

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**EGÉSZSÉGÜGYI IOT OKOSESZKÖZÖK 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



## Tartalomjegyzék – Table of contents

|     |                                                                 |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Motiváció és célkitűzések.....                                  | 1  |
| 2.  | Tézisek és új tudományos eredmények .....                       | 5  |
| 3.1 | 1. Tézis.....                                                   | 5  |
| 3.2 | 2. Tézis.....                                                   | 9  |
| 3.3 | 3. Tézis.....                                                   | 13 |
| 3.4 | 4. Tézis.....                                                   | 17 |
| 3.5 | 5. Tézis.....                                                   | 21 |
| 3.  | Összefoglalás és következtetések .....                          | 25 |
| 3.1 | Kutatási eredmények.....                                        | 25 |
| 3.2 | A kutatási eredmények alkalmazása .....                         | 27 |
| 4.  | Az értekezés alapjául szolgáló publikációk.....                 | 29 |
| 4.1 | Referált folyóiratcikkek .....                                  | 29 |
| 4.2 | Könyvfejezet.....                                               | 29 |
| 4.3 | Referált konferenciakiadványok, könyvrészletek, előadások ..... | 29 |
| 4.4 | Konferencia-előadások .....                                     | 30 |
| 5.  | Irodalomjegyzék .....                                           | 31 |
| 6.  | Motivation and research goals .....                             | 37 |
| 7.  | Theses and novel scientific achievements .....                  | 41 |
| 7.1 | Thesis 1. ....                                                  | 41 |
| 7.2 | Thesis 2. ....                                                  | 45 |
| 7.3 | Thesis 3. ....                                                  | 49 |
| 7.4 | Thesis 4. ....                                                  | 53 |
| 7.5 | Thesis 5. ....                                                  | 57 |
| 8.  | Summary.....                                                    | 61 |
| 8.1 | Research results .....                                          | 61 |
| 8.2 | Research results application .....                              | 61 |
| 9.  | Publications related to the dissertation .....                  | 63 |
| 9.1 | Journal articles .....                                          | 63 |
| 9.2 | Book chapter .....                                              | 63 |
| 9.3 | Conference papers, book chapters and lectures .....             | 63 |

|     |                          |    |
|-----|--------------------------|----|
| 9.4 | Conference-lectures..... | 64 |
| 10. | Bibliography.....        | 65 |

## 1. MOTIVÁCIÓ ÉS CÉLKITŰZÉSEK

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

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.

## 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 többelemű 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 szolgáltatson.

Az általános egészségügyi informatikai interoperabilitást szintaktikai, szemantikai és folyamatszinten definiálok. 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.



## 2. TÉZISEK ÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### 3.1 1. Tézis

**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 célom 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.

## Új tudományos 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 okoseszköz, 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 okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és hagyományos kórházinformatikai rendszerek között. Ezzel a kiinduló hipotézist bizonyítottam.



**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 deklarállok. Ennek 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 páciensadatok 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.

## Új tudományos 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.



**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 disszertáció 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 (26. ábra a disszertációban). A három esethez tartozó gráfokat szomszédsági mátrixszal ábrázoltam (27. ábra a disszertációban). A szomszédsági mátrixból elérhetőségi mátrixot képeztem a leírás szerinti mátrix művelettel {(1) egyenlet a disszertációban}, majd a disszertáció (2) egyenletének megfelelően előállítottam a célkitűzés harmadik esetére (III. Eset) jellemző elérhetőségi mátrixot {(3) egyenlet a disszertációban}. 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 {disszertáció (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 szomszédossági és elérhetőségi mátrix elemek alapján a legtöbb kapcsolatot, az optimálisan legmagasabb elérhetőségi fokot a korábbiakban definiált harmadik esetre (III. Eset) vonatkozóan állapítottam meg {disszertáció (5) egyenlet}. Eszerint, az alrendszerek között a harmadik esetben létesülhet a legtöbb módon kapcsolat (disszertáció 8. táblázat).

## **Új tudományos 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.

**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 célnak 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.

## Új tudományos 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 akadály* annak, hogy az elkülönülten működő egészségügyi IoT okoseszközök, klinikai telemedicina műszerek és kórházinformatikai rendszerek *mindegyike* érdemben együttműködjön.

**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 ismervre 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. tételben.

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.

## Új tudományos 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.



### 3. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

#### 3.1 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 értékkel való 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.

### 3.2 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 átvéelő, *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.



## 4. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ PUBLIKÁCIÓK

### 4.1 *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).

### 4.2 *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.

### 4.3 *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", 10th International Conference on Applied Informatics, Eger, 30.1.2017-1.2.2017

#### 4.4 *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)

## 5. 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, Berkeley, 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 Applications, 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 technologied: from CEM to OpenEHR archetypes”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 536-544.
- [51] Dolin, R., et at, „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 deviation 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 Telemedicine 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.

## 6. MOTIVATION AND RESEARCH GOALS

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.

The 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.

### *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 analysing 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 fulfilment 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.



## 7. THESES AND NOVEL SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS

### 7.1 Thesis 1.

**I established syntactic, semantic and process-level interoperability among hospital information system, biosensory IoT devices and clinical telemedicine instruments with the OTI-HS. [RJ-1] [RC-1] [RC-2] [RC-3]**

#### **Objective**

My target setting - that I realized - was the establishment of bidirectional, reciprocal interconnection based on the central **OTI-HS** prototype among such healthcare sub-systems, that had operated only separately before.

The previously only separately operating sub-systems in scope are: traditional hospital information systems, biosensory IoT devices and clinical telemedicine instruments. There was no generally established connection among these sub-systems before and the information exchange was restricted to ad-hoc links between only a few selected sub-systems. My aim was to set-up and establish a generally applicable, international standard-based, bidirectional, reciprocal interconnection among the above-mentioned healthcare sub-systems. These bidirectional, reciprocal connections enable the bidirectional data-sharing realizing the syntactic, semantic and process-level interoperability.

#### **Hypothesis**

Research hypothesis: such central software-system exists, that enables the bidirectional, reciprocal interoperability among the traditional hospital information system, biosensory IoT healthcare devices and telemedicine instruments sub-domains.

## Evidence

The following three information technology domains belong to the scope of my research:

- Clinical hospital information system, in this case MedSol which is accountable for the 50% of medical services in Hungary.
- biosensory IoT smart-device, in this case the biosensory Microsoft Band 2 smart bracelet.
- clinical telemedicine instrument, in this care the PDD-301/shm spirometer.

The Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (**OTI-HS**) was developed within our research team for the sake of the all these three levels of interoperability (syntactic, semantic and process-level) among the specified three healthcare sub-domains.

I elaborated the requirement specification for the **OTI-HS** within our research team. The requirement specification prescribes the realization and roll-out of an *open* system in order to be suitable to and compliant with present and future international standards. The establishment of an open system is a prerequisite for that the healthcare software- and instrument-manufacturers can deliver solutions and devices that are compatible with the **OTI-HS**.

The **OTI-HS** established by me enables the use of the HL7 international standard for the connected healthcare sub-domains, devices and instruments. The HL7 standard family consists of the HL7 v2.x and HL7 v3.x versions. My target was during my research to apply the most state-of-the-art standard. The most modern standard family is the XML-based HL7 v3.x. However, the **OTI-HS** applies also the CSV-based HL7 v2.x standard family, because this version has the dominant market penetration and therefore it is a practical prerequisite for enabling the general applicability of the **OTI-HS**. Therefore, the OTI-HS serves the latest healthcare and also the legacy systems and devices.

I have specified and established the **OTI-HS** during my research so, that it realizes HL7-based data- and information-sharing among traditional hospital

information systems, biosensory IoT healthcare smart-devices and clinical telemedicine instruments.

### **Novel scientific achievement**

I justified with the establishment and operation of the **OTI-HS** the hypothesis, that such central system exists, that is based on international standards and provides syntactic, semantic and process-level interoperability among the three healthcare sub-domains to be covered. I proved in my research work, that it is possible to establish connection among the biosensory IoT healthcare smart devices, the traditional hospital information systems and the telemedicine instruments. I established the link on syntactic, semantic and on process-level. On the syntactic level I made the row-measurement values retrievable from the biosensory IoT healthcare smart device applying the **OTI-HS** smartphone-app that applies the manufacturer-based API. Furthermore, I realized the semantic-level interoperability among the three healthcare sub-domains. Finally, I specified and established the program logic into the **OTI-HS**'s internal logic, that enables the process-level interoperability. This process-level interoperability is a key for enabling the meaningful use of biosensory IoT smart-devices in the traditional healthcare service chain.

Based on the above statements it is to declare, that I have successfully established syntactic, semantic and process-level interoperability among biosensory IoT smart devices, clinical telemedicine instruments and traditional hospital information systems. Therefore, I have justified my first thesis.



**I embedded the Telemedicine Interoperability Framework into the Cloud architecture** [RJ-2] [RJ-4] [RC-4] [RC-5] [RC-6]

### **Objective**

My research target setting was to embed the Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (**OTI-HS**) into Cloud architecture for the sake of wide range of scalability (without geographical limitations) and availability for the three healthcare sub-domains (biosensory IoT healthcare smart devices, telemedicine instruments and hospital information systems).

Notwithstanding that for the sake of regional operation of the OTI-HS a dedicated server would also be feasible, however I declare the Cloud-infrastructure in my research goal. The reason for that is that only the Cloud infrastructure offers the required scalability for the OTI-HS delivering the adequate solution for serving without interruption the exponentially increasing number of users. I intended to realize this level of scalability within the boundaries of the Cloud infrastructure relying upon its globally distributed computing centers.

### **Hypothesis**

Research hypothesis: I establish such standardized, globally available healthcare interoperability framework based on the Cloud infrastructure, that enables the bidirectional and reciprocal co-operation of the biosensory IoT healthcare smart devices, traditional hospital information systems and telemedicine instruments.

### **Evidence**

I embedded the **OTI-HS** into Cloud architecture during my research work. The market-leading cloud service providers insure global availability on each continent.

Therefore, I made the **OTI-HS** internationally available due to the Cloud architecture.

The established and realized OTI-HS can operate in all three types of cloud architecture: private, public and hybrid. I elaborated the hybrid cloud solution for such cases when the regional, institutional or federal rules prohibit, that the sensitive private and patient information leave the national border. In all other cases I applied the public cloud solution, because it utilizes the cloud's economies of scale.

I selected the **Platform-as-a-Service (PaaS)** out of the cloud's three forms (Infrastructure-as-a-Service - IaaS, Platform-as-a-Service - PaaS, Software-as-a-Service - SaaS) for embedding the **OTI-HS**.

I was required to make the decision for choosing one of the three cloud forms (IaaS, PaaS, SaaS). The OTI-HS requires the adequate run-time environment. The IaaS provides the necessary basic infrastructure, but not the necessary run-time environment. As the OTI-HS contains the necessary software functions itself, therefore there is no need for the SaaS service level. Hence, I selected the PaaS cloud form, because it provides beyond the basic infrastructure also the necessary and suitable run-time environment.

I have selected and scaled the PaaS cloud service parameters based on my research transaction number forecast, such as cloud processor usage, memory, storage and cloud-server internet bandwidth.

### **Novel scientific achievement**

I have justified during my research, that it is possible to establish and realize such in the cloud-architecture embedded healthcare interoperability framework (**OTI-HS**), that is widely scalable and available without geographical limitations. This research result implicates, that it is possible to realize such information technology framework, that provides *general* solution for the bidirectional interoperability among the discussed three healthcare subsystems.

With the above statements I have also verified, that **the Cloud-architecture – based on its wide range of scalability and flexibility – is the appropriate option for serving the OTI-HS healthcare interoperability framework.** Therefore, I have justified relying on the OTI-HS embedded in the Cloud architecture, that there is a possibility for bidirectional interoperability among the three subject healthcare sub-systems *without geographical, user- and transaction-number or other workload limitation*. As I result I have justified my hypothesis.



**Applying linear algebra, I mathematically optimized the interoperability of the healthcare subsystems relying on the Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS) embedded in Cloud-architecture [RJ-3] [RC-7] [RC-8] [RC-9]**

### **Objective**

I set for the research goal that I justify with linear algebra, that the e-Health architecture is optimal with the *central* OTI-HS embedded in cloud-architecture.

I defined three cases:

Case I. This is the pre-research case describing the cooperation of the three healthcare sub-systems *without* the OTI-HS.

Case II. This case represents the research model, where the OTI-HS provides unidirectional interoperability among the three healthcare information technology sub-systems.

Case III. This is the case where the OTI-HS provides bidirectional interoperability among all healthcare sub-systems with one exception.

I realized the second case during my research, because the overall complexity of the third case sets significantly higher resource demands than available in my research.

I map the following healthcare system components into graphs as the initial step of my methodology:

- 1) Biosensory healthcare IoT smart devices,
- 2) Smartphone,
- 3) Clinical telemedicine instrument,

- 4) Software-client for clinical telemedicine instrument,
- 5) Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS),
- 6) Traditional hospital information system,
- 7) Client and graphical user interface (GUI) for traditional hospital information system.

I summarized the schematic diagram of these healthcare system components on the Figure 25 in my dissertation.

## **Hypothesis**

Based on my research and analysis I declare, that the interoperability among the three healthcare sub-systems is optimal, when the number of the established contact among these sub-systems is the highest. This is the precondition for the optimal bidirectional interoperability among the described three healthcare sub-systems. This can be realized by the central Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS) embedded in the cloud architecture, because it enables the highest number of established contacts among the healthcare sub-systems.

## **Evidence**

I apply my own metrics in the thesis and also in the justification section. I elaborated a technique to map the above mentioned three scenarios (Case I, Case II and Case III) into directed graphs (Figure 26 in my dissertation). I represent these three directed graphs with adjacency matrices (Figure 27 in my dissertation). I provide the availability matrices for the three adjacency matrices {equation (1), (2) and (3) in my dissertation} for all Case I, Case II and Case III. My method consists of the following six steps:

- 1) I map all three scenarios (Case I, Case II and Case III) into directed graphs.
- 2) I map the directed graphs into adjacency matrices.
- 3) I calculate the availability matrices from the adjacency matrices.
- 4) I calculate all elements' sum of the availability matrices.
- 5) I order descending the availability matrices by their all element's sum.
- 6) I select the optimal architecture-layout based on the calculated highest all elements' sum.

Based on my hypothesis I search the optimum, where the highest number of connections can be established among the healthcare sub-systems relying on the central OTI-HS. Based on the calculated adjacency and availability matrices the third case (Case III) is the optimal, because it provides the highest number of connections.

### **Novel scientific achievement**

#### Research result

I demonstrated, compared, sorted and prioritized the three cases for the healthcare architecture-layout. In the first case there were only a very limited number of connection among the healthcare sub-systems and sub-system-components, and there was no connection *over* the OTI-HS.

The second case demonstrated the system layout that was achieved during the technical part of my research: there are unidirectional connection among some healthcare sub-systems and system-components *enabled by* the OTI-HS (but not every sub-system and system-component is interconnected with each other in this case).

The third case shows that there is bidirectional connection (with one exception) among every healthcare sub-systems and system-components through the OTI-HS. I demonstrated that the third case provides the highest number of connections among the systems. As a result, this third scenario is the optimal, because it enables the

highest level of interconnectivity and therefore the highest level of interoperability among the healthcare sub-systems and components.

I justified that the bidirectional, reciprocal interoperability among the healthcare sub-systems is optimal *with* the application of the **central OTI-HS embedded in the cloud architecture**. As a result, I also validated, that this is the optimal architecture-layout.

## Conclusion

The central OTI-HS embedded in the cloud architecture enables the highest number of unidirectional and bidirectional connections among the three previously defined healthcare sub-systems. Therefore, the application of the central OTI-HS optimally fosters the overall system-level bidirectional interoperability. With this I justified my hypothesis.

#### 7.4 Thesis 4.

**Supported by the OTI-HS system embedded into Cloud and by the international standard family HL7, I have realized the infocommunication connection of biosensory healthcare IoT smart devices and of clinical telemedicine instruments to traditional hospital information system. [RB-1] [RJ-4] [RC-10] [RC-11] [RC-12]**

#### **Objective**

Supported by international standards, I have established the infocommunication connection of healthcare IoT smart devices available in retail market and of clinical telemedicine instruments, to traditional hospital information system. To this end, I have realized the information technology relationship between these three subsystems having been operating separately so far, thus enabling them for universal interoperability.

#### **Hypothesis**

I claim that, based on **OTI-HS** embedded into **Cloud** and on international standard family **HL7**, universal bidirectional interoperability is to be established among biosensory healthcare IoT smart devices available in retail market, clinical telemedicine instruments and, the traditional hospital information system.

#### **Evidence**

The aim disclosed in the hypothesis is to establish universal bidirectional interoperability between the three separated healthcare subsystems. The three systems are as follows:

1. Biosensory healthcare IoT smart devices available in retail market,
2. Clinical telemedicine instruments and,

3. traditional hospital information systems.

Devices, instruments, systems (further as: healthcare system components) of either of the above healthcare subsystems deviate significantly in dimensions of:

1. Technology,
2. Architecture,
3. Inner operating logics,
4. Geographical localization and,
5. Ownership and financing structure.

My goal at research work is to establish and realize universal bidirectional interoperability between healthcare system components, so between the above defined three healthcare subsystems, too. To reach my goal, elaboration of an operating solution overcoming deviations of all three healthcare subsystems listed, is indispensable.

During my research, I found that for accomplishing the goal that is, to overcome deviations between healthcare system components listed, the following are required, simultaneously:

- OTI-HS embedded into Cloud,
- international standard family HL7.

OTI-HS embedded into Cloud overcomes deviations coming from diverse technologies, architectures and, system logics. Since Cloud is an integrated service and globally accessible, with nested OTI-HS within it is capable for bridging diverse locations.

HL7 is the most common international software family in healthcare. Due to it, messages coded by standard HL7 are interpreted easily and adequately by most traditional hospital information systems around the globe. In medical and hospital care, each procedural step is appended by the corresponding HL7 message. Consequently, with supporting standard family HL7, interoperability between healthcare system components and also between the three healthcare subsystems mentioned before, is achieved at technical, syntactic, semantic and process levels as well.

### **Novel scientific achievement**

#### Research results

With the help of OTI-HS, Cloud and standard family HL7, research results gave evidence on the successful infocommunication connection between healthcare subsystems and their components.

In the course of my research work according to the invented method, digital output signals of system components were read, interpreted, converted to HL7 standard formats and finally, forwarded to the experimental hospital information test system by the OTI-HS nested into Cloud. Data-flow in HL7 format were read, interpreted, stored and displayed by the experimental hospital information test system.

Hereby, with the help of OTI-HS, Cloud and HL7, I have proved the establishment of infocommunication connection between healthcare system components that differ in technology, architecture, inner operating logics, locations, financing logics.

## Conclusion

Supported with OTI-HS embedded into Cloud and with international standard HL7, I have established and proved the infocommunication connection of biosensory healthcare IoT smart devices and clinical telemedicine instruments to traditional hospital information (test) system. Thereby, I have proven that even if operating separately, there are no information technology obstacles in the cooperation of IoT smart devices, clinical telemedicine instruments and hospital information systems, all.

**Realization of Single Healthcare Space with the help of IoT and cognitive Cloud based telemedicine.** [RJ-2] [RC-12] [RC-13] [RC-14] [RC-15]

**Objective**

With support of IoT and Cloud based telemedicine, my aim is to realize so-called Single Healthcare Space (SHS). This single infocommunication space is platform for standard operation of components with background of diverse technologies, architectures and physical locations.

**Hypothesis**

I claim that, Single Healthcare Space is to be realized with supporting role of **IoT** and **cognitive, Cloud based telemedicine**. Components of the Single Healthcare Space operate according to international standards. Due to this latter, interactions between components and operation of Single Healthcare Space as a whole, are transparent and computable.

**Evidence**

The term Single Healthcare Space is confined to a space with components operating separately and also as a whole, in transparent and computable ways. The term „single” covers technological and geographical simultaneity as well.

„Single” operation of Single Healthcare Space requires technologies based on standard operation each, accessible on every continent. Examples of them are the **IoT** and the **Cloud**.

a) Common feature of IoTs are the connection to Internet, the use of standard TCP/IP packets and, possess with unique IPv6 and/or IPv4 addresses.

b) Common feature of Cloud services is their accessibility on the Internet. Due to global entry into Internet, Cloud services all around the globe are available.

Concluding indents a) and b) above, the IoT and the Cloud are to be used according to technical standards and, without geographical limits. However, it is these two criteria that are essential when realizing Single Healthcare Space.

It can be concluded that, requirements necessary but not sufficient for the realization of Single Healthcare Space are the standard operation of system components (biosensory healthcare IoT smart devices, clinical telemedicine instruments, traditional hospital information systems), without geographical limits. The IoT and the Cloud technology meet these requirements

A requirement sufficient for the realization of Single Healthcare Space is the smooth interoperability provided by system components at the technical, syntactic, semantic and process levels. This latter is detailed in Thesis 4.

A requirement in cognitive telemedicine is the **bidirectional standard data traffic**, the **reciprocal** operation in Single Healthcare Space as a whole as well as in its subsystems and components. Consequently, components of Single Healthcare Space are subject to the principle of action-and-reaction. This is why IoT smart devices, beyond the unidirectional release of biosensory data measured, also display feedback coming from hospital information system. Therefore, catenary of cognitive interactions is formed between technical components of subsystems in Single Healthcare Space.

## **Novel scientific achievement**

### **Research result**

I justified with my research results, that it is possible to establish the **single healthcare space's** (SHS) prototype relying on biosensory IoT healthcare smart devices and the cloud architecture.

During the research the biosensory IoT healthcare smart device and the clinical telemedicine system measured the user's pulse rate and respiratory function, and then sent the primary raw data after transformation to the OTI-HS embedded in the cloud architecture. I demonstrated with the OTI-HS that it is possible to convert all signals originating from different biosensory sources into HL7 international standard which is readable and interpretable by the vast majority of the hospital information systems worldwide.

I justified with demonstrated prototype that a single healthcare space (SHS) can be established by biosensory IoT healthcare smart devices and the cloud architecture.

## Conclusion

The realization of the single healthcare space (SPS) is possible in theory and also in practice. For the establishment of the single healthcare space all healthcare technologies are required that operate in accordance with valid international standards. The IoT and the Cloud are the two key technology-family that are necessary for the forming of the single healthcare space. Further preconditions are the general, cloud-based processing mechanism and the international standard providing the semantic interoperability. The cloud-based processing mechanism is provided by the Open Telemedicine Interoperability Hub-Software (OTI-HS), and the semantic interoperability is provided by the HL7 standard.



## 8. SUMMARY

### *8.1 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.

### *8.2 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 analyse 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.

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 fulfilment 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.

## 9. PUBLICATIONS RELATED TO THE DISSERTATION

### 9.1 *Journal articles*

- [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).

### 9.2 *Book chapter*

- [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.

### 9.3 *Conference papers, book chapters and lectures*

- [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", 10th International Conference on Applied Informatics, Eger, 30.1.2017-1.2.2017

#### 9.4 *Conference-lectures*

- [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)

## 10. BIBLIOGRAPHY

- [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, Berkeley, 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 Applications, 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 technologied: from CEM to OpenEHR archetypes”, Journal of American Medical Informatics Association, Oxford University Press, Vol. 22, 2015, pp. 536-544.
- [51] Dolin, R., et at, „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 deviation 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 Telemedicine 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.



Nyilvántartási szám: DEENK/326/2018.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Garai Ábel  
Neptun kód: LD97R1  
Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola

## A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

### Idegén nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

1. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I.: Reflective bio-sensory signal-processing: implementing personal assisted e-Health.  
In: Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, [IEEE], [Epub], [6], 2018.

### Idegén nyelvű, külföldi könyvrészletek (7)

2. **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, (Topics in Intelligent Engineering and Informatics, ISSN 2193-9411 ; 13.) ISBN: 9783319959955
3. **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Comprehensive healthcare interoperability framework integrating telemedicine consumer electronics with cloud architecture.  
In: SAMI 2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. Proceedings : January 26-28, 2017 Herl'any, Slovakia. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 000411-000416, 2017. ISBN: 9781509056545
4. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Interaction-dependent e-Health hub-software adaptation to cloud-based electronic health records.  
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 : Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society, Piscataway, 339-344, 2017. ISBN: 9781538612644
5. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I.: Cognitive telemedicine IoT technology for dynamically adaptive eHealth content management reference framework embedded in cloud architecture.  
In: 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2016 : Proceedings. Ed.: Péter Baranyai, IEEE Computer Society, Washington, 000187-000192, 2016. ISBN: 9781509026456





6. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Common open telemedicine hub and infrastructure with interface recommendation.  
In: SACI 2016 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics : Proceedings : May 12-14, 2016 Timișoara, Romania. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 385-390, 2016. ISBN: 9781509023806
7. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Review and requirement specification of telemedicine systems interoperability with common data exchange hub.  
In: SISY 2016 IEEE 14th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics. Proceedings : August 29-31, 2015 Subotica, Serbia. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 73-78, 2016. ISBN: 9781509028665
8. **Garai, Á.**, Péntek, I.: Adaptive services with cloud architecture for telemedicine.  
In: 2015 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), IEEE Computer Society, Piscataway, 369-374, 2015. ISBN: 9781467381291

Idegén nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

9. Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Open IoT-based telemedicine hub and infrastructure.  
*Pollack Period.* 13 (1), 33-44, 2018. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2018.13.1.3>
10. **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A.: Revolutionizing healthcare with IoT and cognitive, cloud-based telemedicine.  
*Acta Polytech. Hung. [Accepted by Publisher]*, [19], 2018. ISSN: 1785-8860.  
IF: 0.909 (2017)
11. **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A., Németh, Á.: A clinical system integration methodology for bio-sensory technology with Cloud architecture.  
*Acta Cybern.* 23 (2), 513-536, 2017. ISSN: 0324-721X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/actacyb.23.2.2017.6>
12. **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.* 12 (1), 69-80, 2017. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2017.12.1.6>

Idegén nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

13. **Garai, Á.**: Empirical and practical implementation methodology for clinical integration of e-Health IoT technology.  
*Int. J. Med. Health Sci. Res.* 3 (12), 117-125, 2016. ISSN: 2313-7746.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18488/journal.9/2016.3.12/9.12.117.125>





## Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

14. **Garai, Á.**: eHealth IoT a cloud architektúrában, avagy okoseszközök kórházinformatikai integrációja.

In: Orvosi Informatika 2016 : a XXIX. Neumann Kollokvium konferencia-kiadványa. Szerk.:

Bari Ferenc, Almási László, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Szeged, 25-30, 2016. ISBN: 9789633065143

## Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

15. **Garai, Á.**: Methodology for assessment validation of platform migration of robust critical IT-systems.

In: Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics. Ed.: Attila Egri-Nagy, Emőd Kovács, Gergely Kovásznai, Gábor Kusper, Tibor Tómacs, BVB Nyomda és Kiadó Kft., Eger, 445-448, 2010. ISBN: 9789639894723

## Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

16. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I., összeáll. Hajnal, É., Hudoba, G.: Case Study on Motivation in IT Education through University-Industry Telemedicine Partnership: In: Report of Conference XL. National Conference on Teaching Mathematics, Physics and Computer Sciences August 22-24, 2016 Székesfehérvár, Hungary.  
*Teach. Math. Comput. Sci.* 14 (2), 271, 2016. ISSN: 1589-7389.

17. **Garai, Á.**, Péntek, I.: Common Open Telemedicine Hub and Interface Standard Recommendation.

In: The 10th Jubilee Conference of PhD Students in Computer Science (CS2): volume of extended abstracts, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 24-25, 2016.

18. Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Open IoT based telemedicine hub and infrastructure.

In: 12th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : architectural, engineering and information sciences : abstract book. Ed.: by Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, 97, 2016.  
ISBN: 9789634290940

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,909**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0,909**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2018.10.12.





Registry number: DEENK/326/2018.PL  
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Ábel Garai  
Neptun ID: LD97R1  
Doctoral School: Doctoral School of Informatics

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language Hungarian book chapters (1)

1. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I.: Reflective bio-sensory signal-processing: implementing personal assisted e-Health.  
In: Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, [IEEE], [Epub], [6], 2018.

#### Foreign language international book chapters (7)

2. **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, (Topics in Intelligent Engineering and Informatics, ISSN 2193-9411 ; 13.) ISBN: 9783319959955
3. **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Comprehensive healthcare interoperability framework integrating telemedicine consumer electronics with cloud architecture.  
In: SAMI 2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. Proceedings : January 26-28, 2017 Herl'any, Slovakia. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 000411-000416, 2017. ISBN: 9781509056545
4. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Interaction-dependent e-Health hub-software adaptation to cloud-based electronic health records.  
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 : Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society, Piscataway, 339-344, 2017. ISBN: 9781538612644
5. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I.: Cognitive telemedicine IoT technology for dynamically adaptive eHealth content management reference framework embedded in cloud architecture.  
In: 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2016 : Proceedings. Ed.: Péter Baranyai, IEEE Computer Society, Washington, 000187-000192, 2016. ISBN: 9781509026456





6. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Common open telemedicine hub and infrastructure with interface recommendation.  
In: SACI 2016 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics : Proceedings : May 12-14, 2016 Timișoara, Romania. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 385-390, 2016. ISBN: 9781509023806
7. Adamkó, A., **Garai, Á.**, Péntek, I.: Review and requirement specification of telemedicine systems interoperability with common data exchange hub.  
In: SISY 2016 IEEE 14th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics. Proceedings : August 29-31, 2015 Subotica, Serbia. Ed.: Anikó Szakál, IEEE Computer Society, Piscataway, 73-78, 2016. ISBN: 9781509028665
8. **Garai, Á.**, Péntek, I.: Adaptive services with cloud architecture for telemedicine.  
In: 2015 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), IEEE Computer Society, Piscataway, 369-374, 2015. ISBN: 9781467381291

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (4)

9. Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Open IoT-based telemedicine hub and infrastructure.  
*Pollack Period.* 13 (1), 33-44, 2018. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2018.13.1.3>
10. **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A.: Revolutionizing healthcare with IoT and cognitive, cloud-based telemedicine.  
*Acta Polytech. Hung. [Accepted by Publisher]*, [19], 2018. ISSN: 1785-8860.  
IF: 0.909 (2017)
11. **Garai, Á.**, Péntek, I., Adamkó, A., Németh, Á.: A clinical system integration methodology for bio-sensory technology with Cloud architecture.  
*Acta Cybern.* 23 (2), 513-536, 2017. ISSN: 0324-721X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/actacyb.23.2.2017.6>
12. **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.* 12 (1), 69-80, 2017. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2017.12.1.6>

Foreign language scientific articles in international journals (1)

13. **Garai, Á.**: Empirical and practical implementation methodology for clinical integration of e-Health IoT technology.  
*Int. J. Med. Health Sci. Res.* 3 (12), 117-125, 2016. ISSN: 2313-7746.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18488/journal.9/2016.3.12/9.12.117.125>





Hungarian conference proceedings (1)

14. **Garai, Á.**: eHealth IoT a cloud architektúrában, avagy okoseszközök kórházinformatikai integrációja.

In: Orvosi Informatika 2016 : a XXIX. Neumann Kollokvium konferencia-kiadványa. Szerk.: Bari Ferenc, Almási László, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Szeged, 25-30, 2016. ISBN: 9789633065143

Foreign language conference proceedings (1)

15. **Garai, Á.**: Methodology for assessment validation of platform migration of robust critical IT-systems.

In: Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics. Ed.: Attila Egri-Nagy, Emőd Kovács, Gergely Kovásznai, Gábor Kusper, Tibor Tómacs, BVB Nyomda és Kiadó Kft., Eger, 445-448, 2010. ISBN: 9789639894723

Foreign language abstracts (3)

16. **Garai, Á.**, Adamkó, A., Péntek, I., összeáll. Hajnal, É., Hudoba, G.: Case Study on Motivation in IT Education through University-Industry Telemedicine Partnership: In: Report of Conference XL. National Conference on Teaching Mathematics, Physics and Computer Sciences August 22-24, 2016 Székesfehérvár, Hungary.  
*Teach. Math. Comput. Sci.* 14 (2), 271, 2016. ISSN: 1589-7389.

17. **Garai, Á.**, Péntek, I.: Common Open Telemedicine Hub and Interface Standard Recommendation.

In: The 10th Jubilee Conference of PhD Students in Computer Science (CS2): volume of extended abstracts, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 24-25, 2016.

18. Péntek, I., **Garai, Á.**, Adamkó, A.: Open IoT based telemedicine hub and infrastructure.

In: 12th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : architectural, engineering and information sciences : abstract book. Ed.: by Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, 97, 2016.  
ISBN: 9789634290940

**Total IF of journals (all publications): 0,909**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 0,909**

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

