

TDK-dolgozat

Szerzők:

Bura Pál és Egervári Csanád

Tudományos Diákköri Konferencia

Mobiltechnológia a bionikában

Készítette:

Bura Pál és Egervári Csanád

IV. évfolyam

Témavezetők:

Tihanyi Attila laborvezető, Dr. Oláh András egyetemi
docens, Dr. Erőss Loránd főorvos (OITI)



Pázmány Péter Katolikus Egyetem
Információs Technológiai Kar

Budapest, 2012

Kivonat

A felgyorsult technológiai fejlődés nyomán a klasszikus tudományágak határterületein szükségszerűen új diszciplínák születnek. Egy ilyen terület a bionika is, amely a biológia és az elektronika szavak összetételéből keletkezett, és az élő anyag és a villamosmérnöki tudományterületek közvetlen találkozásánál jött létre. A bionika néhány jellemző platformja: az orvos-biológiai képkalkotó eljárások; az egy chip-re integrált komplex laboratóriumi feladatokat megoldó rendszerek; a bionikai interfészek és testbe épített szimbiózisok; a protézisek és más rehabilitációs eszközök, valamint a testközeli érzékelő-rádiókommunikációs hálózatok.

Az infokommunikációs technológiák egyik leginkább fejlődő, és várhatóan további szerteágazó fejlődést generáló területe a mobiltechnológia. Az okostelefonok megjelenésével olyan folyamatosan hozzáférhető szenzorikus és számítási kapacitás áll rendelkezésre a felhasználók közvetlen közelében, amelyen számtalan, eddig platform hiányában nem implementálható alkalmazás valósítható meg. A dolgozat középpontjában éppen azok az egészségügyi, orvosi célú mobil technológiákon megvalósuló megoldások állnak, amelyek kijelölhetik a mobiltechnológia szerepét a bionikában.

A dolgozat legfőbb eredménye egy olyan orvosi alkalmazás létrehozása, amely orvosi távjelenlétet biztosít beültetett gyógyszeradagoló pumpával élő betegek számára. A feladat direkt gyakorlati motivációját az jelentette, hogy egy olyan okostelefon alapú megoldásra volt szükség, amelynek segítségével az orvos távjelenlétet tud biztosítani az implantátummal ellátott betegeknek akár rutin kontroll vizsgálat során, de a terápia módosítása vagy akut életmentő helyzetekben olyan helyen is, ahol nincs képzett szakszemélyzet a neuromodulációs eszközök programozására. Az implantált gyógyszeradagoló pumpa és a programozó eszköze között kb. 2 - 5 cm-t áthidaló induktív csatolással biztosított a kommunikáció, amiről a konkrét orvosi eszközök esetén a szükséges információ nem állt rendelkezésre. A fejlesztés során szükséges hardver és szoftver elemek megvalósítása során a kommunikációs protokoll mérés alapú lehallgatására kellett szorítkozni.

A dolgozat leírja a rendszer kifejlesztésének menetét, a mobil kliens felépítését, valamint a hardver-eszköz tervezését és illesztését. A megvalósított rendszer alapján, más, hasonló architektúrát igénylő alkalmazások is kifejleszthetők, melyeket a dolgozat szintén ismertet.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és motiváció	5
2. A bionika rokonterülete, a telemedicina	7
2.1. A telemedicina koncepciója	7
2.1.1. Telemedicina szolgáltatások	8
2.1.2. Adattranzfer sémák	9
2.1.3. A telemedicina felosztása orvosi területek alapján	10
2.2. A telemedicina társadalmi hatása	11
2.3. A telemedicina mérnöki megközelítése	12
3. A bionika harmadik platformja, a testközeli érzékelő hálózatok	14
3.1. A BSN alapjai, architektúrája	14
3.1.1. Felhasználási területek	15
3.1.2. Az architektúra	16
3.2. Technológiai kihívások	18
4. Okostelefonok központi szerepe a bionikában	20
4.1. Az okostelefon mint bionika platform	20
4.1.1. Szenzorok	21
4.1.2. Hardvergyártók	22
4.2. Elérhető bionika alkalmazások okos platformon	24
4.2.1. Alkalmazás áruházak applikációi	24
4.2.2. Egyetemek és cégek alkalmazásai	25
4.3. Koncepcionális alkalmazások	29
5. Okostelefonnal támogatott távjelenlét orvosi implantátumokhoz	30
5.1. A rendszer komponensei	31
5.2. A rendszer használata	33
5.3. A rendszer megvalósítása	34
5.3.1. A kommunikációs protokoll mérés alapú lehallgatása	34
5.3.2. Interfész az orvosi eszköz és az okostelefon között	35
5.3.3. Az okostelefon feladatai a rendszerben	38
5.4. A rendszer teljesítőképességének mérési alapú elemzése	40
6. Összefoglalás	43

1. fejezet

Bevezetés és motiváció

Az egészségügy fejlődése kétségtelenül az emberiség egyik leglátványosabb ügye. A bionika egy olyan tudomány, amely a természetben található élő anyag minél jobb megértése és az elektronika folyamatos fejlődése által, közvetlenül az emberi életminőség javítására szolgál. A bionika és a fejlődő orvostudomány egyik kézzelfogható eredménye (túl a várható életkor növekedésén), hogy napjainkban egyre elterjedtebbek a betegek életét megmentő és javító implantátumok. A Földön mintegy 3 millió embernek van pacemaker, és 600 000 új szívritmus-szabályozót ültetnek be évente [1]. A Parkinson-kór ellen egyre gyakrabban alkalmazott, eredményes kezelés a neurostimuláció, erre a célra több mint 80 000 mély agyi stimulációt kiváltó eszköz került implantációra [2]. Ezen eszközök beállítása és rendszeres ellenőrzése időigényes és költséges, mivel fáradságos utazást követel meg a páciensektől, valamint tovább növeli a szükségtelen és erőforrás pazarló beteg-orvos interakciók számát.

Az infokommunikációs technológiák gyorsuló ütemű fejlődésének egyik kulcsterülete a mobiltechnológia. Jelenleg 5,64 milliárdra tehető a mobiltelefon-előfizetések száma az egész világon [3]. Az okostelefonok elterjedése az infokommunikációs technológiák végtelen lehetőségeit hordozzák magukban, ugyanakkor ezek a lehetőségek még kevésbé kiaknázottak. A mobiltechnológia alkalmas arra, hogy elterjedtsége és könnyű hozzáférhetősége révén támogassa a gyógyászatban használt telekommunikációs megoldásokat. A mobilinternet sávszélessége és a telefonok számítási teljesítménye ma már lehetővé teszi az egészségügyben használt hagyományos számítógépek kiváltását, mobilitást biztosítva ezzel az orvosok és a páciensek számára egyaránt. A piacvezető operációs rendszer az Android. 2012 harmadik negyedében a végfelhasználóknak eladott okostelefonok 72%-a Android OS-t használt [4]. Elterjedtsége és nyílt forrása miatt a dolgozatban ez az implementáció számára megcélzott platform.

A dolgozat központi témája a mobiltelefon alapú infokommunikációs technológiák egészségügyi alkalmazása és alkalmazhatósága, melynek egyik célja az orvosok és betegek életminőségének ill. az orvos-beteg interakciók hatékonyságának növelése. Az elméleti munka mellett, egy valós igényeken alapuló, konkrét mérnöki probléma megoldása is cél, amely lényege az orvosi távjelenlét biztosítása okostelefonon, gyógyszerpumpa implantátummal rendelkező betegek számára.

„Bizonyos körképekben előfordulhat, hogy sem a gyógyszeres kezelés, sem más hagyományos terápia nem képes megfelelő segítséget nyújtani azoknak, akik állandó fájdalommal, gyakori rohamokat előidéző epilepsziával kénytelenek együtt élni, vagy mozgászavarral, esetleg végtaggörccsel, remegéssel küzdenek. A panaszok csillapításához ma már legtöbbször nincs szükség hagyományos (ablatív) idegsebészeti műtétre. A hatékony kezelés sok esetben egy kisméretű neuromodulációs eszköz (gyógyszerpumpa, stimulátor) beültetésével is lehetséges. Ráadásul a beültetett eszköz működése, azaz a gyógyszer vagy az elektromos impulzus adagolása bármikor módosítható a beteg tüneteitől függően egy külső programmozóval, így további sebészeti beavatkozás nem szükséges. A műtét utáni évben több kötelező kontrollvizsgálatra is visszavárjuk pácienseinket. Azokat a betegeinket pedig, akik neurostimulációs gyógykezelésben részesülnek, az intézményünkkel szoros kapcsolatban lévő gondozó központok is segítik – az eszköz kezelésében és rendszeres karbantartásában – az ország több pontján.” [5]

A kontroll vizsgálatokon a betegek személyes megjelenése szükséges, hiszen az implantált gyógyszerpumpa és az orvosi programozó eszköz a sikeres kommunikációhoz egymástól maximum 2 cm távolságra lehet. Egy olyan technológiai megoldásra van szükség, amely biztosítja a programozó orvos számára a gyógyszeradagoló pumpa távoli hozzáférését. A betegeknek az orvosi ellenőrzés miatt kell felkeresniük orvosukat, és sokszor ehhez nagy távolságokat kell megtenniük. Eddig több, mint 60 ezer betegnél használtak Medtronic gyártmányú gyógyszeradagoló pumpát a világon [6]. A feladat egy olyan megbízható telemetrikus rendszer kiépítése, amely mobiltelefon segítségével lehetővé teszi, hogy az adott implantátum adatai távolról hozzáférhetők és elemezhetők legyenek, illetve esetlegesen ugyanilyen módon a gyógyszeradagoló pumpa újraprogramozásával a terápia biztonságosan módosítható legyen. Egy ilyen rendszer kidolgozása után természetesen más orvosi eszközök telemetriája és távfelügyelete is könnyebben megoldhatóvá válna. A dolgozat az eredményeket a következő fejezetbontásban mutatja be:

- **2. fejezet (A bionika rokonterülete, a telemedicina):** ismerteti a bionikához kapcsolódó telemedicine fogalmát, általános megjelenését és szolgáltatásait az egészségügyben, valamint a mérnöki aspektusból releváns jellemzőket távgyógyászati rendszerek esetén;
- **3. fejezet (A bionika harmadik platformja, a testközeli érzékelő hálózatok):** felvázolja a bionika egyik pillérét, a testközeli érzékelő hálózatok alapjait, bemutatja az architektúráját, az alapvető felhasználási területeit és ismerteti az ezeket érintő kihívásokat;
- **4. fejezet (Okostelefonok központi szerepe a bionikában):** bemutatja az okostelefonok szerepét a bionikában, a készülékek szenzoriális felszereltségét, a hardvergyártók csúcskészülégeit, valamint áttekinti a jelenleg elérhető és koncepcionális orvosi és bionikai alkalmazásokat;
- **5. fejezet (Okostelefonnal támogatott távjelenlét orvosi implantátumokhoz):** ismerteti az orvosi implantátumokhoz tervezett, mobiltechnológián alapuló, távjelenléti rendszer részeit, használatát, megvalósítását, egyes részeinek teljesítőképességét, továbbfejlesztésének lehetőségeit;
- **6. fejezet (Összefoglalás):** összefoglalja a dolgozat elért eredményeit.

2. fejezet

A bionika rokonterülete, a telemedicina

A biotechnológia, a gyógyszeripar, az orvosi műszergyártás, diagnosztika és az infokommunikációs technológiák egy sajátos találkozási pontján, mint új csúcstechnológia jelenik meg a **bionika**, mely pár év múlva átalakítja az egészségipar technológiáit. A bionika a „biológia” és az „elektronika” szavak összetételéből keletkezett, olyan tudományterület, amely az élő anyag és a villamosmérnöki diszciplínák találkozásánál jött létre. A bionika 5 platformja: i.) az orvosbiológiai képalkotó eljárások, ii.) az egy chip-re integrált komplex laboratóriumi feladatokat megoldó rendszerek, iii.) a bionikai interfészek és testbe épített szimbiózisok, iv.) a protézisek és más rehabilitációs eszközök, valamint v.) a testközeli érzékelő-rádiókommunikációs hálózatok.

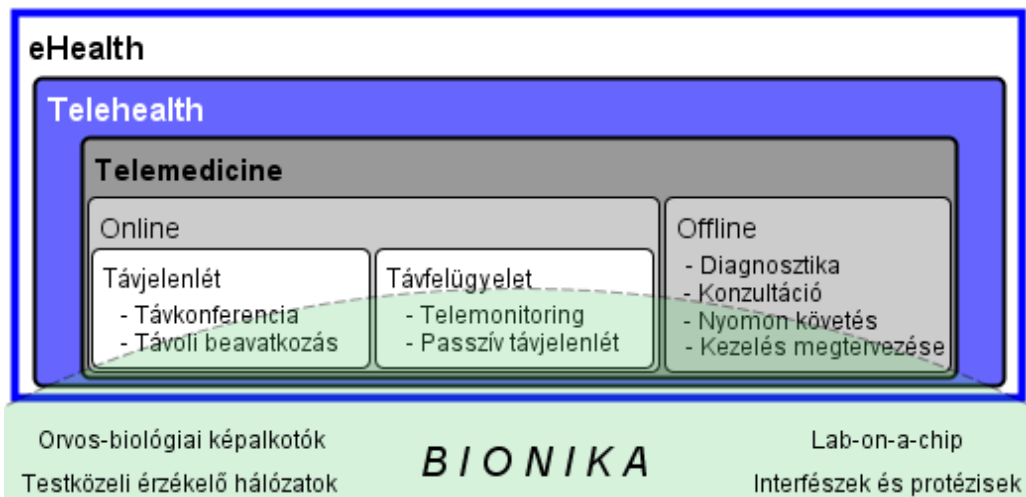
A fejezet az alábbi felosztást követi:

- **2.1. alfejezet (A telemedicina koncepciója):** a telemedicina felosztása és kapcsolata más tudományterületekkel, bemutatja a szolgáltatások főbb kategóriáit, az ezekhez használt adatátviteli sémákat, valamint az egyes orvosi területekhez köthető jellemzőket;
- **2.2. alfejezet (A telemedicina társadalmi hatása):** bemutatja a telemedicina társadalmi szükségszerűségét, és jelentőségét a fejlődő társadalmakban;
- **2.3. alfejezet (A telemedicina mérnöki megközelítése):** részletezi a telemedicinában használt standard architektúrát.

2.1. A telemedicina koncepciója

Napjainkban a gyógyászat és az orvoslás elképzelhetetlen lenne informatikai háttér nélkül. Olyannyira igaz ez, hogy önálló területek alakultak ki az orvostudomány és a számítástechnika határán. Ennek legáltalánosabb és mindent átfogó elnevezése az **eHealth**. A Bionika és az eHealth egymáshoz közelálló fogalom, néhol átfedés is jellemző. Az eHealth az elektronikus egészségügy, minden ez alá sorolható, aminek köze van az egészségiparhoz, és az elektronikához. Ide tartozhat akár egy patika betegei számára weben elérhető gyógyszeradatbázisa, vagy egy kórház számítógépes hálózata, de egyes orvosi műszerek is. Az e-egészségügy egyik nagy szegmense a

telehealth. Nehéz egyértelmű definíciót adni, leginkább úgy lehet megfogalmazni, mint infokommunikációs technológiák használatával egészségügyi adatok szállítása, klinikai, adminisztratív és oktatási célból. A **telemedicine** ezzel rokon fogalom, de itt kifejezetten orvosi adatok továbbítása a cél [7]. (A szakirodalom nem egységes terminológia szempontjából, néhol szinonimaként használják a két fogalmat.) A telemedicine úgy fordítható, mint távorvoslás, távgyógyászat; és szoros kapcsolatban áll az egészségügyi információs technológiával (HIT – Health Information Technology). A HIT inkább az elektronikus orvosi adatok rögzítésével, tárolásával foglalkozik, míg a telemedicine inkább ezen adatok szállításával, továbbításával. A telehealth alá tartozik az **mHealth** (mobile-Health), amely mobiltelefon segítségével megvalósított telemedicine szolgáltatásokat jelent. Kiemelten fontos terület, a WHO szerint ígéretes lehetőségek rejlenek benne a fejlődő országok számára. Az 1. ábra bemutatja a telemedicine egy felosztását és helyét az eHealth-ben, valamint kapcsolatát a bionikával.



1. ábra. Telemedicine osztályozása

A telemedicine osztályozható a páciens és az orvos közötti interakció, valamint az átvitt információ alapján. Az interakció típusa szerint megkülönböztetünk valós idejű és offline kapcsolatot. Az információ fajtája lehet hang, szöveg, fotó, videó, stb. A telemedicinában résztvevő szereplők alapján is készíthető csoportosítás, nemcsak orvos és páciens közötti adatcsere képzelhető el, néhol a cél az orvosi konzílium távoli megvalósítása, és esetenként a betegek egymásközi kommunikációjára is van igény. A **mindenütt jelenlevő egészségügy** nagyon ígéretes lehetősége a pervazív egészségfelügyelet, amely a testközeli érzékelő hálózatok és a távgyógyászat kapcsolatának köszönhető. A Wireless Sensor Network technológia használata a orvos-biológiai tartományban három jelentős területen biztosíthat egészségügyi megoldásokat, úgy mint i.) krónikus megbetegedések kezelése, ii.) idősgondozás, iii.) életstílus monitoring [8].

2.1.1. Telemedicina szolgáltatások

A telemedicina szolgáltatásai sokfélék: a *specialistát ajánló szolgáltatások* a beteg tünetei alapján ajánlanak megfelelő szakorvost; a *telekonzultációs szolgáltatások* megfelelő telekommunikációs eszközökkel teszik lehetővé a beteg és az orvos

közötti távjelenlétet; a *távoli betegmonitorozás* segítségével folyamatos terápiakövetés valósítható meg, egy-egy specifikus életjel vizsgálatával (vércukor tartalom, ECG, stb.); de ide tartoznak még a *gyógyászati oktatás és a fogyasztói egészségügyi és orvosi információk* közzétételi szolgáltatásai is. Ezen szolgáltatások részletes jellemzői a következők [9]:

- i) **Elsődleges ellátás és szakorvos ajánlás:** nem sürgős esetekben az orvosi konzultáció akár távolról is megvalósítható. Az ilyen szolgáltatások koncepciója, hogy a beteg bármely nem túl súlyos tünet észlelése után konzultálhat orvosával interaktív video-telefon formájában, bevonva esetleg más telemedicine megvalósításokat (pl. diagnózishoz szükséges életjelek továbbítása). A kezelő, elsődleges diagnózist tud mondani, és (további) tanácsokkal látja el a páciens, szükség esetén szakorvost ajánl. Ezen szolgáltatások nagy előnye, hogy a konzultáció könnyebben és gyorsabban végbemegy, egyik félnek sem kell utazással időt tölteni.
- ii) **Távoli páciens monitorozás:** ezen szolgáltatások általában meghatározott életjelek rendszeres mérésén és távoli megfigyelésén alapulnak (pl. vércukormérés, EKG mérés). Az infrastruktúra szempontjából a legfontosabb kérdés az otthoni mérésadatgyűjtő és az adatkapcsolat minősége. Kiegészítő szolgáltatás lehet a rendszeresen látogató ápolók munkájának megkönnyítése.
- iii) **Fogyasztói orvosi és egészségügyi információk:** ezen szolgáltatások célja elsősorban az érdeklődők információhoz juttatása egyes betegségekkel, gyógymódokkal, életmód javító és egészségmegőrző kezelésekkel kapcsolatban. Az elsődleges közeg az internet, lehetőség van a peer-to-peer kommunikációra és vitafórumok olvasására is, melyre a társadalom és a páciens közösség egyre nagyobb igényt mutat.
- iv) **Orvosi oktatás,** melynek célja a szakemberek fejlesztése, orvosok továbbképzése. A szolgáltató közeg főleg az internet, a gyakorlati munkát nem igénylő, elméleti tudásanyag nagyon könnyen továbbítható ilyen formán, például egészségügyi dolgozók számára továbbképzések, úgynevezett webináriumok tartások.

2.1.2. Adattranszfer sémák

A távgyógyászati szolgáltatásoknál különböző adatátviteli megoldásokat használnak, annak megfelelően, hogy a körülmények figyelembevételével, melyik bizonyul a legjobbnak. Fontos szempontok: a megbízhatóság, gyorsaság, fajlagos költségek, könnyű kezelhetőség, stb. A használatos adatközzetítő megoldások elsősorban az alkalmazott topológiában térnek el egymástól [9]:

- **Hálózatos megoldások:** kórházak, klinikák, közösségi egészségügyi központok összekapcsolása vidéki vagy külvárosi területeken. A kapcsolatokat használhatják a dedikált, nagy sebességű vonalakat.
- **Pont-pont kapcsolat:** kórházak és klinikák által használt, nagy sebességű privát hálózatokkal ezen intézmények direkt szolgáltatásokat nyújtanak, vagy független egészségügyi szolgáltatóknak kiszervezik ezt a lehetőséget. (Ilyen kiszervezett szolgáltatásokkal találkozhatunk például a radiológia, stroke észlelés, mentál egészség területén.

- **Monitoring központok:** topológiája szerint egy-sok kapcsolat, főleg szív-, tüdő-, vagy magzatmegfigyelésnél használatos, de más olyan szolgáltatások is kötődnek ide, ahol lehetőség van otthoni gondozásra, kezelésre. A vezetékes és wireless technológiák egyaránt használatosak, általában direkt kommunikáció a beteg és a központ között, de némely rendszer hagyományos internet kapcsolatot használ.
- **Web alapú e-health szolgáltatások:** Főleg a fogyasztók számára nyújt információkat a megvásárolható szolgáltatásokról. Hátránya, hogy sokszor nem eléggé biztonságos, előnye, hogy gyakorlatilag mindenki elérhető általa.

2.1.3. A telemedicina felosztása orvosi területek alapján

A távgyógyászat az orvoslás minden területére kiterjed, a következő felsorolás a teljesség igénye nélkül mutat be ezek közül olyanokat, amelyek mérnöki szempontból érdekes kihívásokat rejtenek.

- **Teledermatológia:** amelynek lényege, hogy a bőrgyógyász a diagnózis felállításához szükséges adatokat (személyes adatok, jó minőségű fotó vagy videó felvétel az érintett bőrfelületről) kér a betegtől valamely telekommunikációs csatornán keresztül (pl. email, videotelefon), ezután értesíti a pácienszt a teendőről, a szükséges gyógyszerekről. Magyarországon is létezik már ilyen szolgáltatás.
- **Telepatológia:** amely a szövetek távoli vizsgálatát jelenti. A kórtan területén is szükséges az orvosi konzílium, a bevett módszer az egyszerű postai úton történő továbbítás ahhoz, hogy a szövettani metszetek minden kollégához eljuthassanak. A telepatológia lehetővé teszi, hogy a szövetmetszetek egy helyen kerüljenek digitalizálásra (praktikusan a mintavétel helyén) nagy felbontású szkennerek segítségével, majd a digitális adatok tárolása után azok szabadon megoszthatók. Így lehetővé válik, hogy ugyanazt a mintát, akár egymástól nagy távolságra levő orvosok, egyidejűleg vizsgálhassák, és videokonferencia segítségével a konzílium is lebonyolítható.
- **Távsebészet:** itt általában robotsebészetről lehet beszélni, mivel leggyakrabban a páciens és az orvos egy térben vannak, de az operáció egy robot közreműködésével zajlik. Fontos, hogy az általánosan elterjedt megközelítésben a robot nem dönt, csak végrehajtja a kezelő által kiadott utasításokat. 1985-ben az első agyi biopsziát egy robot (Unimate PUMA 220) végezte. A sebész robotok egyik leggyakoribb alkalmazása az ízületi protézisek beültetésénél van. Ilyenkor a protézist nagyon precízen kell a csontokhoz rögzíteni, ezért célszerű robotot használni erre a feladatra. A belgyógyászatban olyan feladatokra, ahol hagyományosan laparoszkópos eljárással műtenek, szintén jól teljesítenek a sebészrobotok, a legismertebb eszköz erre a feladatra a da Vinci gép [10]. Vannak próbálkozások a neurológiában is, agy- és gerincvelőműtétekre fejlesztették a Neuromate robotot. Az első transzatlanti teleoperációt 2001. szeptember 7-én hajtották végre egy Zeus robottal, az orvos New Yorkban végezte a műtétet, míg a páciens 7000 km-rel távolabb, Strasbourgban feküdt a műtőben [10].
- **Telekardiológia:** ez a terület főleg az ECG jelek távoli elérésével foglalkozik, de az elektromos sztetoszkóp felvételeinek továbbítása is ide tartozik. Egyre

több elérhető szolgáltatás jelenik meg az otthoni gondozás célját szem előtt tartva. A Medtronic Carelink például egy olyan rendszer, amely szívritmus-szabályzóval élő beteg számára nyújt kényelmes, otthonról végezhető ellenőrzést [11]. A páciens (kezelőorvosa felszólítására) az otthoni mérőegység mérőfejet a pacemakeréhez tartja, majd a készülék a begyűjtött adatokat vezetékes telefonvonalon juttatja el a monitoring központba. Magyar vonatkozás a telekardiológia területén a GSM modullal rendelkező EKG gépet gyártó Innomed Medical Zrt.

- **Teleradiológia:** az orvosi képalkotás (röntgen, CT, MR, PET, SPECT, stb.) során keletkezett egészségügyi adatok továbbítása, távelérése. Lehetővé teszi, hogy intézmények között megosszák egy-egy páciens digitalizált felvételeit, így elősegítve egy távolról megvalósított orvosi konzílium hatékonyságát.

2.2. A telemedicina társadalmi hatása

A telemedicine rohamos fejlődése három alapvető haszonból adódik [9]:

- i) **Jobb, könnyebb hozzáférés:** több mint 30 éve a telemedicine egészségügyi szolgáltatásokat juttat távoli helyeken élő páciensek számára, nemcsak a betegek életét könnyítve meg ezzel, de az orvosok számára is lehetővé téve a távoli munkavégzést.
- ii) **Költséghatékonyság:** az egészségügyi költségek csökkentése a telehealth egyik jelentős sikere, növekvő hatékonyság a krónikus megbetegedések kezelésénél, megosztott szakértői erőforrás, kevesebb utazással töltött idő, kevesebb és rövidebb kórházban töltött idő.
- iii) **Társadalmi igények:** a telemedicina szolgáltatásai iránt egyre növekszik az igény, ezen alkalmazások nemcsak a közvetlen igénybevevők számára nyújtanak szolgáltatást, de a páciens családja és közössége is hasznélvező. Csökkenti a betegek utazással töltött idejét, és a kezelés során bekövetkező stresszt. Az elmúlt 15 év esettanulmányai mind az elégedettségről tanúskodnak. A távgyógyászat lehetőséget adhat olyan betegek számára is, akik enélkül nem részesülhetnének megfelelő ellátásban.

A telemedicine szolgáltatások a **fejlődő országokban is jelentősek** [12]. Indiában a kormány SMS alapú szolgáltatásokat használ az egészségügyi kampányok lebonyolítására, amelyek nagy előnye, hogy viszonylag olcsó és nagyon sok emberhez elér. Bangladesben az Egészségügyi Minisztérium szorgalmazta, hogy SMS alapú tanácsadó szolgáltatás kerüljön bevezetésre a várandós nők tájékoztatása céljából. Ghánában a becslések szerint 2000 orvos szolgál ki közel 24 millió lakost, ezért szükség van egy megbízható kommunikációs rendszerre, az egymás közti konzultációkhoz és a betegekkel való kapcsolattartáshoz. A new yorki egyetem és a ghánai mobiltelefon szolgáltató kidolgozták és elindították a Mobile Doctors Network (MDNet) szolgáltatást 2008-ban, melynek keretében ingyenes mobil-mobil kommunikációt biztosítanak az orvosok számára. Ezen példák is mutatják, hogy a mobiltechnológia olyan lehetőségek reményét hordozza magában, amelyekhez hagyományos orvoslás útján a fejlődő országokban élők nem juthatnának hozzá.

A World Health Organization két globális felmérést készített az eHealth témakörében, az elsőt 2005-ben, a másodikat 2009-ben. A 2012. februárjában kiadott

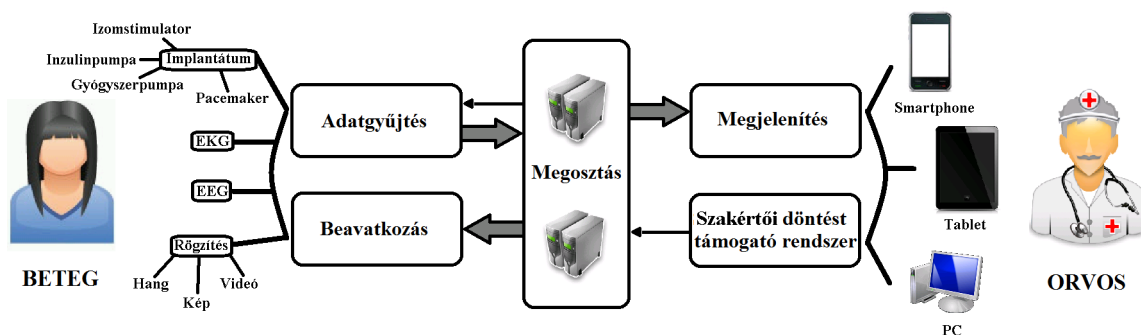
Legal frameworks for eHealth tanulmányban pedig a felmerülő etikai és jogi kérdéseket vizsgálják. A 2009-es WHO global survey egyik eredménye [13]: a felmérés a telemedicina 4 legelterjedtebb területét vizsgálta, úgy mint teleradiológia, telepatológia, teledermatológia, telepszichiátria; ezek elterjedése és fejlettségi szintje az 1. táblázatban olvasható. A stabil, kiépített szolgáltatások közül a teleradiológia az élenjáró. A telemedicine szolgáltatások sokkal kevésbé előrehaladottak a közepes feletti, alatti és alacsony jövedelmű országokban, mint a magas jövedelműekben. Az afrikai és kelet-mediterrán régiókban a legkisebb a kiépített telemedicine szolgáltatások aránya.

1. táblázat. A négy leggyakoribb telemedicine szolgáltatás globális megvalósítási rátája

	Kiépített	Kísérleti	Informális	Egyik sem	Összesen
Teleradiológia	33%	20%	7%	2%	62%
Telepatológia	17%	11%	9%	4%	41%
Teledermatológia	16%	12%	7%	3%	38%
Telepszichiátria	13%	5%	5%	1%	24%

2.3. A telemedicina mérnöki megközelítése

Mérnöki szempontból nagyon érdekes a telemedicine architektúrák egyes részei. Általánosságban elmondható, hogy a távgyógyászatban mindig szerepel *adatgyűjtés*, *adatmegosztás*, *megjelenítés*, valamint szükség esetén *beavatkozás*. A dolgozat fókuszában az orvos - beteg kommunikáció áll, de ezenkívül megkülönböztethető (a telemedicinában résztvevő szereplők alapján) orvos - orvos és beteg - beteg kommunikáció is.



2. ábra. A telemedicina általános architektúrája

A telemedicine architektúra általános részei:

- **Adatgyűjtés:** távgyógyászat során gyakran valamely életjel monitorozása történik, így szükséges egy megfelelő mérőműszer (elegendően pontos szenzorral), valamint egy mérési adatgyűjtő, amely kumulálja az adatokat. Az életjel monitorozásban az általános koncepció a testközelű érzékelő hálózatok használata (BSN vagy BAN - Body Sensor Network és Body Area Network). Ezek olyan hálózatok, amelyek a páciens közvetlen közelében helyezkednek el, és gyakran a testen vagy a testen viselve hordható egységekből állnak.

Topológiától függően többféle elrendezés lehetséges, de a standard kialakítás egy központi mérésadatgyűjtő és egy (vagy több) testközelű szenzor. A szenzorok lehetnek implantátumok, apró beágyazott rendszerek, amelyek "lát-hatatlanok" a hétköznapi élethelyzetekben. Az általuk kialakított hálózatot jellemzően valamely vezeték nélküli technológia adja (pl. bluetooth, zigbee). A mérési adatgyűjtésre kézenfekvő megoldást nyújtanak a folyamatosan testközelben lévő okostelefonok, PDA-k. A mérésadatgyűjtő személyi szerverként (PS - Personal Server) működik, összegzi a szenzoradatokat és továbbítja az adatmegjelenítőnek.

- **Megosztás:** a kommunikációs csatorna lehet vezetékes vagy vezeték nélküli. Vezetékes esetben a közeg lehet telefon, internet, vezeték nélküli esetben pedig valamely rádiós közeg (pl. GSM rendszer, 3G). Fontos szempont az átviteli közeg sebessége és megbízhatósága, valamint a használt topológia is, de erről bővebben a 2.1.2. alfejezetben (Adattranszfer sémák) olvasható leírás. Az adatgyűjtéshez kapcsolódó előfeldolgozás és tömörítés folyamata azért fontos, mert nem mindegy, hogy a megosztás során mennyi adatot kell szállítani.
- **Adatmegjelenítés:** felosztható úgy mint, rögzített és hordozható adatmegjelenítő eszköz. A leggyakrabban közönséges PC tölti be ezt a szerepet, de mostanság lehetőség van tabletre vagy okostelefonra is. A mobilitás az orvosok számára is előny, kényelmesebb, ha a betegeket bárhol is elérhetik. A megjelenítésnél nagyon fontos a helyes vizualizációs technikák alkalmazása, hisz nem mindegy, hogy egy adathalmazból a magasabb vagy az alacsonyabb prioritású információt észleli előbb a kezelőorvos.
- **Szakértői döntést támogató rendszer:** nem alapvető része a telemedicina architektúrájának, de egyre több alkalmazás használ egyre komplexebb döntést segítő algoritmusokat, főleg az orvosi képalkotás területén (pl. teleradiológiai, telepatológiai megoldásokban).
- **Beavatkozás:** nem mindig szükséges, de van olyan telemedicine architektúra, ahol lényeges elem az adatértelmezés utáni beavatkozás (pl. implantátumok távfelügyelete esetén a beállítások megváltoztatása). Aktuátorok használatával lehetőség van az ellenőrzött életjel módosítására.

Mérnöki szempontból további érdekes kérdés az akkumulátor üzemidő, amely főleg adatgyűjtés és beavatkozás oldalon nagyon lényeges, mivel a szenzor és aktuátor készletet magába foglaló beágyazott rendszerek esetén a teljesítmény 50%-a a rádiós kapcsolatban használódik fel [8]. A páciens életminősége szempontjából nem mindegy, hogy az alkalmazott implantátumot milyen gyakran kell cserélni, ezért törekedni kell a lehető leghosszabb élettartamra; ez nem számottevő olyan távgyógyászati területeken, ahol kép és hang átvitele történik, de nincs testen viselt, vagy testbe ültetett eszköz.

A hardver- és szoftverfejlesztés területén fontos a megbízhatóság kérdése, az adatok vesztésmentessége, konzisztenciája, védelme. A kriptográfiai szerepe nagy, ma még sok implantátum az adatokat titkosítatlanul küldi a programozó felé, pedig egy adatlekérdezés támadó szándékkal is történhet. Bizonyított, hogy viszonylag könnyen készíthető olyan eszköz, mellyel nem túl nagy távolságból átprogramozható, sőt akár ki is kapcsolható egy orvosi implantátum, azaz a szándékos károkozás lehetősége még nincs kivédve [14].

3. fejezet

A bionika harmadik platformja, a testközeli érzékelő hálózatok

A vezeték nélküli érzékelő hálózatok egyik intenzíven kutatott területe a testben ill. a testközelben elhelyezett hálózatok (Body Sensor Networks, BSNs), amelyek többnyire orvosi ill. egészség-megőrzési alkalmazásokban jelennek meg. Egy BSN hálózatban jellemzően különféle érzékelőkből (pulzus, EKG, légzésszám, hőmérséklet, etc.) származó mérési adatok számára kell (nagy megbízhatóság és kis késleltetés mellett) egy a testen elhelyezett központi egységhez rádiós adatátvitelt biztosítani. A BSN protokoll tervezésének ill. alkalmazások kifejlesztésének legfontosabb kihívását az energia és számítási kapacitások limitáltsága jelenti. Ugyanakkor az elmúlt években a szenzortechnológia és a mikroelektronika területén megfigyelhető fejlődésnek köszönhetően a szenzornodeok érzékelési, számítási és memóriakapacitása nagymértékben megnövekedett, ami közvetlenül a BSN alkalmazások széleskörű megjelenéséhez fog vezetni. Ezt a folyamatot tovább erősíti a központi egység szerepében megjelenő okostelefonok robbanásszerű fejlődése és elterjedése (ld. 4. fejezet).

A fejezet az alábbi felosztást követi:

- **3.1. alfejezet (A BSN alapjai, architektúrája):** a testközeli érzékelő hálózatok alapjainak felvázolása, az alapvető felhasználások és az architektúra bemutatása;
- **3.2. alfejezet (Technológiai kihívások):** a BSN rendszereket érintő technikai kihívások bemutatása.

3.1. A BSN alapjai, architektúrája

Tekintettel arra, hogy a WSN hálózatokon alapuló alkalmazásokhoz képest a BSN hálózatok egy szűkebb alkalmazási területre fókuszálnak (ld. 3.1.1. alfejezet), a hálózattal szemben támasztott követelmények és az architektúra (ld. 3.1.2 alfejezet) is specifikusabbak. Ugyanakkor a protokolltervezést ill. alkalmazásfejlesztést a WSN hálózatoknál megszokott mérnöki feladatok mellett újabb kihívások határozzák meg (ld. 3.2 fejezet).

3.1.1. Felhasználási területek

A testközeli érzékelő hálózatok széles körben felhasználhatók, ezeket a felhasználási lehetőségeket négy kategóriába sorolhatjuk:

- **Krónikus betegek megfigyelése:** a BSN technológia folyamatos megfigyelést biztosít a különböző krónikus betegségekből (pl. asztma, cukorbetegség, epilepszia, szabálytalan szív működés) szenvedő betegek számára. A szívrendellenesség (mint például a **szívpitvari fibrilláció**) jelenléte igen jelentős az öregedő társadalomban. A 60 év feletti népesség 4 százalékánál figyelhető meg, a 80 év felettiekénél pedig már 9 százalékban van jelen [15]. A diagnosztikus vizsgálat (pl. EKG) után megindul a kezelés az olyan hosszabb távú problémák elkerülése végett, mint a tachikardia (kórosan szapora szív működés), a kardiomiopátia (szívizom hibája) és a stroke. A BSN olyan megoldásokat kínál, melyekkel jóval korábban ki lehet szűrni a szívrendellenességeket, monitorozni lehet a beteg állapotának változását, ill. a kezelésre adott reakcióját.

A **magas vérnyomás** egy másik jelentékeny szív- és érrendszeri betegség, amely az Egyesült Államokban 50 millió embert érint [16]. A magas vérnyomás tüneteinek negligálása súlyos következményeket vonhat maga után, a látás gyengülésétől kezdve a szívbénulásig, számos szövődményt okozhat. Az Egyesült Államokban évente nagyjából 300 ezer ember veszti életét szívbénulásban [17]. A magas vérnyomás korai kiszűrése rendkívül fontos, hogy minél hamarabb meg lehessen kezdeni a megfelelő kezelést. A terápia során a betegnek sok esetben igen frekvenciát kell meglátogatnia az orvost, hogy megmérjék a vérnyomását. Igaz, hogy jó ideje elérhető már a házilag is használható vérnyomásmérő felszerelések, de ezek sikeres használata erősen függ a betegtől. A testközeli érzékelő hálózatok ezekkel szemben olyan lehetőségeket biztosítanak, amelyek mind a beteg, mind az orvos számára kényelmesebbek, ráadásul a beteg a normál, mindennapi tevékenységei során is megfigyelés alatt lehet.

A **cukorbetegség** egy olyan krónikus progresszív betegség, amely kezelés nélkül súlyos következményeket okoz. Az Egyesült Államokban 21 millió cukorbeteg van, a 20 és 74 évesek között pedig a diabetes a vakság leggyakoribb kiváltó oka [18]. A BSN rendszerek nem csak a vércukor szintjét monitorozzák az implantált glükóz szenzorok segítségével, hanem inzulinadagolásra is alkalmazhatók.

A fentebb felsorolt krónikus betegségeken kívül sok egyéb esetben is bizonyult hasznos a testközeli érzékelő hálózatok használata. Ilyen betegségek lehetnek: iszkémiás szívbetegség, rák, asztma, Parkinson-kór, Alzheimer-kór, reumás ízületi gyulladás, vese elégtelenség, érbetegség és egyéb fertőző betegségek.

- **Kórházi betegek monitorozása:** a kórházakban rengeteg beteget kezelnek különböző súlyosságú problémákkal, akik az adott betegségtől függően más-más intenzitású megfigyelést igényelnek. Valamikor egy nap csak párszor kell ránézni a betegre, valamikor óránként, egyes esetekben pedig folyamatos monitorozásra van szükség. Ez jelentheti az életjelek vizsgálatát, vagy

annak megállapítását, hogy a beteg öntudatánál van-e és tud-e szóban válaszolni. Az életjelek ellenőrzése manuális vizsgálatot és dokumentációt követel meg, amely ki van téve az emberi hibának, ennek automatizálása jelentősen megkönnyítené a kórházi szakemberek munkáját.

További fejlesztési irány, hogy a betegek egy mindent átható megfigyelő rendszerrel legyenek ellátva, amely lehetővé teszi az orvosok számára, hogy eddig nem tapasztalt gyorsasággal felállítsák a diagnózist, ezáltal előrevetítve a történéseket, és esetlegesen az elvárásokkal ellentétes eseményekre is reagálni tudjanak.

- **Rehabilitáció és életmód megfigyelése:** egy betegség utáni felépülés közvetlenül felügyelhető a testgyakorlatok hosszú távú nyomon követésével. Gyakorlatilag ugyanez a módszer alkalmazható a sportolásnál is, ahol az edzésstatisztikák folyamatos megfigyelésével könnyedén követni lehet a fejlődést és személyre szabott edzésterveket lehet készíteni.

A helyes életmódhoz érdemes figyelni az ezzel kapcsolatos különböző egészségügyi állapotokat, a testtömegindexet, a vércukorszintet, a vérnyomást és a koleszterinszintet. Ez különösen érdekes olyan esetekben, amikor a személy genetikai okok miatt veszélyeztetett.

- **Fejlett idősellátás:** az orvostudomány fejlődésének köszönhetően az átlag emberi élettartam megnövekedett, amely komoly társadalmi kihívást jelent: az öregedő társadalom problematikáját. A megfigyelés alatt tartás, a mozgás és elesés érzékelése, a gyógyszerbevitel monitorozása és az aktuális pozíció követése kényelmesebbé teheti az otthonlétet az idős emberek számára, akik így könnyebben élhetnek önállóan.

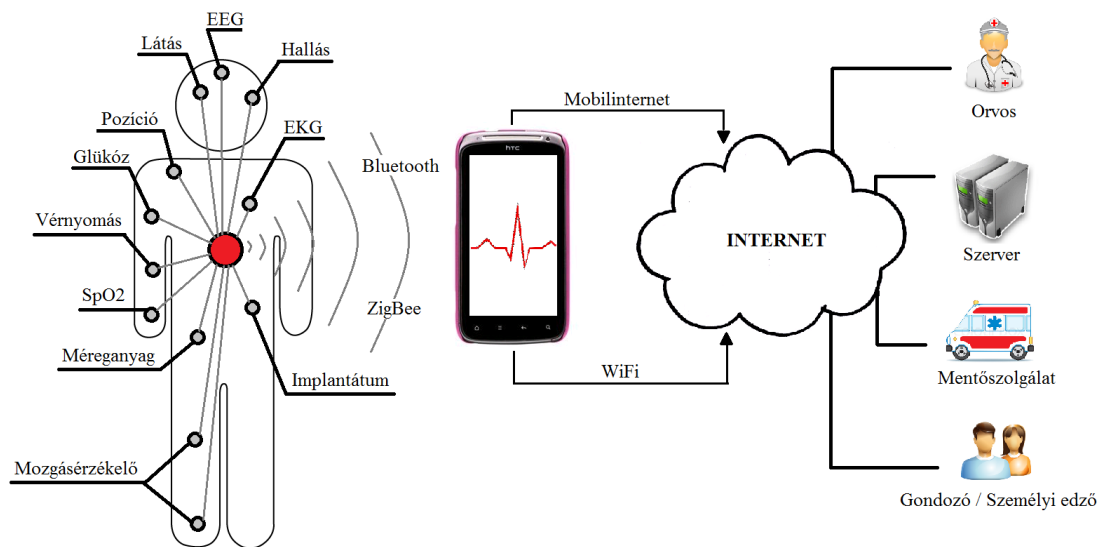
Tanulmányokkal alátámasztott tény, hogy az év annak a részében, amikor szélsőséges időjárási viszonyok vannak, az idős emberek nagyobb eséllyel kérnek kórházi felvételt. Ezek potenciálisan elkerülhetők lennének, ha egy rendszer már korábban észre tudná venni a beteg hangulatában bekövetkező változásokat, amelyek például egy esetleges fertőzésre utalhatnak. Az ilyen betegség kitörésekor történő változások lehetnek: étvágycsökkenés, kevesebb mozgás, otthonmaradási hajlam. Egy olyan rendszer, amely az életjelek vizsgálatára is képes, detektálni tudja ezeket a tüneteket, ezáltal kevesebb kórházi látogatásra lenne szükség.

Az idős embereknél sokszor megfigyelhető az Alzheimer-kór jelenléte, melynek egyik jellemző tünete a céltalan kóborlás, amely alatt a betegek jobban ki vannak téve különböző veszélyeknek. Könnyebben eleshetnek, megsérülhetnek, vagy eltévedhetnek, mivel ilyenkor nincsenek tudatuknál. Egy pozíciót érzékelő, ill. útvonalát elemző rendszerrel ki lehetne szűrni azt, hogy mikor közlekedik tudatosan a beteg és mikor bolyong céltalanul, és adott esetben riasztást küldhet a rendszer az ápoló személyeknek. Az idős emberek otthoni megfigyelése tipikusan olyan eset, amikor a WSN és BSN rendszerek együtt tudnak működni.

3.1.2. Az architektúra

Egy testközeli érzékelő hálózatnak három rétege van:

- Az első réteg a **szenzorokból áll**, amelyek egy kis processzorhoz és akkumulátorhoz vannak kapcsolva, ezzel megalkotva egy BSN csomópontot. Egy ilyen csomópont az adatok pontos begyűjtéséről gondoskodik és kezdetlegesen fel is dolgozza azokat, majd vezeték nélkül továbbítja azt a lokális feldolgozó egységnek (LTU).
- Az **LTU** a második réteg, ami gyakran egy okostelefon. Ez az összegyűjtött adatokat további feldolgozás alá veti, majd egy központi megfigyelő szervernek továbbítja azokat valamilyen vezeték nélküli hálózaton (LAN, Bluetooth, mobilhálózat) keresztül.
- A harmadik réteg egy **háttérszerver**, amely a nagy számításokat végzi, és az adatokat tárolja.



3. ábra. A testközeli érzékelő hálózatok architektúrája

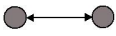
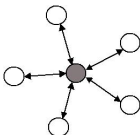
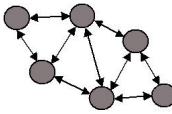
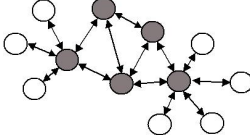
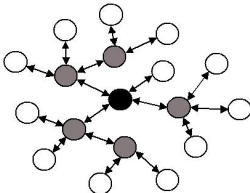
A bioszenzorok olyan érzékelő eszközök, amelyek az emberi test fiziológiai jeleinek érzékelésére alkalmasak. Egy ilyen eszköz három részből áll:

- **biológiai elem** (szövet, mikroorganizmus, sejtszervecske, sejt-receptor, enzim, antitest, stb.);
- **érzékelő elem**, vagy más néven transducer, amely egy olyan jelátalakító elem, amely a fiziológiai jeleket transzformálja át könnyen detektálható elektromos jelekké;
- ezekhez kapcsolódó **elektronika és jelfeldolgozó berendezés**, amely felhasználóbarát formára hozza az eredményeket.

A bioszenzoroknak az alábbi fajtái vannak: EKG biopotenciál szenzor, EMG biopotenciál szenzor, GSR biopotenciál szenzor, termikus szenzorok a testhőmérséklet mérésére, vérnyomásmérésre alkalmazott szenzorok, pulzoximéter optikai szenzor, légzésvizsgáló szenzor, vércukor bioszenzor, a testösszetétel mérésére szolgáló szenzorok, biosound detektor [19].

A szenzor csomópontok különböző topológia alapján helyezkedhetnek el (ez alatt egy logikai kapcsolatot értünk, nem pedig fizikait), ami meghatározza, hogy miként kommunikálnak egymással és milyen módon áramlik az információ a csomópontok között.

2. táblázat. Testközeli érzékelő hálózatok topológiája [20]

Név és ábra	Leírás	Előny	Hátrány
Point-to-point 	Két egyenrangú csomópont közvetlenül összekötve.		
Star 	Egy kitüntetett csomópont van közepén (master), amelyhez más csomópontok kapcsolódnak (slave). Slave csak masterrel kommunikálhat.	- Egyszerű - Alacsony energiafogyasztás - Alacsony késleltetés - Nagy sáv szélesség	- Kis lefedettség - Nem egyenletes energiafogyasztás - Kevés csomópont - Nem hibátűrő
Mesh 	Minden csomópont egyenrangú. Bármelyik kommunikálhat a saját szomszédaival.	- Nagy lefedettség - Sok csomópont - Rendkívül hibátűrő - Energiafogyasztás elosztható a csomópontok között	- Nagy késleltetés - Alacsony sáv szélesség - Komplex routing - Csomópontoknak routing funkcióval kell rendelkezni
Star-mesh hybrid 	Több star topológiájú rendszert kapcsol össze mesh topológiával.	- Nagy lefedettség - Kis késleltetés és nagy sáv szélesség - Magas megbízhatóság - Sok csomópont - Energiafogyasztás kiegyensúlyozható	- Magas komplexitás - Multi-hop kommunikációnál nagy késleltetés és alacsony sáv szélesség - Energiafogyasztás nem kiegyensúlyozott
Cluster tree 	A master csomópontok között van egy kitüntetett gyökérem. Egy elemből bármely másik elemhez csak egy úton lehet eljutni.	- Levél elemek alacsony energiafogyasztása - Nagy lefedettség - Sok csomópont lehetőséges	- Nagy késleltetés - Alacsony sáv szélesség - Aszimmetrikus energiafogyasztás - Kitüntetett master hibája nehézséget okozhat - Csomópontoknak routing funkcióval kell rendelkezni

3.2. Technológiai kihívások

A testközeli érzékelő hálózatok tervezésénél rengeteg technológiai kihívással kell szembenézni. Ezek részben egyeznek a WSN rendszereket érintő kihívásokkal, sok esetben viszont teljesen más szempontból kell ránézni a BSN-ekre.

A testközeli érzékelő hálózatok igen kis területen működnek, azaz amíg egy WSN akár több km-es területet is megfigyel, addig a BSN-ek cm-es és mm-es tartományra korlátozódnak.

A csomópontok terén figyelembe kell venni azt, hogy az adott feladatra melyik topológiai elrendezés az optimális. Mivel általában egy testközeli érzékelő hálózatban viszonylag kevés csomópontot tudunk elhelyezni, így figyelni kell azok minél átgondoltabb kialakítására. A szenzorok alacsony száma miatt arra van szükség, hogy azok minél érzékenyebbek legyenek és a lehető legpontosabb mérést végezzék. Egy csomópont annál jobb, minél több szenzoriális funkciót el tud látni, így nem kell külön csomópontot létrehozni mondjuk az EKG és a gyorsulás mérésére. Tekintve, hogy a különböző csomópontok vagy a test felszínén találhatók meg, vagy implantálva vannak, így mindenképpen törekedni kell a minél kisebb és könnyebb méret kialakítására, hogy a felhasználója kényelmét az ne akadályozza.

A testközeli érzékelő hálózatok esetében az egyik legfontosabb tényező az **energiaigény** és a fogyasztás. Egy implantált bioszenzor energiaforrásának fedeznie kell az érzékelés, a jelfeldolgozás és a kommunikáció energiaigényét. Mivel egy implantált rendszer esetében a hozzáférés minimális, így a készülék, vagy csak az akkumulátor cseréje rengeteg munkával jár, és orvosi beavatkozást igényel. A rendszer kialakításánál a legnagyobb kihívás az, hogy olyan eszközt tudjanak kialakítani, amelynek fogyasztása alacsony és energia terén önellátó. Ezzel nem csak hosszú távú vizsgálati lehetőséget biztosítanak, hanem a fenntartási hozzájárulás is minimalizálódik. Tekintve, hogy a szenzorok vezeték nélkül működnek, így az elem használata kézenfekvő lehetne, de a rövid élettartamuk miatt ez korántsem nevezhető jó megoldásnak. Felmerülhet tehát egyéb energiaforrások használata, mint a testhő, vagy a mozgásból származó energia.

Egy testközeli érzékelő hálózatokat taglaló tanulmányban a szerzők arra az eredményre jutottak, hogy KNOWME névre hallgató rendszerük esetén sokkal nagyobb a csomópontok ellátását vezérlő telefon energiafogyasztása, mint a rendszerhez alkalmazott készen vett szenzoroké [21]. Az adatátviteli módszerek dinamikus kiválasztásával és a használt szenzorok számának adaptív szabályozásával a telefon üzemidejét azonban majdnem 200 százalékkal növelni tudták.

A testközeli érzékelő hálózatok esetében több szempontból is mérlegelni kell az energiafogyasztást. Lehetőség van arra, hogy már a csomópontokon megtörténjen az adatfeldolgozás és így a vezeték nélküli hálózaton keresztül kisebb adatmennyiség átvitelére lenne szükség, ekkor viszont a csomópontok energiafogyasztása nőne meg a rájuk háruló számítási feladatok miatt. Ez a megközelítés abból a szempontból is jó, hogy ha a vezeték nélküli hálózat nem elérhető, vagy alacsony késleltetésű válaszra van szükség, a további funkcionalitás garantálva van, hiszen az adatfeldolgozás helyben történik. Másik szempontból nézve viszont a feldolgozás energiaszükségletével nem kell számolni a csomópontokon, viszont így az adatátvitel energiaigénye nő meg.

Nagyon fontos szempont a rendszer **megbízhatósága** is. Mint korábban már említésre került, a csomópontok, vagy szenzorok cseréje nagy munkával jár, így különösen figyelni kell arra, hogy azok meghibásodása ne következzen be.

Kulcsfontosságú a BSN rendszerek esetében a **biztonság** kérdése. Mivel a beteg adatai bizalmasak, így kifejezetten figyelni kell arra, hogy a kommunikáció megfelelő kriptográfiai eljárásokkal titkosítva legyen, annak ellenére, hogy ennek energiaigénye sokszor elég magas. Úgy kell tehát maximalizálni a biztonságot, hogy közben a rendszer erőforrásainak használata minél kisebb legyen. A kommunikáció biztonságossá tétele létfontosságú, mert egy támadó jellegű beavatkozás (pl. adagolandó gyógyszer mennyiségének jelentős megnövelése) a beteg életébe kerülhet.

A jövő testközeli érzékelő hálózatainak a szenzorok sokaságából származó még több adat feldolgozását kell biztosítaniuk, ahol egy csomópont több szenzoriális műveletet is el tud végezni [8]. Az ezekben használt algoritmusok egyre komplexebbek és egyre magasabb számítási igényűek lesznek. Ugyanakkor viszont alacsony energiafogyasztás mellett kell működniük úgy, hogy külső beavatkozás nélkül akár egy életen keresztül is ki tudják szolgálni a felhasználót. A jövőben tehát a kis energiaigényű szenzorok tervezése igen fontossá válik.

4. fejezet

Okostelefonok központi szerepe a bionikában

Ahogy a második és harmadik fejezetben bemutatásra került, a bionika és a BSN hálózatok jelentős hatást fognak gyakorolni az egészségügyre a következő években. Egy testközeli érzékelő hálózathoz egyrészt szenzorokra van szükség, amelyekkel mérni lehet a testre ható külső hatásokat, másrészt pedig egy olyan készülékre, amely megoldja a hálózatok vezérlését és adatfeldolgozását. Mivel az okostelefonok szenzorokkal jól felszereltek és nagy számítási teljesítménnyel rendelkeznek, ezért képesek a felhasználó napi életvitelének monitorozására, a külső hatások érzékelésére és a testközeli hálózatok vezérlésére.

A fejezet a következő felosztásban olvasható:

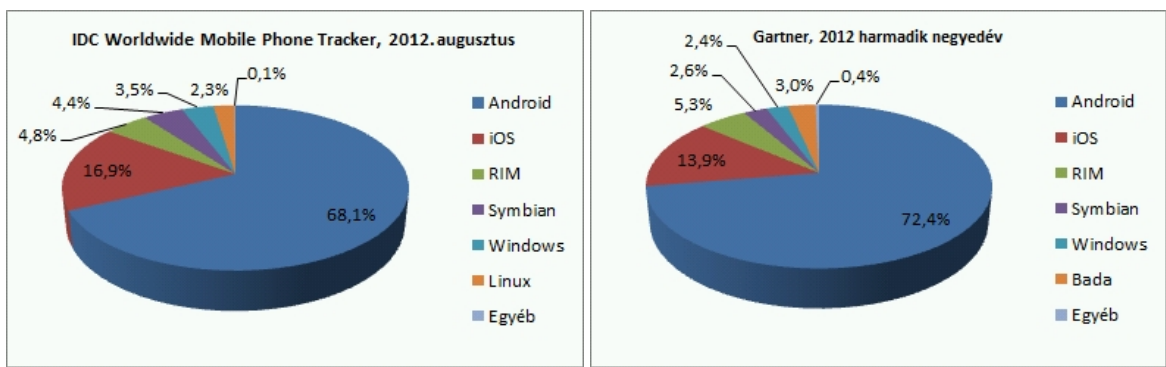
- **4.1. alfejezet (Az okostelefon mint bionika platform):** az okostelefonok megjelenésének, a hardvergyártók csúcskészülékeinek és a készülékekben megtalálható szenzorok áttekintése;
- **4.2. alfejezet (Elérhető bionika alkalmazások okos platformon):** az okostelefonon elérhető bionika alkalmazásokat mutatja be, melyben érintjük az alkalmazás áruházakban fellelhető és az ezen kívüli legfontosabb applikációkat is;
- **4.3. alfejezet (Konceptcionális alkalmazások):** a készülékekben rejlő további potenciál és a konceptcionális alkalmazások bemutatása a bionika alappillérein keresztül.

4.1. Az okostelefon mint bionika platform

Az okostelefonok kialakulása a mobiltelefonok és PDA-k (Personal Digital Assistant) megjelenésére vezethető vissza. Egy idő után a telefonokban kezdtek megjelenni olyan funkciók is, amelyek előtte csak a kézi számítógépekben voltak fellelhetők, ehhez hasonlóan pedig a PDA-k is kezdték adaptálni a telefonok funkcióit. Ezt követően szép sorban egyéb eszközök, hordozható médialejátszók, kamerák és navigációs készülékek funkciói is implementálva lettek. Az eredmény az okostelefon lett.

A 2012-es adatok szerint az emberiség 80 százalékának van mobiltelefonja, ez nagyjából 5 milliárd készüléket jelent (ebből 1,08 milliárd okostelefon), az Egyesült Államokban közel 100 millió smartphonet tartanak számon [22]. A 2012-es év második negyedében közel 154 millió telefon került eladásra, míg a teljes 2011-es évben 491 millió. 10 emberből 9 napi szinten is használja a készülékét [4]. Látható tehát, hogy az okostelefonok térnyerése valóban figyelemre méltó.

Jelenleg a négy legnépszerűbb mobil platform az Android, a Blackberry, az iOS és a Windows Phone. Ezek közül pedig egyedül a Google Androidja nyílt forráskódú. Míg az Apple például eddig mindössze hat készüléket adott ki, addig az Android rengeteg telefont kereskedelmi forgalomba hozott már, mivel több hardvergyártóval is szerződésben van. Többek között ez okozhatja azt is, hogy messze az ő piaci részesedésük a legnagyobb. Ahogy az ábrán is látható, az Android a piac majdnem háromnegyedét uralja, a maradékon pedig az iOS és a többi gyártó osztozik.



4. ábra. Okostelefon operációs rendszerek eloszlása

4.1.1. Szenzorok

Az okostelefonok egyik nagy ereje a szenzorok adta lehetőségekben rejlik. Ezen a téren napról napra fejlődnek a készülékek, egyre pontosabb méréseket tudnak már végezni. Alapvetően három kategóriába sorolhatjuk a szenzorokat, vannak a mozgásérzékelő, a pozícióérzékelő és a környezetérzékelő szenzorok [23]:

- Mozgásérzékelő

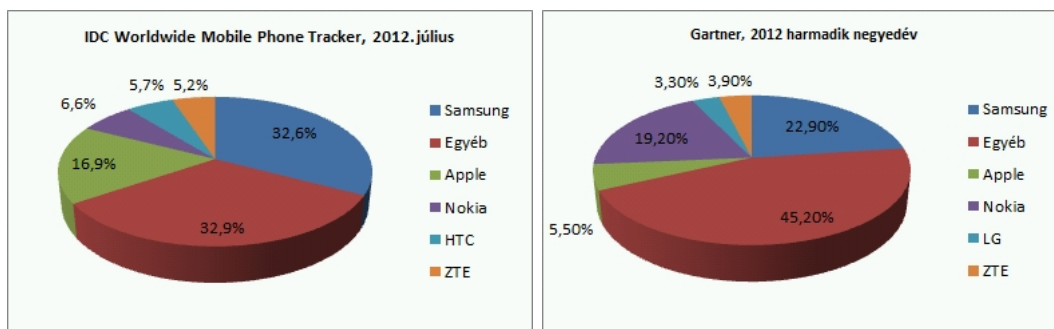
- **Accelerometer:** A gyorsulásmérő megadja $\frac{m}{s^2}$ -ben a készülék gyorsulását mindhárom koordinátára vonatkozólag. Ez minden készülék esetében hardveresen történik. Egyszerű alkalmazás: Mozgásérzékelés
- **Gravity:** A gravitáció nagyságát tudhatjuk meg a három koordinátára nézve, szintén $\frac{m}{s^2}$ -ben. Ez egyes készülékeken hardveresen van megvalósítva, máshol pedig szoftveresen. Ez alatt azt értjük, hogy a szoftver-alapú szenzor ezt a hardver-alapú accelerometer és magnetometer értékeiből számolja ki. Egyszerű alkalmazás: Mozgásérzékelés
- **Gyroscope:** Ez a hardveres szenzor a készülék három koordináta tengelyének szögsebességét mondja meg $\frac{rad}{s}$ -ban. Egyszerű alkalmazás: Forgásérzékelés

- **Rotation vector:** A készülék irányultságát adja meg. Ezt is lehet szoftveresen és hardveresen is számolni. Egyszerű alkalmazás: Mozgás- és forgásérzékelés
- **Pozícióérzékelő**
 - **Magnetic field:** A környezet mágneses mezejének nagyságát nézi, az értéket μT -ban kapjuk meg. Egyszerű alkalmazás: Iránytű
 - **Proximity:** Egy tárgy közelségét adja meg cm -ben, a készülék képernyőjéhez viszonyítva. Egyszerű alkalmazás: Készülék közelsége a fülhöz telefonálás közben
- **Környezetérzékelő**
 - **Ambient temperature:** A környezet hőmérsékletét adja meg *Celsius* fokban. Egyszerű alkalmazás: Levegő hőmérsékletének meghatározása
 - **Light:** A fény erejét határozza meg a lx -ban. Egyszerű alkalmazás: Képernyő fényerejének optimalizálása
 - **Pressure:** Környezet légnyomását méri hPa -ban, vagy $mbar$ -ban. Egyszerű alkalmazás: Légnyomás változásának mérése
 - **Relative humidity:** A levegő páratartalmát adja meg százalékban. Egyszerű alkalmazás: Harmpont meghatározása

Ezek a szenzorok kívül szinte minden okostelefonban megtalálható a mikrofon, a kamera és az érintőképernyő. Az első kettőnek különösen is fontos szerepe van az orvosi alkalmazásokban. Az okostelefon operációs rendszerek által alapvetően támogatott szenzorokon kívül lehetőség van más szenzorok használatára is. A sensordrone névre hallgató készülék például több mérési lehetőséget is biztosít [24]. Található benne elektrokémiai gáz szenzor, amellyel például a levegő szén-monoxid tartalma határozható meg, és oxidáló gáz szenzor is, amellyel többek között ózon, vagy nitrogén-dioxid mérhető. A gáz szenzorokkal a lehelet alkoholtartalma is meghatározható. Infravörös szenzorral egy tárgy hőmérséklete mérhető, továbbá lehetőség van a vörös, zöld és kék színek intenzitásának meghatározására is. A digitális-analóg interfész segítségével pedig további eszközöket is csatlakoztatni lehet a készülékhez.

4.1.2. Hardvergyártók

Az okostelefonok nem csak szoftveres szinten fejlődnek rohamosan, hanem hardverben is egyre erősebbek lesznek. Összehasonlítva például a 2009-ben piacra kerülő HTC Dreamet a három évvel későbbi HTC One-nal, látható, hogy óriási változások mentek végbe: a képernyő felbontása, a processzor sebessége és a memória mérete is megsokszorozódott, nem is beszélve a további rengeteg újításról.



5. ábra. Okostelefon hardvergyártók eloszlása

A hardvergyártók tekintetében már nem beszélhetünk akkora egyeduradalomról, mint az operációs rendszerek tekintetében, mivel az androidos készülékek több gyártó között is megoszlanak, illetve egy gyártó több operációs rendszerű készüléket is piacra dob. A legnagyobb részesedése jelenleg a Samsungnak van, korábban őt követte az Apple, a legfrissebb adatok szerint viszont a Nokia került a második helyre. Itt az egyéb hardvergyártók is rendesen kiveszik a részüket az egészből és látható, hogy a kisebb cégek könnyen el tudnak tűnni az élmezőnyből. A 3. táblázatban a jelenlegi legnagyobb hardvergyártók csúcskészülégeit hasonlítjuk össze [25].

3. táblázat. Csúcskészülékek összehasonlítása (2012)

	HTC One X+	Apple iPhone 5	Samsung Galaxy S3	Nokia Lumia 920	Blackberry Bold 9900
OS	Android 4.1	iOS 6	Android 4.1.1	Windows Phone 8	Blackberry OS 7.0
Súly	135 g	112 g	133 g	185 g	130 g
Képernyő méret	4.7 inch	4 inch	4.8 inch	4.5 inch	2.8 inch
Képernyő felbontás	720x1280 pixel	640x1136 pixel	720x1280 pixel	768x1280 pixel	640x480 pixel
Processzor	Quad core 1700 MHz	Dual core 1300 MHz	Quad core 1400 MHz	Dual core 1.5 GHz	1.2 GHz
Grafikus processzor	ULP GeForce @ 520 MHz	PowerVR SGX543MP3	ARM Mali-400/MP4	Adreno 225	Adreno 205
Rendszer memória	1024 MB RAM	1016 MB RAM	1024 MB RAM	1024 MB RAM	768 MB RAM
Belső memória	64 GB	16 GB	32 GB	32 GB	8 GB
Kamera	8 megapixel	8 megapixel	8 megapixel	8 megapixel	5 megapixel
NFC	✓	X	✓	✓	✓
GSM	850, 900, 1800, 1900 MHz	850, 900, 1800, 1900 MHz	850, 900, 1800, 1900 MHz	850, 900, 1800, 1900 MHz	850, 900, 1800, 1900 MHz
UMTS	850, 900, 1900, 2100 MHz	850, 900, 1900, 2100 MHz	850, 900, 1900, 2100 MHz	850, 900, 1900, 2100 MHz	800, 850, 900, 1700, 1900, 2100 MHz
LTE	X	✓	✓	✓	X

A táblázatból kiolvasható, hogy hatalmas verseny van a hardvergyártók között is és a jelenlegi legjobb készülékeik nem sok dologban különböznek.

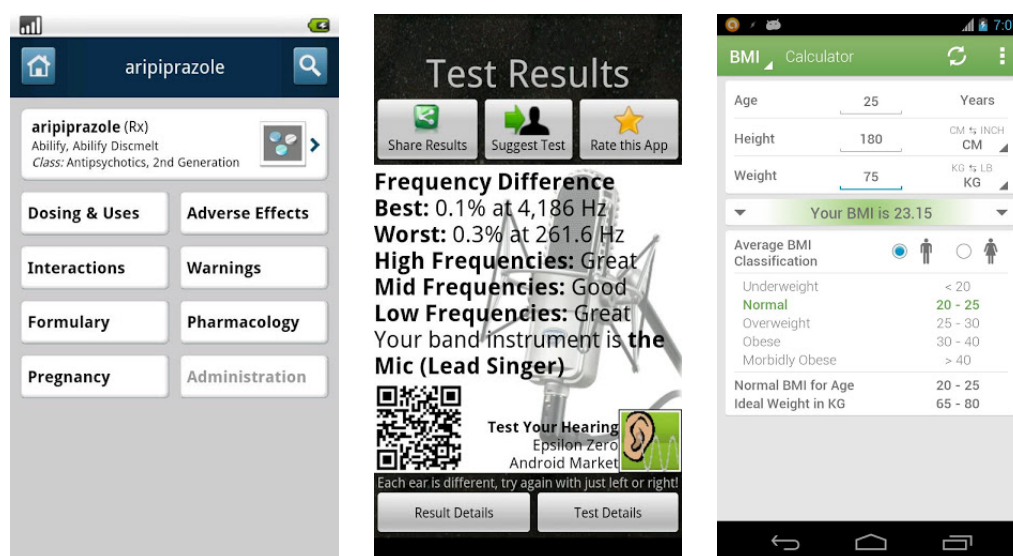
4.2. Elérhető bionika alkalmazások okos platformon

Az okostelefon platformokon fellelhető alkalmazások többféleképpen is csoportosíthatók. Vannak olyan alkalmazások, amelyek esetében nem kell további eszközt csatlakoztatni a telefonhoz és vannak olyanok, amelyeknél ez szükséges. Felosztjuk úgy is, hogy az alkalmazások egy része megtalálható valamelyik okostelefon alkalmazás áruházban, de vannak olyanok is, amelyek pedig úgymond egyéni használatra készültek és nem lettek ilyen módon publikálva. Az alkalmazások funkciója szerint beszélhetünk egészséges embereknek íródott, életmóddal kapcsolatos applikációkról és kifejezetten betegeknek és orvosoknak szólókról is. A továbbiakban a legfontosabb alkalmazások kerülnek áttekintésre.

4.2.1. Alkalmazás áruházak applikációi

Az okostelefon áruházban fellelhető alkalmazások között vannak olyanok, amelyekkel a felhasználó saját egészségügyi állapotát ellenőrizheti. Ezek közül a legfontosabbak (az értékelés után zárójelben a válaszadók száma található) [26]:

- **Szemvizsgáló:** Segítségével a felhasználó el tudja dönteni, hogy meg kell-e látogatnia egy szemorvost.
Letöltés: 100 000+, értékelés: 4.1 (277)
- **Színvakság:** Színvakságot vizsgáló alkalmazás.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 3.6 (1704)
- **Hallás tesztelése:** Az alkalmazás egymás után 25 hangot játszik le, a felhasználónak pedig meg kell mondania, hogy hallotta-e azt, vagy sem.
Letöltés: 100 000+, értékelés: 4.4 (3770)



6. ábra. Orvosi adatbázis, hallásvizsgáló és BMI kalkulátor alkalmazások [26]
Találhatók olyan alkalmazások, amelyek az életmódhoz kapcsolhatók. Segít a felhasználónak egészségesen és fitten tartani magát:

- **BMI kalkulátor:** Ez egy testtömegindex-kalkulátor, amelynek segítségével meg lehet tudni, hogy a felhasználó testtömege ideális-e. Meg kell hozzá adni a nemet, a testsúlyt és a magasságot.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 4.4 (5271)
- **Vércukorszint:** Rögzíteni lehet a napi vércukorszintet és ezzel kapcsolatban statisztikákat nézhetünk meg.
Letöltés: 500 000+, értékelés: 4.5 (4081)
- **Kalória bevitel:** Ezzel az alkalmazással a napi kalória bevitelt lehet naplózni. Több mint 2 millió étel található meg az adatbázisában és többféle edzés hozzáadására is lehetőség van.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 4.8 (251391)
- **Szívrítmus:** Ez egy pulzusmérő alkalmazás, amellyel optimalizálni lehet az edzéstervet és követni a fejlődést.
Letöltés: 5 000 000+, értékelés: 4.3 (92215)
- **Minőségi alvás:** Ez az alkalmazás a készülék gyorsulásmérőjét használja, hogy az alvás közbeni mozgásokat detektálja és akkor indítsa be az ébresztőt, amikor az alvási fázisok alapján az optimális.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 4.5 (31504)
- **Szem ápolása:** Az alkalmazás segítségével a szemünket tudjuk egészségesen tartani és pihentetni.
Letöltés: 10 000+, értékelés: 4.5 (122)
- **Várandóosság:** Útmutató a szülők számára a terhesség teljes ideje alatt.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 4.7 (58325)

A harmadik kategóriának mondhatjuk azokat az alkalmazásokat, amelyek kifejezetten orvosoknak készültek, vagy az első kettőbe nem igazán sorolhatók:

- **Elsősegély:** Elsősegély helyzetben nyújt segítséget.
Letöltés: 100 000+, értékelés: 4.7 (1895)
- **Orvosi adatbázis:** Az alkalmazás orvosoknak, nővéreknek, orvostanhallgatóknak és egyéb egészségüggyel foglalkozó embereknek készült. Több mint 8000 gyógyszerről tárol információt és maximum 30 gyógyszerig ellenőrizni tudja azok kölcsönhatását. 4000-nél is több szakértő által kiadott cikket és több mint 600 procedura videót tartalmaz.
Letöltés: 1 000 000+, értékelés: 4.3 (10141)

4.2.2. Egyetemek és cégek alkalmazásai

Ezek az alkalmazások még nem jelentek meg az alkalmazás áruházakban, vagy nem is fognak. Komplexebb feladatot látnak el, sokszor pedig egy külön eszközt is csatlakoztatni kell a rendszer működéséhez. Ezek a koncepciók az alábbi felsorolásban olvashatók [27]:

- **Távvezérelt inzulinadagoló:** A JewelCom névre hallgató, beépített vércukorszint mérővel ellátott, Android-vezérelt készüléket Svájcban fejlesztették ki. A telefon bluetoothon keresztül kommunikál az inzulinpumpával. A készülékben hőmérséklet szenzor is van, hogy a beteget figyelmeztetni tudja, ha az inzulin túladagolás veszélye fenyegetne a túl magas testhőmérséklet miatt.
- **Fültükrör:** A 2008-ban bemutatott mobil mikroszkópot a bőrgyógyásztól kezdve az onkológiáig rengeteg orvosi alkalmazásban használni lehet. Az iPhone alapú Remotoscope alkalmazással például a fülgyulladás lehet kiszűrni. Az Egyesült Államokban emiatt évente nagyjából 30 millió látogatás történik az orvosoknál.
- **Spirométer:** A spirométereket az orvosok arra használják, hogy diagnosztizálják a beteg tüdejének állapotát. A SpiroSmart alkalmazás egy légzésről készített felvételtől indirekt meghatározza a tüdő levegő mennyiségét egy olyan algoritmust használva, amely modellezi a légcsövet és a vokális traktusokat. A tesztek azt mutatták, hogy az iPhone-on futó alkalmazás igen pontos értékeket ad, összehasonlítva egy általános spirométerrel.
- **Autóba beépített rendszer, allergének elkerülésére:** A Ford és az IMS Allergy Alert alkalmazásának együttműködéséből született a rendszer. Az autó beépített GPS-en keresztül a sofőr a legfrissebb és legfontosabb információkat tudhatja meg az aktuális helyen lévő pollen mennyiségéről, illetve az influenza, asztma, és UV sugárzás veszélyéről.
- **Szívpitvari fibrilláció detektálás:** Ez az alkalmazás a telefon kamerájának segítségével a bőr színének változását figyeli és az alatta levő véredényeket. A telefon kamerájára kell helyezni az ujjunkat és ott tartani két-három percig. Az alkalmazás segítségével mérni tudjuk a pulzust, a szívritmust, a levegővétel gyakoriságát és a vér oxigén telítettségét is.



7. ábra. Okostelefon használata fültükrörhöz és ultrahangos képalkotáshoz [27]

- **Szájrák detektálás:** A Stanfordon fejlesztett OScan rendszerrel nagy részletességű képeket készíthetünk a szájüregről és a gyanús sérülésekről. A készülék kétsornyi fluoreszcens fényt emittáló diódát tartalmaz, amelyek megvilágítják az egész szájat és így előrejelezhető vele a szájrák.
- **Vakokat segítő alkalmazás:** Az okostelefonok többféleképpen is segíthetik a látássérülteket. A Georgie névre hallgató alkalmazás a hanggal történő

kommunikációt helyezi előtérbe. A készüléknek saját, erre optimalizált felhasználói felülete van, amelyen nagy méretű gombok találhatók. Ha a felhasználó ráviszi az ujját egy gombra, a készülék elmondja annak funkcióját, így annak ellenére, hogy a telefon használója nem lát, ugyanúgy meg tudja „nézni” adott esetben, hogy hol van éppen, vagy hány óra van. Hívást tud kezdeményezni, felolvassa a beérkező üzeneteket, illetve egy olyan nagyon hasznos funkció is megtalálható benne, amellyel például egy étlap lefotózható, a telefon pedig a képen található szövegeket felismeri és felolvassa.

Másik hasznos alkalmazás a BrailleTouch, amely a szövegbevitelt könnyíti meg a látássérülteknek, vagy vakoknak. A Braille-íráson alapuló alkalmazás felhasználói felületén hat pont található a képernyő két szélére helyezve. A felhasználók ennek segítségével az általuk ismert Braille-ABC alapján be tudják vinni a kívánt szöveget, amelyről a telefon audio visszajelzést is ad. Az fejlesztői tesztek azt mutatták, hogy az alkalmazást használók 92 százalékos pontosság mellett akár 32 szó/perc-es sebességre is képesek voltak.

A legérdekesebb koncepció viszont a Tactus Technology fejlesztése alatt áll, amely teljesen újraértelmezheti a felhasználói felületet. Ez nem csak a látássérültek számára növeli meg interaktivitást. A kidolgozott mikrofluidikát használó technológia segítségével a képernyőből gyakorlatilag kiemelkednek az éppen képernyőn lévő alkalmazás gombjai, az adott helyen, méretben és formában. Ez a rendes látással rendelkező emberek számára is izgalmas lehet, de a vakok számára teljesen új távlatokat nyithat.

- **Újszülöttek légzésének felügyelete:** Minden évben rengeteg olyan koraszülött gyermek jön világra, aki légzési zavarral küzd. Gyakran egy kisebb fizikai inger elég ahhoz, hogy a csecsemő újra lélegezni kezdjen, de a fejlődő országokban sokszor ez csak későn történik meg. A Babalung névre hallgató készülék kétszintű védelmet biztosít. A csecsemő mellkasára van rögzítve egy szenzor, amely a légzést monitorozza, és ha 20 másodpercig nem érzékel, akkor a mikrokontroller bekapcsol egy vibráló motort, amely levegővétetre készíti az újszülöttet. Ha ez után 5 másodperccel sem lélegzik a csecsemő, akkor a készülék riasztja a nővért. A légzés során tárolt adatokat bluetoothon keresztül továbbítani lehet okostelefonra, további kivizsgálás végett.
- **EKG:** Egy michigani cég olyan okostelefonon alapuló EKG rendszert dolgozott ki, amely egy karórára hasonlító eszközzel van összekötve. Ez összeszedi az adatokat az elektródákról és bluetoothon keresztül az okostelefonra továbbítja azokat, amely pedig megosztja az információt a beteget felügyelő orvossal. A rendszer valós idejű monitorozásra képes és azonnal riasztani tudja az orvost, ha tüneti, vagy tünetmentes aritmiát észlel.



8. ábra. A szájrakot detektáló koncepció és a karórás EKG rendszer [27]

- **Kémiai összetevők meghatározása:** A NASA kifejlesztett egy olyan eszközt, amely a levegőben található kémiai összetevőket érzékeli és valós időben meg tudja mondani azok arányát. Kezdetben ezt a készüléket csak az űrben használták a levegő minőségének meghatározására és annak ellenőrzésére, hogy található-e benne formaldehid. A katonai alkalmazáson kívül viszont egy sokkal érdekesebb lehetőség is rejlik a készülékben, mégpedig a beteg emberek orvosi állapotának monitorozása. A cukorbetegség esetében korreláció van a lehelet aceton tartalma és a vér cukorszintje között. Ez a nanoszenzor egy nem invazív vizsgálati módot biztosíthatna a beteg számára. Az ujj többszöri megszúrása helyett elég lenne a készülékre lehelni, amely ebből meghatározná a szükséges információkat. Szintén összefüggés található a lehelet dinitrogén-oxid tartalma és a tüdőrák jelenléte között, így ez a készülék ugyanúgy használható lenne a rák korai detektálására. Ez a két példa csak a lehetőségek felszínét súrolja, ennél nagyobb potenciál is rejtőzhet benne.
- **Jelbeszéd interpretáló:** Egy szenzorokkal ellátott kesztyű a kézfej aktuális helyzetét detektálja és a jelbeszéd alapján lefordítja azt normál betűkre. A projekt még kezdetleges állapotban van, de megvillantotta annak a lehetőséget, hogy a későbbiekben a halláskárosultak könnyedén kommunikáljanak a jelbeszédet nem ismerő emberekkel.
- **Ultrahangos képalkotás:** Elkészült az első ultrahangos képalkotó rendszer, amely okostelefonon alapul. Ennek köszönhetően a készülék kényelmesen hordozható, a kapott képek pedig vezeték nélküli hálózaton keresztül továbbíthatók is. A dolog hiányossága az, hogy a 2011 végén megjelenő rendszer egyedül a Toshiba TG01 készülékre volt elérhető, mivel az akkori Android és iOS rendszer még nem támogatta az USB hostolást. Az Android (a 4.0-as verziótól kezdve) azonban megoldotta a problémát.
- **Genetikai vizsgálat:** A Michigan State University 2012 elején jelentette be a Gene-Z névre hallgató készülékét, amely genetikai elemzést végez a mikroRNS-en. Az eszköz egy Apple iPod Touchot használ interfészként, nincs nagy fogyasztása, napelemmel működik.
- **Stroke-betegek rehabilitációja:** Stroke után sajnos gyakran a legfőbb cél egy beteg számára az, hogy újra járni tudjon. Kidolgozásra került egy rendszer, amely okostelefonból és cipőre illesztett szenzorokból áll. A begyűjtött

adatok alapján azonnal meg lehet határozni a felhasználó testtartását és az aktuális tevékenységét. Ez a rendszer olyan rehabilitációs stratégiákat tartalmaz, amelyek megkönnyítik a beteg felépülését.

4.3. Koncepcionális alkalmazások

Korábban már említésre került a bionika öt alappillére, a koncepcionális alkalmazásokon keresztül jól bemutatatható, miként hozható össze még jobban a bionika az okostelefonokkal.

Az orvos-biológiai képalkotó eljárások között beszélhetünk az ultrahangos képalkotásról. A jelenlegi diagnosztikus ultrahangnak két jelentős háttérje is van, a képek kvalitatív mivolta és a szemcse artefaktum. Mindkettő orvosolható, az első egy testet körülvevő tomografikus ultrahang rendszerrel, a második pedig arra megfelelő unipoláris jeladással. Egy már korábban felhozott eszköznél ismertetett módszerhez hasonlóan, okostelefonnal akár egy ultrahangos képalkotó is vezérelhető, és a telefonkészülék kijelzője alkalmas a felvételek megjelenítésére is.

A „laboratórium egy chipen” névre hallgató eszközökkel egyre komplexebb vizsgálatok végezhetőek el. A jövőben egy ilyen chip akár az okostelefon része is lehet majd, így egy zsebben hordható készülék képes lehetne akár 5-10 immunkémiai vizsgálat elvégzésére egy csepp vérből, mindössze tíz perc alatt.

Bionikai interfészek és testbe épített szimbiózisok terén olyan elektrofiziológiai érzékelőkről beszélünk, amelyek vezérlését egy okostelefon remekül meg tudná oldani, arról nem is beszélve, hogy a számítási teljesítményben történő rohamos fejlődésnek köszönhetően a biológiai adatok analízise már helyben, azaz magán a telefonkészüléken elvégezhető lenne.

A protézisek és más rehabilitációs eszközök témacsoportba tartozik a bionikus szemüveg, amelynek már első formája is okostelefonra épült. A bionikus szemüveg olyan eszköz, amely a látássérültek számára új dimenziókat nyit. Bankjegyeket különböztet meg egymástól, megmutatja merre található a gyalogos-átkelőhely és tájékoztat arról, hogy milyen buszra akar felszállni a felhasználó [28].

A testközeli érzékelő hálózatok esetében az okostelefon összefogó pontot biztosíthat. A szenzorok a telefonnal kommunikálnak, annak küldik az adataikat, amelyeket a készülék egyből feldolgozhat, vagy további vizsgálatra továbbküldhet.

Annak ellenére, hogy az okostelefonoknak rengeteg előnye van és sok téren megváltoztathatják az egészségügyet, hátrányokkal és nehézségekkel is számolni kell. Ki kell hangsúlyozni, hogy bizonyos alkalmazás áruházakba felkerülő applikációk nincsenek ellenőrizve, így azokat csak saját felelősségre lehet használni. A szoftveres és hardveres fejlesztések sokszor még mindig annyira újak, hogy esetenként megbízhatatlanok tudnak lenni. Meg kell említeni azt is, hogy az idősebb orvosok, vagy betegek nem feltétlenül tudják használni az ilyen modern alkalmazásokat. Végül pedig fontos szót ejteni arról is, hogy minél jobban függünk a technológiától, annál fontosabb, hogy az hiba nélkül működjön és annál nagyobb kárt tud okozni a rendszer összeomlása, akár csak egy kisebb pontatlansága is.

5. fejezet

Okostelefonnal támogatott távjelenlét orvosi implantátumokhoz

Az okostelefonok szerepe erősödni fog a testközeli érzékelő hálózatok kialakításánál. Ennek oka többek között a nagy számítási teljesítmény, a megbízhatóság, valamint a legfontosabb jellemzője, hogy a készülék permanensen testközelben van, hiszen napjaink felhasználója állandóan magánál tartja telefonját. Az elektronikus orvosi implantátumok többnyire kapcsolatba hozhatók a BSN-nel. Jelenleg az ilyen készülékek (pl. pacemaker, neurostimulátor, gyógyszeradagoló pumpa) adatainak lekérdezése, átállítása, vagy a készülék újraprogramozása nem invazív módon történik, hanem valamely vezeték nélküli technológia (például egyszerű induktív csatolás) útján. Általában a rendszer struktúrájában nem triviális a távoli elérés megoldása, mivel az implantátumnak és a programozó eszköz fejének közel (legfeljebb 2 - 5 cm) kell lenni egymáshoz.

A jelenleg használatban lévő távelérést nyújtó megoldásokban a betegek olyan programozó készüléket kapnak amivel a beültetett gyógyszeradagoló pumpát vagy neurostimulátort az orvos által korlátozott paraméterek között önállóan állíthatják be, panaszaiknak, tüneteiknek megfelelően. A korlátozott beteghozzáférés a testbe épített pumpák esetében pl. a gyógyszer túladagolás vagy gyógyszermegvonás elkerülése miatt szükséges. Az implantátumoknál alkalmazandó távjelenlét architektúrája lényegében kétféle lehet. Az egyik, mikor a két eszköz között maximálisan megengedhető pár centiméteres távolság növelése a cél oly módon, hogy ezt a közeget egy infokommunikációs csatorna váltja ki, a másik, mikor az orvos programozójának módosított (de funkcióit tekintve korlátozott) mása a pácienshez kerül, és emiatt a programozó eszköz és az orvos közötti interakció távoli megoldása a kihívás. Az általunk megtervezett és megvalósított rendszer e két séma közül a korábbi valósítja meg. Vagyis a cél, hogy az orvos ugyanúgy használhassa már megszokott programozóját mint eddig, de a két személynek ne kelljen térben egy helyen lenni.

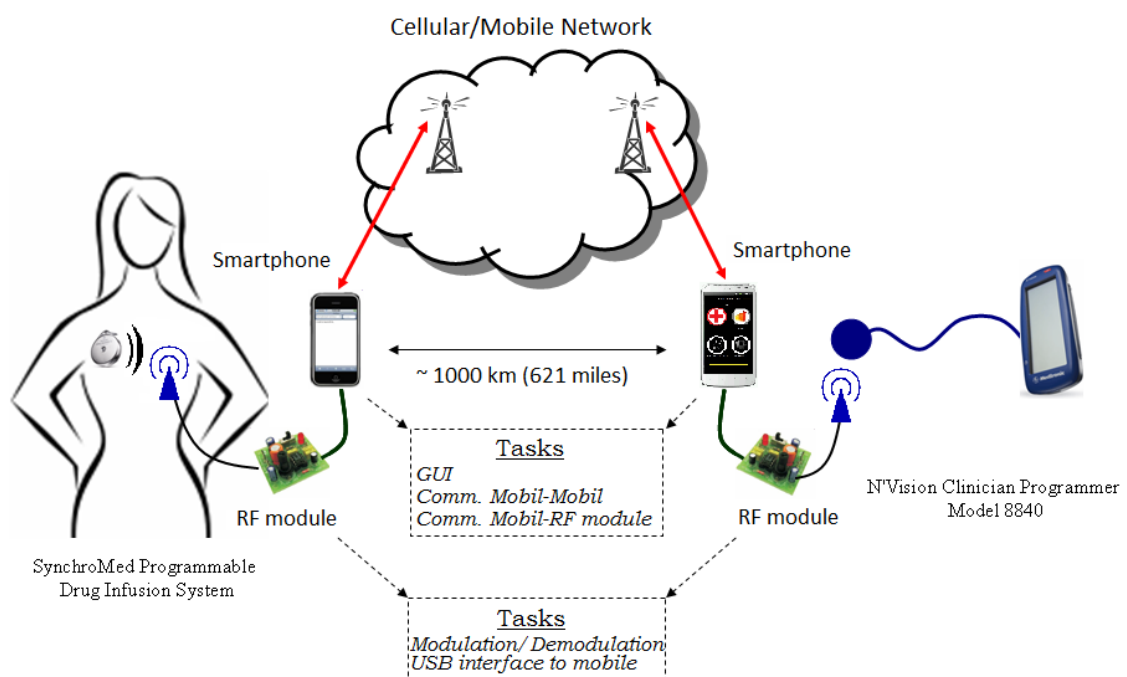
Az Országos Idegtudományi Intézet Funkcionális Idegsebészeti Osztálya a Közép Kelet Európai régió egyik legnagyobb neuromodulációs központja. Itt implantálják és gondozzák a legtöbb olyan spasztikus beteget, akiknek orálisan adagolva nem lehet csökkenteni a központi idegrendszer veleszületett vagy szerzett sérülése miatt az izomgörcseit. Ezek a betegek intrathecalis gyógyszeradagoló pumpával élnek és testbe ültetett gyógyszeradagoló pumpa az agyvíztérbe direkt juttatja be

a fájdalmas görcsöket csökkentő gyógyszert a baclofent vagy morfint. Ezen betegek gondozása során merült fel az igény egy olyan telemetrikus eszköz megtervezésére ami távoli programozást is lehetővé tesz, így a beteg otthon vagy más kórházban maradhat és a neuromodulációs központból az orvos mobil telefonon keresztül ellenőrizheti és szükség esetén változtathatja a pumpa működését.

Az okostelefonok rohamos fejlődése hasonló forradalmi ugrást válthat ki az orvoslásban, mint amit korábban a számítógép megjelenése okozott. Az általunk megtervezett rendszer nagyban kihasználja az okostelefonok potenciális erejét a telekommunikációs szolgáltatások terén. Képletesen fogalmazva, a rendszer egy olyan hidat képez a páciens implantátuma és az orvos programozó műszere között, melynek két pillérét egy-egy okostelefon alkotja mindkét oldalon.

5.1. A rendszer komponensei

A megtervezett rendszer látszólag valósidejű, az információcsere hosszát fokozzák az átvitel során fellépő késleltetések, de a protokoll robusztusságának köszönhetően ez nem okoz gondot. A rendszer egy adatcsatornát valósít meg, összeköti a páciens implantátumát és az orvosnál levő programozót, a nagy távolság ellenére folyamatos adatátvitelt biztosítva. A 2. fejezetben vázolt, általános távgyógyászat architektúrája ráillik erre a rendszerre is, így a részletes bemutatás most ennek megfelelően következik.



9. ábra. Rendszerterv gyógyszerpumpa távéléréséhez

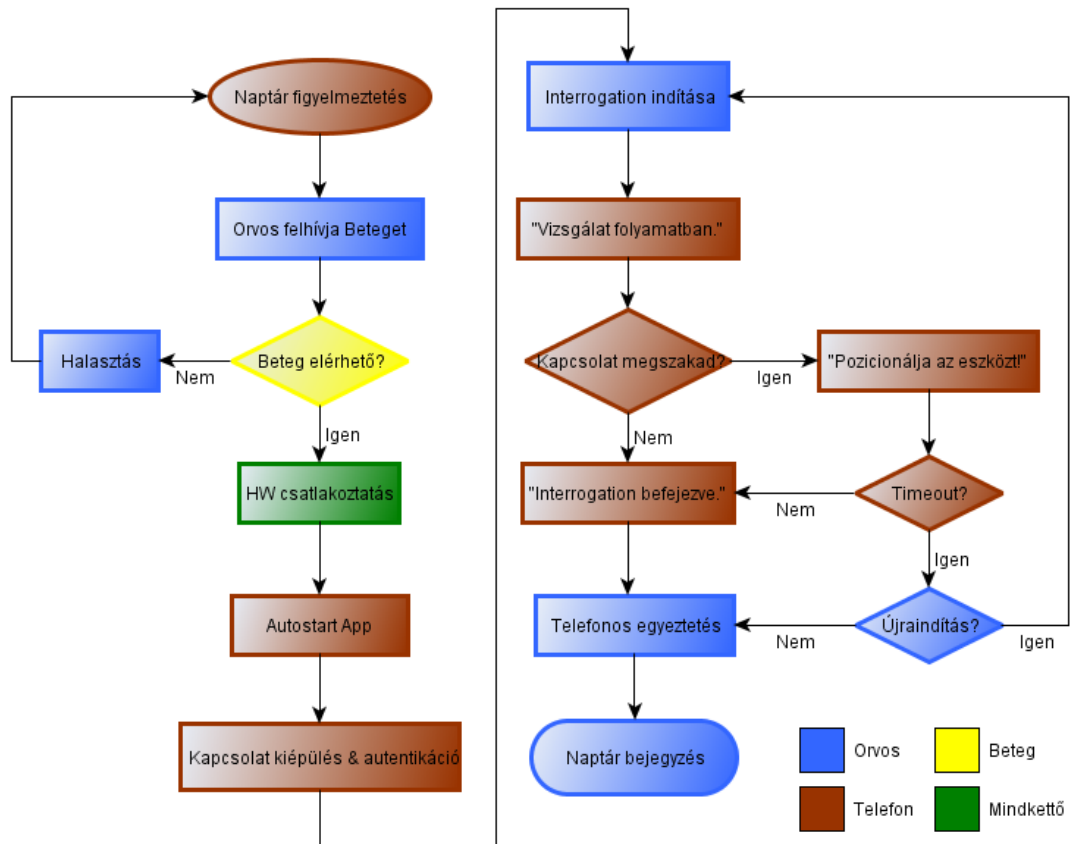
Adatgyűjtés: A rendszer kidolgozása során a Medtronic gyártmányú SynchroMed II pumpákat és az N'Vision 8840 programozót az Országos Idegtudományi Intézet biztosította. A pumpa és a programozó jeleinek fizikai vételét és előállítását egy nagy felületű tekercs végzi. Ez a tekercs és egy kétfokozatú erősítő áramkör egészíti ki a Microchip gyártmányú "Accessory Development Starter kit

for Android" panelt, melyet egy PIC24FJ256GB110 mikrokontroller vezérel. A hurokantennaként szolgáló tekercs, az erősítővel és a mikrokontroller panellal együtt alkotja az adó-vevő modult (ennek jelölésére szolgál az "RF modul" elnevezés is). Ez az egység USB-n keresztül kapcsolatban áll egy okostelefonnal, amely az egész adatátvitel központi eleme. Az okostelefon szerepe hármas, egyrészt kommunikál az RF modullal és rajta keresztül a végesszközzel (pumpa vagy programozó); másrészt adatkapcsolatot biztosít a másik félnél lévő telefonnal; harmadrészt pedig interakciót tart fent a felhasználóval (páciens vagy orvos), értesít a történésekről és fogadja az utasításokat. Az okostelefon utasítására az RF modul elindítja az AD vagy DA konverziót attól függően, hogy éppen vételről vagy adásról van szó. Vétel esetén, az analóg jel átalakítása után, a mikrokontroller értelmez, kiszűri a redundanciát és a lényegi tartalmat elküldi a telefon számára. Az okostelefon a megkapott csomagokat egy bufferba tölti, majd innen továbbítja a másik félnél levő telefon számára. A bufferra azért van szükség, mert a telefon-telefon közötti kommunikáció sokkal lassabb, mint ahogy a jeleket a végesszközök küldik, másrészt a gyártó kommunikációs protokolljából fakadó csomag multiplikáció kiszűrhető a buffer ellenőrzésével. A pumpa és a programozó közötti kommunikációs protokoll jellemzője, hogy ha valamelyik eszköz nem kap időben választ a legutóbbi csomagjára, akkor megismétli azt. Mivel a távjelenlét miatt a csomagoknak jelentős utat kell megtenniük, így az eszközök sokszor fognak ismételni. Azonban, ha egy csomagra már megjött a válasz, a kommunikációt fölösleges azzal terhelni, hogy a másodpéldány is kiküldésre kerül, így azokat egyszerűen törölni kell a bufferből.

Adatmegosztás: A pumpa és a programozó közötti kommunikáció leghosszabb szakasza a telefon-telefon átvitel, ez okozza a legnagyobb mértékű késleltetést. A két telefon szokványos infokommunikációs csatornán keresztül kommunikál egymással. A valós idejű GSM átvitelt nehéz megvalósítani és nem is biztos, hogy kellően gyors lenne a sáv szélesség miatt, így a kidolgozott rendszerben a telefonok közti átvitel TCP/IP alapú, amely WiFi vagy mobilinternet felett üzemelhet. Az adatmegosztás folyamata egy szerver segítségével történik, melynek elérhetőségét a telefonokon futó alkalmazások ismerik. A szerver egyetlen feladata, hogy miután a két okostelefonnal kapcsolatba lépett, létrehozza közöttük az adatcsatornát.

Adatmegjelenítés és interakció: Az adatmegjelenítés feladatát a telefonok látják el mindkét oldalon. Az orvos oldali alkalmazás aktív használhatóságot biztosít, ez az elsődleges felület, amin keresztül az orvos felügyelőként irányítja a rendszert, minden történésről értesül, és csak a jóváhagyásával következhetnek be változások. A páciens oldali alkalmazás ezzel szemben passzív használatot biztosít, a beteg folyamatosan értesül a vizsgálat állapotáról az alkalmazás visszajelzései által, de emberi szempontból lényeges, hogy az orvos által is, mivel lehetőség van arra, hogy a vizsgálat során hanghívás segítségével folyamatos kapcsolatban legyen a két fél. Ez a beteg számára pszichikai szempontból lényeges lehet, mivel feltehetően nyugodtabban viselkedik, ha tapasztalja, hogy orvosával folyamatos kapcsolatban áll.

5.2. A rendszer használata

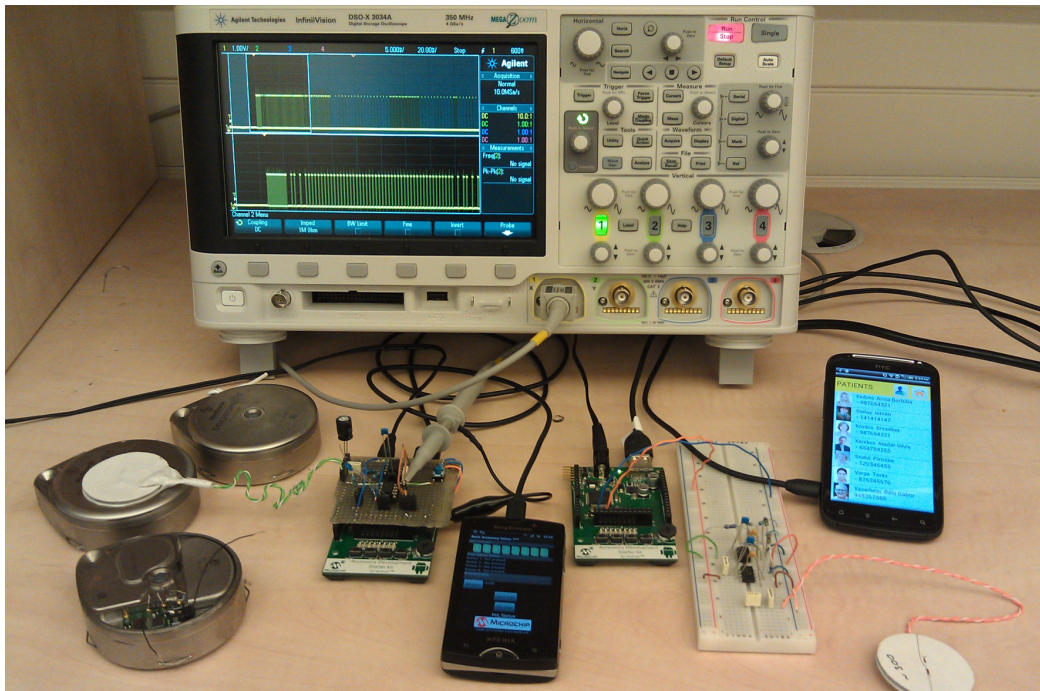


10. ábra. A rendszerhasználat folyamatábrája

A használhatóság megtervezése során cél volt, hogy a betegek csökkentett, az orvosnak pedig kibővített felelősségköre legyen. A következő használati esettanulmány bemutatja, milyen lesz az elkészült rendszer felhasználása a gyakorlatban: A kezelőorvos okostelefonján a naptáralkalmazás értesíti felhasználóját a vizsgálat esedékességéről. Az orvos felhívja páciensét és megkérdezi, alkalmas-e számára a vizsgálat. Ha nem, elhalasztják az ellenőrzést, ha igen, felszólítja a páciens, hogy csatlakoztassa az RF modult, és ő is hasonlóképpen tesz. A hardvereszköz csatlakoztatása automatikusan elindítja az alkalmazást, így ideális esetben a betegnek nincs több teendője a vizsgálat során. Az alkalmazás indulása után az orvos kiválasztja megfelelő páciensét és a két telefon között lezajlik az adatkapcsolat kiépülése a szerveren keresztül, a szükséges autentikáció mellett. Az orvos kiválasztja a végrehajtandó műveletet (Interrogation/Update), majd lejátszódik a kommunikációs folyamat, mintha a két fél fizikailag egy helyen lenne. Ha a folyamat megszakad, az eszközök helyes pozicionálásával folytatható az átvitel. Miután befejeződött a vizsgálat, az orvos tájékoztatja a beteget a részletekről, és megbeszélik a legközelebbi várható konzultáció időpontját, amit naptár bejegyzésként rögzítenek.

5.3. A rendszer megvalósítása

Dr. Erőss Loránd főorvoson keresztül az OITI-től érkezett a felkérés, hogy egyre inkább szükséges lenne a gyógyszeradagoló pumpával élő páciensek implantátumának távoli elérhetősége, mivel ez jelentősen megkönnyítené a kezelők és a betegek életét, továbbá sürgős esetekben életmentő segítséget nyújthatna. A projekt indulásakor a gyógyszerpumpa és a programozó adva volt, de nem volt a priori információ a két orvosi eszköz közötti adatátvitelről, így ezt első lépésként fel kellett tární.



11. ábra. A kidolgozott rendszer a gyakorlatban

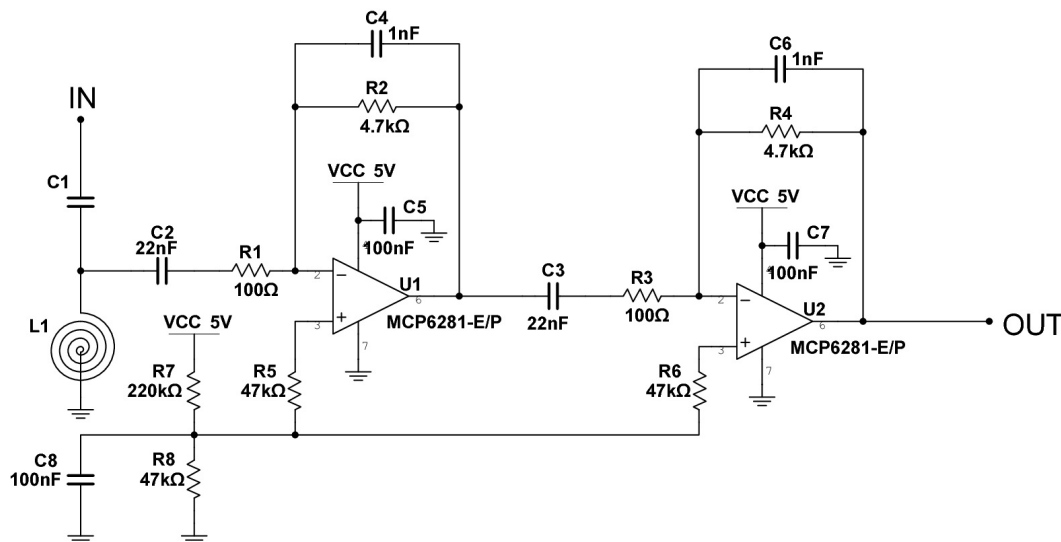
5.3.1. A kommunikációs protokoll mérés alapú lehallgatása

A programozó segítségével lehetőség van a pumpában tárolt adatok lekérésére (Interrogation), azok felülírására és beállítására (Update). Egy-egy ilyen kommunikációs folyamat hossza nagyjából fél percet vesz igénybe. Vizsgálat során a programozó fejének (véltetően hasonló hurokantennát tartalmaz, mint az általunk megtervezett RF modul) és a pumpának közel kell lenni egymáshoz, mivel a kommunikáció kis hatótávolságú és zavarokra érzékeny. (CRT monitorok közvetlen közelében például nem működik az átvitel.) A rendszer megtervezéséhez szükség volt a pumpa és a programozó közötti kommunikáció részletes megismerésére. A kommunikáció mérés alapú feltárása rendkívül egyszerű elven alapult, nagy menetszámú (12-17 ezer menet) tekercset behelyezve a pumpa és a programozó közötti néhány centiméteres légrésbe, a kommunikáció során az adatsomagok mérhetővé váltak. A mérőtekercs kimenetére oszcilloszkópot és logikai analizátort kötve, viszonylag könnyen hasznos tapasztalatok szűrhetők le a kommunikációt illetően. Kimérhető volt a vivő frekvencia, az amplitúdó, a moduláció és a szimbólumok mintázata.

Megállapítható, hogy a pumpa és a programozó hasonló elven működik, de eltérő szimbólumrendszert használ. Mindkét eszköznél egyféle impulzus szerepel, amplitúdó billentyűzést (Amplitude Shift Keying - ASK) használnak, az információt az impulzusok egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg. A programozó két féle értéket használ, úgy mint $500\ \mu$ alacsonyszint (0), és $250\ \mu$ hosszú magasszint, amit mindig $400\ \mu$ alacsonyszint előz meg (1). A pumpa impulzushossza rövidebb (pillanatszerű, kb $5\text{-}10\ \mu$ hosszú), de többféle hosszúságú alacsonyszint szerepel itt. Különbség továbbá, hogy a pumpa meghatározott hosszúságú blokkokban küldi az adatot, ezek $2500\ \mu$ méretű frame-ek, a programozó ilyen mintázatot nem használ. A hagyományos elrendezésnél a kommunikáció elején a programozó általános kapcsolatfeltevő jelet küld, várva, hogy valamely eszköz válaszoljon rá. Ha a pumpa veszi ezt a jelet, válaszadáskor létrejön a handshaking, a pumpa elküldi az azonosítóját, innentől kezdve pedig a programozó minden csomagja a pumpa ID-nek megfelelő headerrel fog kezdődni. Ez egy biztonsági eljárás lehet a gyártó részéről, mely a megbízhatóság növelésére szolgál, (véletlenül se keveredhessenek össze egymás közelében lévő pumpák jelei). Az orvosi eszközök mondatai felváltva követik egymást, csomagvesztés esetén csomagduplikáció történik a másik oldalon. A kommunikáció időkésleltetés szempontjából robusztus, néhány másodperces megszakításokat jól tűr. Megszakítás után, ha újra helyreáll a kommunikáció, az átvitel nem indul előlről, onnan folytatódik ahol félbeszakadt. A protokoll karakterisztikájának feltárása után meg kellett tervezni a pumpa és a programozó jelének modulálását és demodulálását.

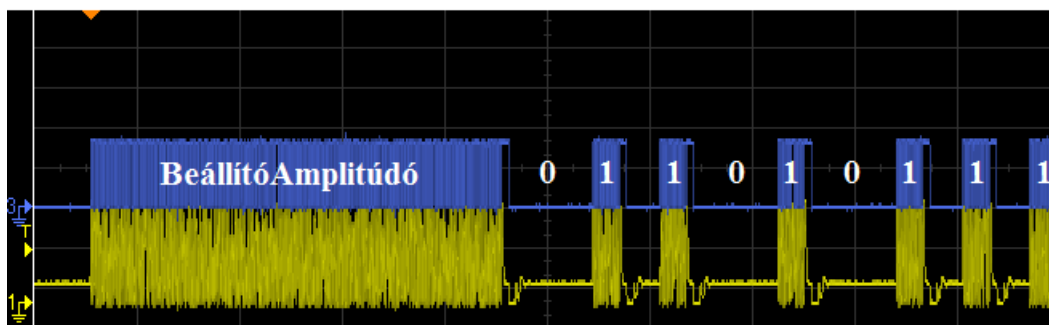
5.3.2. Interfész az orvosi eszköz és az okostelefon között

Az okostelefonokat nem arra tervezték, hogy ilyen jellegű jelfeldolgozási problémát közvetlenül kezeljenek, így szükséges egy csatoló egység, amely az orvosi eszközök által kibocsátott jeleket veszi, feldolgozza, majd továbbítja valamely standard csatornán keresztül (Bluetooth, USB, stb.) a telefon számára. Ezt a szerepet tölti be az adó-vevő modul (RF modul), amely szerkezetileg két egységre bontható: hurokantenna és erősítő panel, valamint mikrokontroller panel. A mikrokontrolleres egységet a már említett, kereskedelmi forgalomban kapható, Microchip gyártmányú, Androiddal történő kommunikációra dedikált panel képi PIC24-es vezérlővel. Az erősítő áramkör saját tervezésű, biztosítja, hogy a hurokantennaként működő tekercsről jövő jel megfelelő jelszintű, zajtól szűrt, a PIC számára közvetlenül feldolgozható legyen. A kommunikáció során a pumpa sokkal halkabban sugároz, kisebb az adóteljesítménye, mint a programozónak, mivel a kis méretű lítium akkumulátor kapacitásának minél továbbbi megőrzése is cél. Az adó-vevő modulban ezért (a zajszűrés mellett) egy két lépcsős erősítés történik, az első fokozat már elég lenne a programozó jelének vételéhez, de a pumpa jeléhez még nem.



12. ábra. Hurokantenna és a kétfokozatú erősítő

Vétel esetén a tekercs által összeszedett jelet a kétfokozatú erősítés 4-5 V-ra erősíti. A mikrokontroller számára ez az 1 V-os munkapont mellett feldolgozható. A processzor a kommunikáció elindítása után folyamatosan digitalizálja a jelet, és lényegében egy tömörítési folyamatot végez azzal, hogy csak a jel lényegi jellemzőit tárolja (az egymás után következő alacsony és magas szimbólumok számát). Ez az információ a programozó egy-egy üzenete esetén legfeljebb 40 bájtban kódolható, és egy kommunikációs folyamat során átlagosan 110 csomag generálódik. Miután egy teljes programozói csomagot feldolgozott, továbbítja az okostelefon számára USB kapcsolaton keresztül.

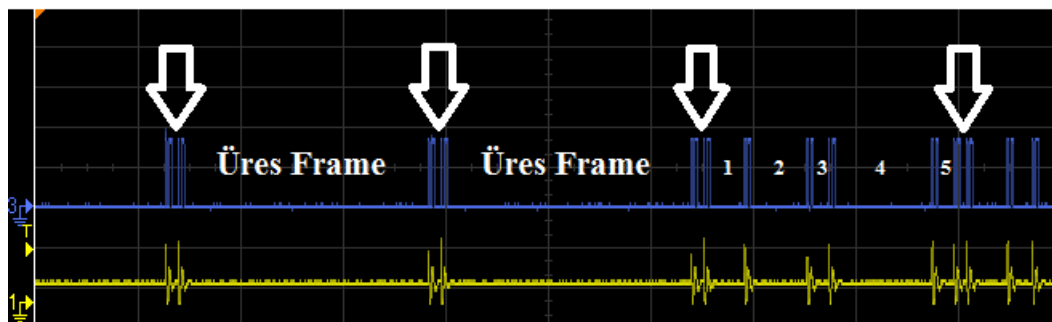


13. ábra. A programozói csomag kódolása

A 13. ábrán látható a programozói csomagok esetében alkalmazott kódolás. A beállító amplitúdó nem kerül tárolásra, hisz konvenció, hogy minden programozói mondat ezzel kezdődik. A mondat tartalma bitenként kódolva látható az ábrán, a hosszú szünet feldolgozva 0-t, az impulzus a hozzá tartozó rövid szünettel együtt pedig 1-et jelent. Az így előálló bitsorozatot ezután nyolcasával bájtokba tördéli a mikrokontroller, majd az elkészült csomagokat az okostelefonnak küldi.

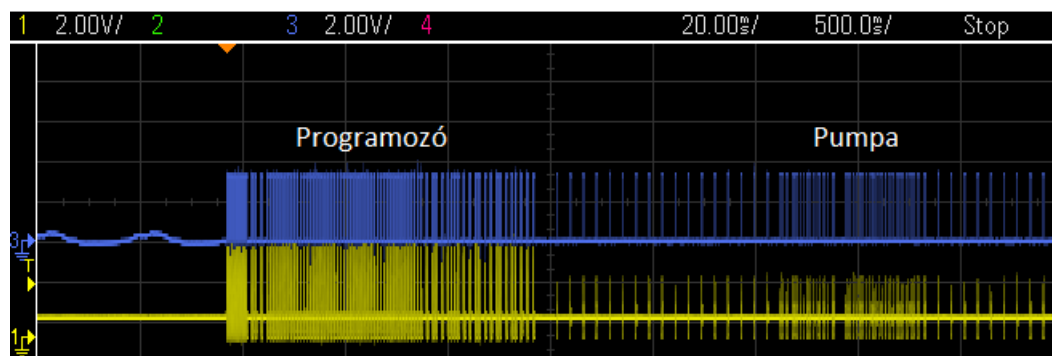
A pumpajel vételénél mindenképp szükséges a kétszeres fokozatú erősítés, az első fokozat 47-szeres, a második 31-szeres, mivel enélkül nem elég magas az impulzus szintje ahhoz, hogy a processzor érzékelje. A pumpa miután érzékelte a programozó jelét elkezd frame-eket küldeni, melyek kezdetben üresek. Ez gyakorlatilag

dupla impulzusok küldését jelenti 2,5 ms-os periódussal. Amikor adattovábbítás történik, a pumpa a frame-be illeszti az adatokat. Ekkor egy-egy ablak információ-tartalmát teljesen meghatározzák a benne lévő 4 impulzus közötti eltelt idők. (A mikrokontrollerrel ezen időket kell mérni és tárolni, mivel az ablakban lévő egy-egy impulzust megelőző szünet hossza 16 féle lehet, ezért egy frame információtartalma mindenképp kódolható 2 bájt, de ennél kevesebb, minimálisan 1 bájt is elegendő, ugyanis az első impulzus előtti szünet mindig $400\ \mu\text{s}$ hosszú, a következő két félbájt hordozza a lényegi információt, a negyedik félbájt az előző kettő XOR műveletéből előálló checksum, a frame végéig fennmaradó szünet pedig don't care.) Az adatokat a pumpa titkosítatlan ASCII karakterek formájában küldi, egy kitöltött frame egy karaktert hordoz a benne tárolt középső két félbájtján.



14. ábra. A pumpa csomagjainak kódolása

A 14. ábrán a pumpa jeleinek kódolása látható. A fehér nyilak jelzik a frame-határokat. Amikor egy frame-be adatot illeszt a pumpa, az első impulzus előtt $400\ \mu\text{s}$ szünet van (1), a lényegi adatot a (2) és (3) szünetek hordozzák, ezután pedig egy checksum található (4). A frame végéből kimaradó szünet (5) nem hordoz információt.



15. ábra. RF modullal előállított programozói jel és a pumpa válasza

A programozó és a pumpa közötti kommunikáció feltárásával valamint az RF modul megépítésével lehetővé vált a programozói jelalak előállítása. A 15. ábra igazolja, hogy sikerült passzív résztvevőként belépni a pumpa és a programozó közötti adatátvitelbe. Az ábrán látható programozói jelet nem a gyári programozó, hanem az RF modul küldi a pumpa számára, amely válaszol erre ugyanúgy, mintha az eredeti programozó szólította volna meg.

5.3.3. Az okostelefon feladatai a rendszerben

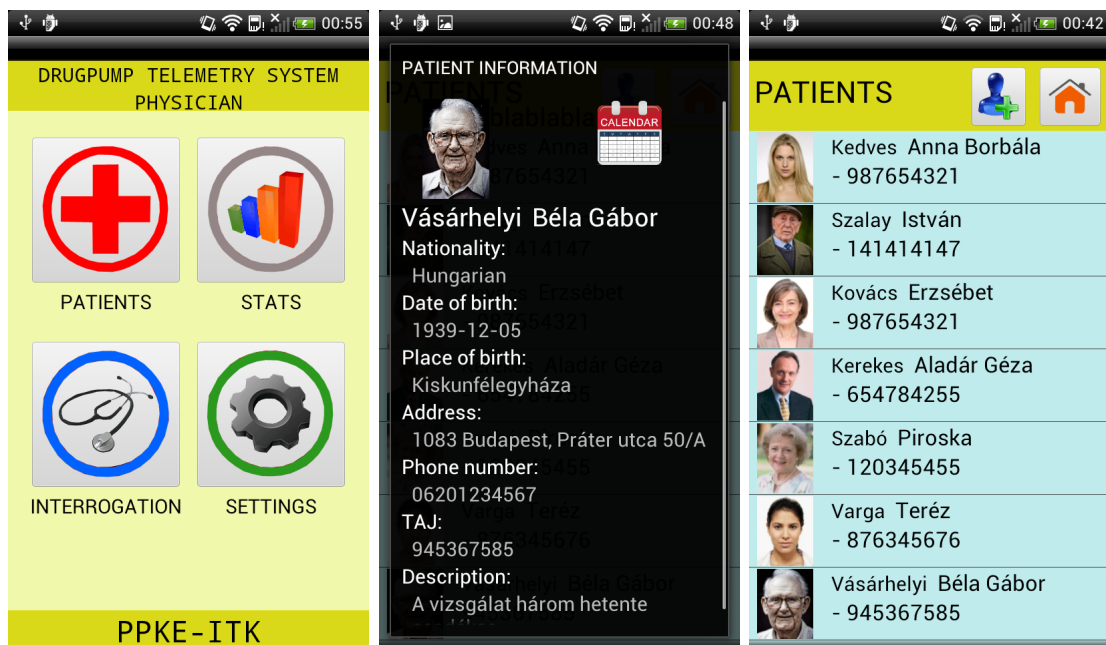
Az okostelefon három feladatot lát el a rendszerben: egyrészt kapcsolatot biztosít az RF modullal, vagyis fogadja tőle az AD konverzió eredményét és DA konverzióra szánt adatokat küld neki; másrészt kapcsolatot épít ki és tart fenn a távol lévő telefonnal; harmadrészt egy felhasználói felületen keresztül kapcsolatot tart a külvilággal, azaz utasításokat fogad az orvostól, a beteg számára pedig tájékoztatást nyújt a vizsgálat állapotáról.

A **telefon és az RF modul közötti kommunikációt** főleg a programozó és a pumpa üzeneteinek transzfer folyamatai alkotják. Az RF modul lényegi részét a Microchip gyártmányú PIC Basic Accessory Development Starter Kit alkotja, amely dedikáltan androidos készülékkel történő együttműködésre lett tervezve, a hozzá tartozó, nyílt forráskódú, demó alkalmazás egyszerűbb műveletek megoldását támogatja, (lehetséges például LED-ek vezérlése a futó Android alkalmazásból, valamint egyes panelen végzett interakciók az alkalmazás futása alatt eredményeznek hatást a telefonon). Ki kellett bővíteni a panel és a telefon közötti alap kommunikációt úgy, hogy nagyobb állományok, praktikusan fájlok mozgatása lehetővé váljon. Az eszközök által maximálisan megengedett csomaghossz 16 bájt, annak ellenére, hogy az USB kapcsolat ennél nagyobb is lehetővé tehetne. A kibővített csomagot 1 bájtos header és 15 bájtos payload alkotja. A mikrokontroller hátránya, hogy nem áll rendelkezésre akármennyi memória, így minél gyorsabban kell az orvosi eszközökből származó adatokat a telefon felé eljuttatni, és fordítva, hogy fölöslegesen tárolt adatok ne terheljék a memóriát. A mikrokontroller a csomagokat továbbítás után nem tárolja. A telefon és a panel közötti kommunikáció gyárilag USB kábelon keresztül történik. Ennek kiváltása valamely vezeték nélküli technológiával (pl. Bluetooth) indokolt esetben viszonylag könnyen kivitelezhető lenne.

Mivel a kommunikációs protokoll lehetővé teszi a várakozást egy-egy csomagra akár hosszabb időre is, így a TCP/IP alapú kommunikáció alkalmazható **a páciens és az orvos okostelefonja közötti adatátvitel** esetén. Megengedhető, hogy egy-egy csomagra rövid ideig (néhány 10 másodperc) várni kelljen, de ez csomagismétléssel és újbóli handshakinggel jár. Kísérletileg könnyen igazolható ez, az egymás mellé helyezett pumpa és programozó eszköz kommunikációját fizikailag megszakítva, rövid ideig várva (ez akár fél perc is lehet), majd a két eszközt újra közel helyezve egymáshoz a kommunikáció tovább folytatódik onnan, ahonnan az átvitel abbamaradt. Hosszabb ideig (néhány perc) a kommunikáció szakadt állapota nem tartható fenn, mert a programozó egy idő után kikapcsol, ha nincsen interakció.

A telefonok közötti kommunikáció prototípusa egy JAVA nyelven készült szerver alkalmazás, amely még nem képes folyamatos működésre, de tesztelésre alkalmas. A mobiltelefonok WiFi vagy mobilinternet (2G/3G) használatával érik el a szervert, amelynek feladata, hogy a két készülék között olyan adatállományokat mozgasson, melyek tartalmazzák a másik oldalon lévő eszköznek szánt információkat. A szerver egyszerű "pipe-olást" végez, azaz a bejövő adatfolyamot azonnal továbbítja a túloldalra.

A **grafikus felhasználói felület** a páciens számára tájékoztatást adhat a kommunikációs folyamat állapotáról, az orvos számára ez az interfész további elemekkel bővül, mely biztosítja a folyamat vezérlését.



16. ábra. Az Android alkalmazás felhasználói felülete

Az orvos alkalmazása az RF modul csatlakoztatása után automatikusan indul a főmenü megjelenésével, ahol az alábbi funkciók közül lehet választani:

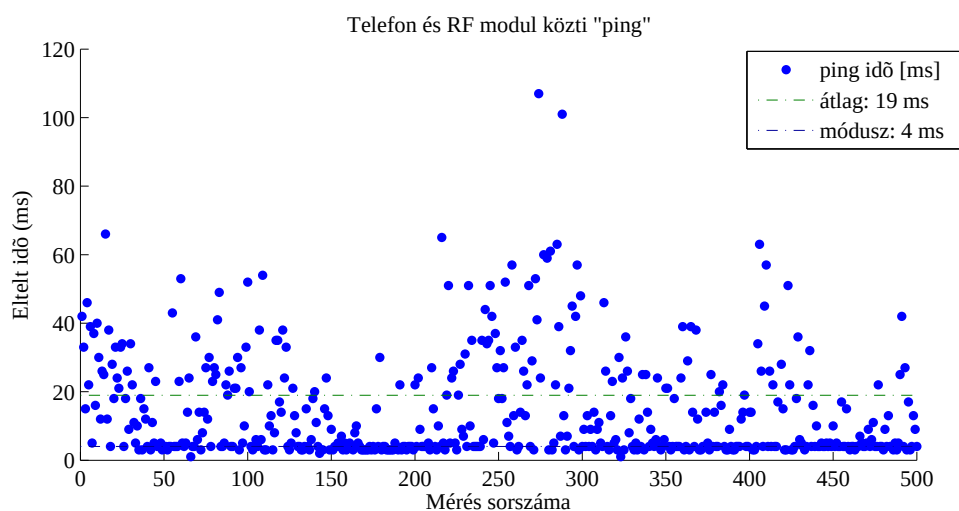
- **PATIENTS:** Ebben a menüpontban kezelhető a betegek listája. Az alkalmazás indításakor a páciensek adatai egy a külső memórián tárolt adatbázisból töltődnek be. Ezek egy listába rendezve jelennek meg a képernyőn. Egyszerű kattintással megjeleníti a betegek adatait, ahol a naptár részre kattintva meg lehet tekinteni a korábbi és jövőbeni vizsgálati időpontokat. A lista egy elemére irányuló hosszú kattintás után pedig az adatok szerkeszthetővé válnak. Természetesen lehetőség van új személy felvételére és törlésére is. A betegek könnyebb azonosíthatósága végett a páciensekhez kép is társítható, melyet a kamera aktiválásával tehet meg az orvos egy személyes konzultáció során.
- **STATS:** A kezdeti verzióban itt a lekérdezések, orvosi vizsgálatok naplózása történne. Vissza lehetne nézni, hogy melyik beteg mikor esett át vizsgálaton és az milyen eredménnyel zárult. Ez csak az első közelítés, később komolyabb funkciók kerülnek majd ebbe a menüpontba, például az eredmények elemzésének lehetősége és grafikus megjelenítése.
- **INTERROGATION:** Gyakorlatilag ez az alkalmazás legfontosabb menüpontja. Hasonlóan a Patients szisztémájához, itt is az adatbázisból tölti be a pácienseket egy látható listába, de itt nem az adatok nézegetése, vagy módosítása kerül előtérbe, hanem maga a vizsgálat lebonyolítása. Az orvos innen választhat, hogy egy sima hívást intéz a beteg irányába, vagy pedig az interrogációt kezdi meg. Hívás esetén egyértelmű mi történik, lekérdezésnél pedig a telefon kapcsolódik a szerverhez és lebonyolítja a teljes interrogáció menetét, miközben folyamatos visszajelzéseket ad a doktornak a folyamat állapotáról.

- **SETTINGS:** Ebben a menüpontban alapvető beállítási lehetőségek érhetők el, mint például a használati nyelv módosítása, vagy emlékeztető beállítása.

A páciens alkalmazása szintén automatikusan indul az RF modul csatlakoztatásával, viszont ennek kisebb a funkcionalitása, hiszen a lekérdezést egyedül az orvosnak kell tudnia vezérelni. Az applikáció indulása után a beteg telefonon beszélhet az orvossal, miközben egy sáv jelzi neki, hogy a vizsgálat hol tart és még nagyjából mennyi van hátra.

5.4. A rendszer teljesítőképességének mérési alapú elemzése

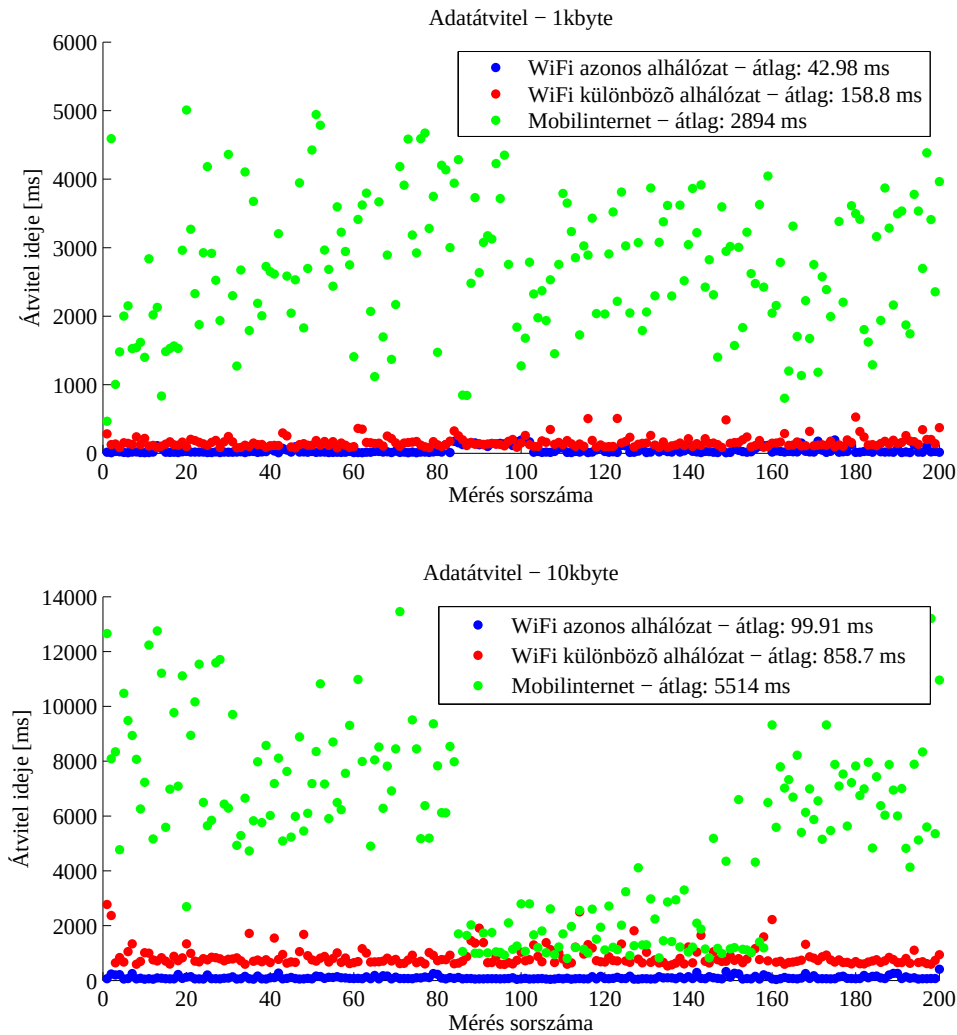
A rendszer megvalósítása során az egyes modulok teljesítőképességének mérése külön-külön el lett végezve.



17. ábra. Telefon és RF modul közötti adatátvitel mérése

A **telefon és a RF modul közötti adatátvitel** sebessége hatással van a teljes vizsgálat időtartamára, ezért szempont, hogy lehetőleg minél kisebb késleltetés lehessen elérhető a két egység közötti adatátvitel során. A mérés során ugyanolyan 16 byte méretű adatsomag szerepelt mint, amit a két eszköz tényleges adatátvitel során használ, de most a mérés szempontjából lényegtelen részek véletlen értékekkel kerültek kitöltésre. Az időt a telefon órája mérte, a csomag kétszer tette meg a mérendő utat egy-egy vizsgálat során. Nagy számú minta alapján elmondható, hogy egy 16 bájtos csomag átlagosan kevesebb, mint 20 ms alatt teszi meg a telefon - RF modul távolság kétszeresét. A leggyakoribb érték 4 ms volt, mely az esetek több mint felében fordult elő. A "ping" mérés során négy tesztet vizsgálatára került sor, úgy mint nyugalmi teszt (1), stressz teszt (2), nyugalmi teszt hanghívással (3), stressz teszt hanghívással (4). Nyugalmi teszt során a mérés folyamatán kívül nem történt más interakció a telefon és a panel között, míg stressz teszt esetén több különféle adatsomagot kiváltó esemény előállítása történt. A 3. és 4. eset hívási folyamattal bővült az előzőekhez képest, vagyis itt az egész mérés során fenntartott, a telefon erőforrását fogyasztó, de valós helyzetet szimuláló

telefonhívás volt jelen. A négy esetben nem tapasztalható szignifikáns, mérhető eltérés.



18. ábra. Adatátviteli sebesség mérése a két telefon között

A rendszer architektúrájában igen fontos tényező a **két telefon közötti kommunikáció** sebessége. A vezeték nélküli hálózaton történő adatátvitel történhet WiFi-n és mobilinterneten keresztül is. Egy lekérdezés során pumpa és a programozó közötti teljes kommunikáció 9 kbyte-ra tömöríthető. Többféle mérés is elvégzésre került: a rendszer teljesítőképessége 1 kbyte-ra, 10kbyte-re és 1 Mbyte-ra, Wifi-n és mobilinterneten keresztül is. WiFi használata során két eset volt vizsgálva: az egyiknél a két telefon közös alhálózaton volt, a másiknál pedig különböző alhálózaton. A mobilinternet esetében meg kell jegyezni azt, hogy különböző protokollok esetén (2G, 3G) jelentős sebességbeli különbségek észlelhetők. A mérés a következő elrendezést követte. Az egyik telefon egy előre megadott méretű byte tömböt a szerveren keresztül átküld a másik telefonnak, amely azonnal visszaküldi azt. Az első készülék a küldés előtt közvetlenül kimentette a timestampjét, majd a visszaküldött adat megérkezése után egyből ismét eltárolta azt, végül pedig ezekből képezte az adatátvitel gyorsaságát. Az adat kétszeres "megutaztatására" azért volt szükség, hogy a két telefon órájának aszinkronitása (amely nagy adat átvitelénél

elhanyagolható, azonban ilyen kis adat esetében igen számottevő), ne torzítsa a mérést. 1 kbyte-os esetben 200 mérés lett rögzítve. Wifi-n keresztül az adatátviteli sebesség gyakorlatilag fixnek mondható volt, a leggyorsabb és leghalványabb mérés között is csak fél másodperc különbség volt. Mobilinternet esetében viszont sokkal elszórtaab eredmények születtek, ahogy az ábrán is látszik. Az átviteli sebességek gyakorlatilag 1 mp és 5 mp között oszlottak el egyenletesen. A 10 kbyte-os átvitel azért érdekes, mert ennél több adatot semmiképpen sem kell majd átküldeni, mert a lekérdezés alatti teljes kommunikáció 9 kbyte-ra tömöríthető. Ebben az esetben is 200 mérés készült és ugyanúgy megfigyelhető volt, hogy a WiFi nagyjából állandó sebességet biztosít, amely közös alhálózaton értelemszerűen valamivel gyorsabb. WiFi esetében nagyjából fél másodperces skálán helyezkedtek el az eredmények, habár különböző alhálózatnál néha egy-egy kiugró eredmény is megfigyelhető volt. A mobilinternet viszont ebben az esetben is jóval lassabb volt, egyes esetekben 10 mp-et is várni kellett az átvitel befejeződésére. Az ábrán viszont remekül látszik, hogy milyen szignifikáns sebességbeli változás történik, ha a mobilinternet 2G-ről 3G-re vált. Nagyjából a nyolcvanadik és a százhatvanadik mérés között ugyanis ez történt, az átviteli sebesség megközelítette a WiFi esetén tapasztaltat. A harmadik típusú méréseknek csak az volt a célja, hogy látszódjon a rendszer teljesítőképessége jóval nagyobb méretű adat átvitele esetében is. 1Mbyte ugyanis a teljes kommunikációnak több, mint a százszorosa, amely a sebességen meg is látszott. Azonos alhálózatú WiFi esetében nagyon gyors átvitel volt tapasztalható, 1 mp-re sem volt szükség az adatátvitel végbemeneteléséhez, különböző alhálózatok esetében viszont akár 1 teljes percet is várni kellett. A mérések során az egyik telefon és a szerver mindig egy alhálózaton volt. Az internetkapcsolatok három kategóriába oszthatók:

- egyik alhálózat (szerver és az egyik készülék): a letöltés 15000-18000 kbps, a feltöltés 10000-12000 kbps;
- másik alhálózat: a letöltés 1000-3000 kbps, a feltöltés 150-200 kbps;
- mobilinternet: a letöltés 60-150 kbps, a feltöltés 20-80 kbps.

Általánosságban elmondhatjuk tehát, hogy a WiFi nagyjából állandó adatátviteli sebességet biztosít, de az jelentősen függ a két oldalon levő letöltési és feltöltési sebességtől. Mobilinternet esetében viszont igen nagy szórás van, az adatátvitel ideje nagyban függ a attól, hogy a mobilinternet milyen protokoll szerint működik. Meg kell említeni azt is, hogy a mérések úgy is elvégzésre kerültek, hogy a program futásával párhuzamosan telefonhívás is folyt, de ez egyáltalán nem befolyásolta az átviteli sebességet, amely igen pozitív dolog, hiszen a betegek sokkal nyugodtabban és biztonságosabban érzik magukat, ha a vizsgálat közben beszélhetnek orvosukkal.

6. fejezet

Összefoglalás

A szakirodalom kiterjedt vizsgálata eredményeként, a dolgozatban bemutatásra került a telemedicina kapcsolata a bionikával, az egészségügyben fellelhető szolgáltatások és a mérnöki szempontból is fontos jellemzők, kiemelt figyelmet fordítva a bionika két platformjára, a testbe ültetett szimbiózisokra és a testközeli érzékelő hálózatokra. Felvázoltuk a testközeli érzékelő hálózatok legszámottevőbb felhasználási területeit és ismertettük ezen rendszerek alapvető jellemzőit és technikai kihívásait. Bemutattuk a mobiltechnológia szerepét a bionikában, melynek során érintettük az okostelefonok birtokában lévő óriási szenzoriális potenciált és ismertettük a legmodernebb csúcskészülékek legfontosabb paramétereit. A mobilkészülékekhez kapcsolódva, áttekintettük a jelenleg elérhető és a koncepcionális okostelefon alkalmazásokat is.

A dolgozatban ismertetésre került az okostelefonon alapuló, megtervezett és kidolgozott rendszer, amely a gyógyszeradagoló pumpával élő betegek életminőségének javítását célozza meg, de a felvázolt rendszerterv alapján, más hasonló kihívások is megoldhatók. A Medtronic és hasonló gyártók által készített, induktív csatolással kommunikáló implantátumok együttműködhetnek a rendszerrel, a kommunikációs protokoll ismeretében. Az ismertett architektúra általános megoldást kínál orvosi eszközök távjelenlétére. Az RF modul kiegészítése egy megfelelő interfésszel (pl. soros port, bluetooth, USB) lehetővé teszi, hogy más kommunikációs csatornákat használó eszközök is illeszthetők legyenek a rendszerbe. Elképzelhető USB-s vércukormérő, EKG, vérnyomásmérő, stb. csatolása ebbe a távelérést biztosító megoldásba. Tovább lépési lehetőségként szükséges: egy tesztelhető, teljesértékű prototípus elkészítése; az alkalmazhatóság tesztelése és rendszerteszt; felhasználói visszajelzések után az alkalmazás finomítása, újratervezése.

A következőkben bemutatásra kerülő esettanulmány célja, hogy alátámassza és "kézzelfogható" érveket állítson a rendszer valódi szükségességét illetően: A projekt során három, lemerült akkumulátoraik miatt gyógyászati célra már nem alkalmas, de mérnöki fejlesztés céljából még éppen megfelelő gyógyszerpumpa került megvizsgálásra. Korábbi tulajdonosaik lakóvárosa ismert: Szombathely, Gyál és Kék. Az Idegtudományi Intézet orvosai Budapesten tudják ellátni a betegeket, akiknek átlagosan havonta egyszer vizsgálatra kell menniük. A jelenlegi árak szerint ez súlyos összegbe kerül, és rengeteg időt emészt fel. Az alábbi táblázat ezt foglalja össze: (az utazási idő és költség esetében mindig a legkisebb került feltüntetésre)

4. táblázat. Vizsgálat költségei

	Lakóhely	Szükséges idő	Szükséges költség	Éves összes költség és idő
Hagyományos megoldás	Szombathely	2:51 (3:02)	4060 (6442) HUF	97440 HUF és 68:24
	Gyál	0:39 (0:29)	465 (720) HUF	11160 HUF és 11:36
	Kék	3:40 (2:32)	4660 (7134) HUF	111840 HUF és 60:48
Javasolt megoldás	Bárhol	15 perc	< 0,12 HUF + 450 HUF	< 1,2 HUF + 5400 HUF és 3 óra

A táblázat szemlélteti, hogy az általunk javasolt rendszer használata nagyságrendileg kevesebb időt és pénzt követel, mint a jelenleg használt, hagyományos megoldás. A szükséges idő és szükséges költség esetén a vasúti közlekedés jellemzői az alapértékek, zárójelben átlagos teljesítményű és fogyasztású személygépkocsi értékei olvashatók (az adatok csak az odaútra vonatkoznak). Az utolsó oszlopban látható összesített értékek egy évre vonatkoznak és tartalmazzák az oda-vissza út idejét és költségét is (12 vizsgálat költsége és ideje). A javasolt megoldás esetén egy vizsgálat ideje legfeljebb negyedórát igényel, költsége majdnem teljesen csak a hanghívás értéke (30 forintos percdíjjal számolva). Jól látható, hogy az adatátvitelhez szükséges mobilinternet forgalom szinte ingyenes és helyhez kötött használat esetén hagyományos WiFi is elégséges. (A legdrágább hazai mobilinternet előfizetéssel számolva 1 Mbyte 12 forint, egy teljes vizsgálat során átvitt adatmennyiség 10 kbyte-ba tömöríthető.) A hagyományos megoldás esetén a táblázat értékei nem tartalmazzák a városon belüli közlekedés idejét és árát, valamint az esetlegesen felmerülő egyéb veszteségeket sem. A javasolt megoldás esetén, a működéshez egy okostelefonra, a hardvereszközre és internetkapcsolatra van szükség. Manapság gyakorlatilag minden háztartásban van internetkapcsolat, ami így nem ró fel plusz költségeket. (Havi 2000 forintért korlátlan internetszolgáltatás használható.) Az okostelefonok ára igen változó, de 30-40 ezer forint körül már egy igen sokat tudó készülékhez is hozzá lehet jutni, és lényeges, hogy ezt az összeget egyszer kell megfizetni, hisz várhatóan sokáig használható a termék.

A dolgozat elért eredményei:

- Célzott irodalomkutatás eredményeként a dolgozat ismerteti a mobiltechnológia jellemzőit, a bionikával rokon területet a telemedicínát, valamint a bionika két platformját: a testbe ültetett szimbiózisokat és a testközei érzékelő hálózatokat.
- Meghatározza a mobiltechnológia helyét a bionikában.
- Univerzális architektúrát vezet be, mely alapján mobilplatformon alapuló bionika alkalmazások készíthetők.
- A dolgozat legfőbb eredménye egy konkrét alkalmazás megtervezése és implementációja: mobiltechnológián alapuló orvosi távjenlét biztosítása gyógyszeradagoló pumpával élő betegek számára. Sokrétű mérnöki feladat, mely interfésztervezést, hardverfejlesztést, mobilalkalmazás fejlesztést egyaránt tartalmaz.

Irodalomjegyzék

- [1] Mark A. Wood and Kenneth A. Ellenbogen, "Cardiac Pacemakers From the Patient's Perspective Circulation" *Cardiology Patient Page*, 2002, 105:2136-2138, DOI:10.1161/01.CIR.0000016183.07898.90
- [2] Pelle P. de Koning, Martijn Figee, Pepijn van den Munckhof, P. Richard Schuurman, Damiaan Denys "Current Status of Deep Brain Stimulation for Obsessive-Compulsive Disorder: A Clinical Review of Different Targets" *Current Psychiatry Reports*, August 2011, Volume 13, Issue 4, pp 274-282, DOI 10.1007/s11920-011-0200-8
- [3] GSA - The Global mobile Suppliers Association, 2012 második negyedéből származó adat (<http://www.gsacom.com/news/statistics.php4>)
- [4] Gartner, Inc. "Gartner Says Worldwide Sales of Mobile Phones Declined 3 Percent in Third Quarter of 2012; Smartphone Sales Increased 47 Percent" 14 November 2012 (Utolsó elérhetőség: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=2237315>)
- [5] Országos Idegtudományi Intézet (<http://www.oiti.hu>)
- [6] Medtronic, Inc. *Benefits and Risks - ITB Therapy*. (Utolsó elérhetőség: <http://www.medtronic.com/patients/severe-spasticity/therapy/benefits-risks/index.htm>)
- [7] Richard Wootton, John Craig, Victor Patterson: *Introduction to Telemedicine*, Royal Society of Medicine Press Ltd 2006, ISBN 1-85315-677-9
- [8] Christian Bachmann, Maryam Ashouei, Valer Pop, Maja Vidojkovic, Harmke de Groot, and Bert Gyselinckx, Holst Centre/imec, Eindhoven, The Netherlands "Low-Power Wireless Sensor Nodes for Ubiquitous Long-Term Biomedical Signal Monitoring" *IEEE Communications Magazine*, January 2012
- [9] American Telemedicine Association: *What is Telemedicine & Telehealth?* (<http://www.americantelemed.org>)
- [10] Tamás Haidegger, Zoltán Benyó "Extreme Telesurgery" *Robot Surgery*, Edited by Seung Hyuk Baik, ISBN 978-953-7619-77-0, Published: January 1, 2010 under CC BY-NC-SA 3.0 license, in subject Machine Intelligency DOI: 10.5772/6894
- [11] M. H. Schoenfeld, S. J. Compton, R. H. Mead, D. N. Weiss, L. Sherfese, J. Englund and L. R. Mongeon "Remote Monitoring of Implantable Cardioverter

- Defibrillators" *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 2004, 27: 757–763. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2004.00524.x
- [12] World Health Organization: "mHealth - New horizons for health through mobile technologies" *Global Observatory for eHealth series - Volume 3* (Utolsó elérhetőség: http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf)
 - [13] World Health Organization: "Telemedicine - Opportunities and developments in Member States" *Global Observatory for eHealth series - Volume 2* (Utolsó elérhetőség: http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf)
 - [14] D. Halperin, T. S. Heydt-Benjamin, B. Ransford, S. S. Clark, B. Defend, W. Morgan, K. Fu, T. Kohno, W. H. Maisel, "Pacemakers and Implantable Cardiac Defibrillators: Software Radio Attacks and Zero-Power Defenses" *IEEE Symposium on Security and Privacy* 2008, DOI: 10.1109/SP.2008.31
 - [15] Alan S. Go, Elaine M. Hylek, Kathleen A. Phillips, YuChiao Chang, Lori E. Henault, Joe V. Selby, Daniel E. Singer "Prevalence of diagnosed atrial fibrillation in adults: national implications for rhythm management and stroke prevention: the AnTicoagulation and Risk Factors in Atrial fibrillation (TRIA) study" *The Journal of the American Medical Association* 2001, 285(18):2370-2375.
 - [16] Aram V. Chobanian, George L. Bakris, Henry R. Black, William C.ushman, Lee A. Green, Joseph L. Izzo Jr, Daniel W. Jones, Barry J. Materson, Suzanne Oparil, Jackson T. Wright Jr, Edward J. Roccella "The seventh report of the Joint National Committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure - the JNC 7 report" *The Journal of the American Medical Association* 2003, 289(19):2560-2572.
 - [17] Sharon A. Hunt, David W. Baker, Marshall H. Chin, Michael P. Cinquegrani, Arthur M. Feldmanmd, Gary S. Francis, et al. "ACC/AHA guidelines for the evaluation and management of chronic heart failure in the adult: executive summary, A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (Committee to revise the 1995 guidelines for the evaluation and management of heart failure)" developed in collaboration with the International Society for Heart and Lung Transplantation; endorsed by the Heart Failure Society of America, *Circulation* 2001, 104(24):2996-3007.
 - [18] American Optometric Association *Diabetes is the leading cause of blindness among most adults* (Utolsó elérhetőség: <http://www.aoa.org/x6814.xml>)
 - [19] Saraju P. Mohanty, Biosensors: A Survey Report;Dept. of Comp, Sc. and Eng. University of South Florida; 2001
 - [20] Guang-Zhong Yang, PhD, *Body Sensor Networks*,Springer-Verlag London Limited 2006, ISBN: 1-84628-272-1

- [21] Mitra, U.; Emken, B.A.; Sangwon Lee; Ming Li; Rozgic, V.; Thatte, G.; Vathsangam, H.; Zois, D.; Annavaram, M.; Narayanan, S.; Levorato, M.; Spruijt-Metz, D.; Sukhatme, G.; , "KNOWME: a case study in wireless body area sensor network design," *Communications Magazine*, IEEE , vol.50, no.5, pp.116-125, May 2012 doi: 10.1109/MCOM.2012.6194391
- [22] International Data Corporation (IDC) *Worldwide Mobile Phone Tracker*, 8 August 2012 (Utolsó elérhetőség: <http://www.email-marketing-reports.com/wireless-mobile/smartphone-statistics.htm>)
- [23] Android Developers - <http://developer.android.com>
- [24] Sensordrone: The 6th Sense of Your Smartphone - <http://geekli.st/chapel/links/576>
- [25] Phone Arena - <http://www.phonearena.com> (Ingyenes telefonkészülék adatbázis.)
- [26] Google Play - <https://play.google.com/store>
- [27] Medgadget - <http://www.medgadget.com> (Medgadget is an independent weblog written, edited and published by a group of MDs and biomed engineers.)
- [28] Werblin, F., Roska, T. and Chua, L. O. (1995), "The analogic cellular neural network as a bionic eye", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 23: 541–569. doi: 10.1002/cta.4490230602