

## SUSTAV ZA BEŽIČNU KOMUNIKACIJU PUTEM LJUDSKOG TIJELA

**Mario Cifrek**, redoviti član Akademije, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [mario.cifrek@fer.hr](mailto:mario.cifrek@fer.hr)

**Sažetak:** *Opisan je bežični sustav za elektromiografska (EMG) mjerenja koji kao medij za prijenos snimljenih EMG signala koristi ljudsko tijelo.*

### 1. Uvod

Prijenos signala ljudskim tijelom (engl. *Intrabody Communication*, IBC) novi je način bežične komunikacije pri kojoj ljudsko tijelo zajedno sa svojom bližom okolinom čini prijenosni kanal komunikacijskog sustava. Glavni cilj projekta bio je realizirati funkcionalni prototip višekanalnog sustava za komunikaciju putem ljudskog tijela s naglaskom na nisku potrošnju elektroničkih sklopova, uz istovremeno postizanje maksimalne brzine prijenosa podataka.

### 2. Opis inovacije

Izumitelji: **Mario Cifrek**, Silvio Hrabar, Igor Krois, Hrvoje Džapo, Željka Lučev Vasić

Naziv inovacije: Sustav za bežičnu komunikaciju putem ljudskog tijela.

Izvor financiranja: „Sufinanciran sredstvima iz Programa provjere inovativnog koncepta i BICRO-a“

Program provjere inovativnog koncepta PoC-5, Poslovno-inovacijska agencija Republike Hrvatske BICRO, 2014.

Priznanje: Završno mišljenje o uspješno provedenoj provjeri inovativnog koncepta, 21. srpnja 2015. godine.

IBC sustavi za prijenos podataka između elektroničkih uređaja (odašiljača i prijarnika) koriste prirodna električna svojstva ljudskih tkiva i domet im je ograničen na tijelo korisnika [1, 4]. Za komunikaciju koriste niže frekvencije nego standardni bežični sustavi (Bluetooth, WIFI, RFID, ZigBee, IrDA) i sukladno tome imaju manju potrošnju. Zbog manje potrošnje vijek trajanja baterija koje se koriste za napajanje je dulji, a zagrijavanje i iritacija tkiva korisnika su manji. Razina zračenja uslijed slanja podataka je vrlo niska, a struje koje pritom prolaze kroz ljudsko tijelo su reda veličine pikoampera te nisu štetne za ljudski organizam. Zbog toga što je većina signala ograničena na tijelo korisnika znatno je veća sigurnost prijenosa podataka, odnosno smanjena je mogućnost pasivnog prisluškivanja. Načini za slanje i primanje signala putem ljudskog tijela mogu se svesti na dvije glavne metode: kapacitivnu i galvansku. Razlika između metoda leži u načinu generiranja odašiljačkog signala: kod kapacitivnog prijenosa [2, 3] signal generira promjena električnog potencijala na odašiljačkim elektrodama, a kod galvanskog prijenosa signal generira promjena jakosti struje koja se šalje kroz tijelo. IBC tehnologija nije opasna po čovjeka jer su iznosi struja i električnih polja koja se generiraju znatno ispod granica propisanih od strane Svjetske zdravstvene organizacije (engl. *World Health Organization*, WHO). Snaga primljenog signala u kapacitivnom IBC sustavu ovisi o svojstvima tkiva i putu signala definiranom položajem odašiljača, prijarnika i njihovih elektroda, amplitudi i frekvenciji signala, te korištenoj modulaciji.

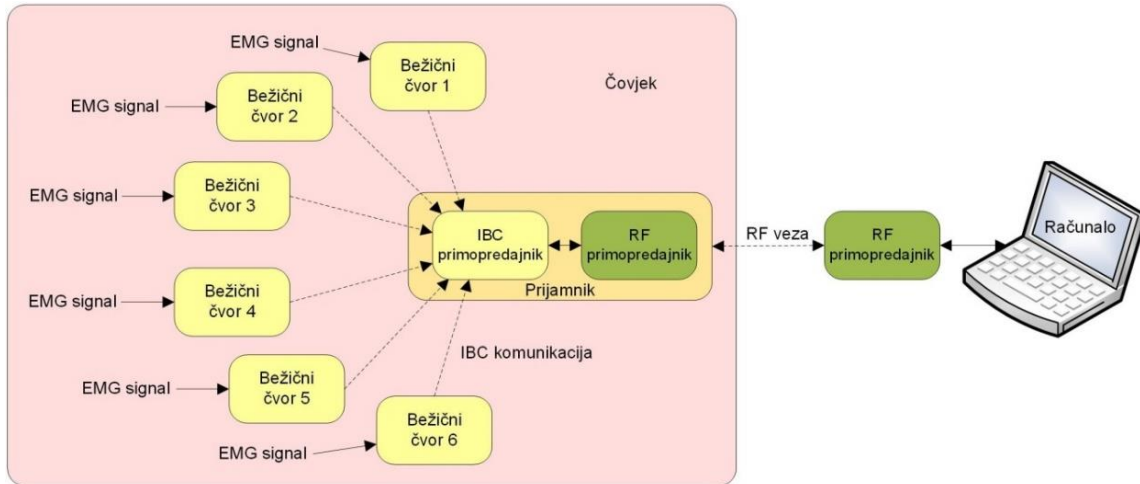
Istraživanje u okviru projekta se provodilo u dva pravca:

1. Analiza atenuacije ljudskog tijela u području frekvencija od 100 kHz do 100 MHz za različite mjerne postavbe i u različitim okolinama [3]. Mjerenja prijenosne karakteristike kapacitivnog IBC sustava su provedena pomoću više različitih vrsta elektroda, za različite načine spajanja elektroda na tijelo, korištenjem nekoliko mjernih postava (pomoću baterijski i strujno napajanih mrežnih analizatora, sa i bez galvanskog odvajanja), te za različite tipove okoline (elektromagnetski izolirana prostorija, laboratorij, vanjski prostor) [2]. Na temelju ovih mjerenja smo definirali optimalno frekvencijsko područje za kapacitivnu IBC komunikaciju, optimalni položaj elektroda te potrebne karakteristike IBC odašiljača (izlazna snaga) i prijarnika (osjetljivost).

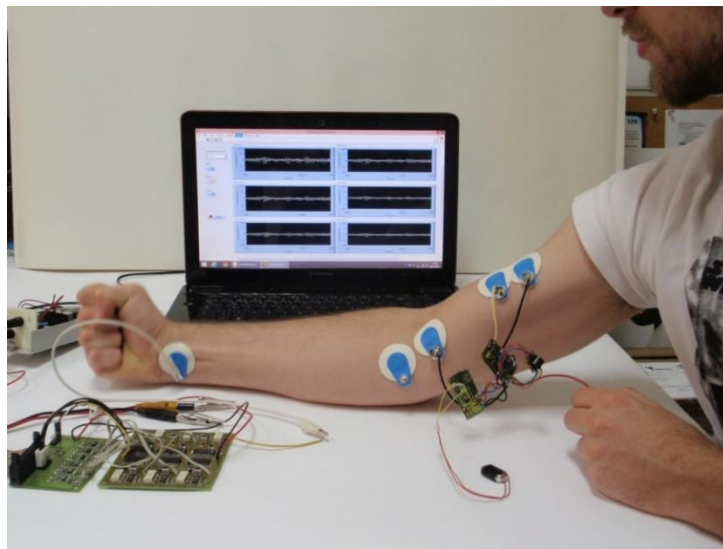
2. Analiza optimalne modulacijske tehnike – radi postizanja maksimalne brzine prijenosa signala ispitali smo više digitalnih i analognih modulacijskih tehnika za prijenos signala između IBC odašiljača i prijarnika smještenih na tijelo ispitanika, u prethodno definiranom optimalnom frekvencijskom području.

Kao rezultat projekta realiziran je funkcionalni prototip IBC sustava koji se sastoji od šest odašiljača (može se proširiti do 20) i prijarnika koji je bežičnom RF vezom spojen s osobnim računalom, kao na slikama 1 i 2. Prototip sustava namijenjen je mjerenju signala površinske elektromiografije (eng. *electromyography*, EMG) kod sportaša. Specifičnost takvog mjerenja je to što se istovremeno obavljaju mjerenja na nekoliko mišića za vrijeme trajanja sportskih aktivnosti. Montaža većeg broja klasičnih žičanih EMG elektroda na sportaša je dosta složena, a žice smetaju tijekom izvođenja raznih vježbi. Korištenjem bežičnih sustava za mjerenje elektromiografije postupak montaže elektroda se bitno pojednostavljuje, a korištenje sustava je ugodnije. Na bežičnim čvorovima prototipa sustava je realizirano mjerenje EMG signala (detekcija, pojačavanje i filtriranje EMG signala), frekvencijska modulacija i odašiljanje moduliranog signala. IBC odašiljači, odnosno šest sklopovski identičnih bežičnih čvorova (jedina razlika između pojedinih bežičnih čvorova je frekvencija signala nosioca

frekvencijski moduliranog signala, koja iznosi oko 1 MHz) se postavljaju na ispitanika, mjere EMG signale na mišićima ispitanika i šalju ih šesterokanalnom IBC prijamniku. Višekanalni IBC prijamnik je centralno mjesto na kojem se prikupljaju signali sa svih bežičnih čvorova, a zatim demoduliraju, obrađuju te se putem RF (eng. radio frequency) veze šalju na računalo. RF prijamnik je na računalo povezan putem USB priključka. Na osobnom računalo razvijena je programska podrška za prikaz rezultata mjerenja i konfiguriranje IBC sustava.



Slika 1. Blok shema EMG sustava za bežičnu komunikaciju putem ljudskog tijela.



Slika 2. Izvedba EMG sustava za bežičnu komunikaciju putem ljudskog tijela.

### 3. Zaključak

U okviru projekta funkcionalnim prototipom je dokazan koncept višekanalnog prijenosa signala ljudskim tijelom. Tehnička vrijednost projekta je u minimizaciji potrošnje IBC sustava. Naš pristup je jedinstven po tome što za komunikaciju putem ljudskog tijela koristi niže frekvencije i energetski manje zahtjevne modulatorske tehnike od onih koje se koriste u sustavima opisanim u znanstvenoj literaturi. Korištenje signala niske frekvencije za prijenos informacija i jednostavne tehnike modulacije su bitni zbog smanjivanja ukupne potrošnje IBC uređaja. U daljnjem radu nastavit će se istraživanje utjecaja modulacija na karakteristike IBC sustava, radi određivanja optimuma između brzine prijenosa i ukupne potrošnje sustava. Također, nastavlja se rad na razvoju prototipova sustava s naglaskom na povećanje brzine prijenosa signala i smanjenje potrošnje uz istraživanje alternativnih načina napajanja energijom iz okoliša.

#### 4. Literatura

- [1] David Naranjo-Hernández, M. Amparo Callejón, Željka Lučev Vasić, MirHojjat Seyedi, Yueming Gao, „Past Results, Present Trends and Future Challenges in Intrabody Communication“, *Wireless communications and mobile computing*. 2018 (2018.), ID 9026847, pp. 1–40.
  - [2] Željka Lučev Vasić, Igor Krois, Mario Cifrek, „Effect of transformer symmetry on intrabody communication channel measurements using grounded instruments“, *Automatika: časopis za automatiku, mjerenje, elektroniku, računarstvo i komunikacije*. 57 (2016.), 1, pp. 15–26.
  - [3] Željka Lučev, Igor Krois, Mario Cifrek, „A Capacitive Intrabody Communication Channel from 100 kHz to 100 MHz“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 61 (2012.), 12, pp. 3280–3289.
- Željka Lučev, Igor Krois, Mario Cifrek, „Intrabody communication in biotelemetry“, *Wearable and Autonomous Biomedical Devices and Systems for Smart Environment (Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 75)*, ur. A. Lay-Ekuakille, S. C. Mukhopadhyay, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 351–368, 2010.