RENDSZERFEJLESZTÉS BEÁGYAZOTT BIOLÓGIAI-MÉRÉSTECHNIKAI AUTONÓM KOMMUNIKÁCIÓS HÁLÓZATOKRA

EMBEDDED SYSTEM AND AUTONOMOUS COMMUNICATION NETWORK DEVELOPMENT FOR MEASUREMENT OF BIOLOGICAL SIGNALS

Farkas Loránd¹, Losonczi Lajos^{1,2}

¹Lambda Communications SRL, R&D Department, Romania, Târgu-Mureș, lorand.farkas@lambda.ro, lajos@lambda.ro

²Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Villamosmérnöki tanszék, Cím: Romania, Târgu-Mureș, Sighișoarei út, 1.C, Telefon: +40-722-352178, levelezési cím: lajos.losonczi@ms.sapientia.ro

Abstract

The aim of this paper is to present electronic circuit intended for bio-signal measuring from the human body, and the associated wireless communication network protocol for the data transmission. This measuring system, developed by our team is based of several sensing nodes, which are equipped with amplifier, power supply and an RF transceiver. Due to rapid technological developments, there are now more wireless communication protocols at our disposal for medium- and high-speed data transfer, and to service voice, image, video, and computer networks. However, the supply range in recent years lacked wireless communication protocols that satisfy the special needs of embedded biological measurement-technology structures, i.e. sensors, measuring electrodes, regulatory and control units. These systems do not require high bandwidth, nevertheless the easiness to wear, the short waiting time, the very low energy usage, and a secure communication, are basic requirements. Based on different wireless communication protocols we aimed at developing our own wireless network protocol. In this paper we present the developed smart sensor-network for measuring biological signals, the communication protocol developed and used for the system, and a method developed by us, to monitor and analyze the protocol. The obtained results can be successfully used in the measuring technology of non-invasive biological signals.

Keywords: biological measurement system, wireless communication, WSN, smart sensor

Összefoglalás

A rohamos technikai fejlődésnek köszönhetően ma már több vezeték nélküli kommunikációs szabvány áll a rendelkezésünkre közepes és nagysebességű adatátvitelhez, hang, kép, videó, és számítógépes hálózatok kiszolgálásához. A kínálatból azonban az utóbbi évekig hiányoztak a beágyazott biológiai méréstechnikai struktúrák – szenzorok, mérő-elektrodok, szabályozó és vezérlő egységek – speciális igényeit kielégítő vezeték nélküli kommunikációs szabványok. Ezek a rendszerek nem igényelnek nagy sávszélességet, de alapkövetelmény a viselhetőség, a rövid várakozási idő, a nagyon alacsony energiafelhasználás és a biztonságos kommunikáció. Célul tűztük ki egy saját vezeték nélküli hálózati protokoll kifejlesztését, amely kielégíti az említett rendszerek sajátos igényeit. A dolgozatban bemutatjuk az általunk létrehozott biológiai jelek mérésére alkalmazott intelligens szenzorhálózatot, a rendszerhez kifejlesztett és alkalmazott kommunikációs protokollt, valamint egy saját fejlesztésű protokollmonitorizáló és -analizáló eljárást. Az elért eredmények sikerrel alkalmazhatóak a nem invazív biológiai jelek méréstechnikájában.

Kulcsszavak: biológiai mérőrendszer, vezeték-nélküli kommunikáció, WSN, intelligens szenzor

1. Beágyazott biológiai mérőrendszerek

Egy vezeték nélküli beágyazott érzékelő hálózat (1. ábra) több beágyazott mérő-elektrodot tartalmaz, amelyek egymással, illetve egy felsőbb rendszerszinttel kommunikálnak egy meghatározott protokoll alapján. Ezek a mérőmodulok egy adott technikai intelligenciával rendelkeznek, mely képessé teszi őket a megnövelt komplexitású feladatok megoldására [1]. Egyes moduloknak kitüntetett szerepe is lehet, mint hálózati híd, gateway vagy koordináló modul.

1. ábra. Biológiai jelek mérése

Mindenik csomópont saját tápforrással van ellátva, és saját feldolgozó egységgel rendelkezik a mért jelek lokális előfeldolgozása céljából. Az adatok továbbítása saját, vezeték nélküli adó-vevő modulul történik [2].

1.1. A megvalósított biológiai mérőrendszer elektromos blokkvázlata

A biológiai jelek modern mérésére szolgáló eszköz a 2. ábrán látható funkcionális alegységeket tartalmazza:

2. ábra. A mérőrendszer tömbvázlata

A bemeneti fokozat elsődleges szerepe az impedancia illesztés és a zavarjelek csillapítása. Előnyt jelent a bipoláris bemeneti elrendezés, mivel szimmetrikus differenciális bemeneti fokozatot lehet alkalmazni, nagy közös jel elnyomással [3].

A berendezés külön üzemmódja a kontakt-ellenállások mérése a mozgási zavarjelek kompenzálása céljából.

Az egyenáramú komponens leválasztása nem történhet közvetlenül a bemeneten, mivel a csatoló kondenzátorok impedanciái közötti különbség még kis tűrésű elemek használata esetén is nagyon lerontaná a közös jel elnyomását [4].

Az eltérő hozzávezetési impedanciák miatt szintén romlik a közös jel elnyomása. Az analóg jelkondicionáló vonal oldja meg a jelek erősítését, a szelektív sávszélesség beállítását, az 50Hz-es hálózati zavarjel szűrését és a fáziskompenzálást [5].

Ajánlott az analóg jelek minél előbbi digitalizálása, mivel a digitális információ könnyebben kezelhető az alkalmazott beágyazott mikrovezérlőnek köszönhetően. Ezáltal új mérési feladatokhoz elég csak a szoftvert megváltoztatni, nem kell új áramkört tervezni [6].

2. A megvalósított biológiai mérőrendszer kommunikációs protokollja

A vezeték nélküli eszközök elektromágneses hullámokat használva egy kommunikációs protokoll alapján cserélik az információkat egymás között.

Gyakorlati szempontból a protokoll azt mondja meg, hogy milyen sorrendben milyen típusú üzeneteket küldhetnek egymásnak a csomópontok, ezenkívül megadja az üzenetek pontos felépítését és az abban szereplő adatok jelentését is.

A protokolloknak igen sok és teljesen eltérő filozófiájú formája létezik.

Napjainkban a vezeték nélküli hálózatok több szabvánnyal is gazdagodtak. A

vezeték nélküli érzékelő hálózatokat az IEEE idevágó szabványa rendezi: 802.15.4.

A cél egy egyszerűen telepíthető, kis hatótávolságú és kis energiafelhasználású hálózattípus megalkotása volt.

Napjainkban nagyon sok vezeték nélküli rendszer adóvevője támogatja a ShockBurst™ technológiát, ami kezeli az automatikus „elosztást”, címzést és a hibajavítást (CRC).

A Nordic nRF24L01+ áramkör egybe integrálja a 2,4 GHz-es RF átjátszót, az RF frekvencia szintetizátort, valamint az alapsávi logikai áramköröket, ide értve az Enhanced ShockBurst™ hardware protokoll gyorsító áramköröit is. Az áramkör gyors soros interfészen keresztül (SPI) kommunikál az alkalmazás vezérlővel [7].

Mivel a ShockBurst™ technológia lehetővé teszi, hogy kis költségű, kis komplexitású mikrovezérlőt használjunk, akár külső órajel-generátor nélkül, a külső alkatrészek száma a minimumra csökkenthető. A megvalósított mérőrendszerben ezt az áramkört használtuk mint rádiófrekvenciás átjátszót. Az adó-vevő áramkör belső felépítése a 3. ábrán látható.

3. ábra. Az RF modul tömbvázlata

Az adó-vevő modul a hardveresen megépített fizikai réteg és az adatkapcsolati réteg mellett tartalmaz egy egyszerű hálózati réteget is, ami legfeljebb 6 csomópont kezelésére ad lehetőséget [7].

A processzor és az RF modul közötti adatátvitel egy soros (SPI) adatsín segítségével történik. Az adó-vevő modulban található az írható és olvasható regiszterek. Ezek a regiszterek segítségével konfigurálhatjuk a modul különböző paramétereit, mint például azt, hogy az eszköz küldő vagy fogadó üzemmódban legyen. Ugyancsak az eszköz regisztereiben tárolódnak a fogadott adatsomagok, és hasonlóan, ha adatokat akarunk kiküldeni, akkor ezeket előbb be kell írni a kijelölt regiszterekbe.

2.1. A tervezett kommunikációs protokoll idődiagramja

A 4. ábrán látható a tervezett kommunikációs protokoll idődiagramja.

4. ábra. A protokoll idődiagramja

A központi egység egy számítógéphez van csatlakoztatva, ennek következtében szinte korlátlan az energiaellátása, hiszen a tápforrása lényegesen nagyobb, mint a szenzor csomóponté, amelyet csak egy kis kapacitású gomelem lát el.

A központi csomópont irányítja a csillag topológiájú hálózatot. Többnyire vevő (Rx) üzemmódban van és várja a szenzoroktól érkező csomagokat, amelyek tartalmazzák a mérési eredményeket. Meghatározott időközönként kiküld egy úgynevezett „beacon” csomagot. Ez tartalmazza a következő „beacon” csomag küldési idejét is. A szenzor csomópontok fogadják ezt, és ehhez szinkronizálják a belső időzítőjüket. Az egymást követő két „beacon” csomag közti időintervallumot felosztjuk n egyenlő részre. A sorban az első időablakot 0-ás ablak-

nak vagy konfigurációs ablaknak nevezzük. A többi időrést 1-től $(n-1)$ -ig sorszámozzuk, és ezeket kiosztjuk, vagyis hozzákapcsoljuk egy-egy szenzor kommunikációjához. Ezt a technikát időosztásos multiplexelésnek (Time-division multiplexing – TDM) nevezzük. A 0-s ablak arra van fenntartva, hogy ha egy új csomópont szeretne csatlakozni a hálózathoz, akkor bejelentkezik a központnál a konfigurációs időablakban, és válaszul megkapja, melyik időablakot használhatja. Ez a folyamat játszódik le a **4. ábrán** a 3. csomópont esetében. A már konfigurált csomópontok, amelyek részei a hálózatnak, csak és kizárólag a nekik kiosztott időablakban kommunikálhatnak. A központi egység minden egyes megkapott csomagot nyugtáz (ACK). A nyugta-csomagok tartalmazhatnak hasznos adatot is (Payload). Így valósítjuk meg a kétirányú kommunikációt.

2.2. A protokoll által használt csomagok szintaktikája és szemantikája

Az **5. ábra** a ShockBurst-technika adatszerkezetét ábrázolja.

5. ábra. A ShockBurst adatszerkezete

Az nRF24LE1+ tartalmaz egy hardver szinten megvalósított adatkapcsolati réteget. A hardver megvalósítja az automatikus csomagkezelést, először is szinkronizál a cím mezőre, és ha egyezés történt, akkor folytatja az adatsomagok további feldolgozását. A csomagban tárolható hasznos adat hossza változhat 0 és 32 bájt között. Annak érdekében, hogy a fogadó helyesen értelmezze a csomagot, a beágyazott adatmennyiség hosszát 6 biten tárolja. Minden egyes csomag végén található egy ellenőrző kód, és ennek alapján dönti el, hogy az adott csomag sérülésmentesen érkezett-e meg vagy sem. Ha nem történt hiba, akkor a

fogadó oldal automatikusan kiküld egy nyugtacsomagot.

6. ábra. A tervezett protokoll csomagszerkezete

Az általunk tervezet protokoll az adatkapcsolati réteg „Payload” mezőjében tárolja a protokoll számára elengedhetetlen metaadatokat, illetve a valódi hasznos adatokat, a mérési eredményeket. Minden egyes csomag tartalmaz egy kétbájtos számlálót, amelyet minden csomag elküldése után növelünk eggyel. Ezt az információt a feldolgozó program arra használja fel, hogy észrevegye, ha egy csomag elveszett, és valamilyen hibatűró kezelési módszert használjon. Egy lehetséges hibatűró megoldás az lehet, hogy a hiányzó csomag környezetéből interpolálunk egy értéket, így próbáljuk pótolni az elvesztett adat hiányát.

3. Kommunikációs protokollmonitor és -analizátor

A kommunikációs protokoll tesztelésekor különböző problémák merülhetnek fel. Ezek elsősorban úgy nyilvánulnak meg, hogy vagy egyáltalán nem jutnak el az elküldött adatsomagok a célállomásra, vagy nagyon megnő az elvesztett adatsomagok, illetve az elküldési próbálkozások száma. A kommunikációs protokoll tesztelésére kifejlesztettünk egy hálózati megfigyelő egységet és protokollanalizátort. A grafikus felhasználói felületet a **7. ábra** szemlélteti.

Az egység egy mikrovezérlős hardver modult, az ide feltöltött firmvert, valamint a számítógépen futtatott alkalmazói szoftvert tartalmazza.

A rendszernek 3 üzemmódja van:

- meghatározni, hogy milyen frekvencia-csatornát használ az adott kommunikációs protokoll;
- meghatározni, hogy milyen címre küldi a csomagokat az adatszolgáltató;
- az előbbi két pontban megszerzett információt felhasználva effektív behallgatni a két eszköz közötti rádiófrekvenciás kommunikációba.

7. ábra. A Spektrum analizátor grafikus felhasználói felülete

A 7. ábrán látható a rádiófrekvenciás csatornák figyelését lehetővé tevő üzemmód, az úgynevezett „Spektrum analizátor”. Az nRF24LE1+ modulnak van egy olyan funkcionálitása, ha az Rx üzemmódban van, hogy érzékeli a hordózfrequencia jelenlétét vagy hiányát. Az angolszász szakirodalomban ezt úgy nevezik, hogy „carrier detection”. A modul gyártója által meghatározott küszöbérték a -64dBm, ami kis mértékben változhat a hőmérséklet függvényében. A program felhasználói felületén kiválasztjuk a kezdeti és a megállási frekvencia-csatornákat. A „Start” gombra kattintva elindítjuk a keresést. A program folyamatosan végigpásztázza a kiválasztott határok közötti csatornákat, és ha a rádiófrekvenciás modul érzékelt aktivitást az adott időpillanatban az adott csatornán, akkor ezt grafikusán kijelzi.

A 8. ábrán az látható, ahogy a rendszer kommunikál a 62. csatornán, illetve az is látszik, hogy 2.41-2.43GHz tartományban erős rádiófrekvenciás aktivitás van. Ennek forrása egy WiFi IEEE 802.11n üzemmódu

router, amely az 1. WiFi csatornán kommunikál.

A program, a szenzor által használt MAC címet hivatott kiszimatolni, ahogy a 8. ábrán látható.

8. ábra. A program cím- és adatszimatoló ablaka

A program lehetővé teszi a mérőelektrodok és a számítógéphez csatlakoztatott RF vevő közti kommunikáció figyelését és az elkapott csomagok kinyomtatását.

4. Eredmények

A 9. ábrán a megvalósított kísérleti rendszer látható.

9. ábra. A megvalósított kísérleti rendszer

A mérési eredményeket a saját fejlesztésű felhasználói felületen jelenítjük meg (10. ábra).

10. ábra. Mért EEG jelek

A tervezett intelligens mérőrendszer-hálózatot, valamint a kifejlesztett vezeték nélküli kommunikációs protokollt, monitort és analízátort sikerrel alkalmaztuk a Lambda Communications cég, valamint a Sapia EMTE, Villamosmérnöki tanszék által vezetett kutatási projekteken, biológiai jelek mérésére és a mért adatok továbbítására a szerveralkalmazások felé, további feldolgozás érdekében és az adatok megjelenítése céljából [8], [9], [10].

A tervezett protokoll eleget tesz a hozzá fűzött elvárásoknak, vagyis: alacsony átlagfogyasztást biztosít, közel valós idejű adat-továbbítás lehetséges igen magas (1,5GHz) adatátviteli sebességnél, biztonságosan kódolt kommunikáció, nagyfokú zavar-immunitás, valamint több mérő-elektrod (max. 64) adatainak párhuzamos továbbítása a szerveralkalmazás felé.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Karl H., Willig A., Wolisz A.: *Wireless Sensor Networks*. Springer Verlag Berlin, 2004.

[2] Ferenc, K.: *Intelligens érzékelők az orvosi biológiában*. SZAK Kiadó, 2013.

[3] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., Bakó, L., and Farkas, L.: *A novel bio-signal acquisition system for brain computer interfaces*. The 4-th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering

(ISEEE 2013), Galați, Romania, 10-13 Oct. 2013.

- [3] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *Embedded EEG Signal Acquisition System*. The 7-th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference INTER-ENG 2013, Târgu-Mureș, Romania, 10-11 Oct. 2013.
- [4] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *Circuit Techniques for Reducing The Effect of Analog Signal Conditioning Imperfections in EEG Measuring*. The 7-th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference INTER-ENG 2013, Târgu-Mureș, Romania, 10-11 Oct. 2013.
- [5] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *A novel EEG Signal Acquisition System*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics, (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.
- [6] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *Portable EEG Signal Measuring*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics, (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.
- [7] Nordic Semiconductor, *nRF24LE1P Product Specifications*, 2011.
- [8] Márton, L.F., Bakó, L., Brassai, S.T., Szegeti, P., Katona, N., Farkas, L., Pável, P., Kelemen, H., Losonczi, L.: *Signal for a spherical robot control based on EEG recordings*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.
- [9] Losonczi, L.: *Echipament pentru achiziția biosemnalelor cu rețea de electrozi*. Cerere Brevet de Inventie, OSIM A201300621, 2013.
- [10] Losonczi, L.: *Echipament pentru achiziția biosemnalelor cu rețea de noduri inteligente de măsurare*, Cerere Brevet de Inventie, OSIM A201300622, 2013.