



Universidad Nacional del Litoral
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Desarrollo de métodos inteligentes para la detección y clasificación de ronquidos **CAMBIAR!**

Ingeniería en Informática Aplicada

Autores: Meurzet, Matías - Perren, Leandro
Director y Co-Director: Milone, Diego - Albornoz, Marcelo

Santa Fe de la Vera Cruz, 3000, Santa Fe, Argentina

13 de abril de 2016

Índice general

1. Introducción	6
1.1. Motivación	6
1.2. Estado del arte	8
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivos Generales	10
1.3.2. Objetivos Específicos	10
1.4. Alcances	11
1.5. Organización de la tesis	12
2. Desarrollo de la propuesta	13
2.1. Método de detección de ronquidos por medio de $Pitch(T_0)$	13
2.2. Cálculo de T_0 y comparación entre segmentos de distintas señales	14
2.2.1. Análisis de señales correspondientes a hombres	14
2.2.2. Análisis de señales correspondientes a mujeres	18
2.3. Comparación de T_0 entre Hombres y Mujeres	19
2.4. Análisis de sonidos no deseados (ruidos)	19
2.5. Mejora a través de funciones de recorte	25
2.6. Cantidad mínima de ronquidos por segmento	28
2.7. Tasas de aciertos del método en Matlab	28
3. Desarrollo de aplicación Android	29
3.1. Análisis y definición de requerimientos	29
3.1.1. Requerimientos funcionales	29
3.1.2. Requerimientos no funcionales	29
3.2. Diseño del sistema y del software	29
3.2.1. Casos de Uso	29
3.2.2. Diagramas de secuencia	29
3.2.3. Diseño de Clases	29
3.3. Integración y prueba del sistema	29
3.4. Optimizaciones de la aplicación Android	29
3.5. Tasas de aciertos aplicación Android	29

4. Conclusión y Trabajos Futuros	30
Bibliografía	31
Anexos	33
Anexo A	33
Anexo B	33

Índice de figuras

2.1. Segmento de 1 minuto etiquetado como ronquidos.	13
2.2. Segmento con ronquidos y su autocorrelación.	15
2.3. Sonido de maquinas trabajando, personas hablando y vehículos.	21
2.4. Sonido de un automovil circulando.	21
2.5. Sonido de dos vehículos circulando.	22
2.6. Sonido de perros ladrando.	22
2.7. Autocorrelacion de ronquidos y autocorrelación de sonido ambiental.	23
2.8. Sonido de un automovil circulando en 5 minutos.	23
2.9. Sonido de dos vehículos circulando en 5 minutos.	24
2.10. Sonido de dos vehículos circulando y ladridos de perros en 5 minutos.	24
2.11. Funciones de recorte	26
2.12. Autocorrelaciones aplicando las tres funciones de recorte	26
2.13. Autocorrelación de ronquidos sin y con función de recorte	27
2.14. Autocorrelación de sonido ambiental sin y con función de recorte	28

Índice de cuadros

2.1. T_0 y F_0 de segmentos de 1 minuto de duración.	15
2.2. Desvíos estándar de los T_0 de cada señal en distintas duraciones.	16
2.3. T_0 y F_0 de segmentos con ronquidos de 1 minuto en distintas señales de hombres.	17
2.4. Medias y desvíos estándar de los T_0 para distintas duraciones.	17
2.5. Desvíos estándar de los T_0 de cada señal en distintas duraciones para mujeres.	18
2.6. Medias y desvíos estándar de los T_0 para distintas duraciones en mujeres.	18
2.7. Media y desvío de los T_0 de hombres y mujeres.	19

Resumen

En la actualidad existen distintas herramientas de uso doméstico para la detección de ronquidos, las cuales van desde elementos diseñados especialmente, como almohadas inteligentes o pulseras, hasta diferentes aplicaciones para dispositivos móviles. Todas ellas consisten en el análisis de una señal capturada por medio del micrófono de tal dispositivo.

La problemática con estos métodos es que solamente realizan un análisis de la señal en busca de cambios bruscos del nivel de energía, esto hace que las aplicaciones sean poco robustas a los ruidos que se pueden presentar en un entorno cotidiano bajo condiciones normales, entendiéndose por tal escenario a una habitación personal donde hay movimiento de gente y ruidos provocados por ellos mismos, además de los provenientes de distintos objetos, tanto internos como externos a la habitación.

En la presente tesis se propone desarrollar una aplicación Android capaz de detectar episodios de ronquidos capturados por medio del micrófono del dispositivo y que sea robusta frente al ruido.

Para ello se presenta un método basado en el cálculo del Pitch (T_0 de aquí en adelante) por medio de la autocorrelación, este método recorrerá por ventaneo en tiempo real toda la señal capturada por el dispositivo y determinará si el T_0 de esa ventana se encuentra dentro de un rango determinado para que sea considerado ronquido. Este rango de T_0 se determina mediante la extracción de una gran cantidad de ronquidos de señales limpias de formato ***.EDF** provistas por un especialista de trastornos de sueño y que contienen la grabación de toda una noche de sueño (6 o 7 horas de duración), correspondientes a personas de ambos sexos.

La base del método que se propone está en la naturaleza cuasi-periódica que los ronquidos presentan y que los ruidos no, a su vez la ventaja de utilizar el T_0 se basa en que únicamente se analiza temporalmente la señal y que se puede utilizar señales de baja frecuencia (100Hz) lo que genera un costo computacional, de almacenamiento y de consumo energético mucho menor al de otros métodos que utilizan además características frecuenciales.

Los resultados que se obtuvieron de las pruebas de la aplicación arrojaron buenas tasas de aciertos, superando el 80 % y en algunos casos llegando a valores cercanos al 100 %, tanto para pruebas realizadas sobre señales limpias como para señales capturadas en entornos cotidianos conteniendo una gran cantidad de ruidos.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El ronquido es un sonido respiratorio producido durante el sueño pudiendo ser inspiratorio, espiratorio o bien ocupar todo el ciclo respiratorio. El surgimiento se debe a que el flujo de aire encuentra una obstrucción al pasar por detrás de la boca y la nariz, en donde la lengua y la parte superior de la garganta se encuentran con el paladar blando y la úvula. El choque de estas estructuras sumado al paso de la respiración determina la presencia del ronquido [1].

La importancia de la detección de esta patología excede el simple hecho de evitar roncar por las noches, esta situación puede ocasionar trastornos sociales al impedir el sueño de aquellos que rodeen al roncador, así como también producir el conocido Síndrome de Apneas Obstructivas del Sueño (SAOS). De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se pueden encontrar 2 (dos) tipos o clases de ronquidos: simple, el cual no molesta a los acompañantes, o bien alto habitual (o social), debido a que suele afectar a un eventual acompañante o conviviente. Ambos casos no presentan resistencias de la vía aérea superior [2][3].

Actualmente existen numerosas herramientas y dispositivos que permiten detectar esta patología en una persona. Dentro de éstas se encuentran diferentes aplicaciones disponibles para dispositivos móviles (smartphones) que cuenten con sistema operativo (OS) Android [6] o AppleiOS [7], ejemplos de las mismas son las aplicaciones SnoreClock y AntiSnore para Android y, AntiRonquidos y SnoreLab para dispositivos iPhone. Otros dispositivos que se encuentran disponibles hoy en día y que suelen ser menos frecuentes y más costosos son, por ejemplo, Snore-detection pillow [9] o almohada detectora de ronquidos, las pulseras detectoras, las cuales son colocadas en la muñeca como si se tratara de un reloj, además de una cama inteligente (The Starry Night Sleep Technology Bed) [8] que dispone de un dispositivo de detección y ajuste de la posición de la cabeza para que los sonidos cesen. Algunos de los dispositivos mencionados para la detección de esta patología (principalmente dispositivos móviles) están basados en un simple análisis de la señal de audio digital, capturada por el dispositivo, buscando cambios bruscos que superen un umbral dado de energía, indicando así la presencia de ronquido.

La problemática de los métodos actuales mencionados, radica en el hecho de que no cualquier sonido que supere cierto umbral de energía es un ronquido. Este problema se puede presentar de manera habitual cuando un individuo realiza la grabación en un ambiente natural como una habitación, en la cual se pueden adicionar muchos ruidos. Se entiende como ruido toda aquella información no deseada que se encuentre contenida en la señal bajo análisis, generando inconvenientes, pudiendo ser estos tanto externos (colectivos, motos, vecinos, etc.) como internos (charlas, música, TV, cierre brusco de puerta, etc.) incorporando una gran cantidad de energía a la señal, siendo eventualmente detectados como ronquido.

Desde esta problemática, se propone desarrollar una aplicación para dispositivos móviles la cual utilizando métodos más inteligentes que los actuales, sea capaz de reconocer y clasificar ronquidos, a partir de la captura de una señal de audio digital mediante el micrófono de un dispositivo móvil (smartphone), realizando el análisis de la misma y bajo la aplicación de diversos conocimientos:

1. Mecánica de la respiración.
2. Fisiología y anatomía de la vía aérea superior (VAS).
3. Procesamiento de señales.
4. Informática.

La importancia de la mecánica de la respiración [5] y de la fisiología y anatomía de la vía aérea superior (VAS) [5]: fosas nasales, faringe y laringe, reside en el conocimiento funcional del aparato respiratorio para comprender por qué se produce el ronquido. El funcionamiento incorrecto de alguna de sus partes provoca la oclusión intermitente de la VAS que predispone el desarrollo de la roncopatía. La informática [12][13] es una ciencia que estudia métodos, procesos y técnicas con el fin de almacenar, procesar y transmitir información y datos en formato digital. Los campos aplicables para este estudio van desde la ciencia de la computación hasta la ingeniería de software para el desarrollo de una solución integral de cómputo y comunicación capaz de procesar información de manera automática. El procesamiento de señales [10] permite la manipulación matemática de la señal para modificarla, mejorarla y extraer información en algún sentido con el fin de obtener las características necesarias para una posterior detección.

El método que se desarrolla en esta tesis presenta el desafío de lograr una detección de ronquidos con la mayor tasa de aciertos posible. Para ello fue preciso realizar un estudio exhaustivo de las características temporales de diferentes ronquidos de manera tal que la detección, aún en presencia de ruido, presente una gran robustez. Al estudiar los diferentes ronquidos se debió tener presente las condiciones del entorno en el que se captura la señal, ya que esto tiene incidencia directa en la amplia variedad de ruidos que pueden afectarla.

Se pretende mediante este trabajo proporcionar una alternativa inteligente respecto a los métodos actuales de detección de ronquidos, además de ser un punto inicial para futuros desarrollos tecnológicos, no necesariamente software sobre teléfonos inteligentes (smartphones),

sino también para otros dispositivos que pretendan incorporar inteligencia a fin de detectar el ronquido para llevar a cabo alguna acción determinada. A su vez se espera que sirva de base sólida para futuros trabajos que logren ampliar su alcance llevándolo a la detección y clasificación de otros trastornos como es el caso del SAOS[5].

1.2. Estado del arte

En esta sección se describe el estado actual de trabajos y aplicaciones que tienden a cumplir objetivos similares a los que se persiguen en esta tesis. Para ello primero se describen una serie de trabajos investigativos de carácter científicos en los cuales se trabaja en base a señales capturadas en estudios de sueños, mediante las cuales se extraen y analizan segmentos de ronquidos y tienen por objeto caracterizar a los mismos tanto temporalmente como frecuentemente. Por otra parte se analiza el desempeño de algunas de las aplicaciones Android disponibles actualmente indicando sus falencias y posibles mejoras.

Comenzando por los trabajos investigativos, “*José Antonio Fiz Fernández, Jordi Solá Soler y Raimon Jané Campos*” [14] describen al estado del arte actual de los procedimientos de análisis del ronquido. Los métodos que se mencionan son los cuestionarios del ronquido, nasoendoscopia durante el sueño inducido, maniobras de Müller, manometría de la vía aérea superior, rinomanometría y rinomanometría acústica, técnicas de imagen, medidas acústicas, monitores-analizadores de ronquido y finaliza con otros métodos para analizar el ronquido. De todas ellas lo más interesante son las medidas acústicas, donde se realizan 3 análisis: intensidad, frecuencia y regularidad del ronquido. Por otro lado “*Dirk Pevernagie, Ronald M. Aarts y Micheline De Meyer*” [15] hacen una revisión de los conocimientos científicos con respecto a la evaluación acústica del ronquido, y de ésta manera hacer frente a tópicos como por ejemplo características físicas de los sonidos de ronquidos generados en la vía aérea superior, principios de la medición acústica del sonido, análisis avanzado y modelado de sonidos de ronquidos, evaluación acústica de ronquidos respecto a resultados clínicos y además de cuestiones sin resolver que se plantean para futuras investigaciones. La información más relevante para este trabajo se encuentra en la medición acústica del sonido, donde se extraen características de los mismos, y por otro lado también el apartado de análisis avanzado y modelado, donde se utilizan métodos avanzados como por ejemplo codificación por predicción lineal (LPC, del inglés Linear Predictive Coding), transformada de Fourier para análisis espectral, análisis de onditas (wavelets), modelos ocultos de Markov, análisis en la distribución de energía, determinación del pitch (como el tono) y por último la utilización de estadísticas de alto orden. En otro trabajo “*Ali Azarbarzina, Zahra Moussavi*” [16] analizaron grabaciones en audio digital de distintos roncadorees, en específico 42 con distintos grados de severidad de apneas (leve, moderado y grave) y 15 roncadorees sin apneas. A partir de allí, extrajeron diversas características con las que se determina una norma de variación y se comparan entre pacientes con y sin OSAS (Síndrome de Apnea Obstructora del Sueño). Entre las características extraídas se encuentran la densidad espectral de potencia (PSD)

calculada con el método de Welch y con ventanas de Hanning, además para cada segmento, potencia promedio, tasa de cruces por cero (ZCR), frecuencia del pico espectral con la menor frecuencia (F_0), frecuencia del pico con máxima potencia (F_p) y entropía espectral (SE) usada para ver que tan plano es la PSD. Además se realiza un análisis estadístico mediante medianas de las características del sonido de ronquido para cada clase de episodio, como por ejemplo no-apneico, hipopneico y post-apneico. Por otro lado también se realiza un análisis de regresión y clasificación donde se introduce un Índice de Apnea-Hipopnea (AHI) y asume 2 grupos de roncadores, con y sin apneas, introduciendo además otro indicador que es la norma de variación total (TVi) para cada característica individual. Por último se verifican los métodos mediante validación cruzada de la forma leave-one-out. En otro estudio “*Andrew Keong Ng, Tong San Koh, Kathiravelu Puvanendran y Udantha Ranjith Abeyratne*” [17] hacen un pre-procesamiento de la señal acústica capturada, realizando una transformación invariante del dominio mediante wavelets (onditas) y de ésta manera se realiza una mejora de la señal de ronquido a través de un nivel de umbral de correlación dependiente (LCD) y la identificación de ronquido a través de un detector de actividad de ronquido (SA). Por último “*Ali Azarbarzin y Zahra M. K. Moussavi*” [18] proponen la utilización de un algoritmo automático y sin supervisión para la detección de ronquidos. Uno de los algoritmos utilizados es el de cuadro vertical (V-Box) que se encarga de identificar los episodios de actividad sonora. De estos episodios se extrae la distribución de energía en la sub banda de 500Hz y otras características como cruces por cero (ZCR), transformada de Fourier de tiempo corto (STFT), matriz de covarianza y un vector con la media de las características de los ronquidos. Con estos datos se utiliza un algoritmo de clustering borroso de c-medias (FCM, del inglés Fuzzy c-Means clustering) para etiquetar los episodios de sonido como ronquido, respiración y ruido.

La mayoría de los trabajos que se mencionan en el párrafo anterior si bien presentan métodos y procedimientos interesantes no pueden ser aplicados totalmente a los fines de esta tesis, en principio no estan enfocados directamente a la detección de episodios de ronquidos sino mas bien a caracterizar ronquidos ya extraídos de señales de altas resoluciones lo que les permite extraer en su mayoría características frecuenciales (formantes, wavelets, Fourier, etc.), al mismo tiempo que algunos trabajos realizan comparaciones entre ronquidos simples y ronquidos apneicos lo cual excede el alcance de este trabajo o bien describen diferencias puntuales de ciertas características dependiendo si el ronquido se produce en alguna parte especial de la vía aérea superior. Aun así se rescatan cuestiones interesantes que tienen que ver con la naturaleza cuasi-periódica de los ronquidos permitiendo trabajar temporalmente con características como la energía y el pitch (período fundamental) y también rescatar procedimientos relacionados al ventaneo que se describe en algun trabajo.

En cuanto a las aplicaciones, a continuación se describen algunas desarrolladas para Android disponibles al momento en la *PlayStore*. Una de ellas es ***SnoreClock***, la misma presenta una interface sencilla que dispone de los controles elementales para comenzar, detener, reproducir, avanzar y retroceder la grabación. La aplicación presenta una gráfica en

tiempo real de lo que va capturando, una vez finalizada la captura se puede recorrer la señal y hasta reproducir segmentos de la misma. Los segmentos que etiqueta como posibles ronquidos los marca en la gráfica en color rojo. El problema de esta aplicación es que etiqueta como posibles ronquidos todo el sonido que supere un determinado umbral de energía durante un cierto período de tiempo, tal como lo define en la información oficial de la app: *“SnoreClock registra todo el ruido mientras duermes y muestra con barras rojas los momentos en los que es posible que hayas roncado”* [19]. Es por esto que el funcionamiento no es para nada preciso reconociendo que resalta momentos en los que posiblemente el usuario ha roncado. Otra aplicación disponible es ***Dream Watcher - Anti ronquidos*** [20], donde la misma realiza una monitorización de ronquidos y ruidos nocturnos. Dream Watcher va analizando la señal mientras la captura, extrayendo aquellos episodios que detecta como posibles ronquidos guardando esos segmentos separadamente como archivos de audios los cuales pueden ser reproducidos. Además se puede ver su gráfica en la que se resalta un umbral marcado en color rojo donde cada vez que la señal supera esa línea cuenta un ronquido. Esta aplicación presenta el mismo problema que la anterior ya que cualquier ruido en el ambiente se lo marca como ronquido, es por esto que en la información oficial de la App sugiere que el segmento esta disponible para escucharse de manera que sea el usuario quien decida si es un ronquido o no en base a lo que el escucha.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos Generales

Desarrollar una aplicación Android capaz de detectar segmentos con ronquidos a partir de una grabación de audio digital capturada por medio del micrófono del dispositivo presentando alta robustez frente a ruidos en condiciones ambientales normales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar bibliografía relevante acerca de métodos, técnicas y herramientas informáticas que resulten de utilidad para esta problemática.
- Estudiar características temporales de diferentes ronquidos.
- Desarrollar método para la extracción de características.
- Desarrollar método conveniente para la detección/clasificación.
- Desarrollar una aplicación Android capaz de detectar segmentos de ronquidos.
- Realizar pruebas sobre señales limpias.
- Realizar pruebas sobre señales contaminadas.

- Lograr una tasa de aciertos en la detección de ronquidos superior a la que presentan ciertas aplicaciones.

1.4. Alcances

El desarrollo de este trabajo implica definir el alcance del método de detección aquí propuesto como también de las características que la aplicación Android debe cumplir.

Por el lado del método de detección, para el estudio de las características temporales se trabajó con señales EDF obtenidas mediante el sistema médico ApneaLink, las cuales tienen características equivalentes, pudiendo mencionar:

- Frecuencia de muestreo (en Hz).
- Presición en bits para cuantificación.
- Duración en horas similares (con desvío de +/- 2 horas)

El análisis de las características temporales se limitó al cálculo del T_0 (período fundamental), se consideraron posibles diferencias entre ronquidos de personas de distintos sexos, dejando de lado otras características de los individuos como el peso y la edad, ya que no se dispone de esa información en las señales EDF. A su vez, el método de detección se desarrolló específicamente para ronquidos y se dejó de lado el caso particular de los SAOS y demás trastornos del sueño, ya que se trabajó solamente con el canal de ronquido de tales grabaciones.

Por el lado de la aplicación Android, esta permite capturar una señal digital por medio del micrófono del dispositivo, la cual será analizada tomando ventanas de 5 minutos determinando si en dicho segmento se producen ronquidos. La aplicación permite acceder a dos tipos de reportes, uno gráfico y otro en modo texto donde se presentan los resultados. En ellos se indican la hora en que se producen los eventos y una estimación de la intensidad determinando dos niveles. A su vez la aplicación permite enviar via correo electrónico estos reportes a un médico que pudiera estar interesado en los análisis.

El desarrollo de esta aplicación móvil cumple con las siguientes características:

- Robustez
- Sencillez
- Eficiencia
- Óptimo consumo de batería
- Óptimo uso de la capacidad de almacenamiento

1.5. Organización de la tesis

Esta tesis presenta la siguiente estructura:

- En el presente capítulo se describió la motivación de este desarrollo y el problema que será abordado. Se presenta una revisión del estado del arte de dispositivos y aplicaciones destinados a detectar ronquidos, como también se describen trabajos investigativos orientados a la detección de los mismos utilizando señales obtenidas en estudios del sueño. Luego se presentan los objetivos y alcances, y finalmente, se describe la estructura de capítulos.
- En el capítulo 2 se describe el método de detección desarrollado en esta tesis. Primeramente se describe la extracción de ronquidos y calculo del T_0 de las señales limpias EDF (canal de Ronquido) y se determina en base a ellos un rango de decisión. Posteriormente se capturan diferentes sonidos no deseados y se comparan los T_0 con los de los segmentos de ronquidos. Para finalizar se presentan las tasas de acierto del algoritmo detector desarrollado en Matlab utilizando las señales limpias EDF.
- En el capítulo 3 se presenta el desarrollo de la aplicación Android. Primeramente se desarrollan las distintas etapas propuestas por la Ingeniería de Software. Luego se calculan las tasas de aciertos de la aplicación realizando distintas pruebas tanto con señales limpias (canal de Ronquido en EDF) como en entornos cotidianos propensos a un alto contenido de ruidos.
- El capítulo 4 dispone de las conclusiones particulares y generales como también de propuestas de futuros trabajos que podrían derivar del presente.