

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Procesamiento cognitivo del habla e interfaces cerebro computadora

Hugo Leonardo Rufiner
 Instituto de Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (SINCII) UNL-CONICET
 Laboratorio de Cibernética (FI-UNER), Argentina

1

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Interfaces humano computadora (HCIs)

- Tecnología enfocada a la comunicación entre humanos y computadoras:
 - Teclado.
 - Ratón.
 - Táctil.
 - Gestos.
 - Habla.
 - Señales cerebrales.
 - Otros...

2

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

El habla y la señal de voz

- Es una de las bioseñales más estudiadas, con varios años de investigación para crear HCIs.
- Es una de las formas más naturales de comunicación entre los humanos.
- Transmite **información** de diversos aspectos del hablante:
 - Estado emocional.
 - Salud.
 - Identidad.
 - Edad.
 - Sexo.
 - Altura.
 - Otros...

3

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Señales relacionadas con el habla

- ¿Es posible utilizar bioseñales relacionadas con el proceso de producción del habla pero diferentes de la **señal acústica**?
- Esto tiene varias ventajas:
 - Información discriminativa complementaria.
 - Robustez del ruido acústico.
 - Privacidad.
 - Ayuda a personas con dificultades para comunicación oral.

4

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Señales relacionadas con el habla

- La **comunicación oral humana** es un proceso fisiológico complejo que implica interacción y coordinación de varias partes del cuerpo que producen muchas señales que pueden medirse y analizarse.
- En los últimos años, varios investigadores intentan comprender mejor todo el proceso de generación y percepción del habla humana, con énfasis en el **procesamiento cognitivo del habla**.

5

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Procesamiento cognitivo del habla

- Ejemplos de señales relacionadas con la producción (o percepción) del habla:
 - Derivadas de la actividad muscular (EMG).
 - Variaciones de conductividad o electrolograma (EGG).
 - Electropalatografía (EPG).
 - Articulografía Electromagnética (EMA).
 - Imágenes y videos con diferentes técnicas.
 - Relacionadas con la **actividad cerebral** (EEG, ECoG, fNIRS, MEG, etc.).
- Estas últimas son especialmente interesantes porque **también** se utilizan para interfaces cerebro-computadora (BCIs).

6

sinc(7) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)
 H. L. Rufiner; "Procesamiento cognitivo del habla e interfaces cerebro computadora"
 XVI Jornadas de Informática en Salud, Hospital Italiano, Buenos Aires, Argentina., nov., 2021.

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

¿Cuáles son los desafíos científicos y técnicos? (BCI)

- Alta variabilidad intra e inter sujeto.
- Baja relación señal-ruido.
- Pocos datos de entrenamiento.
- Alto solapamiento entre clases.
- Alta dimensionalidad y redundancia.
- Falta de datos públicos.

7

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

Diferentes señales cerebrales

- Electro-cortigrafía (ECoG),
- Electro-encefalografía Intracranial (IEEG),
- Magneto-encefalografía (MEG),
- Resonancia Magnética Funcional (fMRI)
- Espectroscopia Funcional del Infrarojo cercano (fNIRS)
- Electroencefalografía (EEG)

8

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

Electroencefalografía (EEG)

- Ventajas:
 - Estándar
 - No invasiva
 - Accesible
 - Portable
 - Resolución temporal vs espacial [van Gerwen et al., 2009].

9

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

¿Qué ocurre en el cerebro mientras hablamos?

- Modelo de producción del habla: Etapas cognitivas (izquierda) y áreas cerebrales (derecha) involucradas en la producción del lenguaje después de la presentación de imágenes (0 ms). Los números en los cuadros representan estimaciones de codificación temporal para cada tipo de información. [Timmers et al., 2011]

10

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

Ver, oír, hablar y pensar palabras

- Tomografía por emisión de positrones (PET) coloreada de áreas del cerebro humano activadas por diferentes tareas:
 - Arriba izquierda: la vista activa el área visual en la corteza occipital en la parte posterior del cerebro.
 - Arriba derecha: la audición activa el área auditiva en la corteza temporal superior del cerebro.
 - Abajo izquierda: el habla activa los centros del habla en la ínsula y la corteza motora.
 - Abajo derecha: pensar en los verbos y pronunciarlos genera una alta actividad, incluso en las áreas auditiva, oral, temporal y parietal.

Se ve el lado izquierdo del cerebro. Las PET detectan el flujo sanguíneo.

11

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

"Hablar lo que piensas"

- Durante el habla imaginada, los sujetos tienen que imaginarse pronunciando o escuchando una palabra sin mover músculos ni producir sonidos. [Martin et al, 2018]

12

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

"Escuchar lo que escuchas"

- Reconstrucción del habla a partir de una grabación directa de las señales cerebrales de los oyentes, de una manera que demostró la viabilidad de estos sistemas [Pasley et al., 2012].

Acoustic waveform → Reconstructed spectrogram → Reconstruction model → Cortical surface field potentials → speech audio X output

13

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

"Escuchar lo que escuchas"

Sample activity: EEG (black), Speech Envelope (red)

Stimulus reconstruction: Original (grey), Reconstruction (red)

Muestra de las señales utilizadas. En negro: EEG. En rojo: envolvente de habla

Comparación entre la envolvente original (gris) y la reconstrucción estimada por el predictor (rojo)

Resultados preliminares con DB de "cambio de turno" EEG+voz (LIAA-UBA). Método: [Crosse et al., 2016]

14

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Interfaces cerebro computadora (BCIs)

- Proporcionan canales de control independientes de los de salida normales del cerebro (es decir, el sistema nervioso periférico y los músculos) [Wolpaw et al., 2002].

15

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Interfaces cerebro computadora (BCIs)

Señales Cerebrales → Extracción de características → Clasificación → Señal de control → Aplicaciones

Equipo de adquisición → IZQUIERDA → Mover hacia la Izquierda

16

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Paradigmas BCI

- Asociados con los fenómenos mentales y la estrategia utilizada para modular la actividad cerebral (señal de control):
 - Potenciales corticales lentos (SCP).
 - Potenciales evocados visuales de estado estacionario (SSVEP).
 - Potenciales relacionados con eventos (P300).
 - Imaginería motora (MI) o relacionadas con eventos de sincronización / sincronización.
 - Relacionados con el habla, habla imaginada o imaginería del habla (SI).

"High performance communication by people with paralysis using an intracortical brain-computer interface" [Pandarinah et al., 2007]

17

XVI Jornadas de Informática en Salud JIS Go Live 2021

Paradigmas relacionados con el habla

- Oftrecen mayor naturalidad y velocidad para el control de dispositivos que paradigmas BCI existentes.
- El principal esfuerzo recae en la computadora y no en el paciente.
- Resultados prometedores para clasificación de vocales, sílabas y palabras completas utilizando señales de EEG adquiridas durante el habla imaginada, INT o pronunciada.
- Avances en aprendizaje automático y profundo en conjunto con la disponibilidad de la gran cantidad de datos experimentales, permitan alcanzar nuevos niveles de desempeño en tareas tan difíciles.

Experimental protocol: hungry → ECoG → high frequency activity (X) → Model fitting: $y = wx + b$

Data collection: audio signal → spectrogram (Y)

Feature extraction: spectrogram (Y) → Validation: Regression, Classification

Fitting and Validation: Model fitting, Validation

18

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)
 H. L. Rufiner; "Procesamiento cognitivo del habla e interfaces cerebro computadora"
 XVI Jornadas de Informática en Salud, Hospital Italiano, Buenos Aires, Argentina., nov., 2021.

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

¿Qué cambió con aprendizaje profundo?

Deep Learning With Convolutional Networks for EEG Decoding and Classification

Deep learning for electroencephalogram (EEG) classification tasks: a review

Thor Schürmeier¹, José Tobias Martín^{1,2}, Alexander Crank^{1,3}, Yonglan He⁴ and José L. Contreras-Vidal^{1,5}

A novel deep learning approach for classification of EEG motor imagery signals

Visafat Razafindralandy¹ and Ugozor Nwagwu¹

Decoding Imagined Speech from EEG

Prattan Sanyal, Sidney Fels

Department of Electrical and Computer Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada

19

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

Paradigmas relacionados con el habla

- Habla Silenciosa (Silent Speech)
- Habla Imaginada (Imagined Speech)
- Habla Interna (Inner Speech)

Biosignal-Based Spoken Communication: A Survey

Tanja Schultz¹, Senior Member IEEE, Michael Wind, Member IEEE, Thomas Hache, Member IEEE, Dean J. Krusiwalski, Senior Member IEEE, Christian Herff, Member IEEE, and Jonathan S. Borenstein

20

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

Habla Interna (Inner Speech)

- Proceso interno en el que la persona piensa en significados "puros", generalmente asociado a una imaginación auditiva de su propia "voz" interior.
- También se la conoce como "pensamiento verbal", "habla interior", "diálogo interno" o "monólogo interno".
- Diferencia habla imaginada y silenciosa: puede no retenerse propiedades fonológicas ni de turno de un diálogo externo.
- Las señales cerebrales en el sistema motor y el procesamiento del lenguaje parece ser más complejo
- Involucra redes neuronales de distintas áreas corticales involucradas en análisis fonológico o semántico, producción del habla y otros procesos.
- Se han realizado estudios utilizando EEG, ECoG, fMRI y PET.

THE NEUROPSYCHO THERAPIST
INNER SPEECH
A WINDOW INTO CONSCIOUSNESS
By Alex Murray
Bantam Books US\$14.95

inner speech
new voices
Gather long-lost thoughts & forgotten secrets

21

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

¿Hay datos disponibles para habla interna c/EEG?

Open Access database of EEG signals recorded during imagined speech

Gerardo A. Pineda-Castro¹, José E. García^{2,3}, and H. Leonardo Balboa⁴

ABSTRACT
Brain Computer Interfaces (BCI) that could decode thoughts are necessary to improve the quality of life of patients who have lost control over voluntary muscles. Decoded speech content is important for pronunciation.

15 jóvenes (8 hombres / 7 mujeres / edad media 25) años.
Todos los oyentes sanos, normales (audiometría realizada) y nativos Hispánico hablantes. Solo uno de los sujetos informó ser zurdo.
Vocales en español: / a /, / e /, / i /, / o / y / u /, que fueron seleccionadas por su estacionariedad acústica, simplicidad y falta de significado.
Comandos de control en español: "arriba", "abajo", "derecha", "izquierda", "adelante" y "atrás".

Ready control (silence) → Ready control (speech) → Imagined speech (silence) → Real control (speech)

30 clases

22

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

¿Hay datos disponibles para habla interna c/EEG?

Open Access database of EEG signals recorded during imagined speech

Gerardo A. Pineda-Castro¹, José E. García^{2,3}, and H. Leonardo Balboa⁴

ABSTRACT
Brain Computer Interfaces (BCI) that could decode thoughts are necessary to improve the quality of life of patients who have lost control over voluntary muscles. Decoded speech content is important for pronunciation.

Neural Networks
Volume 21, Issue 5, November 2009, Pages 1194-1199

Single-trial classification of vowel speech imagery using common spatial patterns

Charles S. Delgado^{1,2,3,4,5}, Hengyi Han^{1,2,3,4,5}, Shihao Sun^{1,2,3,4,5}, Neelam Kulkarni^{1,2,3,4,5}

Toward EEG Sensing of Imagined Speech

Michael D'Zmura, Siyi Dong, Tom Lippas, Samuel Thorpe, and Ramesh Srinivasan

Department of Cognitive Sciences, UC Irvine, SSBP 3219, Irvine, CA 92697-5100
{delzma, dsdong, tlippas, sthorpe, r-sr}@uci.edu

23

XVI Jornadas de Informática en Salud | JIS Go Live 2021

"Thinking Out Loud" (pensando en voz alta)

- 10 participantes (4 M / 6 H, 34 +/- 10 años).
- BioSemi Active Two - 128 EEG + 8 canales externos,
- Registrado a 1024 Hz / 24 bits.
- 4 Clases: "Arriba", "Abajo", "Derecha", "Izquierda".
- 3 Paradigmas: Habla Interna, Habla Pronunciada, Condición Visualizada.
- Más de 7 horas de grabación continua.
- Un total de 5640 pruebas.

LIAB
Laboratorio de Intelecto Artificial Argentina

Congreso de la Sociedad Argentina de Investigación en Neurociencias, 2020
Jornadas de Informática en Salud del Hospital Italiano, 2020
Actas SciELO: Datos en revisión 2021
AÑO 2021

24

sync(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sync.unl.edu.ar)
H. L. Rufiner; "Procesamiento cognitivo del habla e interfaces cerebro computadora"
XVI Jornadas de Informática en Salud, Hospital Italiano, Buenos Aires, Argentina., nov., 2021.

XVI Jornadas de Informática en Salud

JIS Go Live 2021

Colaboradores principales

LABORATORIO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA (LIAA)

I M A L

UNL CONICET

UNL CONICET

sinc(i)

PICT 2017 N° 4596: "Algoritmos para mejorar la usabilidad de las Interfaces Cerebro-Computadora en situaciones de discapacidad"

28

XVI Jornadas de Informática en Salud

JIS Go Live 2021

UNL CONICET

sinc(i)

<https://sinc.unl.edu.ar/>

29

XVI Jornadas de Informática en Salud

JIS Go Live 2021

Referencias y bibliografía

- Wolpaw, J. and Wolpaw, E. W. (2012). Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice. OUP USA, Oxford ; New York, edición: 1 edición.
- Lee, W., Seong, J.J., Ozlu, B., Shim, B.S., Marakhimov, A., Lee, S. "Biosignal Sensors and Deep Learning-Based Speech Recognition: A Review", Sensors (2021), 21, 1399.
- Pasley, B. N., David, S. V., Mesgarani, N., Flinker, A., Shamma, S. A., Crone, N. E., Knight, R. T., and Chang, E. F. (2012). "Reconstructing speech from human auditory cortex". PLOS Biology, 10(1):1-13.
- Timmes, I., van den Hurk, J., Salek, F., Rubio-Gozalbo, M., and Jensen, B. (2011). "Language production and working memory in classic galactosemia from a cognitive neuroscience perspective: Future research directions". 34:367-376.
- Michael J. Crosse, Giovanni M. Di Liberto, Adam Bednar, and Edmund C. Lalor. The multivariate temporal response function (mTRF) toolbox: a MATLAB toolbox for relating neural signals to continuous stimuli. Frontiers in Human Neuroscience, 2016.
- Martin Stephanie, Iurrate Itaki, Milán José de R., Knight Robert T., Pasley Brian N., Decoding Inner Speech Using Electroencephalography: Progress and Challenges Toward a Speech Prosthesis, Frontiers in Neuroscience, vol 12, pp. 422, 2018.
- Pressel Coretto, Germán, A. ; Gareis, Iván, E. ; Rufiner, H. Leonardo, "Open access database of EEG signals recorded during imagined speech", Proceedings of the SPIE, Volume 10160, id. 1016002 11 pp. (2017).
- Nieto, N. and Peterson, V. and Rufiner, H. L. and Kamenkosi, J. and Spiess, R., "Thinking out loud": an open-access EEG-based BCI dataset for inner speech recognition", bioRxiv, 2021.

<https://sinc.unl.edu.ar/grants/brain-computer-interfaces/>

30

XVI Jornadas de Informática en Salud

JIS Go Live 2021

¡MUCHAS GRACIAS!

31

sinc(i) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)
H. L. Rufiner; "Procesamiento cognitivo del habla e interfaces cerebro computadora"
XVI Jornadas de Informática en Salud, Hospital Italiano, Buenos Aires, Argentina., nov, 2021.