

Varga Attila Károly

**VEZETÉK NÉLKÜLI SZENZORHÁLÓZATOK  
ÖNSZERVEZŐDŐ ÉS ÖNJAVÍTÓ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA**

Ph.D. értekezés tézisei

Miskolc

2015

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001  
Nemzeti Kiválóság Programcímű kiemelt projekt keretében zajlott.  
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap  
társfinanszírozásával valósul meg.





## TARTALOMJEGYZÉK

<b>TARTALOMJEGYZÉK</b> .....	5
<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	7
1.1. Motiváció, célkitűzések .....	7
1.2. A kutatási terület irodalmi áttekintése.....	8
<b>2. ÚJ TUDOMÁNYOS RREDMÉNYEK</b> .....	11
2.1. Megbízhatósági gráf modell - problémadefiníció.....	11
2.2. A megbízhatósági ráta és a súlyfüggvény bevezetése .....	12
2.3. Csomópont megbízhatósági osztályok.....	14
2.4. Megbízhatósági Mátrix .....	15
2.5. Pillanatnyi Aktivitási Mátrix .....	15
2.6. Pillanatnyi Terhelési Mátrix .....	16
2.7. Megbízhatósági gráf modell alapú keretrendszer .....	17
<b>3. TÉZISEK</b> .....	20
<b>4. ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	22
<b>5. SUMMARY</b> .....	23
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	26
<b>SAJÁT PUBLIKÁCIÓK</b> .....	31



## 1. BEVEZETÉS

Vezeték nélküli hálózat esetében nincs szükségünk kábelekre, készülékeink hatósugarán belül bárhol kapcsolatot létesíthetünk más eszközökkel. [9] A vezeték nélküli szenzorhálózatok használata, fejlesztése eleinte a hadiiparban, hadászatban figyelhető meg a 1970-es évektől. Azonban a vezeték nélküli szenzorhálózatok gyorsan elterjedtek a civil felhasználók körében, és egyre jelentősebb szerepet töltenek be a mindennapi élet számos területén. Köszönhető ez a szenzorok árának rohamos csökkenésének, alacsony energiafelvételnek, valamint a kisméretű, de egyre bonyolultabb funkciók ellátására képes érzékelőknek.

Az olcsó, intelligens szenzorok tömegének hálózata soha nem látott lehetőségeket kínálhat háztartások, városok és a környezet megfigyelésére és irányítására. A szenzorhálózatok egyre több területen elterjedő [4], intelligens egységekből felépülő mérőrendszerek. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a szenzorhálózatok a környezettel szorosan kapcsolatban álló [41], kisméretű, intelligens, esetleg mobil eszközök százainak szoros együttműködése [26][27], melyek próbálják kényelmesebbé tenni világunkat. Avagy a szenzorhálózatok sok intelligens érzékelő egységből felépített, önálló működésre képes elosztott számítógépes hálózatok.

Az új technológia szükségessége megkérdőjelezhetetlen, ugyanakkor alkalmazásának, a szakemberek kiképzésének, a rendszerek diagnosztikájának igen jelentős kutatási igényei vannak. Ezen technológia alkalmazásával jelentősen nő a technológiai eszközök, termékek, rendszerek intelligencia szintje a vezeték nélküli kommunikációs eszközök terén is.

### 1.1. Motiváció, célkitűzések

Kutatómunkám során számos K+F munka, ipari megbízás és projekt keretében lehetőségem nyílt nagy prioritással kezelt, valós problémák elméleti és gyakorlati hátterének feltárásában, megoldásában részt venni. A matematikai alapokra visszavezethető modellezést, szimulációt és informatikai jellegű fejlesztéseket magukban rejtő problémákat feszegető ipari munkák

lehetőséget teremtettek, hogy az elméleti tudásomat a gyakorlatba is átültessem, és további szakmai tapasztalattal gazdagítsam ismereteimet.

A szenzorhálózatok tématerület azért is volt számomra vonzó, mert számos megoldatlan, illetve további finomításra váró problémát vet fel, mely magában rejti az újszerű, innovatív jellegű megoldáskeresést. Egyfajta motivációként hatott az is, hogy ugyan a vezetékes hálózatokat már viszonylag régóta használjuk a mindennapi élet számos területén, a „vezeték nélkülség” viszont nemrég került be a köztudatba, mely új lehetőséget hordoz magában. A vezeték nélküli megoldás számos kérdést vet fel a helyzetbecsléssel (lokalizáció) kapcsolatban, a meglévő lokalizációs technikák elemzése új modellek, algoritmusok, alkalmazások alapjait teremtheti meg, mely szintén motivációként hatott a témaválasztásomra.

A speciális ipari biztonsági hatások kommunikáció-biztonságra gyakorolt hatásának vizsgálata során célul tűztem ki az önszerveződő szenzorhálózatok működésének, a széles körben elterjedt lokalizációs technikáinak, valamint önszerveződő és önjavító képességének minél mélyebb megismerését. Kiemelt célom volt, hogy a megismert algoritmusok alapján olyan rendszermodellt állítsak fel, mely révén hatékonyságnövelés érhető el a szenzorhálózatok maximális konnektivitása, és a hálózati csomópontok energiafelhasználása terén, továbbá megteremti a lehetőségét a gyakorlatban is jól hasznosítható alkalmazás koncepciójának megalkotására.

A tudományos szempontok mellett valós ipari kutatás-fejlesztési együttműködés során felmerült problémát alapul véve nemcsak az útvonalválasztó algoritmust is befolyásoló döntési modell megalkotása volt cél, hanem egy olyan alkalmazás specifikálása is, amely szimulációs lehetőséget biztosít az új modell és a ráépülő algoritmus működésének tesztelésére is.

## **1.2. A kutatási terület irodalmi áttekintése**

Szinte valamennyi publikáció kapcsán elmondható, hogy nagy hangsúlyt kap az egyes szenzor egységek megbízható működésének kérdésköre, ugyanis nem megfelelően ellenőrzött, és/vagy karbantartott rendszerek átmenetileg vagy hosszabb távon is működésképtelenné válhatnak, ezzel akár jelentős



működésbeli zavart és többletköltséget generálva.

Vincze Zoltán disszertációjában [11] olyan algoritmus dolgozott ki, amely több nyelű kontrollált telepítésével növeli az idővezérelt, vezeték nélküli szenzorhálózatok energiahatékonyágát, ezáltal meghosszabbítva azok működését.

Vincze Zoltán és Vida Roland [7] kutatásukban arra keresik a választ, hogy a szenzorok mobilitásának biztosításával, azaz áthelyezésük lehetőségével a kezdeti kiinduló állapothoz képest javítható-e a hálózat energia- és egyéb funkcióinak hatékonysága. Összegzésként kiemelik, hogy a csomópontok mobilitására irányuló javaslatok közös célja a hálózat működési minőségének a javítása, illetve a hálózat használhatóságának meghosszabbítása.

Gémesi Roland et al. [10] kutatómunkája a szenzorhálózatok biztonságát vizsgálja processz algebrai eszközök alkalmazásával, melyben rámutat, hogy az ad-hoc csomópontok önszerveződő tulajdonsága milyen biztonsági fenyegetéseket rejt magában.

Dóra László [8] a biztonságos adattovábbítással foglalkozik vezeték nélküli multi-hop hálózatokban mobil környezetben, késleltetéstűrő hálózatok és vezeték nélküli mesh hálózatok vizsgálatával.

Ács Gergely kutatómunkája [12] a 'Biztonságos útvonalválasztás többugrásos vezeték nélküli hálózatokban' címmel az útvonalválasztó protokollok tervezési elveit vizsgálja biztonságuk elemzésével. A protokollok elemzéséhez a szimulációs paradigmához hasonló számításelméleti modellt használ, melyet eddig is sikeresen alkalmaztak kriptográfiai protokollok biztonságának elemzéséhez.

[13] energia hatékony hálózati megoldásokat mutat be. Az energiahatékonyág fontosságát gazdasági és környezeti tényezőkre vezeti vissza. A szerző kiemeli, hogy a teljes CO<sub>2</sub> kibocsátás 2%-ért a telekommunikációs szektor a felelős, ezzel meghaladva a teljes légközlekedés által generált mennyiséget.

Bahramgiri et al. [17] egy topológia felügyeleti algoritmust mutat be a K-konnektivitás fenntartására a teljes hálózatra nézve. Ehhez viszont

kiindulási alapként feltételeznie kellett, hogy valamennyi hálózati csomópont ugyanazzal a maximális teljesítménnyel sugároz, ezzel kizárva a csomópontok közötti aszimmetrikus kapcsolatok létezését.

[18] egy hibrid klaszter alapú topológia felügyeleti algoritmus elvi működését mutatja be, amelyben a  $K$ -konnektivitású hálózat elérésére és fenntartására a Shen et al. által javasolt modellből [18] indul ki.

Indranil et al. [15] a hálózat egészét tekintve egy teljesen elosztott  $K$ -hibatűrő topológia felügyeleti algoritmust mutat be, melynek alapja, hogy feltételezi, hogy valamennyi csomópont maximális teljesítményen sugároz, de megengedi, hogy ez csomópontonként más és más legyen, vagyis Bahramgiri-vel ellentétben nem zárja ki az aszimmetrikus kapcsolatok létét.

Xiaoyu et al. [22] a játékelmélet oldaláról közelíti meg a szenzorhálózatok élettartamának növelésének problémakörét, mely során feltételezi, hogy a csomópontok kooperatív módon képesek változtatni az adóteljesítményüket. A kifejlesztett modell működését szimulációval vizsgálta, mely során az algoritmusára bebizonyította, hogy létezik a Nash egyensúly.

Az önszerveződő szenzorhálózatok témakörben a hazai és nemzetközi szakirodalmat vizsgálva megállapítható, hogy a topológia felügyeletével foglalkozó kutatások a hálózat egy vagy több jellemző paraméterének hosszú távú fenntartásával foglalkozik, melyek mindegyike egy gráfon végzett optimalizálási feladatra vezethető vissza.

Valamennyi javasolt megoldás azzal operál, hogy kezdeti feltételként rögzíti, hogy az egyes csomópontoknak beállíthatják-e egyedileg az adóteljesítményüket vagy eleve maximális szinten sugároznak, és ez a szint dinamikusan változhat-e a szomszéd csomópontok energiaszintjének függvényében vagy folyamatosan maximális szinten kívánják tartani.

## 2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A mai vezeték nélküli szenzorcsomópontokat viszonylag kis energiafelhasználás jellemzi, általában két ceruzaelemmel hónapokig, vagy akár 1-2 évig is működőképesek maradnak anélkül, hogy operátori beavatkozásra lenne szükség. Ugyanakkor mégis előfordul, hogy bizonyos csomópontok többször kerülnek aktív állapotba, mint a hálózat többi csomópontja, mert például egy rossz hálózattervezésnek köszönhetően a node-ok nem megfelelően lettek elhelyezve. Kutatások számolnak be arról, hogy ilyen túlterhelt aktív állapotok miatt a kommunikációban sűrűn érintett node-ok hamarabb lemerülnek, melyek szerepét a többi csomópontnak kell átvenni.

### 2.1. Megbízhatósági gráf modell - problémadefiníció

Legyen adott egy  $T$  nagyságú terület, melyen adott pontjain  $\Delta t$  időközönként mérést (adatrögzítést) végzünk. Ezeket a mérési adatokat továbbítanunk kell  $D$  csomópontba (cél csomópont), melynek adatgyűjtő feladatán túl további adatfeldolgozó és adattároló funkciókat is el kell látnia. Tegyük fel, hogy a rendszerünk nem időkritikus, tehát nem szükséges valós időben továbbítanunk ezen adatokat, a cél inkább az, hogy a mérési adatok megérkezzenek, mert ezen adatok révén maximalizálhatjuk  $T$ -n végzett tevékenységünkől származó profitunkat.  $T$ -n a vezetékes kommunikáció nehezen, vagy igen magas költségek árán lenne megvalósítható, így vezeték nélküli kommunikációra kell támaszkodnunk.

Célunk tehát, hogy  $T$  adott pontjain végzett mérések adatait akár több módon (kommunikációs úton) is el tudjuk juttatni  $D$ -be, melyet teljes vezeték nélküli lefedettséggel lehet biztosítani. Ez tipikusan olyan hálózat létét feltételezni, melyben egy csomópont több csomóponttal is képes közvetlenül kommunikálni. A teljes lefedettséghez a szenzor csomópontokat egyenletesen elszórtan helyezzük el  $T$ -n. Az adattovábbítás során szeretnék elkerülni, hogy egyes csomópontok túlterheltté váljanak, mely később hálózati kommunikációval való lefedetlenséghez, adatok továbbíthatatlanságához és adatvesztéshez vezetne, mindezzel többletköltséghez generálva.

### Problémadefiníció

Legyen  $V = \{v_i, i = 1, \dots, n\}$  a csomópontok halmaza ( $n = |V|$ ).  $\forall u \in V$ -t véletlenszerűen helyezzük el a 2-dimenziós sík  $T$  nagyságú területén. Az  $i$ -edik csomópont pozíciója:  $(x_i, y_i)$ .

Legyen  $E \subseteq [V]^2 = \{e(u, v) = e(v, u) : u \in V, v \in V, u \neq v\}$  a csomópontokat összekötő élek halmaza.

Legyen az  $i$ -edik csomópont ( $v_i \in V$ ) pozíciója:  $(x_i, y_i)$ , továbbá  $\forall v_i \in V$ -re adott:

- $m_i \in [0, 1]$ , melyet nevezzünk megbízhatóságnak (a megbízhatóság fogalmát a csomópont energiaszintjével összefüggésben vezetem be),
- $p_i \in \{0, p_{max}\}$ , az  $i$ -edik csomópont adóteljesítmény (adott),
- $r_i \geq 0$ , az  $i$ -edik csomópont hatósugara, melyre:
  - $p_i = p_{max}, r_i = r$ , ha  $m_i > 0$ ,
  - és  $p_i = 0, r_i = 0$ , ha  $m_i = 0$ .

$\forall v \in V$  és  $\forall u \in V$  esetén akkor és csak akkor  $\exists e(u, v) \in E$ , ha

$$d_{uv} < r,$$

ahol  $d_{uv} = \sqrt{(x_v - x_u)^2 + (y_v - y_u)^2}$ , az  $u$  és  $v$  csomópont közötti eukleidészi távolság.

Vezessük be a  $w$  súlyfüggvényt, mely megadja az  $e(u, v)$  él  $w_{uv}$  súlyát ( $w_{uv} \geq 0$ )  $\forall e(u, v) \in E$  esetén.

Keressük a  $G = (V, E)$  gráffal definiált hálózati topológiában  $\forall s \in V$  és  $\forall d \in V$  ( $s \neq d$ ) csomópont között a  $G' \subseteq G$  utat, melyben

$V' = \{(u_i, v_i)_{i \in I = \{1, 2, \dots, n\}} \mid \forall i \in I: ((u_i, v_i) \in V, v_i = u_{i+1}, u_1 = s \in V, v_n = d \in V)\}$ , és  $\sum_V w_i \rightarrow \min$ .

## 2.2. A megbízhatósági ráta és a súlyfüggvény bevezetése

A bevezetendő súlyfüggvény leképzési szabályának meghatározása során az volt a célom, hogy az élek súlyozása alapján eldönthető legyen, melyik él

biztosít megbízhatóbb adattovábbítást, azaz az alacsony energiaszinttel rendelkező csomópontok elkerülésével minél inkább garantálni tudjuk az adatunk forrásból célba történő eljuttatását, ezzel gyakorlatilag egyenletes terhelést biztosítva hosszú távon a teljes rendszerre nézve. Más szóval, a megbízhatóbb (magasabb aktuális energiaszint) csomópontok terhelésével, a kevésbé megbízható csomópontok (alacsonyabb aktuális energiaszint) lemerülési esélyét minimalizáljuk a maximális konnektivitás fenntartása céljából, elkerülve ezzel az izolált hálózati részek kialakulását, illetve a mért adatok továbbíthatatlanságát és az adatvesztést.

Az  $i$ -edik csomópontra megadott küldési és aktivitási rátával együttesen jellemezhető a csomópont aktuális megbízhatósága, melyet megbízhatósági rátának nevezek el, és a következő képlettel (1., az értekezésben a 10. képlet) fejezem ki:

$$m_i = 1 - \left( \frac{a_{iRx}}{a_{Rx,max}} + \frac{a_{iT_x}}{a_{T_x,max}} \right), \quad (1.)$$

ahol

- $a_{iRx}$ : az  $i$ -edik csomópont aktuális fogadási aktivitása, azaz hány db alaklommal töltött be eddig  $Rx$  szerepkört (dimenziója: db),
- $a_{iT_x}$ : az  $i$ -edik csomópont aktuális küldési aktivitása, azaz hány db alaklommal töltött be eddig  $T_x$  szerepkört (dimenziója: db),
- $a_{Rx,max}$  a maximális fogadási aktivitás [db], mely megmutatja, hogy egy csomópontot milyen maximális aktivitás jellemezné, ha csak  $Rx$  szerepkört töltene be,
- $a_{T_x,max}$  a maximális küldési aktivitás [db], mely megmutatja, hogy egy csomópontot milyen maximális aktivitás jellemezné, ha csak  $T_x$  szerepkört töltene be.

A súlyfüggvény leképzési szabálya (2., az értekezésben a 17. képlet) a következő ( $\forall u, v \in V$ -re):

$$w: w_{uv} = (m_u^{-1} \cdot m_v^{-1}). \quad (2.)$$

A súlyértékekből alkotott felületünkön (ld. 1. ábra, az értekezésben a 22. ábra) nyomon követhető a megalkotott leképzési szabály jósága.

1. ábra: A módosított súlyfüggvény kimeneteiből képzett felület az  $x, y, z$  3D térben

### 2.3. Csomópont megbízhatósági osztályok

A megbízhatóságból levezetett ráták alapján csoportosíthatjuk a csomópontjainkat, az alábbi négy kategória szerint.

**1. kategória:** Ha  $\left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{\bar{I}_{Rx}}\right) < 1$ , akkor az  $i$ -edik csomópont se fogadni, se küldeni nem képes.

**2. kategória:** Ha  $1 \leq \left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{\bar{I}_{Rx}}\right)$ , de  $\left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{\bar{I}_{Tx}}\right) < 1$ , akkor az  $i$ -edik csomópont csak fogadni képes.

**3. kategória:** Ha  $1 \leq \left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{\bar{I}_{Rx}}\right)$ ,  $1 \leq \left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{\bar{I}_{Tx}}\right)$ , de  $\left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{(\bar{I}_{Rx} + \bar{I}_{Tx})}\right) < 1$ , akkor az  $i$ -edik csomópont csak fogadni, vagy csak küldeni képes.

**4. kategória:** Ha  $1 \leq \left(m_i \cdot \frac{I_{max}}{(\bar{I}_{Rx} + \bar{I}_{Tx})}\right)$ , akkor az  $i$ -edik csomópont fogadni és küldeni egyaránt tud.

( $I_{max}$ : a csomópontok energiaforrásának maximális szintje,  $\bar{I}_{Rx}$ : egy vételhez szükséges átlagos energiafogyasztás,  $\bar{I}_{Tx}$ : egy adáshoz szükséges átlagos energiafogyasztás).

Ez alapján bevezethetjük a csomópontok megbízhatósági osztályait.

- A **1. kategóriába** sorolható csomópont megbízhatósági osztályt nevezzük el **megbízhatatlan osztálynak**, melyre vezessük be az alábbi jelölést:  **$M$** - (a csomópont se vételre, se adásra nem képes).
- A **2. kategóriába** sorolható csomópont megbízhatósági osztályt nevezzük el  **$Rx$  megbízhatóságú osztálynak**, melyre vezessük be az alábbi jelölést:  **$MRx$**  (a csomópont csak vételre képes).
- A **3. kategóriába** sorolható csomópont megbízhatósági osztályt nevezzük el  **$Tx$  megbízhatóságú osztálynak**, melyre vezessük be az alábbi jelölést:  **$MTx$**  (a csomópont vételre vagy adásra képes).
- A **4. kategóriába** sorolható csomópont megbízhatósági osztályt nevezzük el **megbízható osztálynak**, melyre vezessük be az alábbi jelölést:  **$MRxTx$**  (a csomópont vételre és adásra egyaránt képes).

## 2.4. Megbízhatósági Mátrix

A hurokmentes gráf szomszédsági mátrixának főátlóját feltöltve, vezessük be a megbízhatósági mátrix ( $MM$ ) fogalmát (3., az értekezésben 29. képlet), az alábbiak szerint:

$$MM[i, j] = \begin{cases} m_i, & \text{ha } i = j, \\ 1, & \text{ha } (i, j) \in E \end{cases}, \quad (3.)$$

ahol  $m_i$  az  $i$ -edik csomópont megbízhatósági rátája.

Ezzel gyakorlatilag a szenzorhálózatunk számítógépes adatábrázolása során a csomópontok közötti kapcsolatok reprezentálására létrehozott szomszédsági mátrix a főátlójában szereplő nullák helyén a csomópontok megbízhatósági rátájának tárolására is alkalmassá válik.

## 2.5. Pillanatnyi Aktivitási Mátrix

A megbízhatósági mátrix ötletét továbbgondolva kézenfekvőnek tűnik a pillanatnyi aktivitási mátrix ( $PAM$ ) bevezetése (4., az értekezésben a 31. képlet):

$$PAM[i, j] = \begin{cases} m_i, & \text{ha } i = j, \\ 1, & \text{ha } (i, j) \in E \text{ és } j > i, \\ *, & (i, j) \in E' \text{ és } j < i, \\ 0, & (i, j) \notin E \text{ és } j > i, \text{ vagy } (i, j) \notin E' \text{ és } j < i. \end{cases} \quad (4.)$$

A pillanatnyi aktivitási mátrix főátlójában tehát a  $G=(V,E)$  gráfot alkotó csomópontok megbízhatósági rátáját, a főátló feletti háromszögben ( $j > i$ ) a csomópontok szomszédsági viszonyát trolja, a főátló alatti háromszögben ( $j < i$ ) pedig a  $G'=(V',E') \subseteq G=(V,E)$  utat alkotó élekre utalok a \* szimbólummal. A felső háromszög  $[i,j]$  pozíciójában tehát a  $\theta$  arra utal, hogy  $G=(V,E)$  gráfban az  $i$ -edik és  $j$ -edik csomópont között nincs él (nem szomszédosak  $G$ -ben), míg az alsó háromszög  $[i,j]$  pozíciójában álló  $\theta$  azt jelöli, hogy a  $G'=(V',E') \subseteq G=(V,E)$  részgráfban (forrástól nyelőig felépülő út) az  $i$ -edik és  $j$ -edik csomópont között nincs él (nem szomszédosak  $G'$ -ben), azaz nem történik  $i$  és  $j$  között adattovábbítás.

## 2.6. Pillanatnyi Terhelési Mátrix

Az imént bevezetett  $PAM$  ötletét továbbgondolva, vezessük be a pillanatnyi terhelési mátrixot ( $PTM$ ) az alábbiak szerint (5., az értekezésben a 32. képlet):

$$PTM[i, j] = \begin{cases} m_i, & \text{ha } i = j, \\ 1, & \text{ha } (i, j) \in E \text{ és } j > i, \\ 0, & \text{ha } (i, j) \notin E \text{ és } j > i, \\ a_{ij}, & \text{ha } a_{ij} \geq 0 \text{ és } j < i, \end{cases} \quad (5.)$$

ahol  $a_{ij}$  az  $i$ -edik és  $j$ -edik csomópont közötti él aktivitását (terhelését, azaz hányszor lett kiválasztva kommunikációhoz) jelenti a megfigyelt  $T$  időintervallum alatt. A pillanatnyi terhelési mátrix főátlójában továbbra is a  $G=(V,E)$  gráfot alkotó csomópontok megbízhatósági rátáját, a főátló feletti



háromszögben pedig ( $j > i$ ) a csomópontok szomszédsági viszonyát tároljuk acélból, hogy a hálózat vizsgálata során egyértelmű következtetéseket vonhassunk le a szomszédsági relációk és megbízhatósági ráták ismeretében. A főátló alatti háromszögben ( $j < i$ ) az  $[i,j]$  elem  $a_{ij}$  értéke a  $T$  megfigyelési idő alatt végbemenő forrás-nyelő kommunikációk  $G'=(V',E') \subseteq G=(V,E)$  útjainak kialakításában résztvevő élek aktivitását (terhelését) mutatja. Ez esetben a pillanatnyi terhelési mátrix analógiájára bevezethetjük terhelési mátrix fogalmát, mely a PTM-mel megegyező struktúrával és működési mechanizmussal bír.

## 2.7. Megbízhatósági gráf modell alapú keretrendszer

Az egyes csomópontok helyzetének, aktivitásának, megbízhatósági rátájának tárolására alkalmas adatbázis modult, az értekezés 6.3.6. fejezetben bevezetett mátrixok előállítására, a megbízhatósági gráf modell és a megbízhatósági osztályok vizualizálására, és a megbízhatóság alapú útvonalkeresés szimulációs vizsgálatára alkalmas keretrendszert fejlesztettem ki. Az értekezés 6.3.5. pontjában bevezetett megbízhatósági osztályok hasznát a szimuláció során is be szerettem volna mutatni. Ezen célból létrehoztam egy függvényt, mely az adott megbízhatósági osztályba besorolja a csomópontokat a pillanatnyi megbízhatóságuk alapján, majd ezt vizuálisan is megjeleníti.

A négy megbízhatósági osztályt (*ld. értekezés 6.3.5. fejezete*) a következő színekkel jeleníti meg (*ld. 2. ábra, az értekezésben a 33. ábra*): M+: zöld, M-: vörös, MTx: sötétkék, MRx: világoskék.

2. ábra: Csomópont megbízhatósági osztályozás vizualizálása

A megbízhatósági gráf modellel bevezetett élsúlyozás után forrás és cél csomópont között a legmegbízhatóbb út megtalálásra az értekezés 3. fejezetben bemutatott [5] algoritmusokat alapul véve megadható a megbízhatóság alapú útvonalválasztó algoritmus:

```

procedure MegbizhatóUtvonalKereses
  begin
    for  $\forall v \in V$ -re do
       $D[v] := \infty$ 
      Szülő  $[v] := \emptyset$ 
    end
     $D[u] = 0$ 
    var
       $S := \emptyset$ 
       $Q: v \in V$ -k sora
    begin
      while  $Q$  nem üres do
        begin
           $x := \min. Q$ 
           $S := S \cup \{x\}$ 
          for  $\forall v \in \text{Szomszéd}[x]$ -re do
            if  $D[v] > D[x] + k(x, v)$  then
              begin
                 $D[v] := D[x] + k(x, v)$ 
                Szülő  $[v] = x$ 
              end
            end
          end
        end
      end
    end
  end

```

A program a megbízhatatlan csomópontok felderítésével az izolált hálózati szegmenseket is kijelzi. Látható tehát, hogy az algoritmus jól működik, mivel próbálja egyenletesen terhelni a rendszert az üzenettovábbítások során. Mivel a valós helyzet minél jobb megközelítése céljából korrigáltuk a csomópontok helyzetét az eredeti rácsvonalak metszéspontjához képest, továbbá egy-két csomópontot eltávolítottunk, hogy vizsgálni tudjuk, az alternatív útvonalválasztás (önjavító mechanizmus) és a kiesett csomópontok miatt túlterhelődő csomópontok, majd ennek eredményeként újabb túlterhelt csomópontok megjelenése előidézi-e a megbízhatósági gráf modell alapgondolatát adó hálózati izolációt. A program előre jelezte az

54. iterációt követően, hogy két csomópont ugyan még nem merült le ( $MRx$ ), cél csomópontként még működnek, de továbbítani már nem fognak tudni. Az elgondolás tehát bebizonyosodott, a modell az elvártak szerint működött a szimulációs vizsgálatok során (*ld. 3. ábra, az értekezésben a 38. ábra*).

*3. ábra: A program lefutása után kialakuló pillanatkép a hálózatunkról*

### 3. TÉZISEK

#### 1. TÉZIS

[s1] [s3] [s6][s8][s10][s13]

**Megalkottam az önszerveződő szenzorhálózatok megbízhatósági gráf modelljét, mely az aktuális energiaszintekhez viszonyított megbízhatósági értékek csomópontokhoz rendelésével az energiaforrások lemerülésének megelőzését célozza a túlterhelések elkerülésével.**

*A modellel bevezetett aktivitási értékek, megbízhatósági ráták alapján, nyomon követhető, hogy a szenzorcsomópontok milyen megbízhatósággal képesek részt venni hálózati kommunikációban. Bevezettem a Megbízhatósági Mátrix, a Pillanatnyi Aktivitási Mátrix, a Pillanatnyi Terhelési Mátrix és a Terhelési Mátrix fogalmát, amelyek a vizsgált szenzorhálózat működésbeli megbízhatóságáról tömör módon tárolnak információkat, megkönnyítve ezzel a rendszer algoritmikus megközelítésű, megbízhatósági gráf modell alapú számítógépes adatábrázolását, a teljes hálózati működés kiértékelését, a túlterhelt hálózati szegmensek felderítését.*

#### 2. TÉZIS

[s1] [s3] [s6][s8][s10][s13]

**Az 1. Tézisben meghatározott gráf modellt kiegészítettem az élek költségét meghatározó súlyfüggvénnyel, mely használatával a csomópontok energiafelhasználását figyelembe vevő útvonalválasztó algoritmus alakítható ki.**

*A felállított modell alapján megadott súlyfüggvény két egymás hatókörében lévő csomópont megbízhatósági rátájából oly módon előállítja a közöttük lévő él súlyértékét, hogy nagyobb megbízhatóságú élhez kisebb súlyt, kisebb megbízhatóságú élhez pedig nagyobb súlyt rendel, a minimális összköltségű útkeresésre visszavezetve a problémát. A súlyfüggvény bemeneti paraméterei, és a kimenetként legenerált súlyértékek 3-dimenziós térben való leképzése során kapott felület alakja, a súlyfüggvény megbízhatóság alapú vizsgálódásra való jóságát támasztja alá.*

### 3. TÉZIS

[s1] [s3] [s8][s11][s18][s20]

**Kidolgoztam egy olyan útválasztási metodikát, amely biztosítja a mesh típusú vezeték nélküli szenzorhálózatok kiegyensúlyozott csomópontterhelését, maximális élettartamú használatát.**

*Az útválasztási algoritmus bármely forrás és cél csomópont között a legmegbízhatóbb útvonalat adja meg. A megbízhatóság alapú útkeresés az összélsúlyok minimalizálásával valósul meg. A keresés a csomópontok megbízhatóság alapú kategorizálására bevezetett megbízhatósági osztályok alapján is történhet (M-: megbízhatatlan, MRx: vétel szempontjából megbízható, MTx: adás szempontjából megbízható, M+: megbízható) aszerint, hogy a vizsgált csomópont csak adásra, csak vételre, adásra vagy vételre, illetve adásra és vételre együttesen elegendő energiaszinttel bír -e.*

### 4. TÉZIS

[s1] [s3] [s8][s18][s19][s20]

**Kialakítottam egy olyan keretrendszert, amellyel a megbízhatósági gráf modell kapcsán megalkotott súlyfüggvény működése szimulálható.**

*A súlyfüggvény működésbeli jóságának igazolására létrehozott keretrendszerben a szimulációk alkalmával nyomon követhető volt, hogy az útvonalválasztó algoritmus a megalkotott költségfüggvénnyel előállított élsúlyok vizsgálatával, a minimális élsúlyú utak kiválasztásával biztosítani tudja a csomópontok kiegyensúlyozott terhelését és a megbízhatatlan csomópontok tehermentesítését a hálózati izoláció elkerülése céljából. A csomópont megbízhatósági osztályok vizualizálásával megfigyelhető, hogy ha nem történik időben beavatkozás, akkor az önszerveződő jellegből adódóan a terhelés más csomópontokra tevődik át, mely egy idő után a csomópontok kieséséhez, izolált hálózati részek kialakulásához vezetett.*

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetett új modell és a megadott ábrázolásmódok révén implementálható olyan alkalmazás, mely képes vizualizálni a node-ok közötti kapcsolatokat, a csomópontok és az élek megbízhatóságát, továbbá az energiafelhasználás hatékonyságát célzó algoritmus működésének nyomon követését.

A kidolgozott koncepció továbbgondolható olyan értelemben, hogy miként működjön az algoritmus, illetve miként struktúráljuk át, milyen adatokat tároljanak a mátrixok, ha nemcsak az energiafogyasztást hanem egyéb hálózati paraméterekre is optimalizálni szeretnénk a rendszert.

A bevezetett elvi modell korlátozottságaként feltétlen fontosnak tartom megjegyezni, hogy centralizált megközelítésű a modell, azaz feltételezi, hogy a teljes rendszerre nézve rendelkezünk a szükséges információkkal. Erre való tekintettel a modellt finomítani kívánom oly módon, hogy infrastruktúra független szenzorhálózatokban is monitorozható legyen a szenzorcsomópontok élettartama, tervezhetővé téve a karbantartási munkálatokat és ezzel megelőzve a váratlan hálózati kieséseket.

Az modellhez kifejlesztett alkalmazást további funkciókkal kívánom bővíteni, mely a szenzorhálózat állapotának vizuális nyomon követhetőségét, felügyeletét fokozza. Alkalmassá kívánom tenni a rendszert ipari üzemi területek wireless térképének előzetes tervezéséhez, mely révén előre megadhatók a szenzor csomópontok optimális helyzete, figyelembe véve a fizikai és egyéb akadályokat, melyek az akkumulátorok élettartamát jelentősen befolyásolják. Ezzel nemcsak adott terület vezeték nélküli kommunikációval való lefedése tervezhető, hanem egyfajta energiaoptimalizálás is elérhető, mivel adatforgalom szempontjából egyenletesen terheltté válnak a csomópontok a szükségtelen alvó  $\rightarrow$  aktív állapotváltozások redukálásával, megnövelve ezzel az egyes csomópontok telepélettartamát.

## 5. SUMMARY

### THESIS 1

[s1] [s3] [s6][s8][s10][s13]

**I have created the reliability graph model of self-organising sensor networks by using reliability values in relation to the energy levels, which aims to detect the overloaded network segments to prevent the depletion of the sensor nodes.**

*The activity value introduced by means of the model and the reliability rate obtained from it can be used to monitor with what reliability the sensor nodes will be able to participate in further network communications. The notions of the Reliability Matrix, the Momentary Activity Matrix, the Momentary Load Matrix and the Load Matrix as well as that of the reliability sensor groups were introduced; they store information on the operation reliability of the sensor network tested in a concise way, thus facilitating the algorithm-approach testing of the system, the computerised data representation of sensor networks based on reliability graph models and the evaluation of the operation of the complete network. These self-organising mathematical abstractions lend themselves readily to testing the existence of the communications connection between the nodes of the self-organising sensor network, the activity values of the sensors, the reliability rates of the nodes and edges, the sending-receiving relation as well as to finding overloaded network segments.*

### THESIS 2

[s1] [s3] [s6][s8][s10][s13]

**The model constructed in Thesis 1 was used to define the weight function to produce the weight values of the edges, which can be used to create a routing algorithm that considers the energy consumption of the sensor nodes.**

*Input parameters of the weight function are the reliability rates of two nodes within each other's scopes of operation, which are used to produce as an output the edge weight value between two nodes. The*

*weight function was refined in the following way: higher reliability is denoted by a smaller weight value while smaller reliability is denoted by a higher weight value. This ensured that the source-sink route search based on edge weights could be traced back to the problem of minimum path search. The surfaces obtained in the course of 3D mapping of the input parameters of the starting and then of the refined weight function and of the weight values generated as outputs supported the goodness of the reliability-based operation of the function-relation established between the inputs and outputs.*

**THESIS 3**

[s1] [s3] [s8][s11][s18][s20]

**A new routing methodology, a reliability graph model-based path-finding algorithm was worked out to ensure balanced load for the nodes and to provide maximum lifetime for mesh type wireless sensor networks.**

*The routing method introduced provides the most reliable route between any source and sink nodes in the mesh network by using minimum path search. The operation of the algorithm is based on node reliability classes (M-: unreliable, MRx: reliable for reception, MTx: reliable for transmission, M+: reliable) considering that a given node has sufficient energy for transmission, reception or both operations.*

**THESIS 4**

[s1] [s3] [s8][s18][s19][s20]

**A framework system integrating the reliability graph model was implemented, which is aimed at the simulation of monitoring the operation of the weight function.**

*By means of the new model introduced and the representation modes presented it becomes possible to implement an application which is capable of visualising the inter-node relations and the reliability of nodes and edges, as well as of monitoring the operation of the algorithm aimed at the efficiency of energy utilisation. The reliability graph model-based path-finding algorithm was verified by operation simulation tests. The simulation tests show it clearly that the reliability*



*graph-based approach facilitates a balanced loading of the nodes; moreover, the visual representation of the node reliability classes also proved that if there was no intervention in time, the load was passed on to other nodes resulting from the self-organising character, which in the long term leads to a loss of nodes, the development of isolated network parts, as well as to loss of data and unexpected extra costs.*

The reliability graph makes it possible to plan maintenance in advance and to prevent the depletion of the nodes. In this way it becomes possible to increase the predictability of the operation of the sensor network, to detect the overloaded sensor nodes which are soon to drop out of the overloaded network topology, as a result of which it becomes possible to prevent the development of isolated network parts and to prevent the network from becoming inoperable.

As a result, the probability of network outages due to depleted nodes and the number of messages undelivered or lost can be minimised, as well as unexpected network outages due to large-scale maintenance works can be prevented together with the extra costs generated by them, all of which will ensure a more predictable and more reliable network operation.

The system developed for calculating and storing the reliability rates of the sensor nodes and of the edge weights and for facilitating the performance of the related statistical computations also includes a sensor grid generating module.

As a limitation of the conceptual model it is essential to note that it is a centralised-approach model, that is it assumes that we are in possession of the necessary information concerning the complete system. As a consequence, the author wishes to refine the model so that it will become possible to monitor the lifetime of sensor nodes, facilitating the planning of maintenance works and thus preventing unexpected network losses in infrastructure-independent sensor networks as well.

**IRODALOMJEGYZÉK**

- [1] Intanagonwiwat, C., R. Govindan, and D. Estrin, Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks. 2000: Mobile Computing and Networking.
- [2] Ed Callaway, P. Gorday, L. Hester, J.A. Gutierrez, M. Neave, B. Heile, V. Bahl: Home networking with IEEE 802.15.4: A developing standard for low-rate wireless personal area networks, IEEE Communication Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 70-77, August 2002.
- [3] Manoj Ahlawat: Wireless Sensor Network-A Theoretical Review International Journal of Wired and Wireless Communications, Vol.1, Issue 2, April, 2013
- [4] Man Wah Chiang, Zeljko Zilic, Katarzyna Radecka, Jean-Samuel Chenard, "Architectures of Increased Availability Wireless Sensor Network Nodes" IEEE, Vol.2, pp 1232-1240, Feb 2004.
- [5] Podobni Katalin: Legrövidebb útkereső algoritmusok, Diplomamunka, ELTE, Budapest, 2009.
- [6] Lengyel Zoltán: ZigBee hálózat analízátor fejlesztése, BME, TDK dolgozat, 2007.
- [7] Vincze Zoltán, Vida Rolland: Mobil eszközök alkalmazása szenzorhálózatokban, Híradástechnika
- [8] Dóra László: Biztonságos adattovábbítás vezeték nélküli multi-hop hálózatokban mobil felhasználók számára, PhD Értekezés, BME, 2011.
- [9] Ballagi Áron: Zigbee: vezeték nélküli komplex szenzorhálózatok gyorsan, olcsón, hatékonyan [http://publikacio.uni-miskolc.hu/data/ME-PUB-16513/Ballagi\\_Zigbee\\_Poster.pdf](http://publikacio.uni-miskolc.hu/data/ME-PUB-16513/Ballagi_Zigbee_Poster.pdf)
- [10] GÉMESI ROLAND, IVÁDY BALÁZS, ZÓMBIK LÁSZLÓ: Processz algebrai eszközök a szenzorhálózatok biztonsági vizsgálatában, Híradástechnika, LIX. ÉVFOLYAM 2004/8
- [11] Vincze Zoltán: ENERGIAHATÉKONYSÁG NÖVELŐ TECHNIKÁK VEZETÉKNÉLKÜLI SENZORHÁLÓZATOKBAN, PhD Értekezés, BME, 2008.
- [12] Ács Gergely: 'Biztonságos útvonalválasztás többugrásos vezeték nélküli hálózatokban, PhD Értekezés, BME, Budapest, 2008.
- [13] Szilágyi László, Cinkler Tibor, Csernátóny Zoltán: Energiahatékony hálózati megoldások, Híradástechnika, LXV. Évfolyam, 2010/7-8
- [14] M.J. Handy, M. Haase, D. Timmermann, "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection," 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, pp. 9-11, September 2002.
- [15] Indranil Saha, Lokesh Kumar Sambasivan, Subhas K. Ghosh, Ranjeet K. Patro: Distributed Fault Tolerant Topology Control in Wireless Ad-hoc Sensor Networks, 2006 IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, Bangalore, IEEE, ISSN 1811-3923
- [16] Yu-Chee Tseng, Yen-Ning Chang, Bour-Hour Tzeng: Energy-efficient Topology Control for Wireless Ad Hoc Sensor Networks, Journal of Information Science and Engineering 20., pp. 27-37, 2004
- [17] M. Bahramgiri, M. Hajiaghayy, V. S. Mirrokni: Fault-tolerant and 3-dimensional distributed topology control algorithms wireless multi-hop networks, 11th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), pp. 392-398, 2002
- [18] C.C. Shen, C. Srisathapornphat, R. Liu, Z. Huang, C. Jaikaeo, E. L. Lloyd: CLTC: A Cluster-Based Topology Control Framework For Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 3., No. 1, pp. 18-32, Jan-Mar 2004
- [19] Yong Chen, S. H. Son: A Fault Tolerant Topology Control In Wireless Sensor Networks, 3rd ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications, 2005

- 
- [20] Nig Li, Jennifer C. Hou, Lui Sha: Design and Analysis of an MST-Based Topology Control Algorithm, IEEE INFOCOM, 2003
- [21] Jilei Liu, Baochun Li: Distributed Topology Control in Wireless Sensor Networks with Asymmetric Links, GLOBECOM 2003 – IEEE Global Telecommunications Conference, no. 1, pp. 1257-1262, Dec 2003
- [22] Xiaoyu Chu; Harish Sethu, "Cooperative topology control with adaptation for improved lifetime in wireless ad hoc networks", INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE, vol., no., pp.262, 270, 25-30 March 2012.
- [23] Sanaz Naziri, Majid Haghighparast, Somayeh Hasanpoor, "Improving Lifetime and Reliability in Routing Real-Time Wireless Sensor Networks based on Hybrid Algorithm" AJBAS, Vol.5, pp1105-1109, 2011.
- [24] Perkins, C., Ad-hoc on-demand distance vector routing. MILCOM, 1997.
- [25] Mclurkin, J., Algorithms for distributed sensor networks. 1999: Masters Thesis for Electrical Engineering at the University of California, Berkeley.
- [26] Pottie, G. and W. Kaiser, Wireless Integrated Network Sensors (WINS): Principles and Approach. Communications of the ACM, 2000. 43.
- [27] I.F. Akyildiz, W. Su\*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci: Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks 38, pp. 393–422, Elsevier, 2002
- [28] J. Agre, L. Clare, An integrated architecture for cooperative sensing networks, IEEE Computer Magazine (May 2000) 106–108.
- [29] Andrásfai Béla: Gráfelmélet: folyamatok, mátrixok, Akadémiai Kiadó, ISBN 963 05 3146 1, Budapest 1983
- [30] Katona Gyula Y., Recski András, Szabó Csaba: Gráfelmélet, algoritmuselmélet és algebra, ELTE, Budapest 1997
- [31] Hajnal Péter: Gráfelmélet, Polygon Kiadó – SZTE Bolyai Intézet, 2003
- [32] Friedl Katalin, Recski András, Simonyi Gábor: Gráfelméleti feladatok, Typotex Kiadó, Budapest, 2006
- [33] Gang Zhao: Wireless Sensor Networks for Industrial Process Monitoring and Control: A Survey, Vol. 3, No. 1, , ISSN 1943-3581, 2011
- [34] P. Bauer, M. Sichitiu, R. Istepanian, K. Premaratne, The mobile patient: wireless distributed sensor networks for patient monitoring and care, Proceedings 2000 IEEE EMBS International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine, 2000, pp. 17–21.
- [35] B.G. Celler et al., An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly, International Conference IEEE-EMBS, New York, 1994, pp. 908–909.
- [36] Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, Piotr Kwasniewski, Izabela Windyga: Comparative Study of Wireless Sensor Networks Energy-Efficient Topologies and Power Save Protocols, Journal of Telecommunications and Information Technology, 3/2009
- [37] O. Dousse, P. Thiran, and Martin Hasler: Connectivity in ad-hoc and hybrid networks, Proceedings of IEEE Infocom 2002, New York, June 2002.
- [38] I. Rubin, R. Zhang and H. Ju: Topological performance of mobile backbone based wireless ad-hoc network with unmanned vehicles, Proceedings of IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC 2003), New Orleans, March 2003.
- [39] F. Sun and M. Shayman, "Minimum interference algorithm for integrated topology control and routing in wireless optical back-bone networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Paris, June 2004.
-

- [40] F. Reichenbach, „Localization in wireless ad hoc networks“, Master Thesis, University of Rostock, Germany, 2004.
- [41] Peter Corke, Fellow, Tim Wark, Member, Raja Jurdak, Wen Hu, Philip Valencia, Darren Moore: Member Environmental Wireless Sensor Networks, Vol. 98, No. 11, November 2010
- [42] T. L. Dinh, W. Hu, P. Sikka, P. I. Corke, L. Overs, and S. Brosnan, B: Design and deployment of a remote robust sensor network: Experiences from an outdoor water quality monitoring network, in Proc. 2nd IEEE Int. Workshop Practical Issues in Building Sensor Netw. Appl., Dublin, Ireland, 2007, pp. 799–806.
- [43] J. Blumenthal, F. Reichenbach, M. Handy, and D. Timmermann, “Optimal adjustment of the coarse grained localization-algorithm for wireless sensor networks”, Invited Paper, Proceedings of 1st Intl. Workshop on Positioning, Navigation, and Communication WPNC’2004, Hanover, Germany, March 2004.
- [44] S. Feldmann, “An indoor Bluetooth-based positioning system: concept, implementation and experimental evaluation”, ICWN’03, Las Vegas, USA, Institute of Communications Engineering, Hanover, June 23-26, 2003.
- [45] C. Savarese, “Robust positioning algorithm for distributed ad-hoc wireless sensor networks”, Technical Report, Delft University of Technology, 2001
- [46] ABI Research (2005). “Location Based Services”, Oyster Bay, NY, June 2005. [http://www.abiresearch.com/products/market\\_research/Location\\_Based\\_Services](http://www.abiresearch.com/products/market_research/Location_Based_Services)
- [47] Atmel Corporation (2005). Atmel Corporation, San Jose, CA 95131, USA. [http://www.atmel.com/dyn/corporate/view\\_detail.asp?FileName=Baldur\\_GPS\\_4\\_25.htm](http://www.atmel.com/dyn/corporate/view_detail.asp?FileName=Baldur_GPS_4_25.htm)
- [48] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. (2000). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In IEEE INFOCOM 2000, Tel Aviv, Israel.
- [49] J. H. Chang and L. Tassiulas, Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks, in Proceedings of IEEE INFOCOM, Vol. 1, 2000, pp. 22-31.
- [50] X. Cheng, A. Thaler, G. Xue, D. Chen. (2004). TPS: A Time-Based Positioning Scheme for Outdoor Wireless Sensor Networks. INFOCOM 2004
- [51] E. Elnahrawy, J. Austen-Francis, R. P. Martin. (2007). Adding Angle of Arrival Modality to Basic RSS Location Management Techniques. Presented at the IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing, San Juan, Puerto Rico, 5-7 February, 2007.
- [52] Hung-Chi Chu and Rong-Hong Jan (2005). A GPS-less self-positioning method for sensor networks. 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2005. Proceedings. Volume 2, 20-22 July 2005 Page(s):629 - 633 Vol. 2
- [53] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher. (2003). Range-free localization schemes for large scale sensor networks. In Proceedings of ACM MOBICOM, 2003.
- [54] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks, IEEE Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000, pp. 1–10.
- [55] K. Henricksen and J. Indulska (2005). Developing context-aware pervasive computing applications: Models and approach. Pervasive and Mobile Computing, Volume 2, Issue 1, February, Pages 37-64
- [56] J. Hightower, R. Want, and G. Borriello, (2000). SpotOn: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. Technical Report UW CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, Feb. 2000.
- [57] J. Kjeldskov, C. Graham, D. Pedell, F. Vetere, S. Howard, S. Balbo and J. Davies. (2005). Evaluating the Usability of a Mobile Guide: The influence of Location, Participants and

- Resources. Behaviour and Information Technology, 24(1):51-65., <http://www.cs.aau.dk/~jesper/html/projects.html#trammate>
- [58] C. Savarese, J. Rabaey, and K. Langendoen, "Robust positioning algorithms for distributed ad hoc wireless sensor networks," in Proceedings of USENIX Annual Technical Conference, 2002.
- [59] C. R. Rao (1945). Information and accuracy attainable in the estimation of statistical parameters. Bulletin of the Calcutta Mathematical Society, 37:81–91, 1945.
- [60] Savvides, C.-C. Han, and M. B. Strivastava. (2001). Dynamic fine-grained localization in ad hoc networks of sensors. In Proceedings of ACM MOBICOM, 2001.
- [61] H. Shi, X. Li, Y. Shang, D. Ma (2005). Cramer-Rao Bound Analysis of Quantized RSSI Based Localization in Wireless Sensor Networks. In Proceedings of 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2005. Volume 2, p. 32-36.
- [62] M.L. Sichitiu and V. Ramadurai. (2004). Localization of Wireless Sensor Networks with a Mobile Beacon. In Proceedings of the First IEEE Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS 2004), (Fort Lauderdale, FL), October 2004
- [63] H. Yunos, J. Gao, & S. Shim (2003). Wireless advertising's challenges and opportunities. IEEE Computer, Vol. 36, No 5.
- [64] B. Krishnamachari, D. Estrin, S. B. Wicker: The impact of data aggregation in wireless sensor networks, [ in Proc. 22nd Int. Conf. Distrib. Comput. Syst.,
- [65] 2002, pp. 575–578. Chris Savarese, K. Langendoen, and J. Rabaey. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks. Proceedings of the General Track: 2002 USENIX Annual Technical Conference, pages 317-327, 2002
- [66] Vaidyanathan Ramadurai and M. L. Sichitiu. Localization in wireless sensor networks: A probabilistic approach. In Proc. of the 2003 International Conference on Wireless Networks (ICWN 2003), pages 275-281, Las Vegas, NV, June 2003.
- [67] X. Ji and H. Zha. Multidimensional scaling based sensor positioning algorithms in wireless sensor networks. In Proceedings of the 1st Annual ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pages 328-329, Nov. 2003.
- [68] Saad Biaz and Yiming Ji. Precise distributed localization algorithms for wireless networks. Submitted to IEEE Infocom 2005, July, 2004.
- [69] K. Langendoen and N. Reijers. Distributed location in wireless sensor networks: A quantitative comparison. Computer Networks, 43:499-518, 2003.
- [70] Keil, J. and C. Gutwin: 1989, 'The Delaunay triangulation closely approximates the complete Euclidean graph'. In: Proc. 1st Workshop Algorithms Data Structure (LNCS 382).
- [71] Keil, J. M. and C. A. Gutwin: 1992, 'Classes of graphs which approximate the complete Euclidean graph'. Discr. Comp. Geom. 7, 13–28.
- [72] Kuhn, F., R. Wattenhofer, and A. Zollinger: 2002, 'Asymptotically Optimal Geometric Mobile Ad-Hoc Routing'. In: International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications (DIALM).
- [73] Kuhn, F., R. Wattenhofer, and A. Zollinger: 2003, 'Worst-Case Optimal and Average-Case Efficient Geometric Ad-Hoc Routing'. In: ACM Int. Symposium on Mobile Ad-Hoc Networking and Computing (MobiHoc).
- [74] Li, L., J. Y. Halpern, P. Bahl, Y.-M. Wang, and R. Wattenhofer: 2001a, 'Analysis of a Cone-Based Distributed Topology Control Algorithms for Wireless Multi-hop Networks'. In: PODC:ACM Symposium on Principle of Distributed Computing.
- [75] Li, X.-Y., G. Calinescu, and P.-J. Wan: 2002a, 'Distributed Construction of Planar Spanner and Routing for Ad Hoc Wireless Networks'. In: 21st Annual Joint Conference of the, IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), Vol. 3.

- [76] Bevíz Péter: Akusztikus távolságmérésen alapuló lokalizáció szenzorhálózatban, Szakdolgozat, BME, Budapest 2011
- [77] Ajtonyi István: Ipari kommunikációs rendszerek IV., Vezeték nélküli ipari kommunikációs rendszerek, 467 p Miskolc, Aut-Info Kft. 2011. ISBN:978-963-08-1516-1
- [78] Lloyd, E., Liu, R., Marathe, M., Ramanathan, R., and Ravi, S. (2002). Algorithmic aspects of topology control problems for ad hoc networks. In Proceedings of the ACS MobiHoc 2002 Conference, pages 123-134
- [79] Althaus, E., Calinescu, G., Mandoiu, I.I., Prasad, S., Tchervenski, N., and Zelikovsky, A. (2003). Power efficient range assignment in ad-hoc wireless networks. In Proceedings of the IEEE WCNC 2003 Conference, pages 1889-1894.
- [80] Wieselthier, J., Nguyen, G., and Ephremides, A. (2000). On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks. In Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000 Conference, pages 585-594.
- [81] I. Glauche, W. Krause, R. Sollacher, and M. Greiner. Continuum percolation of wireless ad hoc communication networks. *Physica A*, 325:577-600, 2003.
- [82] W. Krause, R. Sollacher, and M. Greiner. Self-? topology control in wireless mul-tihop ad hoc communication networks. Submitted for publication.
- [83] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practices*. Prentice Hall, 1996.

**SAJÁT PUBLIKÁCIÓK**

- [s1] Varga Attila K , Czap László: Reliability graph model for sensor networks, 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015), Debrecen, 2015.11.19 Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 238244. (ISBN:9789634739173)
- [s2] Varga Attila K , Czap László: Development of a web-based system for evaluation of speech samples of deaf and hard of hearing children, 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015), Debrecen, 2015.11.19 Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 238244. (ISBN:9789634739173)
- [s3] Varga Attila Károly , Czap László: Önszerveződő vezeték nélküli szenzorhálózatok megbízhatósági modellje, In: ENELKO 2015, XVI. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Arad , Románia, 2015.10.08 2015.10.11., Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 165-170.
- [s4] Czap László , Illés Béla , Varga Attila: Concept of a Speech Assistant System, In: 4th Word Congress on Software Engineering WCSE 2013 . Konferencia helye, ideje: Hong Kong , Kína , 2013.12.03 2013.12.04., Hong Kong: IEEE Computer Society, pp. 207211.
- [s5] Varga Attila K.: ZIGBEE vezeték nélküli szabvány, 28th microCAD Nemzetközi Multidiszciplináris Tudományos Konferencia, Miskolc, 2014.04.10-2014.04.11., 2014. Paper 01. 6 p., ISBN:978-963-358-051-6
- [s6] Varga Attila K.: ZIGBEE ALAPÚ VEZETÉK NÉLKÜLI ÖNSZERVEZŐDŐ HÁLÓZATOK, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21., Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2014. pp. 437-440., (Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ; 19.)
- [s7] Varga Attila K.: WEB-ALAPÚ AUTOMATIZÁLÁS, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21., Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2014. pp. 441-444., (Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ; 19.)
- [s8] Attila K. Varga: ZigBee Based Wireless Sensor Networks, Proceedings of the International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2014). Debrecen, 2014.10.08-2014.10.09., ISBN:978-963-473-751-3
- [s9] Attila K. Varga: Self organizing in wireless sensor networks, Proceedings of the 1st international scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2013), 10-11 October 2013, Debrecen, pp. 218-211., ISBN:978-963-473-623-3
- [s10] Varga Attila K.: Localization Techniques in Wireless Sensor Networks, PRODUCTION SYSTEMS AND INFORMATION ENGINEERING 6: pp. 81-90. (2013)

- [s11] Varga Attila K.: Lokalizációs Algoritmusok Önszerveződő Vezeték Nélküli Szenzor Hálózatokban, GÉP 63:(9) pp. 35-38. (2012)
- [s12] Varga Attila K.: A Miskolci Egyetem Program Háló Felületének Fejlesztése, GÉP 63:(5) pp. 39-42. (2012)
- [s13] Varga Attila K.: Lokalizáció vezeték nélküli ad-hoc szenzor hálózatokban, MŰSZAKI SZEMLE (EMT) 17: pp. 351-354. (2012)
- [s14] Varga Attila K.: Gépi beszédfelismerés, MŰSZAKI SZEMLE (EMT) 17: pp. 355-388. (2012)
- [s15] Varga Attila K.: Localization Techniques Used in Self-organizing Wireless Sensor Networks, Tavaszi Szél 2012 = Spring Wind 2012. Győr, 2012.05.17-2012.05.20. (Széchenyi István Egyetem)
- [s16] Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2012. pp. 478-484., ISBN:978-963-89560-0-2
- [s17] Attila K Varga, István Ajtonyi: Localization algorithms used in self-organizing wireless sensor networks, 12th International Carpathian Control Conference: IEEE ICC 2011. Konferencia helye, ideje: Velké Karlovice, Csehország, 2011.05.25-2011.05.28. Piscataway: IEEE, 2011. pp. 410-413., ISBN:978-1-61284-360-5
- [s18] Attila K Varga: Localization in Ad-Hoc Wireless Sensor Networks, microCAD 2011, G Section: XXV. International Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-2011.04.01. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2011. pp. 43-48., ISBN:978-963-661-960-2
- [s19] Varga Attila: A ZIGBEE VEZETÉK NÉLKÜLI KOMMUNIKÁCIÓS SZABVÁNY, In. Ajtonyi István: Ipari kommunikációs rendszerek IV.: Vezeték nélküli ipari kommunikációs rendszerek. 467 p., Miskolc: Aut-Info, 2011. pp. 119-159., ISBN:978-963-08-1516-1
- [s20] Varga Attila K., Ajtonyi István: Önszerveződő vezeték nélküli szenzor hálózatoknál alkalmazott lokalizációs technikák, Doktoranduszok fóruma: Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa, Miskolc, 2010.11.10, Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, pp. 120-125.
- [s21] Varga Attila K.: Localization in Ad-Hoc Wireless Sensor Networks microCAD 2011, H szekció: XXV. International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-2011.04.01., 2011.
- [s22] Varga Attila: Az ipari Ethernet kialakulása, In. Ajtonyi István: Ipari kommunikációs rendszerek III.: Ipari ethernet alapú kommunikáció és automatizálás. Miskolc: Aut-Info, 2010. pp. 120-146., ISBN:978-963-06-8988-5
- [s23] Varga Attila: WEB-ALAPÚ FOLYAMATIRÁNYÍTÁS ÉS ALKALMAZÁSA, In. Ajtonyi István: Ipari kommunikációs rendszerek III.: Ipari ethernet alapú kommunikáció és automatizálás. Miskolc: Aut-Info, 2010. pp. 238-259., ISBN:978-963-06-8988-5



- [s24] Varga Attila K, Dalmi Dénes: Quality assessment of motion picture transmission over digital channels, PRODUCTION SYSTEMS AND INFORMATION ENGINEERING 5: pp. 139-150. (2009)
- [s25] Varga Attila K, Ádám Tihamér: Error analysis of digital transfer channels, Proceedings of 10th International Carpathian Control Conference (ICCC'2009). Konferencia helye, ideje: Zakopane, Lengyelország, 2009.05.24-2009.05.27. Kraków: Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Electronics, AGH University of Science and Technology, 2009. pp. 265-268., ISBN:8389772-51-5
- [s26] Ajtonyi István, Varga Attila K.: Új tudásanyagot eredményező kutatás lefolytatása a real-time alapú és a vezeték nélküli műszerezés erőműves alkalmazás lehetőségének vizsgálata és megbízhatósági kérdéseinek elemzése során, az alábbi részletezés szerint: A real-time ethernet alapú kommunikáció feltételrendszerének feltárása és alkalmazásának kidolgozása az erőműves technológiák irányításánál, 2008.
- [s27] Ajtonyi István, Varga Attila K.: REAL-TIME ETHERNET ALAPÚ KOMMUNIKÁCIÓ FELTÉTELRENDSZERÉNEK FELTÁRÁSA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK KIDOLGOZÁSA AZ ERŐMŰVES TECHNOLÓGIÁK IRÁNYÍTÁSÁNÁL, ipari munka
- [s28] Varga Attila K, Ádám Tihamér: Digitális átviteli csatornák hibavizsgálata, In. Doktoranduszok Fóruma 2008: Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2008 Miskolc: Miskolci Egyetem (ME), pp. 104-109.
- [s29] Ajtonyi István, Varga Attila K.: Az erőműben telepített égővezérlő irányítások biztonsági analízise alapján javaslattétel a módosításokra a biztonságos üzemeltetés érdekében: Az MLR-RET 6070101 sz. témaszámú projekthez kapcsolódó kutatás
- [s30] Kovács János, Varga Attila K.: Mozgókép-továbbító digitális átviteli csatornák hibavizsgálata, MAGYAR TÁVKÖZLÉS 4: pp. 25-30., 2007.
- [s31] Varga Attila K, Ádám Tihamér: Error analysis and modelling of digital transfer channel, Proceedings of International Carpathian Control Conference ICC 2007. Konferencia helye, ideje: High Tatras, Szlovákia, 2007.05.24-2007.05.27. Kosice: Technical University of Kosice, 2007. pp. 734-737., ISBN:978-80-8073-805-1
- [s32] Ádám Tihamér, Kane Amadou, Monica Borda, Serfőző Péter, Varga Attila K.: Digitális Jelprocesszorok és Infokommunikációs Alkalmazásaik, Miskolc: Miskolci Egyetem (ME), 2006. 344 p., ISBN:978-963-229-254-0
- [s33] Ajtonyi István, Varga Attila K, Ballagi Áron, Gyuricza István: Review of the alarm management system of the AES TISZA 2 power plant, Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference, ICC 2006: XXXIth Seminary ASR'2006 „Instruments & Control”, 8th Automatyzcja maszyn, urządzeń i procesów, APRO, 20th Automated systems of control of technological processes, ASR TP 2006. Konferencia helye, ideje: Roznov pod Radhostem, Csehország,

- 2006.05.29-2006.05.31. Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava, 2006. pp. 29-32., ISBN:80-2481066-2
- [s34] Ajtonyi István, Ballagi Áron, Gyuricza István, Trohák Attila, Varga Attila K.: Erőművi DCS alarm management rendszerének felülvizsgálata és a kapcsolódó szabályozó körök identifikációja, DCS-12: Folyamatirányító rendszerek XII. Találkozó : Miskolc-Lillafüred, 2006. okt. 25-27.. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2006.10.25-2006.10.27. Miskolc: pp. 1-8.
- [s35] Ajtonyi István, Varga Attila K, Ballagi Áron, Gyuricza István: Identification of the DCS control loops of a power plant, Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference, ICCCC'2006: XXXIth Seminary ASR'2006 „Instruments & Control”, 8th Automatyzacja maszyn, urządzeń i procesów, APRO, 20th Automated systems of control of technological processes, ASR TP 2006. Konferencia helye, ideje: Roznov pod Radhostem, Csehország, 2006.05.29-2006.05.31. Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava, 2006. pp. 25-28., ISBN:80-2481066-2
- [s36] Ajtonyi István, Varga Attila K.: HAZOP vizsgálati módszerek és SIS biztonsági algoritmusok kutatása és kidolgozása: Az ML-RET 6050101 sz témaszámú projekthez kapcsolódó alap kutatás
- [s37] Formanek Bence, Dalmi Dénes, Varga Attila K.: Modern video kódolási eljárások és a sebesség csökkentés lehetőségei, ENELKO 2006 VII Nemzetközi Energetikai Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2006.10.20-2006.10.22., Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 29-34.
- [s38] Serfőző Péter, Vásárhelyi József, Varga Attila K.: Analysis of hardware resources of Mojette transform implementation, TRANSACTIONS OF THE UNIVERSITY OF MINING AND METALLURGY OF OSTRAVA. MECHANICAL SERIES 52:(2) pp. 155-160., 2006.
- [s39] Varga Attila K, Serfőző Péter, Amadou Kane, Ádám Tihamér: Analysing and broadcasting transport streams over digital cable television network, TRANSACTIONS OF THE UNIVERSITY OF MINING AND METALLURGY OF OSTRAVA. MECHANICAL SERIES 52:(2) pp. 209-212., 2006
- [s40] Varga Attila K, Ádám Tihamér: Error analysis of digital transfer channels, Doktoranduszok fóruma 2006: Gépészmérnöki Kar szekciókiadványa. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2006.11.09 Miskolc: ME ITTC, pp. 234-239.
- [s41] Varga Attila K, Ádám Tihamér: Analysis of transport streams broadcast via digital cable television networks, Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference, ICCCC'2006: XXXIth Seminary ASR'2006 „Instruments & Control”, 8th Automatyzacja maszyn, urządzeń i procesów, APRO, 20th Automated systems of control of technological processes, ASR TP 2006. Konferencia helye, ideje: Roznov pod Radhostem, Csehország, 2006.05.29-2006.05.31. Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava, 2006. pp. 601-604., ISBN:80-2481066-2

- [s42] Ádám Tihamér, Amadou Kane, Varga Attila K, Vásárhelyi József: Active noise cancellation strategies based on digital signal processing - an overview, Engineering achievements across the global village: International Conference on CAD/CAM, Robotics, and Factories of the Future. 536 p., Konferencia helye, ideje: Kraków, Lengyelország, 2005 Glasgow: University of Glasgow, 2005. pp. 305-312., ISBN:8372044546
- [s43] Ádám Tihamér, Kane Amadou, Varga Attila, Vásárhelyi József: Overview of Digital Signal Processing Based Noise Cancellation Strategies, Proceedings of 6th International Carpathian Control Conference ICC 2005. Konferencia helye, ideje: Miskolc; Lillafüred, Magyarország, 2005.05.24-2005.05.27. Miskolc: Miskolci Egyetem (ME), 2005. pp. 519-528., ISBN:963 661 644 2
- [s44] Ajtonyi István, Varga Attila K., Gyuricza István, Ballagi Áron: A legkorszerűbb szabályozástechnikai módszerek alkalmazásával a Tisza II. Erőmű 4-es blokk DCS szabályozó köreinek behangolását javító, megbízhatóságot növelő tanulmány készítése, továbbá a legújabb hibajelzési metodika összehasonlítása és alkalmazásának lehetőségei a deltaV hibajelző rendszerében, tanulmány, 2006.
- [s45] Ajtonyi István, Varga Attila K., Ballagi Áron: A mechatronikában ill. szerelésautomatikában a vezeték nélküli kommunikációs rendszerek lehetőségének feltárása, tanulmány, 2006.
- [s46] Ajtonyi István, Varga Attila K., Ballagi Áron: Mikrokamerás felvételek kritikus gyártási folyamatok megfigyelésére, tanulmány, 2006.
- [s47] Varga Attila K, Kovács János: Inconsistency of telecommunication quality, Proceedings of 6th International Carpathian Control Conference ICC 2005. Konferencia helye, ideje: Miskolc; Lillafüred, Magyarország, 2005.05.24-2005.05.27. Miskolc: Miskolci Egyetem (ME), 2005. pp. 343-354., ISBN:963 661 644 2
- [s48] Czap László, Mátyás János, Serfőző Péter, Varga Attila K.: Beszélő fej, ENELKO 2004, Energetika - Elektrotechnika Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2004.10.08-2004.10.10. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2004. pp. 20-24., ISBN:9789738685291