

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 1234

**PROGRAMSKA POTPORA ZA KORISNIČKI
USMJERENI TEKSTILNI BEŽIČNI NOSIVI
SUSTAV ZA PRAĆENJE TJELESNIH TEKUĆINA
TEMELJENA NA OPERACIJSKOM SUSTAVU
ZEPHYR**

Luka Jengiđ

Zagreb, lipanj, 2024.

Student: Luka Jengić

Naslov teme:

Programska potpora za korisnički usmjereni tekstilni bežični nosivi sustav za praćenje tjelesnih tekućina temeljena na operacijskom sustavu Zephyr

Naslov teme (engleski):

Software for a user-centric wearable wireless textile system for monitoring body fluids based on a Zephyr operating system

Mentor:

Prof. dr. sc. Hrvoje Džapo

Profil:

Elektroničko i računalno inženjerstvo

Kratki opis:

Istražiti mjerne metode i senzorske sustave koji se koriste za praćenje tekućine u nogama i određivanje mase mišića listova, uzimajući u obzir utjecaj temperature kože, znojenja i impedancije između kože i elektroda. Razviti programsku potporu za rad u stvarnom vremenu za nosivi sustav za praćenje tjelesnih tekućina temeljen na operacijskom sustavu Zephyr. Omogućiti prikupljanje i obradu podataka sa senzora te razviti protokol za povezivanje s drugim uređajima koristeći Bluetooth Low Energy (BLE) protokol za bežičnu komunikaciju. Razviti ispitno okruženje za testiranje sustava u stvarnim uvjetima upotrebe. Provesti laboratorijska mjerenja te ispitati značajke razvijenog programskog sustava. Posebnu pažnju posvetiti korisničkom iskustvu, osiguravajući da je sustav intuitivan i jednostavan za korištenje krajnjim korisnicima, kao i njegovoj pouzdanosti i učinkovitosti u stvarnim uvjetima korištenja.

Hvala na rakiji...

Sadržaj

1. Uvod	2
2. Bioimpedancija	3
2.1. Sastav ljudskog tijela	3
2.2. Cole model bioimpedancije	4
2.3. Metode mjerenja bioimpedancije	6
3. Zaključak	8
Literatura	9
Sažetak	11
Abstract	12
A: The Code	13

1. Uvod

Treci.. [1]

2. Bioimpedancija

Analiza bioelektrične impedancije je neinvazivna metoda kojom se procjenjuje sastav ljudskog tijela. Kroz tijelo se pušta slaba struja te se mjeri pad napona čime se izračunava impedancija tijela. Mjerenjem bioimpedancije moguće je praćenje kretanja tekućina kroz tijelo što je vrijedna dijagnostička metoda za praćenje stanja srčanih bolesnika.

2.1. Sastav ljudskog tijela

Ljudsko tijelo je kompleksna biološka struktura koja se sastoji od različitih međusobno povezanih tkiva koja omogućavaju funkcioniranje organizma. Tkiva se približno sastoje od 64% vode, 20% proteina, 10% masti i 5% minerala. Valja napomenuti kako na sastav ljudskog tijela utječu pojedini faktori, kao što su spol i dob [2].

Procjena sastava ljudskog tijela pruža važne informacije koje se koriste u praćenju zdravlja, procjeni rizika od pojedinih bolesti, praćenju oporavka te ranom otkrivanju zdravstvenih problema.

Voda je osnovni element stanica i tkiva te je nužna za brojne fiziološke procese u organizmu, kao na primjer održavanje elektrolitske ravnoteže i regulacija temperature. Ukupnu vodu u tijelu (engl. *Total Body Water; TBW*) dijelimo na intracelularnu vodu (engl. *Intracellular Water; ICW*) i ekstracelularnu vodu (engl. *Extracellular Water; ECW*). Važni parametri pri analizi ljudskog tijela su i masa tijela bez masnog tkiva (engl. *Fat Free Mass; FFM*) te masa masnog tkiva (engl. *Fat Mass; FM*) [2].

Ekstracelularna voda je količina vode koja se nalazi izvan stanica te čini 30-40% ukupne vode. Uključuje krv, limfu, tekućinu u zglobovima i međustaničnom prostoru. Ima važnu ulogu u transportu kisika i hranjivih tvari do stanica te odvođenju otpadnih tvari iz organizma [2].

Intracelularna voda je voda koja se nalazi unutar stanica. Ona čini 60-70% ukupne vode u tijelu. Ključna je za mnoge biološke procese unutar stanica, kao na primjer održavanje ravnoteže elektrolita. Održavanje ravnoteže između ekstracelularne i intracelularne vode ključno je za normalno funkcioniranje organizma [2].

Masno tkivo je također važno za funkcioniranje organizma jer pruža energetske rezervu, toplinsku izolaciju te štiti unutarnje organe. Prekomjerno nakupljanje masnoće može dovesti do različitih zdravstvenih problema, poput pretilosti, dijabetesa i bolesti kardiovaskularnog sustava. Zbog toga je praćenje udjela masnog tkiva u organizmu važno u procjeni rizika od brojnih bolesti [2].

Masu tijela bez masnog tkiva dobijemo tako da od ukupne mase tijela oduzmemo masu masnog tkiva. FFW uključuje tjelesnu vodu, mišiće, kosti, organe i druga tkiva osim masnih tkiva te predstavlja masu koja je aktivna i sudjeluje u metaboličkim procesima [2].

Koliko dobro će tkivo provoditi struju, ovisi o količini vode u njemu. Tkiva koja imaju više vode u sebi, kao na primjer mišići, bolje provode električnu struju nego masno tkivo koje ne sadrži vodu. Zbog toga se sastav ljudskog tijela procjenjuje iz izmjerene bioimpedancije između različitih dijelova tijela. Iz bioimpedancije sastav tijela se dobiva putem teorijskih jednadžbi ili tablica koje ovise o parametrima kao što su spol, dobna skupina, težina i visina.

2.2. Cole model bioimpedancije

- modeliranje impedancije

- električni model stanice

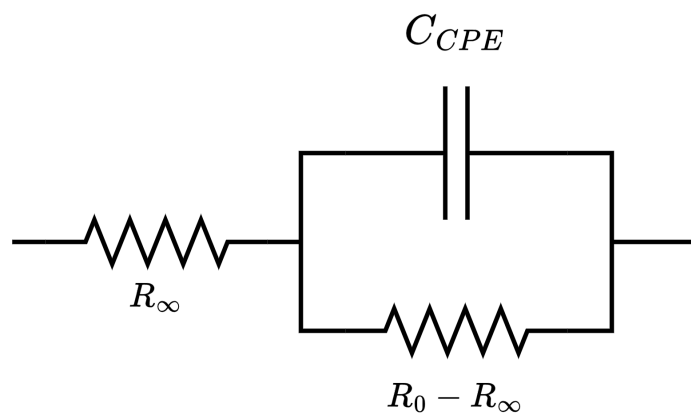
Matematički model kojim se najčešće modelira bioimpedancija ljudskog tijela naziva se Cole model. Razvio ga je britanski fizičar Kenneth Cole 1940-tih godina. Cole model opisuje impedanciju tijela kao funkciju frekvencije zbog čega ga koristimo pri analizi sastava ljudskog tijela [3]. Originalna jednadžba Cole modela glasi:

$$Z(\omega) = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{\alpha}} \quad (2.1)$$

R_∞ predstavlja otpor tkiva na beskonačnoj frekvenciji dok R_0 predstavlja otpor na nultoj frekvenciji. Razlika otpora $R_\infty - R_0$ predstavlja dodatan otpor struji na niskim frekvencijama zbog nepropusnosti stanične membrane. C_{CPE} je element s konstantnom fazom koji modelira kapacitivnost stanične membrane. Njegova impedancija iznosi:

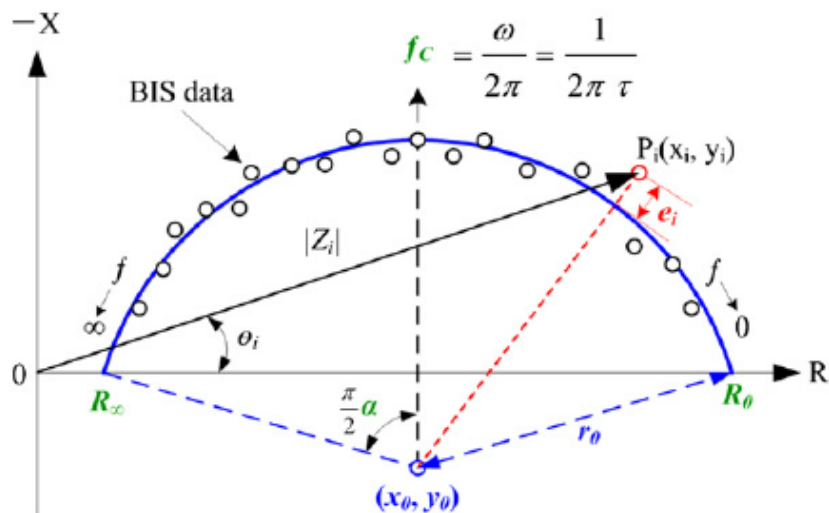
$$Z_{CPE}(\omega) = \frac{1}{(j\omega)^\alpha C} \quad (2.2)$$

Konačno, dobivamo električki model koji je prikazan na slici 2.1.



Slika 2.1. Cole model bioimpedancije

- opisati Cole graf



Slika 2.2. Graf bioimpedancije Cole modela [4]

2.3. Metode mjerenja bioimpedancije

Mjerenje bioimpedancije (engl. *Bioelectrical Impedance Analysis; BIA*) djelimo na analizu jednom frekvencijom (engl. *Single frequency BIA; SF-BIA*) i analizu na više frekvencija (engl. *Multi frequency BIA; MF-BIA*). Važna metoda je i bioelektrička spektrografija (engl. *Bioelectrical spectroscopy; BIS*) koja daje rezultate kroz širok raspon frekvencija.

SF-BIA je najjednostavnija i najbrža metoda jer koristi samo mjerenje impedancije jednom frekvencijom, najčešće 50 kHz. Iz izmjerene bioimpedancije matematičkim izračunima dobivaju se ukupna tjelesna voda, mišićna masa i masa masnog tkiva. Ova metoda ima najmanju preciznost jer se podatci prikupljaju na samo jednoj frekvenciji uzbudne struje.

MF-BIA koristi nekoliko različitih frekvencija čime se postiže veća točnost i mogućnost procjene dodatnih parametara, kao što su količine intracelularne i ekstracelularne vode. To je moguće jer stanična membrana blokira struju na niskim frekvencijama, a propušta ju na višim.

Bioelektrička spektrografija najpreciznija je metoda mjerenja bioimpedancije. Mjerenja se vrše na širokom rasponu frekvencija, od 1 kHz do 1 MHz. Ovom metodom možemo procijeniti otpor na nultoj i beskonačnoj frekvenciji, parametre iz Cole modela bioimpedancije opisane u prethodnom poglavlju. Mjerenje BIS metodomom zbog mnogo frekvencija traje duže i matematički izračuni su kompliciraniji, ali pruža detaljniju i precizniju analizu sastava ljudskog tijela

Postupak mjerenja bioimpedancije svih ranije opisanih metoda je puštanje slabe, frekvencijski ovisne izmjenične struje kroz tkivo te mjerenje pada napona. Zatim se impedancija izračunava prema:

$$Z \angle \theta = \frac{U \angle \theta_1}{I \angle \theta_2} \quad (2.3)$$

Pri mjerenju bioimpedancije razlikujemo dvožično i četverožično spajanje elektroda. Kod dvožičnog mjerenja isti par elektroda služi za pobudnu struju i za mjerenje napona. Zbog toga dolazi do greške u mjerenju napona uzrokovane padom napona na elektrodama. Četverožično mjerenje je preciznije jer se pad napona mjeri direktno na koži i zbog toga će se koristiti u ovom radu [5].

Važan dio mjernog sustava su i elektrode, koje kroz sučelje koža-elektroda omogućavaju protjecanje struje od mjernog sustava do tkiva. U ovom radu usporediti će se rezultati s dvama različitim vrstama elektroda, tradicionalnim metalnim elektrodama te tekstilnim elektrodama. Tekstilne elektrode izrađene su od tkanina impregniranih provodnim materijalima, najčešće srebrom. Njihova najveća prednost je udobnost i fleksibilnost te mogućnost integracije u odjeću. Na taj način pacijenti ih neometano mogu nositi tokom svakodnevnih aktivnosti i dužeg vremenskog perioda. Međutim, metalne elektrode su manje osjetljive na vanjske parametre kao što su temperatura i oznojenje kože što daje pouzdanije rezultate mjerenja. [6]

Sve opisane metode predstavljaju jednostavan i neizvazivan postupak mjerenja bioimpedancije. Važno je napomenuti kako izmjerena impedancija ovisi o brojim faktorima kao što su položaj tijela, hidracija, temperatura tijela i drugi što treba uzeti u obzir pri obradi rezultata mjerenja.

3. Zaključak

Svečano zaključujem ovaj rad.

WOOHOO!!!



Literatura

- [1] M. Delano, V. Ganapati, R. Kamal, B. Le, J. Le, i R. Mendoza, “Evaluating research grade bioimpedance hardware using textile electrodes for long-term fluid status monitoring”, *Frontiers in Electronics*, sv. 2, 2022. <https://doi.org/10.3389/felec.2021.762442>
- [2] T. K. Bera, “Bioelectrical impedance methods for noninvasive health monitoring: A review”, *Journal of Medical Engineering*, sv. 2014, str. 381251, Jun 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/381251>
- [3] T. J. Freeborn i S. Critcher, “Cole-impedance model representations of right-side segmental arm, leg, and full-body bioimpedances of healthy adults: Comparison of fractional-order”, sv. 5, br. 1, 2021. <https://doi.org/10.3390/fractalfract5010013>
- [4] Y. Yang, W. Ni, Q. Sun, H. Wen, i Z. Teng, “Improved cole parameter extraction based on the least absolute deviation method”, *Physiological Measurement*, sv. 34, br. 10, str. 1239, sep 2013. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/10/1239>
- [5] S. Abasi, J. R. Aggas, G. G. Garayar-Leyva, B. K. Walther, i A. Guiseppi-Elie, “Bioelectrical impedance spectroscopy for monitoring mammalian cells and tissues under different frequency domains: A review”, *ACS Measurement Science Au*, sv. 2, br. 6, str. 495–516, Dec 2022. <https://doi.org/10.1021/acsmeasuresciau.2c00033>
- [6] J. Meding, K. Tuvshinbayar, C. Döpke, i F. Tamoue, “Textile electrodes for bioimpedance measuring”, *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, sv. 2, str. 49–60, 06 2021. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2021.2.p49-60>

- [7] T. J. Freeborn, B. Maundy, i A. Elwakil, “Numerical extraction of cole-cole impedance parameters from step response”, *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, sv. 2, br. 4, str. 548–561, 2011. <https://doi.org/10.1587/nolta.2.548>

Sažetak

Programska potpora za korisnički usmjereni tekstilni bežični nosivi sustav za praćenje tjelesnih tekućina temeljena na operacijskom sustavu Zephyr

Luka Jengiđ

Unesite sažetak na hrvatskom.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Ključne riječi: prva ključna riječ; druga ključna riječ; treća ključna riječ

Abstract

Software for a user-centric wearable wireless textile system for monitoring body fluids based on a Zephyr operating system

Luka JengiĆ

Enter the abstract in English.

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Keywords: the first keyword; the second keyword; the third keyword

Privitak A: The Code

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam

rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.