in[0]`, `out[4]`, etc.

Buffers

- Si el buffer es de un puerto de entrada:
 - Leer de éste proporciona los valores de energía de una señal capturada por nuestro agente.
 - Escribir a éste no tiene ningún efecto.
- Si el buffer es de un puerto de salida:
 - Escribir a éste proporciona valores de energía de una señal reproducida por nuestro agente.
 - Leer de éste es basura y no tiene ningún efecto.

Recordatorio

- Una variable de tipo *jack_port_t* es sólo un **descriptor** de un puerto.
 - No se puede leer/escribir a éste por si sólo.
- Para esto, se requiere:
 - Obtener un buffer del puerto con *jack_port_get_buffer*
 - El buffer será del tipo *jack_default_audio_sample_t*
 - Y, luego, leer/escribir al buffer.

memcpy

¿Quién puede decirme qué es lo que hace?

memcpy

- Copia datos de un segmento a memoria a otra.
- Recibe de argumentos:
 - Apuntador al arreglo destino.
 - Apuntador al arreglo origen.
 - Cantidad de bytes a copiar.
 - Se puede usar “sizeof” para saber el número de bytes que ocupa un tipo de variable, y luego multiplicar por el tamaño del arreglo

Entonces:

¿Qué es lo que hace este agente?

Compilar

- El comando completo es:
`gcc -o jack_in_to_out jack_in_to_out.c -ljack`
- Si les sale varios warnings que involucran a ISO C90:
 - Utilicen la opción `-std=gnu99` justo después de `gcc`

¿Cómo le harían para hacer eso utilizando un bucle tipo “for”?

¿Qué necesitan hacer para subirle el volumen a la salida?

¿Para bajarle el volumen?

Volumen

Si multiplico por 2 la salida, ¿suena el doble de fuerte?

Volumen

- El oído humano no funciona de una manera lineal.
 - Es más logarítmico.
- Una manera muy popular de representar relaciones entre energía que son comparables con el oído humano es utilizando el concepto de **Decibeles**.

Decibel (dB)

- A pesar de ser *incorrectamente* considerado como una medida de energía, es realmente una medida de **razón de energía**.

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{P_f}{P_r} \right)$$

L = razón de energía (dB)

P_f = energía final

P_r = energía de *referencia**

***Una *referencia* muy utilizada es 20 micropascales en el aire (la intensidad más pequeña que un humano puede detectar).**

Decibel (dB)

- Por lo tanto, si queremos incrementar el volumen por una razón L , se puede hacer por medio de:

$$\frac{P_f}{P_r} = 10^{\frac{L}{20}}$$

L = razón de energía (dB)

P_f = energía final

P_r = energía original

Ejercicios/Tareas

¿Cómo le harían para...?

Tarea 1

- Hacer que el ejemplo registre dos puertos de entrada y dos de salida.
- Conecte apropiadamente a los puertos del agente “system”.
- Copie la información de la entrada #1 a la salida #1, así como de la entrada #2 a la salida #2.

¿Cómo le harían para...?

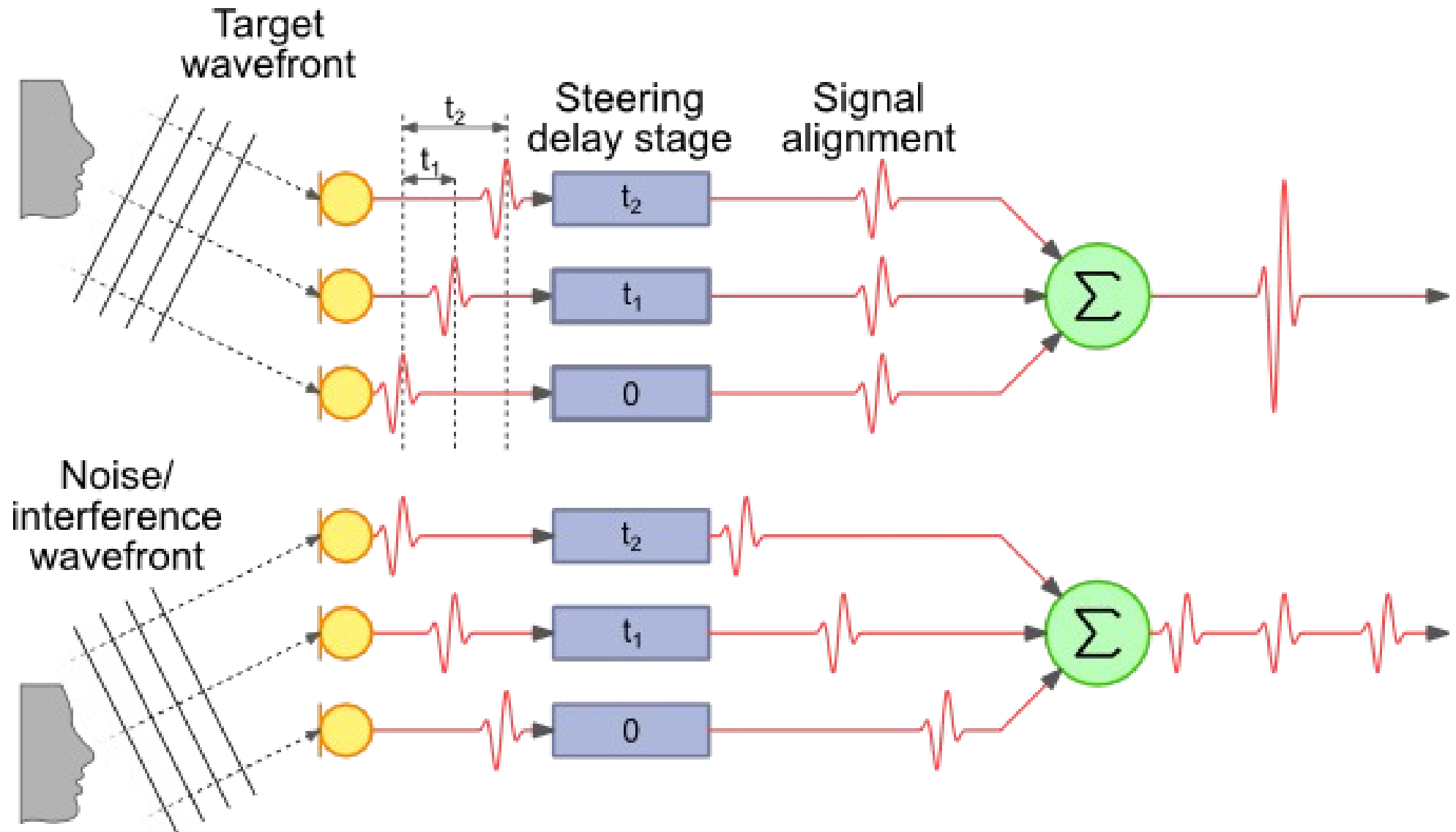
Tarea 2

- Hacer que el ejemplo registre dos puertos de entrada y uno de salida.
- Conecte apropiadamente a los puertos del agente “system”.
- Sumar punto-a-punto la información de la entrada #1 y la de la entrada #2, y sacar el resultado por la salida.

¡Felicidades!

- Han implementado su primer *beamformer*.
 - También conocidos como filtros espaciales.
 - Reducen la energía de todo lo que viene de una dirección de interés pre-establecida.
- El beamformer que implementaron tiene como dirección de interés a cero grados (enfrente).
 - Todo lo que venga en esa dirección se le duplicará su energía.
 - Lo que no venga de esa dirección, no se le hará nada.

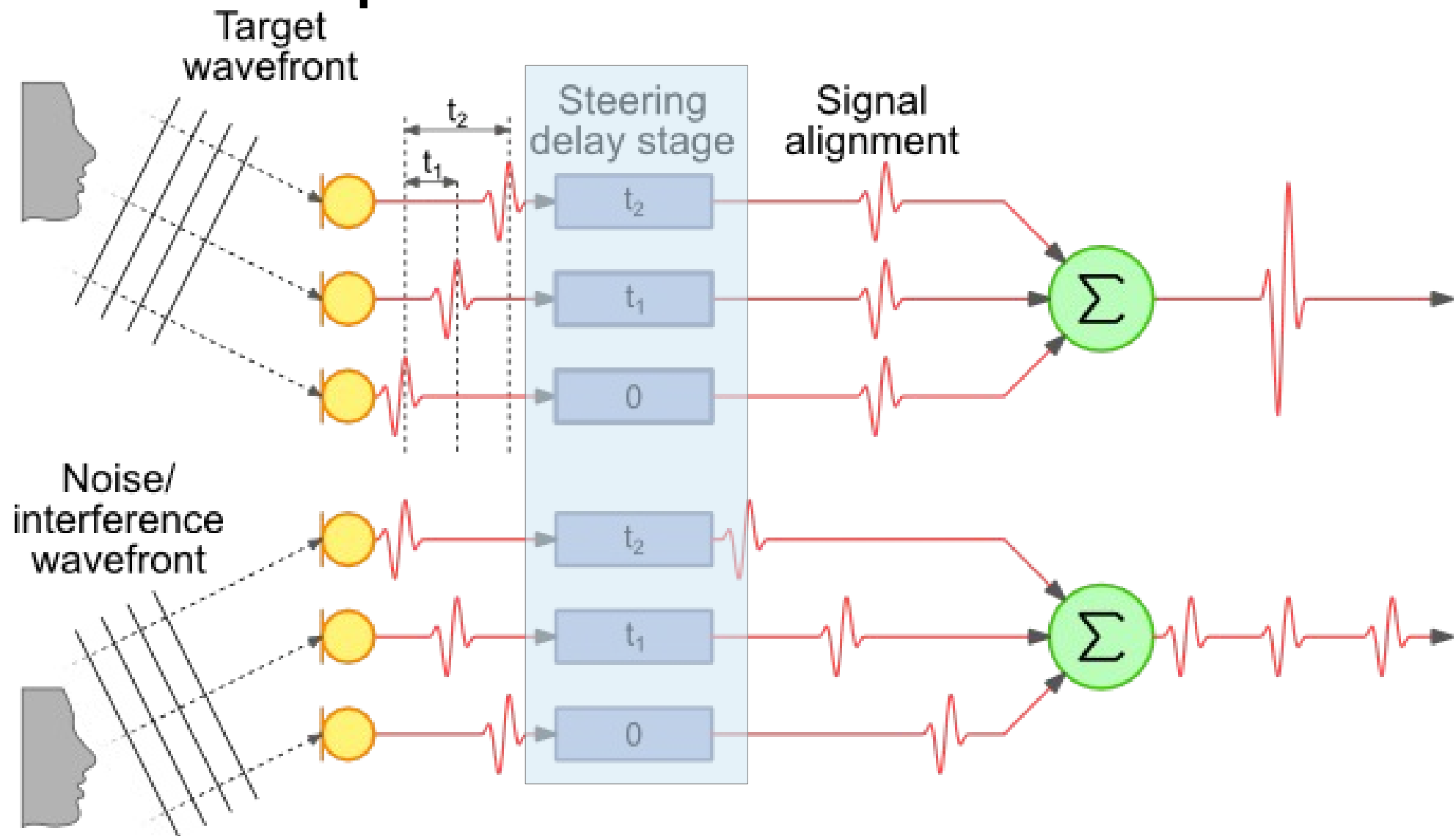
Algo así...



Pero...

- ¿Cómo cambio la dirección de interés?

Lo vamos a ver después, pero tiene que ver con desfases



Entonces...

- Es muy importante que sepamos como desfasar señales.
- Por lo tanto...

Siguiente Clase

Desfase con JACK y Baudline