

# Implementación de un módulo de consulta y medición de ritmo cardiaco con envío de datos GSM usando Open Hardware

Jorge L. Guerra Guerra<sup>1</sup>, Armando Fermin Perez<sup>2</sup>

Universidad Inca Garcilaso de la Vega  
Av. Bolivar 1847. Lima-Peru

**Abstract**— This paper shows the construction of a system developed using Open Hardware, in order taking measurements of heart rate also involving the possibility of sending remotely (via GSM) the measurement result or information for the purpose of health prevention. Arduino-based sensor as making finger testing and a wiring-based program for easy programming and adaptation to different types of devices. This equipment worked to how to kit for public use under the concept of Biofeedback.

**Keywords**— Heart Rate, Open Hardware, Ear-Clip sensor, GSM communication.

## I. INTRODUCCION

A lo largo de los últimos años, ha crecido la necesidad de controlar eficientemente las diferentes magnitudes biomédicas que todas las personas poseen (temperatura, presión arterial, ritmo cardiaco, medición de glucosa, etc) los cuales se almacenan en fichas de empleados para control de salud, en chequeos normales en servicios médicos públicos o privados, para inscribirse en pólizas y seguros médicos. Esta tendencia creciente ha ido a la par con el desarrollo de tecnología electrónica e informática que miniaturizado los equipos básicos, ha permitido la rebaja en el precio de dichos equipos y a un creciente interés por parte del público en realizar sus propias mediciones. Desde los lejanos días de los primeros termómetros a los actuales glucómetros y tensiómetros, las personas quieren conocer por si mismas algunas de las variables que gobiernan su cuerpo, a esta tendencia se le denomina biofeedback (biorrealimentación). La biorrealimentación es un proceso de recopilación de información sobre las funciones fisiológicas específicas, tales como ritmo cardíaco, respiración, temperatura corporal con el fin de que la persona valore sus propias respuestas fisiológicas al aprender a controlarlas a través de los datos recogidos por un instrumento en particular. Debido a ello se requieren equipos de medición confiables y de bajo costo disponibles para los usuarios en general, teniéndose por ese motivo la alternativa de implementar un sistema basado en hardware y software poniendo a Arduino como la base de

construcción de este producto, y colocando unidades de captura de datos y procesamiento de acuerdo a las operaciones que este sistema va a realizar. A lo largo de este paper se observara los elementos que conforman la solución planteada con sus especificaciones así como el flujograma que describe la secuencia de operaciones que este sistema realizara.

## II. RITMO CARDIACO

El corazón es el órgano responsable de bombear la sangre por todo el cuerpo. Se encuentra en el centro del tórax, ligeramente desplazada a la izquierda y rodeado por los pulmones. El corazón está compuesto por cuatro cavidades; dos aurículas y dos ventrículos. La aurícula derecha recibe la sangre que vuelve al corazón de todo el cuerpo. La sangre pasa a través del ventrículo derecho y se bombea a los pulmones, donde se oxigena y luego regresa al corazón a través de la aurícula izquierda, a continuación, la sangre pasa a través del ventrículo izquierdo y es bombeada de nuevo para ser distribuida a todo el cuerpo a través de las arterias.

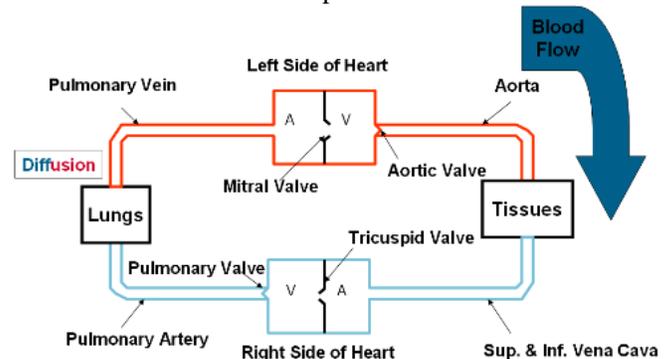


Fig. 1. Representación sistémica del funcionamiento del corazón. Tomado de [2]

El ritmo cardíaco (Heart Rate) es el número de latidos por unidad de tiempo, normalmente expresado en latidos por minuto (bpm). Esta frecuencia cardíaca puede variar según la necesidad del cuerpo de absorber oxígeno y excretar los cambios de dióxido de carbono durante el ejercicio o en el sueño. La medición del ritmo es usado por los médicos para ayudar en el diagnóstico y el seguimiento de condiciones médicas y de diagnóstico.

1. J. Guerra, es docente de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima Perú +5114610068; fax: +5114610068; e-mail: jorgeguerra@uigv.edu.pe.

2. A Fermin, es docente de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima Perú +5114610068; fax: +5114610068; e-mail: afermin@uigv.edu.pe.

Este trabajo esta desarrollado en el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones de la UIGV. Laboratorio del grupo de Investigación de Tecnologías Emergentes (GITE).

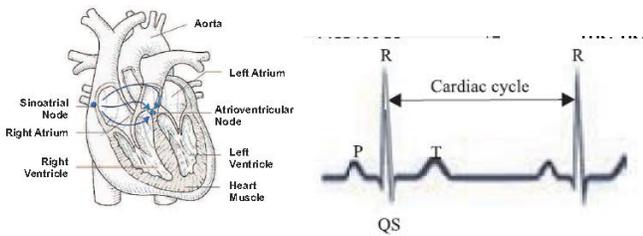


Fig.2 Ritmo Cardíaco. Tomado de [4]

Esta medición se caracteriza principalmente por la detección de 5 ondas que reflejan las diferentes funciones del corazón durante un ciclo cardíaco; estas ondas se les llama por las sucesivas letras del alfabeto P, Q, R, S y T

También se utiliza por diferentes personas, como los atletas, que están interesados en el seguimiento de su ritmo cardíaco para adquirir la máxima eficiencia. Los cambios en el estilo de vida y hábitos alimenticios poco saludables han dado lugar a un aumento dramático en los casos de enfermedades cardíacas y vasculares. Además, los problemas cardíacos se diagnostican cada vez más en los pacientes más jóvenes [6]. A nivel mundial, la enfermedad coronaria es la principal causa de muerte. Por lo tanto, cualquier mejora en las herramientas de diagnóstico y tratamiento son bien recibidos por la comunidad médica [10].

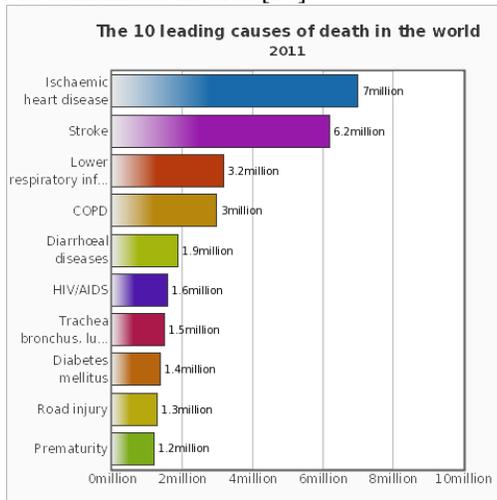


Fig.3 Estadísticas sobre las 10 causas de muerte más frecuente en el mundo. Tomado de [10]

En un entorno clínico, el ritmo cardíaco se mide en condiciones controladas, como la medición de sangre, medición de los latidos del corazón y electrocardiograma (ECG). Sin embargo, hay una gran necesidad de que los pacientes puedan medir la frecuencia cardíaca en el entorno del hogar, así prevenir súbitos cambios en su salud, por ello debe considerarse como factor que modifica la medición el hecho que el ritmo cardiaco aumenta gradualmente durante los ejercicios y regresa lentamente al valor de reposo después del ejercicio. La velocidad a la que el pulso vuelve a la normalidad también es una indicación de la condición física de la persona [9].

Se considera que en estado de reposo, las personas tienen un valor de 60 a 100bpm, siempre y cuando la medición sea estable, si hay oscilaciones en la medición se denomina arritmia cardiaca. Por otro lado en el estado de actividad física

estos valores van a cambiar según la edad y el esfuerzo empleado, a continuación se muestra una tabla aproximada del ritmo cardiaco de una persona en ejercicio y de acuerdo a su edad:

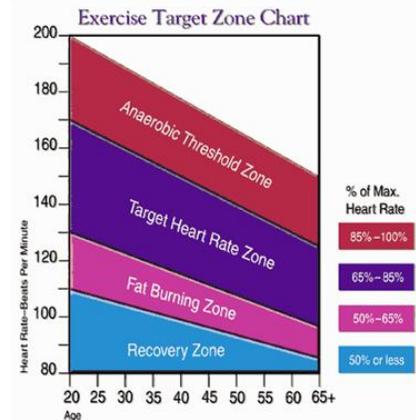


Fig.4 Heart Rate vs Edad. Tomado de [2]

### III. TECNOLOGIA EXISTENTE PARA HEART RATE

Biofeedback es hoy un método de tratamiento reconocido para una serie de problemas físicos y psicológicos. Los médicos con experiencia a menudo logran buenos resultados en estas áreas y su éxito se basa en gran medida en muchos años de experiencia y con frecuencia miles de pacientes tratados [13]. En el campo del esfuerzo físico realizado por atletas es una herramienta muy importante para que la persona pueda conocer y manejar sus variables fisiológicas inclusive a través de la concentración y sugestión [14].

Desde hace tiempo se han desarrollado dispositivos electrónicos que se especializan en medición de variables fisiológicas, tal es el caso del MC9RS08KA2, un microcontrolador de 8 bits el cual es desarrollado por Freescale [2], el cual puede procesar los datos enviados por los sensores colocados en los dedos, también existe el CI MSP430, microcontrolador de Texas Instruments [5], el cual está diseñado para implementar equipos medidores de ritmo cardíaco con una precisión bastante aceptable. Sin embargo, en otro aspecto de la tecnología, se pueden implementar circuitos que cumplan propósitos similares, pero microcontroladores de usos generales, tal es el caso del microcontrolador de bajo costo [9] como el PIC16F84, para la detección del cambio de flujo sanguíneo usando para ello un led y un fototransistor, también el caso de [4] donde utilizan el PIC16F876 para implementar un sistema utilizando componentes discretos para monitoreo cardiaco de emergencia, lo importante de su contribución radica en el uso del puerto RS232 para conexión con la PC y el celular para recibir datos del sistema en caso de emergencias. Dentro de la misma línea de la propuesta del paper, Kothari [6] usando un PIC16F877A y módulos GSM toma información del ritmo cardíaco y lo envía remotamente en caso de alerta y atención de urgencia. En un enfoque totalmente diferente e innovador, Boccanfuso[ 12 ] desarrolla un sistema de medición indirecta del ritmo cardiaco usando el sensor de temperatura colocado para apuntar en una zona piloto sub - nasal , esto se

debe a que la arteria labial superior realiza cambios de temperatura proporcionales al ritmo cardiaco, esta técnica tiene un éxito del 72.7% de los casos estudiados. Es de advertir que en los trabajos con microcontroladores estándares o de usos generales, el software usado es el que procesa las mediciones generando la salida que se muestra generalmente en un display.

#### IV. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION

Utilizando los conceptos de Biofeedback y tomando como base la tarjeta Arduino UNO R3, se ha definido la implementación del módulo de medición y control de ritmo cardiaco, en base a las siguientes características:

1. Ayuda para la manipulación del equipo a través de mensajes que van guiando al usuario en los pasos necesarios para el uso del módulo.
2. Envío a través de SMS a su número telefónico o al de su elección del resultado de la medición, así como la fecha y hora de la toma efectuada.
3. Muestra a través del display, la medición que se efectúa a fin de informar en tiempo real de los valores que se van obteniendo.
4. Alimentación en base a baterías del módulo para fines de transporte.

El circuito propuesto es el siguiente:

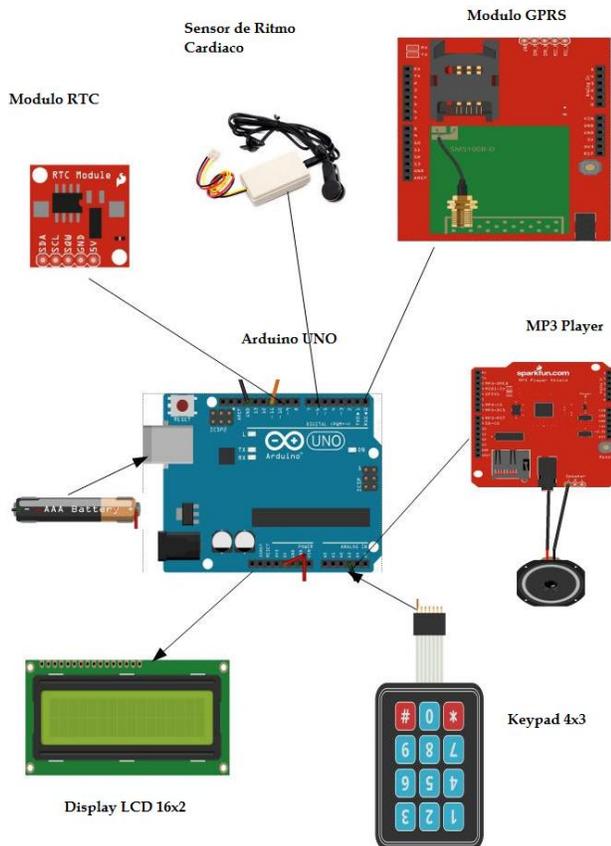


Fig.5 Sistema de medición y control de ritmo cardiaco. [propuesta]

La forma como funciona el sistema en construcción está determinado por el siguiente flujograma:

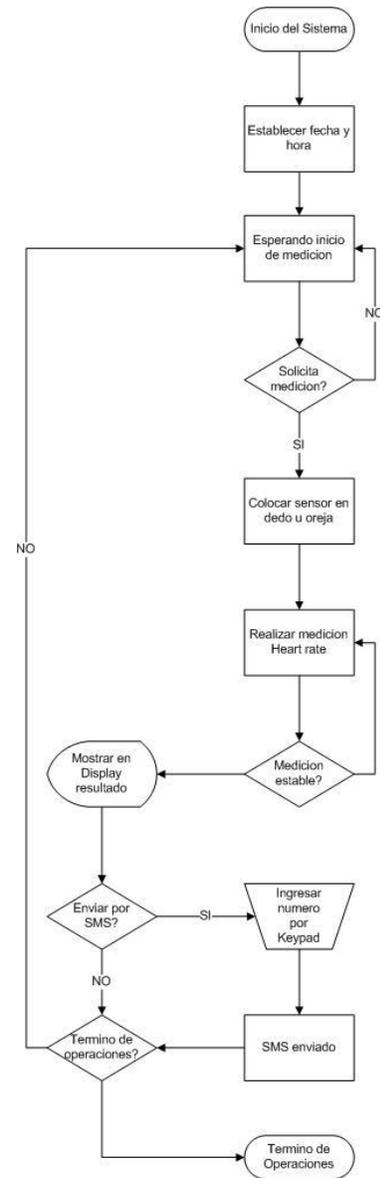


Fig. 6 Flujograma del funcionamiento del sistema [propuesta]

En el diagrama se observa las diferentes operaciones que se realizan dentro del ciclo útil del equipo. Considérese por supuesto, la implementación inicial del producto utilizando módulos (shields) como el RTC o el GSM shield, para en una segunda etapa miniaturizar el proyecto.

Dentro de los elementos usados en este sistema se detallan:  
 3.1 **Arduino UNO R3**, el mas conocido miembro de la familia Arduino, basado en el microcontrolador Atmel ATmega328 , de 8bits trabajando a 16 Mhz.



Fig. 7 Arduino UNO R3

**3.2 RTC Shield**, basado en el CI DS1307, este RTC se utiliza para cargar la fecha y hora del sistema, la cual será parte del mensaje mostrado durante el resultado de la medición. Utiliza el bus I2C.



Fig. 8 RTC Module (Spakfun)

**3.3 GSM Shield**, modulo basado en SIM9000, realiza comunicación basado en UART, trabajando en las bandas de 900, 1800 y 1900 Mhz, soporta GPRS/GSM, utilizado para el envío mensajes SMS con la medición realizada. En su modelo shield, debe colocarse encima de la tarjeta Arduino.



Fig. 9 GSM Shield (DFRobot)

**3.4 Reproductor MP3**, basado en VS1053, un procesador/codificador de archivos MP3, el cual soporta varios formatos de sonido como OGG/MP3/AAC/WMA/MIDI, la función de este módulo en el proyecto es la de reproducir los sonidos y mensajes de ayudas que están guardados en archivos MP3, los cuales se colocan en una tarjeta sdcard y que será agregada en la ranura disponible para este efecto.



Fig. 10 Reproductor MP3 (Greetech)

### 3.5 Dispositivos de entrada/salida,

Para la interacción con el usuario, se dispone de un keypad de 4x3 de tipo membrana con el que se ingresara el número de celular para el envío de la medición. Asimismo para visualizar la salida se dispone de un display LCD 16 x 2, de tipo I2C de tipo monocromático.

## V. SENSOR PARA HEART RATE

El dispositivo usado para el presente proyecto es el modelo EAR-CLIP HEART RATE SENSOR de Seed Studio compatible con Arduino, y puede ser usado tanto por pacientes como por atletas.



Fig. 11 Ear-Clip Sensor (Seed Studio)

Este sensor de bajo consumo de energía trabaja con voltajes de 3 a 5V, cumple la directiva RoHS, por lo que está libre de sustancias peligrosas, dato importante porque la pinza debe colocarse en el dedo o en la oreja para comenzar la medición.

## VI. IMPLEMENTACIÓN

El circuito básico está en la fase de pruebas como se ve en la siguiente figura:

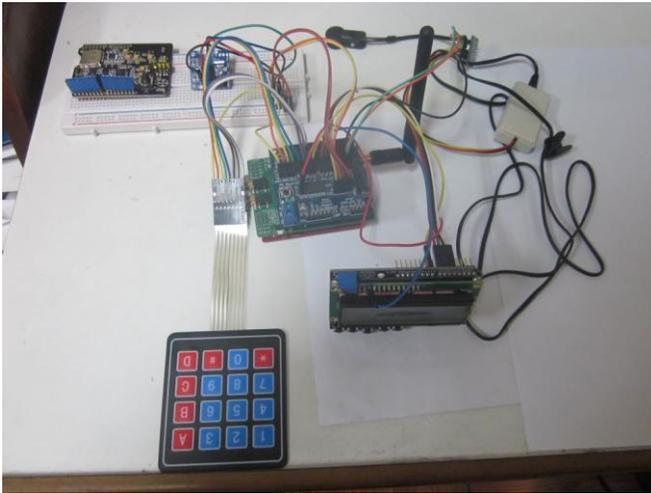


Fig. 12. Circuito implementado (Sin carcasa)

En el circuito armado ya se encuentran los principales elementos del sistema, exceptuando el módulo MP3 (ángulo superior izquierdo, el cual se está configurando para ser añadido al producto.

Con respecto al programa que hace funcionar al circuito, se está usando el IDE de Arduino para escribir el programa que utilizara los componentes conectados. El sensor EAR\_CLIP está conectado a la línea D2 de Arduino y es leído a través de digitalRead, la cabecera del código construido se observa a continuación:

```

medirRitmoCardiaco | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
medirRitmoCardiaco
/***** (C) COPYRIGHT 2014 GITE *****/
* File Name      : medirRitmoCardiaco
* Author        : Grupo GITE
* Version       : V1.0
* Date         : 31/03/2014
* Description    : Este programa mide el ritmo cardiaco en bp
                  El mas bajo pulso sera seteado a 30.
                  El ritmo normal esta entre 60 a 100bpm, arri
                  y
*****
#include <LiquidCrystal.h>

unsigned char pin = 13;
unsigned char counter=0;
unsigned int heart_rate=0;
unsigned long temp[21];
unsigned long sub=0;
volatile unsigned char state = LOW;
bool data_effect=true;

```

Fig. 13 Cabecera del programa en IDE Arduino

Mientras que en el siguiente bloque de código se calcula el ciclo cardiaco que deberá ser estable en el tiempo, para ser considerado ritmo cardiaco.

```

if(data_effect)
{

```

```

heart_rate=1200000/(temp[20]-temp[0]);//60*20*1000/tie
mpoTotal
Serial.print("Su ritmo cardiaco es:\t");
Serial.print(heart_rate);
Serial.println("\t latidos por minuto");
}
data_effect=1;//bit de signo

```

En la fase de prueba de campo se estará calibrando los valores del código, a fin de mejorar la precisión de la medición efectuada.

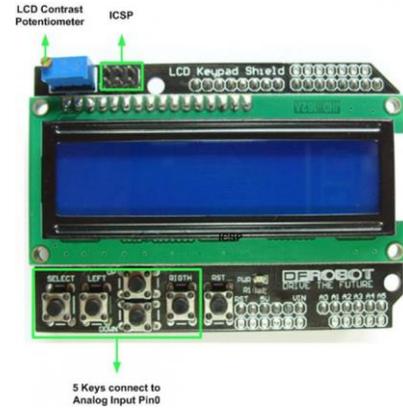


Fig. 14 Display LCD con I2C

## VII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se está mostrando como la tecnología Open Hardware, representada por Arduino, puede implementar una solución hardware/software viable para darle a los potenciales usuarios la posibilidad de poder controlar su ritmo cardiaco a fin de prevenir futuros ataques cardiacos y recibir tratamiento oportuno.

Por otro lado el uso de tecnología abierta permite mejorar por parte de la comunidad la solución presentada, de ahí que esta implementación puede escalar agregándoles nuevas funcionalidades.

En futuros trabajos se podrá agregar acceso a sistemas basados en cloud computing usando un módulo wifi o Arduino Yun.

Finalmente, este trabajo pone de relieve la importancia de brindar soluciones tecnológicas dirigidas al usuario común, no especializado, el cual puede realizar sus propias mediciones como un medio para estimar una condición física, lo que de ninguna manera significa reemplazar al profesional médico responsable y capacitado.

## REFERENCIAS

[1] E. Munguia, S. Intille, W. Haskell, K. Larson, J. Wright, A. King, and R. Friedman, "Real-Time Recognition of Physical Activities and Their Intensities Using Wireless Accelerometers and a Heart Rate Monitor". In 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2007 EEUU, pp37 - 40.

[2] C. Casillas, "Heart Rate Monitor and Electrocardiograph Fundamentals", Application Note, Freescale Semiconductor Document Number: AN4059, EEUU, 2010

- [3] M.Fezari, M.Bousbia-Salah, and M.Bedda, "Microcontroller based heart rate monitor", The International Arab Journal of Information Technology, Vol.5, No. 4, pp.409-413. October 2008
- [4] M. El Hassan and K. Mohammed, "Design and Implementation of an Embedded System for Ambulatory Cardiac Monitoring", In Journal of Telecommunications and Information Tehnology, pp23-32, Marruecos 2012
- [5] A. Joshi, S. Ravindran, A. Miller, "EKG-Based Heart-Rate Monitor Implementation on the LaunchPad Using MSP430G2xx", Application Report, Texas Instruments, SLAA486A–March 2011.
- [6] M. Kothari, "Microcontroller Based Heart Beat Monitoring and Alerting System", In IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), Volume 9, Issue 1, Ver. I, pp 30-32, 2014
- [7] K. CHONG, D. HOLDEN, T. OLIN, "Heart Rate Monitor", Course ENGN3227 Analogue Electronics, College of Engineering and Computer Science, Australian National University, 2007
- [8] M.Naazneen , S. Fathima, S. Mohammadi, S. Indikar, A. Saleem and M. Jebran, "Design and Implementation of ECG Monitoring and Heart Rate Measurement System", International Journal of Engineering ,Science and Innovative Technology, pp 456- 465.
- [9] D. Ibrahim, K. Buruncuk , "Heart Rate measurement from the finger using a low-cost microcontroller", UCTEA, Chamber of Electrical Engineer, Turquia, 2013
- [10] Organización Mundial de la Salud, "Las 10 principales causas de muerte", Estadísticas del 2000 al 2011. OMS Media Centre, disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> . 2013.
- [11] M.Xiong, R. He, Lianying Ji and Jiankang Wu: "A Biofeedback System for Mobile Healthcare Based on Heart Rate Variability". ICSH 2013: pp84-95. 2012
- [12] L. Boccanfuso, E. Juarez Perez, M. Robinson, and Jason M. O'Kane. 2012." Collecting heart rate using a high precision, non-contact, single-point infrared temperature sensor". In *Proceedings of the 4th international conference on Social Robotics (ICSR'12)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp86-97
- [13] M. Uddin, S. Begum, P. Funk, N. Xiong, and Bo von Scheele. 2011. "A multi-module case-based biofeedback system for stress treatment". *Artif. Intell. Med.* 51, 2 (February 2011), pp107-115
- [14] Cynthia J. Tanis, "The effects of heart rhythm variability biofeedback with emotional regulation on the athletic performance of women collegiate volleyball players", Thesis for Doctor of Philosophy, Capella University, EEUU, 2008