

# Potenciales eléctricamente evocados: identificación de amplitudes de estímulos en conejos

NATHALIA L. V. PEIXOTO <sup>(1)</sup>, GERMÁN CARLOS SANTOS QUISPE <sup>(2)</sup>  
y F. JAVIER RAMIREZ-FERNANDEZ <sup>(3)</sup>

Grupo de Sensores Integráveis e Microsistemas - SIM  
Laboratório de Microeletrônica, Escola Politécnica da USP  
Caixa Postal: 61548, CEP 05424-970, São Paulo, SP, Brasil  
tel: 55(11) 818-5310 fax: 55(11) 818-5585

[www.lme.usp.br/sim/](http://www.lme.usp.br/sim/)

<sup>1</sup>nathalia@lme.usp.br

<sup>2</sup>gcsantos@lme.usp.br

<sup>3</sup>jramirez@lme.usp.br

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo investigamos la aplicación de una red neural artificial basada en el algoritmo de retropropagación ([1]) para clasificar un conjunto de datos experimentales biológicos. Los datos obtenidos en experimentos con conejos, representan potenciales eléctricamente evocados como respuestas a estímulos de corriente aplicados en la retina. Los estímulos, producidos remotamente, son aplicados a través de un implante, posicionado en uno de los ojos del animal ([2,3]). De los potenciales evocados, analizados *a posteriori*, se escoge una característica como atributo único para ser presentado a la red y tras el entrenamiento, la red identifica los estímulos eléctricos originalmente utilizados.

En la figura 1 se muestra el esquema del experimento, indicando el estímulo eléctrico aplicado utilizando el prototipo de un estimulador programable y el potencial evocado adquirido en dos canales con electrodos comerciales de EEG (electroencefalografía).

El objetivo principal de la identificación de la corriente aplicada es verificar que el sistema de estimulación ha sido programado con la amplitud establecida por el usuario. Además, ya que en la versión final del estimulador no será posible controlar externamente la amplitud de corriente aplicada, el resultado de la red neural será el único indicador del estímulo original usado en ese sistema.

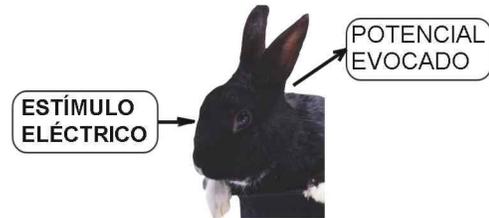


Figura 1. Esquema del experimento de estimulación eléctrica intraocular. El potencial evocado es medido en el córtex visual del conejo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Siete conejos con edades de 4 a 6 meses fueron utilizados. Los métodos experimentales aquí resumidos fueron presentados anteriormente en [2,3,4]. Inicialmente, el cuero cabelludo sobre la cabeza del conejo es raspado, el animal es anestesiado y dos electrodos de EEG son fijados sobre el córtex visual. La referencia es posicionada en la oreja contralateral al ojo que es estimulado. La cirugía para la implantación de la matriz de estimulación (ver figura 2) es hecha al final. La matriz implantada tiene alrededor de 5 milímetros de diámetro, y se localiza sobre la capa más externa de la retina.

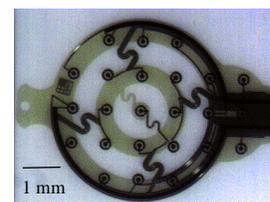


Figura 2. Matriz de electrodos para estimulación (procedente del grupo de Microelectrónica del Instituto Fraunhofer de St. Ingbert, Alemania [5]).

El sistema de estimulación genera pulsos bifásicos rectangulares, con amplitudes, tiempo de duración y retrasos controlables para cada fase. Se dispone de hasta 3 canales independientes. Los niveles de corriente utilizados son de 25 a 250 $\mu$ A. La figura 3 muestra un ejemplo de tren de pulsos generado por el estimulador programable. Fueron utilizados siempre 64 o 128 trenes (de frecuencia 1 Hz) compuestos de 1, 5 o 10 pulsos. La duración de cada fase fue mantenida en 100 $\mu$ s, con retrasos de 100 $\mu$ s entre fases.

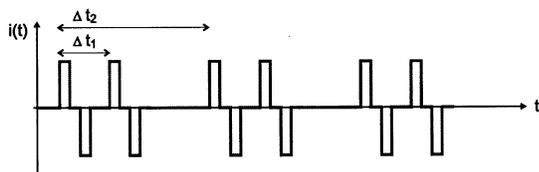


Figura 3. Ejemplo de tren de pulsos con indicación del tiempo entre pulsos ( $t_1$ ) y entre trenes ( $t_2$ ).

Las señales de salida, es decir, los dos canales de potenciales evocados, son gravados en una computadora Pentium luego de ser filtrados y amplificados con un sistema comercial (*Grass*). Como análisis *on line* se hace un promedio sincrónico de 128 señales.

## RESULTADOS

Un ejemplo de potencial evocado adquirido se presenta en la figura 4, donde se observan los artefactos y la respuesta cortical. Con el promedio sincrónico, tanto el artefacto como la señal son más nítidos, como se ve en los ejemplos de la figura 5.



Figura 4. Señal típica adquirida, sin promedio sincrónico.

Las amplitudes de corriente aplicadas en todos los experimentos varían de 25 a 200 $\mu$ A. En esta figura (la 5) fue escogida una señal representativa para cada amplitud de corriente, y ellas fueron superpuestas para facilitar su visualización. Como se puede apreciar la característica más sobresaliente de la respuesta es la amplitud del primer pico (es decir, sin considerar el artefacto) la cual fue calculada así como también las amplitudes del resto de señales usadas como entradas para la red neural.

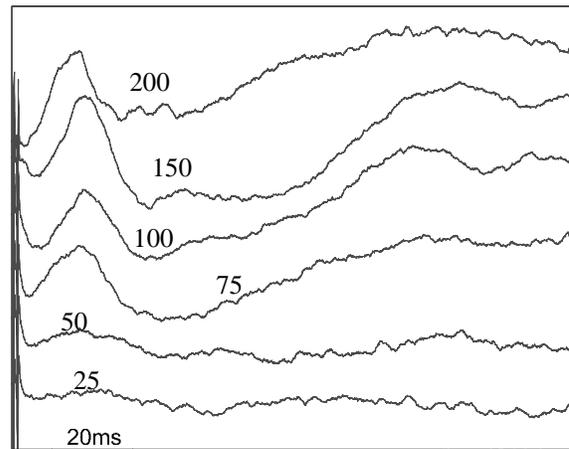


Figura 5. Respuesta del córtex visual a varias amplitudes de corriente (los números sobre las curvas señalan las amplitudes en  $\mu$ A. Los artefactos fueron cortados para mejor visualización del potencial evocado.

En la siguiente tabla se muestran los valores utilizados para el entrenamiento de la red neural.

Corriente (mA)	Amplitud (normalizada)	Salida deseada
25	0.01816	000001
75	0.07920	000010
100	0.06060	000100
150	0.10860	001000
200	0.12972	010000
250	0.01412	100000

Tabla 1. Valores usados en el entrenamiento de la red neural.

Utilizando uno de los experimentos anteriormente mencionados se calculó amplitudes máximas de las señales, para luego pasar por el programa de entrenamiento de la red y finalmente comprobar los resultados del entrenamiento.

Los resultados de las pruebas realizadas con valores de entradas escogidos aleatoriamente, muestran porcentajes de acierto variados dependiendo de la semejanza de los valores usados para las pruebas con los valores que fueron usados para el entrenamiento de la red. Para las pruebas realizadas la red obtuvo un acierto del 53%, encontrándose mayor dificultad en la identificación de las amplitudes correspondientes a entradas entre 25 $\mu$ A y 75 $\mu$ A.

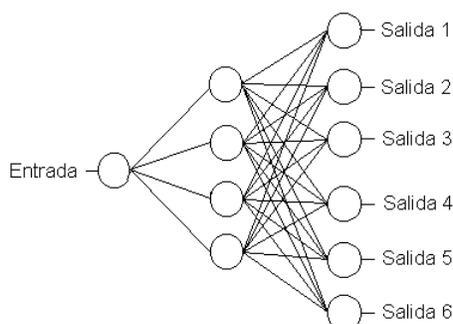


Figura 6. Red Neural usada para el reconocimiento de las amplitudes de corrientes

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La importancia del uso de la red neural en la identificación de amplitudes se justifica por la necesidad de certificar que las densidades de corriente aplicadas en el paciente (o, en este trabajo, en el animal) son seguras ([6,7]), y no pasan del valor programado en el estimulador. Por otro lado, en el sistema final del implante no habrá posibilidad de control externo ([8]), y por lo tanto la red será el único *feedback* del cual se dispondrá.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Stamatios, V., Kartalopoulos, **Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic**, IEEE PRESS 1996.
- [2] Peixoto, N.L.V., Hornig, R., Eckmiller, R., Walter, P., Szurman, P., *Electrical stimulation of the rabbit retina with various pulse shapes*, European Journal of Neuroscience, vol. 10, supp. 10, p. 355, 1998.
- [3] Walter, P., Szurman, P., Peixoto, N., Strassburger, S., Trieu, H.K., Ewe, L., Stieglitz, T., Meyer, J.U., Heimann, K., *Evoked cortical potentials after electrical surface stimulation of the rabbit retina*, Invest. Ophthalmology and Vision Science, vol. 39(4): p. S990, 1998.
- [4] Peixoto, N.L.V., Strassburger, S., Hornig, R., Walter, P., Szurman, P., Eckmiller, R. *Evaluation of Implanted Epiretinal Microcontacts in the Mammalian Retina*. Invest. Ophthalmology and Vision Science, vol. 39(4): p. S902, 1998.
- [5] Peixoto, N.L.V., Eckmiller, R., *Retinal Ganglion Cell Responses to Programmed Electrical Stimulation with Implantable Microcontacts*, Anais do IV Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em Saúde (FNCTS), 1998.
- [6] Purves, D., et alli, **Neuroscience**, Sinauer Associates, Inc., 1997.
- [7] Kandel, E.R. e Schwartz, J.H., **Principles of Neural Sciences**, ed. 2, Elsevier Science Publishing, New York, 1985.
- [8] Eckmiller, R. *Learning retina implants with epiretinal contacts*. Ophthalmic Research, v. 29, p. 281-289, 1997.