

Evaluación de los algoritmos de análisis desarrollados para el Sistema de Monitoreo Electrocardiográfico Ambulatorio EXCORDE 3C

R. Almeida, R. González, G. Rodríguez, A. Rodríguez, N. Pina

Instituto Central de Investigación Digital
e-mail: rao@icid.cu

RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación de los algoritmos de detección y clasificación de complejos QRS del sistema Excorde 3C utilizando la base de datos MIT-BIH, siguiendo los procedimientos establecidos por la AAMI. Las señales electrocardiográficas de esta base de datos fueron adaptadas a las características de las que produce el sistema. La evaluación consiste en suministrar estas señales como entrada a los algoritmos y obtener las anotaciones en el formato de la base de datos. Posteriormente se comparan las anotaciones de referencia con las producidas por los algoritmos en prueba. Se evalúan los resultados con respecto a la detección y clasificación de forma independiente teniendo en cuenta la sensibilidad, predictividad positiva y velocidad de falso positivo.

Palabras claves: ECG, QRS, algoritmo, detección, clasificación, MIT-BIH, AAMI, evaluación.

ABSTRACT

This paper is about the evaluation of QRS detection and classification algorithms in EXCORDE 3C system using the MIT-BIH database following the procedures established by the AAMI. The ECG signs of this database were adapted to the system characteristics. The evaluation is about providing this signals as inputs to the algorithms and obtain the annotations in the database format. Later they are compared with the reference ones. The results are evaluated independently regarding detection and classification and taking into account sensitivity, positive predictivity and false positive rate.

Key words: ECG, QRS, Detection and classification algorithms, MIT-BIH, AAMI, evaluation.

INTRODUCCIÓN

La detección y clasificación de complejos QRS es de gran importancia para el diagnóstico preciso mediante una señal de ECG. El objetivo de este trabajo es presentar y discutir los resultados de la evaluación de los algoritmos de detección y clasificación de complejos QRS utilizados en el sistema de monitoreo electrocardiográfico ambulatorio EXCORDE 3C. Estos algoritmos pretenden mejorar los resultados obtenidos en la versión anterior de este sistema (EXCORDE) desarrollado en el Instituto Central de Investigación Digital en el año 2000, distribuido en la red nacional de salud de Cuba y comercializado en el extranjero.

METODOLOGÍA

Se procesó la misma base de datos de arritmia MIT-BIH (Massachusetts Institute of Technology – Beth Israel Hospital) que se utilizó para la evaluación del sistema anterior. Esta base de datos contiene 48 registros anotados obtenidos de 47 pacientes estudiados por el Laboratorio de Arritmias del Hospital Beth Israel entre 1975 y 1979. De ellos 23 registros (serie 100) fueron seleccionados aleatoriamente de un conjunto de alrededor de 4000 cintas de 24h Holter y 25 registros (serie 200) fueron seleccionados del mismo conjunto pero incluyendo una variedad de fenómenos clínicamente importantes que podrían no estar bien representados por una pequeña muestra aleatoria, varios registros en esta serie fueron seleccionados específicamente por sus características del ritmo, morfología del QRS o por mala calidad de la señal. Cada uno de estos registros tiene una duración de 30 minutos.

Esta evaluación se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por la práctica recomendada por la “Association for the Advancement of Medical Instrumentation” (AAMI) los cuales serán explicados a continuación.

Las señales de referencia de esta base de datos se encuentran muestreadas a 360 HZ. Para evaluarlas con los algoritmos en prueba se remuestrearon a 250 HZ, frecuencia de trabajo del EXCORDE 3C, utilizando herramientas de los proveedores de la base de datos MIT-BIH. La evaluación consiste en suministrar como entrada al algoritmo las señales de referencia y obtener como salida un fichero con las anotaciones producidas por el algoritmo con el formato del fichero de la base de datos.

Los ficheros de anotaciones contienen una etiqueta (anotación), para cada latido, cada evento de calidad de la señal y cambios del ritmo. Cada anotación está asociada con el número de muestra en la señal donde ocurre.

Posteriormente se comprara el fichero de anotaciones de referencia y el fichero de anotaciones producido por el algoritmo. La comparación se realiza entre cada etiqueta de referencia y cada etiqueta producida por el algoritmo dentro de una ventana de 150 ms. Si no se encuentra una etiqueta del algoritmo dentro de la ventana de alguna etiqueta de referencia, esta se considera omitida. Si no se encuentra una etiqueta de referencia dentro de la ventana para una anotación del algoritmo, esta se considera extra. Solamente se comparan las etiquetas que se encuentran después de los primeros 5 minutos de señal. Los primeros se toman como período de aprendizaje (período que necesitan los algoritmos para aprender el ritmo básico). Cualquier anotación de referencia o producida por el algoritmo en este período se excluye de los cálculos de las estadísticas. Las etiquetas usadas para reportar los resultados son las siguientes:

V= Latido ventricular.

F= Latido de fusión de un latido ventricular con uno normal.

Q= Latido que no puede ser clasificado.

N= Cualquier latido que no esté en las categorías V, F o Q.

Las etiquetas Q aparecen en la base de datos cuando los expertos estuvieron de acuerdo en la localización del latido, pero no en su clasificación. El algoritmo produce etiquetas Q cuando es incapaz de clasificar un latido según sus reglas. Se evalúan por una parte los resultados de la ejecución del algoritmo de detección de QRS y por otra los resultados de la clasificación de latidos ventriculares. Se determinan cuatro categorías excluyentes para cada caso, verdaderos positivos (TP), falsos positivos (FP), verdaderos negativos (TN) y falsos negativos (FN) para medir las siguientes variables.

Sensibilidad (Se): De todos los eventos reales cuales fueron correctamente detectados.

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \quad (I)$$

Predictividad Positiva (+ P): De todos los eventos que se detectaron cuales son reales.

$$+ P = \frac{FP}{TP + FP} \quad (II)$$

Velocidad de Falso Positivo (FPR): Mide con cuanta frecuencia un evento fue falsamente detectado cuando en realidad no ocurrió.

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \quad (III)$$

La "Especificidad" no es usada para reportar los resultados según el estándar de la AAMI [1].

Con respecto a la detección de QRS se determinan Sensibilidad (QSe) y Predictividad Positiva (Q+P), la velocidad de falso positivo no puede ser medida puesto que los verdaderos negativos con respecto a la detección no pueden ser contados. Con respecto a la detección de ventriculares se miden Sensibilidad (VSe), Predictividad Positiva (V+P) y Velocidad de Falso Positivo VFPR.

La presentación de los resultados de la evaluación según establece la norma debe ser en formato de línea donde cada línea represente un registro de la base de datos con sus correspondientes variables, se representa mediante una matriz condensada de 11 elementos, Tabla I;

Tabla I

Algoritmo				
Ve	N	n+f+q	V	o+x
	N	Nn'	Nv'	No'
	N+f+q	Vn'	Vv'	Vo'
	F + Q	Fn'	Fv'	Fo'
	O + X	On'	Ov'	

Los resultados son presentados en el formato de tabla que se corresponde al establecido en la sección 4.6.2 de la norma AAMI(1).

RESULTADOS

Se realizó la evaluación con 39 registros de los 48 contenidos en la base de datos. Tal como recomienda el documento de AAMI, se excluyeron de la evaluación los cuatro registros asociados a pacientes con marcapaso implantado. Además, el documento de AAMI propone que se excluyan los tramos de ECG asociados a eventos de taquicardia o flutter ventricular, pero la decisión de los autores fue excluir completamente estos casos para minimizar las intermitencias en el análisis.

En la detección de QRS se obtuvo 99.77% de sensibilidad y 99.90% de predictividad positiva. En la detección de extrasístoles ventriculares (VEB) se obtuvo 93.33% de sensibilidad, 93.38% de predictividad positiva y un 0.392% de velocidad de falsos positivos. Estos resultados son satisfactorios según establece la norma pues se obtienen valores de Sensibilidad y predictividad positiva cercanos y por encima del 90%.

Es importante destacar que en los segmentos de excesivo ruido el algoritmo se comporta de forma apropiada sin suspender sus funciones de detección/clasificación.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son buenos de forma general incluso en tramos de señal con alto nivel de ruido. Si se realiza la ejecución del algoritmo de clasificación de forma independiente al de detección, utilizando las anotaciones que están en la base de datos, se obtienen resultados de 95.27 de sensibilidad, 96.70 de predictividad positiva y 0.153 de velocidad de falsos positivos en la clasificación de extrasístoles ventriculares. Esta diferencia se debe principalmente a los errores en la detección de latidos ocasionados principalmente por exceso de ruido en algunas de las cintas. En estos tramos se encuentran una mayor cantidad de falsos positivos en la detección que son potenciales errores luego en la clasificación.

CONCLUSIONES

Como resultado de este proceso de evaluación, que ha sido realizado siguiendo el procedimiento recomendado en la publicación titulada "AAMI Recommended Practice, Testing and Reporting Performance Results of Ventricular Arrhythmia Detection Algorithms", se ha llegado a resultados que pueden ser considerados satisfactorios ya que en todos los casos los valores de las variables estudiadas denotan un comportamiento adecuado del algoritmo evaluado. Por otra parte, el tamaño de la muestra estudiada hace que los resultados puedan considerarse como válidos desde el punto de vista estadístico. El sistema EXCORDE 3C se encuentra actualmente en el estado del arte, o sea, tiene un rendimiento similar al alcanzado internacionalmente por sistemas análogos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Testing and reporting performance results of cardiac rhythm and ST-segment measuring algorithms. Arlington, VA, USA; 1988. Published as American National Standard ANSI/AAMI EC57:1988.
- [2] Christov I, Gómez-Herrero G, Krasteva V, Jekova I, Gotchev A, Egiazarian K. Comparative study of morphological and time-frequency ECG descriptors for heartbeat classification. Medical Engineering and Physics. 2006;28:876–887.doi:10.1016/j.medengphy.2005.12.010
- [3] Pan J, Tompkins, WJ. A Real-Time QRS Detection Algorithm, IEEE Transaction of Biomedical Engineering. 1995;42, 21-28.
- [4] Hamilton P, Tompkins WJ. Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database. IEEE Trans. Biomed. Eng 1986; 33:1157-1165.

[5] Schluter, P.; Peterson, S.; Moody, G.; Siegal, L.; Jackson, C.; Perry, D.; Acarturk, E.; Aumiller, J.; Blake, S.; Blaustein, A.; Conrad, C.; Heller, G.; Malagold, M.; Mark, R.; Miklozek, C. MIT-BIH Arrhythmia Database Directory. Online database. 1987.

<http://www.physionet.org/physiobank/database/html/mitdbdir/mitdbdir.htm>

[6] de Chazal P, Reilly RB. A Comparison of the ECG Classification Performance of Different Feature Sets. *Computers in Cardiology*. 2000;27:327–330.

[7] Carrim ZI, Khan AA. Mean Frequency of Premature Ventricular Complexes and Predictor of Malignant Ventricular Arrhythmias. *The Mount Sinai Journal of Medicine*. 2005;72:374–380.