

17. La instalación de equipos de telemedicina rural

Fernando Balducci González¹, Germán Hirigoyen Empananza¹
y Carlos Rodolfo Ramírez Payba¹

Los servicios de telemedicina sobre una red IP inalámbrica no dejan de ser aplicaciones con unos determinados requisitos (en algunos casos muy estrictos) de QoS. Un servicio, a efectos de funcionamiento en red, se va a traducir en una serie de especificaciones objetivas de caudal mínimo garantizado, caudal máximo, retardo máximo tolerado, máximo número de paquetes que se pueden perder, etc. Esos requisitos se le exigen a la red subyacente que, en función de sus características, puede dar el soporte de QoS necesario para algunos servicios, y no ofrecer suficientes garantías para otros. En este capítulo se van a analizar, a modo de ejemplo, algunos servicios de telemedicina que se están poniendo en marcha con éxito en redes inalámbricas rurales, pero hay otros muchos. Para implantar cualquier servicio distinto de los citados, bastaría en principio con analizar sus requisitos de QoS, y asegurarse de que pueden ser satisfechos por la red.

17.1. Instalación de sistemas de teleestetoscopia

En esta sección se explica la instalación del sistema de teleestetoscopia digital EHAS-Fundatel, cuyo funcionamiento se describe en la Sección 7.2. Para la instalación de la aplicación, será necesario descargar el código fuente del wiki de EHAS² o del repositorio Subversion alojado en el servidor de EHAS³.

17.1.1. Configuración del entorno

Para el funcionamiento del modo remoto del estetoscopio es necesario tener configurados un servidor con la centralita Asterisk⁴ alcanzable, y cuentas SIP en las compu-

¹Fundación de Telemedicina (Fundatel), Argentina

²<http://wiki.ehas.org>

³http://svn.ehas.org/teleestetoscopio/software_linux/trunk

⁴<http://www.asterisk.org/>

tadoras local y remota, registradas en esta centralita empleando la aplicación cliente de telefonía IP (*softphone*) Ekiga⁵.

La versión de Asterisk instalada debe ser superior a la 1.6, con el objetivo de que disponga de la implementación del códec G.722, e igualmente las versiones de Ekiga instaladas tendrán que ser superiores a la 3.2, que traen ya dicha implementación.

En la configuración de las extensiones de Asterisk en las que se registrarán los puestos de teleestecoscopia, ha de ponerse especial cuidado en especificar mediante "allow=g722" la disponibilidad del códec. Por lo demás, la centralita se configurará de la forma habitual.

Las otras aplicaciones de terceros que deberán configurarse adecuadamente son: el juego de herramientas de conexiones de audio Jack⁶ y el servidor de sonido Pulseaudio⁷.

El módulo pulseaudio-module-jack debe ser cargado en Pulseaudio. Para facilitar esta tarea, se escribió un archivo de comandos (*script*) que es configurado como archivo de comandos de post-arranque de Jack, de forma que se cargue cuando Jack ha iniciado, eliminando la necesidad de que el usuario tenga que ocuparse de esta tarea. Este archivo de comandos se llama jack startup.sh y será invocado con el parámetro "-l" para realizar la carga del módulo, o mejor dicho, de los módulos, ya que pulseaudio-module-jack se compone de un módulo fuente de audio (Jack Source) y un módulo sumidero de audio (Jack Sink).

En cuanto a la configuración de Jack, se deberán realizar las siguientes tareas:

- En la sección de "Setup" de qjackctl (cuyo lanzador se encuentra en el menú de Ubuntu de Aplicaciones/Sonido y vídeo), se ha de activar, en la pestaña de "Configuraciones", la opción de "Modo tolerante", que oculta a Jack los XRUN producidos en el *backend driver*, permitiendo a éste que se recupere de dichos errores siempre que sea posible. El resto de casillas de verificación podrán mantenerse desmarcadas.
- Las dos opciones de mayor relevancia de la pantalla de configuración de qjackctl son las que se denominan "Cuadros/Periodo", que determina cuántas muestras seguidas de audio procesa Jack en cada llamada periódica al procesamiento de audio, y "Periodos/Buffer", que dictamina cuántos periodos son almacenados en la memoria temporal de la tarjeta de sonido. Ambas están ligadas, dado que el tamaño de la memoria temporal es limitado; a mayor valor de "Cuadros/Periodo", menor número de periodos cabrán en la memoria. El límite lo impone la tarjeta, por lo que la forma de averiguarlo es tratar de arrancar el servidor con diferentes valores, y determinar a partir de cuál de ellos el arranque produce un error. Un menor valor de "Cuadros/Periodo" significa que el sistema será interrumpido más veces y a intervalos más cortos, para realizar el procesamiento de un número menor de muestras. La implicación de la reducción de este valor es que a menos "Cuadros/Periodo", menor latencia del sistema de sonido y mayores requerimientos de capacidad de procesamiento. Por ello, la lógica de

⁵<http://ekiga.org/>

⁶<http://jackaudio.org/>

⁷<http://www.pulseaudio.org/>

configuración de estos parámetros en una máquina ha de ser configurar el valor mínimo de “Cuadros/Periodo” para el cual el sistema de sonido no produzca XRUN por falta de procesamiento, y con este valor fijo, aumentar el número de “Periodos/Buffer” hasta el mayor valor que la tarjeta permita. De esta forma se obtiene la mínima latencia posible en el sistema de sonido con la tarjeta disponible.

- En la pestaña de “Opciones” de la sección “Setup” se debe configurar, para facilitar la interconexión Pulseaudio-Jack, la ejecución del archivo de comandos de post-arranque. Para ello se configura la ruta al archivo de comandos y se marca la casilla de “Script a ejecutar luego de iniciar”, agregándole al final el parámetro “-l”.

17.1.2. Configuración de la aplicación de teleestetoscopia

Una vez establecidas las configuraciones adecuadas de las aplicaciones de terceros, se pone en funcionamiento la aplicación de teleestetoscopia digital EHAS-Fundatel.

Lo primero que se ha de hacer es arrancar el juego de herramientas de conexiones Jack, pulsando sobre el botón “Iniciar”. Esto debería iniciar sin problemas Jack y cargar el archivo de comandos de post-arranque, por lo que en la ventana de conexiones de Jack se deberían ver los puertos de salida “PulseAudio JACK Sink” y “system”, mientras que en los puertos de entrada aparecerán “Pulseaudio JACK Source” y “system”. Estos corresponden a puertos de los que se puede leer audio (puertos de salida) y en los que se puede escribir audio (puertos de entrada). La conexión inicial por defecto interconecta el puerto Sink de Jack con el altavoz del sistema y el puerto Source de Jack con el micrófono del sistema. Los puertos del sistema (system), representan en Jack las entradas y salidas hacia el servidor de sonido Pulseaudio. Por este motivo, con la configuración inicial cualquier puerto de escritura que encamine su audio hacia Sink enviará éste a su reproducción en Pulseaudio, e igualmente cualquier puerto de lectura que lea de Source, lo estará haciendo desde el micrófono de Pulseaudio. Dado que el estetoscopio no necesita leer del micrófono de la tarjeta de sonido, ni reproducir hacia ella, inicialmente se desconectan todas las conexiones realizadas por defecto.

Lo siguiente será arrancar el programa de teleestetoscopia digital. A él se accede a través del menú de Aplicaciones/Sonido y video/TeleEstetoscopio.

La pantalla principal presenta 5 botones (Figura 17.1):

- **Conexión/desconexión Bluetooth.** Realiza la conexión con el estetoscopio que se haya seleccionado. En la barra de estado inferior de la ventana puede verse en todo momento qué estetoscopio está seleccionado.
- **Configuración.** Permite acceder a las opciones de configuración.
- **Créditos.** Muestra los créditos y la licencia del programa.
- **Apagado.** Sale del programa.
- **Volumen.** Permite variar el volumen de captación/reproducción del programa.



Figura 17.1.: Interfaz gráfica del teleestetoscopio.

La pantalla de configuración del programa permite buscar un dispositivo, configurarlo manualmente y/o seleccionarlo para su uso. Cuando se realiza una búsqueda, el programa localiza dispositivos Bluetooth en el entorno. Una nueva ventana permite seleccionar de entre los encontrados, cuál es el que se quiere usar. Seleccionado esto, automáticamente su nombre y su dirección MAC serán introducidos en los campos de texto habilitados al efecto. Estos campos de texto pueden también ser editados a mano, si se dispone de la información pertinente. El botón de Añadir permite almacenar en el fichero de configuración del programa el estetoscopio deseado, para que pueda, a partir de entonces, ser seleccionado en el menú desplegable de la parte inferior de la pantalla. Cuando se pulse en el botón de Aceptar, el estetoscopio seleccionado en el menú desplegable pasará automáticamente a ser el estetoscopio seleccionado por el programa para su conexión. Una vez pulsado el botón de conexión Bluetooth, y pasados unos segundos, aparecerá en las conexiones de Jack un nuevo cliente llamado "Estetoscopio"; esto indica que el dispositivo está emparejado y listo para calibrarse. En ese momento, el usuario deberá pulsar el botón "OK" del teleestetoscopio digital Bluetooth EHAS-Fundatel. Pasados unos segundos el estetoscopio se encontrará finalmente calibrado y enviando el audio capturado por su campana al cliente de Jack.

En este momento ya se puede iniciar la aplicación Ekiga (Figura 17.2) y realizar la llamada a otro puesto gemelo con otro estetoscopio conectado (Figura 7.4). El audio que capture la campana de cada estetoscopio será transmitido por Bluetooth hacia la computadora, donde el cliente de Jack lo encaminará hacia el servidor de sonido; allí será recogido por la aplicación Ekiga, que lo tomará como el micrófono del sistema, lo codificará empleando G.722 y lo enviará al destinatario. En este punto la aplicación Ekiga remota entregará el sonido decodificado al servidor de sonido, que lo reproducirá a través del altavoz del sistema, que al estar conectado con Jack y a su vez al cliente de estetoscopia, será leído por la aplicación de estetoscopia de la computadora remota, enviado a través de Bluetooth hacia el segundo estetoscopio y reproducido a través de los binaurales de éste. Durante la comunicación, probablemente sea recomendable que el estetoscopio que vaya a ser empleado para la escucha (el lado del médico) apague la captación de sonidos de su campana, para reducir el ruido ambiente que pueda ser capturado por ésta. Esto está programado en el *firmware* del microcontrolador del estetoscopio, y se realiza manteniendo pulsado durante 1 segundo el botón de "OK" del teleestetoscopio.

Finalmente, otra funcionalidad que el usuario puede emplear es la grabación del audio recibido. Para ello se puede hacer uso de la herramienta Audacity⁸. Abierta con el

⁸<http://audacity.sourceforge.net/>



Figura 17.2.: Funcionamiento de Ekiga con G.722 y aplicación de teleestetoscopia.

teleestetoscopio funcionando, es capaz de reconocer el cliente de estetoscopia y grabar o reproducir hacia él, por lo que no sólo se pueden grabar los sonidos recibidos, sino que posteriormente puede emplearse la aplicación para transmitir estos sonidos hacia el estetoscopio y ser escuchados en el dispositivo.

17.2. Instalación de un sistema de tele-ECG

Como su nombre hace presuponer, un sistema de tele-ECG se utilizará para tomar una señal electrocardiográfica (ECG) de un paciente y analizarla en forma remota. Para ello el sistema deberá contar con dos unidades principales: una representada por el paciente y el sistema de captación y envío del ECG, y la otra por el sistema receptor y decodificador de esa señal de ECG transmitida. Para su instalación se deberá contar con un consultorio con una camilla que permita tener un paciente acostado y relajado sobre la misma, un ECG digital con conectividad, y un punto de acceso a la red local que puede ser inalámbrico (Wi-Fi o Bluetooth) o cableado.

También se debe tener una computadora, más un acceso a Internet con un ancho de banda suficiente para transmitir los datos médicos. Para estimar el ancho de banda necesario, se debe tener en cuenta la tasa de muestreo de la señal, la resolución de la misma, la cantidad de canales a enviar y si están comprimidas o no. Como ejemplo, si se quisiera transmitir una señal muestreada con 10 bits a 500 Hz, se necesitaría una conexión con una tasa de subida de 8 kbps.

Si no se requiere visualizar el trazado del ECG en tiempo real, los requerimientos de ancho de banda disminuyen ya que los datos a transmitir no necesariamente deben

llegar en forma fluida hacia el extremo receptor remoto.

El sistema deberá integrar la certificación por firma digital para asegurar la identidad del profesional médico que emite el diagnóstico, y esto deberá ser contemplado al momento de instalar el sistema remoto.

17.3. Instalación de un sistema de telemicroscopía

Para la instalación de un sistema de telemicroscopía se debe tener en cuenta que la información a transmitir es muy sensible a cambios en las condiciones ambientales, de iluminación, limpieza de la óptica del instrumental y toda otra condición que pueda influir en la imagen que se está observando. Es por esto que hay que poner especial interés en determinar las condiciones de trabajo en ambos extremos para que la percepción de los especialistas sea la misma que si estuvieran sentados frente a la muestra.

En este punto es importante destacar que se hace necesario calibrar tanto la geometría de la imagen como el color de la misma en todo el sistema. Esto se puede lograr utilizando desde una simple plantilla de colores y formas impresas (iguales en toda la red) hasta sistemas automáticos de calibración.

Se deberá contar con un microscopio óptico (o digital) al cual se le pueda colocar en uno de sus oculares una cámara del tipo Moticam 1000⁹ o Moticam 2000. Para acoplar la cámara al ocular será necesario utilizar un adaptador.

Además se deberá disponer de una computadora conectada a Internet con un ancho de banda adecuado para las imágenes que se desea transmitir.

El sistema deberá integrar la certificación por firma digital para asegurar la identidad del profesional médico que emite el diagnóstico, y esto deberá ser contemplado al momento de instalar el sistema remoto.

17.4. Instalación de un sistema de telecontrol prenatal

Un monitor fetal Doppler, o monitor de ritmo cardíaco Doppler, es un transductor de ultrasonido de mano/portátil usado para detectar los latidos de un feto durante los cuidados prenatales. Utiliza el efecto Doppler para proporcionar una simulación audible de latidos. Algunos modelos también muestran el ritmo cardíaco en latidos por minuto. El uso de este monitor es a veces conocido como auscultación Doppler.

Un monitor fetal Doppler proporciona información acerca del feto similar a la información que proporciona un estetoscopio fetal. Una ventaja del monitor fetal Doppler

⁹<http://nationaloptical.com/products/cameras/models/Moticam1000.html>

sobre un estetoscopio acústico (no electrónico) fetal es la producción de sonidos, lo cual permite a otras personas, además del trabajador de salud, escuchar los latidos.

El sistema, si bien se basa en el efecto Doppler, traduce la señal captada en una señal audible. Es por esto que una vez obtenido el sonido, se debe transmitir como tal y por eso las consideraciones necesarias para la instalación son similares a las detalladas para un sistema de teleestetoscopia. El sistema diseñado capta la señal audible a través de una entrada auxiliar del teleestetoscopio, la digitaliza y la envía hacia el servidor/especialista remoto.