

# Uvod u CPS&IoT sisteme sa akcentom na biomedicinske primjene



**Prof. dr Radovan Stojanović\*, Jovan Djurković\*\***

\*Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet

\*\* MANT i MECOnet

[stox@ucg.ac.me](mailto:stox@ucg.ac.me)

**Ver. 1.1**



# Sadržaj

- Uvod
- Arhitektura
- Izazovi projektovanja i izrade
- Primjeri projektovanja
- Zaključak
- Reference

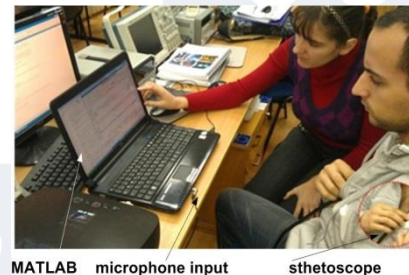
# Uvod

- **Šta je biomedicinski inženjering (BME)?**
  - Biomedicinski inženjering (ili biomedicinsko inženjerstvo), eng. Biomedical Engineering (**BME**) je multidisciplinarna disciplina koje primenjuje principe inženjeringa, tehnologije i nauke u medicinskim i biološkim sistemima. Njegov cilj je razvoj uređaja, opreme, softverskih sistema i tehnologija koji poboljšavaju zdravlje, dijagnozu i lečenje pacijenata i drugih živih bića. BME kombinuje znanja iz inženjeringa, biologije, medicine, fizike, hemije, ICT itd., kako bi se stvorili inovativni proizvodi i rešenja u zaštiti zdravlja. BME uključuje mnoge oblasti od razvoja medicinskih uređaja kao što su pacemakeri, defibrilatori, MRI skeneri, ultrazvučni uređaji, respiratori i drugi dijagnostički uređaji preko protetika, ortotike, biometarijala, terapije, medicinske informatike itd....



# Uvod

- BME je jedna od najširijih i najkompleksnijih naučno-inženjerskih disciplina, mnogo šira od elektro, kompjuterskog ili mašinskog inženjeringa. Njegovo proučavanje je tema posebnih višegodišnjih univerzitetskih studije. U Crnoj Gori se isključivo proučava na ETF-u Crne Gore, od 2012, u okviru par kurseva i na UDG-u (više medicinska informatika). Kompletan program postoji na FTN Novi Sad.



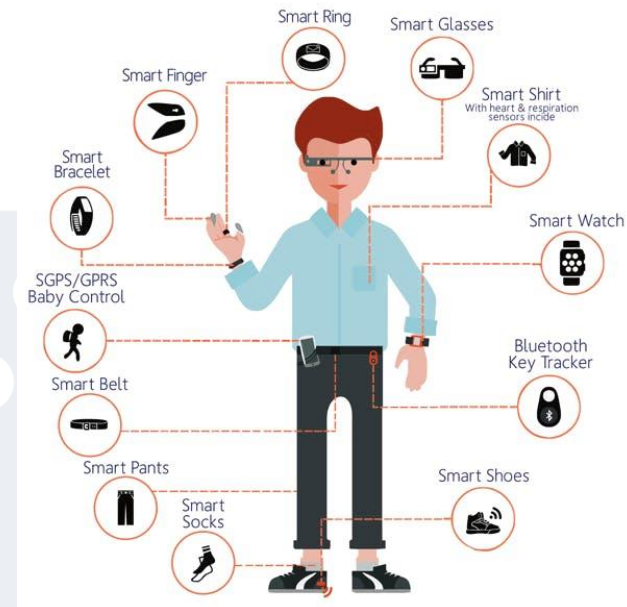
# Uvod

- Medicinski instrumenti i uredjaji.



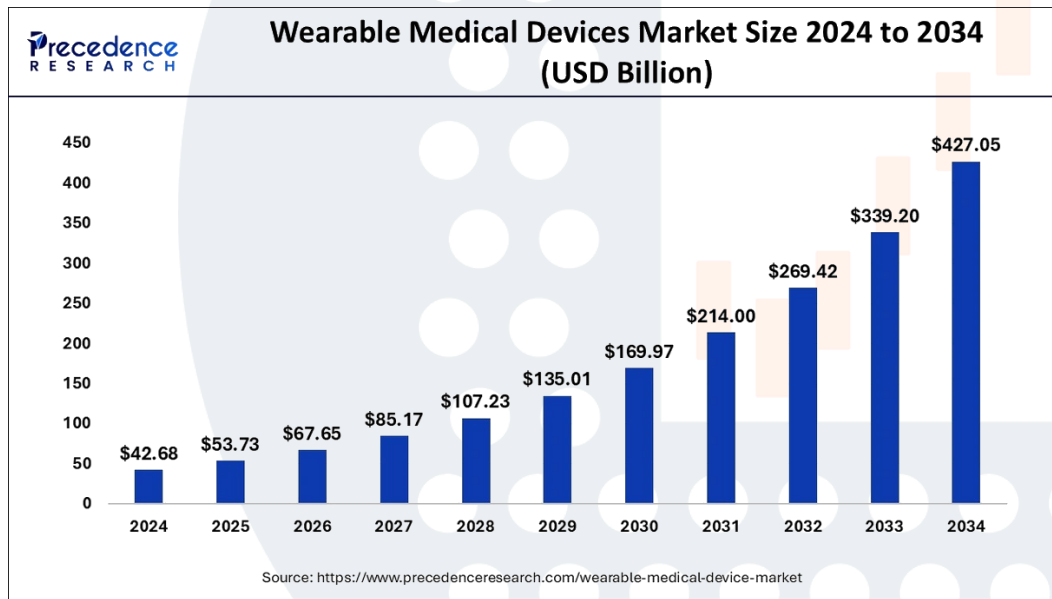
# Uvod

- Mi ćemo se bazirati na "medical wearables", "nosive medicinske uređaje", ili kratko wearables, koji se smještaju/fiksiraju na tijelo pacijenta i prate njegove vitalne parametre, kao što su: temperature, puls, rad srca, krvni pritisak, ritam disanja, sadržaj glukoze u krvi, fizička aktivnost itd...Mogu biti invazivni i neinvazivni, a mi ćemo se pretežno bazirati na neinvazivnim.



# Uvod

- Globalno tržište “wearables” je veoma dinamično i procjenjuje se da će sledećih 10 godina rasti uzlaznom dinamikom, sa USD 42.68 billion u 2024 na USD 427.05 billion u 2034 sa godišnjom stopom rasta od 25.9%.



A MUCH More Diversified Market Than Investors Realize



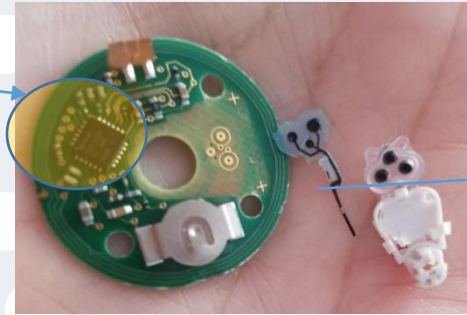
CREDIT SUISSE

# Uvod

- Embedded (**ES**) vs Cyber Physical (**CPS**) vs Medical Internet of things (**MIoT**) sistemi
  - Primjer CGM (Continuous Glucose Monitoring)

## ES

- Microcontroller
- Memory
- I/O interfaces,
- Software (firmware)



sensor is attached to patient body

[https://www.researchgate.net/publication/336733965\\_Designing\\_Security\\_and\\_Privacy\\_Requirements\\_in\\_Internet\\_of\\_Things\\_A\\_Survey/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/336733965_Designing_Security_and_Privacy_Requirements_in_Internet_of_Things_A_Survey/figures?lo=1)

## MIoT

- CPS sa Internetom, sa ili bez aktuatora



<https://www.diabeloop.com/products>

## CPS

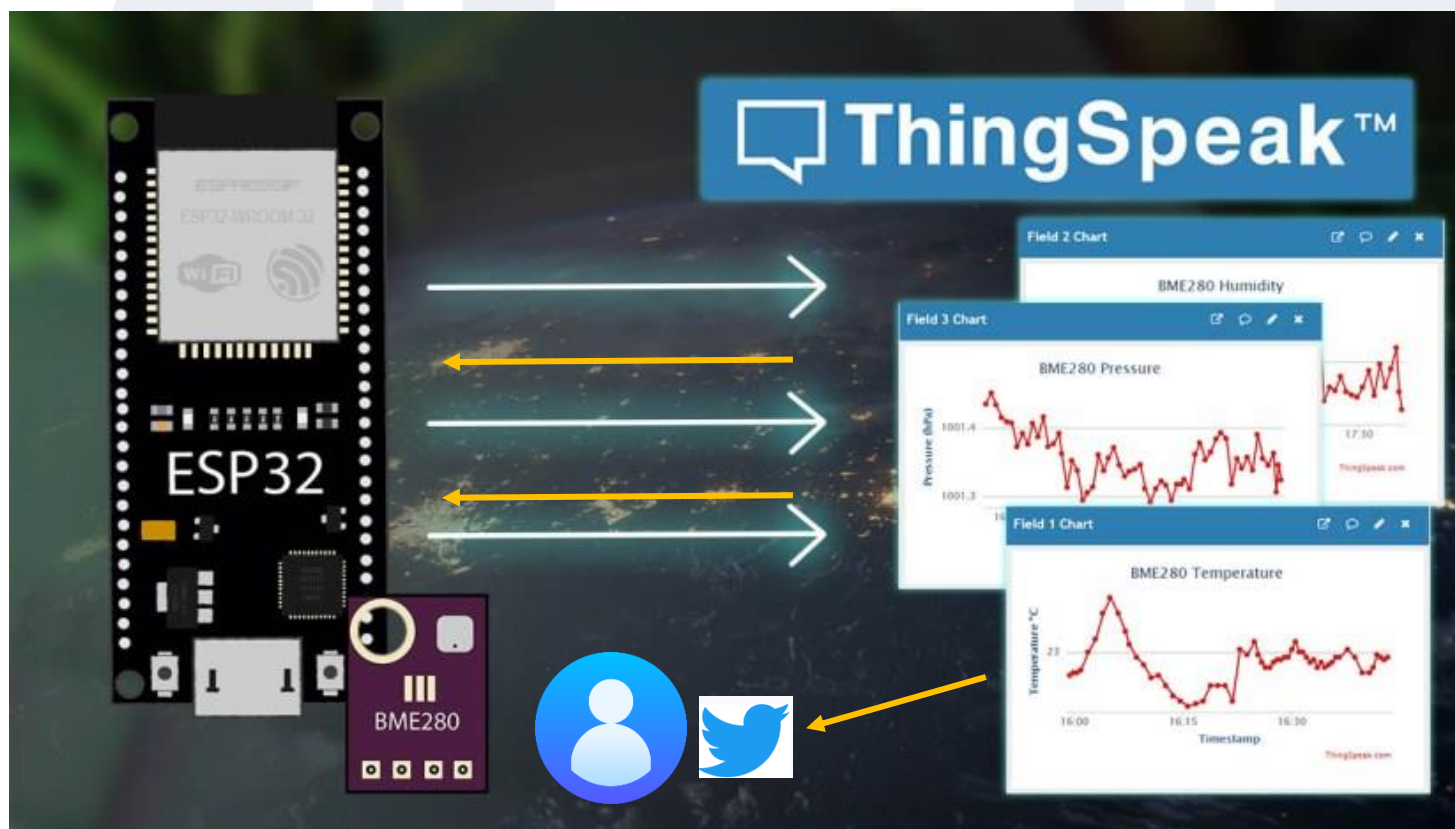
- Sensors
- CPU
- software
- networking
- actuators





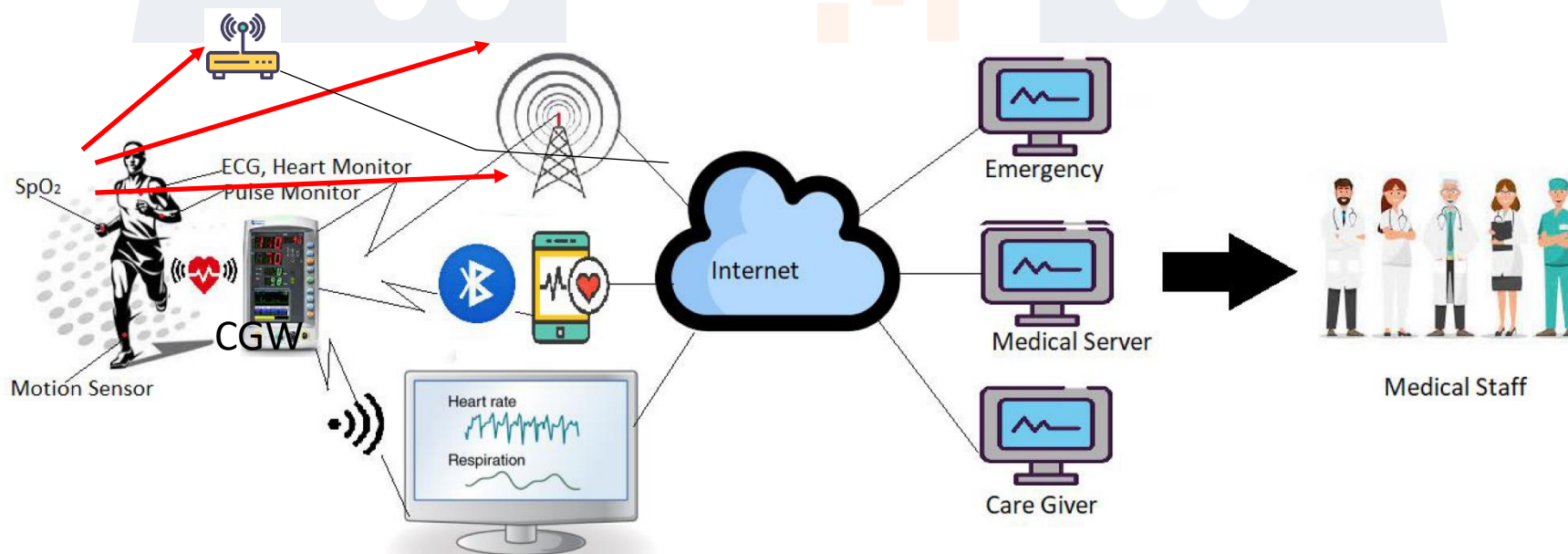
# Uvod

- Danas, ne postoji granica izmedju ES, CPS i MIoT sistema. Npr. ESP32+BME280+ThingSpeak može se smatrati npr. IoT sistemom sa minimalnim brojem komponenti.



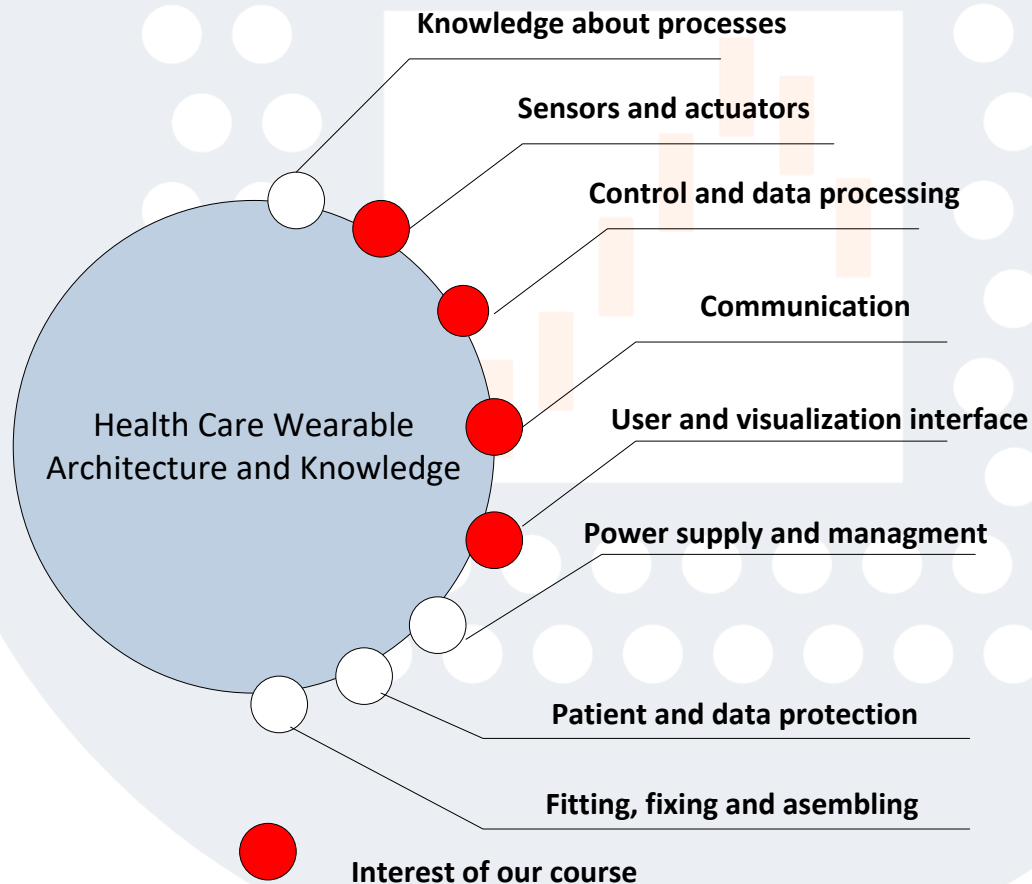
# Uvod

- Tipična MIoT arhitektura u širem smislu.
  - Na tijelu nosiva verzija MIoT klienta, koja sa medical staff komunicira na različite načine.



# Ahitektura

- Wearables iziskuju sintezuvisi raznovrsnih znanja i tehnika. Svaka od stavki je priča za sebe.



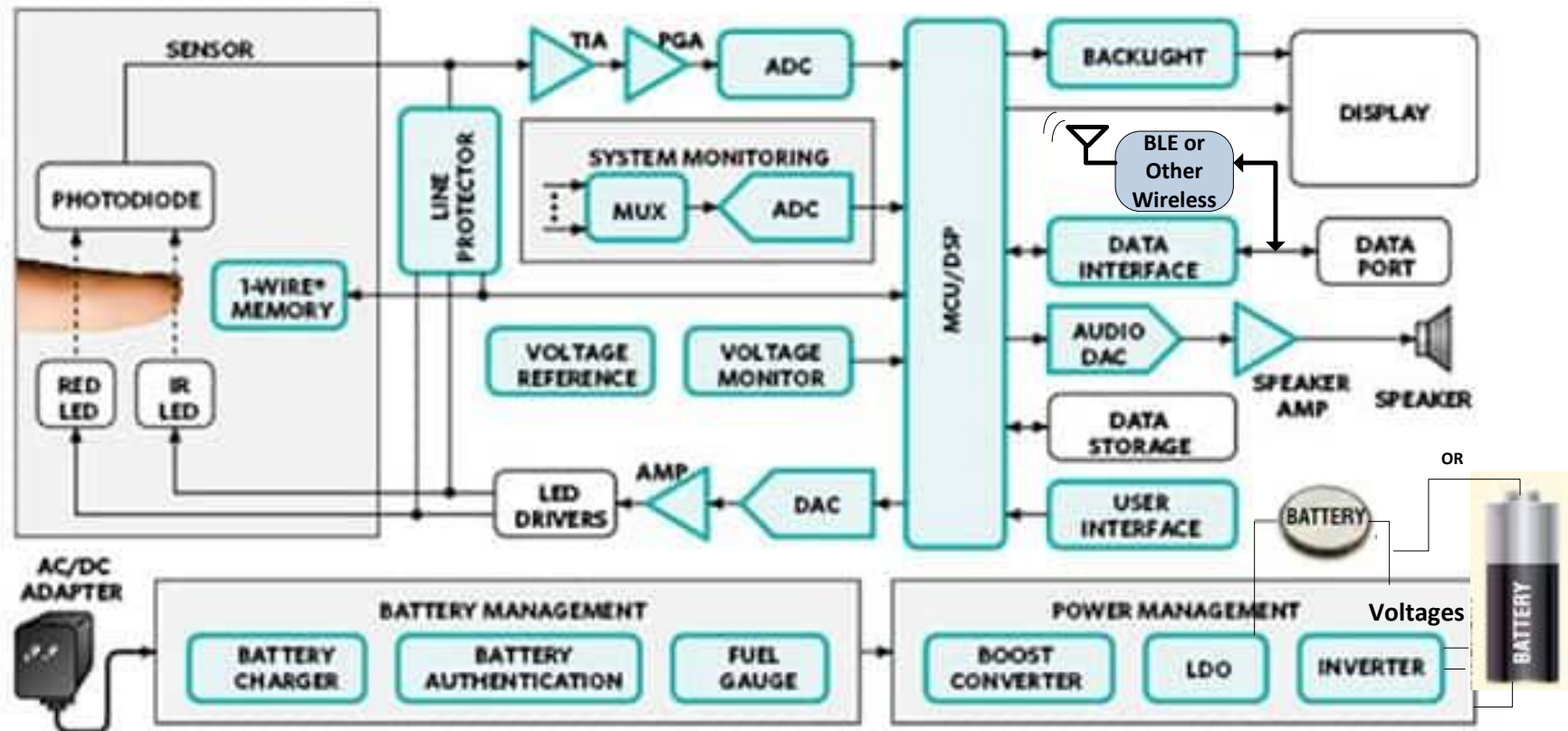
# Ahitektura

- Računarski gledano, radi se o client-host pristupu. Isključuje kolektor jer gadget (telefon) može biti kolektor+gateway+analyser+...+, praktično host. Smart watch je primjer vrlo moćnog uređaja, “all in one.”



# Arhitektura

- Arhitektura klijenta u širem smislu. Svaki modul je priča za sebe.



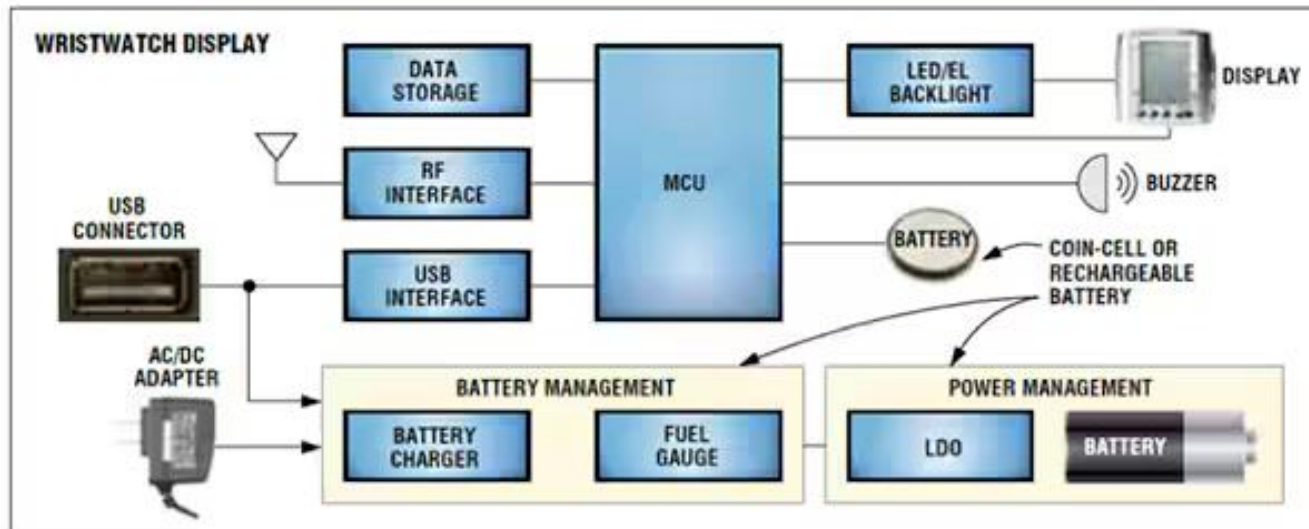
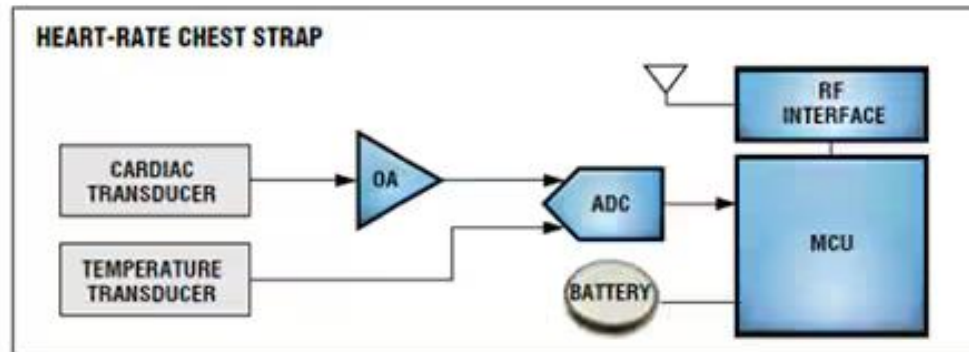
HeCaWe Architecture. From Maxim electronics with author's modifications.

<https://www.digikey.com/en/articles/reducing-wearable-health-fitness-device-design-time>

CPSIoT Akademija, Podgorica, Januar 2025

# Arhitektura

- Pojednostavljene arhitekture klienta



*HeCaWe Architecture in different configurations in term of complexity. Different complexity options. From Maxim electronics with author's modification*  
<https://www.digikey.com/en/articles/reducing-wearable-health-fitness-device-design-time>

# Izazovi projektovanja

- **Važi za klient i za host, uključuju aspekte hardvera i softvera.**
- **Neki od izazova kod klienta.**
- **Baterija:**
  - izbor (prema potrebi napajanja procesora i ostatku kola), cijena baterije, punjiva ili ne, kapacitet, proračun, način punjenja, broj punjenja, mogućnost punjenja na terenu, dimenzije, fleksibilnost promjene, samopraznjenje, uticaj na okolinu, redundantna ili ne, vrijeme ukljcenja, itd..itd....
- **Punjač baterije:**
  - Dizajn prema osobinama baterije, radni napon, LDO or DC-DC, brzi, spori, solarni, generatorski (samopunjivost, npr. iz pokreta itd...).
- **Invertori za radne napone kola:**
  - Pasivni, aktivni, DC-DC, induktor ili kapacitorski bazirani DC-DC konvertori, linearni, proizvodnja referentnog napona, da li procesor sam može da proizvodi ove napone, pumpe naelektrisanja, negativni napon, stand by stuja...

# Izazovi projektovanja

- **Analogni Front End (AFE):**

- Namjenski u obliku postojećih čipsetova, projektovan sa naše strane na bazi off-the-shelf komponenti. Nisko sumni, malo potrošački, jednostrano napajani, precizan. Po mogućnosti iskoristiti postojeće analogne komponente u sastavu mikrokontrolera. Neki MC imaju do 4 OP, komparatore, reference itd. Koristiti MC pinove za upravljanje rada AFE, čak i za AGC, koristiti PWM tehniku ili D-A konvertore MC-a. Zaštita ulaza izlaza prema standardima, PGA, strujni naponski ulazi signala itd..itd...

- **Drajver:**

- Obično u optičkim i impulsno baziranim mjerenjima. Velika snaga drajvera iz male baterije.

- **CPU:**

- Nisko potrošački, brz, DSP, NPU, GPU, I-O interfejsi, tajmeri, A-D, D-A, komparator, RTOS, komunikacioni interfejsi, cijena, kuciste, broj pinova, vizuelizacija (display) itd...itd...Svaki procesor može biti od koristi...



# Izazovi projektovanja

- **I/O user interfejs:**

- Display, grafički, alfanumerički, rezolucija, potrošnja, manipulacija, tastatura, touch itd...

- **Memorija:**

- Programska, radna, SD card, flash, brzina, format itd

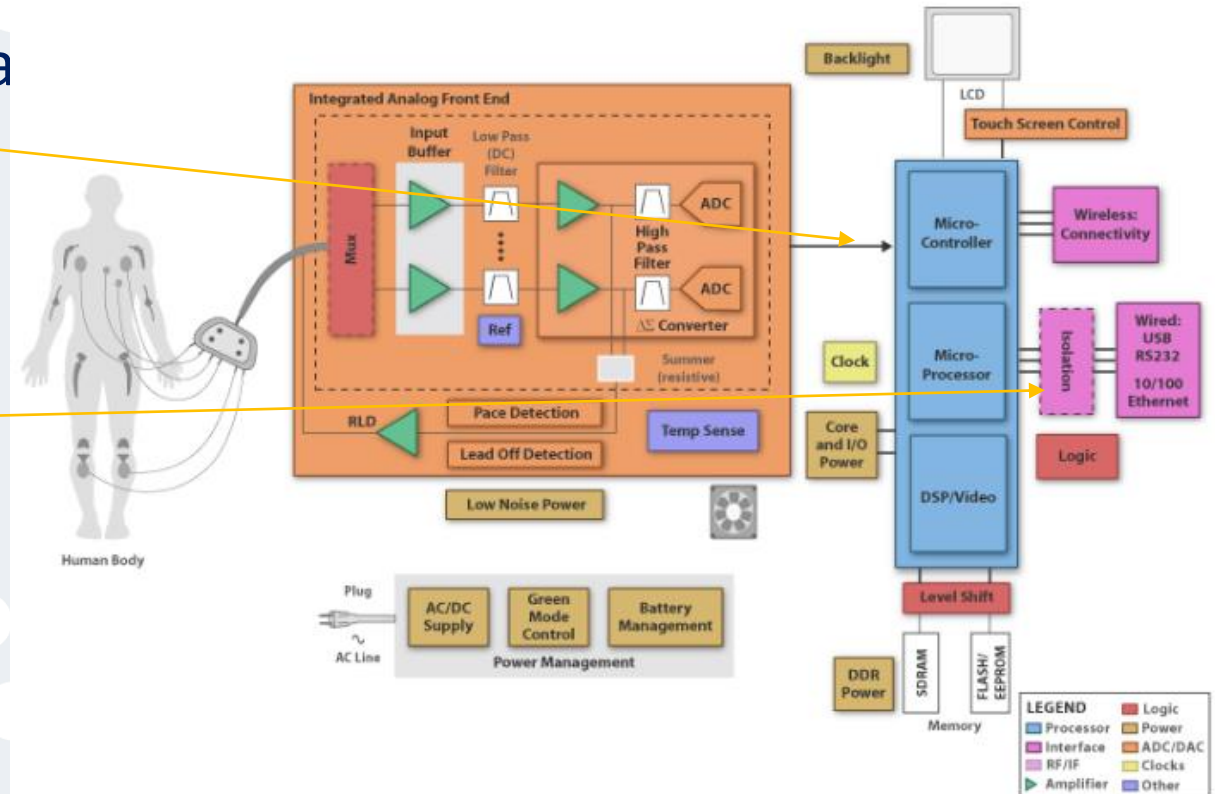
- **Komunikacija:**

- **Najvažnija komponenta za CPS and IoT.** Dominantni bežični protokoli: NFC, BLE, BT classic, Zigbee, 802.15.6 WBAN, WiFi, LoRa, ANT, ANT+, Cellular. Dominantni žičani protokoli (W1, I2C, SPI, UART)



# Izazovi projektovanja

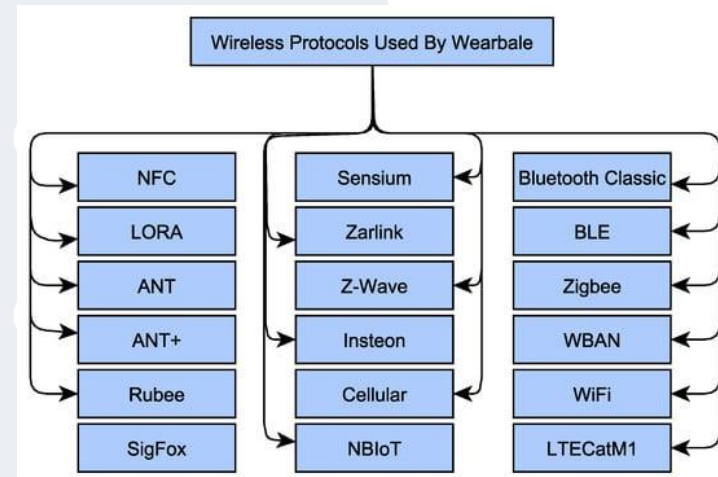
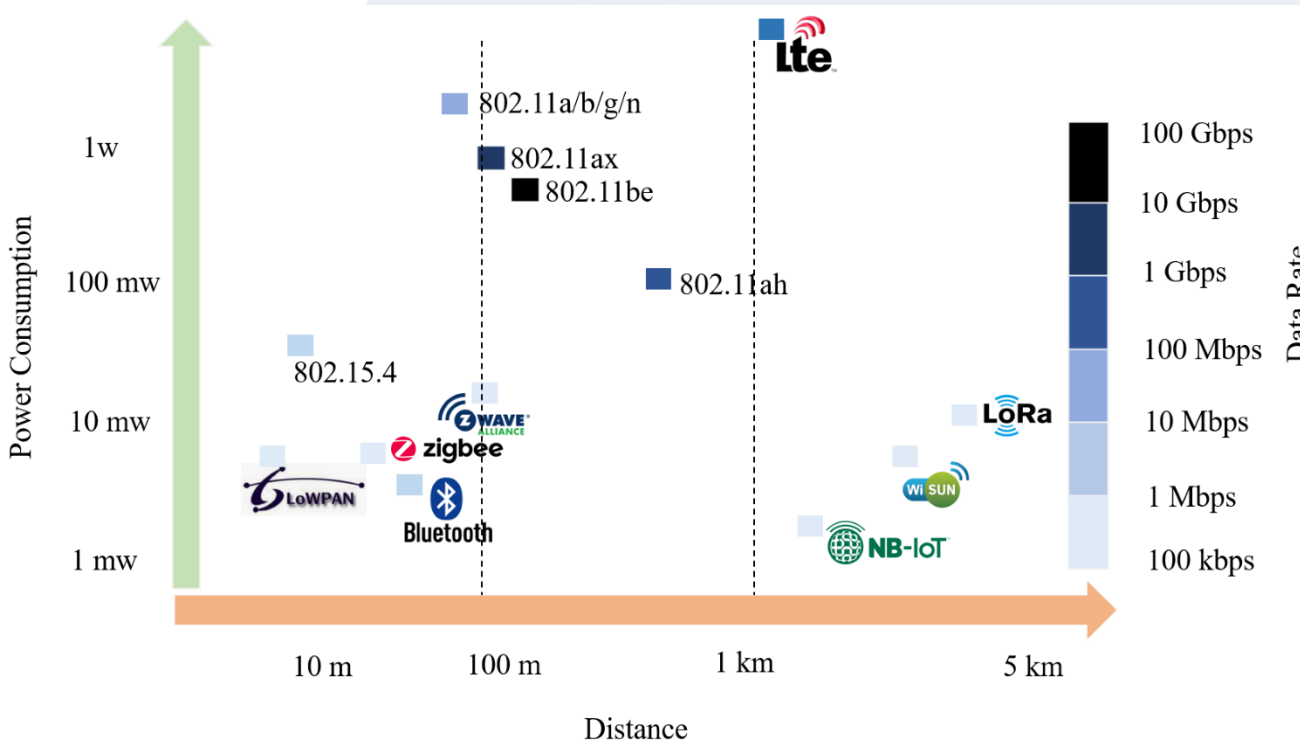
- **Kominikacija**
- Izmedju CPU i periferija (W1, I2C, SPI, UART, PWM, FREQ, CUSTOM)
- Izmedju CPU i HOSTA (WIRE, WIRELESS)
- Izmedju HOSTA i EHR



<https://www.eeweb.com/dual-24-bit-ecg-front-end-ic/>

# Izazovi projektovanja

- **Kominikacija, wireless**



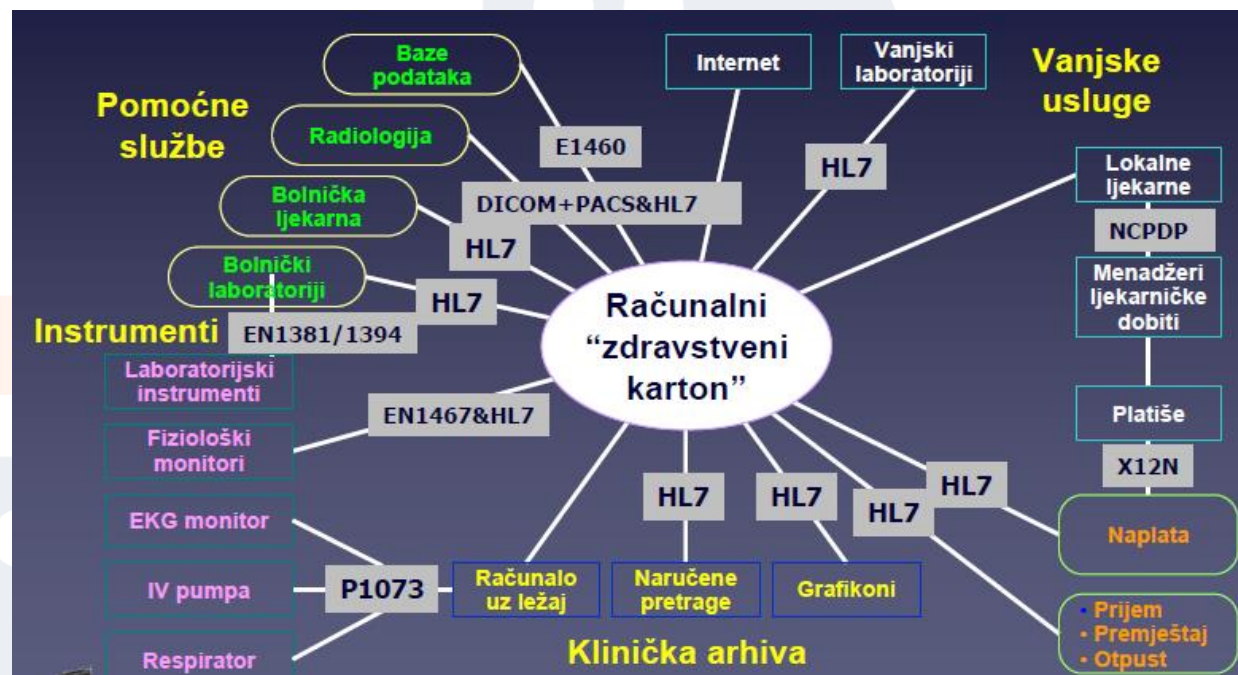
from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/20/7722>

From: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/8/3465>



# Izazovi projektovanja

- Komunikacija, HOST <-> HER. gdje je vazna standardizacija, ujednačavanje = normizacija, strukturiranje podataka, ujednačavanje baza podataka, ujednačavanje komunikacijskih protokola, čak i na međunarodnom nivou (dicom, pacs, hl7!). umrežavanje–vertikalno i horizontalno (lokalno, međubolničko, međugradsko, državno, međudržavno).

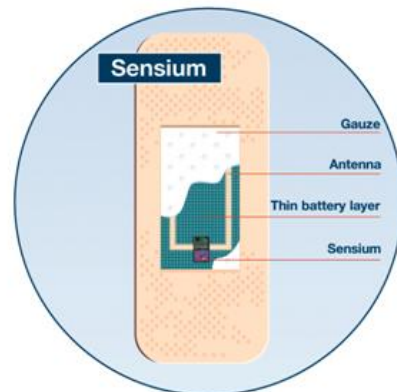
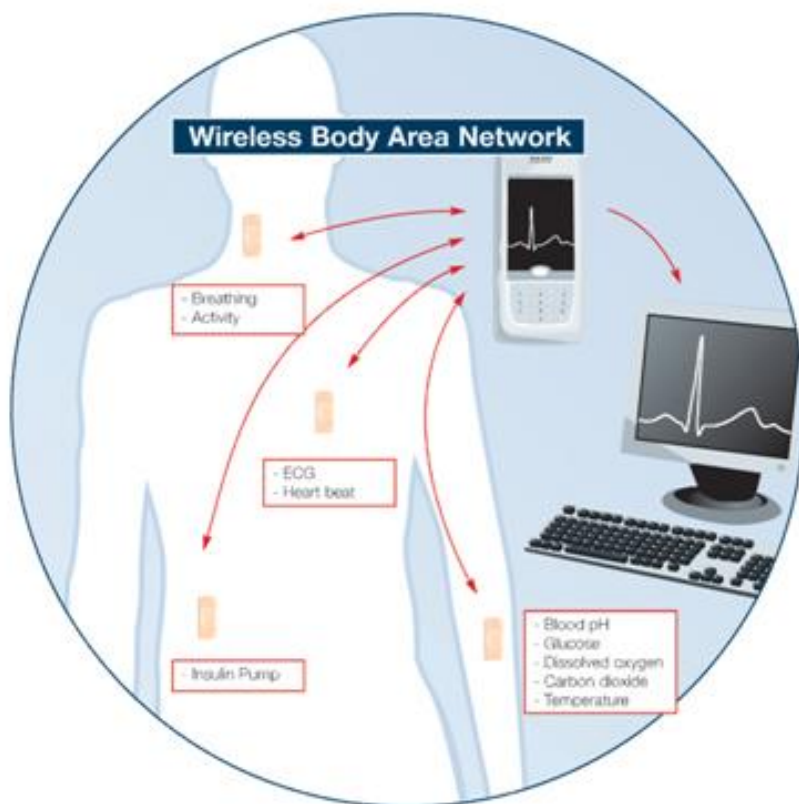


Izvor: Bioinformatika,14.pred. 2007, FER Zagreb

# Izazovi projektovanja

- **Idealan wearable**

- Minijaturan (patch), otporan na sumove i pomjeraje, lako montiranje, baterijsko napajanje, mala potrošnja, komunikacija. Primjer....



	Bluetooth	NORDIC	ANSEM	CHIPCON	AMIS	<b>TOUMAZ</b>
Frequency Band	2.4GHz	2.4 GHz	900 MHz	2.4 GHz	400 MHz	<b>900 MHz</b>
Data Rate	1Mbps	1 Mbps	115 kbps	250 kbps	16 kbps	<b>160 kbps</b>
Modulation	GMSK	GFSK	2-FSK	BPSK	ASK	<b>GMSK</b>
TX Current	25mA	19 mA	14 mA	17 mA	25 mA	<b>3 mA</b>
RX Current	37mA	25 mA	19 mA	20 mA	7.5 mA	<b>3 mA</b>
Voltage supply	2.7-5.4V	1.9 -3.6V	2.7V	2.1 -3.6V	2.4-3.6V	<b>1-1.5V</b>
Package size	6.3x8mm	5x5mm	6x6mm	7x7mm	5x5mm	<b>5x5mm</b>
RX Power	100mW	47 mW	51 mW	42 mW	18 mW	<b>3mW</b>

Izvor: Toumaz Technology Limited, <http://www.sensium-healthcare.com/>

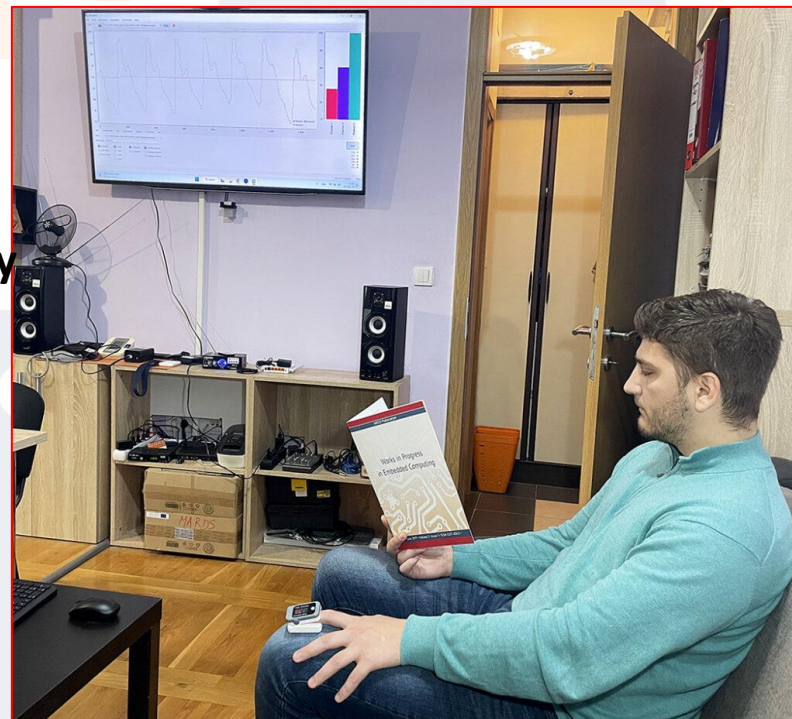
CPSIoT Akademija, Podgorica, Januar 2025



# Primjeri projektovanja

- **Princip integracije.** Koristimo gotove komponente ili OEM i integrišemo ih u sistem. Komercijalni oxymetar povezan na BLE kolektor i gateway (baziran na ESP32 ), a ovaj na PC, na kojem se pogoni aplikacija za vizuelizaciju i obradu signala.

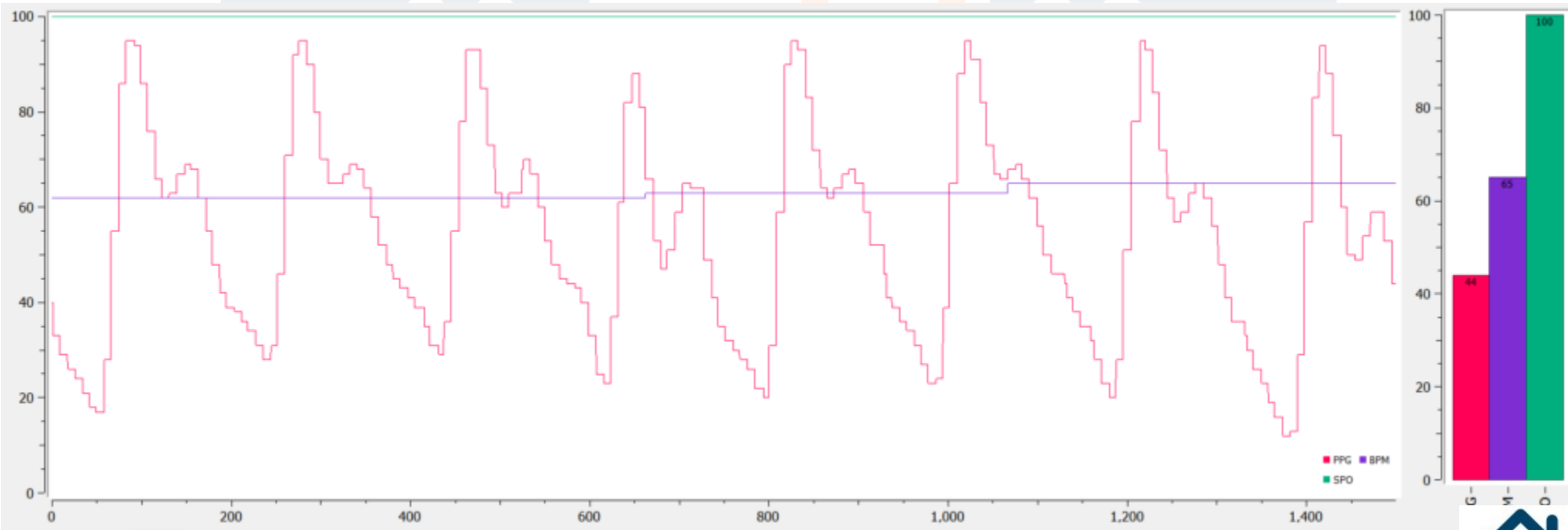
HOST



# Primjeri projektovanja

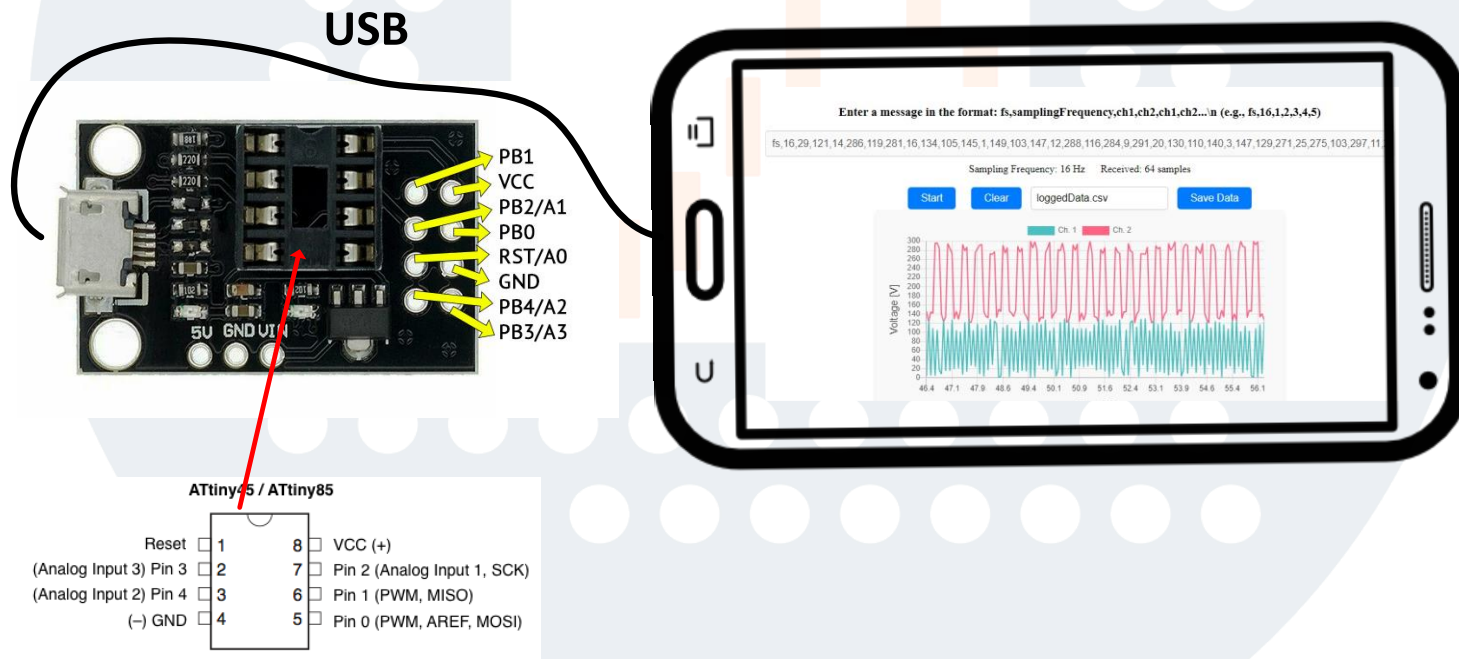
- Na strani hosta obrađujemo i analiziramo signale pomoću komercijalnih softvera, standardnih grafičkih plotera/emulatora, MATLAB-a, LabVIEW, čak besplatnih. Primjer korištenja standardnog serijskog emulatora-plotera.

<https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software/log/192838-serialplot-v012-release>



# Primjeri projektovanja...

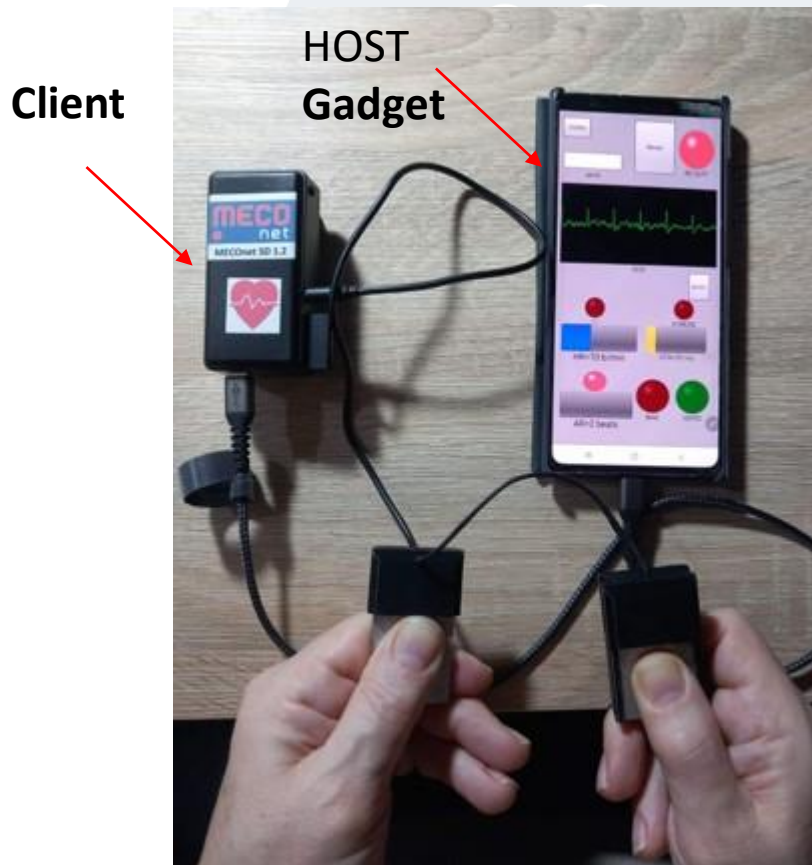
- Jednostavniji klient. 8pinski mikrokontroler Attiny85, bez kvarcnog oscilatora, fizičkog izgleda kao 555 kolo. Povezan je na gadžet (pametni telefon). Klient je u obliku Digistupm (<https://github.com/digistump/DigistumpArduino>). Vrší sensing i predobradu. Komunikaciju sa hostom vrši emulator PS2 tastature. Signali se šalju aplikaciji kao ASCII znakovi. Vizuelizacija i procesiranje se vrše pomoću aplikacije napravljene u brovseru, JavaScript+CSS+Canvas.





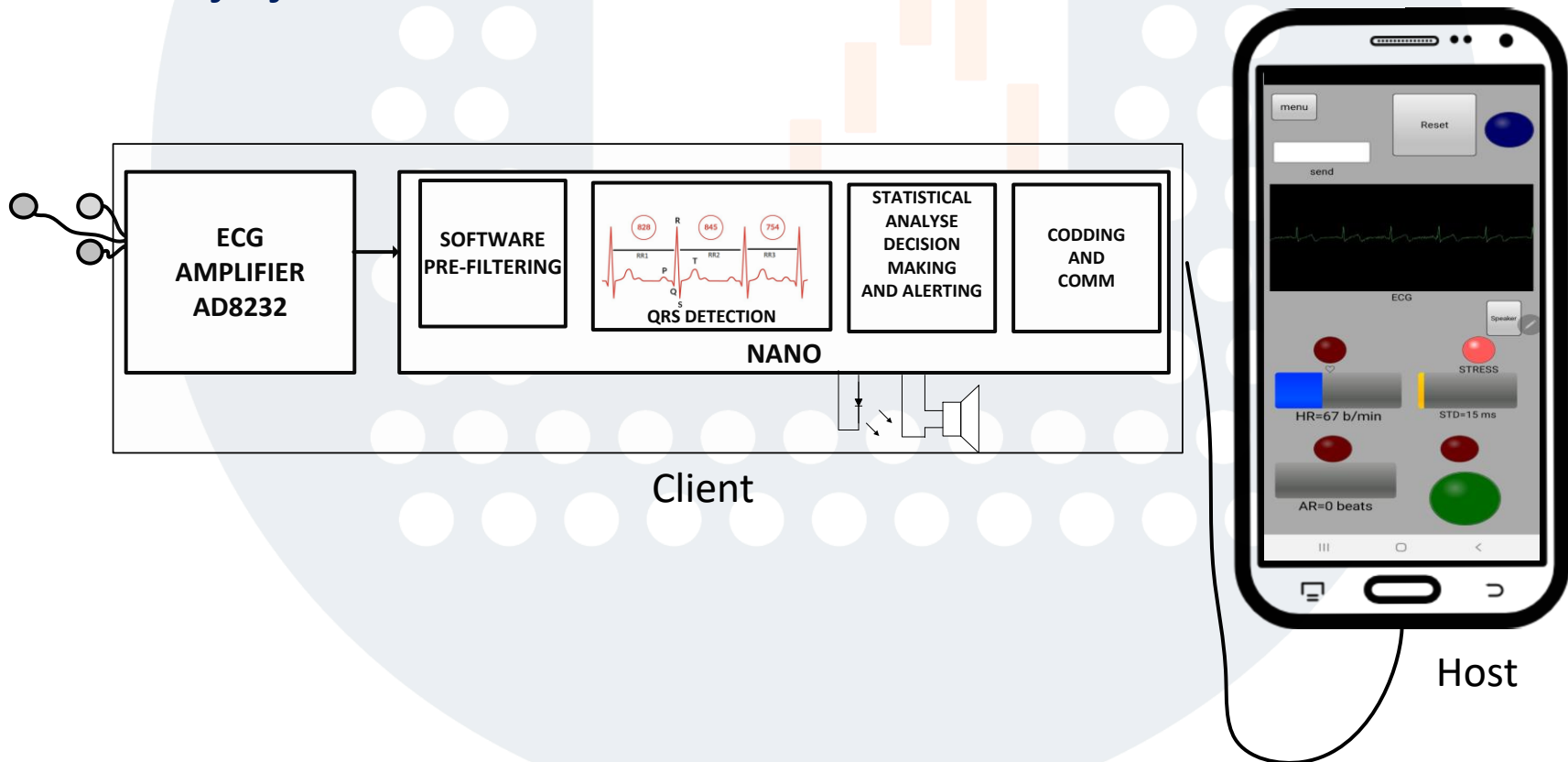
# Primjeri projektovanja...

- Detektor-analizator srčanog ritma i stres detektor. Klient u obliku Arduino Nano. GUI implementiran na platformi <https://roboremo.app/>.



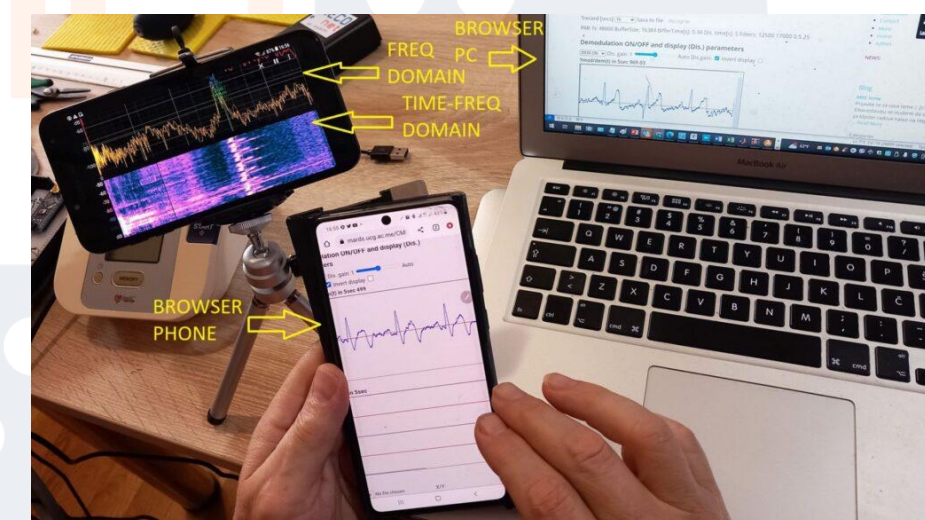
# Primjeri projektovanja...

- Arhitektura klijenta . Može raditi kao stand alone uređaj ili povezan na gadget aplikaciju. Gadget aplikacija je puno konfornija i sadržajnija.



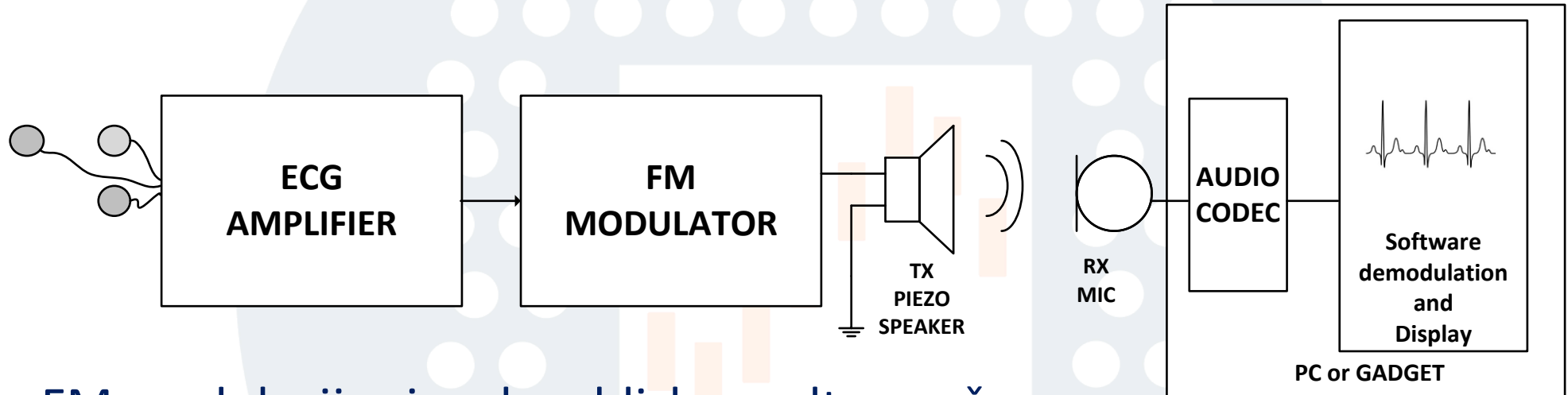
# Primjeri projektovanja...

- “Whispering heart”. Prosti klient delegira većinu funkcija hostu more. Komunikacija se odvija u near ultrasound području.



# Primjeri projektovanja...

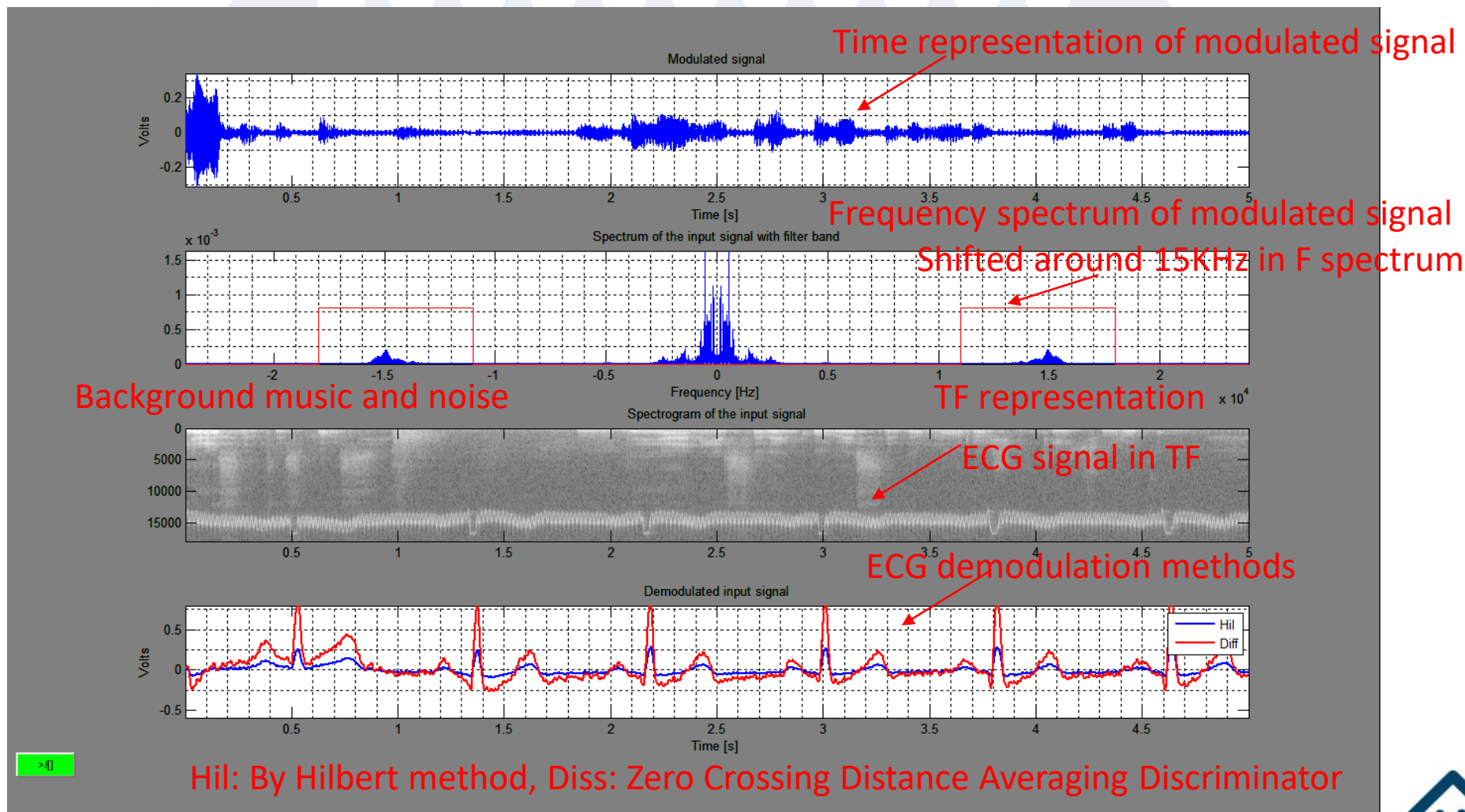
- “Whispering heart”. Arhitektura.



- FM modulacija signala u bliskom ultrazvučnom opsegu. Zatim se signal posmatra u vremenskom, frekvencijskom i vremensko-frekvencijskom domenu pomoću host softvera implementiranog u MATLAB-u ili JavaScript-u
- Različiti načini demodulacije uključujući Hilbertovu transformaciju i diskriminatorske tehnike.

# Primjeri projektovanja...

- Obrada (demodulacija) ECG signala u različitim domenima: (T (time), (F, frequency) (TF – time/frequency).



Hil: By Hilbert method, Diss: Zero Crossing Distance Averaging Discriminator



# Primjeri projektovanja...

- Procesiranje signala i demodulacija u JavaScriptu.
- Platform independent web based processing using WEB audio API.

Dem:  Fs:  Ns:

**Input and output demodulation filters**

HP1:  LP1:  HP2 [0 no filter]:  LP2:

**Saving parameters**

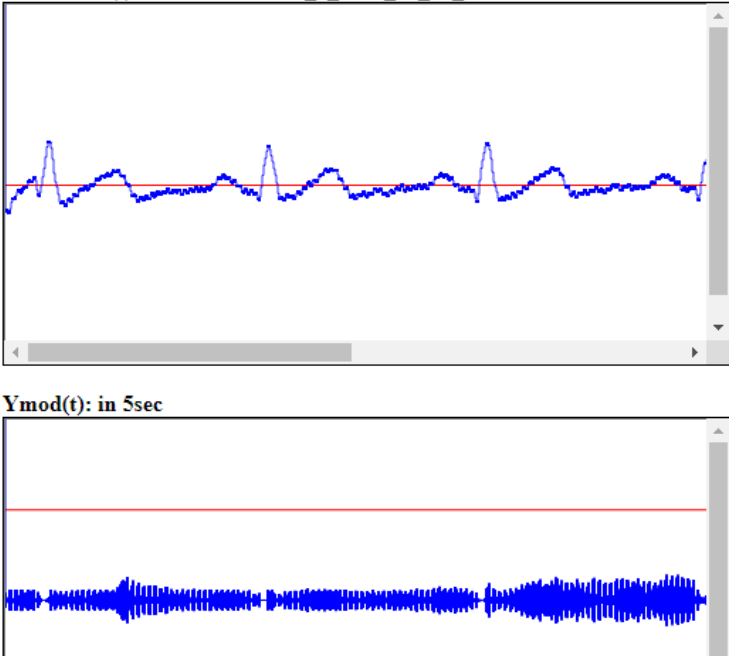
Trecord [secs]  Sava to file

PAR: fs: 48000 BufferSize: 16384 BifferTime[s]: 0.34 Dis. time[s]: 5 Filters: 12 17000 0.5 15

**Demodulation ON/OFF and display (Dis.) parameters**

Dis. gain:  Auto Dis.gain:  Invert display

Ymod/dem(t) in 5sec Saved in: \_6\_2024\_18\_29\_35.txt



Ymod(t): in 5sec

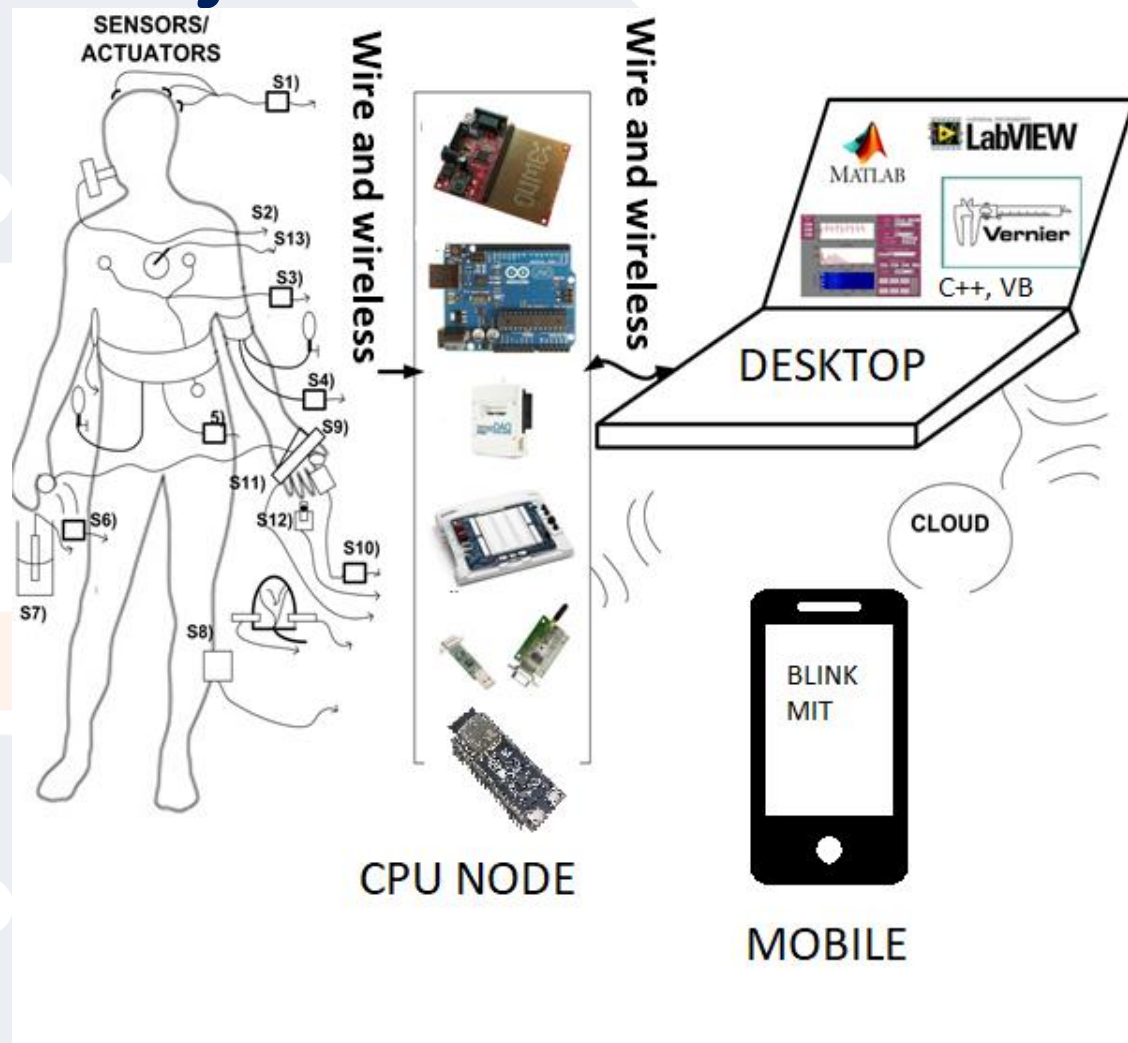
# Primjeri projektovanja...

- **MedWearables from MECOnet,**
- <https://meconet.me/smarthealth/>
- [Syntrofos – A headset like wearable device to track COVID-19 symptoms](#)
- [Wireless and hands free vital signs monitors](#)
- [Portable monitors, stress and arrhythmia analyzers](#)
- [“Whispering heart”, proximity contactless, browser-based ECG analyzer](#)
- [Wireless pulse oximeter monitor](#)
- [Fall detection using beacon and node MCU](#)
- [True measurement of blood pressure](#)
- [HRV analysis and arrhythmia detection](#)
- <https://github.com/orgs/MECOnet-Code/repositories>



# Primjeri projektovanja...

- **Experimental setup.**
- Low cost, edukaciono istraživački princip. Fuzija senzora, elektronskih kola, mjernih instrumenata, interfejsa, softvera, simulacije i realni signali, sistem na čipu i ploči, fleksibilna elektronika, cloud.





# Zaključak

- Biomedicinski inženjering kombinovan sa ICT i AI je tehnologija budućnosti.
- Ugradjeni, sajber-fizički i umreženi sistemi, wearables, se intenzivno upotrebljavaju u medicini i kućnoj zdravstvenoj zaštiti.
- Njihovo tržište raste svakim danom i smatraju se jednom od tehnologija budućnosti.
- Njihovo projektovanje je rezultat širokog spektra znanja u analognoj, digitalnoj i telekomunikacionoj elektronici, kao i programiranju.
- Projektovanje se može uprostiti i pojeftiniti, uz održanje dobrih performansi sistema, integracijom postojećih hardversko-softverskih modula i tehnika i modula projektovanih od strane dizajnera (tamo gdje je to potrebno).
- Dato je nekoliko primjera takvog dizajna za edukativne svrhe.
- Mobilni telefon se pokazao kao veoma moćan alat u prenosivim sistemima (wearables), jer može odraditi veliki broj zadataka.



# References

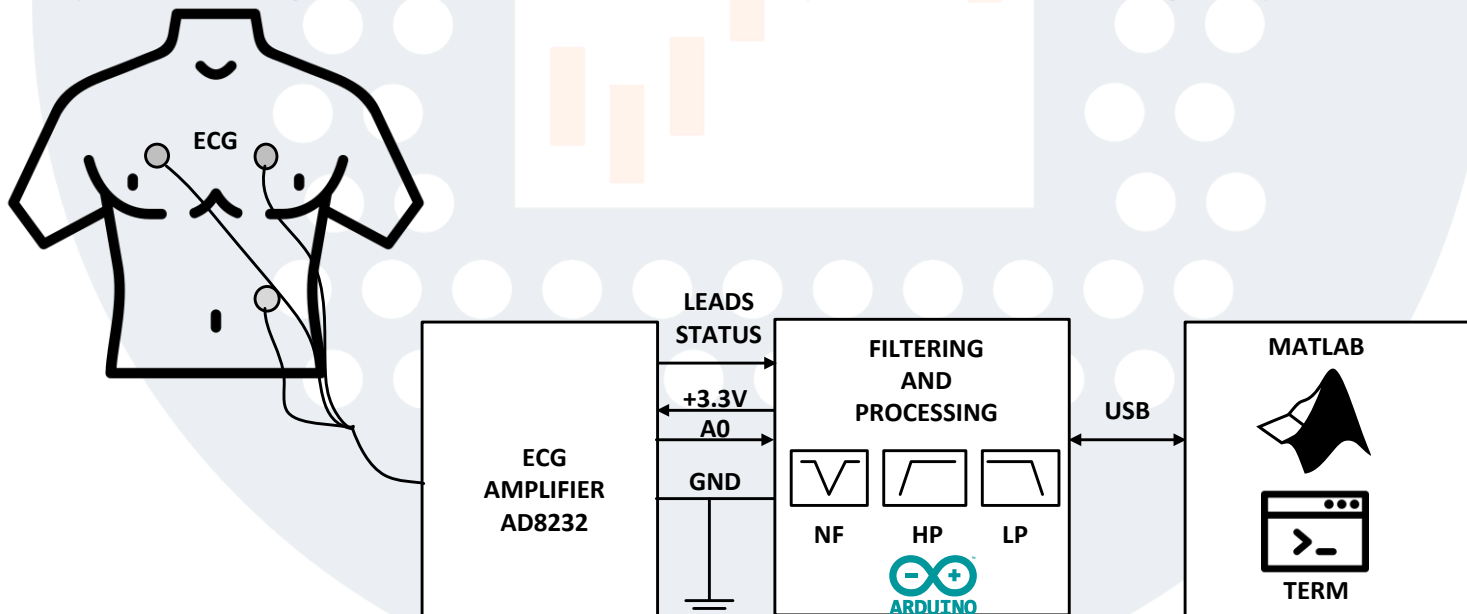
1. Radovan Stojanović, Jovan Djurković, Andrej Škraba, ECG and PPG Signals Monitoring by Using Web Audio API, In 2024 13th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 461-465). IEEE.
2. Radovan Stojanović, Jovan Djurkovic, Blagoje Babić, Veselin N. Ivanović, Budimir Lutovac and Milan Stork, A Toolset for Blood Pressure Visualization and Measurement in Time, Frequency and TimeFrequency Domains, In 2024 13th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 420-425). IEEE.
3. Djurkovic, J., Stojanović, R., & Cico, B. (2023). An Experimental Platform for Fall Detection Using Beacon, Node MCU and MATLAB. *WiPiEC Journal-Works in Progress in Embedded Computing Journal*, 9(2).
4. Stojanović, R., Djurković, J., Mijušković, S., Lutovac, B., & Škraba, A. (2023, June). SYNTROFOS: A Wearable Device for Vital Sign Monitoring, Hardware and Signal Processing Aspects. In 2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 1-6). IEEE.
5. Stojanović, R., Škraba, A., Djurković, J., & Lutovac, B. (2022, June). Off-the-Shelf Solution for Measurement and Calculation of Respiration and Heart Rates for COVID-19 Diagnosis and Monitoring. In 2022 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 1-5). IEEE.
6. Stojanovic, R., & Skraba, A. (2021, June). Simplified open HW/SW pulse oximetry interface for purpose of COVID-19 symptoms detection and monitoring. In 2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 1-5). IEEE.
7. Stojanović, R., Škraba, A., & Lutovac, B. (2020, June). A headset like wearable device to track COVID-19 symptoms. In 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 1-4). IEEE.
8. Stojanović, R., Hagara, M., Ondracek, O., & Caplanova, A. (2015, June). Addressing the need for practical exercises in biomedical engineering education for growing economies. In *2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 416-421). IEEE.
9. Stojanović, R., & Karadaglić, D. (2011, June). An economical and feasible teaching tool for biomedical education. In 2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS) (pp. 1-5). IEEE.
10. Stojanovic Radovan, Challenging issues in cost effective wearable and IoT medical devices with example to Covid19, in Proceedings of the 2nd Summer School on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things, 2021, pp. 67-89, doi: 10.5281/zenodo.5086365
11. Radovan Stojanović, Design of performance and energy efficient nodes for smart systems, in Lech Józwiak, Radovan Stojanovic, & Christos Antonopoulos. (2023). Proceedings of the 4th Summer School on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things, Vol. IV, 2023 (1.0) [Computer software]. 4th Summer School on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (SS-CPSIoT2023), Budva, Montenegro. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8113313>



**Hvala na pažnji, pitanja, komentari?**

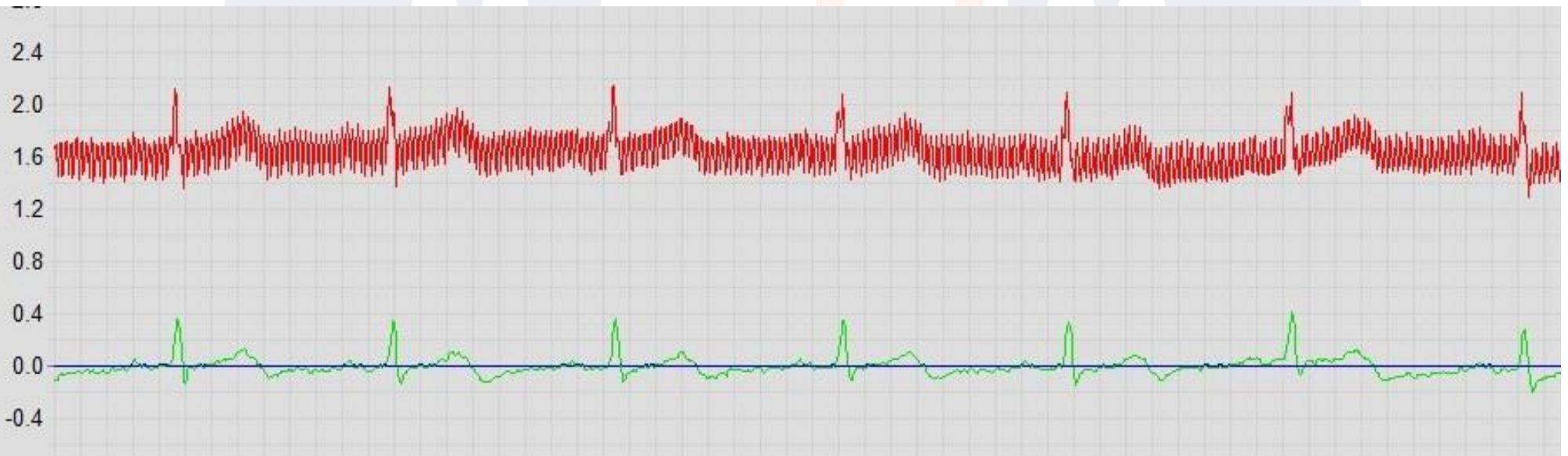
# Vježbe

- #1, Acquisition, Filtering, Communication and Visualization of ECG signal, [docs and files](#)
- How to design the acquisition, software filtering, serial sending and visualization of ECG signal by using AD8232 ECG module, ARDUINO NANO and serial plotter or MATLAB GUI? Notch, HP and LP filtering are implemented in ARDUINO NANO.
- Observe the signals in Terminal-Plotter?
- Observe and process signal in the MATLAB? Implement other signals processing in Matlab.



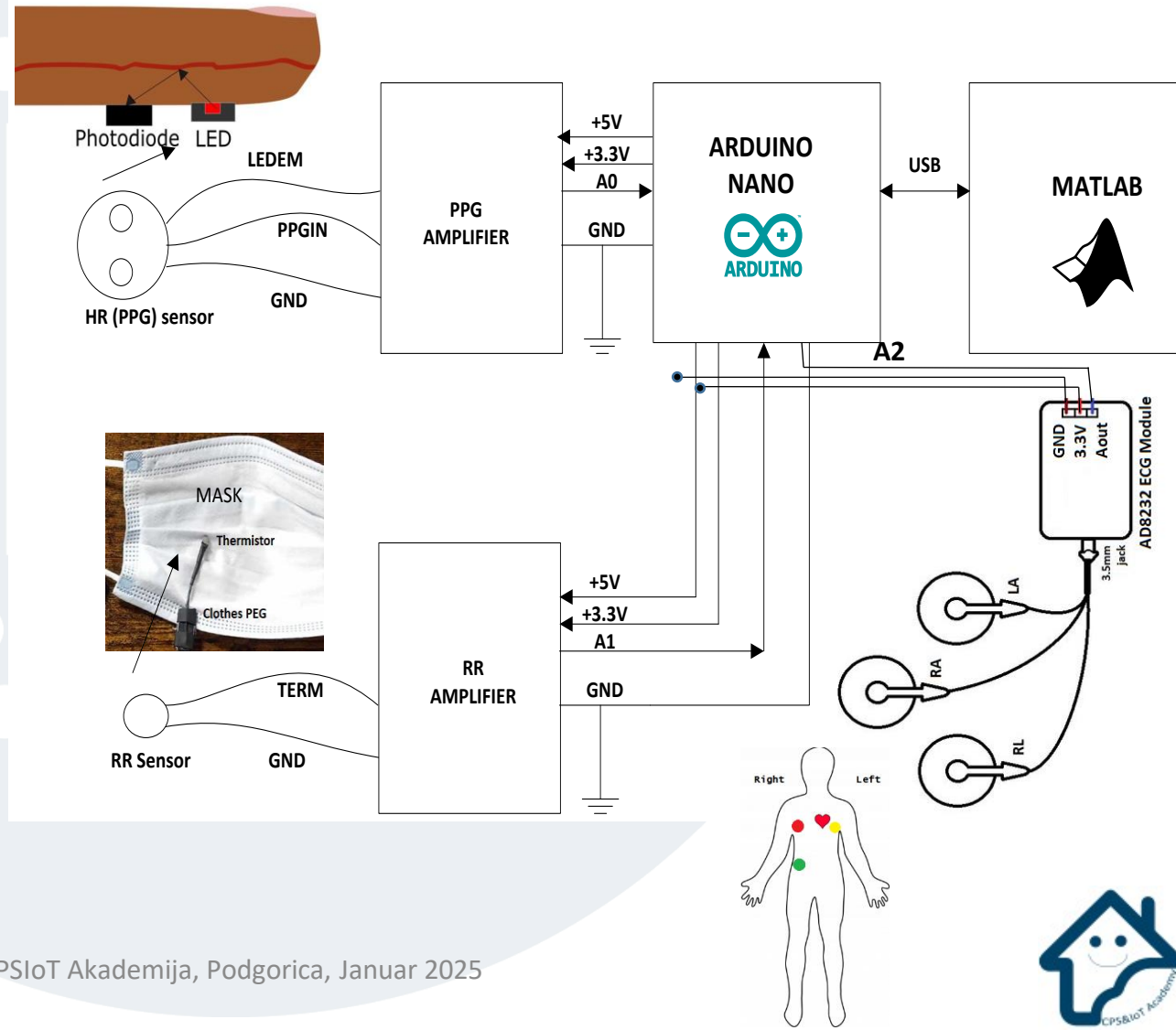
# Vježbe...

- The effect of the software filtering by cascade Notch (50Hz) -> LP(25Hz) -> HP(0.5Hz), implemented in ATmega328 and observed in free version of the serial oscilloscope, <https://x-io.co.uk/serial-oscilloscope/>



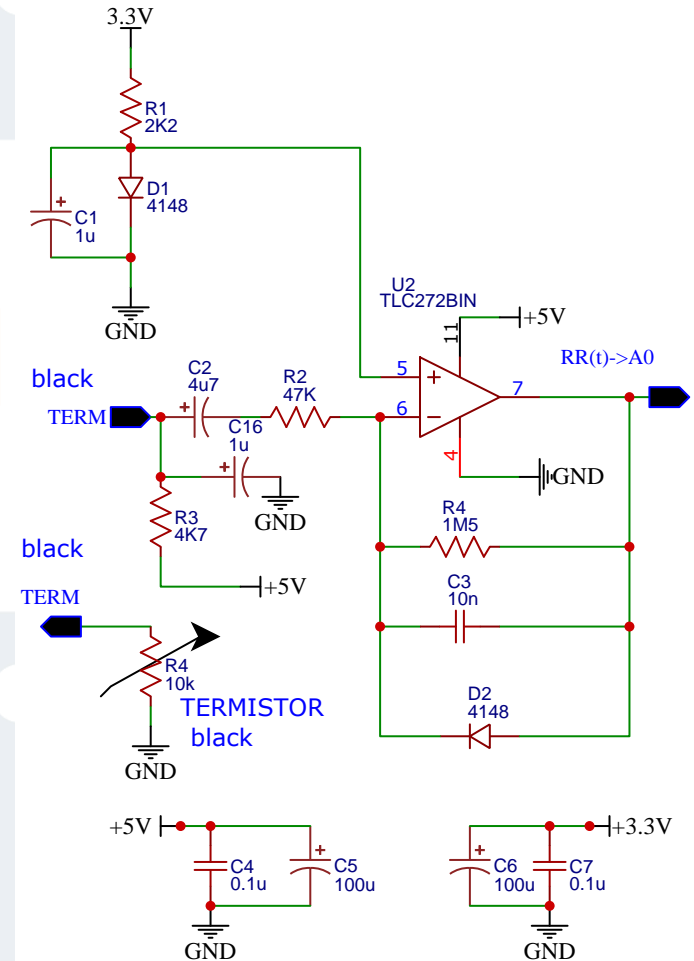
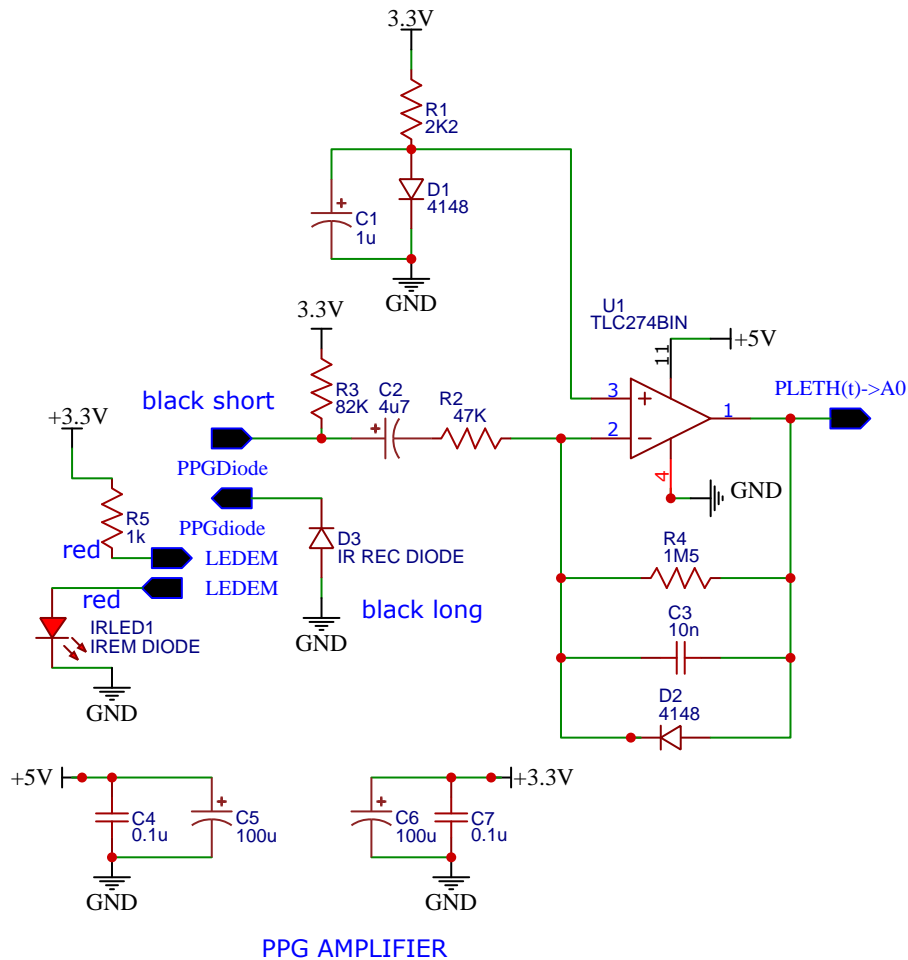
# Vježbe

- #2. Vital sign monitor, [docs and files](#)
- Design of feasible HR – Heart Rate and RR - Respiration Rate, ECG- monitor, by using ARDUINO NANO, low-cost sensors, special and custom design Analog Front Ends (AFEs) one chip (2 OAs) and their processing in MATLAB based GUI.



# Vježbe...

- #2, The schematics of HR and RR amps



# Vježbe

- #2, The PPG and RR signals in time and frequency domains. Extraction HR and RR from FFT spectrums, as the positions of dominant peaks.

