

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés**

**EGÉSZSÉGÜGYI IOT  
OKOSZKÖZÖK ÉS KLINIKAI  
TELEMEDICINA MŰSZEREK  
INTEGRÁLÁSA  
KÓRHÁZINFORMATIKAI  
RENDSZEREKBE A CLOUD  
ARCHITEKTÚRA TÁMOGATÁSÁVAL**

Garai Ábel

Témavezető: Dr. Adamkó Attila



**DEBRECENI EGYETEM**  
Informatikai Tudományok Doktori Iskola  
Debrecen, 2018



*Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Informatikai Kar Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács Informatikai Tudományok Doktori Iskola Alkalmazott információ technológia és elméleti háttere Doktori Program keretében készítettem a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.*

*Nyilatkozom arról, hogy a disszertációban és a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.*

Debrecen, 2018. október 12.



.....  
Garai Ábel

*Tanúsítom, hogy Garai Ábel doktorjelölt 2015-2018 között az Informatikai Tudományok Doktori Iskola Alkalmazott információ technológia és elméleti háttere Doktori Program keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.*

*Az értekezés elfogadását javasolom.*

Debrecen, 2018. október 12.

.....  
Dr. Adamkó Attila  
témavezető



**Egészségügyi IoT okoseszközök és klinikai telemedicina műszerek  
integrálása kórházinformatikai rendszerekbe a Cloud architektúra  
támogatásával**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében az Informatika tudományágban

Írta: Garai Ábel okleveles közgazdász

Készült a Debreceni Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskolája Alkalmazott  
információ technológia és elméleti háttere Doktori Program keretében

Iskolavezető: Prof. Dr. Sztrik János

Programvezető: Prof. Dr. Terdik György

Témavezető: Dr. habil. Adamkó Attila

A doktori szigorlati bizottság:

Elnök:	Prof. Dr. Vaszil György
Tagok:	Dr. habil. Zichar Marianna
	Dr. habil. Kiss Attila

A doktori szigorlat időpontja: 2018. január 26.

Az értekezés bírálói:

Dr. habil. Varga Imre  
Dr. Horváth Ildikó  
Dr. ....

A bírálóbizottság:

Elnök:	Dr. ....
Tagok:	Dr. ....
	Dr. ....
	Dr. ....
	Dr. ....

Az értekezés védésének időpontja: 201 . . . . .



## Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Adamkó Attila Tamás Docens Úr éveken át tartó fáradhatatlan segítségét.

Köszönöm Terdik György Professor Úr évtizedes megtisztelő támogatását.

Hálával tartozom Feleségemnek, Édesapámnak, Édesanyámnak és Testvéremnek, amiért kimeríthetetlenül biztosították az ideális körülményeket doktori munkám elvégzéséhez.

Köszönöm Dr. Németh Ágnes Főorvosasszonynak a kutatás klinikai hátterének biztosítását.

Köszönöm Iványi Amália Professorasszony tüzetes iránymutatását.

Továbbá köszönöm kutatótársamnak, Péntek Istvánnak a kiemelkedő közös munkát.

Köszönettel tartozom továbbá mindazoknak, akik támogattak abban, hogy sikeresen elkészüljenek a tudományos cikkeim és a disszertációm.



## Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	1
2.	Témaválasztás, motiváció.....	4
2.1	Kortárs informatikai megatrendek .....	4
2.2	Cloud architektúra alkalmazása az egészségügyi informatikában .....	6
2.3	Internet of Things (IoT) az egészségügyi informatikában.....	8
2.4	Egészségügyi IoT okoseszközök valósidejű bioszenzor-adatfolyamának egységesített feldolgozása .....	11
3.	Elméleti alapok, definíciók .....	15
3.1	Telemedicina.....	15
3.2	Cloud architektúrák.....	17
3.3	Internet-of-Things (IoT).....	20
3.4	Domináns nemzetközi orvosinformatikai interoperabilitási szabványok: HL7 és SNOMED-CT .....	22
4.	Irodalmi előzmények .....	25
4.1	Architekturális keretrendszerek az egészségügyi informatikában .....	25
4.2	Cloud-alapú kórházinformatikai rendszerek és regionális kórházinformatikai interoperabilitási program.....	28
4.3	Egészségügyi IoT okoseszközök egészségügyi informatikai integrációja ...	32
4.4	Páciensakták transznacionális integrációja.....	36
5.	Célkitűzések.....	40
5.1	Adaptív, Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) létrehozása és beágyazása Cloud architektúrába.....	40
5.2	Egészségügyi IoT okoseszközök és klinikai telemedicina készülékek illesztése kórházinformatikai rendszerhez centrális, Cloud-ba beágyazott Telemedicina Hub-Alkalmazáson keresztül .....	43
5.3	Egészségügyi IoT okoseszköz és klinikai telemedicina készülék kimeneti jelfolyamának becsatornázása kórházinformatikai tesztrendszerbe a nemzetközi HL7 szabvány támogatásával .....	46
5.4	Parciálisan delokalizálható, Cloud-ba beágyazott hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus modellezése és optimalizálása.....	47
6.	Matematikai módszerek.....	50

6.1	Szolgáltatás-orientált Cloud architektúra leképezése és elemzése gráfokkal.....	50
6.2	A modellezett egészségügyi informatikai alrendszerek rendszerintegrációjának optimalizálása lineáris algebrával.....	53
7.	Gyakorlati módszerek.....	60
7.1	Alkalmazott egészségügyi eszközök.....	60
7.2	Hardware-környezet .....	63
7.3	Szoftver környezet .....	67
7.4	Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) .....	71
8.	Korlátozó tényezők.....	74
8.1	Cloud architektúra korlátok .....	74
8.2	Nem-szabványos bioszenzor-jelfolyamok interoperabilitása .....	75
8.3	A rendszeroptimalizálás mérhetőségének korlátai .....	78
8.4	Védett kórházinformatikai rendszerek és páciensakták.....	79
9.	Tézisek.....	82
9.1	Tézis 1.....	82
9.2	Tézis 2.....	86
9.3	Tézis 3.....	89
9.4	Tézis 4.....	93
9.5	Tézis 5.....	97
10.	Összefoglalás és következtetések .....	101
10.1	A kutatás tárgya.....	101
10.2	Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás .....	102
10.3	Kutatási eredmények.....	103
10.4	A kutatási eredmények alkalmazása .....	106
11.	Summary.....	107
11.1	Research subject.....	107
11.3	Research results .....	109
11.4	Research results application.....	110
12.	Irodalomjegyzék .....	112

13.	Publikációs lista .....	118
13.1	Referált folyóiratcikkek .....	118
13.2	Referált könyvfejezet .....	118
13.3	Referált konferenciakiadványok, könyvrészletek, előadások.....	118
13.4	Konferencia-előadások .....	120
14.	Függelék.....	121
14.1	Ábrajegyzék.....	121
14.2	Táblázatjegyzék.....	122



## 1. BEVEZETÉS

A telemedicina jelenkori fokozott aktualitása több egyidejű jelenséghez köthető. Jóllehet, jelentős fejlődés tapasztalható az orvostudományban, ezzel egyidejűleg az orvoshiány immár kritikus méreteket ölt a nyugati civilizációkban. Várhatóan, az informatikai és a telekommunikációs fejlődés eljut oda, hogy áthidalja és ellensúlyozza az egészségügyben mindennapos kapacitáshiányt.

Az első holdraszállásnál, 1969-ben Neil Armstrong és asztronauta társai szívritmus-monitorozó eszközöket viseltek [1]. Ez jó példa arra, hogy a telemedicina kritikus sikertényező lesz olyan nagyszabású vállalkozásoknál is, mint a tervezés alatt álló Mars-misszió. Ezen túlmenően, a telemedicina világméretű kiépítése forradalmasítja és lehetővé teszi a teljes emberi populációra vonatkozó adatelemzést, továbbá a hiteles egészségügyi előrejelzést.

Az alábbi infokommunikációs megatrendek együttesen szignifikáns fejlődést hoznak a telemedicina és egészségügyi informatika új megoldásaihoz:

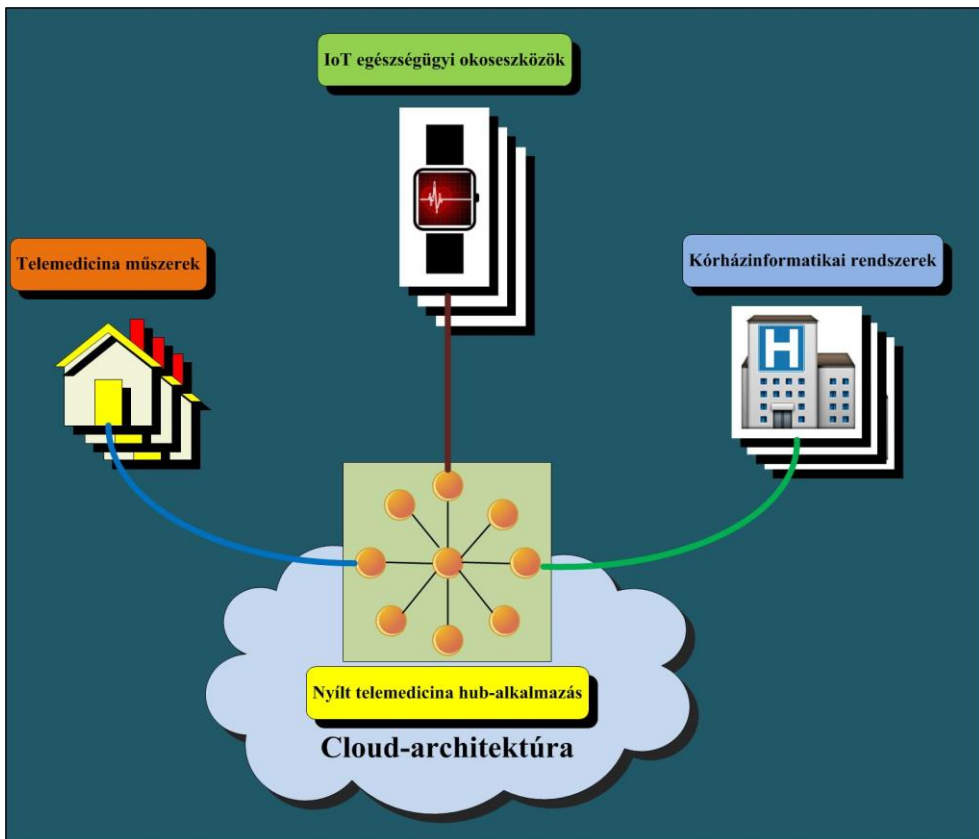
- a) Cloud-alapú architektúrák kiteljesedése;
- b) Egészségügyi okoseszközök exponenciálisan növekvő piaci penetrációja; és az
- c) Internet-of-Things világméretű terjedése.

A kutatás a következő premisszákra épül:

- a) Létezik olyan centrális és egységes informatikai megoldás, amely a különböző egészségügyi okoseszközöket, klinikai telemedicina műszereket és kórházinformatikai rendszereket hatékonyan összeköti.

- b) A szóban forgó informatikai megoldás Cloud architektúrába hatékonyan beágyazható.
- c) Lehetséges a domináns nemzetközi egészségügyi interoperabilitási szabványcsaládra alapozott, eltérő technológiájú egészségügyi okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek közötti kommunikáció kiépítése.

A kutatás fókuszában a Nyílt Telemedicina Hub-Alkalmazás (OTI-HS) áll. Ez a hub-alkalmazás Cloud architektúrába kerül beágyazásra. (1. ábra).



1. ábra. Cloud alapú telemedicina interoperabilitási keretrendszer

A kutatás elméleti és gyakorlati részből áll. Az elméleti részben kifejtem a premisszákat, a módszertant és kitűzöm a kutatási célt. A gyakorlati részben felállítom a hardver és szoftver környezetet, megvizsgálom a kutatási eredményeket és tudományos következtetéseket teszek. Az összefoglalásban a tézisek tudományos eredményeiből fakadó következtetéseket mutatom be.

## 2. TÉMAVÁLASZTÁS, MOTIVÁCIÓ

### 2.1 Kortárs informatikai megatrendek

A bevezetésben említett három világméretű informatikai trend külön-külön és együttesen is új lehetőségeket kínál az egészségügyi informatikában.

#### a) Cloud-architektúrák kiteljesedése

A virtualizációs technológiák a második világháborút követő évtizedekben jelentek meg és közöttük leginkább a Mainframe rendszerek voltak úttörők. Ez utóbbi rendszerek eleinte időosztásos (time-sharing) rendben ütemezték és kötegettek a terminálokról kezdeményezett számítási igényeket. A kilencvenes években a PC (personal computer, személyi számítógép) alapú kliens-szerver (client-server) architektúrák terjedtek el. A millennium utáni második évtizedben a virtualizáció a reneszánszát éli. Ipari méretű megoldásokban ennek gyűjtőneve a Cloud architektúra (felhő architektúra). Számos globális informatikai szolgáltató kiépítette stabilan működő, geográfiailag szabadon elérhető Cloud szolgáltatását. Ezeknek a ma már stabilan és biztonságosan működő szolgáltatásoknak köszönhetően az eddig különálló szervereken futó alkalmazások jelentős része lépésről-lépésre felhő-architektúrába migrálható a világ számos részén.

#### b) Egészségügyi IoT okoseszközök elterjedése

Az ipari méretű Internetre kapcsolt klinikai telemedicina műszerek és megoldások elterjedése a kilencvenes évektől nyomon követhető. Ezek az eszközök jellemzően központi költségvetésekből finanszírozott műszercsomagok. Bizonyos speciális területeken, mint például úrutazásnál, tengeralattjárókon vagy olajfúró tornyokon már eddig is működtek klinikai telemedicina megoldások. A mindennapi életben az egyedülálló személyek otthoni ápolásában jelent nagy

előrelépést a telemedicina fejlődése. Mindezek mellett, ugyancsak a kilencvenes években a kiskereskedelmi forgalomban megjelentek az egyénileg is elérhető egészségügyi okoseszközök. Utóbbiak elterjedésében feltétel volt az általánosan hozzáférhető és megfizethető mobil adatkapcsolat és az ahhoz szükséges világméretű GSM-rendszerek kiépülése.

A millenniumot követően az okoseszközök szegmensben megjelent az egészségügyi okoseszközök csoportja.

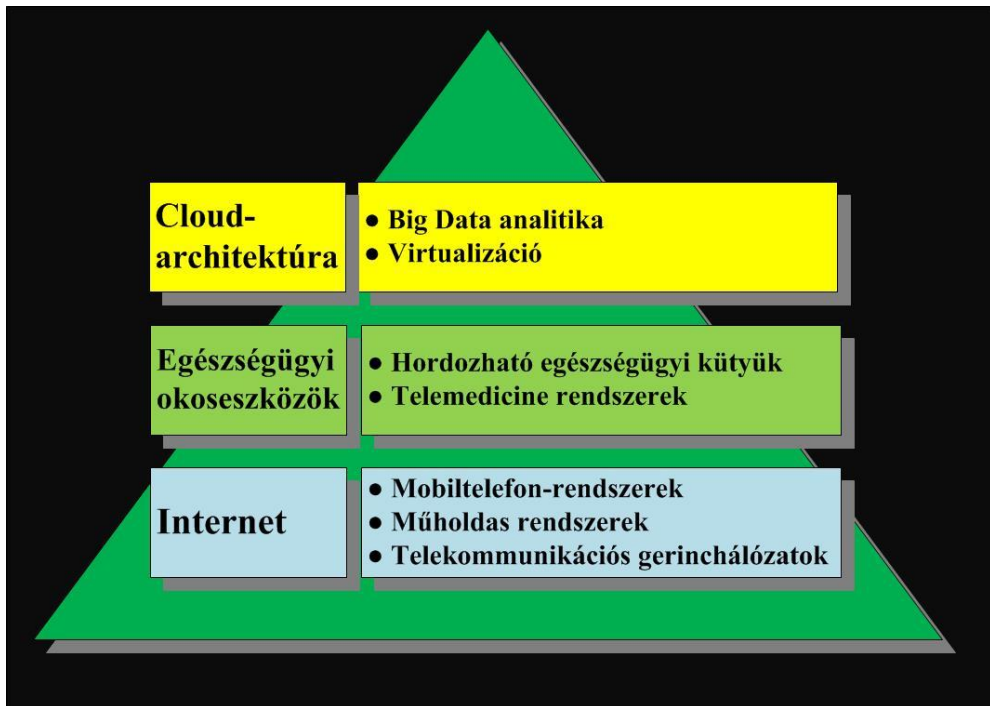
A globális hálózatokhoz kapcsolt egészségügyi okoseszközök általában több bioszenzorral rendelkeznek és megszabott időközökben (például másodpercenként) meghatározott vezeték nélküli kapcsolaton keresztül elküldik valós idejű mért adataikat.

c) Internet-of-Things (IoT)

A világbank 2016-os számításai szerint 2020-ra legalább ötvenmilliárd eszköz lesz Internethez kapcsolva [2]. Közöttük szerepelnek mobiltelefonok, számítógépek, nyomtatók, intelligens-villanyórák, ipari céleszközök és egészségügyi okoseszközök, „okos kutyuk” (smart devices, smart gadgets). Az említett eszközök részben számítóközpontokkal, részben közvetlenül egymással (Peer-to-Peer) lesznek kapcsolatban.

A fentiekben prognosztizált folyamat a következő elemekre épül (2. ábra):

- i) Világméretű Internethálózat, amelyet Internet-gerinchálózatok, műholdas rendszerek és mobiltelefon rendszerek alkotnak;
- ii) Könnyen hozzáférhető (egészségügyi) okoseszközök;  
és
- iii) Kiteljesedett Cloud architektúrák (felhő architektúrák), amelyeknek központi magját a specializált virtualizációs réteg adja.



2. ábra. Internet-of-Things technikai premisszái

## 2.2 Cloud architektúra alkalmazása az egészségügyi informatikában

Az ipari méretű kórházinformatikai rendszerek szállítói folyamatosan törekszenek arra, hogy szoftvermegoldásaikat felhő-alapú infrastruktúrára tegyék át. A következő érvek szólnak a Cloud architektúrára való átállás mellett (1. táblázat):

- Rugalmasság:** rövidtávon a növekvő vagy csökkenő számításkapacitás igényeket a Cloud infrastruktúra hatékonyan kezeli.
- Hatékonyág:** a csúcsidőn kívüli számítókapacitás-felesleget a Cloud szolgáltató más felhasználócsoporthoz allokalja, így a fizikai erőforrások mindig hatékonyan kerülnek felhasználásra.
- Rendelkezésre állás:** a Cloud szolgáltató a load-balancing módszer segítségével rendszerszintű folyamatos rendelkezésre állást biztosít a

szoftverfrissítések és az infrastruktúra-alrendszerekben fellépő hibák ideje alatt is.

A Cloud architektúra egészségügyi informatikai alkalmazása mellett és ellen szóló legfontosabb érvek	
Pro	Contra
a) Rugalmasság	d) Személyes és érzékeny adatok
b) Hatékonyság	e) Szubjektív adatbiztonság
c) Rendelkezésre állás	f) Nemzeti szabályozás

1. táblázat. Cloud-architektúra alkalmazhatósága az egészségügyi informatikában

Bár számos tényező szól a Cloud architektúra *mellett*, a következők mégis *ellene* szólnak:

d) Személyes és érzékeny egészségügyi adatok

A személyes egészségügyi információ törzsadatból és a hozzárendelt mérési eredményekből, leletekből és feljegyzésekből tevődik össze. Az egészségügyi adatok bizalmas és személyes információt hordoznak, minősített adatok. Ezért ezen adatok tárolásának, hozzáférhetőségének módját és megőrzésének fizikai helyét nemzeti és európai uniós rendelkezések szabályozzák. Ezek a jogi normák, jogszabályok és rendelkezések adott esetben a Cloud architektúra alkalmazását érintő technikai korlátozásokhoz is vezethetnek, vezetnek.

e) Szubjektív adatbiztonság

A Cloud szolgáltatók által nyújtott adatbiztonság ma már megfelel a törvényi előírásoknak és az általános egészségügyi informatikai előírásoknak. Mindazonáltal mind a klinikai döntéshozók, mind a páciensek meghatározott hányada úgy vélekedik, hogy az adatok akkor vannak legnagyobb biztonságban, amennyiben ezek fizikailag is az intézmény területén

maradnak. Vagyis, a döntéshozók valamint az érintett páciensek között vannak, akik továbbra is azt szeretnék, hogy az adatok az intézmények területén működő számítóközpontokban kerüljenek tárolásra és feldolgozásra, és így semmiképp ne kerülhessenek felhőbe. Utóbbi szubjektív tényezőnek befolyása van arra, hogy bizonyos kórházinformatikai rendszerek Cloud infrastruktúrába kerülnek vagy sem.

#### f) Nemzeti szintű egészségügyi információbiztonsági szabályozások

A Cloud szolgáltatók nemzethatárokon átívelő felhő infrastruktúrát építettek és építenek ki. A létrehozott Cloud számítóközpontok nem országoként, hanem több országot is magába foglaló régióként kerülnek kialakításra. Az így kialakított infrastruktúra lehetővé teszi a méretgazdaságossági előnyök kihasználását. Európában az egészségügyi ellátórendszerekre és így az egészségügyi adatokra vonatkozó rendelkezések országos szinten kerülnek szabályozásra. Ennek következménye az az ellentmondás, miszerint technikai oldalról lehetséges a kórházinformatikai rendszerek nemzethatárokon átnyúló Cloud infrastruktúrákba történő integrációja, a valóságban azonban ezt az országonként eltérő adatvédelmi jogszabályok és korlátozások miatt nem lehet megtenni.

A későbbi fejezetekben osztályozom a Cloud architektúrák típusait. Ezekben belül megkülönböztetem a privát, a publikus és a hibrid Cloud-ot. Előre bocsátható, hogy a fenti 1. táblázat a), b) és c) pontjaira a hibrid Cloud ad kielégítő választ.

### *2.3 Internet of Things (IoT) az egészségügyi informatikában*

Az Internettel összekapcsolt eszközök folyamatos adatkapcsolatban állnak, állhatnak egymással, és a dedikált számítóközpontokkal. Ez a folyamatos összekapcsoltság valósídejű adatmegosztást és továbbítást tesz lehetővé. Az eszközök egyszerre válnak adatforrássá és adatbefogadóvá. Az így összekapcsolt eszközök a mobil adatátviteli technológiáknak

köszönhetően helyváltoztatás esetén is elérhetők maradnak. Ez a folyamatos valós idejű összekapcsoltság lehetővé teszi, hogy speciális eszközök folyamatosan nyomon kövessék a páciensek biomarkereit, ezeket valós időben továbbítsák, és központi adatfeldolgozás után meghatározott esetben visszajelzést vagy riasztást kezdeményezzenek.

Az IoT világában megmarad a mobiltelefonok központi szerepe: távközlési hub-ként működhetnek az okoseszközökkel való kommunikáció során. A mobiltelefonok egyszerre többféle vezeték nélküli adatkommunikációs felületet is használnak (2. táblázat), ezek:

- a) Bluetooth,
- b) Wi-Fi, és
- c) GSM.

<b>Vezetéknélküli rendszerek karakterisztikái</b>			
Hálózat típusa	Frekvenciatartomány	Sebesség (max)	Hatótávolság
Bluetooth 5	2,4 – 2,485 GHz	50 MBit/s	300 m
Wi-Fi 802.11n	2,4-5 GHz	300 MBit/s	100 m
GSM LTE	850-1900 MHz	1 GBit/s	5 km

2. táblázat. IoT-t támogató vezetéknélküli infrastruktúra (forrás: [3])

A felsorolt három vezeték nélküli adatátviteli szabvány mindegyike további alszabványokba sorolható. A GSM alszabványok a következők (3. táblázat):

<b>GSM adatátviteli generációk</b>			
Generáció	Technológia	Jelátvitel	Maximális Sáv szélesség
1G	AMPS	analóg, vonalkapcsolt	-
2G	GSM	digitális, vonalkapcsolt	9,6 kBit/s
2.5G	HSCSD	digitális, vonalkapcsolt	57,6 kBit/s
	GPRS	digitális, csomagkapcsolt	115 kBit/s
2.75G	EDGE	digitális, csomagkapcsolt	236 kBit/s
3G	UMTS	digitális, csomagkapcsolt	384 kBit/s
3.5G	HSPA	digitális, csomagkapcsolt	14,4 MBit/s
3.9G	LTE	digitális, csomagkapcsolt	150 MBit/s
4G	LTE Advanced	digitális, csomagkapcsolt	1 GBit/s

3. táblázat. GSM alszabványok jellemzői (forrás: [4])

Az IoT okoseszközök egyik megjelenési formája az egészségügyi okoskarkötő (3. ábra). Ebben az eszközben bioszenzorok, érzékelők foglalnak helyet; a bioszenzorral felfogott primer jeleket az eszköz bluetooth kapcsolat segítségével továbbítja egy tetszőleges, vele előzetesen párosított mobiltelefonra. Az egészségügyi IoT okoskarkötő kimeneti jelfolyamának feldolgozása - a gyári beállítások szerint - a mobiltelefonon történik.



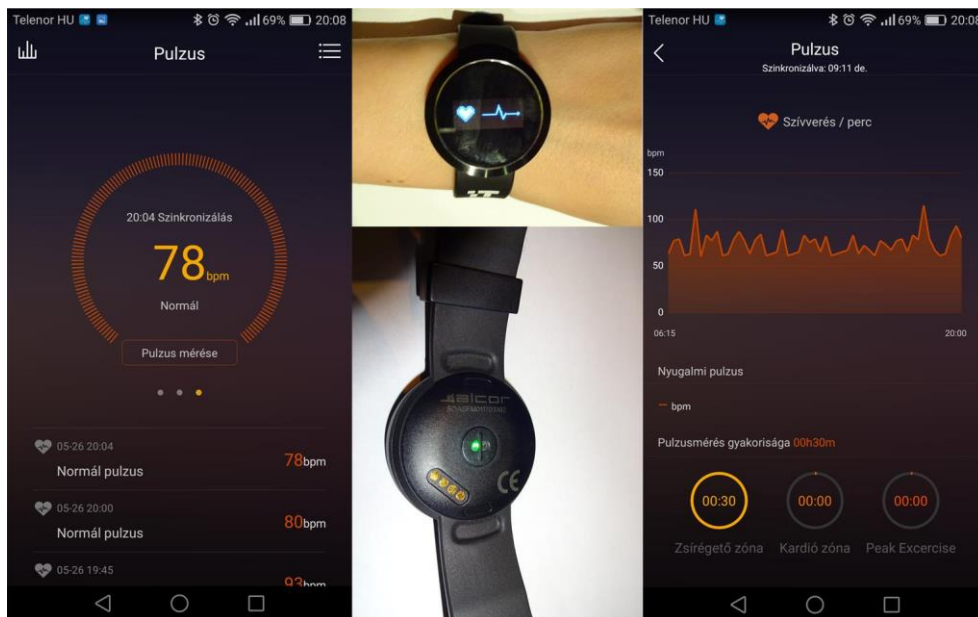
3. ábra: L18 Smart Health Bracelet okoskarkötő

Az egészségügyi IoT okoskarkötő gyártók gyakorlata az, hogy dedikált mobiltelefon-applikációt (mobil-app) készítenek, amely befogadja és vizuális formában megjeleníti a bioszenzorral mért adatsort. A leggyakrabban sajnos, az adott egészségügyi IoT okoseszközt és a hozzátartozó gyári mobil-appot úgy bocsátják kereskedelmi forgalomba, hogy sem a mobil-app forráskódja, sem az egészségügyi IoT okoseszköz és a mobil-app közötti adatfolyam nem hozzáférhető, azaz zárt rendszer a kívülálló szoftverfejlesztő részére. Ezen egészségügyi IoT okoskarkötők között *egy* kivétel található, amelynek gyártója elérhetővé tesz egy nyílt programozási felületet (Application Programming Interface, API). Tanulmányomban ez az egészségügyi IoT okoskarkötő sorsdöntő szerephez jutott, hiszen *ezzel* már lehetségessé vált, hogy folytassam és sikeresen befejezzem a megkezdett kísérleteket.

#### *2.4 Egészségügyi IoT okoseszközök valós idejű bioszenzor-adatfolyamának egységesített feldolgozása*

Az egészségügyi IoT okoseszközök elterjedése a világon exponenciális ütemben nő. Mindazonáltal, a gyártók által alkalmazott jelátviteli kódolások vagy nem nyilvánosak, vagy egymástól különböznek. Az 4. ábrán látható, hogy egy egészségügyi IoT okoskarkötő a mért pulzusjeleket továbbítja egy mobiltelefonon futó gyári app-ra. Ez egy jól működő, viszont külső fejlesztő

szempontjából zárt rendszer, ami még mindig nem megfelelő kutatásom céljaihoz.



4. ábra. Alcor Splash pulzsmérő IoT okoskarkötő és gyári app

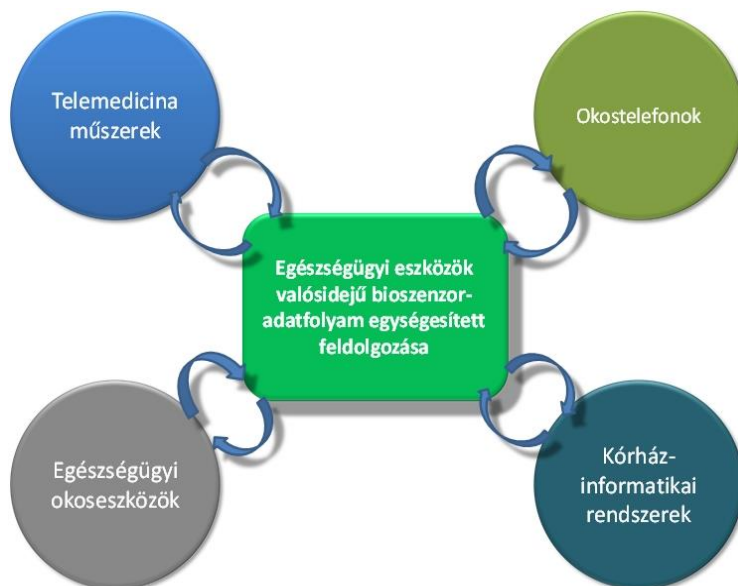
Kutatásom célja különböző egészségügyi IoT okoseszközök és klinikai telemedicina műszerek jeleinek egységes továbbítása és feldolgozása központi Cloud-ba beágyazott Hub-Alkalmazás segítségével. A kutatási célt rész-célokra bontom és ezek az alábbiakban olvashatók (4. táblázat):

Egységes bioszenzor-jelfeldolgozás lépései
I) Egészségügyi okoseszköz nyílt fejlesztőkörnyezete
II) Megfelelő telekommunikációs csatornák létesítése
III) Nemzetközi egészségügyi interoperabilitási szabványcsalád
IV) Centrális telemedicina-szoftvermegoldás kifejlesztése
V) Telemedicina-szoftvermegoldás beágyazása cloud-architektúrába

4. táblázat. A kutatás rész-céljai

- I) Első rész-cél: primer bioszenzor-jel kinyerése egészségügyi IoT okoseszközből, klinikai telemedicina készülékből. Sikeres jelfeldolgozás, annak megadott formátumban történő továbbítása. Mindehhez olyan eszközre van szükség, amely nem csupán a saját gyári app-jával képes kommunikálni, hanem a kimenő jelfolyamot külső fejlesztő részére is hozzáférhetővé teszi. Ezért a kutatás egyik feltétele a megfelelő egészségügyi IoT okoseszköz kiválasztása.
- II) Második rész-cél: valósidejű bioszenzor-adatsorok egységes feldolgozásához vezető megfelelő minőségű kommunikációs csatornák kiválasztása és azok rendelkezésre állása az End-to-End adatkommunikációhoz. Ezek a teljes kommunikációs csatornák általában magukba foglalják a bluetooth, W-Lan, GSM és LAN-kapcsolatot. E kommunikációs láncban minden kapcsolódási pontnak jelentősége van, és mindegyiknek az elvárt szolgáltatási szintet kell biztosítania ahhoz, hogy a teljes adatkommunikáció sikeres legyen.
- III) Harmadik rész-cél: olyan nemzetközi egészségügyi interoperabilitási szabadalomcsalád kiválasztása, amely alkalmas a bioszenzor-jeladatok egységesítésére.
- A kiválasztás feltétele: a választott szabadalomcsalád zökkenőmentesen kiszolgálja az egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek közötti kölcsönös adatmegosztást.

IV)Negyedik rész-cél: olyan centrális szoftver megoldás, amely a több bioszenzor csatornán egyidejűleg érkező adatfolyamokat adott szabványformátumra átalakítja, majd eljuttatja az arra hivatott célrendszereknek (5. ábra).



5. ábra. Egységes bioszenzor-adatfolyam feldolgozás

V) Ötödik rész-cél: a IV) pontban felvázolt szoftver megoldás Cloud architektúrába beágyazása, geográfiai megkötés nélküli szabad skálázású teljesítmény eléréséhez.

### 3. ELMÉLETI ALAPOK, DEFINÍCIÓK

#### 3.1 Telemedicina

A modern telemedicina gyökerei a múlt századba nyúlnak vissza. A nagy távolságokat áthidaló telefon feltalálásával lehetővé vált orvos és távoli páciense között a konzultáció, az esetleges diagnosztika. A telemedicina telekommunikációs eszközökkel végzett egészségügyi támogató tevékenység. A World Health Organization (WHO) definíciója szerint a telemedicina az egészségügyi szakemberek által telekommunikációs eszközökkel nyújtott mindazon szolgáltatás, ahol a fizikai távolság meghatározó tényező [5]. Ezekbe a szolgáltatásokba a következők tartoznak:

- a) Diagnózis,
- b) Gyógyítás,
- c) Megelőzés,
- d) Kutatás, és
- e) Egészségügyi oktatás.

A WHO előírása szerint a telemedicina szolgáltatásoknak a következő négy követelménynek kell megfelelniük:

- a) Cél a klinikai támogatás,
- b) Földrajzi távolságok leküzdése, amikor is a felhasználók fizikailag nem egy helyen tartózkodnak,
- c) Különböző ICT technológiák alkalmazása, és
- d) Cél a minél hatékonyabb egészségügyi eredmény.

A telemedicina megoldások fő jellemzői a valós idejűség, az összekapcsoltság, az elérhetőség és a mobilitás. Bár a telemedicina rendszerek elméletileg határokon átívelő technológiákra épülnek, a

valóságban az egészségügyi ellátórendszerek, a társult jogi szabályozások és a finanszírozási modellek országos hatáskörbe tartoznak, ami korlátozza a technikai lehetőségek teljes kihasználását. A telemedicinával elégséges egészségügyi szolgáltatást lehet nyújtani távoli peremvidékeken (például Norvégia vagy Kanada északi szórványlakossága), speciális körülmények között élő, dolgozó személyek részére (űrállomás, tengeralattjárók, olajfúrótornyok, sarkkörök) illetve természeti katasztrófák helyszínén (földrengés, szökőár).

Kutatásomban professzionális klinikai spirométer (PDD-301/shm, 6. ábra) képviseli a klinikai telemedicina eszközök körét.



6. ábra. PDD-301/shm klinikai spirométer (Forrás: Piston Medical)

### 3.2 Cloud architektúrák

A National Institute of Standards and Technology (NIST) definíciója szerint [6] a Cloud olyan számítástechnikai megoldás, amely általánosan elérhető, igény szerinti hálózati hozzáférést enged megosztott és konfigurálható számítógépes erőforrásokhoz (hálózatok, szerverek, tárolóeszközök, alkalmazások, szolgáltatások), amelyek minimális erőfeszítéssel rövid idő alatt rendelkezésre bocsáthatók vagy felfüggeszthetők.

#### Hypervisor

A hypervisor az a virtualizációs szoftver, ami a fizikailag különálló számítástechnikai egységeket közös, logikailag egységesen kezelhető Cloud szolgáltatássá kapcsolja össze. A vmWare és a hyper-V a két legelterjedtebb jelenkori hypervisor megoldás. Ezek a szoftverek olyan virtualizációs környezetet teremtenek, amelyben a telepített operációs rendszerek és a rajtuk futó szoftverek egységesen érik el a fizikailag különálló hardware eszközöket. A virtualizáció ezen formája a 1960-as évek végén létrejött IBM Mainframe megoldásokra vezethető vissza.

A cloud architektúrának 5 lényegi karakterisztikát tulajdonítunk (5. táblázat), és a Cloud-specifikus szolgáltatási modelleket a következő három csoportba soroljuk:

Cloud architektúrák lényeges tulajdonságai	
Karakterisztika	Igény szerinti önkiszolgálás
	Széleskörű hálózati hozzáférés
	Közös erőforrás-készletezés
	Gyors elaszticitás
	Mért szolgáltatás
Szolgáltatási modell	Software as a Service (SaaS)
	Platform as a Service (PaaS)
	Infrastructure as a Service (IaaS)
Telepítési modell	Privát
	Közösségi
	Publikus
	Hibrid

5. táblázat. Cloud architektúrák lényeges tulajdonságai

#### Software as a Service (SaaS)

A felhasználó a szolgáltató szoftverét vékony kliensen, például böngészőből vagy interfész programon keresztül használja és éri el. A felhasználónak nincs kontrollja a felhasznált szerveroldal hardver és szoftver infrastruktúrája felett.

#### Platform as a Service (PaaS)

A Cloud infrastruktúrán belül a felhasználónak lehetősége van alkalmazás telepítésére, futtatására. A felhasználónak ebben az esetben sincs kontrollja a szerveroldali hardver-infrastruktúra felett, viszont lehetősége lehet konfigurációs beállításokra a futtatási környezetben.

#### Infrastructure as a Service (IaaS)

A felhasználónak lehetősége van tárhely, CPU, memória és hálózati kapcsolat erőforrásokhoz való hozzáféréshez. Installálhat és futtathat

saját operációs rendszereket, alkalmazásokat. Mindazonáltal a felhasználónak a mögöttes cloud-infrastruktúra felett nincs kontrollja.

A Cloud telepítési modelleket a következő négy csoportba osztályozzuk:

#### Privát Cloud

A Cloud infrastruktúra egyetlen szervezetet és annak alszervezeteit szolgálja. Az infrastruktúra fizikailag a szervezet területén vagy azon kívül helyezkedhet el.

#### Közösségi Cloud

Közös küldetéssel rendelkező szervezetek hozzák létre és használják a közösségi Cloud architektúrát. A közösségi Cloud az azt létrehozó szervezetek, illetve egy külső szolgáltató irányítása alatt egyaránt lehet.

#### Publikus Cloud

A külső szolgáltató, kormányzati szerv illetve tudományos intézmény általánosan, mindenki számára elérhetővé teszi a Cloud infrastruktúra szolgáltatásait. A hardver fizikailag a szolgáltató intézmény saját adatközpontjában található.

#### Hibrid Cloud

Két vagy több Cloud infrastruktúra kompozíciójából áll. Mindegyik Cloud infrastruktúra különálló marad, miközben együttes adat- és szoftverhordozhatóságot tesznek lehetővé. Ez a telepítési változat lehetővé teszi a különálló Cloud architektúrák közötti terheléelosztást (load-balancing).

### 3.3 Internet-of-Things (IoT)

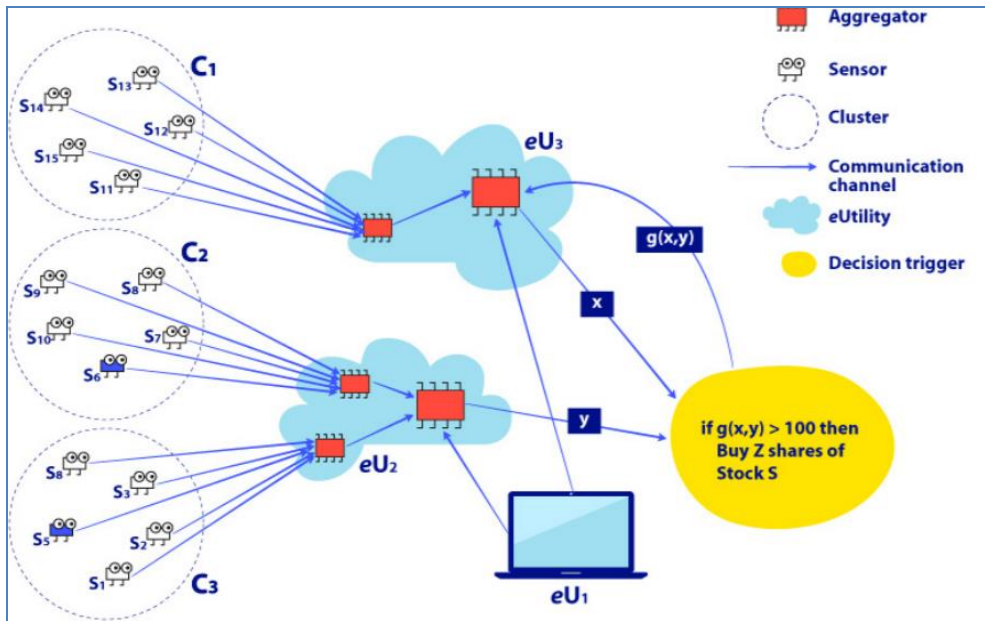
A NIST definíciója szerint [6] a „Things” jelölhet szoftvert, hardvert, a kettő kombinációját vagy embert. Ezen definíció szerint ezek a „dolgok” hálózatba vannak kapcsolva („Network of Things”, NoT), amely így magába foglalja az Internet-of-Things-et (IoT-t) is.

A NIST definíció alapján öt IoT-specifikus primitív osztályt különböztetünk meg:

- a) Szenzorok,
- b) Aggregátorok,
- c) Kommunikációs csatornák,
- d) eUtility-k (külső segédprogramok), és
- e) Döntési trigger-ek.

Részletesen:

- a) Szenzorok: azok a fizikai eszközök, amelyek az elemi állapottényezőket (hőmérséklet, gyorsulás, súly, hang, hely) érzékelik, majd nyers adatfolyamként továbbítják. A szenzorok lehetnek közvetlenül Internethez kapcsoltak is. A 7. ábrán  $s_x$  jelöli a szenzorokat.
- b) Aggregátorok: azok a szoftverek, amelyek a szenzorok által mért és továbbított nyers adatokat közbenső, átmeneti adathalmazzá transzformálják. Általában matematikai függvényeket használnak az aggregátorok, mint például a számtani átlag. A 7. ábrán piros szín jelzi az aggregátorokat.



7. ábra. Internet-of-Things primitívek (forrás: NIST [7])

- c) Kommunikációs csatornák: kommunikációs csatorna az a médium, amely a szenzoroktól érkező, aggregátorok által átalakított adatokat további aktorokhoz továbbítják. A kommunikációs csatornák lehetnek fizikaiak (USB) vagy vezeték nélküliek (4G). A 7. ábrán a kommunikációs csatornákat kék nyilak jelölik.
- d) eUtility-k: külső segédprogramok, amelyek lehetnek szoftverek, hardverek vagy szolgáltatások. Az eUtility-k magukba foglalhatnak adatbázisokat, mobileszközöket, szofver vagy hardver rendszereket, Cloud infrastruktúrákat vagy egyéb számítógépeket. A 7. ábrán kék felhő jelöli az eUtility-eket.
- e) Döntési trigger-ek: mindazon logikai kifejezések halmaza, amelyek befolyásolják adott IoT eszköz célját és követelmény specifikációját. Egy döntési triggernek lehet bináris vagy statikus értéksorozat kimenete. A döntési trigger sárga színben látható a 7. ábrán.

### 3.4 Domináns nemzetközi orvosinformatikai interoperabilitási szabványok:

#### HL7 és SNOMED-CT

##### Health Level Seven (HL7)

A Health Level Seven International szervezet célja az elektronikus egészségügyi adatok megosztásának elősegítése. Ez ma a világon legelterjedtebb nemzetközi szabványcsalád, amely az egészségügyi adatok megosztására vonatkozik. Az említett szervezet dolgozta ki a HL7 v2 és HL7 v3 szabványcsaládot. A két felsorolt szabványcsalád 50 országban 1600 partnerintézményt szolgál ki [8]. Ezen intézmények között található egészségügyi szolgáltatók (például kórházak, rendelőintézetek), kormányzati szervek (például egészségügyi minisztérium) valamint gyógyszercégek.

##### HL7 v2

A HL7 v2 a CSV file-formátumra (comma-separate value, [9]) épül. A file-ban lévő mezőket a pipeline („|”) karakter választja el egymástól (8. ábra). Az állomány fejléccel kezdődik (message header, MSH), majd adatleíró részekkel folytatódik.

```
MSH|^~\&|PXP|||20150203111249||ORM^O01|20150203111249|P|2.3.1||NE|AL|HUN|
PID|000001|1|Demo^Patient^^^^|19810728|M|||||||||
OBX|2|NM|8308-9^Height^LN|177|cm||||F||20010521
OBX|3|NM|8350-1^Weight^LN|85|kg||||F||20010521
ORC|NW|00001^PXP2HIS|
OBR|1|00001^PXP2HIS|20150123140212^PXP|94621^Ergospirometry^CPT-4|
```

8. ábra. HL7 v2 példa

##### HL7 v3

A HL7 v3 szabványcsalád XML-formátumra épül (Extensible Markup Language, [9]). A file-ban lévő információk tag-ekbe tördeltek (9. ábra szerinti kódok), amelyek nyitó- és záró-tag-ek között található (pl. „referenceRange” és „/referenceRange”).

```

<observationEvent>
  <id root="2.16.840.1.113883.19.1122.4" extension="1045813"
    assigningAuthorityName="GHH LAB Filler Orders"/>
  <code code="1554-5" codeSystemName="LN"
    codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1"
    displayName="GLUCOSE^POST 12H CFST:MCNC:PT:SER/PLAS:QN"/>
  <statusCode code="completed"/>
  <effectiveTime value="200202150730"/>
  <priorityCode code="R"/>
  <confidentialityCode code="N"
    codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
  <value xsi:type="PQ" value="182" unit="mg/dL"/>
  <interpretationCode code="H"/>
  <referenceRange>
    <interpretationRange>
      <value xsi:type="IVL_PQ">
        <low value="70" unit="mg/dL"/>
        <high value="105" unit="mg/dL"/>
      </value>
      <interpretationCode code="N"/>
    </interpretationRange>
  </referenceRange>

```

9. ábra. HL7 v3 példa

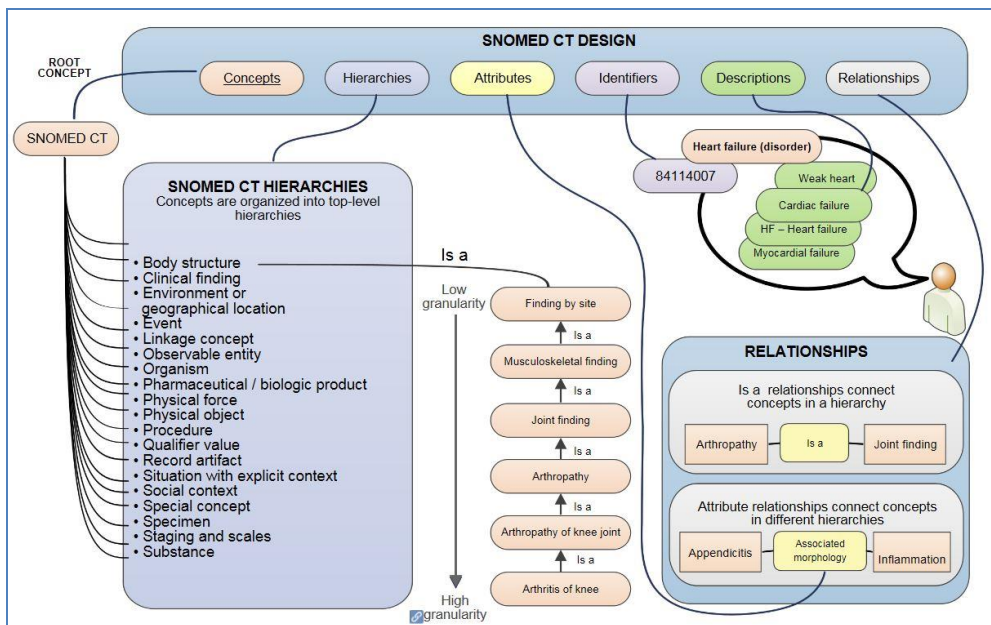
Bár a hármas verzió a korszerűbb, mégis a kettes verzió az elterjedtebb. Egy kórházinformatikai rendszer szolgáltatójának vezetőivel folytatott beszélgetésből kiderült, hogy továbbra is a kettes verzió marad a meghatározó a legtöbb egészségügyi intézményben, mert már ennek bevezetése is olyan magas költségekkel járt, hogy a lassú megtérülés miatt hosszú távon ragaszkodnak hozzá.

## SNOMED-CT

Az International Health Terminology Standards Development Organization (IHTSDO [11]) szabványügyi hivatal gondozza a SNOMED-CT-t (Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms). A SNOMED-CT klinikai kifejezések rendszerezett gyűjteménye (10. ábra). Ezek a kifejezések számítógéppel feldolgozhatók, ezáltal különböző

országokban, eltérő nyelveken egységesen értelmezhetők. A logikai modell három komponens típust határoz meg:

- Koncepció (concept),
- Leírás (description), és
- Kapcsolat (relationship).



10. ábra. SNOMED-CT logikai modell (forrás: SNOMED-CT [12])

A SNOMED-CT olyan nemzetközi egészségügyi logikai keretrendszer, amelynek segítségével gépi, és emberi értelmezésre alkalmas egészségügyi leírások készülnek.

#### 4. IRODALMI ELŐZMÉNYEK

Kutatásom során legalább száz releváns szócikket válogattam ki és osztályoztam. Ebben a fejezetben a kutatómunkámat leginkább érintőket mutatom be.

##### *4.1 Architektúrális keretrendszerek az egészségügyi informatikában*

Maria-Anna Fengou et al. „A New Framework Architecture for Next Generation e-Health Services” című munkájában [13] olyan speciális middleware alkalmazását javasolja, amely az egészségügyi rendszereken túl az otthonokban fellelhető, valamint a gépkocsikban található szenzorhálózatokat közös keretrendszerbe kapcsolja. Ez a cikk úgynevezett „Body Gateway” segítségével kívánja megoldani a különböző szenzorokból érkező jelek formátumának egységesítését a felhasználónál elhelyezett eszközben.

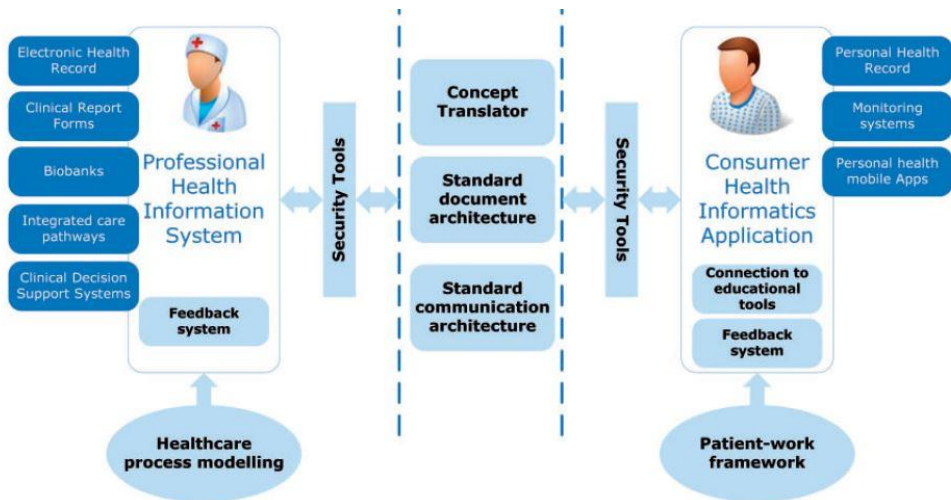
Kawamoto et al. Szolgáltatás-alapú architektúra segítségével az interfészek egységesítését célozza [14]. A szerző felhívja a figyelmet az egészségügyi gyártók által kiadott interfész-specifikációra is, ami a disszertációmban részletezett munkában is kulcsszerepet kapott.

Ethier et al. már explicit interoperabilitási keretrendszerről ír és kiemeli a heterogén elektronikus páciensakták integrációjának kérdését [15].

Bache et al. adaptív architektúra-javaslatában a szemantikus és strukturális heterogenitás feloldására helyezi a hangsúlyt [16]. SQL-alapú elő-feldolgozással kívánja megoldani a különböző adatforrásokból érkező adatok koherens egységesítését, és az adatmodellt helyezi középpontba.

Mandel et al. [17] kidolgozott egy közös klinikai platformot és adatmodellt, amelyet a Harvard Medical School és a Boston Children's Hospital közötti interoperabilitási projekt során teszteltek. Kutatásuk középpontjában a különböző adatstruktúrák közötti szemantikus interoperabilitás áll. Ez utóbbi elkent architektúra bevezetését javasolja, amely az interoperabilitáshoz szükséges kulcs-komponensektől a middleware-en keresztül a böngészőben, illetve app-on futó szoftverkomponensekig terjednek.

Marceglia et al. cikkében [18] már arra a kérdéskörre koncentrálnak, ami jelen kutatásomban egy megoldandó lépés, nevezetesen a fogyasztói elektronikai cikkek bekapcsolása az egészségügyi informatikai ökoszisztémába. Bár ez a cikk madártávlatú tervet mutat be, a javasolt keretrendszer központi építőkövei helyesek: elektronikus páciensakták (EHR), szabványos dokumentációs- és kommunikációs-architektúra (11. ábra). A cikk a rendszerintegráció céljai, célintézményei között felsorolja a klinikai jelentéseket és a biobankokat, viszont nem tünteti fel a finanszírozó szerveket, biztosítókat, amelyek szintén jelen vannak az egészségügyi információ-megosztásban.



11. ábra. Általános architektúra adatmegosztáshoz kórházinformatikai rendszerek és CHI alkalmazások között (forrás: Marceglia et al. [18])

Phillips et al. esettanulmányában [19] az egészségügyi intézmények közötti információ-megosztásra helyezi a hangsúlyt. A kutatás New York államban működő három regionális egészségügyi információs szervezet közötti kétirányú adatmegosztást tűzi ki célul. Ez a kutatás már számba veszi a kórházi, a laboratóriumi és a radiológiai alrendszereket. Bár ebben a megvalósult kutatásban három intézmény is részt vett, végül a megoldás csak az egyikben került bevezetésre.

Hill vezeték nélküli szenzorokhoz tervezett architektúrát mutat be disszertációjában [20]. Megosztott rendszererőforrásokat és flexibilis protokollokat tart szükségesnek architekturális javaslata sikerességéhez. Ezek a premisszák közel állnak a disszertációmban bemutatottakhoz; a felhő architektúra megosztott erőforrásokra épül és saját kutatásomban is a kísérleti eszközök közötti interoperabilitás során az eltérő protokollok jelentik a legnagyobb kihívást.

Otto et al. [21] a „wireless body area sensor network”-öt állítja kutatása középpontjába. Ez a hálózat szintén a szenzorok által felfogott jel továbbításában játszik kulcsszerepet, miként a disszertációmban bemutatott Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) is. Otto kutatásában külön kitér az architektúrális elemek közös időbeni szinkronizálására, egy úgynevezett architektúra-szintű globális időjelre, amelynek segítségével még pontosabb a fiziológiai jelek mérése. Továbbá, említést tesz a szenzorok elégséges energiaellátásáról is. Ez a speciális kérdéskör az én kutatásomban ugyancsak kritikus pontot jelentett. Otto a mobiltelefonba tervezi az adatfeldolgozásért felelős „személyi szervert” (personal server). Ezzel ellentétben, munkámban a felhő architektúrába beágyazott OTI-HS-ben tervezem az adatfeldolgozás központi magját.

#### *4.2 Cloud-alapú kórházinformatikai rendszerek és regionális kórházinformatikai interoperabilitási program*

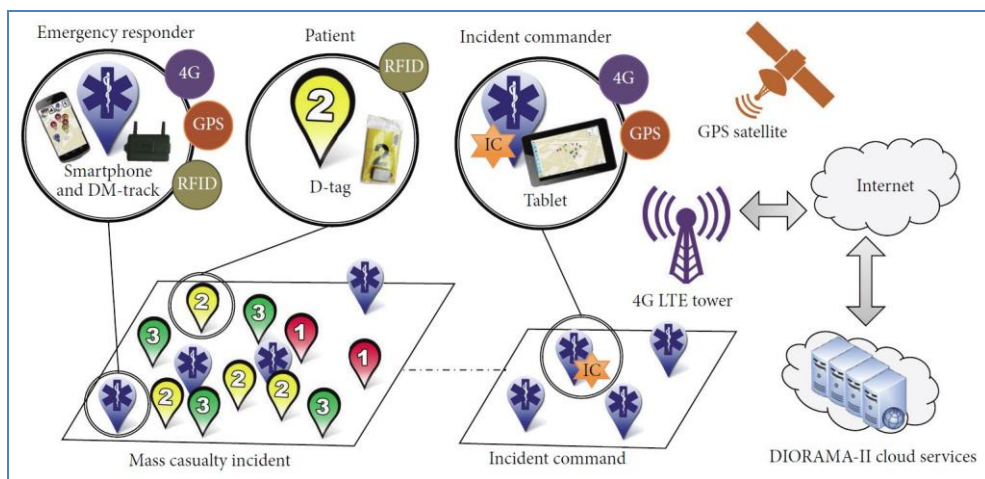
Neinstein esettanulmányában bemutat egy Cloud alapú interoperabilitás platformot [22]. Nyílt-forráskódú szoftverterméket készítettek azzal a céllal, hogy központilag nyomon követhessék és ellenőrizhessék diabetes páciensek által használt inzulinpumpák működését. A szoftverterméket úgy alakították ki, hogy feldolgozza a különböző gyártók termékeiből kibocsátott jeleket. Ebből a szempontból a tanulmány hasonlít saját kutatási célkitűzéseimhez, miszerint az OTI-HS-nek csatlakoznia kell többféle gyártó okoseszközéhez. Platform-as-a-Service (PaaS) felhőszolgáltatást kínál a Neinstein által kifejlesztett platform, amely REStFul API-ra támaszkodva kommunikál a különböző eszközökkel. Mindemellet ez a cikk nem számol be arról, hogy milyen protokollokkal, adatstruktúrákkal és szabványokkal kívánják megoldani a beérkező különböző kódolású jelfolyamok szabványos feldolgozását.

Wang et al. a felhő architektúra technológiai előnyeit kiemelve kollaboratív alkalmazások elősegítésére helyezi a hangsúlyt [23]. Ebben a cikkben már komoly konceptuális előrelépés van abban a tekintetben, hogy a különböző Cloud-ok közötti kommunikáció és így a hibrid Cloud is kiemelt hangsúlyt kap. A cikk nevesít egy úgynevezett „integration broker for heterogeneous information sources (IBHIS)”-t, amelynek feladata, hogy egységesítse a különböző forrásokból származó egészségügyi adatokat. Ez a kutatás konkretizálja az ImageZone nevű felhő alapú megoldást, amely a különböző klinikai képalkotó diagnosztikai eszközökből (röntgen, MRI, CT, UH) származó felvételek megosztását teszi lehetővé informatikai környezetben. A cikk ezen túlmenően foglalkozik a telemedicina és a wireless body area sensor network (WBASN) kérdéskörével is. A szerzők röviden kitérnek a biztonság kérdéseire, amelyeket az amerikai Health Insurance and Accountability Act (HIPAA), a Health Information Technology for Economic and Clinical Health (HITECH) és a Gramm-Leach-Bliley Act (GLBA) törvénycsomagokra vezetnek vissza. A felhőben tárolt adatok biztonságát a következő eszközökkel kívánják szavatolni:

- a) Tűzfal,
- b) Titkosítás,
- c) Felhő-szolgáltatóval kötött megfelelő szerződés,
- d) Hálózatba való betörés észlelése (intrusion detection), és
- e) Biometrikus autentikáció.

Wang ebben a cikkben megfogalmazza, hogy az egészségügyi rendszerek fölött diszponáló döntéshozók milyen gyakorlati ellenérveket hoznak fel a felhő architektúrára való átállás ellen. Mindazonáltal ez a cikk nem tartalmaz gyakorlati megoldást a különböző gyártók okoseszközeinek integrációját segítő interoperabilitási protokollokhoz és szabványokhoz.

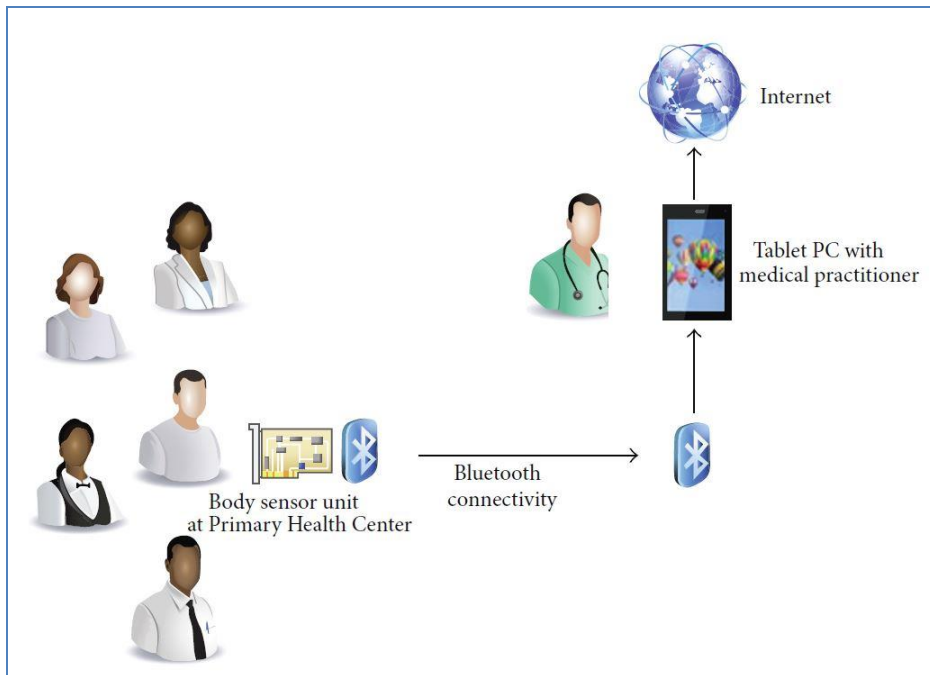
Ganz et al. cikkében [24] javaslatot tesz olyan elosztott Cloud alapú architektúrára, amely tömegszerencsétlenség esetén (Mass Casualty Incidents, MCI) nyújt kiemelkedő segítséget a mentést és mentés szervezését végzőknek (Emergency Medical Services, EMS; 12. ábra). Miközben az informatika számos területén a teljesítmény növelése céljából általánosságban a redundancia csökkentése a cél, Ganz ezzel ellentétben az architektúra tervezésekor pontosan a redundancia növelését tűzi ki célul azért, hogy egy tömegszerencsétlenség esetén, mint például a 2011-es japán cunami, a részben sérült infrastruktúra is el tudja látni szükséges szerepét.



12. ábra. Felhő alapú architektúra tömegbaleset kezelésére (Forrás: Ganz [24])

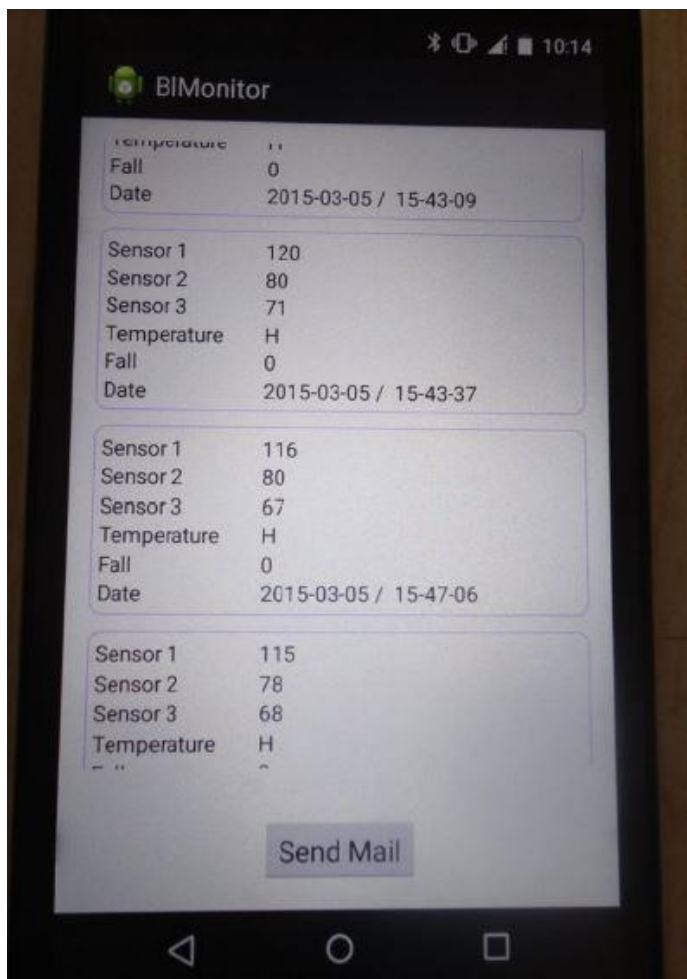
Ganz a páciensek azonosítását RFID-val oldja meg, és kutatásában összehasonlító szimulációt mutat be.

Panicker és Kumar vidéki területek egészségügyi ellátottságát javító body-sensor eszközökhöz kapcsolódó telemedicina alkalmazásokat kutat és mutat be [25] (13. ábra).



13. ábra. Architektúra magas vérnyomás riasztáshoz (forrás: Panicker és Kumar [25])

Rendszerüket, amely test-szenzorok által kibocsátott jelek feldolgozásával működik, a magas vérnyomás és az elesés érzékelésére optimalizálták. A szerzők programozott mikrokontrollerrel (PIC 16f877A) oldották meg a szenzorokról beérkező primer jelek elsődleges feldolgozását. Az adatok szekunder feldolgozását egy tableten futó Android-alapú program végzi (14. ábra), amely a primer adatokhoz hozzáfűzi a páciens GPS koordinátáit. Kísérleti programjukban összesen 291 páciens szerepelt. Munkájukban a szenzorok pontosságát is vizsgálták, hiszen ez a pontosság befolyásolja azt, hogy a kiskereskedelmi forgalomban megvásárolható, szenzorokkal ellátott egészségügyi IoT okoseszközök felhasználhatók-e az egészségügyi informatikában.

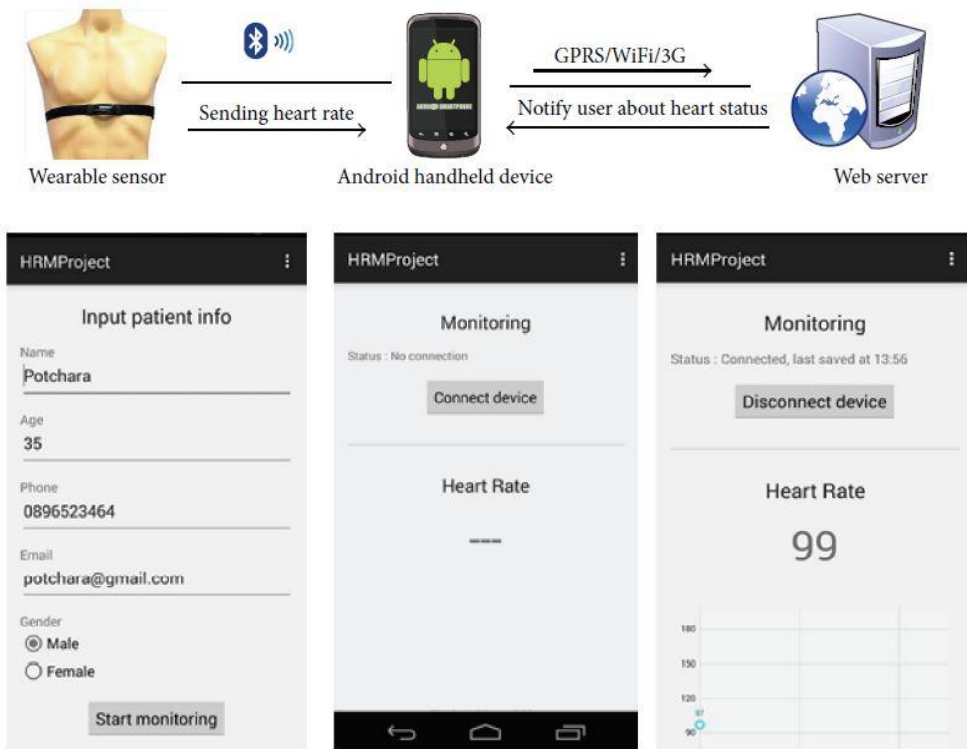


14. ábra. Test-szenzorral mért vérnyomásértékeket feldolgozó Android-alapú program (forrás: Panicker és Kumar [25])

#### 4.3 Egészségügyi IoT okoseszközök egészségügyi informatikai integrációja

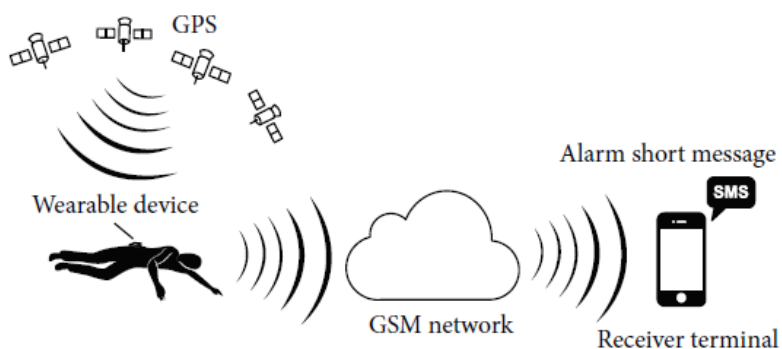
Kakria et al. [26] sportoláshoz használt pulzusmérő pánt segítségével oldotta meg a monitorozást. Kutatásukban saját fejlesztésű, egyedi megoldást használnak a pulzusmérő pántról érkező jelek feldolgozására és a páciens monitorozására (15. ábra). A mért adatokat online felületen teszik közzé. Kutatásomhoz ez értékes prototípus. Kutatásom a nyílt Hub-alkalmazással és annak HL7 nemzetközi szabványon alapuló klinikai illeszthetőségével nyújt

többet. Kakria et al. még nem oldotta meg a kórházinformatikai illeszthetőséget és nem mutat be általánosan felhasználható módszert.



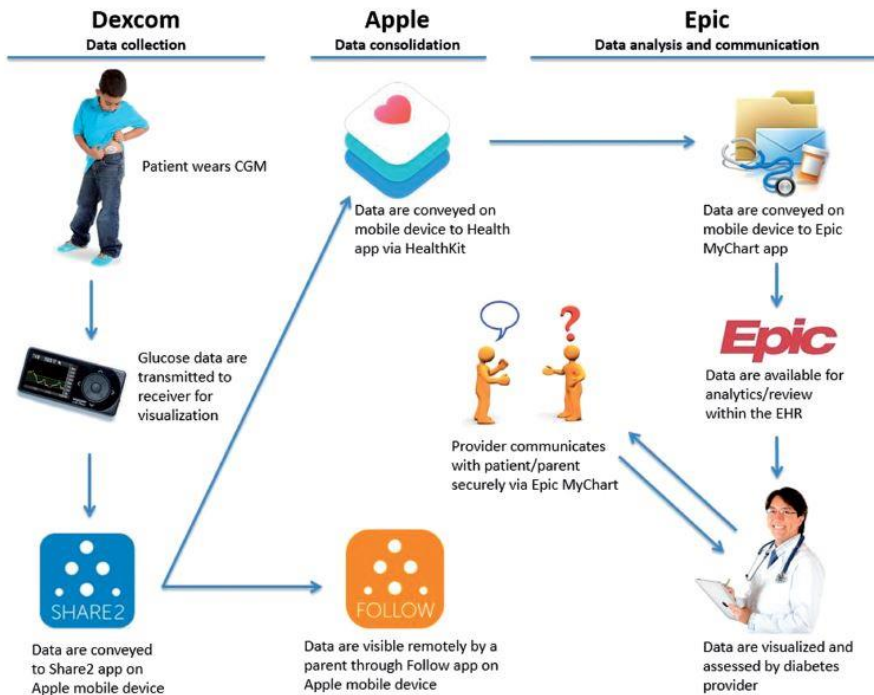
15. ábra. Valós idejű kardiológiai táv-monitorozó megoldás hordozható szenzorral és mobiltelefonnal (forrás: Kakria et al [26])

Wu et al. elesést érzékelő rendszert alakított ki és vetett vizsgálat alá [27]. Az érzékelés alapját a pácienshez erősített szenzorról beérkező jelek és az azokhoz előre beállított küszöbérték adja (16. ábra). Az eszköz az elesett páciens GPS koordinátáit is tartalmazó jelet GSM-hálózaton keresztül továbbítja. A szenzor gyorsulást mér. A szerzők figyelembe veszik a szenzor áramfogyasztását, és az így befolyásolt üzemidőt. Több szenzor nagyobb pontosságot eredményez, ugyanakkor nagyobb áramfelhasználást jelent. Ezért ők *egy darab* gyorsulásmérő szenzoron alapuló eszközt hoztak létre és használtak a kísérletükhöz.



16. ábra. Elesést érzékelő rendszer és App (forrás: Wu et al [27])

Kumar et al. [28] cukorbeteg gyermekek folyamatos vércukorszintmérő berendezésének (Dexcom G4 Platinum CGM) kimeneti jelét vezeti elektronikus páciensaktákba (EPIC) Apple HealthKit-en keresztül (17. ábra).



17. ábra. Folyamatos vércukorszint-mérő berendezés jelének elvezetése elektronikus páciensaktába (Forrás: Kumar et al. [28])

Ez a megoldás ipari eszközöket és megoldásokat alkalmaz. Ebben az esetben nincs nyílt, mások által is elérhető kapcsolódási pont, és a három fő alkotó komponens, a glükózmérő berendezés, a jelforrás megfelelő átalakítását végző Apple HealthKit és az elektronikus páciensakták mindmind zárt rendszert alkotnak. Ez a megoldás a vonatkozó cikk alapján működőképes eredményt hozott.

Saját kutatásomnak azonban az a célja, hogy a nemzetközi HL7 szabványra alapozva *általánosan* felhasználható megoldást hozzak létre. Számomra nem csupán az a cél, hogy az elkészített Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) egy *adott* elektronikus páciensakta-rendszerrel együtt tudjon működni, hanem hogy a valós, heterogén kórházinformatikai rendszerek világában megfelelő módon áthidalja a különböző architektúrák és gyártók közötti jelentős különbségeket.

#### 4.4 Páciensakták transznacionális integrációja

A nemzetközi telekommunikációs unió (International Telecommunication Union, ITU) 2012-es jelentésében [29] felhívja a figyelmet az egészségügyi adatok nemzetközi megosztásának szükségességére és korlátaira. A páciensaktákhoz csatlakozhatnak mobil egészségügyi megoldások, személyre szabott medicina („personalized medicine”) és „Egészségügy 2.0” (Health 2.0) keretrendszer. Az egészségügyi adatok megoszthatóságához vezető általános szabványosításban az ISO, a HL7, a CEN és az IEEE szervezeteknek van döntő szerepük. A páciensakták nemzetközi integrációját elősegítő legfontosabb nemzetközi szervezeteket a 6. táblázat mutatja be:

<b>Páciensakták nemzetközi integrációját elősegítő legjelentősebb nemzetközi szervezetek</b>		
<b>Röv.</b>	<b>Szervezet neve</b>	<b>Elérhetősége</b>
ISO	International Organization for Standardization	<a href="http://www.iso.org">www.iso.org</a>
HL7	Health Level Seven International	<a href="http://www.hl7.org">www.hl7.org</a>
CEN	European Committee for Standardization	<a href="http://www.cen.eu">www.cen.eu</a>
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	<a href="http://www.ieee.org">www.ieee.org</a>

6. táblázat. Páciensakták nemzetközi integrációját elősegítő legjelentősebb nemzetközi szervezetek

A páciensadatok nemzetközi elérhetősége természeti katasztrófa, járvány vagy határon túl tartózkodó eszméletlen páciens sürgősségi ellátásához nélkülözhetetlen. Ezen túlmenően „a személyre szabott medicina technikailag az elektronikus páciensadatokon nyugszik” ([29], p. 9).

Dean és Wright az elektronikus páciensakták interoperabilitásának feltételül az alábbiakat definiálja (7. táblázat) [30]:

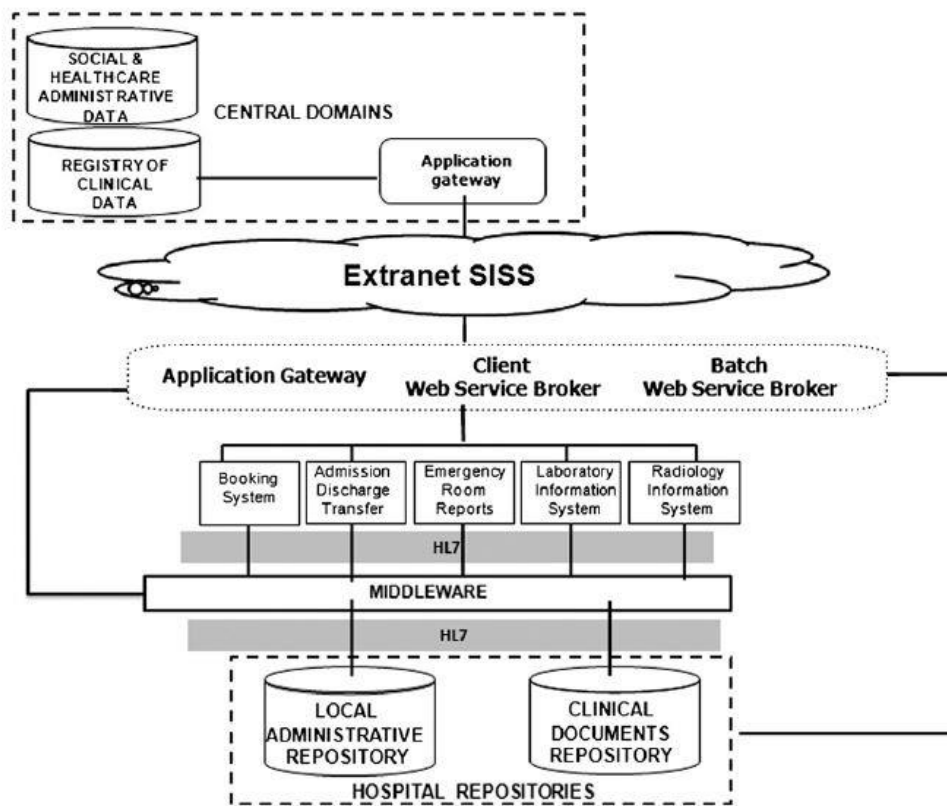
Elektronikus páciensakták interoperabilitásának feltételei	
Use Case	Feltétel
#1	Az intézmény biztonságosan tud <i>kivonatot</i> készíteni a páciens aktájából az adatok strukturáltsága és granularitásának megőrzése mellett.
#2	Egy meghatalmazott felhasználó <i>továbbítani</i> tud teljes vagy részleges páciensaktát másik elektronikus páciensaktába (Electronic Health Record, EHR) vagy személyes egészségügyi aktába (Personal Health Record, PHR) úgy, hogy a már meglévő strukturált adat nem vész el.
#3	Egy intézmény elosztott/decentralizált egészségügyi információ-megosztás során programkérést tud fogadni külső EHR-tól származó páciensakták fogadására, valamint szabványos formátumban tud küldeni páciensaktákat.
#4	Egy intézmény át tudja mozgatni minden páciensaktáját új EHR-rendszerbe.
#5	Az intézmény az API (Application Programming Interface) segítségével beágyazhat önmagába foglalt funkcionalitást azért, hogy intézmény-specifikus adatelemekkel műveletek hajthasson végre.

7. táblázat. Elektronikus páciensakták (EHR) interoperabilitásának feltételei

A táblázatban leírt technikai megközelítést a valóságban további szabadalmi, jogi és költségvetési ismérvek egészítik ki. A költségvetési kérdések egyértelműen befolyásolják és korlátozhatják a technikailag egyébként lehetséges interoperabilitást. Jogi értelemben (elektronikus) páciensakták esetében alapvető kérdés, hogy ki az adattulajdonos. Dean és Wright hitelesen leírja, hogy a szabadalmi jogvédelem zárttá teszi a kereskedelmi elektronikus páciensakta rendszereket, amelynek következtében

külső adminisztrátorok, programozók és kutatók nem nyernek, nyerhetnek betekintést a rendszerekbe és azok felépítésébe. A 7. táblázat kritériumainak API-ra vonatkozó 5. pontja fontos üzenetet hordoz saját kutatásom számára, mert a bioszenzorokból érkező jelek interoperábilis jellé konvertálásának egyik lépéséhez a munkámban *nyílt* API kerül felhasználásra.

A következőkben a páciensakták nemzetközi integrációjának egy speciális esetét szeretném bemutatni. Olaszország Lombardia tartományában HL7 v2.5 nemzetközi szabvány továbbfejlesztésén alapuló interoperabilitási keretrendszert vezettek be az egészségügyi rendszerek közötti *általános* együttműködés érdekében [31]. Ez az Észak-olasz tartomány 23863km<sup>2</sup> területen változatos domborzati viszonyok között 10 millió lakosnak ad otthont. A régióban bevezetett rendszer technikai korlátok nélküli adatmegosztást tesz lehetővé kórházak, körzeti orvosi praxisok, gyógyszertárak, sürgősségi intézmények és központi koordinációs szervezet között (18. ábra). Érdekes, hogy ebben a programban is a HL7 v2.x CSV alapú szabvány került bevezetésre, és nem a korszerűbb HL7 v3.x szabvány. Ez egybevág a kutatásomba bevont ipari partner képviselőjének személyes tapasztalatával, miszerint az általuk ellátott egészségügyi intézmények mind a régebbi HL7 v2.x szabványt vezették be, és nem a modernebb HL7 v3.x szabványt.



18. ábra. Kórházi rendszerek interoperabilitási architektúrájának kapcsolata regionális információs rendszerrel Lombardia tartományban (Forrás: Barbarito et al. [31])

Kutatásomban az egészségügyi rendszerek közötti együttműködésen túl azt is vizsgálom, hogy hordozható IoT egészségügyi kütyük és klinikai telemedicina eszközök a HL7-szabvány alapján miként kapcsolhatók interoperábilis keretrendszerbe. Ehhez értékes támpontot ad Barbarito et al. fent idézett cikke.

## 5. CÉLKITŰZÉSEK

### 5.1 *Adaptív, Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) létrehozása és beágyazása Cloud architektúrába*

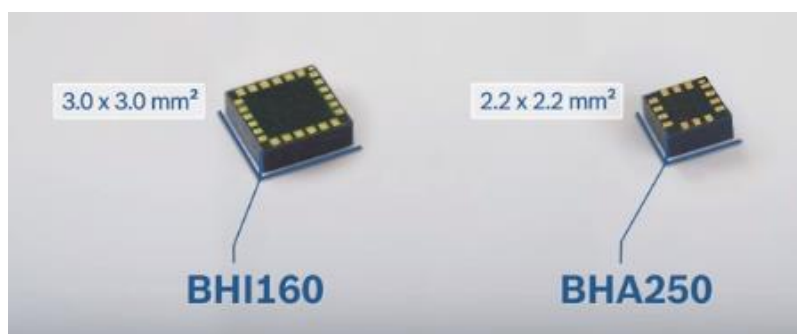
A kutatásnak célja a Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás megtervezése, megvalósítása és tesztelése (angolul: Open Telemedicine Interoperability Hub-Software, OTI-HS). Ennek a rendszernek az a célja, hogy az egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina készülékek, okostelefonok és kórházinformatikai rendszerek közötti kölcsönös interoperabilitást lehetővé tegye.

Az első célkitűzésben három informatikai kulcsszó szerepel: adaptív, nyílt és cloud. Az alkalmazkodóképesség egy informatikai szolgáltatás szempontjából azt jelenti, hogy a külső környezet változásaira a megfelelő, előre meghatározott módon reagál. A specifikáció, dokumentáció és programkód szabad elérhetősége lehetőséget teremt a crowdsourcing-ra (Crowdsourcing: adott nagyobb cél olyan módon való megvalósítása, hogy a teljes feladat kisebb részekre kerül felosztásra, és ezeket a kisebb részcélokat javadalmazás nélkül látják el nagyszámú önkéntesek [32]). A cloud környezet biztosítja az elaszticitást és a skálázhatóságot. A fent felsorolt három specifikum jellemzőire (adaptivitás, hozzáférhetőség és elaszticitás) az informatikán túl az élet számos területén szükség van. Az evolúció során az alkalmazkodás és együttműködés képességével egyenes arányban nő az egyed túlélési esélye [33].

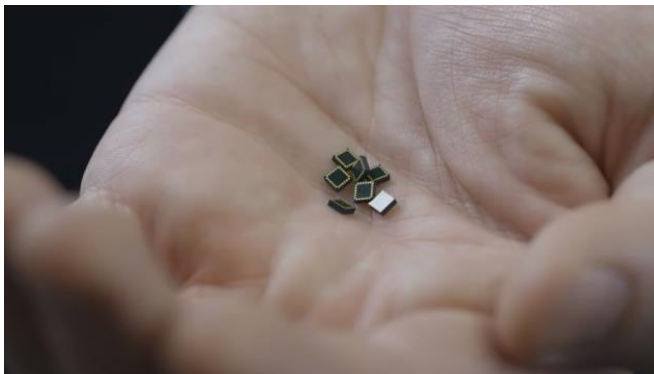
A szoftver életciklus szempontjából szintén meghatározó ez a három jellemző. A jelenkori informatikai rendszerek már nem siló üzemmódban működő egyedi, körülhatárolt entitások, hanem egymásba beágyazott szolgáltatások. Ennek megfelelően az újabb informatikai rendszereknek,

programfejlesztéseknek alkalmazkodniuk kell a már meglévő külső és belső környezethez. Ez az elvárás a kutatásomban kifejlesztett Telemedicina Hub Alkalmazásra is érvényes. Ez a szoftver-megoldás más rendszerekkel összehangoltan kell, hogy működjön. Egyszerre kell együttműködnie telemedicina eszközök gyári csatolóival, okoseszközök mobiltelefon-appjával és kórházinformatikai rendszerek szabványos interfészével. A felsorolt rendszerek maguk sem egységesek, a különböző gyártók eltérő megoldásokat alkalmaznak. Így az adaptivitás az, amelynek segítségével valós összeköttetés alakítható ki a felsorolt heterogén szolgáltatás-architektúrák között. A munkacsoportunkban kifejlesztett Nyílt Telemedicina Hub Alkalmazás (OTI-HS) ezt az újdonságot nyújtja, ennyivel többet nyújt, mint a már meglévő szabványos interfészek vagy Sensor Hub megoldások [34].

A Sensor Hub többféle előfordulásban megfigyelhető. Lehet kizárólag hardver eszköz, kizárólag szoftver eszköz vagy a kettő keveréke. Bizonyos szempontból a mobiltelefonok is Sensor Hub-ként működnek: a bennük helyet foglaló valamennyi szenzor (iránytű, külső fényviszony, GPS, giroszkóp, mozgásérzékelő, nyomásérzékelő, hőmérséklet, páratartalom) fogadott jelét feldolgozzák és hasznosítják. A Sensor Hub egy hardveres megjelenési példája a Sensortec (19. és 20. ábra).



19. ábra. BHI160 és BHA250 sensor hub (forrás: Bosch Sensortec [35])



20. ábra. BHA250 sensor hub (forrás: Bosch Sensortec [35])

Ezen eszközök fontos karakterisztikája az áramfogyasztás. Az alacsony áramfelvétel ( $30 \mu\text{A}$ ) biztosítja az elemről táplált hosszú működést. A Sensor Hub másik példája a személygépkocsi. Napjainkban egy autóban külön szenzorokat helyeznek el az ABS-hez, esőérzékeléshez, üzemanyagszinthez, olajnyomáshoz, motorhőmérséklethez, sebességhez, motor fordulatszámhoz, külső napfényhez, légzsákokhoz szükséges lassuláshoz vagy a keréknyomás csökkenéshez. Ezen érzékelők jelei a rendszerbuszon és a hozzákapcsolódó hub-on keresztül kerülnek továbbításra majd kiértékelésre a központi számítógépen, végül megjelenítésre a fedélzeti számítógépen.

A hardveres hub-ok ezen típusa céleszközként működik: előre beprogramozott algoritmusokkal [36] definiált jelforrásokból érkező jeleket alakít át egységes kimeneti információvá. Ezek az eszközök önmagukban nem alkalmasak újabb, majd újabb típusú jelek befogadására és átalakítására. A kutatásomnak rész-célja olyan hub-alkalmazás elkészítése, amely alkalmas a hozzá csatlakoztatott újabb eszközök jeleinek értelmezésére, átalakítására, tárolására és megfelelő formátumban való továbbítására. Ez jelenti az adaptivitást. Mindehhez szorosan kapcsolható a „nyílt” jellemző, vagyis a nyílt forráskód. A nyílt forráskód eredményeként nem csak a Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-alkalmazás (OTI-HS) alkalmazkodik a különböző gyártók termékeinek jeleihez, hanem fordítva: a Hub-alkalmazás

nyílt forráskódjához és program-logikájához külső ipari szereplők is képesek gyári illesztést készíteni.

A Hub-Alkalmazás szempontjából a Cloud architektúra legfőbb előnye a skálázhatóság. Az igényektől függően egytől több millió szoftver példányig terjedhet a Cloud-ba beágyazott Hub-Alkalmazás futásidejű példányainak száma.

Az adaptivitás, a nyílt forráskód és a Cloud-ba való beágyazottság *összességében* teremt előrelépést az eddigi, már meglévő hub-megoldásokhoz képest. Ezért ez kutatásom első célkitűzése.

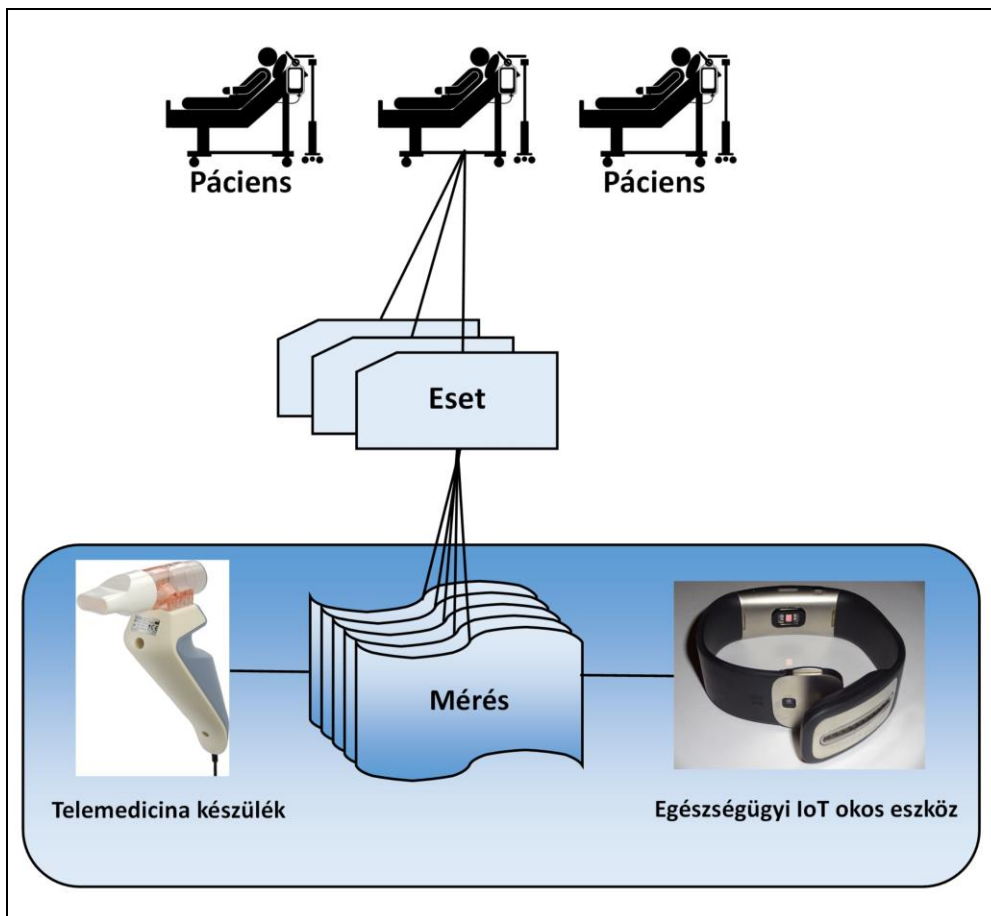
## *5.2 Egészségügyi IoT okoseszközök és klinikai telemedicina készülékek illesztése kórházinformatikai rendszerhez centrális, Cloud-ba beágyazott Telemedicina Hub-Alkalmazáson keresztül*

Három, saját belső logikával működő alrendszer összekapcsolását fedti ez a célkitűzés. A technikai illeszkedésen túl szükség van ezen három alrendszer logikájának megismerésére és elvi összehangolására [37] (21. ábra).



21. ábra. Cloud-ba beágyazott Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-  
Alkalmazás

A kórházinformatikai rendszerek munkafolyamatai a mögöttük álló társadalombiztosítási finanszírozás logikáját követik [38]. Emiatt a páciensekkel történő esetek kerülnek leképezésre e rendszerek program logikájában és a betegek egészségügyi aktáiban [39]. Az esetekhez vizsgálatok tartoznak, a vizsgálatokhoz eredmények. Itt nyílik lehetőség az egészségügyi IoT okoseszközök jeleinek, továbbá a klinikai telemedicina eszközök mérési eredményeinek becsatornázására kórházinformatikai rendszerekbe (22. ábra).



22. ábra. IoT okoseszközök illesztése egészségügyi munkafolyamatokhoz

Ezen cél eléréséhez kidolgozandó egy hub-alkalmazás, amely a különböző technológiájú és logikájú komponensekkel és alrendszerekkel szimultán kapcsolatot tart [40]. Nem csupán technológiai megoldásra van szükség, hanem az eltérő logikájú és működési elvű eszköz-portfóliók sikeres együttműködését biztosító keretrendszer kifejlesztésére [41].

A kívánt megoldás a technikai aspektuson túl geográfiai dimenzióval is bír [42]: cél, hogy a fizikailag eltérő helyen lévő páciens, orvost és kórházinformatikai rendszert összekösse a kifejlesztendő telemedicina hub-alkalmazás. Ide tartozik az országhatárokon túlnyúló összeköttetés is.

A telemedicina hub-alkalmazás tehát lehetővé kell, hogy tegye az országhatárokon átívelő egészségügyi adatmegosztást [43]. Ennek technikai

és jogi aspektusai is vannak. Ez a dolgozat a témakör számítástechnikai dimenziójára fókuszál, és az esetleges jogi akadályokat tudatosan figyelmen kívül hagyja.

### *5.3 Egészségügyi IoT okos eszköz és klinikai telemedicina készülék kimeneti jelfolyamának becsatornázása kórházinformatikai tesztrendszerbe a nemzetközi HL7 szabvány támogatásával*

A kutatás harmadik célja a kiskereskedelmi forgalomban lévő egészségügyi eszközök és a professzionális klinikai telemedicina készülékek által kibocsátott mérési jelek, valamint jelfolyamok sikeres becsatornázása kórházinformatikai rendszerbe a HL7 szabvány támogatásával.

E cél eléréséhez a következő rész-célok mindegyikének egyidejű teljesülésére van szükség:

- a) A hordozható egészségügyi IoT okos eszközről a mérési jeleket digitális, definiált és értelmezhető formátumban kell kinyerni.
- b) Ahhoz, hogy ez orvosi szempontból is értelmezhető legyen, az egészségügyi IoT okos eszközről másodpercenként kibocsátott és fentiek szerint kinyert mérési jelet transzformálni kell óránkénti minimummá, maximummá és kerekített átlaggá.
- c) A mérési eredményeket helyes időpecséttel kell ellátni.
- d) A mérési eredményeket helyes felhasználó-azonosítóval is el kell látni.

- e) A mérési eredményeket HL7 szabványos formába kell átalakítani annak céljából, hogy kórházinformatikai rendszerben beolvasható, értelmezhető, feldolgozható, elmenthető és megjeleníthető legyen.
- f) A klinikai telemedicina készülék mérési eredményét digitális kimeneti csatolón keresztül kell kinyerni.
- g) Az így kinyert primer digitális jelet orvos által értelmezhető eredménnyé kell strukturálni.
- h) E strukturált mérési eredményt megfelelő időpecséttel kell ellátni.
- i) A strukturált mérési eredményt megfelelő páciens-azonosítóval kell ellátni.
- j) A végső eredményt szabványos HL7 formátumba kell transzformálni.

Mindegyik felsorolt lépés sikeres abszolválása szükséges ahhoz, hogy a folyamat *egészében* sikeres legyen. Ez az eredményesség szükséges a definiált rész cél eléréséhez, ahhoz, hogy az egészségügyi IoT okoseszköz és a klinikai telemedicina műszer kimeneti primer jelfolyama a HL7 szabvány szerint becsatornázásra kerüljön működő kórházinformatikai rendszerbe vagy tesztrendszerbe.

#### *5.4 Parciálisan delokalizálható, Cloud-ba beágyazott hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus modellezése és optimalizálása*

E cél eléréséhez az alábbi három rész cél egyidejű teljesülése szükséges:

- a) Parciálisan delokalizálható, hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus sikeres megtervezése, modellezése és felépítése.

- b) E hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus elemeinek beágyazása Cloud architektúrába.
- c) Említett hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus matematikai modellezése.
- d) Említett hibrid egészségügyi keretrendszer prototípus absztrakt modelljének kialakítása, működésének matematikai optimalizálása.

A telemedicina tudományág egyik legfontosabb célkitűzése, hogy a teljes (End-to-End) egészségügyi ellátási lánc fizikai határok nélkül elérhető legyen páciens, orvos és intézményi oldalról egyaránt [44]. Ez a teljes ellátási lánc különböző komponensekből épül fel: labor-műszerek, csatolófelületek (interfészek), központi adattárolók, egészségügyi adatfeldolgozó számítóközpontok, infrastrukturális elemek (LAN, WAN, W-Lan, Internet, Intranet) és megjelenítő felületek, eszközök [45]. E komponenseknek egymástól fizikailag elválaszthatónak kell lenniük ahhoz, hogy az orvos, a páciens *szabadon választott* lokációban sikeresen bekapcsolódhasson a szükséges egészségügyi ellátásba [46].

Mindazonáltal, egy teljes egészségügyi ellátási lánc meghatározott részkomponenseinek fizikai delokalizációjához szükséges, hogy egymás számára kölcsönösen elérhetők legyenek [47]. Ezt biztosítandó szükséges ezen részkomponensek Cloud-ba való beágyazása. A Cloud architektúra biztosítja azt az „elkent” infrastruktúrát, amelyben a rendszerkomponensek az aktuális fizikai helytől függetlenül közvetlen kapcsolatban állnak egymással. Azaz, a Cloud architektúra lehetővé teszi a kiválasztott rendszerkomponensek fizikai delokalizációját [48].

A teljes egészségügyi ellátórendszerben *számos* alrendszer és rendszerkomponens teljesít egyidejű szolgálatot. Ezért ez egészében hibrid rendszernek tekintendő [49]. Ennek leképezéséhez keretrendszer prototípust kell készíteni. Utóbbi matematikai absztrakcióval modellezendő. Ezen modellt felhasználva kell definiálni az optimalizálási célt, majd végre kell hajtani véges lépésben az optimalizációt. Az eredmény a keretrendszer prototípuson értelmezendő és validálandó.

Az optimalizálás szempontrendszere és az optimum definiálása

Az optimumot a következő két paraméter mentén definiálom:

- a) valamennyi egészségügyi eszköz, illetve alrendszer (telemedicina műszer, egészségügyi IoT okoseszköz és kórházinformatikai rendszer) érdemi kapcsolatot tudjon létesíteni egymással. Ehhez a következő két alpremissza egyidejű teljesülése szükséges:
  - bármely két telemedicina műszer, két e-egészségügyi IoT okoseszköz vagy két kórházinformatikai rendszer sikeresen tudjon kapcsolatot létesíteni egymással (intra-domain kapcsolatok), valamint
  - bármely telemedicina műszer, egészségügyi IoT okoseszköz vagy kórházinformatikai rendszer között eredményes kapcsolat létesülhessen (inter-domain kapcsolatok).
- b) az egészségügyi IoT okoseszközök, telemedicina készülékek és kórházinformatikai rendszerek a centrális OTI-HS-on keresztül, de a lehető legrövidebb úton létesítenek kapcsolatot egymással. Ez azt jelenti, hogy a rendszerelemek az OTI-HS-en keresztül közvetlenül létesítenek kapcsolatot egymással. Ennek köszönhetően a rendszerelemek önállóan tudnak működni, és nem támaszkodnak az OTI-HS-en kívül további rendszerekre, illetve rendszerelemekre ahhoz, hogy egymással kapcsolatot létesítsenek.

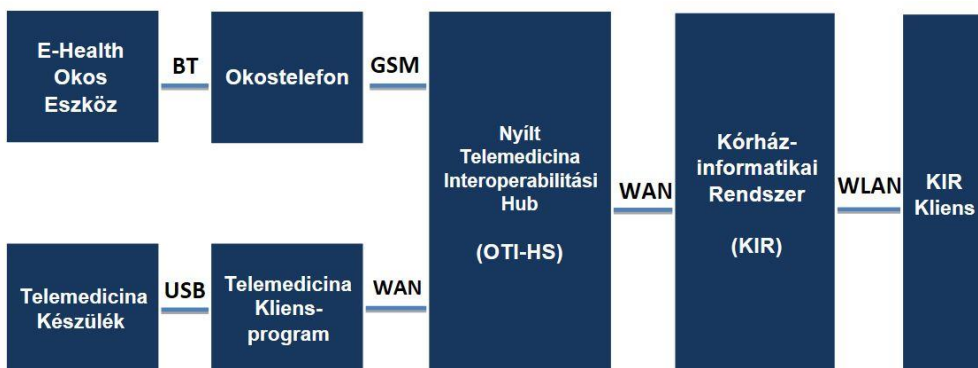
## 6. MATEMATIKAI MÓDSZEREK

### 6.1 Szolgáltatás-orientált Cloud architektúra leképezése és elemzése gráfokkal

A Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazásnak (OTI-HS) leginkább megfelelő Cloud architektúra kiválasztásához, illetve kialakításához szükséges a lehetséges megoldási alternatívák leképezése, rangsorolása és az optimális megoldás kiválasztása. Az OTI-HS példányainak száma és a hozzá tartozó Cloud architektúra szerelemeinek száma célszerűen olyan magas értéket fog elérni, aminek leképezése, nyomon követése és optimalizálása kizárólag matematikai absztrakcióval lehetséges.

Ezért bemutatom az e célra kidolgozott matematikai módszeremet egy olyan példán, amelyben a könnyebb követhetőség kedvéért összesen csupán a hét legfontosabb kutatási szerelemet szerepeltetem.

Első lépésként a vizsgálni kívánt egészségügyi rendszerkomponenseket kiválasztom, absztrakt modellben összekapcsolom és megszámozom. Így leképezem a kutatómunkában szereplő egészségügyi szolgáltatási láncot [23. ábra].



23. ábra. A kutatómunkában szereplő egészségügyi ellátási lánc modellje

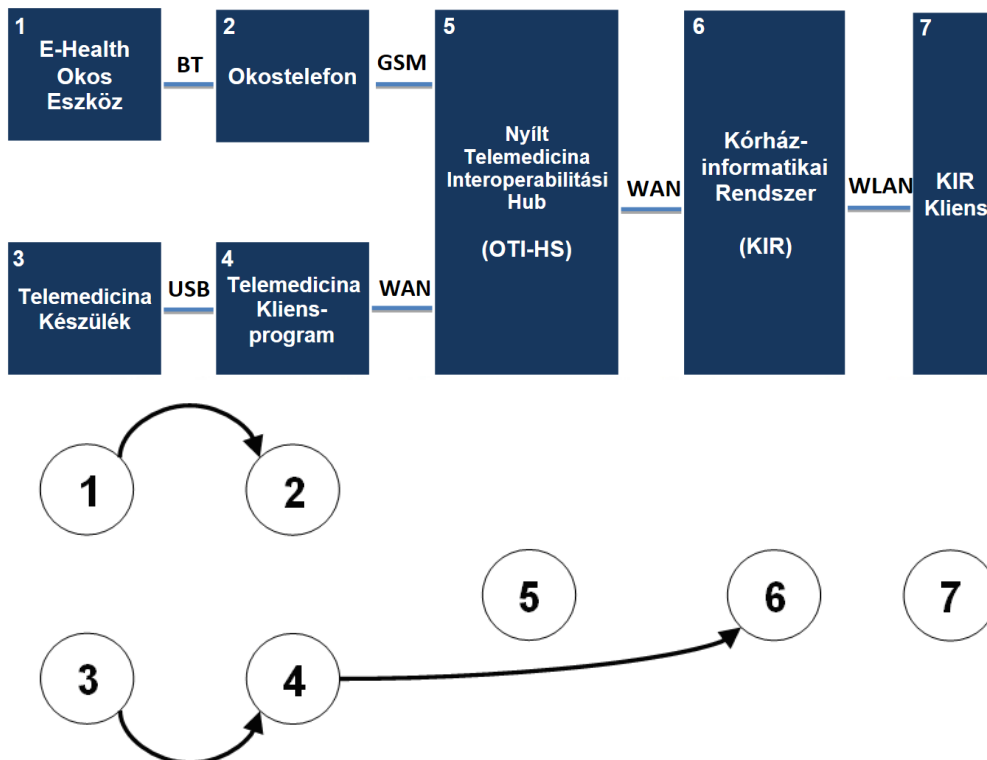
Kitűzött céloom, hogy lineáris algebra segítségével optimalizálom a három egészségügyi alrendszer közötti együttműködést.

Ehhez három scenáriót ábrázolok sematikusán. A három scenáriót az különbözteti meg egymástól, hogy míg első esetben még kevés komponens tart fenn kapcsolatot egymással, addig a kutatómunka során kifejlesztett OTI-HS hatására a második esetben már több komponens között van kapcsolat, míg a harmadik - ideális - esetben még ennél is nagyobb a rendszerelemek közötti kapcsolatok száma.

Azért választottam a bemutatott egyszerűsített példát, mert így szemmel is könnyen nyomon követhető és vizuálisan ellenőrizhető a matematikai eredmény.

Három esetet definiálok, amelyekkel bemutatom a kiinduló állapotot, a kutatás során megvalósuló állapotot, illetve az ideális állapotot:

- I. Eset Az első, a kutatómunkát megelőző állapotot leíró kiindulási esetben a három egészségügyi informatikai alrendszer *OTI-HS nélküli* együttműködését képezem le gráfokkal (24. ábra).
- II. Eset A második esetben a kutatásban kialakított működési modellt képezem le gráfokkal, amelynek során az *OTI-HS egyirányú interoperabilitást nyújt* a három egészségügyi informatikai alrendszer között.
- III. Eset A harmadik esetben a három egészségügyi informatikai alrendszer között az *OTI-HS döntőrészt bidirekcionális interoperabilitást nyújt*, amit szintén leképezek gráfokkal.



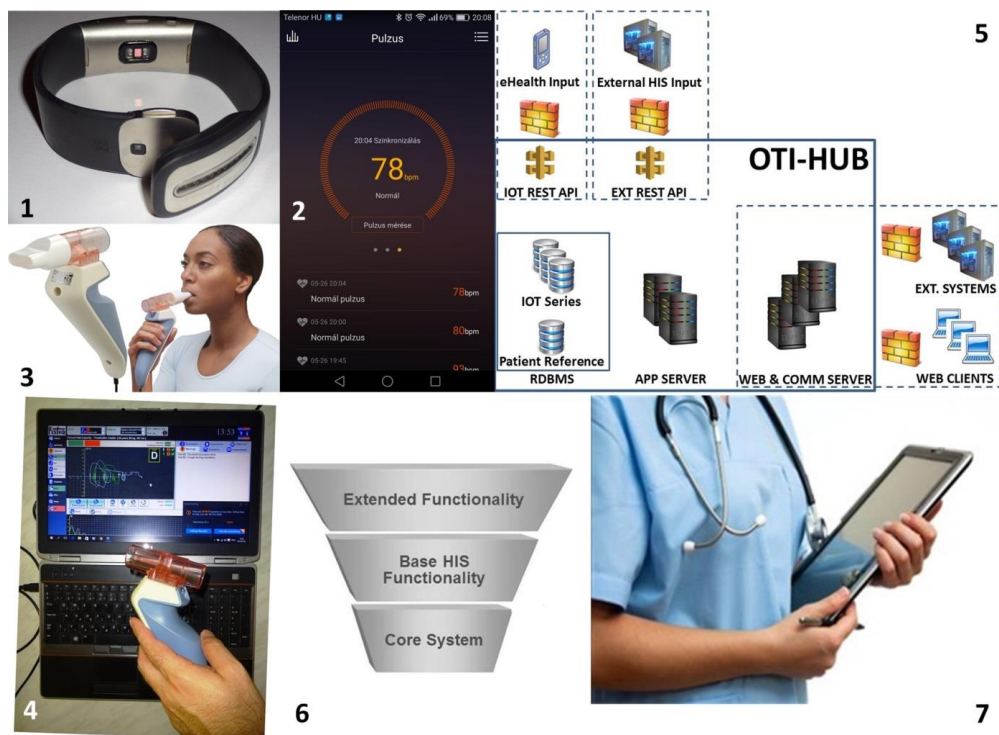
24. ábra. A három egészségügyi informatikai alrendszer együttműködése OTI-HS *nélkül* (kutatási kiinduló állapot)

A 24. ábrán látható az architektúra sematikus ábrája és leképezése gráffal.

A sematikus ábrán és a leképzett gráfban a következő rendszerkomponenseket szerepeltetem:

- 1) Bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszköz
- 2) Okostelefon
- 3) Klinikai telemedicina műszer
- 4) Klinikai telemedicina készülék szoftver-kliens
- 5) Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS)
- 6) Hagyományos kórházinformatikai rendszer
- 7) Hagyományos kórházinformatikai rendszer kliens (GUI)

A 25. ábrán bemutatom a sematikusan ábrázolt egészségügyi keretrendszer komponenseit.



25. ábra. Egészségügyi keretrendszer rendszerkomponensei

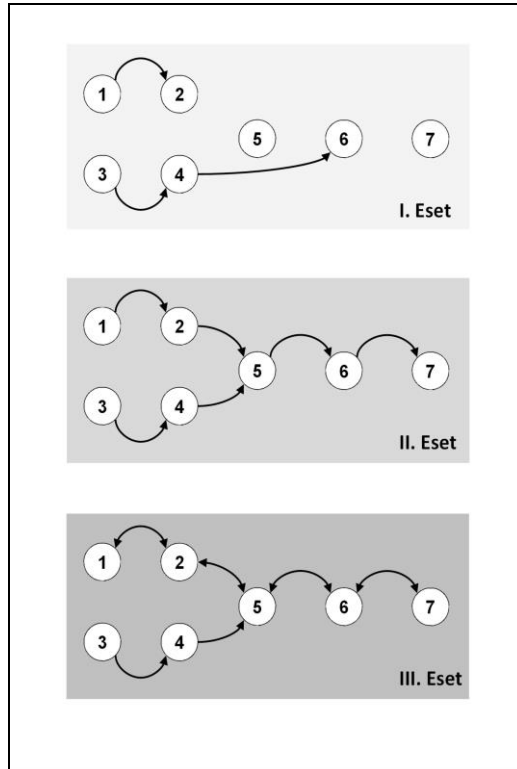
## 6.2 A modellezett egészségügyi informatikai alrendszerek rendszerintegrációjának optimalizálása lineáris algebrával

### Hipotézis

Azt állítom, hogy a három bemutatott egészségügyi informatikai alrendszer közötti kétirányú interoperabilitás akkor optimális, amikor a centrális, Cloud-ba beágyazott Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) az egészségügyi informatikai alrendszerek között a lehető legnagyobb számban hoz létre közvetlen, kétirányú kapcsolatot.

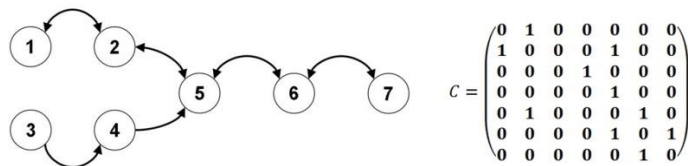
## Bizonyítás

A célkitűzésben definiált három esetet leképeztem irányított gráfokkal (26. ábra):



26. ábra. A célkitűzésben definiált három eset leképezése irányított gráfokkal

A három esethez tartozó gráfokat szomszédsági mátrixszal ábrázoltam (27. ábra):



27. ábra: A célkitűzésben definiált harmadik esetet leképező irányított gráf ábrázolása szomszédsági mátrixszal

A szomszédsági mátrixra a következő képlet szerinti mátrix-műveleteket alkalmaztam {(1) egyenlet}:

$$Z_k = \text{sign } H_k = \text{sign} \sum_{n=1}^k C^n \quad (1) \text{ egyenlet}$$

A  $k$  szögből álló III. esetet leíró gráf  $C$  szomszédsági mátrixának elérhetőségi mátrixa  $Z_C$ . A 27. ábrán bemutatott gráfok 7 szöget tartalmaznak.  $C$  szomszédsági mátrixra a mátrix-hatványozás szabályait értelmezzük egészen a 7. hatványig.  $C$  szomszédsági mátrix így előállított növekvő hatványait összegezzük a szumma operátorral. A signum függvény mátrixon értelmezve 0-t ad a mátrix azon értékeire, amelyek 0-t tartalmaznak, és 1-et, ahol nullától eltérők. Ezáltal az így kapott elérhetőségi mátrix már nem arra ad választ, hogy a szomszédsági mátrixszal leképzett gráf két csúcát *hány* módon lehet összekötni, hanem arra, hogy a két csúc között *van-e* kapcsolat, vagy nincs.

Az (1) egyenlet segítségével  $Z_C$  elérhetőségi mátrix előállításának elemi lépéseit a (2) egyenlet mutatja be, ahol:

- $C^n$  mátrix a szomszédsági mátrix  $n$ -dik hatványa;
- $H_{C,n}$  mátrix a  $C^n$  és  $H_{(n-1)}$  mátrixok összege; valamint
- $Z_{C,n}$  mátrix a  $H_{C,n}$  szignum-mátrixa.



A három egészségügyi alrendszer közötti közvetlen kapcsolat összes elemének összege kiszámításához az elérhetőségi mátrix összes elemének összegét kell meghatározni. E célból az elérhetőségi mátrixot balról az összegző vektor transzponáltjával, jobbról az összegző vektorral szorozzuk {(4) egyenlet}.

$$X_c = \underline{1}^T Z_c \cdot \underline{1} \quad (4) \text{ egyenlet}$$

A számítás eredménye 36 lesz. Eszerint 36 közvetlen kapcsolat létezik a III. esetben a három egészségügyi informatikai alrendszer rendszerkomponensei között.

A 8. táblázatban bemutatom a definiált három esethez tartozó szomszédsági és elérhetőségi mátrixokat, valamint az elérhetőségi mátrix összes elemének összegét:

	Szomszédsági mátrix	Elérhetőségi mátrix	Elérhetőségi fok
I. Eset	$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Z_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$X_A = (4)$
II. Eset	$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Z_B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$X_B = (17)$
III. Eset	$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Z_C = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$	$X_C = (36)$

8. táblázat. A definiált három esethez tartozó szomszédsági és elérhetőségi mátrixok, valamint az elérhetőségi mátrix összes elemének összege

Hipotézisem szerint keresem azt az optimumot, ahol a lehető legtöbb közvetlen kapcsolat létesül az egészségügyi informatikai alrendszerek között. Az első esetben (I. Eset) a közvetlen kapcsolatok száma 4, a másodikban (II. Eset) 17, a harmadikban (III. Eset) 36:

$$X_A = 4 < X_B = 17 < X_C = 36 \Rightarrow X_C \quad (5) \text{ egyenlet}$$

Eszerint, az alrendszerek között a harmadik esetben (III. Eset) létesül a legnagyobb számú közvetlen kapcsolat, számszerűen 36.

## Eredmény

Az eredményt és a következtetéseimet a 3. számú tézisemben részletesen bemutatom.

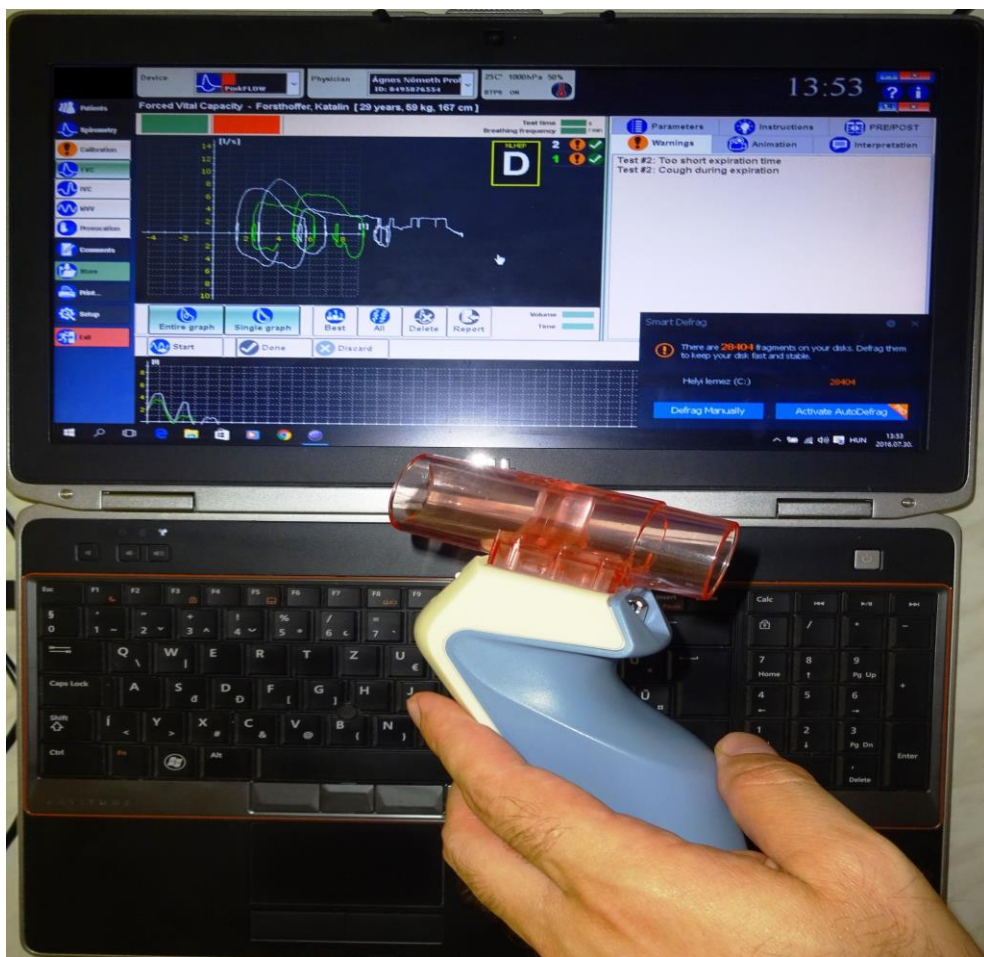
Attól függetlenül, hogy a felsorolt három eset közül bizonyítottan a harmadik az ideális, ez csak a kutatás következő, későbbi szakaszában fog megvalósulni. A harmadik eset gyakorlati megvalósítása azért történik később, mert a kutatás minden erőforrását fel kellett használni a második esethez, és így a harmadik eset gyakorlati kivitelezése további jelentős idő- és energia-befektetést igényel.

## 7. GYAKORLATI MÓDSZEREK

### 7.1 *Alkalmazott egészségügyi eszközök*

A kutatáshoz klinikai és nem-klinikai eszközöket/készülékeket alkalmaztam.

Klinikai készülékként egy PDD 301/shm spirométer (28. ábra) szerepelt. A spirométerrel légzésfunkciót vizsgáltunk [50]. Segítségével a kilégzés intenzitásából és a kilélegzett gáz összetételéből megállapítható a tüdő helyes vagy helytelen funkcionálitása. Diszfunkcióra példa az asztma [51]. A kutatásomban felhasznált spirométer azonos példánya a Semmelweis Egyetem 2. sz. klinika Pulmonológia Osztályon mindennapos használatban van. A kutatásomban alkalmazott spirométer használata előtt a gyártó elvégezte a szükséges kalibrálást. A kalibrálás szükséges feltétel ahhoz, hogy a mérési eredmények pontosak, az elkészült leletek helytállóak legyenek [52].



28. ábra. A kutatásomban felhasznált PDD 301/shm klinikai spirométer

Egészségügyi IoT okoseszközként a Microsoft Band 2-t alkalmaztam a kutatáshoz (29. ábra). Ez az egészségügyi IoT okoseszköz tizenegy szenzort tartalmaz (9. táblázat). Közülük a pulzuszám-mérő (#1) és a barométer (#11) szenzor jelét kinyeri és feldolgozza a kutatócsoportunk által kifejlesztett OTI Hub-Alkalmazás.



29. ábra. Microsoft Band 2 egészségügyi IoT okoseszköz (okos karkötő)

<b>Microsoft Band II egészségügyi okosóra szenzorai</b>		
#1	Szívritmus (optikai; heart rate)	Int
#2	3-tengelyű gyorsulásmérés (accelerometer)	Double
#3	Giroszkóp (gyroscope)	Double
#4	GPS	Float
#5	Mikrofon	n/a
#6	Környezeti világosság (ambient light, lux)	Int
#7	Galvanikus bőr-ellenállás (galvanic skin response)	Int
#8	UV	Enum
#9	Bőr-hőmérséklet (skin temperature)	Double
#10	Kapacitív szenzor (capacitive sensor)	n/a
#11	Barométer (barometer)	Double

9. táblázat. Microsoft Band 2 egészségügyi IoT okoseszköz (okos karkötő) szenzorai

A Microsoft Band II egészségügyi IoT okoseszköz a mérési eredményt másodpercenként kibocsátja. Ennek a karkötőnek az a különlegessége, hogy

létezik és szabadon elérhető hozzá a gyári Application Programming Interface (API). Az applikáció segítségével a Microsoft Band II egészségügyi IoT okoseszköz által mért jelek nyers formában kinyerhetők. Kutatási célom, hogy a mért primer jelek átalakítás nélkül, nyers formában kinyerhetők legyenek a pontos, valós-idejű kiértékelés elkészítéséhez.

## *7.2 Hardware-környezet*

A kutatáshoz egyrészt kizárólagosan dedikált, másrészt további rendszerekkel részben megosztott eszközöket használtam.

### *Egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszköz*

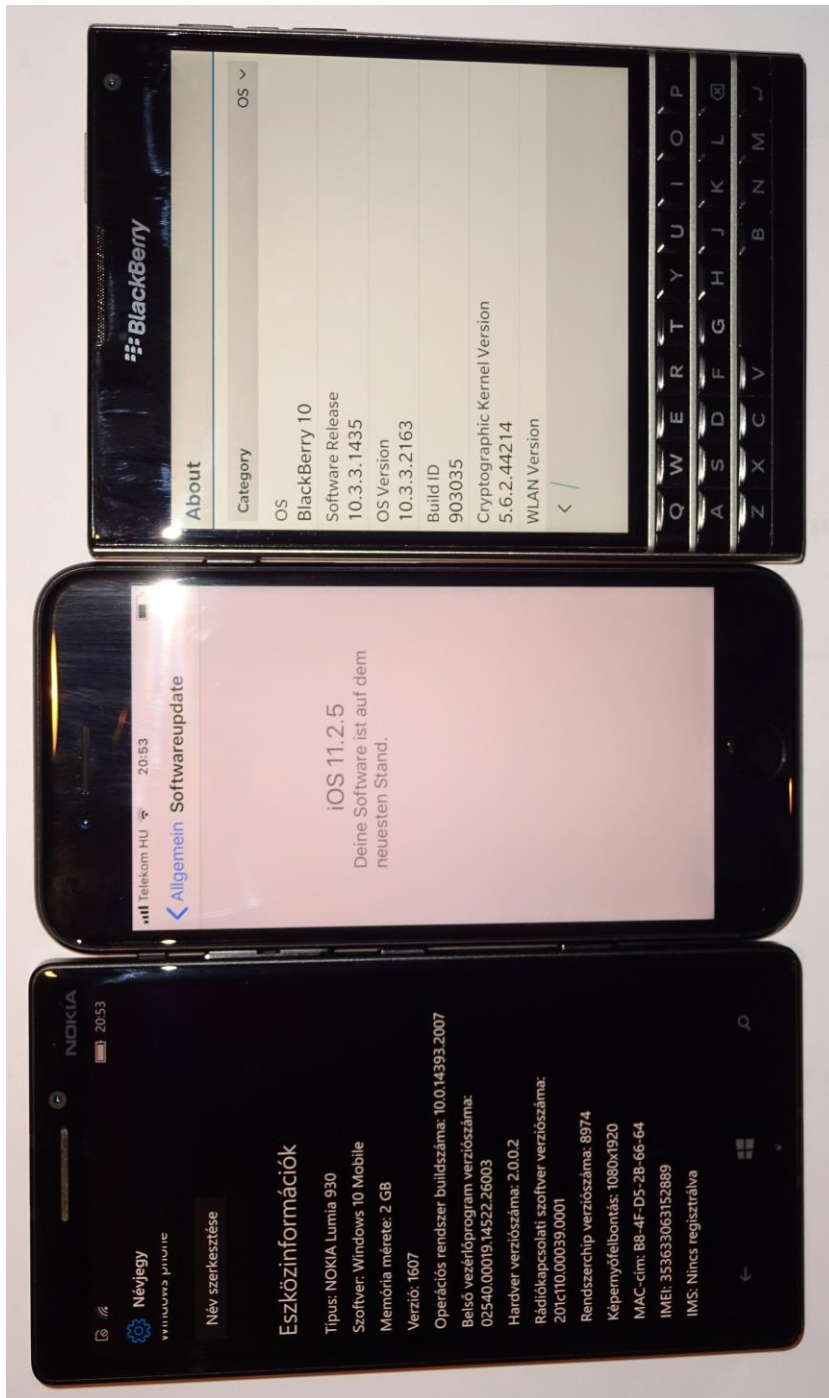
Kiválasztási folyamat eredményeként, kutatómunkámban a Microsoft Band 2 és a Microsoft Band 1 egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszköz került alkalmazásra. Fizikailag a Microsoft Band 2 nálam, a Microsoft Band 1 pedig kutatótársamnál volt. A Microsoft Band az okostelefonhoz Bluetooth-on keresztül kapcsolódik.

### *Klinikai telemedicina műszer*

Klinikai egészségügyi eszköznek a PDD-301/shm spirométert választottam. Az eszközzel teljesen megegyező másik példányt a Semmelweis Egyetem II. sz. Gyermekklinika Pulmonológiai osztályán napi szinten használják.

### *Okostelefonok*

A kutatásban három okostelefont használtam (30. ábra).



30. ábra. A kutatáshoz felhasznált mobiltelefonok

## Primer okostelefon

A Microsoft Band egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközhöz a Nokia Lumia 930 (Windows 10 Mobile, 10.0.14393.2007) Windows Phone okostelefon Bluetooth-on kapcsolódik. Ezután az ezen az okostelefonon futó App valós időben beolvassa az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszköz által mért és elküldött primer adatokat. Ezt követően ugyanez az App elküldi a Cloud-ban lévő szervernek a mért adatokat. Ehhez szükséges az Internet-kapcsolat.

## Szekunder okostelefonok

Az Internet-kapcsolatot az iPhone 7 (iOS 11.2.5) valamint a Blackberry Passport (Blackberry OS 10.3.3.2163) okostelefon felváltva biztosítja Internet-hotspotként. A kutatáshoz felhasznált iPhone 7 és Blackberry Passport okostelefonok, a beállításaik szerint, az adott GSM cellában elérhető legmagasabb sebességgel kapcsolódnak a hálózathoz (ideális esetben 4G-vel, legrosszabb esetben GPRS-szel).

Kutatásom premisszája, hogy az elkészült OTI-HS geográfiai kötöttségek nélkül működjön. Ezt a célt szolgálja, hogy a primer okostelefon szekunder mobiltelefon Wlan-Hotspot-szolgáltatásán csatlakozik az Internethez. Ez lehetővé teszi, hogy a páciens az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközt *bárhol* hordhatja, és annak másodpercenkénti jelfolyama az OTI-HS-en keresztül a kívánt (kórházinformatikai-) rendszerben valós időben nyomon követhető.

Nem kérdés, hogy a primer telefon is rendelkezhet közvetlen 4G/3G/EDGE/GPRS internet-kapcsolattal. Mindazonáltal szándékosan szerepel szekunder telefon a kutatásban, és a primer telefon tudatosan nem saját mobilinterneten keresztül, hanem a szekunder telefon Wlan-Hotspot szolgáltatásán át csatlakozik az Internethez és a szerverhez. Ennek az az oka, hogy olyan kutatási környezet megteremtése a cél, ami a lehető legjobban

kapcsolódik a valódi működési feltételekhez: a rendszert olyan módon tervezem, hogy az a Semmelweis Egyetem II. számú Gyermekklinika Pulmonológiai osztályán működőképes legyen. Ezen a klinikai osztályon rendelkezésre áll nyílt Wi-Fi-kapcsolat. Ezt a környezetet szimulálja az a mód, amely során a kutatásban a primer mobiltelefon a szekunder mobiltelefon Wi-Fi-Hotspot-szolgáltatásán keresztül kapcsolódik az Internetre.

#### Privát Cloud szerver

Kutatócsoportunk privát Cloud-szerverének hardverparaméterei a következők:

- PC x86-64 Intel i5 processzor, 256GB SSD, 4 GB RAM
- Adatelemzéshez használt számítógép

Kutatásomban dedikált laptopot használok az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszköz jelfolyamának és a klinikai telemedicina műszer kimeneti jelének másodlagos feldolgozásához:

Dell Latitude E6520 (Windows 10 32 bit operating system, i5-2520M chipset, 4 GB RAM and 256 GB HDD)

Ezen másodlagos feldolgozás során az adatokat, adatsorokat a privát Cloud-szerveren lévő adatbázisból ODBC kapcsolaton keresztül lekérdezem és manuális vizsgálatot folytatok. Továbbá, a klinikai telemedicina műszer gyári szoftverét ezen a számítógépen futtatom, és a telemedicina eszköz, spirométer mérési eredményeit tartalmazó állományt is ezen a gépen vizsgálom manuálisan. Továbbá, az OTI-HS App legfrissebb verzióját ezen a számítógépen töltöm fel az elsődleges Windows Phone okostelefonra.

## Tablet

A kórházinformatika rendszer felhasználói felületének (GUI) megtekinthetősége céljából, beszereztem egy tabletet: Lenovo MIIX 300-10IBY tablet (10,1 display (WXGA and HD IPS), 2 GB memory, 64 GB internal storage, Windows 10, 802.11g WLAN, Bluetooth 4.0).

Ez a tablet WiFi-n keresztül csatlakozik az Internethez. Mindez illeszkedik kutatásom premisszájához, azaz, az OTI-HS a páciens és az orvos nem csupán fizikailag *eltérő* lokalizációját, hanem *bármilyen* fizikai lokalizációját lehetővé teszi. Ezért szükséges, hogy az orvos által elért kórházinformatikai kezelőfelület, és az előbbieken leírt egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközt Internet-hez csatlakoztató mobilinternet-módszer *egyszerre* tegye lehetővé, hogy mind a páciens, mind az orvos szabadon megválaszthassa fizikai helyét - legyen ez akár az otthona, a mentőautó vagy akár egy másik kontinens.

### 7.3 Szoftver környezet

A) Kutatócsoportunk az OTI-HS futtatási környezetéhez a/az

- Windows Server 2016-ot,
- MsSQL Server 2017-et és
- IIS 8.5 Web Server-t

installálta és használja.

B) Saját kutatási Windows Phone-om operációs rendszerét

- Window 10 Mobile-ra

frissítettem.

C) A klinikai spirométer műszer gyári kliens programjának használatához a következőket telepítettem és futtatom:

- PistonXP (gyári) windows spirométer alkalmazás, és
- Windows 10 32-bit operációs rendszer (Dell Latitude E6520 laptopon).

D) Kutatócsoportunk az OTI-HS fejlesztőkörnyezetének a

- Microsoft Visual Studio-t,
- Universal Windows Application Development Tools 1.4.1-t,
- Windows 10 Software Development Kit 10.0.25431.01 Update 3-at, és
- Microsoft .NET Framework Version 4.6.01038-t

installálta és használja.

E) Kutatócsoportunkban az OTI-HS adatbázis, futtatási és public Cloud környezetéhez a következők kerültek installálásra és vannak használatban:

- OTI-HS internal database management: SQL Server Data Tools 14.0.60519.0
- OTI-HS Mobil App: Visual Studio Tools for Universal Windows Apps 14.0.25527.01
- OTI-HS middleware beágyazásához: Microsoft Azure Mobile Services Tools 1.4

F) Kutatócsoportunkban a privát Cloud-hoz a következők kerültek installálásra és vannak használatban:

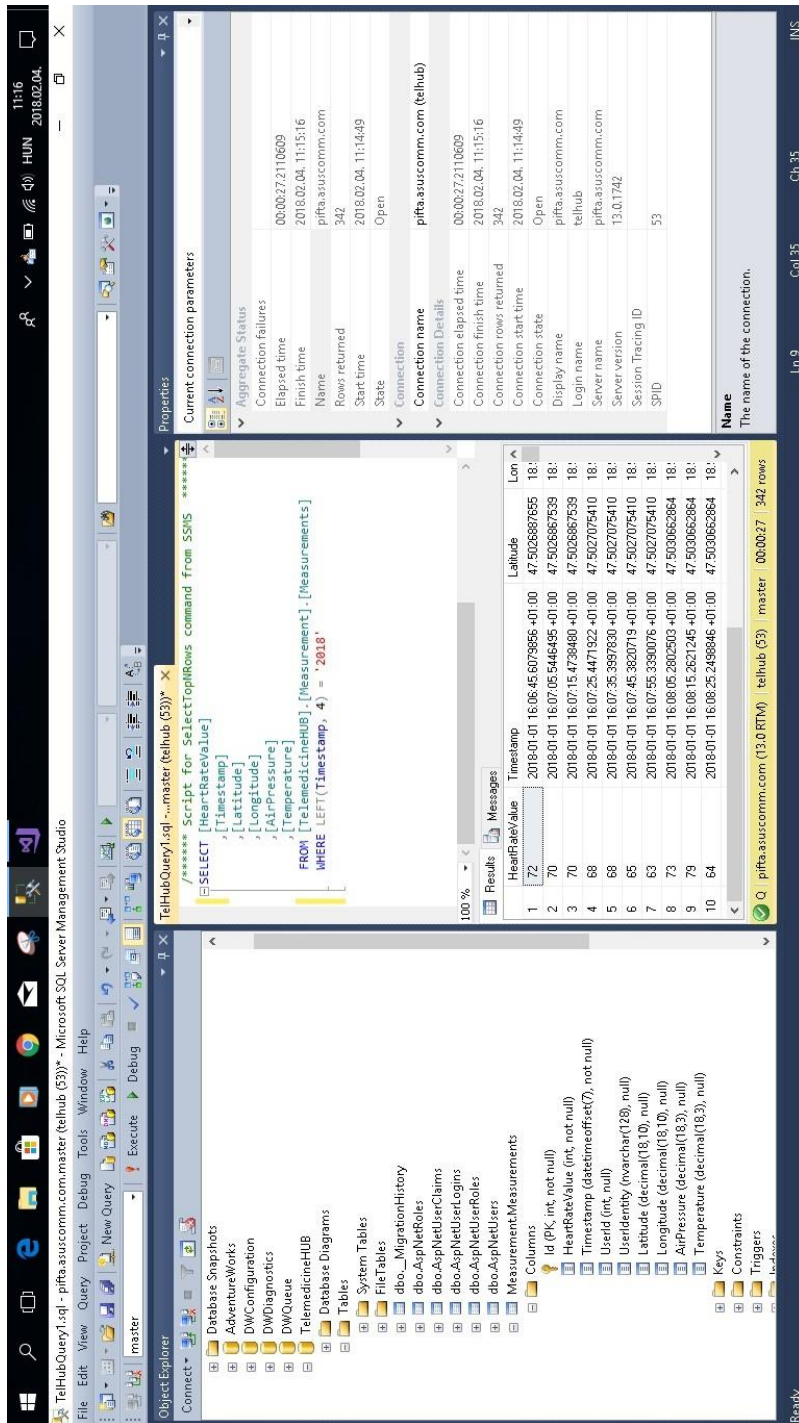
- VMware Workstation v6.5.0
- RedHat Enterprise Linux 7.0 3.10.0229

G) Kutatócsoportunk az OTI-HS privát Cloud-ban futó rendszerkomponenseinek a következőket installálta és használja:

- J2EE WebSphere application server V6,
- Oracle 10gR2,
- Unix MySQL v5.6.

H) Az egészségügyi bioszenzoros adatsorok manuális vizsgálatához a következőt installáltam és alkalmazom:

- Microsoft SQL Server Management Studio 11.0.2100.60  
(31. ábra)

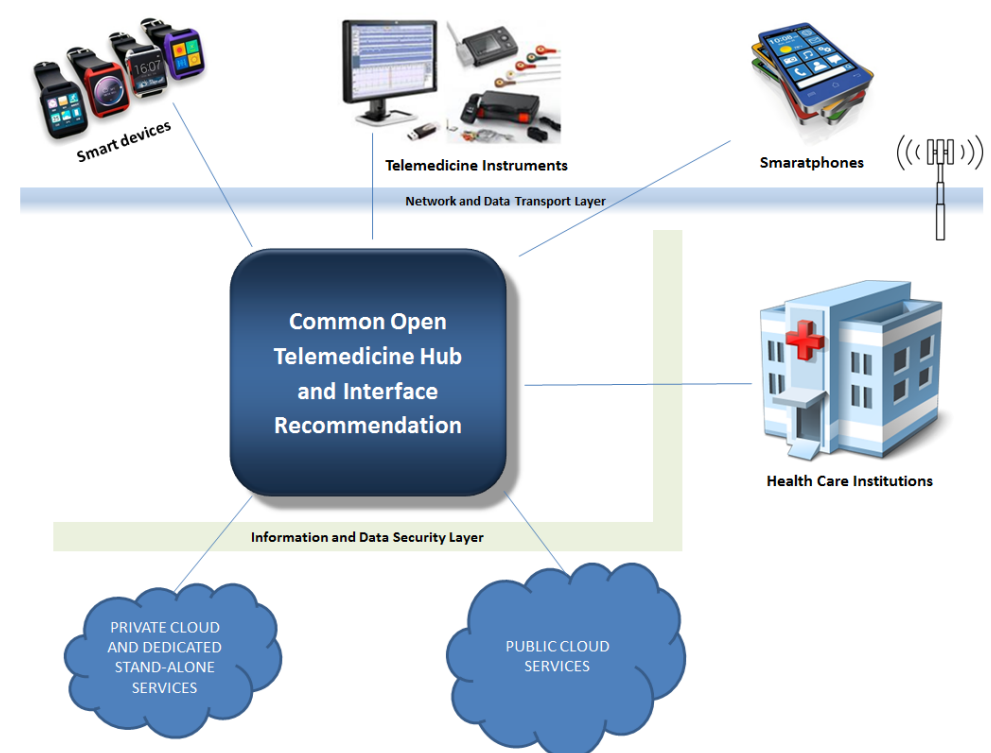


31. ábra. Az OTI-HS adatbázisának külső lekérdezése Microsoft SQL Server Management Studio-val

## 7.4 Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS)

A kutatás központi részét a Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) alkotja. Ez a rendszer több komponensből tevődik össze. Egyik komponense a Cloud-ban fut, a másik mobiltelefonon.

A Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub Alkalmazásnak (angolul: Open Telemedicine Interoperability Hub-Software, OTI-HS, 32. ábra) célja, hogy az egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina készülékek, okostelefonok és kórházinformatikai rendszerek közötti kölcsönös interoperabilitást lehetővé tegye. Egyes eszközök között egyirányú, mások között kétirányú adatkapcsolatot és információ-megosztást létesít.



32. ábra. Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS)

Az OTI-HS tervezése során célom volt, hogy a csatlakoztatott eszközök a Föld bármely pontjáról elérhetőek legyenek. Emiatt az OTI-HS központi magja (OTI-HS Central Component, OTI-HS CC) a munkacsoportban Cloud-ba került beágyazásra. Így az alkalmazott Cloud-szolgáltatás, és ezáltal a Cloud-ba beágyazott OTI-HS CC funkciói az Interneten keresztül geográfiai korlátok nélkül mindenütt elérhetővé válnak.

Az OTI-HS CC és az OTI-HS okostelefonon futó modulja, az OTI-HS App Interneten keresztül tarja a kapcsolatot. Az OTI-HS CC és az OTI-HS App közös logikai egységet, feldolgozási láncot alkot.

További célom, hogy az OTI-HS lehetővé tegye a klinikai telemedicina eszközök, a kiskereskedelemben forgalmazott egészségügyi IoT okoseszközök és a kórházinformatikai rendszerek közötti interoperabilitást. Az említett interoperabilitást három osztályba sorolom:

a) Szintaktikai

A szintaktikai interoperabilitás szavatolja, hogy a küldő és a fogadó rendszer között felhasznált protokoll és adatkódolás megegyezik. Ezt szavatolja a mindkét oldalon helyesen használt protokoll (HTML, FTP, SMTP), karakterkódolás és file-formátum (pl. 8 vagy 7 bites).

b) Szemantikai

A szemantikai interoperabilitás biztosítja, hogy mind a küldő, mind a fogadó rendszer ugyanazt a file- és/vagy mező-struktúrát használja a megosztott file-ban illetve adatbázisban (pl. a megosztott XML-mezőket mind a küldő, mind a fogadó rendszer ismeri és ugyan úgy értelmezi).

c) Folyamatszintű

Folyamatszintű interoperabilitás esetén a küldő és fogadó intézmény oly módon osztja meg egymással az információt, hogy

az nem csak technikailag, hanem logikailag is illeszkedik mindkét fél ügymenetéhez. Az egészségügyi szolgáltatási lánc (egészségügy) folyamatorientált rendszerekből áll, így a kutatásomban a szintaktikai és a szemantikai interoperabilitáson túl törekedtem a folyamatszintű interoperabilitásra is azért, hogy eredményeim a való életbe átültethetők legyenek. Kutatásomban a folyamatszintű interoperabilitásra példa, ahogyan az egészségügyi IoT okosórából kinyert pulzusértékeket olyan HL7 formátumú állománnyá alakítom, amelyet a kórházinformatikai rendszer pulzusmérés folyamata közvetlenül fel tud dolgozni.

Az OTI-HS-el célom, hogy a teljes technikai interoperabilitás mellett a részleges szemantikai és folyamatszintű interoperabilitást is biztosítsam.

## 8. KORLÁTOZÓ TÉNYEZŐK

Kutatásomnak és annak sikerességének határt szabnak az igénybe vett technológiák elvi és fizikai korlátai. Ezen túlmenően, az érvényes nemzeti és nemzetközi jogi normák ugyancsak korlátozzák a kutatás empirikus és technikai eredményeinek valós életbe történő átültetését. A következő alfejezetekben e korlátozó tényezőket négy témakörre bontva mutatom be.

### *8.1 Cloud architektúra korlátok*

A Cloud technológiát a köztudatban végtelenül skálázható architektúrának tekintik [53]. Ez a skálázhatóság a következő négy dimenzióra terjed ki [54]:

- a) számítókapacitás (CPU üzemidő);
- b) belső memória (RAM);
- c) háttértár; valamint
- d) Internet sávszélesség.

A teoretikus skálázhatóság gyakorlatilag csak addig rugalmas, amíg a felhasználás a Cloud-szolgáltató teljes ellátásának marginális részét öleli fel [55]. A fent leírt négy dimenzió mindegyike technikailag korlátozza a köztudat szerinti végtelen elaszticitást (skálázhatóságot). Minél nagyobb részt foglal egy felhasználócsoport a Cloud szolgáltató teljes kapacitásából, a gyakorlatban annál korlátozottabb lesz a skálázhatóság [56]. A Cloud-szolgáltatás kapacitástervezésekor a Cloud számítóközpontban sort kell keríteni a többletigényt kiszolgáló további hardvereszközök beszerzésére az elméleti végtelen skálázhatóság gyakorlati érvényesítéséhez.

A Cloud-technológiára földrajzi határok nélküli, globálisan elérhető technológiaként tekintünk [57]. A gyakorlatban a globális Cloud-szolgáltatások regionális számítógépes központokra támaszkodnak. A regionális számítógépes központokat az Internet kapcsolja össze. Mindazonáltal a regionálisan és az interkontinentálisan elérhető sávszélesség között nagyságrendi különbség van [58]. A kontinensek közötti internetes sávszélességet az óceánok mélyére lefektetett kábelek, valamint a távközlési műholdak által biztosított sávszélesség korlátozza. Ezáltal a globális Cloud-szolgáltatások valójában kétsebességűek [59]: a Cloud szolgáltató adott számítógépes központja régiójában biztosítható a nagy sávszélesség, ám a kontinensek között csupán egy nagyságrenddel alacsonyabb adatátviteli sebesség lehetséges. Ennek következtében a lokális napi számítási csúcsok hatékony globális kiegyenlítésére jelenleg nincs lehetőség [60].

## *8.2 Nem-szabványos bioszenzor-jelfolyamok interoperabilitása*

Kutatásomban kiskereskedelmi forgalomban elérhető egészségügyi IoT okoseszközöket tanulmányoztam. Mindegyik más és más módon kódolta a kimeneti jelet. A pulzusmérésre alkalmas egészségügyi IoT okoseszközök gyártói különböző adatátviteli kódolásokat és technikákat alkalmaznak. Ezek döntő része nem dokumentált, külső szakember számára nem áttekinthető. Ebből adódóan ezek az egészségügyi IoT okoseszközök nem tudnak egymással adatot cserélni, és egységes adatgyűjtés sem végezhető velük.

Az egészségügyi IoT okoseszközök a saját gyári App-jukkal együttműködnek, és okostelefonon futó App-ok megjelenítik az egészségügyi IoT okoseszköz felől érkező mért értékeket. Ugyanakkor, nincs lehetőség e mért értékek további külső feldolgozására, továbbítására, az egészségügyi IoT okoseszközök eltérő és nem dokumentált kimeneti jelfolyamai miatt.

Sem a szintaktikai, sem a szemantikai interoperabilitási feltétel nem teljesül mindaddig, amíg a kiskereskedelmi forgalomban elérhető egészségügyi IoT okoseszközök gyártói az eszközről kimenő jelet különböző, saját, nem-szabványos eljárásaik szerint kódolják. Ezért szükséges az egészségügyi IoT okoseszközökből kinyert jelek egységesítése, annak minden érintett számára elérhető szabványba foglalása. Az egységes, illetve egységesített jelek központilag feldolgozhatók. E jelfolyamok központi feldolgozása által lehetőség nyílik a valós idejű értékelésre és előrejelzésre közösségi és egyéni szinten egyaránt.

A nem-szabványos bioszenzoros jelfolyamok közvetett módon gátolják a folyamatszintű interoperabilitást [61]. A bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök kórházinformatikai rendszerekben történő alkalmazásához a technikai illesztésen túl folyamatszintű összekapcsolásra is szükség van. Erre azonban csak akkor nyílik lehetőség, ha a szintaktikai és a szemantikai illesztés már sikeresen lezajlott.

Az egészségügyi IoT okoseszközök és kórházinformatikai rendszerek sikeres folyamatszintű interoperabilitásához szükséges még egy további logikai ellentét (33. ábra) feloldása: a hordozható bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök folyamatosan bocsátják ki a mért eredményeket tartalmazó jelfolyamot [62]. Ezzel szemben a kórházinformatikai rendszerek csak akkor tudnak mérési eredményeket befogadni, ha a páciens előzetesen regisztrált, és regisztrálásához megtörtént az „eset” („case”) hozzárendelés.



33. ábra. Bioszenzoros egészségügyi IoT okos eszközök és kórházinformatikai rendszerek közötti folyamatszintű interoperabilitást akadályozó logikai anomália

E logikai anomália feloldása szükséges ahhoz, hogy az egészségügyi IoT okos eszközökről érkező mérési jeleket sikeresen felhasználhassák az intézményekhez kötött orvosi ellátásban [63].

Tény, hogy az egészségügyi IoT okos eszközöknek és gyártóiknak alkalmazkodniuk kell a kórházinformatikai rendszerekhez [64].

A kórházinformatikai rendszerek további intézményekhez is szorosan kötődnek, így például a társadalombiztosítási és finanszírozási, továbbá a felügyeleti szervekhez. A kórházinformatikai rendszerek beágyazottsága más rendszerekbe olyan mély, hogy a páciens-eset megközelítésű munkafolyamatot rövid távon nem lehet megváltoztatni [65]. Ezért az egészségügyi IoT okos eszközöket kell oly módon fejleszteni, hogy azok technikai és folyamat-szinten egyaránt eredményesen csatlakozzanak a már működő kórházinformatikai rendszerekhez.

### 8.3 A rendszeroptimalizálás mérhetőségének korlátai

Kutatásom célja olyan infokommunikációs ökoszisztéma kialakítása, amelyben a bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök és a klasszikus egészségügyi informatikai rendszerek hatékonyan együttműködnek. Ehhez az interoperabilitáson túl architektúra-szintű optimalizálásra is szükség van. Ennek szükségességét indokolja a várhatóan nagyszámú, valós idejű bioszenzoros adat kibocsátás, adattovábbítás és adatfeldolgozás. Rendszerszinten a keletkező, feldolgozott, továbbított és tárolt adat mennyiség nagyságrendi elméleti becslését a következő összefüggyessel végeztem:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{újonnan keletkező primer adat} \div \text{másodperc} &= \text{egyéni újonnan keletkező} \\ \text{primer adat} \div \text{másodperc} \times \text{Föld lakossága} & \quad (6) \text{ egyenlet} \end{aligned}$$

A hordozható bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök által másodpercenként kibocsátott adatcsomagok minimálisan 1 Byte méretűek. A Föld jelenleg becsült népessége 7.6 milliárd fő. Ennek tükrében a (6) egyenlet a következőképpen alakul:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{újonnan keletkező primer adat} \div \text{másodperc} &= 1 \text{ Byte} \div \text{másodperc} \times 7,6 \\ \text{milliárd fő} & \quad (7) \text{ egyenlet} \end{aligned}$$

vagyis:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{újonnan keletkező primer adat} \div \text{másodperc} &= 7,6 \text{ milliárd Byte} \div \\ \text{másodperc} &= 7,087 \text{ Gigabyte} \div \text{másodperc} \quad (8) \text{ egyenlet} \end{aligned}$$

A másodpercenként 7,078 Gigabyte primer adat napi 597,21 Terabyte friss adatot tesz ki. Ez a nagyságrend már rendszeroptimalizálást igényel.

A rendszer hatékonyságának mérése korlátokba ütközik. Nem ismert az egész rendszer minden alkotóeleme, sem azok pontos paraméterei. A teljes rendszer bizonyos elemei egymásra is hatással vannak, más alkotóelemek viszont mindeközben teljesen függetlenek egymástól. Ezért a rendszeroptimalizálást becslésekkel és feltételezésekkel kell végrehajtani. E becslések és feltételezések a teljes rendszeroptimalizálás mérhetőségének határt szabnak. A mérhetőségi korlátok miatt rendszerszintű globális optimum nem számítható, hanem csak becsülhető.

#### *8.4 Védett kórházinformatikai rendszerek és páciensakták*

Kutatásom célja a technikai akadályok leküzdése és új tudományos megoldások létrehozása az egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek *univerzális* interoperabilitása megvalósításához.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a technikai nehézségek mellett számos nem-technikai gátló tényező is szerepel [66]. Utóbbiak között legfontosabb a jogszabályi környezet. Számos technikai megoldást törvényi előírások korlátoznak.

Az egészségügyi informatikában az adatok hangsúlyos szerepet kapnak [67]. Külön szabályrendszer szerint van lehetőség adatok törlésére, módosítására és megtekintésére. Ennek legfőbb oka az, hogy az egészségügyi információk személyes, bizalmas, minősített adatnak minősülnek, így e tekintetben is az alapvető emberi jogoknak kell teljesülniük.

Általánosságban kijelenthető, hogy személyes egészségügyi adatok a jogi szabályozások szerint - külön hozzájárulás nélkül - nem hagyhatják el az országhatárt [68]. Ez az elv ugyanúgy érvényesül Magyarországon, mint Németországban vagy az Amerikai Egyesült Államokban. Ez a jogi szabályozási környezet jelentősen szűkíti az informatikai vívmányok alkalmazhatóságát. Mindez leginkább a Cloud szolgáltatásoknál követhető nyomon. A nemzetközi Cloud szolgáltatók egy-egy számítástechnikai központja egyszerre több országot magába foglaló régiót lát el. Technikailag a Cloud szolgáltatók belső load-balancing-je segíti a különböző kliensek felől érkező ciklikus terhelések optimális elosztását [69]. A Cloud szolgáltatásokért felelős virtualizációs réteg lehetővé teszi a méretgazdaságosság optimalizálását a felhasználók és a szolgáltatók részére egyaránt: játékelméleti értelemben ez egy win-win szituáció, közgazdasági értelemben ez egy pareto-hatékony pont.

Technikai értelemben pontosan ezt a méretgazdaságosságot gátolják a páciensadatokat érintő nemzeti jogi szabályozások, és így a Cloud szolgáltatásokban nem alakulhat ki pareto-hatékony pont [70]. Ez következménye annak, hogy miközben az adatokat fizikai akadályok nélkül el lehet juttatni a külföldön fekvő regionális számítóközpontba, addig a jogi szabályozás ezt tételesen tiltja. Ezért lokális számítóközpontok kerülnek kialakításra, és így módon kiaknázatlan marad a regionális Cloud-szolgáltatók által nyújtott skálázhatóság és méretgazdaságosság előnye [71].

Létezik olyan megoldás, amelyben a Cloud szolgáltatás előnyei részlegesen mégis kiaknázásra kerülnek, például egészségügyi adatok feldolgozásában [72]. Ebben az esetben az egészségügyi adatokat páciens törzsadatokra és mérési eredményekre kell bontani. A páciens-azonosítók pseudo-anonimizálás során önmagukban visszafejthetetlen azonosítót kapnak; a mérési eredményeket tartalmazó adatok csak a pseudo-

azonosítókat, valamint a mérési eredményeket tartalmazzák. Így a mérési eredményeket és a pseudo-azonosítókat tartalmazó adatok már kikerülnek az országhatáron túlra, és feldolgozásukra is sor kerül a Cloud-szolgáltató nemzetközi számítástechnikai központjában. A feldolgozás után az adatok a nemzetközi Cloud számítóközpontból visszakerülnek az eredeti páciensadatokat is tartalmazó nemzeti számítóközpontba, ahol a törzsadatok és a feldolgozott pseudo-anonimizált mérési adatok összefésülésre kerülnek. Ez a hibrid módszer valójában nemzeti határokon, illetve egészségügyi intézményi kereteken belüli privát Cloud szolgáltatás és további, nemzetközi, publikus Cloud szolgáltatás együttműködése. A privát- és a publikus-Cloud szolgáltatás együttműködését nevezzük hibrid Cloud-nak.

A kórházinformatikai rendszerek létrehozása és fejlesztése jelentős időbeli, pénzübeli és technikai ráfordítást igényel. E rendszerek a gyártó nagyvállalat tulajdonát képezik. Ennek megfelelően szabadalmi, technikai és jogi védelmet élveznek. A kutatás során említésre méltó kihívás volt azt elérni, hogy valós klinikai közegben működő kórházinformatikai rendszer releváns teszt-modulja megfelelően együttműködjön a munkacsoportunkban fejlesztett OTI Hub-Alkalmazással.

## 9. TÉZISEK

### 9.1 Tézis 1.

**Szintaktikai, szemantikai és folyamatszintű interoperabilitás kapcsolatot hoztam létre intézményi kórházinformatikai rendszerek, bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök és klinikai telemedicina műszerek között, a centrális OTI-HS segítségével. [RJ-1] [RC-1] [RC-2] [RC-3]**

#### **Célkitűzés**

Célul tűztem ki, es megvalósítottam, hogy az eddig csak külön-külön működő egészségügyi alrendszerek között a kifejlesztett centrális **OTI-HS** prototípus segítségével kétirányú, reciprok kapcsolat jöjjön létre.

Az eddig külön-külön működő egészségügyi alrendszerek: a hagyományos kórházinformatikai rendszerek, a bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök és a klinikai telemedicina műszerek. Ezen alrendszerek között az eddigi gyakorlatban egyáltalán nem létesült kapcsolat, jóllehet, olyan egyedi kapcsolat előfordult, amely az egyes kiemelt alrendszerek közötti összeköttetésre korlátozódott. Céлом volt az általános érvényű, nemzetközi szabványokon nyugvó kétirányú, reciprok kapcsolat kialakítása és annak megvalósítása a fent említett egészségügyi alrendszerek között. E kétirányú, reciprok kapcsolatok biztosítják az ugyancsak megvalósított kétirányú adatmegosztást, a szintaktikai, a szemantikai és a folyamatszintű interoperabilitást.

## Hipotézis

Kutatási hipotézis: létezik olyan központi szoftverrendszer, amely lehetővé teszi a fent említett három, eddig elkülönülten működő egészségügyi domain között a kétirányú, reciprok interoperabilitást.

## Bizonyítás

Kutatásom hatáskörébe a következő három informatikai domain tartozik:

- hagyományos kórházinformatikai rendszer, esetemben MedSol, amely a magyarországi egészségügyi ellátás 50%-áért felel.
- egészségügyi IoT okoseszköz, esetemben bioszenzoros Microsoft Band 2 okoskarkötő.
- klinikai telemedicina műszer, esetemben PDD-301/shm spirométer.

Munkacsoportunkban kifejlesztésre került a centrális Open Telemedicine Interoperability Hub-Alkalmazás (**OTI-HS**) abból a célból, hogy a fentiek szerinti három informatikai domain között az interoperabilitás mindhárom szintje (szintaktika, szemantika és folyamat) megvalósulhasson.

A munkacsoporton belül az általam fejlesztett **OTI-HS** rendszer követelmény specifikációjában cél volt a *nyílt* rendszer létrehozása, működőképessé tétele, továbbá az is, hogy a létesített adatkapcsolatok kövessék a nemzetközi szabványokat. A nyílt rendszer létrehozása annak feltétele, hogy az érintett készülék- és szoftvergyártók készülékeiket és a dedikált szoftver-alrendszert a kifejlesztett/létrehozott **OTI-HS** rendszerhez illeszteni tudják.

Az általam kifejlesztett/létrehozott **OTI-HS** rendszer a kapcsolódott alrendszerek és készülékek számára lehetővé teszi a HL7 nemzetközi

szabvány használatát. HL7 a legelterjedtebb nemzetközi egészségügyi szabvány. A HL7 szabványcsaládot a HL7 v2.x és a HL7 v3.x alcsaládok alkotják. Kutatásom során céлом volt az elérhető legkorszerűbb szabvány alkalmazása. A legkorszerűbb szabványcsalád az XML-alapú HL7 v3.x. Mindazonáltal az **OTI-HS** a jelenleg legelterjedtebb CSV-alapú HL7 v2.x szabványcsaládot is kezeli. A legújabb szabványcsalád alkalmazása mellett szükséges, hogy a kifejlesztett **OTI-HS** rendszer az interoperabilitást a hagyományos, legacy rendszerek részére is lehetővé tegye. Jelenleg a hagyományos egészségügyi rendszerek döntően a HL7 v2.x alszabványt használják. Ezért a kifejlesztett **OTI-HS** rendszer ezt az alszabványt is támogatja, és ennek segítségével a legacy rendszereket is kiszolgálja.

A kutatómunkám során kifejlesztett **OTI-HS** rendszer segítségével HL7 szabvány szerinti adatmegosztás történik a kórházinformatikai (teszt)rendszer, a bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszköz és a klinikai telemedicina műszer között.

## **Eredmény**

Az általam kifejlesztett **OTI-HS** rendszer működésével igazoltam és megvalósítottam a hipotézist, amely szerint létezik és létrehozható olyan nemzetközi szabványon alapuló centrális informatikai rendszer, amely lehetővé teszi a szintaktikai, szemantikai és folyamatszintű interoperabilitást a három lefedni kívánt egészségügyi alrendszer között. Kutatómunkámban bizonyítottam, hogy megvalósítható az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök és klinikai telemedicina műszerek hagyományos kórházinformatikai rendszerhez történő illesztése. Az illesztést szintaktikai, szemantikai és folyamatszinten hoztam létre. Szintaktikai szinten az egészségügyi IoT okoseszközből a gyári API-t felhasználó **OTI-HS** okostelefon-App segítségével sikeresen kinyerhetővé tettem az elemi („row”)

mérési adatokat. Továbbá, megvalósítottam a nemzetközi HL7 szabványon alapuló szemantikai szintű interoperabilitást az egészségügyi IoT okos eszköz, az ipari telemedicina műszer és a kórházinformatikai rendszer között. Végezetül, sikeresen létrehoztam és ezzel megvalósítottam a folyamatszintű interoperabilitást, ami az általam kifejlesztett **OTI-HS** rendszer belső logikai programjában rögzítésre került.

A felsoroltakat figyelembe véve kijelenthető, hogy sikerült a centrális **OTI-HS** segítségével szintaktikai, szemantikai és folyamatszintű interoperabilitást megvalósítanom egészségügyi IoT okos eszközök, klinikai telemedicina műszerek és hagyományos kórházinformatikai rendszerek között. Ezzel a kiinduló hipotézist bizonyítottam.

## 9.2 Tézis 2.

**Megvalósítottam a Telemedicina interoperabilitási keretrendszer beágyazását a Cloud architektúrába.** [RJ-2] [RJ-4] [RC-4] [RC-5] [RC-6]

### **Célkitűzés**

Kutatómunkám során célul tűztem ki a központi, Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (**OTI-HS**) beágyazását a Cloud-architektúrába, és ezáltal lehetővé tettem, hogy az **OTI-HS** rendszer *geográfiai korlátok nélkül* és szabadon skálázhatóan elérhetővé váljon a három említett egészségügyi alrendszer (bioszenzoros IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek) számára.

Habár regionális keretek között az OTI-HS rendszer számára elegendő lenne egy dedikált szerver is, a célkitűzésben mégis Cloud-infrastruktúrát deklarálok. Ennek az az oka, hogy szándékom megvalósítani az OTI-HS rendszer részére szükséges szabadon skálázható infrastruktúrát az adott esetben exponenciálisan növekvő számú felhasználók zökkenőmentes kiszolgálására. Ezt a skálázhatóságot interkontinentális szinten - egy regionális szerverrel szemben - a Cloud infrastruktúra keretében kívántam megvalósítani és ezáltal biztosítani a globálisan elosztott számítóközpontjai felhasználásával.

### **Hipotézis**

Kutatási hipotézis: a Cloud-architektúra segítségével létrehoztam olyan egységes, globálisan elérhető interoperabilitási keretrendszert, amely lehetővé teszi a fent említett három alrendszer között bidirekcionális, reciprok együttműködést.

## **Bizonyítás**

Kutatómunkám során az **OTI-HS** rendszer a **Cloud-architektúrába** való beágyazását megvalósítottam. A piacvezető Cloud szolgáltatók mindegyik kontinensen elérhető, globális rendelkezésre állást biztosítanak. Így a Cloud architektúra segítségével az OTI-HS rendszer részére a szolgáltatást nemzetközileg elérhetővé tettem.

A kidolgozott és megvalósított **OTI-HS** rendszer publikus, privát, valamint **hibrid** Cloud-architektúrába való ágyazása egyaránt működőképes. A **hibrid Cloud** megoldást olyan esetekre dolgoztam ki, amikor az intézményi, a regionális, a nemzeti vagy a szövetségi szabályozások megtiltják, hogy privát és érzékeny páciens adatok elhagyják az intézményi, regionális, nemzeti vagy szövetségi határokat. Minden más esetben publikus Cloud használatát alkalmazom, mert ez előnyösen kiaknázza a Cloud méretgazdaságosságát.

A Cloud szolgáltatások három leggyakoribb megjelenési formájából a **Platform-as-a-Service (PaaS)** módozatot választottam és alkalmaztam az **OTI-HS** rendszer illesztése során.

A kutatás során döntést kellett hoznom, miszerint a Cloud architektúra IaaS, PaaS vagy SaaS szolgáltatási szinten kerüljön felhasználásra. Az OTI-HS rendszer számára megfelelő futtatási környezetre van szükség. Az IaaS biztosítja a megfelelő alpinfrastruktúrát, de nem biztosítja a szükséges futtatási környezetet. Mivel az OTI-HS magába foglalja a szükséges szoftveres funkciókat, ezért nem szükséges Cloud-alapú SaaS szolgáltatási szint. Így a PaaS szolgáltatást választottam, azért, mert ez a módozat

biztosítja az alpinfrastruktúrán túl a szükséges futtatási környezetet az OTI-HS rendszer számára.

A **PaaS** szolgáltatás paraméterei, mint a processzor-üzemidő, memóriahasználat, tárolókapacitás és Internet sávszélesség az aktuális és mérhető felhasználási igények, ciklikus ingadozások, valamint terhelési előrejelzések függvényében külön-külön skálázásra kerülnek a felhasználásom során.

## **Eredmény**

A kutatás során bizonyítottam, hogy létrehozható és megvalósítható olyan Cloud-architektúrába beágyazott keretrendszer, ami geográfiai korlátok nélkül elérhető. Ez azt a kutatási eredményt implicálja, hogy megvalósítható olyan információtechnológiai keretrendszer, amely *általános* megoldást nyújt a tárgyalt három egészségügyi alrendszer közötti kétirányú interoperabilitásra.

Előbbiekkal azt is igazoltam, hogy különböző terhelési igények mellett a **Cloud-architektúra a széleskörű skálázhatóság miatt alkalmas az OTI-HS egészségügyi interoperabilitási keretrendszer rugalmas kiszolgálására**. Ennek következtében a Cloud architektúrába beágyazott OTI-HS-rendszerre támaszkodva megvalósítottam és igazoltam, hogy geográfiai korlátok nélkül és helyi felhasználószám, terhelési korlátozás nélkül is lehetséges a három tárgyalt egészségügyi alrendszer közötti bidirekcionális interoperabilitás. Ezzel bizonyítottam a kiindulási hipotézist.

### 9.3 Tézis 3.

**Megvalósítottam Cloud-architektúrába beágyazott centrális, nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) rendszer által támogatott egészségügyi informatikai alrendszerek együttműködésének matematikai optimalizálását a lineáris algebra alkalmazásával. [RJ-3] [RC-7] [RC-8] [RC-9]**

#### Célkitűzés

Célul tűztem ki, hogy lineáris algebra segítségével bebizonyítom, hogy a az e-Health architektúra *központilag* elhelyezkedő, cloud-ba beágyazott telemedicina interoperabilitási hub-alkalmazással optimális.

Három esetet definiáltam:

- I. Eset. Az első, a kutatómunkát megelőző állapotot leíró kiindulási esetben a három egészségügyi informatikai alrendszer *OTI-HS nélküli* együttműködését vizsgálva, azt gráfokkal képeztem le (leírásban 24. ábra).
- II. Eset. A második esetben a kutatásban kialakított működési modellt képeztem le gráfokkal, amelynek során az *OTI-HS egyirányú interoperabilitást nyújt* a három egészségügyi informatikai alrendszer között.
- III. Eset. A harmadik esetben a három egészségügyi informatikai alrendszer között az *OTI-HS döntőrészt bidirekcionális interoperabilitást nyújtó kapcsolát* szintén gráfokkal modelleztem.

A leképzett gráfban a következő rendszerkomponensek vesznek részt:

- 1) Bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszköz,

- 2) Okostelefon,
- 3) Klinikai telemedicina műszer,
- 4) Klinikai telemedicina készülék szoftver-kliens,
- 5) Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS),
- 6) Hagyományos kórházinformatikai rendszer,
- 7) Hagyományos kórházinformatikai rendszer kliens (GUI).

Az egészségügyi keretrendszer komponensek sematikus ábráját a leírás 25. ábráján foglaltam össze.

## **Hipotézis**

A kutatási vizsgálatok és elemzések eredményeként azt állítom, hogy a három egészségügyi alrendszer közötti együttműködés akkor optimális, amikor ezen alrendszerek elemei között a lehető legnagyobb számú kapcsolat létesíthető. Ez a feltétele a három bemutatott egészségügyi informatikai alrendszer közötti optimális kétirányú interoperabilitásnak. Mindez akkor teljesül, amikor a Cloud-ba beágyazott Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS) hatására és rajta keresztül a lehető legtöbb egészségügyi informatikai alrendszer kapcsolatot tud létesíteni egymással: így az ideális architektúra *központilag* elhelyezkedő, cloud-ba beágyazott telemedicine interoperabilitási hub-alkalmazással optimális.

## **Bizonyítás**

A tézisben és a bizonyításban saját metrikát használok. A célkitűzésben definiált három esetre kidolgoztam azoknak gráfokkal való leképezését (leírás 26. ábra). A három esethez tartozó gráfokat szomszédsági mátrixszal

ábrázoltam (leírás 27. ábra). A szomszédsági mátrixból elérhetőségi mátrixot képeztem a leírás szerinti mátrix művelettel{(1) egyenlet}, majd a leírás (2) egyenletének megfelelően előállítottam a célkitűzés harmadik esetére (III. Eset) jellemző elérhetőségi mátrixot {leírás (3) egyenlet}. Összefoglalva, a metodológia a következő 6 lépésből áll:

- 1) Mind a három e-Health cloud-architektúra-vázlatot leképezem irányított gráffá,
- 2) Az irányított gráfokat leképezem szomszédossági mátrixszá,
- 3) Kiszámítom a hozzátartozó elérhetőségi mátrixokat a szomszédossági mátrixokból,
- 4) Kiszámítom az elérhetőségi mátrixok minden elem összegét,
- 5) Csökkenő sorrendbe rendezem a mátrixokat az elérhetőségi mátrixuk összes elem összege szerint, és
- 6) Kiválasztom az optimális architektúra-elrendezést az elérhetőségi mátrix összes elem összege szerint.

A három egészségügyi alrendszer között létesült kapcsolat összes eleme összegének kiszámításához meghatároztam az elérhetőségi mátrix elemeinek összegét. Ennek megoldásakor az elérhetőségi mátrixot balról az összegző vektor transzponáltjával, jobbról az összegző vektorral szoroztam meg {leírás (4) egyenlet}. Hipotézisem szerint kerestem azt az optimumot, amikor a lehető legtöbb kapcsolat létesülhet az egészségügyi informatikai alrendszerek között a centrálisan elhelyezett OTI-HS-nek köszönhetően. A számított szomszédsági és elérhetőségi mátrix elemek alapján a legtöbb kapcsolatot, az optimálisan legmagasabb elérhetőségi fokot a korábbiakban definiált harmadik esetre (III. Eset) vonatkozóan állapítottam meg {(5) egyenlet}. Eszerint, az alrendszerek között a harmadik esetben létesülhet a legtöbb módon kapcsolat (leírás 8. táblázat).

## Eredmény

### Kutatási eredmény

Bemutattam és összehasonlítottam három esetet. Az első esetben, bár bizonyos alrendszerek között létezett összeköttetés, az OTI-HS-sel egyetlen alrendszer sem létesített kapcsolatot.

A második esetben az OTI-HS és az alrendszerek között egyirányú kapcsolat volt. Ez az eset mutatja a kutatásom során megvalósult állapotot.

A harmadik esetben egy kivétellel a centrálisan elhelyezett OTI-HS-en keresztül kétirányú kapcsolat létesült valamennyi alrendszer között. Kimutattam, hogy a harmadik esetben lehetséges a legtöbb módon az alrendszerek közötti kapcsolat. Eszerint a három definiált scenárióból ez az optimális, mert ez biztosítja a legszélesebb lehetőséget az alrendszerek közötti kétirányú kapcsolatra, interoperabilitásra.

Ezáltal bebizonyítottam, hogy a **centrális, Cloud-ba beágyazott OTI-HS alkalmazásával** optimalizálni lehet a három definiált egészségügyi informatikai alrendszer közötti kétirányú, reciprok interoperabilitást; valamint ez az architektúra-kialakítás az optimális.

### Következtetés

A centrális, Cloud-ba beágyazott OTI-HS biztosítja, hogy a három definiált egészségügyi informatikai alrendszer között a lehető legnagyobb számú egyirányú és kétirányú kapcsolat létesüljön. Ezáltal az OTI-HS centrális alkalmazása optimális mértékben segíti elő a rendszerszintű kétirányú interoperabilitást. Ezzel a kiindulási hipotézisemet bebizonyítottam.

#### 9.4 Tézis 4.

**Megvalósítottam bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek csatlakoztatását kórházinformatikai rendszerhez a Cloud-architektúrába beágyazott OTI-HS rendszer és a nemzetközi HL7 szabványcsalád támogatásával. [RB-1] [RJ-4] [RC-10] [RC-11] [RC-12]**

#### **Célkitűzés**

Megvalósítottam kiskereskedelemben forgalmazott egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek nemzetközi szabvány felhasználásával történő csatlakoztatását kórházinformatikai rendszerhez. Ezzel céloknak megfelelően megvalósítottam az eddig elkülönülten működő három alrendszer közötti olyan informatikai kapcsolat létrejöttét, amely lehetővé teszi közöttük az *univerzális interoperabilitást*.

#### **Hipotézis**

Azt állítom, hogy a **Cloud-ba** beágyazott **OTI-HS**-re és a nemzetközi **HL7** szabványcsaládra támaszkodva létrehozható univerzális kétirányú interoperabilitás kapcsolat a kiskereskedelemben elérhető egészségügyi IoT okoseszközök, a klinikai telemedicina műszerek, valamint a kórházinformatikai rendszerek között.

## **Bizonyítás**

A hipotézisben három elkülönült egészségügyi alrendszer közötti univerzális bidirekcionális interoperabilitás elérése a cél. Ez a három alrendszer:

- a) Kiskereskedelmi forgalomban elérhető egészségügyi IoT okoseszközök,
- b) Klinikai telemedicina műszerek, valamint
- c) Kórházinformatikai rendszerek.

Ezen három egészségügyi alrendszer valamelyikébe tartozó eszközök, készülékek vagy rendszerek (a későbbiekben: egészségügyi rendszerelemek) a következő dimenziók mentén lényegesen elkülönülnek egymástól:

- a) Technológia,
- b) Architektúra,
- c) Belső működési logika,
- d) Geográfiai lokáció, valamint
- e) Tulajdonosi és finanszírozási szerkezet.

Kutatásom célkitűzése az egészségügyi rendszerelemek közötti, és ezáltal a három definiált alrendszer közötti univerzális bidirekcionális interoperabilitás létrehozása, megvalósítása. Ehhez szükséges az olyan megoldás kidolgozása, amely áthidalja mindhárom alrendszer fent felsorolt dimenziók mentén csoportosított eltéréseit.

A kutatómunka során azt találtam, hogy a célkitűzés teljesítéséhez, vagyis a felsorolt egészségügyi rendszerelemek közötti eltérések áthidalásához az alábbiak egyidejű teljesülésére van szükség:

- Cloud-ba beágyazott OTI-HS; valamint
- HL7 nemzetközi szabványcsalád.

A Cloud-ba beágyazott OTI-HS áthidalja az egymástól eltérő és különböző technológiákat, architektúrákat és rendszerlogikákat. A Cloud architektúra a beágyazott OTI-HS közreműködésével a különböző helyszíneket, lokációkat is áthidalja azáltal, hogy a Cloud globálisan elérhető, egységes szolgáltatás.

A HL7 a legelterjedtebb nemzetközi egészségügyi szoftvercsalád. Általa a kórházinformatikai rendszerek döntő többsége a világ minden táján értelmezni tudja a HL7 szabvány szerint kódolt üzeneteket. Az egészségügyi és kórházi ellátás folyamatának minden lépéséhez megfelelő HL7 üzenet tartozik. Így a HL7 szabványcsalád támogatásával technikai, szintaktikai, szemantikai és folyamatszintű interoperabilitást egyaránt elérünk az egészségügyi rendszerelemek, következésképp a három egészségügyi alrendszer között.

## Eredmény

### Kutatási eredmény

A kutatási eredmények igazolták, hogy az OTI-HS, a Cloud és a HL7 szabványcsalád segítségével kapcsolat létesíthető az egészségügyi alrendszerek és azok elemei között.

A kutatás során a kidolgozott eljárásnak megfelelően a különböző rendszerelemek digitális kimeneti jelét a **Cloud-ba beágyazott OTI-HS** beolvasta, értelmezte, **HL7** szabvány szerint átalakította majd továbbküldte a kísérleti kórházinformatikai tesztrendszer számára. A kórházinformatikai tesztrendszer beolvasta a **HL7** formátumú adatokat, ezeket értelmezte, eltárolta valamint megjelenítette.

Ezáltal igazoltam, hogy az eltérő technológiájú, architektúrájú, belső működési logikájú, egymástól távol lévő és különböző finanszírozási logikát követő egészségügyi rendszerelemek között **kapcsolat létesíthető az OTI-HS, a Cloud és a HL7 támogatásával.**

### Következtetés

Bebizonyítottam és megvalósítottam, hogy Cloud-ba beágyazott OTI-HS és HL7 támogatásával lehetséges a bioszenzoros egészségügyi IoT eszközök és a klinikai telemedicina műszerek kórházinformatikai rendszerhez történő csatlakoztatása. Ezzel igazoltam azt, miszerint *nincs informatikai akadálya* annak, hogy az elkülönülten működő egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek *mindegyike* érdemben együttműködjön.

## 9.5 Tézis 5.

**Egységes egészségügyi tér létrehozása az IoT és a kognitív, Cloud-alapú telemedicina révén.** [RJ-2] [RC-12] [RC-13] [RC-14] [RC-15]

### **Célkitűzés**

Célul tűztem ki egységes egészségügyi tér létrehozását *IoT* és a *Cloud-alapú telemedicina* támogatással. Az egységes infokommunikációs tér fogalom magába foglalja az eltérő technológiájú, architektúrájú és fizikai lokációjú alkotóelemek szabványos működését.

### **Hipotézis**

Azt állítom, hogy **IoT**-ra és **kognitív, Cloud-alapú telemedicinára** támaszkodva egységes egészségügyi tér hozható létre. Az így létrehozott egységes egészségügyi térnek alkotóelemei szabványos módon működnek. Ezen szabványos funkciók révén az alkotóelemek közötti interakciók, és az egységes egészségügyi tér egészének működése transzparens és kiszámítható.

### **Bizonyítás**

Egységes egészségügyi tér fogalommal olyan teret jelölünk, amelynek alkotóelemei külön-külön, és teljes együttesükben is transzparens és kiszámítható működést nyújtanak. Az egységesség technológiai és geográfiai egyidejűséget is jelent.

Az egységes működéshez olyan technológiák felhasználása szükséges, amelyek önmagukban is valamennyi kontinensen szabványos formában elérhetők. Ilyen technológia az **IoT** és a **Cloud**.

- a) Valamennyi IoT eszközben közös, hogy Internethez kapcsolódik, szabványos TCP/IP csomagokat használ, valamint egyedi IPv6 és/vagy IPv4 címmel rendelkezik.
- b) A Cloud szolgáltatásokban közös, hogy Interneten elérhetők. Az Internet globális elérhetőségének köszönhetően a Cloud szolgáltatások a Föld bármely pontján igénybe vehetők.

Az a) és a b) pont alapján kijelenthetjük, hogy az IoT és a Cloud technikailag szabványos módon, geográfiai korlátozások nélkül igénybe vehető. Az egységes egészségügyi tér létesítéséhez e két leírt ismérvre van szükség.

Megállapítható, hogy az egységes egészségügyi tér létesítésének szükséges, de nem elégséges feltétele az, hogy az elemi rendszer-alkotók (bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek, kórházinformatikai rendszerek) szabványos módon és földrajzi kötöttségek nélkül működjenek. Az IoT és a Cloud technológia ezt a feltételrendszert kielégítik.

Az egységes egészségügyi tér kialakításának elégséges feltétele az, hogy a rendszer-alkotók technikai, szintaktikai és folyamatszinten megvalósítsák a zökkenőmentes interoperabilitást. Ezt a feltételt részletesen meghatároztam a 4. tézisben.

A kognitív telemedicina megköveteli az egységes egészségügyi tér egészében, annak alrendszereiben, továbbá elemei között a **kétirányú, szabványos adatforgalmat; reciprocitást**. Ebből adódóan az egységes egészségügyi tér elemi alkotórészei között a hatás-ellenhatás elvének kell érvényesülnie. Ez konkrétan azt jelenti, hogy az egészségügyi IoT

okoseszközök feladata nem merül ki a mért bioszenzoros adatok egyirányú kibocsátásában, hanem megjelenítik a kórházinformatikai rendszerből érkező visszajelzéseket is. Következésképp kognitív interakciók láncolata alakul ki az alrendszerek elemi technikai eszközei között az egységes egészségügyi térben.

## **Eredmény**

### Kutatási eredmény

Kutatási eredményeimmel igazoltam, hogy IoT eszközökre és Cloud architektúrára támaszkodva létre lehet hozni az **egységes egészségügyi tér** prototípusát.

A kutatásban egészségügyi IoT okoseszköz valamint klinikai telemedicina műszer mérte a páciens pulzusát és a légzésfunkciót, majd a primer adatokat átalakítás után elküldték a Cloud-ba beágyazott OTI-HS részére. Az OTI-HS segítségével bemutattam, hogy különböző bioszenzoros forrásokból származó jelek mindegyike konvertálható HL7 formátumba, amely utóbbi sikeresen bejátszható a kórházinformatikai rendszerbe.

A kialakított prototípussal igazoltam, hogy egészségügyi IoT okoseszközök és Cloud architektúra segítségével az egységes egészségügyi tér létrehozható.

### Következtetés

Az egységes egészségügyi tér létrehozása elméletben és gyakorlatban egyaránt lehetséges. Létrehozásához szükségesek mindazon technológiák és eszközök, amelyek szabvány szerint működnek. Az egységes egészségügyi tér kialakításához a két kulcsfontosságú technológia-család az IoT és a Cloud. További feltétel az általános, Cloud-ba beágyazott feldolgozási mechanizmus

és a szemantikai interoperabilitást biztosító nemzetközi szabvány. Az előbbit az OTI-HS, az utóbbit a HL7 szabvány szavatolja.

## 10. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

### *10.1 A kutatás tárgya*

A kutatásom víziója valamennyi ember egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközzel mérhető biometrikus adatának folyamatos aggregálása, kiértékelése, és mindebből egyéni, regionális és populációs szintű valósidejű előrejelzés előállítás.

A kutatásom vízióját a következő három aktuális információtechnológiai megatrendre alapozom:

- A) Az IoT, ezen belül az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök exponenciális elterjedése,
- B) A Cloud architektúra világszintű térnyerése, valamint az
- C) In-Memory adatbázisok ipari méretű megjelenése.

Nemzetközi szabványon nyugvó egészségügyi interoperabilitási keretrendszer prototípusának elméleti és gyakorlati kialakítását tűztem ki kutatásom elsődleges céljának. Másodsorban, ezen keretrendszer alapot kell, hogy szolgáljon a nemzetközi egységes egészségügyi tér kialakításához.

A kutatásomban három, egymástól elkülönülten működő egészségügyi informatikai alrendszer együttműködésének, együttműködtetésének lehetőségét vizsgálom:

- Egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök,
- Klinikai telemedicina készülékek, és
- Kórházinformatikai rendszerek.

Kutatásomban az elsődleges célkitűzésem: azon szoftvermegoldás specifikálása, megtervezése, megvalósítása, tesztelése és tesztüzembe

helyezése, amely nemzetközi szabványon alapuló kétirányú interoperabilitást nyújt a fent említett három egészségügyi informatikai alrendszer között. A kutatásom másodlagos célkitűzése a megvalósított szoftvermegoldás Cloud architektúrába való beágyazása.

## *10.2 Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás*

A kutatásom során specifikáltam és megterveztem a Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazást (Open Telemedicine Interoperability Hub-Software, OTI-HS). Kutatócsoportunk az OTI-HS-t kifejlesztette és beágyazta Cloud architektúrába.

Matematikai módszert dolgoztam ki többemű informatikai alrendszerek együttműködésének vizsgálatához. Ezzel a matematikai módszeremmel bebizonyítottam, hogy az optimális nemzetközi interoperabilitást a három definiált egészségügyi informatikai alrendszer között a centrális, Cloud-ba beágyazott OTI-HS biztosítja.

A kutatásomat megelőzően tudományos művekben már foglalkoztak egészségügyi részrendszerek közötti infokommunikációs kapcsolat létesítésével, azonban ezek a könyvek, folyóiratcikkek és kutatások csak *két-két* szorosan meghatározott egészségügyi alrendszer összeköttetésére korlátozódtak. *Valamennyi* egészségügyi alrendszert érintő, *általános*, multilaterális egészségügyi interoperabilitási keretrendszer specifikálása, tervezése és kutatócsoportban való megvalósítása a kutatásom új tudományos eredménye.

A kutatómunkám további eredménye, hogy az elkészített keretrendszer-prototípusom nemzetközi szabvánnyal és globális technológiákkal hidat

képez az eddig elkülönülten működő három egészségügyi informatikai alrendszer között: az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök, a klinikai telemedicina műszerek és a kórházinformatikai rendszerek között.

A HL7 vezető nemzetközi egészségügyi informatikai szabványt és a globális Cloud architektúrát választottam és használtam kutatásomban azért, hogy az így elkészített architekturális keretrendszer-prototípus és a kifejlesztett OTI-HS *általánosan* - geográfia és technológiai korlátozások nélkül - *valamennyi* egészségügyi alrendszer között interoperabilitást szolgáltasson.

Az általános egészségügyi informatikai interoperabilitást szintaktikai, szemantikai és folyamatszinten definiálom. Kutatásomban a szintaktikai és szemantikai szintű, kétirányú, reciprok egészségügyi interoperabilitást tűzöm ki célul. A szemantikai szintű interoperabilitást a nemzetközi HL7 szabvány alapján biztosítom.

A Telemedicina Interoperabilitási Hub-Szoftver-t (OTI-HS) *nyílt* rendszernek specifikáltam és terveztem azért, hogy az egészségügyi informatikai eszköz- és rendszergyártók termékeiket az OTI-HS-hez illeszthessék a jövőben.

### *10.3 Kutatási eredmények*

Kutatómunkámban az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszköz (Microsoft Band II) és a klinikai telemedicina készülék (PDD-301/shm spirométer) kimeneti jelét az OTI-HS fogadta, értelmezte, átalakította, adatbázisba rendezte, HL7 formátumra hozta és kórházinformatikai tesztrendszernek továbbította. Ezt követően a HL7 formátumban érkező bioszenzoros adatokat a kórházinformatikai tesztrendszer beolvasta, értelmezte, a páciensaktához hozzárendelve elmentette és kimutatásban megjelenítette.

Az egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek belső folyamatai egymástól különböznek. Ezért a fent leírt adatkapcsolati lánc működéséhez a technikai adatkonverzió és adatsorok statikus értéké váló átalakításán és továbbításán túl az OTI-HS-t úgy specifikáltam és terveztem, hogy a három említett alrendszer belső, eltérő folyamataihoz külön-külön illeszkedjen, és így mindegyiket összekapcsolja.

A bemutatott munkám legnagyobb tudományos eredménye az, hogy elméleti és gyakorlati módszerrel is bebizonyítottam, hogy hatékonyan össze lehet kapcsolni az eddig elkülönülten működő bioszenzoros egészségügyi IoT eszközöket, telemedicina készülékeket és kórházinformatikai rendszereket. Ezen tudományos eredmények megvalósításához – a kutatócsoport kiemelkedő közös munkáján túl - a következőket személyesen értem el:

- Az IoT okoskarkötőről származó bioszenzoros jelek szabványos HL7-file-ra való konvertálását olyan módon specifikáltam, hogy az nem csak szemantikailag, hanem *folyamatszinten is* illeszkedik a kórházinformatikai rendszer munkamenetéhez. Ez jelentős tudományos lépés, mert a kórházinformatikai rendszer belső felépítése többszörösen komplex, és a klinikán kívül a társadalombiztosítási rendszerhez is szorosan kapcsolódik.
- Lineáris algebra felhasználásával matematikai módszert építettem a kutatási eredmények absztrakt szemléltetésére és bizonyítására.
- A berlini Charité kórházban kardiovaszkuláris témában megvalósult európai jelentőségű klinikai telemedicina projektet („Gesundheitsregion der Zukunft Nordbrandenburg – Fontane”)

tanulmányoztam, a projekt egyik szoftverminőségbiztosítási rész-csapatát vezettem, és ebből merítettem mind a saját kutatásom, mind a kutatócsoport kutatásának alapjait.

- A Semmelweis Egyetemen és a Debreceni Egyetem klinikáin futó kórházinformatikai rendszer, a MedSol közép- és kelet-európai kompetenciaközponttal személyes kapcsolatot vettem fel; ezáltal lehetőség nyílt arra, hogy mind én, mind a kutatócsoport kórházinformatikai tesztrendszeren tudja validálni az eredményeket, valamint, hogy betekintést nyerhessen egy védett, zárt kórházinformatikai rendszer belső felépítésébe.
- Személyes kapcsolatot vettem fel olyan klinikai telemedicina készülékeket gyártó vállalattal, amelynek egyik spirométer készüléke a Semmelweis Egyetem II. számú Gyermekklinika Pulmonológiai osztályán működik, és ahonnan a kutatáshoz egy spirométer készüléket rendelkezésre bocsátottak.
- A Semmelweis Egyetem II. számú Gyermekklinikájára sikeres pályázat útján beszereztettem tableteket azért, hogy a rajtuk Wlan kapcsolattal futó MedSol kórházinformatikai rendszerrel a teljes end-to-end telemedicina szolgáltatási lánc megalkotható legyen a kutatás számára.
- A kutatás eredményeit valódi körülmények között ellenőriztem. Így teszteltem az IoT okoseszköz működését más kontinensen: Hong Kongban, valamint szabadtéri téli körülmények között, többek között a Normafán, a Széchenyi-hegyen és máshol Budapesten.

#### 10.4 A kutatási eredmények alkalmazása

Az OTI-HS a három különböző egészségügyi alrendszer összekapcsolásával lehetőséget nyújt az egységes egészségügyi térhez (EET). Az EET tölti be azt az egészségügyi ellátási lyukat, amit a népesség globalizáció okozta növekvő nemzetközi helyváltoztatása okoz. *Általános nemzetközi* egészségügyi ellátásra jelenleg nincs *univerzális* megoldás. Az OTI-HS lehetővé teszi a különböző helyszínen, országban és kontinensen lévő orvos és páciens közötti együttműködést.

Az OTI-HS-el végzett kutatásom igazolja, hogy nemzetközi, határokon átívelő, *univerzális* egészségügyi ellátási lánc kiépítésének nincs *informatikai* akadály.

Az OTI-HS és a hozzátartozó rendszerarchitektúra-prototípus önmagában lehetőséget nyújt arra, hogy az eddig egymástól elkülönülten működő egészségügyi bioszenzoros IoT okoseszközök, klinikai telemedicina készülékek és kórházinformatikai rendszerek szervesen együttműködjenek egymással. Ezen túl a kutatási eredményeimre támaszkodva felépíthetők a jövőben azok a komplex információtechnológiai rendszerek, amelyek az egyéni, regionális és populációs bioszenzor-adatsorokat valós időben tárolják, feldolgozzák és kiértékelik. Ez lehetőséget nyújt az egyéni, regionális, valamint populációs szintű bioszenzor-alapú egészségügyi előrejelzésre és az erre alapozott intervencióra, ami az egyéni-, közösségi- és populációs-szintű várható emberi élettartam minőségi növekedéséhez vezet.

## 11. SUMMARY

### *11.1 Research subject*

The vision of my research has been the continuous aggregation and evaluation of human biometric data obtained by biosensory IoT smart device and, based on the data obtained, real-time forecasting at the individual, regional and population levels.

My research work was based on three actual infocommunication megatrends (ICT), as follow:

- A. The exponential spread of IoT, with healthcare biosensory IoT smart devices included,
- B. The worldwide expansion of Cloud architecture, and the
- C. Emergence of *in-memory* databases at an industrial scale.

Primary goal of my research was the theoretical and practical elaboration of healthcare interoperability framework prototype with international standards taken into account. Second goal of my research was this framework to deliver basis for international single healthcare space.

In my research I have analyzed the opportunity of collaboration and co-operation among three information technology (IT) subsystems operating separately, the:

- Healthcare biosensory IoT smart devices,
- Clinical telemedicine instruments, and
- Hospital Information Systems (HIS).

Primary objectives of my research are: specification, conceptual design, realization, testing, delivery of the software solution that provides bi-directional interoperability among the IT subsystems mentioned above based on international standards. Secondary objective of my research is to nest the realized software solution into Cloud architecture.

### *11.2 Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS)*

In the course of my research I specified and designed the Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS). Our research team developed and nested this OTI-HS into Cloud architecture.

I have elaborated a mathematical method for analyzing the cooperation of multi-element IT subsystems. I have verified with my method, that it is the central, Cloud-based OTI-HS that provides an optimum in international interoperability among the previously defined three healthcare IT subsystems.

Preceding scientific works have already discussed the elaboration of information communication connection among healthcare subsystems, however, these books, journal articles and researches are limited only to linking two strictly defined healthcare subsystems. A new scientific achievement of my research is the specification, conceptual design (and realization by the research team) of a multilateral healthcare interoperability framework with impact on all healthcare subsystems.

Further, the healthcare interoperability framework prototype I have elaborated on basis of international standards and global technologies, serves for bridging the three so far separately operating healthcare IT subsystems: the healthcare biosensory IoT smart devices, the clinical telemedicine instruments and the hospital information systems.

In my research I have chosen and have applied international leading healthcare IT standard HL7 and global Cloud architecture in order to enable interoperability among healthcare subsystems all. Therefore, the specified and elaborated healthcare interoperability framework-prototype and the developed OTI-HS are to provide a general solution in infocommunication without geographical and technological limitations.

In my research approach, I define general healthcare IT interoperability at syntactic, semantic and process levels. Consequently, targets of my research are the syntactic and semantic realization, the bidirectional and reciprocal fulfillment of healthcare interoperability. In my work semantic interoperability was based on international standard HL7.

Intentionally, I specified and designed the Telemedicine Interoperability Hub-Software an open system so that, healthcare IT system providers and device manufacturers can adapt their products to the OTI-HS in the future.

### *11.3 Research results*

According to the data-link chain in my work, the OTI-HS has received the output signals of healthcare biosensory IoT smart device (Microsoft Band II) and of clinical telemedicine instrument (PDD-301/shm) and, after the processes of interpretation, conversion, sorting of data into databank, OTI-HS has formatted them to international standard HL7. Finally, processed data have been forwarded to the hospital information (test) system (HIS) where biosensory data arriving in HL7 format are read, interpreted, appended to the patient's health record, further, stored and displayed in report by the HIS (test system).

The internal workflows of healthcare biosensory IoT smart devices, of clinical telemedicine instruments and of hospital information systems are different in each. Therefore, in order the above described data-link chain to operate - beyond data conversion and the data series' transformation into static value - I specified and designed the OTI-HS so, that it is in match with the three subsystems' different internal workflows mentioned above, and also interlinks them.

#### *11.4 Research results application*

The OTI-HS - through the interconnection of the three different healthcare subsystems - provides the opportunity to establish the so-called single healthcare space (SHS or EET). The SHS fills in the gap in healthcare supply chain caused by the increase in populations' international move, thanks to globalization. In general, there is no universal solution for international healthcare service. However, for general practitioners, patients at different locations, countries or continents, the OTI-HS makes it possible to cooperate.

My research with the OTI-HS has proven that there are no IT-related obstacles towards an international, cross-border, universal healthcare supply chain.

The OTI-HS and the associated system architecture prototype itself provides the opportunity for the so far separately operating healthcare biosensory IoT smart devices, clinical telemedicine instruments and hospital information systems to cooperate. Furthermore, my research results suggest that such complex information technology systems, that store, process and analyze real-time biosensory-dataflows at individual, regional and population levels,

are to be constructed in the future. This paves the way for biosensor based healthcare forecast and associated intervention at individual and also at regional and population levels, leading to quality increase in life expectancy at the individual, public and population levels.

## 12. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://www.americantelemed.org/about/about-telemedicine>  
(legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [2] World Development Report 2016: Digital Trends. World Bank Group, IBRD (The World Bank), Washington DC, 2016, p. 328 (354).  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/896971468194972881/pdf/102725-PUB-Replacement-PUBLIC.pdf>  
(legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [3] Fong, B., Fong, A.C.M., Li C.K. Telemedicine Technologies. Wiley, 2011.
- [4] Kohne, A., et al, „Bring your own Device”, Springer, 2015
- [5] Report on the second global survey on eHealth, Global Observatory for eHealth series – Volume 2, World Health Organization, 2009, p. 8 (10).  
[http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010.pdf](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf)  
(legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [6] Mell, P., Grance, T. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Special Publication 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. 2011. p. 2 (6).  
<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>  
(legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [7] Voas, J., Network of ‘Things’, Special Publication 800-183. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg (2011)
- [8] <http://www.hl7.org/about/index.cfm?ref=nav>  
(legutoljára látogatva: 2018. április 8.)
- [9] <https://www.w3.org/TR/tabular-data-model/>  
(legutoljára látogatva: 2017. június 25.)
- [10] <https://www.w3.org/TR/REC-xml/>  
(legutoljára látogatva: 2017. június 25.)
- [11] <http://www.snomed.org/>  
(legutoljára látogatva: 2017. június 25.)
- [12] <https://confluence.ihtsdotools.org/plugins/gliffy/viewer.action?inline=false&pageId=26837115&attachmentId=29952941&name=SNOMEDOverview&lastPage=%2Fpages%2Fviewpage.action%3FpageId%3D26837115>  
(legutoljára látogatva: 2018. április 8.)
- [13] Fengou, M-A, et al, A New Framework Architecture for Next Generation e-Health Services, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol. 17, Issue 1, 2013, pp. 9-18.

- [14] Kawamoto K., et al, “The HL7-OMG Healthcare Services Specification Project: Motivation, Methodology, and Deliverables for Enabling a Semantically Interoperable Service-oriented Architecture for Healthcare”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 16, 2009. pp. 874-881.
- [15] Ethier, J-F, et al, “A unified structural/terminological interoperability framework based on LexEVS: application to TRANSFoRm”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 20, 2013, pp. 986-994.
- [16] Bache at al, “An adaptable architecture for patient cohort identification from diverse data sources”, Vol. 20, 2013, pp. 327-333.
- [17] Mandel, J. C., et al, „SMART on FHIR: a standards-based, interoperable apps platform for electronic health records”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 23, 2016, pp. 899-908.
- [18] Marceglia, S., et. al, „Transforming consumer health informatics: connecting CHI applications to the health-IT ecosystem”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 22, 2015, pp. 210-212.
- [19] Phillips, A. B., et al, „Implementing health information exchange for public health reporting: a comparison of decision and risk management of three regional health information organizations in New York state”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 21, 2014, pp. 173-177.
- [20] Hill, J. L., „System Architecture for Wireless Sensor Networks”, PhD dissertation, University of California, Barkeley, 2003.
- [21] Otto C., et al, „System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring”, *Journal of Mobile Multimedia*, Vol. 1, No. 4, 2006, pp. 307-326.
- [22] Neistein, A., et al, „A case study in open source innovation: developing the Tidepool Platform for interoperability in type 1 diabetes management”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 23, 2016, pp. 324-332.
- [23] Wang, L., et al, „Medical Applications and Healthcare Based on Cloud Computing”, *International Journal of Cloud Computing and Services Science*, Vol. 2, No. 3, 2014, pp. 217-225.
- [24] Ganz A., et al, „Evaluation of a Scalable Information Analytics System for Enhanced Situational Awareness in Mass Casualty Events”, *International Journal of Telemedicine and Applivations*, Vol. 2016.
- [25] Panicker, N., Kumar, A S., „Tablet PC enabled body sensor system for rural telehealth applications”, *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2016.
- [26] Kakria, P., et al, „A real-time health monitoring system for remote cardiac patients using smartphone and wearable sensors”, *International Journal of Telemedicine and Applications*, Vol. 2015.

- [27] Wu, F., et al, „Development of a wearable-sensor-based fall detection system”, International Journal of Telemedicine and Applications, Vol. 2015.
- [28] Kumar, R. B., et al, „Automated integration of continuous glucose monitor data in the electronic health record using consumer technology”, Journal of American Medical Informatics Association, Vol. 23, pp. 532-537.
- [29] DeNardis, L., „E-health Standards and Interoperability”, ITU-T Technology Watch Report, 2012.
- [30] Dean, G. S., Wright, A., „What makes an EHR 'open' or interoperable?”, Journal of American Medical Informatics Association, Vol. 22, 2015, pp. 1099-1101.
- [31] Barbarito, F., et al, „Implementing standards for the interoperability among healthcare providers in the public regionalized Healthcare Information System of the Lombardy Region”, Journal of Biomedical Informatics, Vol. 45, Elsevier, 2012, pp. 736-745.
- [32] Definition of crowdsourcing, Merriam-Webster (legutoljára látogatva: 2018. április 7.)  
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/crowdsourcing>
- [33] Gintis, H., The Evolution of Human Cooperation, The Evolution Institute, Focus Articles, January 11, 2012  
<https://evolution-institute.org/focus-article/the-evolution-of-human-cooperation> (legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [34] Garai, Á., Péntek, I., Adamkó, A., Németh, Á. Methodology for clinical integration of e-Health sensor-based smart device technology with cloud architecture, Pollack Periodica, Akadémia Kiadó, Vol. 12, Issue 1, 2017, pp. 69-80.
- [35] Bosch Sensortec  
<https://www.bosch-sensortec.com/> (legutoljára látogatva: 2018. április 7.)
- [36] Mathematics:  
 Carson, R. S. Global System Architecture Optimization: Quantifying System Complexity. INCOSE International Symposium, Vol. 10, Minneapolis, MN, July 16-20, 2000, pp. 416-421.
- [37] Lewandowski, J., et al, „Logic-Centred Architecture for Ubiquitous Health Monitoring”, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol. 18 (5), 2014, pp. 1525-1532.
- [38] Gagnon, M., et al, „m-Health adaption by healthcare professionals: a systematic review”, Journal of American Medical Informatics Association, Vol. 23, 2016, pp. 212-220.
- [39] Sneiderman, C., „Cellular Radio Telecommunication for Health Care: Benefits and Risks”, Journal of American Medical Informatics Association, Vol. 11, No. 6, 2004, pp. 479-481.

- [40] Flatow, V., et al, „Quality outcomes in the surgical intensive care unit after electronic health record implementation”, *Applied Clinical Informatics*, Vol. 6, 2015, pp. 611-618.
- [41] Marceglia, S., et al, „A standard-based architecture proposal for integrating patient mHealth Apps to Electronic Health Record systems”, *Applied Clinical Informatics*, Vol. 6, 2015, pp. 488-505.
- [42] Rance, B., et al, „Integrating heterogeneous bio-medical data for cancer research: the CARPEM infrastructure”, *Applied Clinical Informatics*, Vol. 7, 2015, pp. 260-274.
- [43] Dolin, R., et al, „HL7 Clinical Document Architecture, Release 2”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 13, 2006, pp. 30-39.
- [44] Dolin, R., Alschuler, L, „Approaching semantic interoperability in Health Level Seven”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 18, 2011, pp. 99-103.
- [45] Do, N., et al, „The military health system’s personal health record pilot with Microsoft HealthVault and Google Health”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 18, 2011, pp. 118-124.
- [46] Richesson, R., Nadkarni, P., „Data standards for clinical research data collection forms: current status and challenges”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Vol. 18, 2011, pp. 341-346.
- [47] Collins, S., et al, „Content and functional specifications for a standards-based multidisciplinary rounding tool to maintain continuity across acute and critical care”, *Journal of American Informatics Association*, Vol. 21, 2014, pp. 438-447.
- [48] Richesson, R., Chute, C., „Health information technology data standards get down to business: maturation within domains and the emergence of interoperability”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 492-494.
- [49] Del Fiol, G., et al, „Data standards to support health information exchange between poison control and emergency departments”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 519-528.
- [50] Legaz-García, M. et al, „Transformation of standardized clinical models based on OWL technology: from CEM to OpenEHR archetypes”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 536-544.
- [51] Dolin, R., et al, „The HL7 Clinical Document Architecture”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Oxford University Press, Vol. 8, 2001, pp. 552-569.
- [52] Martínez-Costa, C., et al, „Semantic enrichment of clinical models towards semantic interoperability. The health failure summary case”, *Journal of American Medical Informatics Association*, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 565-576.

- [53] Warner, J., et al, „Development, implementation, and initial evaluation of a foundational open interoperability standard for oncology treatment planning and summarization”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 577-586.
- [54] Marcos, C., et al, „Solving the interoperability challenge of a distributed complex patient guidance system: a data integrator based on HL7’s Virtual Medical Record standards”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 587-599.
- [55] Fridsma, D., „AMIA - Setting the Standard”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, 744-745.
- [56] Klann, J., et al, „Data interchange using i2b2”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 23, 2016, pp. 909-915.
- [57] Moreno-Conde, A., et al, „Clinical information modelling processes for semantic interoperability of electronic health records: systematic review and inductive analysis”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 925-934.
- [58] Sittig, D., Wright, A., „What makes an EHR ‘open’ or interoperable?”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 1099-1101.
- [59] Phillips, A., et al, „Implementing health information exchange for public health reporting: a comparison of devison and risk management of three regional health information organizations in New York state”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 21, 2014, pp. 173-177.
- [60] Goossen, W., Langford, L. H., „Exchanging care records using HL7 V3 care provision messages”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 21, 2014, pp. 363-368.
- [61] Liu, F., et al, NIST Cloud Computing Reference Architecture, Special Publication 500-292, National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [62] NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions, NIST Special Publication 1500-1, NIST Big Data Working Group (NBD-PWG), Definitions and Taxonomies Subgroup, Information Technology Laboratory, 2015.
- [63] Weiser, M., „The Computer for the 21st Century”, Scientific American, 1991, pp. 94-104.  
The American Telemedicina Association, „Telemedicine, Telehealth, and Health Information Technology, 2006.
- [64] Caneo, L. F., “Pediatric cardiovascular surgery: what we must preserve, what we should improve and what we must

- transform,” Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery, Vol. 27, No. 2, 2012.
- [65] Flatow, V. H., et al, “Quality Outcomes in the Surgical Intensive Care Unit after Electronic Health Record Implementation”, Applied Clinical Informatics, Vol. 6, Issue 4, 2015, pp. 611-618.
- [66] Pettey, C., “Are Wearables Fit for Clinical Trials?”, Gartner, October 15, 2015.
- [67] Savage, N., “Mobile data: Made to measure”, Nature Magazine, Vol 527, 2015, pp. 12 - 13.
- [68] The Food and Drug Administration (FDA) Device Classification Panels, Code of Federal Regulations CFT Part 862-892.
- [69] CCS Insight, “Wearables Momentum Continues”, February 17, 2016 <http://www.ccsinsight.com/press/company-news/2516-wearables-momentum-continues> (legutoljára látogatva: 2018.4.10.)
- [70] Marbury, D., “Will wearables and healthcare ever sync?”, Managed Healthcare Executive, May 3, 2016 <http://managedhealthcareexecutive.modernmedicine.com/managed-healthcare-executive/news/will-wearables-and-healthcare-ever-sync?trendmd-shared=1> (legutoljára látogatva: 2018.4.10.)
- [71] Burns, R., “Integrating IoT Devices into healthcare, Managed Healthcare Executive, June 20, 2016 <http://managedhealthcareexecutive.modernmedicine.com/managed-healthcare-executive/news/integrating-iot-devices-healthcare?page=0,0&trendmd-shared=1> (legutoljára látogatva: 2018.4.10.)
- [72] Kroll, R. R., et al, „Accuracy of a wrist-worn wearable device for monitoring heart rates in hospital inpatients: A prospective observational study”, Journal of American Internet Research, Vol. 18, Issue 9, 2016, pp. 1-11.

### 13. PUBLIKÁCIÓS LISTA

#### 13.1 Referált folyóiratcikkek

- [RJ-1] **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A., Németh, Á. "Methodology for clinical integration of e-Health sensor-based smart device technology with cloud architecture", Pollack Periodica, Akadémiai Kiadó, Vol. 12, Issue 1. (2017), pp. 69-80.
- [RJ-2] **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A., "Clinical System Integration Methodology for Bio-Sensory Technology with Cloud Architecture", Special Issue, Acta Cybernetica, University of Szeged, Vol. 23, No. 2 (2017), pp. 513-536.
- [RJ-3] Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó A., "Open IoT-based telemedicine hub and infrastructure", Pollack Periodica, Akadémia Kiadó, Vol. 13, Issue 1 (2018), pp. 33-44.
- [RJ-4] Garai, Á., Péntek. I., Adamkó A., "Revolutionizing healthcare with IoT and cognitive, cloud-based telemedicine", Acta Polytechnica Hungarica (publikálásra elfogadva, 2018).

#### 13.2 Referált könyvfejezet

- [RB-1] **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A., "Cognitive cloud-based telemedicine system" in: Cognitive Infocommunications, Theory and Applications. Ed: Ryszard Klempous, Jan Nikodem, Péter Zoltán Baranyi, Springer, Cham, 305-328, 2019.

#### 13.3 Referált konferenciakiadványok, könyvrészletek, előadások

- [RC-1] Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I., "Common Open Telemedicine Hub and Infrastructure with Interface Recommendation" in Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timisoara, 12-14.5.2016, pp. 385-390.
- [RC-2] **Garai, Á.**, Péntek I., Adamkó, A., "Interaction-dependent e-Health hub-software adaptation to cloud-based electronic health records", in Proceedings of 8th International Conference on Cognitive InfoCommunications, Debrecen, 11-14.9. 2017

- [RC-3] **Garai, Á.**, Adamkó, A., "Comprehensive healthcare interoperability framework integrating telemedicine consumer electronics with cloud architecture", 15th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herlany, 26-28.1.2017, pp. 411-416.
- [RC-4] **Garai, Á.**, Empirical and practical implementation methodology for clinical integration of e-health IoT technology. International Journal of Medical and Health Sciences Research. Vol. 3., No. 12. 2016. pp. 117-125. (17th International Scientific Conference on Electrical, Computer, Electronics and Engineering, Hong Kong, 2-3.12.2016.)
- [RC-5] **Garai, A.**, Adamko, A., Pentek, I., "Cognitive telemedicine IoT technology for dynamically adaptive eHealth content management reference framework embedded in cloud architecture", 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Wroclaw, 16-18.10.2016, pp. 187-192.
- [RC-6] Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I., "Review and requirement specification of telemedicine systems interoperability with common data exchange hub" in Proceedings of the 14th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, 29-31.8.2016, pp. 73-78.
- [RC-7] Adamkó A., **Garai Á.**, Péntek I., "Adaptive Services with Cloud Architecture for Telemedicine" in Proceedings of 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunication, Győr, 19-21.10.2015, pp. 369-374
- [RC-8] **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek I., "Case Study on Motivation in IT Education through University-Industry Telemedicine Partnership" in Proceedings of the Matematikát, Fizikát és Informatikát Oktatók XL. Országos Konferenciája, Székesfehérvár, 22-24.8.2016, pp. 292-299.
- [RC-9] **Garai, Á.**, "IoT a Cloud Architektúrában, avagy Okoseszközök Kórházinformatikai Integrációja" in Proceedings of the XXIX. Neumann Kollokvium, John von Neumann Computer Society, Szeged, 2-3.12.2016, pp. 25-30.
- [RC-10] **Garai, Á.**, "Cloud Service Architecture Optimization Methodology for Telemedicine and e-Health Interoperability",

*13.4 Konferencia-előadások*

- [RC-11] **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó A., "Methodology for Clinical Integration of E-Health Sensor-based Smart Device Technology with Cloud Architecture", 12th Miklós Iványi International PhD DLA Symposium, Pécs, 3-4.11.2016, p. 48. (Előadás és absztrakt; cikk folyóiratban publikálva)
- [RC-12] Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó A., "Open IoT-based telemedicine hub and infrastructure", 12th Miklós Iványi International PhD DLA Symposium, Pécs, 3-4.11.2016, p. 97. (Előadás és absztrakt; cikk folyóiratban publikálva)
- [RC-13] **Garai, Á.**, Péntek, I., „Common Open Telemedicine Hub and Interface Standard Recommendation”, The 10th Jubilee Conference of PhD Students in Computer Science, Volume of extended abstracts, Szeged, 27-29.6.2016, pp. 24-25. (Előadás és absztrakt; cikk folyóiratban publikálva)
- [RC-14] **Garai, Á.**, „Scientific Methodology aiming Systems Interoperability in Complex Healthcare Infocommunication with regard to Cross-Platform Integration of Distinct Telemedicine Appliances” in 11th Joint Conference on Mathematics and Computer Science, Eger, 20-22.5.2016. (Előadás és absztrakt)
- [RC-15] **Garai, Á.**, "Methodology for Assessment Validation of Platform Migration of Roboust Critical IT-systems" in Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics, Eger, 27-30.1.2010, Vol. 2. pp. 445-448. (Előadás és absztrakt)

## 14. FÜGGELÉK

### 14.1 Ábrajegyzék

1. ábra: Cloud alapú telemedicina interoperabilitási keretrendszer
2. ábra: Internet-of-Things technikai premisszái
3. ábra: L18 Smart Health Bracelet okoskarkötő
4. ábra: Alcor Splash pulzuszámoló IoT okoskarkötő és gyári app
5. ábra: Egységes bioszenzor-adatfolyam feldolgozás
6. ábra: PDD-301/shm klinikai spirométer (Piston Medical engedélyével)
7. ábra: Internet-of-Things primitívek (forrás: NIST [6])
8. ábra: HL7 v2 példa
9. ábra: HL7 v3 példa
10. ábra: SNOMED-CT logikai modell
11. ábra: Általános architektúra adatmegosztáshoz kórházinformatikai rendszerek és CHI alkalmazások között
12. ábra: Felhő alapú architektúra tömegbaleset kezelésére
13. ábra: Architektúra magas vérnyomás riasztáshoz
14. ábra: Test-szenzorral mért vérnyomásértékeket feldolgozó Android-alapú program
15. ábra: Valós idejű kardiológiai táv-monitorozó megoldás hordozható szenzorral és mobiltelefonnal
16. ábra: Elesést érzékelő rendszer és App
17. ábra: Folyamatos vércukorszint-mérő berendezés jelének elvezetése elektronikus páciensaktába
18. ábra: Kórházi rendszerek interoperabilitási architektúrájának kapcsolata regionális információs rendszerrel Lombardia tartományban
19. ábra: BHI160 és BHA250 sensor hub
20. ábra: BHA250 sensor hub
21. ábra: Cloud-ba beágyazott Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás
22. ábra: IoT okoseszközök illesztése egészségügyi munkafolyamatokhoz
23. ábra: A kutatásunkban szereplő egészségügyi ellátási lánc modellje
24. ábra: A három egészségügyi informatikai alrendszer együttműködése OTI-HS *nélkül* (kutatási kiinduló állapot)
25. ábra: Egészségügyi keretrendszer rendszerkomponensei
26. ábra: A célkitűzésben definiált három eset leképezése gráfokkal
27. ábra: A célkitűzésben definiált harmadik esetet leképező gráf ábrázolása szomszédsági mátrixszal
28. ábra: A kutatásomban felhasznált PDD 301/shm klinikai spirométer
29. ábra: Microsoft Band 2 egészségügyi IoT okoseszköz (okos karkötő)
30. ábra: A kutatásomhoz felhasznált mobiltelefonok

- 31. ábra: Az OTI-HS adatbázisának külső lekérdezése Microsoft SQL Server Management Studio-val
- 32. ábra: Nyílt Telemedicina Interoperabilitási Hub-Alkalmazás (OTI-HS)
- 33. ábra: Bioszenzoros egészségügyi IoT okoseszközök és kórházinformatikai rendszerek közötti folyamatszintű interoperabilitást akadályozó logikai anomália

#### *14.2 Táblázatjegyzék*

- 1. táblázat: Cloud-architektúra alkalmazhatósága az egészségügyi informatikában
- 2. táblázat: IoT-t támogató vezeték nélküli infrastruktúra
- 3. táblázat: GSM alszabványok jellemzői
- 4. táblázat: A kutatás rész-céljai
- 5. táblázat: Cloud architektúrák lényeges tulajdonságai
- 6. táblázat: Páciensakták nemzetközi integrációját elősegítő legjelentősebb nemzetközi szervezetek
- 7. táblázat: Elektronikus páciensakták (EHR) interoperabilitásának feltételei
- 8. táblázat: A definiált három esethez tartozó szomszédsági és elérhetőségi mátrixok, valamint az elérhetőségi mátrix összes elemének összege
- 9. táblázat: Microsoft Band 2 egészségügyi IoT okoseszköz (okos karkötő) szenzorai