

Reconocimiento de Voz en el *Saguinus oedipus*

Humberto Campanella Pineda, M.Sc.

Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia, hcampagne@uninorte.edu.co

Patricia Fuentes Montoya, Ing.

Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia, pe_fuentes@ieee.org

Norelli Schettini Castro, Ing.

Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia, n_schettini@yahoo.com

Resumen

Este artículo describe un reconocedor de voz de palabras aisladas basado en los Modelos Ocultos de Markov, diseñado para servir como herramienta técnica de apoyo educativo a los programas desarrollados en la región Caribe colombiana que buscan la protección del 'Tití Cabeciblanca'. Se describe la necesidad de implementar herramientas de Segmentación y Clasificación para la manipulación de datos de voz del Tití y se detallan cada una de ellas. El conjunto de sílabas obtenidas por medio de estas herramientas son el principal aporte de este proyecto, ya que dadas las altas tasas de reconocimiento obtenidas, se puede inferir que las sílabas pueden ser utilizadas en futuros proyectos cuyo fin sea determinar la unidad de reconocimiento del Tití. Los resultados de estos estudios también podrían ser utilizados por biólogos y etólogos para complementar y servir de apoyo a las campañas educativas y de concientización de la conservación del Tití, como lo es la campaña 'Salva al Tití cabeciblanca' del Zoológico de Barranquilla.

Palabras clave

Segmentación, Clasificación de Palabras, Modelos Ocultos de Markov, Reconocimiento de Voz.

1. Introducción

La paulatina y global destrucción del medio ambiente ha traído como consecuencia un aumento representativo en el número de especies que corren peligro de extinción. Entre las especies que han sido afectadas por esta problemática se encuentra el *Saguinus oedipus* (al cual nos referiremos en lo sucesivo como el 'Tití Cabeciblanca'), el cual es considerado actualmente una "especie endémica en riesgo de extinción" [1],[2],[3],[4].

La etología es la parte de la zoología que estudia el comportamiento animal en su medio ambiente (hábitat natural) y los mecanismos que determinan el comportamiento. En lo que respecta al Tití Cabeciblanca, se han realizado diversos estudios etológicos de la especie con la finalidad de lograr su rehabilitación biológica y su reinserción en el medio natural; de estos estudios se hace referencia en [5],[6],[7],[8],[9]. En el caso puntual del caribe colombiano, dichos estudios son llevados a cabo por los investigadores de la Fundación Zoológico de Barranquilla, en el marco de investigaciones exploratorias que valoran la factibilidad de una futura inserción de los especímenes en cautiverio tras procesos previos de rehabilitación física y comportamental; estas investigaciones requieren un alto grado de profundización en lo que respecta a la relación existente entre la vocalización del 'Tití' y las actitudes que se le asocian.

Por otra parte, “Proyecto Tití” expone un estudio realizado en una colonia de titíes en cautiverio en Madison, Winscosin, en el cual, analizando las correlaciones estructurales y de comportamiento de las vocalizaciones emitidas, lograron identificar 38 sonidos diferentes, asociados con su respectivo comportamiento característico [6].

Sin embargo, los estudios precedentes de voz del Tití Cabeciblanca realizados hasta la fecha no contienen la suficiente información para la determinación de su comportamiento, bien sea porque fueron realizados hace muchos años y la tecnología no permitía obtener información pertinente para el análisis de voz o bien por que son realizados con especímenes en cautiverio y bajo estas condiciones no desarrollan los mismos patrones de voz que en su hábitat natural, como se infiere de [7].

Es por ello, que este proyecto surge como una alternativa técnica que servirá de apoyo a los programas desarrollados en la región para la protección del Tití, como es el caso específico de la campaña ‘Salva al Tití Cabeciblanca’ del Zoológico de Barranquilla, mediante el desarrollo de una herramienta que permita reconocer las vocalizaciones características de esta especie.

Una herramienta de esta índole, además de brindar apoyo a las entidades que preservan la fauna, representa un aporte a la comunidad de ingenieros electrónicos que estudian el procesamiento digital de señales de voz, al expandir las aplicaciones del reconocimiento de voz a otras clases de voz articulada diferentes de la humana.

En otras especies se han realizado estudios etológicos que involucran el análisis de los sonidos emitidos por animales utilizando técnicas de reconocimiento de voz [10], investigaciones sobre los sistemas de comunicación acústicos [11], análisis de los componentes espectrales de las señales de voz y su relación con la afinación (*tuning*) del sistema auditivo [12], reconocimiento automático de elementos de sonidos de aves usando dos técnicas de reconocimiento (estudio comparativo) [13]. Sin embargo, en estos estudios los espectrogramas de los sonidos animales son la principal herramienta utilizada en la exploración bioacústica de las señales de voz, y su análisis está basado en la inspección visual. Muchos estudios bioacústicos requieren una descripción de la similitud entre las diferentes unidades de vocalización, lo cual implica la existencia de una herramienta que permita la clasificación de los vocablos. La inexistencia de dicha herramienta sumada a las técnicas artesanales utilizadas para análisis de los espectrogramas de las emisiones sonoras de animales no humanos generan los problemas de repetitividad, subjetividad, y laboriosidad en este tipo de proyectos [13].

Por lo anterior se concibió un sistema de reconocimiento de patrones en el Tití Cabeciblanca cuyo núcleo funcional se encontrara en los bloques de Segmentación/Clasificación de la voz del Tití, que serán discutidos a lo largo de este artículo.

La organización de este documento es la siguiente: en la sección 2 se describe la metodología de trabajo llevada a cabo durante el proyecto. En la sección 3 se describen los conceptos básicos de la teoría de reconocimiento de voz, esto es, el funcionamiento y modos de operación de un reconocedor de voz. En la sección 4 se describen las bases de datos usadas en los experimentos y se justifica por qué se realizaron pruebas con voz humana. En la sección 5 se explica la necesidad de construir herramientas de manipulación de datos de voz del Tití, Segmentación y Clasificación, y se describen cada una de ellas. En la sección 6 se muestra que la herramienta desarrollada se puede usar con fines educativos, en aras de desarrollar y apoyar campañas de concientización de conservación de la especie, y en general de la flora y la fauna. También se describen los resultados del rendimiento del sistema, y el impacto que tendrían las clases encontradas, las cuales pueden ser utilizadas por biólogos y etólogos para complementar las campañas educativas de la conservación del Tití. En la sección 7 se describe el funcionamiento general de la herramienta desarrollada y se muestran las interfaces gráficas de ésta. En la sección 8 se destaca el gran aporte del algoritmo de clasificación a futuros estudios que se realicen con el fin de explorar los

mecanismos de percepción y reconocimiento de voz en el Tití y se listan algunos estudios futuros propuestos.

2. Metodología de Trabajo

A continuación se describen cada una de las etapas que se llevaron a cabo durante el desarrollo del proyecto.

Exploración de Entorno: en esta etapa se evaluó la factibilidad de la toma de muestras de voz del Tití en el Zoológico de Barranquilla. Se concluyó que no era técnicamente factible debido al alto ruido de sonidos producido por otras especies localizadas en la cercanía al hábitat de los titíes. Aún en ausencia de ruido, la cantidad de titíes disponibles en el Zoológico era insuficiente para obtener los *corpus* de voz apropiados, y por tanto para lograr la validez estadística del estudio.

Adquisición de muestras de voz del Tití: en esta etapa se gestionó la adquisición de un conjunto de muestras de voz del Tití cabeciblanca; para esto se estableció contacto con el equipo de trabajo del Laboratorio de Neuropsicología de la Universidad de Harvard, quienes proporcionaron diversas grabaciones de voz de titíes, particularmente de *Combination Long Calls*, uno de los 38 sonidos del Tití identificados por Proyecto Tití en [6]. Adicionalmente, se determinó que para validar el funcionamiento del reconocedor era necesario realizar pruebas con voz humana. Para esto se hizo necesaria la adquisición de un *corpus* estándar de voces humanas (TIMIT), el cual se obtuvo por medio de la Dirección de Investigaciones y Proyectos de la Universidad del Norte.

Diseño de Diagrama de Bloques: en esta etapa se identificaron cada uno de los bloques funcionales del reconocedor de voz a desarrollar, y los diagramas de bloques de las herramientas de manipulación de datos de voz del Tití, Segmentación y Clasificación

Diseño Arquitectural: A partir del diagrama de bloques global del sistema, se realizó una partición de bloques en sub-bloques de manera sucesiva y se definieron los algoritmos de cada sub-bloque (diagramas de flujo).

Diseño Lógico: En esta etapa se inició la programación en lenguaje de alto nivel, generando los códigos fuente en Matlab correspondientes a cada sub-bloque del sistema cuyos algoritmos e interfaces con otros bloques se detallaron en la etapa de Diseño arquitectural. Como resultado de esta etapa se generó la aplicación software de reconocimiento de voz y sus correspondientes códigos fuente.

Validación: Se realizaron pruebas sobre la aplicación completa, para determinar el rendimiento/eficiencia del sistema de reconocimiento de voz. Se depuró la aplicación con el fin de determinar los parámetros óptimos del sistema, y determinar los resultados tanto teóricos como los obtenidos tras la ejecución y depuración del software. Subsecuentemente, se estudiaron los resultados obtenidos y se sacaron conclusiones que permitieron cualificar el rendimiento de la herramienta en términos de los resultados teóricos esperados, tras contrastarlo con los resultados experimentales obtenidos en esta etapa.

3. Conceptos Básicos de Reconocimiento de Voz [14],[15],[16],[17]

3.1 Funcionamiento de un Reconocedor de Voz

El funcionamiento de un sistema de reconocimiento de voz se ilustra en el diagrama de bloques de la Figura 1. Los tres bloques funcionales del sistema son:

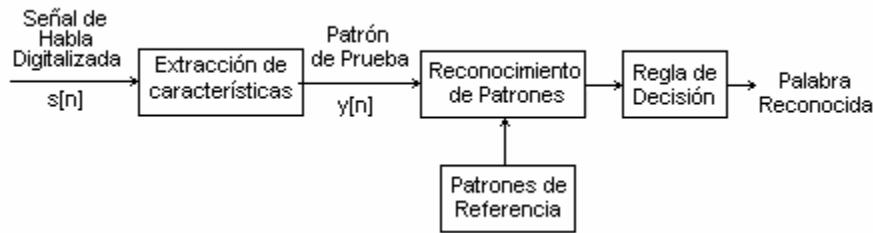


Figura 1. Diagrama de Bloques General de un Reconocedor de Voz

3.1.1 Extracción de características

Este bloque funcional se encarga de medir las características relevantes para iniciar el reconocimiento; se construyen vectores de observación $y[n]$ a partir de la señal de habla $s[n]$, que contienen información de la envolvente del espectro local y su variación temporal. La extracción de características suele realizarse mediante codificación predictiva lineal (LPC) puesto que el modelo físico de producción de voz tiene su equivalencia en un modelo matemático que consiste en un filtro LPC (*linear predictive coding*), que representa las características espectrales de la señal de voz, más específicamente representa la envolvente espectral o formantes.

3.1.2 Reconocimiento de patrones

Una vez se han extraído los patrones de vocalización, el siguiente paso en el reconocimiento de voz es determinar la similitud entre los patrones de prueba y los de referencia. Las técnicas de reconocimiento de voz más utilizadas son:

- *Alineamiento Dinámico en el Tiempo* (DTW, Dynamic Time Warping)
- *Modelos Ocultos de Markov* (HMM, Hidden Markov Modeling) - Técnica usada en este proyecto
- *Modelos Ocultos de Markov con Suma Bayesiana de Probabilidades Gaussianas* (GMM-HMM, Gaussian Mixture Modeling - Hidden Markov Modeling)
- *Modelamiento Acústico Tándem* (Tandem Acoustic Modeling)

3.1.3 Regla de decisión

El último bloque funcional de un reconocedor de voz es la regla de decisión, el cual escoge cuál patrón de referencia se asimila más al patrón de prueba. Las técnicas más comunes utilizan criterios de máxima probabilidad para realizar este proceso.

3.2 Modos de Operación de un Reconocedor de Voz

Un sistema de Reconocimiento de Voz posee dos modos de operación: modo de entrenamiento y modo de reconocimiento.

3.2.1 Modo de entrenamiento

En este modo de operación el sistema adquiere los conjuntos de características para cada palabra en el vocabulario, y crea los patrones de referencia de los conjuntos de características. Cada hablante recita cada palabra del vocabulario, una o más veces, luego se realiza extracción de características para cada palabra del vocabulario a reconocer, y se crean vectores de referencia para cada palabra del vocabulario.

3.2.2 Modo de reconocimiento

El segundo modo de operación de un sistema de reconocimiento funciona inicialmente como en el modo de entrenamiento: se pronuncia una palabra y se realiza extracción de características, generando un patrón de prueba que será comparado con los patrones de referencia dando así lugar al reconocimiento de patrones. La regla de decisión proporciona, entre los patrones de referencia, el mejor candidato.

4. Bases de Datos Usadas en los Experimentos

Con el fin de constatar el correcto funcionamiento del sistema de reconocimiento de voz desarrollado, se evaluó el desempeño del sistema tanto para voz del Tití como para voz humana. Valga resaltar que el objetivo de realizar las pruebas con voz humana, aún cuando el proyecto era un reconocedor de voz para el Tití Cabeciblanca, era poder validar el funcionamiento de la herramienta comparando su rendimiento con otros reconocedores de voz desarrollados, de voz humana, dada la inexistencia de herramientas similares para el Tití Cabeciblanca.

Para la realización de las pruebas se utilizaron los siguientes *corpus*:

- Para la voz del Tití, se utilizaron grabaciones provistas por el Laboratorio de Neurociencia Cognitiva de la Universidad de Harvard como una colaboración a este proyecto, obtenidas en un estudio de grabación de dicho centro. Las muestras consistían en 15 grabaciones de *Combination Long Calls* (CLC's) de 7 individuos. Todas las grabaciones, que estaban muestreadas con frecuencia igual a 24414.0625 Hz y 16 bits de precisión, fueron segmentadas utilizando la función 'Segmentación' de la aplicación construida obteniéndose un total de 461 vocablos aislados, los cuales fueron agrupados utilizando la función 'Clasificación' de la aplicación obteniendo un total de 17 clases de voz del Tití. El conjunto de muestras de voz del Tití segmentados y clasificados conformaron el *corpus* utilizado para la generación de modelo y las pruebas del sistema.
- El *corpus* de entrenamiento de voz humana se compuso de 25 repeticiones de los números del 1 al 10 en inglés y el *corpus* de reconocimiento de 8 repeticiones; todas obtenidas del *corpus* TIMIT. Las muestras de voz estaban muestreadas con una frecuencia igual a 44100 Hz y 16 bits de precisión.

5. Manipulación de Muestras de Voz del Tití

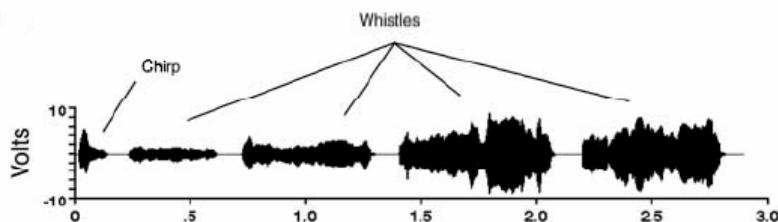


Fig. 2. Realización en el tiempo de un CLC

Las muestras de habla del tipo CLC, obtenidas del Tití Cabeciblanca e ilustradas en la Figura 2, consisten en concatenaciones de vocablos aislados cuya clasificación actual no está relacionada con las características espectrales de los diferentes segmentos, esto es, los CLCs consisten en 1 ó 2 *chirps* iniciales seguidos de múltiples *whistles* que aparecen como un llamado a los congéneres cuando un individuo se encuentra socialmente aislado. Sin embargo los *chirps* son diferentes entre sí, al igual que los *whistles*, aunque pueden observarse ciertos patrones de repetición entre ellos [7]. De lo anterior surge la necesidad de implementar un conjunto de herramientas de manipulación de datos que permitan segmentar las "oraciones", CLCs, en vocablos aislados, y luego para realizar una clasificación de estos vocablos aislados que los agrupe de acuerdo a su semejanza espectral. Las herramientas construidas son:

Segmentación: también conocido como detección de extremos. Este bloque funcional se encarga de segmentar una concatenación de vocablos, en sus vocablos aislados correspondientes, generando archivos individuales para cada vocablo aislado. Su entrada son las bases de datos de voz que contengan

concatenaciones de vocablos en sus grabaciones. Su funcionamiento se basó en el cálculo de la potencia de corto plazo.

Clasificación de palabras: este bloque funcional se utiliza para hallar clases entre los vocablos aislados que resulten de la segmentación de acuerdo a la semejanza espectral existente entre ellos. Este bloque automatiza la técnica utilizada actualmente para la clasificación de vocablos aislados realizada por biólogos y basada en la inspección visual de los espectrogramas

Cabe aclarar que tanto la segmentación como la clasificación de vocablos se realizaron sólo para el reconocimiento de vocablos del Tití.

6. Resultados

Acerca del desempeño del sistema: Tal como se explicó en la sección 4, se evaluó el desempeño del sistema tanto para voz del Tití Cabeciblanca como para voz humana. Para cada una de las especies, se generaron 5 modelos de referencia diferentes. Los resultados de la evaluación muestran valores de reconocimiento superiores al 90% en ambos casos.

Acerca de la clasificación de las muestras segmentadas de voz, y de la unidad de reconocimiento/entendimiento: En la actualidad no existen resultados etológicos concluyentes sobre la unidad de entendimiento del Tití Cabeciblanca, en gran parte porque no existían herramientas técnicas que permitieran caracterizar la voz del Tití, sin embargo, su construcción se veía impedida por el hecho que a falta de estos estudios no se podía determinar una unidad de reconocimiento experimental que pudiera asociarse a una unidad de entendimiento; construyendo así un círculo vicioso. Sin embargo, las altas tasas de reconocimiento obtenidas en este proyecto para voz de Tití, sugieren que las clases de sílabas, unidad de reconocimiento empleada, podrían ser utilizadas en nuevos experimentos, bajo la hipótesis que estas unidades de reconocimiento constituyen unidades de entendimiento del Tití y probablemente una unidad lingüística. Los resultados de futuros trabajos etológicos basados en la hipótesis anterior serían el punto de partida para realizar estudios más precisos con unidades de reconocimiento/entendimiento a fin de determinar la existencia de unidades lingüísticas similares a fonemas, sílabas, palabras, etc. en la voz del Tití.

Acerca de la herramienta y sus fines educativos: Con el desarrollo de un reconocedor de voz del Tití Cabeciblanca en este proyecto, se cuenta ahora con una herramienta que puede ser utilizada con fines educativos, en aras de desarrollar campañas de concientización por parte del Zoológico de Barranquilla, que le permita entender a los visitantes de éste, que el Tití por poseer una estructura social de convivencia cooperativa, tiene un lenguaje con vocablos definidos y que al ser retenido como mascota se le aísla y se le impide el aprendizaje de dichos vocablos, propiciando su muerte debido a una deficiente adaptación al momento de reintegrarlo a su hábitat natural. De esta manera se promueve la conservación de la especie y en general la de la flora y la fauna. Futuros estudios etológicos del Tití con el fin de encontrar resultados más puntuales acerca de la unidad de vocalización/reconocimiento de la especie usando las clases (de vocablos) encontradas con la herramienta de Clasificación desarrollada en este proyecto, pueden ser utilizados por biólogos y etólogos para complementar las campañas educativas de la conservación del Tití, como lo es la campaña ‘Salva al Tití Cabeciblanca’ del Zoológico de Barranquilla.

7. Funcionamiento General de la Herramienta de Reconocimiento de Voz

En la Figura 3 se muestra la interfaz gráfica del menú que se despliega en pantalla al ejecutar la herramienta de reconocimiento de voz desarrollada denominada Titix; de esta figura se observa que el

menú principal tiene 4 submenús: *Training Tool*, *Speech Recognition Tool*, *Performance Evaluation Tool* y *Data Handling Tools*. A continuación se describen brevemente cada uno de ellos.



Figura 3. Interfaz Gráfica del Menú de Inicio de la Aplicación Titix.

Training Tool: por medio de este submenú es posible realizar entrenamiento del sistema de reconocimiento de voz (creación de modelo de referencia). Al seleccionarlo, se despliega en pantalla el menú que aparece en la Figura 4, el cual permite seleccionar el *corpus* de entrenamiento y la ubicación del modelo, especificando si el entrenamiento se realiza para Tití o para humano. El botón *Train!!* inicia el entrenamiento.

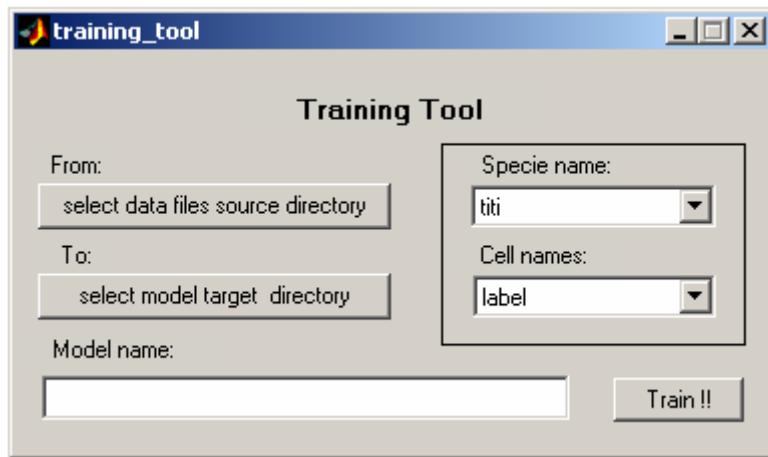


Figura 4. Interfaz Gráfica de la Herramienta *Training Tool*.

Speech Recognition Tool: por medio de este submenú se realiza el reconocimiento de una palabra aislada. Al seleccionar esta opción se despliega en pantalla el menú que se ilustra en la Figura 5, que permite seleccionar el modelo de referencia y el archivo de audio a reconocer. Luego de iniciar el

reconocimiento oprimiendo el botón *Recognize !!*, aparece en la parte inferior del menú la palabra del modelo de referencia a la cual correspondió la palabra de entrada.

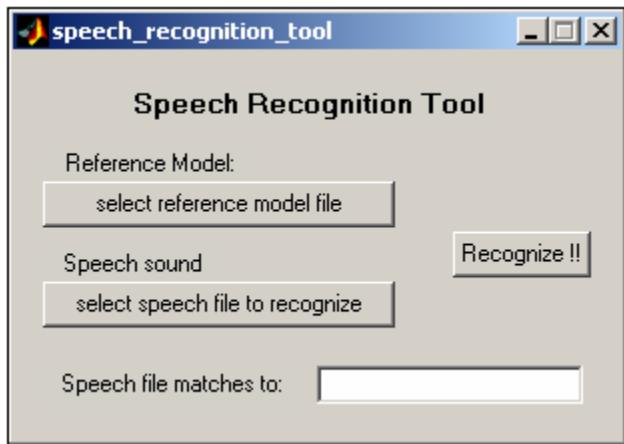


Figura 5. Interfaz Gráfica de la Herramienta *Speech Recognition Tool*.

Performance Evaluation Tool: por medio de este submenú se realiza reconocimiento a un conjunto de palabras aisladas. Al seleccionar esta opción se despliega en pantalla el menú que aparece en la Figura 6, por medio del cual se debe seleccionar el modelo de referencia y el *corpus* de prueba. Al terminar el reconocimiento aparece en el menú la tasa de acierto y la tasa de error del reconocimiento efectuado.

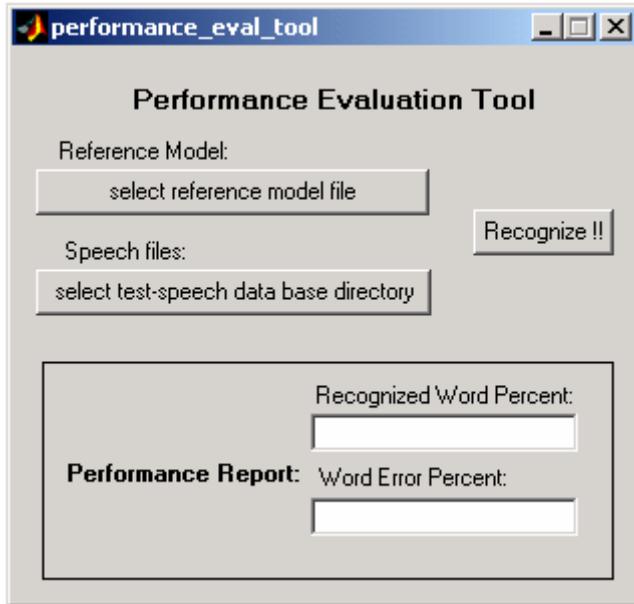


Figura 6. Interfaz Gráfica de la Herramienta *Performance Evaluation Tool*.

Data Handling Tool: Al seleccionar la herramienta de manipulación de datos, se despliega en pantalla el menú que se muestra en la Figura 7, en el cual se presentan por medio de dos opciones la herramienta de Segmentación (*EndPoint Segmentation Tool*) y la de Clasificación (*Classification Tool*).

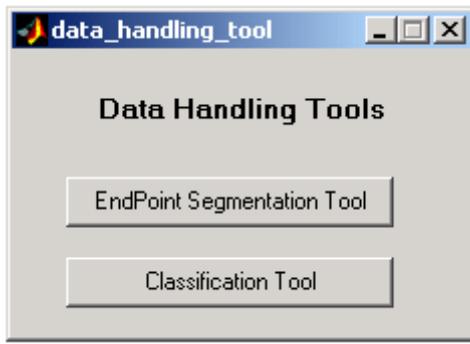


Figura 7. Interfaz Gráfica de la Herramienta *Data Handling Tools*.

Al seleccionar la opción *EndPoint Segmentation Tool*, se despliega en pantalla el menú que aparece en la Figura 8. Antes de iniciar la segmentación oprimiendo el botón *Segment !!*, se debe seleccionar la ubicación de los archivos a segmentar y el directorio donde se almacenarán los archivos segmentados.

Al seleccionar la opción *Classification Tool*, se despliega en pantalla el menú que aparece en la Figura 9. Antes de iniciar la clasificación oprimiendo el botón *Classify !!*, se debe seleccionar la ubicación de los archivos a clasificar y el directorio en el que se almacenarán los archivos clasificados.

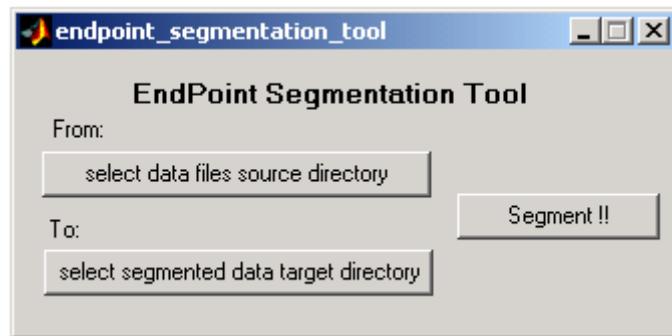


Figura 8. Interfaz Gráfica de la Herramienta *EndPoint Segmentation Tool*.

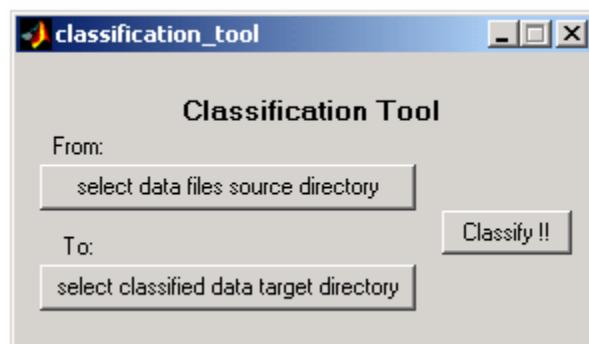


Figura 9. Interfaz Gráfica de la Herramienta *Classification Tool*.

8. Conclusiones y Trabajo Futuro

Se ha realizado una descripción de una herramienta de reconocimiento de voz en *Saguinus oedipus* (Tití Cabeciblanca), explicándose la metodología seguida, los fundamentos conceptuales involucrados y la herramienta desarrollada, así como los resultados visibles del proyecto.

Tomando como punto de partida estos resultados, se puede comentar que la comprensión y percepción humana de la voz es un proceso complejo que implica un proceso extensivo de entrenamiento del sistema de reconocimiento. En el caso de la voz humana, este entrenamiento se realiza desde el nacimiento, por esta razón los humanos son capaces de discriminar la información contenida en el *pitch* como: sexo, edad, humor, identidad, membresía de grupo, etc. Sin embargo, las personas no tratan deliberadamente de discriminar esta información, ya que el ser humano reconoce el contenido del mensaje para luego comprenderlo, así en el humano el reconocimiento de patrones se realiza sobre vocablos (palabras, fonemas, etc.) y no sobre el humor, el sexo o cualquier otra información contenida en la voz. Un sistema automático de reconocimiento de voz funciona bajo el mismo principio: reconocer unidades de percepción/voz. Se puede inferir, por tanto, que un estudio orientado a determinar la manera cómo el Tití percibe y reconoce las unidades de vocalización emitidas por sus congéneres, sería más eficiente si las características utilizadas en la parametrización de la voz fueran unidades de percepción y no funciones canónicas que describan la información contenida en el *pitch*, como suele hacerse actualmente; en este orden de ideas, el algoritmo de clasificación propuesto resulta en gran aporte a futuros estudios que se realicen con el fin de explorar los mecanismos de percepción y reconocimiento de voz en el Tití y otras especies, tras el apropiado ajuste de los parámetros del reconocedor. Por otro lado, con una primera versión de la herramienta se podrán iniciar trabajos interdisciplinarios conducentes a dar usos educativo y de conservación a la misma.

Por lo anterior, las líneas de trabajo futuro de esta investigación estarían orientadas a:

- Desarrollar un dispositivo interactivo basado en tecnologías de electrónica, telecomunicaciones e informática (ETI) que se instalaría en la Exhibición de Titíes Colombianos del Zoológico de Barranquilla con el fin de servir de apoyo a los programas que buscan la protección del Tití Cabeciblanca.
- Iniciar una experiencia de trabajo interdisciplinario entre biólogos, ingenieros, educadores y psicólogos para el diseño y montaje de dispositivos educativos basados en tecnologías ETI.
- Desarrollar estrategias para el uso de una herramienta educativa multimedia en experiencias de educación In-Situ en comunidades rurales aledañas al hábitat natural del Tití Cabeciblanca.
- Estudiar la relación existente entre las clases encontradas en los CLC's, utilizando el algoritmo de clasificación propuesto, y la información contenida en la señal de voz (sexo, edad, identidad, membresía de grupo, etc.). Se propone la realización de experimentos que permitan determinar el comportamiento de un espécimen aislado ante el llamado de congéneres emulado por CLC's artificiales, creados utilizando las sílabas clasificadas y algún criterio de selección diseñado por etólogos, a fin de determinar si las sílabas aisladas o asociaciones de ellas constituyen unidades de entendimiento.

Agradecimientos

Este proyecto se realizó como una iniciativa conjunta del Grupo de Telecomunicaciones y Señales (Universidad del Norte) y el Departamento de Educación de la Fundación Zoológico de Barranquilla (Psi. Reinaldo Niebles), y contó con el apoyo de la Fundación Zoológico de Barranquilla (Colombia), el Laboratorio de Neuropsicología de la Universidad de Harvard (Cambridge, MA, EEUU) y la Dirección de Investigaciones y Proyectos de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia).

Referencias

- [1] <http://www.csew.com/proyectotiti>
- [2] http://www.uam.es/personal_pdi/psicologia/fpelaez/titis3.htm
- [3] <http://biologia.eia.edu.co/ecologia/estudiantes/titicabeciblanco.htm>
- [4] <http://www.rhrwildlife.com/theanimals/t/tamarincottontop/>
- [5] Neyman, P. (1978). "Aspects of the ecology and social organization of free-ranging cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*) and the conservation status of the species". *The biology and conservation of the Callitrichidae*. Smithsonian Institute Press, Washington.
- [6] <http://www.csew.com/proyectotiti/vocalizations.htm>
- [7] Ghazanfar, A et al. (2001). "The units of perceptions in the antiphonal calling behavior of cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*): playback experiments with long calls". *Journal of Comparative Psychology*, 187: 27-35.
- [8] Miller, C. et al. (2001). "Selective Phonotaxis by Cotton-Top Tamarins (*Saguinus oedipus*)". *ANIMAL BEHAVIOUR*, 138, 811-826.
- [9] Weiss, D., et al. (2001). "The Production and Perception of Long Calls by Cotton-Top Tamarins (*Saguinus Oedipus*): Acoustic Analysis and Playback Experiments". *Journal of Comparative Psychology*, Vol. 115, N. 3, 258-271
- [10] Wenrick, J. (1997). "Greater spear-nosed bats give group-distinctive calls". *Behav Ecol Sociobiol*, 40: 61-70.
- [11] http://homepage.psy.utexas.edu/homepage/group/wilczynskilab/evolution_of_communic
- [12] Wilczynski, W. et al. (2001). "Evolution of calls and auditory tuning in the *Physalaemus pustulosus* species group". *Brain, Behavior and Evolution*, 58: 137-151.
- [13] Kogan, J., Margoliash, D. (1998). "Automated recognition of bird song elements from continuous recordings using dynamic time warping and hidden Markov models: A comparative study". *Journal of Acoustic Society of America*. Vol. 103, N. 4, 2185-2196.
- [14] Rabiner L.R. and Juang B.H. (1993). *Fundamentals of Speech Recognition*. Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [15] Rabiner, L., Lenivson, S. "Isolated and Connected Word Recognition: Theory and Selected Applications". *IEEE Transactions on Communications*, Vol. Com-29, No.5, Mayo 1981.
- [16] Zhang, Y., deSilva, C. (1992) "An Isolated Word Recognizer". *The Journal of Electrical and Electronical Engineering*, Vol. 12, No. 4.
- [17] Cole, R., et al. (1995). *Survey of the State of the Art in Human Language Technology*. Cambridge University Press.

Información Biográfica

Humberto CAMPANELLA. Es Profesor e Investigador en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia). Candidato a Ph.D. por la Université de Montpellier II (Francia), es Master en Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Madrid (España) e Ingeniero Electrónico por la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia), respectivamente.

Patricia FUENTES. Patricia Fuentes es investigadora del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Señales de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia), e Ingeniera Electrónica egresada de la misma institución.

Norelli SCHETTINI. Norelli Schettini es investigadora del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Señales de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia), e Ingeniera Electrónica egresada de la misma institución.