

Sistema Multiagente para Monitorización Inteligente Domiciliaria de Pacientes con Patologías Cardiovasculares

Alejandro G. Agostini¹

¹Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad Politécnica de
Cataluña, Modulo C6 – Campus Nord, Jordi Girona 1-3, 08034, Barcelona, España
agostini@lsi.upc.es

Abstract. Actualmente existe un considerable número de personas con enfermedades cardiovasculares que sufren complicaciones en ámbitos donde el auxilio médico puede llegar demasiado tarde. Por otro lado la medicina cardiológica ha incorporado recientemente herramientas diagnósticas y pronósticas potentes y no invasivas basadas en el procesamiento de señales obtenidas del sistema cardiovascular utilizando herramientas matemáticas avanzadas. El presente trabajo propone un sistema multiagente que vincula estas herramientas y técnicas de inteligencia artificial para realizar la monitorización inteligente de pacientes con patologías cardiovasculares, como así también, para coordinar las acciones y gestionar los recursos de las tres partes fundamentales que deben intervenir en caso de una emergencia, a saber, el propio paciente y su familia, su médico de cabecera, y la institución de salud respectiva. Se utilizan sistemas de razonamiento basado en casos y basado en reglas para decidir el accionar de acuerdo a la situación de cada paciente.

1 Introducción

Un importante número de personas sufren complicaciones de patologías cardiovasculares que pueden producir hasta la muerte. Se han estudiado diferentes formas de prevenir estos episodios y se han obtenido resultados muy promisorios a través del procesamiento de la señal de frecuencia cardíaca (FC). Esta señal posee información valiosa referida al estado del sistema nervioso autónomo y al pronóstico de la muerte súbita cardíaca, y además, previene la ocurrencia de eventos isquémicos y tendencias a arritmias ventriculares malignas [1]. Para extraer la información inmersa en la señal se utilizan herramientas matemáticas avanzadas en el dominio temporal y frecuencial, como así también para el estudio de las dinámicas no lineales [2]. Por otro lado la mayoría de los pacientes que padecen estas patologías son ambulatorios y muchos de ellos tienen un alto riesgo de complicaciones sin que existan métodos eficientes de prevenirlas y actuar antes

de que ocurran. Es por eso que este trabajo propone un sistema inteligente para la monitorización de estos pacientes que combina la facilidad de obtención de la señal de FC, los buenos resultados del procesamiento de la misma, y la flexibilidad y capacidad que poseen las técnicas de inteligencia artificial.

Debido a que se quiere monitorizar y controlar a un número variable de pacientes ambulatorios, y coordinar el accionar de los médicos y el de la institución de salud respectiva, se plantea un sistema multiagente con diferentes plataformas que integren cada una de estas partes. El sistema posee una plataforma para cada paciente encargada de vincular al mismo con la plataforma de gestión de emergencia, la cual gestionará los recursos y el procedimiento a seguir de acuerdo al caso en particular, y comunicará al médico de cabecera la situación de su paciente respectivo. Se utiliza en la plataforma de cada paciente una base de casos creada a partir de un estudio clínico realizado sobre pacientes con diferentes patologías cardiovasculares [1] utilizando un paquete de funciones matemáticas para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) [2] y con la participación de expertos cardiólogos para el etiquetado y elaboración de la base de casos. Asimismo se dispone de un sistema basado en reglas para tratar los casos que no pudieron ser recuperados.

2 Herramientas y Métodos

2.1 Base de Casos

Como se mencionó anteriormente se utiliza como base de casos los resultados de un estudio clínico realizado sobre 40 pacientes con diferentes patologías cardiovasculares utilizando las herramientas matemáticas de análisis de la variabilidad de la señal de FC. Los grupos fundamentales están compuestos por pacientes con hipertensión arterial, coronariopatías, miocardiopatías y pacientes sanos. Se consideran los parámetros de corto plazo de VFC debido a que se realiza una monitorización cuasi on line para un correcto control del paciente. Así se calculan los parámetros temporales (SDNN, SDANN, pNN50) y frecuenciales (LF, HF, LF/HF, LF+HF) cada 15 minutos y los parámetros de dinámicas no lineales (índice α de la tendencia $1/f^\alpha$ del espectro de la señal en escala log-log, entropía aproximada y dimensión de correlación) cada hora. Una breve descripción de los parámetros mencionados se encuentra en la tabla 1. Cabe aclarar que si bien se utiliza el término de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la señal que se emplea para este análisis es la de intervalos calculados entre ondas R consecutivas del electrocardiograma del paciente (intervalos RR) y cada valor de esta señal representa la inversa de la frecuencia cardíaca instantánea.

Cada paciente controlado posee características clínicas distintas a cualquier otro. Sin embargo existen ciertos valores de parámetros clínicos que son representativos de patologías y casos particulares. Los profesionales cardiólogos expertos en este ámbito basan su diagnóstico en conocimientos adquiridos de su

formación profesional pero principalmente en base a su experiencia. Es por ello que las herramientas de razonamiento basado en casos son tan aplicables en medicina ya que utilizan la experiencia previa de casos anteriores para encontrar la solución a los nuevos casos planteados. No obstante, un caso puede ser muy particular y diferenciarse en gran medida de cualquier otro existente en la base de casos. Esto no es deseado para la monitorización inteligente de pacientes ambulatorios que no tienen, por lo menos en el corto plazo, la posibilidad de la intervención de un experto. Así se propone un sistema de razonamiento basado en reglas para los casos que no puedan ser recuperados. La conjunción de estos dos tipos de razonamiento se han utilizado en varias oportunidades sobre todo con fines diagnóstico [3],[4]. La tabla 1 se muestra los atributos que se tienen en cuenta para la base de casos.

Tabla 1. Tabla con los atributos que se tienen en cuenta para la base de casos

Concepto	Atributo	Descripción
Datos del paciente	Edad	Baja, media y alta
	Sexo	Masculino, femenino
	Patología	Coronariopatía, Hipertensión Arterial, Miocardiopatía dilatada, Sanos
Parámetros matemáticos temporales	SDNN	Desviación estándar de intervalos RR entre latidos normales.
	SDANN	Desviación estándar de la media de intervalos RR en período de 5 minutos.
	PNN50	Porcentaje de valores que difieren del previo en más de 50 [ms].
Parámetros matemáticos frecuenciales	LF	Energía de la banda de baja frecuencia del espectro estimado de la señal.
	HF	Energía de la banda de alta frecuencia del espectro estimado de la señal.
	LF/HF	Relación de balance entre baja y alta frecuencia.
	LF+HF	Energía total del espectro de la señal.
Parámetros matemáticos de dinámicas no lineales	α del espectro 1 hora	Exponente α de la tendencia $1/f^\alpha$ del espectro de la señal.
	Entropía aproximada	Entropía aproximada calculada a partir del atractor extraño en el espacio de fase (puede verse como el nivel de desorden del atractor).
	Dimensión de Correlación	Dimensión de correlación del espacio de fase del sistema cardiovascular calculada a partir de la señal de FC que está directamente relacionada a la complejidad del sistema que la genera.
Instrucciones y recursos	Acciones a tomar por el paciente	Instrucciones para el paciente en caso de riesgo de complicaciones de su estado clínico.
	Acciones a tomar por el médico	Instrucciones para el médico de cabecera
	Recursos utilizados por la institución real de salud	Recursos que son necesarios para atender el caso particular.
Riesgo (atributo target)	Estado	Estable (sin riesgo de complicaciones de su estado clínico), riesgo bajo, riesgo medio y alto riesgo (emergencia)

2.2 Sistema Multiagente

La siguiente figura muestra un esquema del sistema multiagente para la monitorización domiciliar de pacientes con patologías cardiovasculares.

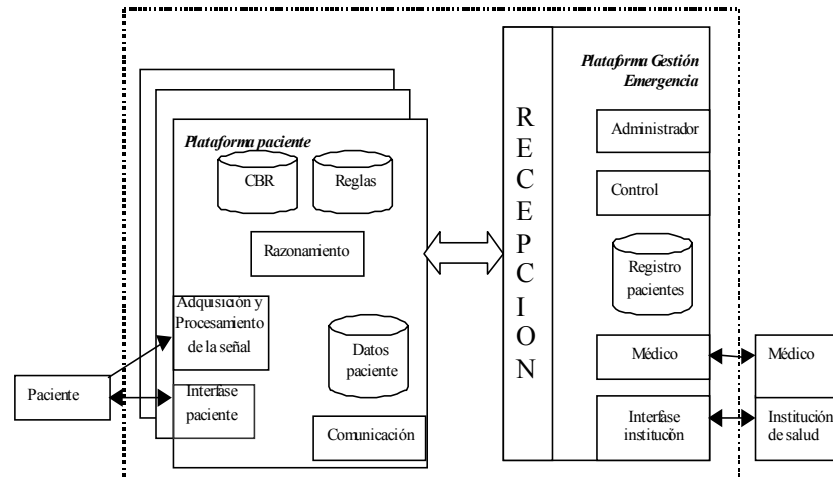


Fig. 1. Esquema del sistema multiagente para la monitorización inteligente de pacientes ambulatorios con patologías cardiovasculares.

Plataforma Paciente: Cada paciente está vinculado a su propia plataforma que actúa directamente sobre éste y lo representa ante la plataforma de gestión de emergencias. Los componentes de esta plataforma son los siguientes:

- *Agente interfase:* Actúa como mediador entre el sistema y el paciente. Comunica al paciente las instrucciones indicadas por el sistema y recibe consultas del mismo que serán transmitidas al *agente comunicación*.
- *Agente de adquisición y procesamiento:* Recibe la señal de intervalos RR proveniente de un dispositivo médico de monitorización y calcula los parámetros matemáticos que serán enviados al *agente de razonamiento* como valor de los atributos respectivos.
- *Agente razonamiento:* Utiliza el razonamiento basado en casos o, si no existe caso con la similitud adecuada, utiliza el sistema basado en reglas para inducir el estado del paciente. Transmite los resultados al *agente comunicación*.
- *Agente comunicación:* Establece las comunicaciones con el *agente interfase paciente* y el *agente recepción* de la plataforma de gestión de emergencia. Guarda el evento en la base de datos del paciente.
- *Base de datos del paciente:* Contiene la historia clínica del paciente, registro de datos y de eventos, datos del médico de cabecera y de la institución de salud respectiva.

- *Base de casos:* Contiene los casos del estudio clínico.
- *Base de reglas:* Contiene las reglas que usarán los atributos del paciente en caso de que no se pueda recuperar ningún caso con la similitud adecuada desde la base de casos.

Plataforma de Gestión de Emergencias: Esta plataforma se encarga de la coordinación y gestión de las emergencias entre todo el sistema de acuerdo a las llamadas provenientes de las diferentes plataformas pacientes. Esta plataforma está compuesta por:

- *Agente recepción:* recibe las llamadas y mantiene la comunicación con las distintas plataformas paciente. Almacena y gestiona las llamadas que se van presentando y le comunica los casos en forma ordenada al agente administrador priorizando los de mayor emergencia.
- *Agente administrador:* Realiza la administración de los recursos que son necesarios para cada paciente de manera de responder en el mínimo tiempo, como así también la adecuación de la solución en caso de que la institución no disponga de los recursos solicitados. De acuerdo al caso se comunica al *agente interfase institución* los recursos que serán necesarios en lo que respecta a ambulancias, medicamentos, preparación de camas en unidad coronaria, etc, y el tiempo estimado en que estos recursos deberán estar disponibles.
- *Agente interfase institución:* Comunica a los distintos sectores de la institución de salud los recursos que serán necesarios para atender las posibles demandas solicitadas por el *agente administrador*. También recibe información desde la institución en caso de que algún recurso no esté disponible. Esta información es comunicada al *agente administrador* para que se adapte la solicitud de los recursos en base a la disponibilidad real.
- *Agente control:* controla el funcionamiento general del sistema, la disponibilidad de los recursos solicitados por el *agente administrador*, las comunicaciones con las plataformas paciente, la velocidad de respuesta del sistema, etc., y registra los datos mas relevantes en el registro de pacientes.
- *Agente interfase médico:* Dado que el volumen de pacientes puede ser muy elevado se asignaran grupos de pacientes a distintos médicos de cabecera. Cada médico contará con un agente específico dentro de la plataforma de gestión de emergencia. Este agente le comunicará al médico la situación del paciente, la gestión que está realizando el *agente administrador* y se comunicará con el *agente interfase paciente* para establecer una conexión a través del mismo con el propio paciente o su familia en caso de ser necesario.

3 Discusión

El estudio clínico utilizado en la base de casos no cuenta con un espectro muy amplio de casos, y si bien se plantea el desarrollo de una base de reglas para

aquellos casos que no pueden ser recuperados sería adecuado que el sistema aprenda los casos nuevos y representativos.

En este trabajo se considera una sola institución de salud. Futuros trabajos pueden ampliar el sistema para que funcione con varias instituciones.

Asimismo se podría ampliar el sistema para que trabaje no solo con patologías cardiovasculares sino también con diferentes tipos de patología (pacientes diabéticos, pacientes con insuficiencia renal, etc) que necesiten un cuidado minucioso previniendo una complicación o bien actuando de manera inmediata ante una complicación en curso.

4 Referencias

- [1] A. G. Agostini, L. G. Gamero and P. R. Rumi: Aplicación Clínica de la Biblioteca de Funciones VFCLab para el Análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, Congreso Brasileiro de Ingeniería Biomédica, Universidad de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, (2000)
- [2] A. G. Agostini, L. G. Gamero and P. R. Rumi: VFCLab: Biblioteca de funciones en Matlab para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, XII Congreso Argentino de Bioingeniería, Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina, (1999)
- [3] Rainer Schmidt, Bernhard Pollwein, Lothar Gierl: Experiences with Case-Based Reasoning Methods and Prototypes for Medical Knowledge-Based Systems. AIMDM 1999: 124-132
- [4] Miksch, S.; Cheng, K.; Hayes-Roth, B.: The Patient Advocate: A Cooperative Agent to Support Patient-Centered Needs and Demands, in Cimino, J. J. (ed.), Proceedings of the 1996 AMIA Annual Fall Symposium (formerly SCAMC), Hanley & Belfus, Philadelphia, pp. 144-148, (1996).
- [5] Miksch, S.: Plan Management in the Medical Domain, AI Communications, 12(4), pp. 209-235, (1999).