

Reporte Centro de Masa, Densidad de Fuentes I

W. P. Karel Zapfe

19 de marzo de 2015

1. La Señal Cruda

El aparato, el BioCAM 4096S, es un arreglo de 4096 electrodos en un cuadrángulo con 64 renglones y 64 columnas en un cuadrado de $(2,67mm)^2$. Los electrodos permiten medir variaciones del orden de unos micro-volts hasta aproximadamente 16 mili-volts en el potencial eléctrico de tejido colocado sobre el arreglo. Cuando todos los electrodos están registrando actividad, tenemos una frecuencia de muestreo de 7022 tomas por segundo. Cada electrodo tiene $21\mu m$ de lado, lo que hace que sus dimensiones sean del mismo orden de magnitud que el soma de una neurona piramidal típica. El aparato tiene, de acuerdo con sus fabricantes, una señal ruidosa de $26\mu V_{rms}$. Dicha señal está presente en todos los electrodos excepto en un par que se muestran saturados todo el tiempo en varios registros.

Cuando una célula piramidal dispara se puede medir un cambio de potencial en el medio extracelular. Si tomamos medidas *muy* cercanas al soma (menos de $25\mu m$) y no hay mas influencias, este cambio puede ser de aproximadamente $-250\mu V$ [1]. Poco después ocurre una repolarización y se observa una señal contraria de aproximadamente $+100\mu V$. Dado que el potencial decrece como el inverso de la distancia y es aditivo, nuestras espigas discernibles en la señal tienen tamaños mucho menores, pero distintamente arriba del nivel de ruido.

La actividad neuronal producirá una distribución diferente en las medidas de los electrodos cercanos, mientras que aquellos que se encuentren suficientemente alejados de las fuentes y sumideros de corriente percibirán mayoritariamente ruido y tendrán otra estadística. Esto nos permite separar los electrodos sobre los cuales se encuentren cuerpos densamente llenos de células piramidales de aquellas regiones vacías, y podremos identificar el CA.

2. Limpiando la señal

Para obtener una señal *limpia* tenemos que tomar en cuenta cual es nuestro propósito. Para realizar el estudio que está llevando a cabo Franco basta con poder identificar las espigas del ruido. Pero para poder obtener una densidad de fuentes de corriente esto no basta. El procedimiento formal para obtener esta densidad, que denotaré por CSD, es calcular el *Laplaciano* del potencial de campo. Esto es un operador diferencial (la suma de las dobles derivadas

cartesianas), y por ende requiere una *función suave* para actuar. El Laplaciano es especialmente sensible al ruido, tanto así, que su función en procesamiento de señales es detectar *bordes duros*. Esto es especialmente de interés para nosotros: su implementación más común se usa justamente en la detección de bordes en imágenes digitales. El ruido es básicamente un montón de bordes duros en cada instante temporal. Estamos obligados, por ende, a filtrar todo el ruido que sea posible.

2.1. Identificando CA

Una gran cantidad de electrodos se encuentran lejos de las células piramidales y sólo registran ruido. Este ruido se puede caracterizar por sus propiedades estadísticas. Un método común de separar secciones en una imagen bidimensional que resulta fácil de implementar y que da resultados sorprendentemente buenos es el llamado método de Otsu [2].

A grandes rasgos, lo que hace la llamada “umbralización de Otsu” es separar la señal bidimensional en dos conjuntos tales que su estadística sea *lo más distante posible*, sin hacer ninguna suposición al respecto de las características de cada señal.

Decidí confrontar una implementación de este método con el método que usa Franco. Rescaté algunas ideas de Franco para obtener una máscara que revelara la parte del arreglo que nos interesa. Los detalles de la implementación específica se encuentran en un *notebook*. El resultado se muestra en la figura 1. Toda señal fuera de esa máscara la trataremos como cero.

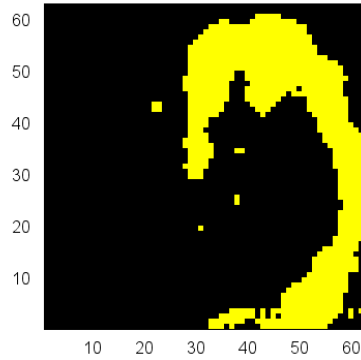


Figura 1: Mascara obtenida mediante la suma sucesiva de varias umbralizaciones de Otsu. La figura amarilla cubre los electrodos que se encuentran cerca del cuerpo celular CA.

2.2. Quitando ruido

La señal ruidosa se superpone a la señal de actividad neuronal en los electrodos seleccionados. Una posibilidad para separarlas sería utilizar las características de frecuencia de alguna de ambas y hacer pasar la señal de cada electrodo por un filtro pasa-bajos o pasa-altos según sea el caso (Mario Treviño dixit). Esto tiene un problema intrínseco: la señal ruidosa está acoplada con la frecuencia de alternancia de la corriente, que en México es de entre 55 a 65 Hz. Una espiga putativa en nuestra señal (ver figura ??) tiene una estructura con duración temporal de aproximadamente $5ms$. Esto es aproximadamente un tercio del tamaño de la estructura asociada a los 60Hz, así que es demasiado cercana como para usarse confiadamente. Preferí usar un simple criterio de umbral: todo aquello que estuviera por debajo de $60\mu V$ en valor absoluto sería considerado ruido y transformado a ceros. La comparación entre una señal original y la señal umbralizada se muestra en la figura 2.

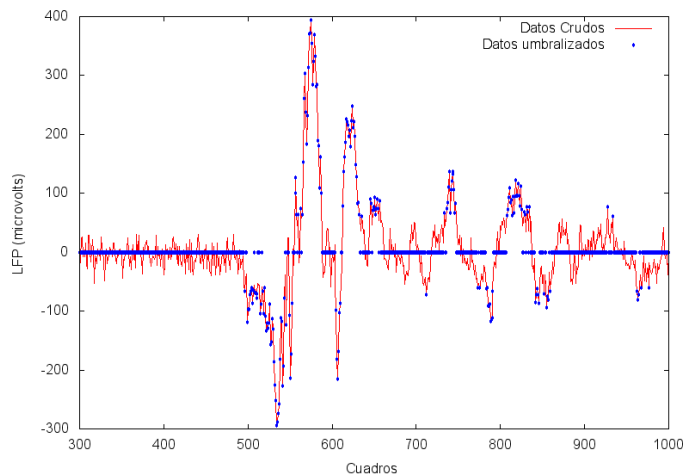


Figura 2: Mascara obtenida mediante la suma sucesiva de varias umbralizaciones de Otsu. La figura amarilla cubre los electrodos que se encuentran cerca del cuerpo celular CA.

2.3. Suavizando la señal

La implementación directo del operador Laplaciano discreto en una retícula bidimensional produce efectos de borde muy notorios que ofuscarían la visualización de las áreas con verdadera actividad. Es por ello que se desarrollo un método de suavización de bordes en la implementación del operador llamado “filtro Gauss-Laplace”. Consiste en pasar un filtro Gaussiano por la imagen o señal primero, y luego el operador Laplaciano discreto. Esta fue la “segunda derivada” que decidí implementar para buscar la densidad de fuentes de corrientes.

Esto producirá un efecto de señal de potencial similar a la de un campo apan-tallado, que es, hasta donde yo se, adecuada para modelar iones disueltos en un medio complicado. Un ejemplo del efecto de cruz en esta resolución se puede ver en la figura 3

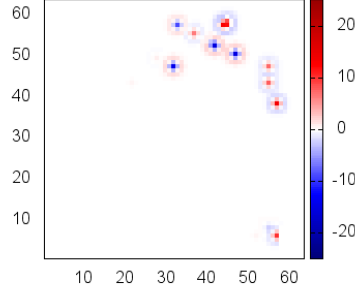


Figura 3: Efecto de “cruz” por la implementación del Laplaciano discreto en una malla de 64 por 64 píxeles. La escala es muy cercana al ϵ de la derivada.

La señal ya así obtenida tiene todavía el inconveniente de ser muy “dura” en el dominio espacial. Aunque 64×64 puntos de muestreo en tan poco espacio tenga una resolución alta en comparación con las estructuras fisiológicas, es baja para obtener derivadas numéricas descentes. Las gráficas obtenidas en Matlab por Treviño et al y Luzdas et al se muestran mucho más suaves al calcular la CSD. Esto es esencialmente debido a que Matlab interpola valores entre puntos de la malla para crear un gradiente suave de colores. Si vamos a usar una interpolación, es conveniente que usemos una que no aporte información espuria a los datos y que podamos controlar los parámetros directamente. Para ello usaremos una rutina de interpolación cuadrática (que garantiza la existencia de segundas derivadas) y condiciones en la frontera que extiendan el último renglón o fila.

3. Centros de Masa

Referencias

- [1] M.E.J. Obien, K. Deligkaris, T. Bullmann, D.J. Bakkum, and U. Frey. Re-vealing neuronal function through microelectrode array recordings. *Frontiers in Neuroscience*, 8:423, 2015.
- [2] N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Sys., Man.*, 9:62, 1979.