



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Béres Roland, Polgárdi Péter

**TÁVOLI ÉGITESTEK
FELDERÍTÉSE
SZENZORHÁLÓZATOKKAL**

TDK-dolgozat

KONZULENS

Dr. Bacsárdi László, Dr. Huszák Árpád

BUDAPEST, 2016

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Abstract.....	5
1 Bevezetés	6
2 Űrkutatás és szenzorhálózatok	7
2.1 A legközelebbi bolygó a Mars	7
2.1.1 A Mars megismerésének története.....	7
2.1.2 Mars missziók a XXI. században.....	8
2.2 Szenzorhálózatok	9
2.2.1 Szenzorhálózatok általános jellemzése.....	9
2.2.2 Szenzorhálózatok csoportosítása	10
2.2.3 Szenzorhálózatok a Marson	11
3 Vizsgált szenzorhálózat modellje és az energiahatékonyság problémaköre	12
3.1 A szenzorhálózatunk felépítése.....	12
3.1.1 Szensorok és bázisállomás.....	12
3.1.2 Energiamodell.....	13
3.1.3 Szensorok állapotdiagramja.....	14
3.2 Szimulációs program	17
3.2.1 Térképek felhasználása	17
3.2.2 Domborzatmodellek.....	18
3.2.3 Domborzatmodell kialakítása	19
3.2.4 Szensorok mozgása.....	20
4 Eredmények.....	23
4.1 A domborzat hatása a fogyasztásra.....	23
4.2 Akkumulátor hatása a fogyasztásra	25
4.3 A napkollektor méretének hatása a fogyasztásra	26
4.4 A motor teljesítményének hatása a fogyasztásra	27
4.5 A mérési esély hatása a fogyasztásra	28
4.6 Mozgási algoritmusok összehasonlítása	30
4.6.1 Lefedett terület vizsgálata.....	30
4.6.2 Szimuláció időtartama	32
5 Összefoglalás.....	35

Irodalomjegyzék.....	36
-----------------------------	-----------

Összefoglaló

Naprendszerünk megismerése mindig is fontos célja volt az emberiségnek. Ez a cél a technikai vívmányoknak köszönhetően egyre közelebb került számunkra. Holdunk elérését követően következő lépésként a hozzánk legközelebb lévő bolygó, a Mars felfedezése a legkézenfekvőbb, tekintve, hogy több ember alkotta eszköz is mérési eredményekkel szolgált róla. Érdekes tendencia, hogy az államilag támogatott űrprogramok mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a privát finanszírozású kutatások. Egy távoli égitest feltérképezésénél kiemelten fontos a költséghatékony eljárás, mivel korlátozott erőforrások állnak a rendelkezésünkre. Ilyen költséghatékony eljárás a szenzorhálózatok használata, ahol nagy anyagi megtakarítást érhetünk el az „egyszondás” missziókkal szemben. A nagy távolságok miatt az emberi beavatkozás sokszor nem lehetséges. Az így felmerülő problémákra részben megoldást nyújt a szenzorhálózatok alkalmazása, ahol a földi központtal lévő kapcsolat megszakadása nem hátráltatja a méréseket. További előnyt jelent még, hogy egy eszköz meghibásodása nem veszélyezteti a küldetés sikerességét.

Dolgozatunkban egy ilyen feltételezett szenzorhálózattal foglalkoztunk, melyet több szempont szerint vizsgáltunk. Valós marsi domborzati adatokkal számolva létrehoztunk egy domborzatmodellt, melyen szenzorok különböző mozgatási algoritmusait tanulmányoztunk. Elemeztük a szenzorok közötti kommunikációt energiahatékonysági szempontból, valamint felépítettünk egy energiamodellt, ami segítségével becslést tudunk adni a szenzorok erőforrás igényére.

Kifejlesztettünk egy szimulációs programot az általunk definiált szenzorhálózat vizsgálatához. A szimuláció keretében összevetettük az algoritmusok hatékonyságát, valamint, hogy a szenzorok energiaszintje miként befolyásolja a mérési területük lefedéséhez szükséges időt.

Abstract

Getting to know our solar system has always been an important goal of humanity. Due to technical developments, this goal became more and more reachable for us. Following the exploration of Moon, the next step could be the exploration of Mars, because many man-made devices already sent measurement results from our closest planet. There is an interesting tendency that the private funding space researches are becoming more and more substantial next to state sponsored space programs. In the process of mapping a distant planet, cost efficiency is high priority since the available resources are limited. A cost efficient method is using sensor networks to explore, which can be done on a lower budget compared to “single-probe” missions. Human intervention is often not possible due to the great distances. Therefore, the usage of sensor networks can partly be a solution to the arising problems, since losing connection with the home base on Earth does hinder the measurements. Another advantage is that the failure of a device does not put the mission at jeopardy.

In this paper, we assumed such a sensor network, which we examined from different point of view. Real Martian topographical data was used to create a Digital Elevation Model on which we studied different sensor movement algorithms. We analyzed the communication between sensors from the energy-efficiency aspect and we established an energy model to estimate the resource consumption of the sensors.

A simulation program has been developed to examine our sensor network. In this simulation, we compared the efficiency of the algorithms and we investigated how the energy level of the sensors affect the time required to cover the measurement area.

1 Bevezetés

A 21. századi ember nem elégszik meg Föld megismerésével, ezért újabb és újabb bolygók felfedezését tűzte ki célul. Ennek következtében egy újabb iparág van feltörekvőben, a bolygó kutatás. A saját naprendszerünkben lévő hatalmas távolságok miatt ez komoly kihívások elé állítja a kutatókat. A mérnökök folyamatosan új ötletek megvalósításán dolgoznak, az egyik ilyen új ötlet a szenzorhálózatok alkalmazása a távoli égitestek feltérképezése során. Egy ilyen szenzorhálózatnak az előnye a szenzorok mennyiségében rejlik, mivel nem egy eszközre támaszkodunk, ezáltal nem csak a küldetés sikerességének esélyét növeljük, hanem a mérések pontosságát, valamint a lefedett területet is.

Földi viszonylatok között már sikeresen alkalmaztak szenzorhálózatokat, többek között az orvostudományban, városok infrastrukturális fejlesztésében, valamint a mezőgazdaságban [1]. Olyan szituációkban is fontos szerepet kapnak, ahol az emberi beavatkozás veszélyes vagy nem lehetséges, ilyenek például a háborús övezetek vagy a katasztrófa sújtotta területek.

Egy idegen bolygón az emberi beavatkozás mérsékelt lehetőségekkel, erre megoldás lehet a szenzorhálózatok alkalmazása. Dolgozatunkban mi is egy ilyen marsi környezetben működő szenzorhálózatot vizsgáltunk. A hálózatot felépítő szenzorok amellett, hogy mozognak, különböző méréseket végeznek, melyeket feldolgoznak, majd továbbítják egy helyi bázisállomásnak. Az energiagazdálkodást befolyásoló két fizikai tényezőt is figyelembe vettünk, az egyik a Mars felszínére jellemző domborzat, a másik a napszakok váltakozása. A szenzorok energiakiadásának számottevő része a mozgásból származik, ezért több mozgási algoritmust vizsgáltunk. Szimulációinkkal arra kerestük a választ, hogy a szenzorok különböző paraméterei mekkora mértékben befolyásolják a szenzorhálózat működését. A különböző mérésekben változtattunk a szenzorok akkumulátorainak kapacitásán, a szenzorokon elhelyezett napkollektorok méretén, a meghajtó motor teljesítményén, valamint a mérési valószínűségeken.

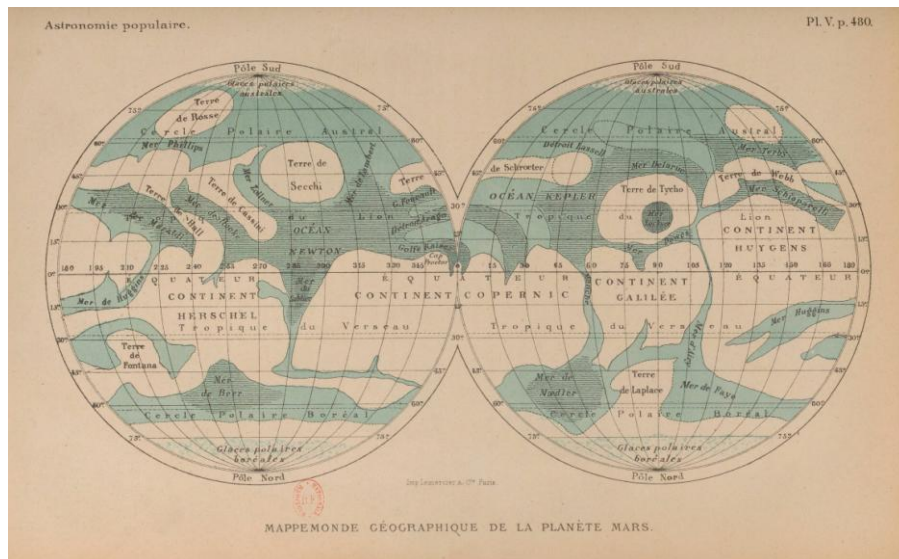
2 Űrkutatás és szenzorhálózatok

Ebben a fejezetben bemutatjuk a Mars megismerésének történetét, valamint röviden ismertetjük a szenzorhálózatok általános felépítését.

2.1 A legközelebbi bolygó a Mars

2.1.1 A Mars megismerésének története

A bolygó a római mitológiából ismert háború Istenéről kapta a nevét. A Marsról az egyik korai részletes térképet Camille Flammarion, francia csillagász készítette 1880-ban.



2.1.1-1. ábra. Camille Flammarion Mars térképe

A Mars két apró holdját 1877-ben fedezte fel Asaph Hall nevű amerikai csillagász, nevüket a római hadisten kísérőiről Phobos-ról és Deimos-ról kapták. 1965-ben a NASA Mariner-4 űrszondája rögzítette az első képeket, amelyek arról árulkodtak, hogy a Mars felszíne a Holdhoz hasonlóan kráterekkel borított [2]. A következő évtizedekben mind amerikai, mind szovjet szondák indultak a Mars felé. Az első ember alkotta eszköz, amely járt a Mars felszínén a Viking 1 leszálló egysége volt, amely nagy felbontású képeket készített, valamint vizsgálta a Mars felszínét és atmoszféráját [3].

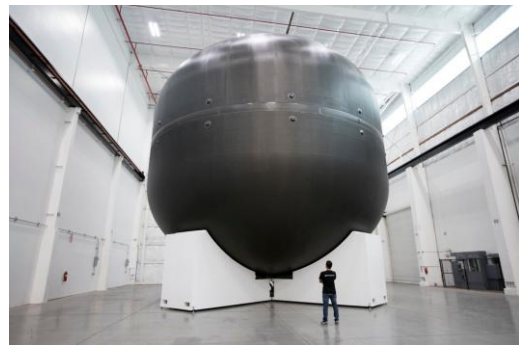
2.1.2 Mars missziók a XXI. században

A NASA legújabb projektje a Space Launch System, röviden SLS nevet viseli, ami új lehetőségeket nyit a naprendszer felfedezésében. Reményeik szerint, a világ legerősebb rakétájának segítségével embereket, valamint különböző tudományos eszközöket juttathatnak egy olyan távoli égitestre, mint a Mars. A rendszer kialakítása folyamatban van, jelenleg több komponensének tesztelése zajlik [4].

Egy sokkal ambiciózusabb terv a SpaceX vállalat Mars programja, aminek célja, egy állandó Mars kolónia létrehozása. A programot 2016 szeptemberének végén jelentette be Elon Musk, a cég vezetője. Számításaik szerint ez akkor valósítható meg, ha egy embert egy átlagos Egyesült Államokbeli ház árával megegyező összegből el lehet juttatni a Marsra. A korai elképzelések szerint a 2024-es indítási ablakban indulna az első űrhajó, ugyanis ilyen nagy távolságoknál figyelembe kell venni, hogy a két bolygó melyik időszakban van a legközelebb egymáshoz. Az elképzelés fontos eleme, hogy a visszaúthoz szükséges üzemanyagot a Marson állítják elő, ezáltal ötödére csökkenthető az indulási súly. Ennek a rendszernek túlnyomó része még csak tervezési fázisban van, azonban több egységét is legyártották már, mint például a 2.1.2-1. ábrán látható hajtómű, illetve a 2.1.2-2. ábrán látható szén-szál tartály [5].



2.1.2-1. ábra. A SpaceX vállalat „Raptor” hajtóműjének tesztje



2.1.2-2. ábra. A SpaceX által legyártott szén-szál tartály

Az Európai Űrügynökség (ESA) is aktívan foglalkozik a Mars megismerésével. Amíg a 2003-ban indított Mars Express már több mint 12 éve sikeresen működik, addig az ExoMars küldetéséről még nem lehet ilyen pozitívan nyilatkozni, a Schiaparelli nevű leszállóegysége ugyanis idén október 19-én megsemmisült.

2.2 Szenzorhálózatok

2.2.1 Szenzorhálózatok általános jellemzése

A szenzorhálózat fizikailag szenzorokból áll, de ezeket a szenzorokat hálózati elemként úgynevezett node-oknak is szokás nevezni. A tipikus szenzorhálózat három elemből tevődik össze, a forrás, a nyelő, illetve a kilépési pont. Sokféle konfiguráció létezik, de a legtöbb esetben a forrás a méréseket végző, majd az adatokat tovább küldő szenzor. A nyelők feladata a források által továbbított adatok összegyűjtése és feldolgozása. Ezeknek több számítási teljesítményre és memóriára van szükségük, viszont a hálózat részeként ugyanúgy kommunikálnak, mint a források. A kilépő pontok képesek a műholddal való kommunikációra, ezért az feladatuk, hogy a nyelő által feldolgozott adatokat elküldje a műholdnak [6]. A nagyobb szenzorhálózatokat érdemes kisebb részekre bontani, melyeket klasztereknek nevezünk. A részekre bontást indokolhatja, az egyes szenzorok fizikai közelléte egymáshoz a vizsgálandó területen, vagy logikai elhelyezkedésük a hálózatban.

Először a szenzorhálózatokat szeizmikus tevékenységek monitorozására, katonai felderítésre, valamint sugárzás mérő rendszerekben alkalmazták [7]. A technológia fejlődésével a mindennapi életben is elterjedtek. Manapság a végfelhasználó számos területen találkozhat vele, főként otthoni, illetve egészségügyi alkalmazásban. Az otthoni biztonsági és tűzvédelmi rendszerek tipikus alkalmazási lehetőségek.

A szenzorhálózat előnyei:

- Környezeti körülményekkel szembeni ellenállás;
- Képes nagy területek lefedésére;
- Önszerveződés;
- Egy eszköz meghibásodása nem veszélyezteti a küldetés sikerességét;
- Mobilitás;
- Minimális emberi beavatkozást igényel,

A szenzorhálózat hátrányai:

- Limitált energiaforrások;

- Kisebb adatsebesség;
- Biztonsági intézkedések igénye.

2.2.2 Szenzorhálózatok csoportosítása

2.2.2.1 Kommunikáció szerint

Kétféle kommunikációs elv szerint csoportosíthatjuk a hálózatokat:

- Egyugrásos (Single-hop)
- Többugrásos (Multi-hop)

Ahogy a nevük is utal rá, a két csoport közti különbség az információ áramlásban rejlik. Az egyugrásos hálózatoknál, a forrás egyből a nyelőnek továbbítja az információt, ezzel ellentétben, a többugrásos hálózatokban az információ több résztvevőn is keresztülhalad, mielőtt eljut a nyelőig [8].

2.2.2.2 Topológia szerint

Amikor létrehozunk egy hálózatot, sokféle topológiák közül választhatunk, mi ezek közül három típust mutatunk be:

- Egyugrásos csillag (Single-hop star)
- Többugrásos szövevényes (Multi-hop mesh)
- Kétszintű hierarchikus klaszter (Two-tier hierarchical cluster)

A vezeték nélküli hálózatoknál a legegyszerűbb topológia az egyugrásos csillag. Itt minden node a kilépési ponthoz közvetlenül kapcsolódik és egymással nincsenek kapcsolatban. Az egyszerűség nagyban megkönnyíti a tervezést. Nagy hátránya robusztusság hiánya, ezek mellett nehezen bővíthető. Nagyobb területek lefedéséhez a többugrásos kommunikáció szükséges, ezt használja a többugrásos szövevényes és a kétszintű hierarchikus klaszter topológia. Az előbbi tekinthető egyetlen klaszternek, míg az utóbbi több klaszterből áll, melyek élén az úgynevezett klaszter fejek (cluster head) állnak [7].

2.2.2.3 Adatküldés szerint

Az alapján, hogy a szenzorok mikor küldik el a mért adatokat, három csoportba lehet sorolni:

- Idővezérelt
- Eseményvezérelt
- Lekérdezésvezérelt

Idővezérelt esetben, a szenzorok előre meghatározott időközönként küldik az adatokat, ezzel szemben az eseményvezérelt hálózatoknál, egy bizonyos esemény bekövetkezése váltja ki az adatküldést. Amennyiben a hálózat lekérdezésvezérelt, a nyelő kérésére küldenek adatot a szenzorok [8].

2.2.3 Szenzorhálózatok a Marson

A NASA egy új ötlettel állt elő, ahol szenzorhálózatokat alkalmaznának a Mars felderítésére. A koncepció érdekessége, hogy a szenzorok maguktól nem képesek mozogni, viszont a szél segítségével képesek a helyváltoztatásra. Nagy számban, kisméretű szenzorokat, szóránának szét a magasból, melyek képesek lennének más eszköz számára elérhetetlen területeket is felderíteni. A szenzoroknak a mozgásra nem kell energiát fordítaniuk, ezért képesek csupán a környezeti energia felhasználásával működni. A működéshez szükséges energia nagy részét a naptól nyeri, de emellett képes a mozgásból, vibrációból, illetve más környezeti forrásból energiát kinyerni, ezáltal akár árnyékos helyen is képes mérésekkel szolgálni. Nagy előnyt jelent a rendszer bővíthetősége [9].

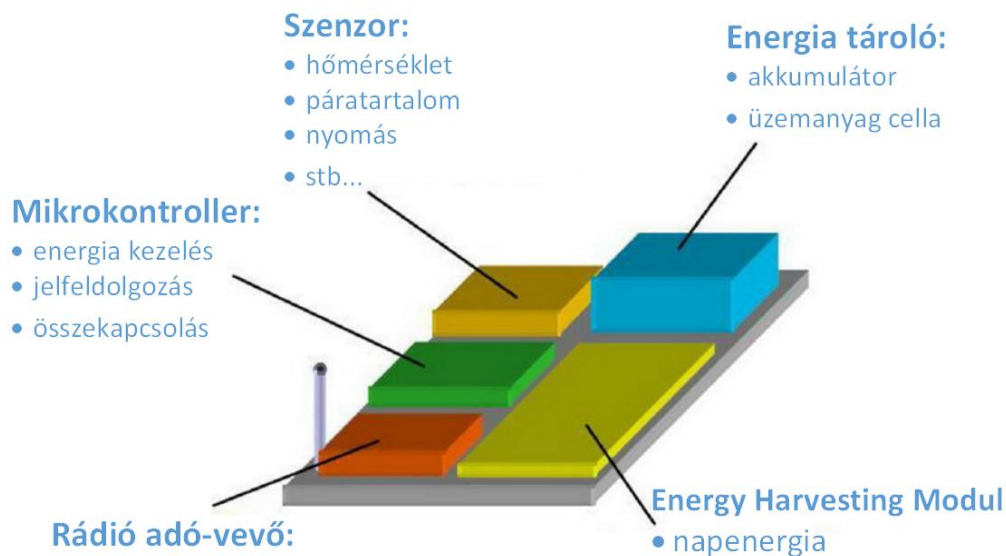
3 Vizsgált szenzorhálózat modellje és az energiahatékonyság problémaköre

3.1 A szenzorhálózatunk felépítése

Ebben a fejezetben ismertetjük az általunk létrehozott szimuláció során alkalmazott szenzorhálózatunk felépítését.

3.1.1 Szenzorok és bázisállomás

A szenzorhálózatunkban kéttípusú eszközt különböztetünk meg. Az egyik a méréseket végző, és mérésekből kinyert információt feldolgozó szenzor. Ezen eszköz képes mozogni és a feldolgozott adatokat továbbítani. Minden szenzor rendelkezik egy mérési valószínűséggel, mely azt határozza meg, hogy az adott szimulációs lépésben mérést végezzen vagy haladjon tovább a kijelölt útvonalon. A szimulációnkban ezt a lépést 6 perces időintervallumra állítottuk. A szenzorok véges energiával rendelkeznek, melyet a 3.1.3 fejezetben részletesen tárgyalunk. A másik eszköz a bázisállomás, melyből a hálózatunkban egy található. Ennek energiaviszonyait a dolgozat keretein belül nem vizsgáltuk, ezért kimeríthetetlennek feltételeztük. A bázisállomás is képes mozogni, viszont méréseket nem végez. A feladata, hogy a szenzorok által begyűjtött adatokat továbbítja a bolygó körül keringő kommunikációs egység felé.



3.1.1-1-1-1 ábra Node felépítése

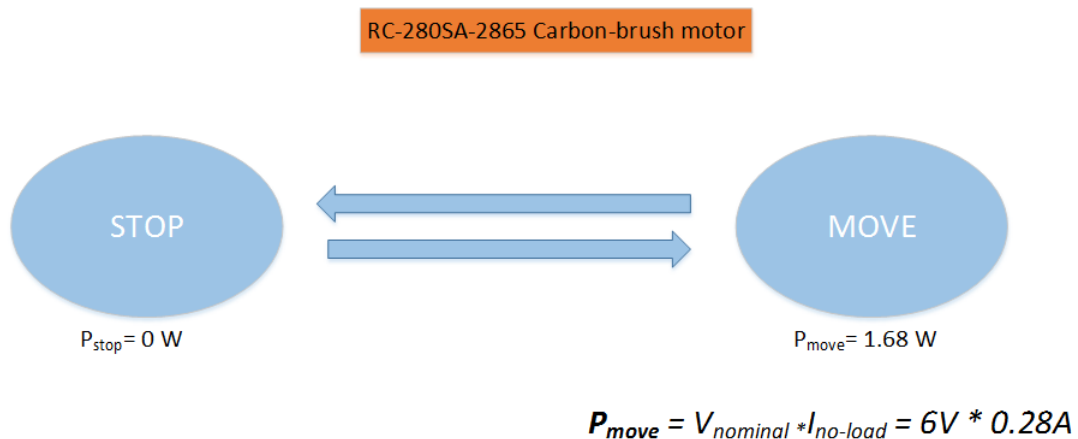
3.1.2 Energiamodell

Az energiaellátás létfontosságú az űrkatatás terén, mivel az eszközöknek hosszú távú méréseket kell végezniük. Egy szenzorhálózat modellezésénél, kiemelt figyelmet kell szentelnünk az energiaviszonyok vizsgálatára, ugyanis, ha egy szenzornak elfogy az energiája, akkor nem képes további méréseket végrehajtani. Ennek érdekében a tervezéskor gondoskodnunk kell a megfelelő energia felvételről és tárolásról, szimulációinkban 2000 mAh akkumulátort használtunk, ami 43200 Joule energiát jelent [10] Mindezek miatt, gyakran energia tárolókat alkalmaznak, valamilyen úgynevezett "energy harvesting" megoldással kiegészítve, melynek lényege, hogy a környezet felhasználásával, valamilyen módon energiát termeljük. A legtöbb esetben az akkumulátorok cseréje nem kivitelezhető, ezért célszerű valamilyen alternatív energiaforrást keresni. A legelterjedtebb megújuló energiaforrások, a nap, szél, víz, mechanikai és a termikus energia, viszont a marsi körülmények között ezeket, csak mérsékelt módon van lehetőségünk használni, mi a szimuláció során csupán a napkollektorok által felvett energiával számoltunk [11]. A külső forrásokból nyert energia, az alacsony fogyasztású vezeték nélküli szenzorok számára új kihívásokat vet fel a tervezéskor, köszönhetően a szenzorok kis méretének.

Mi ezeket a tényezőket szem előtt tartva, különböző energiamodelleket hoztunk létre a mozgásra, mérésre, adatfeldolgozásra és a kommunikációra vonatkozóan, amelyeket a következő fejezetben taglalunk [12].

3.1.3 Szenzorok állapotdiagramja

A szimulációnk során a szenzor mozgatásához, egy egyszerű motor adatait használtuk fel [13]. Két állapotot hoztunk létre, egy álló illetve egy mozgó állapotot, ezt a 3.1.3-1 ábrán láthatjuk. A mozgáshoz szükséges energiát a névleges feszültség és a terhelés nélküli áram szorzataként számoltuk. A dolgozat keretein belül nem számoltunk a mozgást befolyásoló külső tényezőkkel, mint például a közegellenállás.

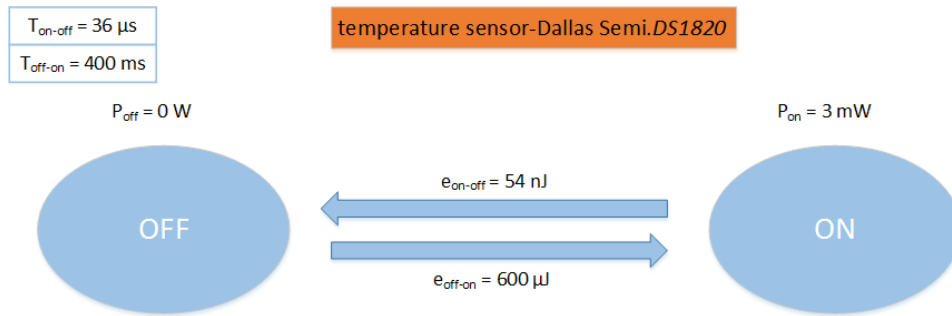


3.1.3-1 ábra Mozgás állapotdiagramja

A mérési esélytől függően, a szenzorok időközönként méréseket végeznek, ebben az esetben nem mozognak tovább. A szimuláció során, egy hőmérséklet szenzor adataival számoltunk [14]. Itt is két állapotot hoztunk létre, egyik a hőmérséklet szenzor kikapcsolt állapota, másik a bekapcsolt, ami azt jelképezi, hogy a szenzorral éppen mérést végzünk. Az állapotok közötti átváltáshoz is szükség van, egy kevés energiára, ezeket a :

$$e_{sensor-change} = \frac{1}{2} * T_{inti-end} * (P_{init} + P_{end}) \text{ képlet alapján számoltuk, ahol}$$

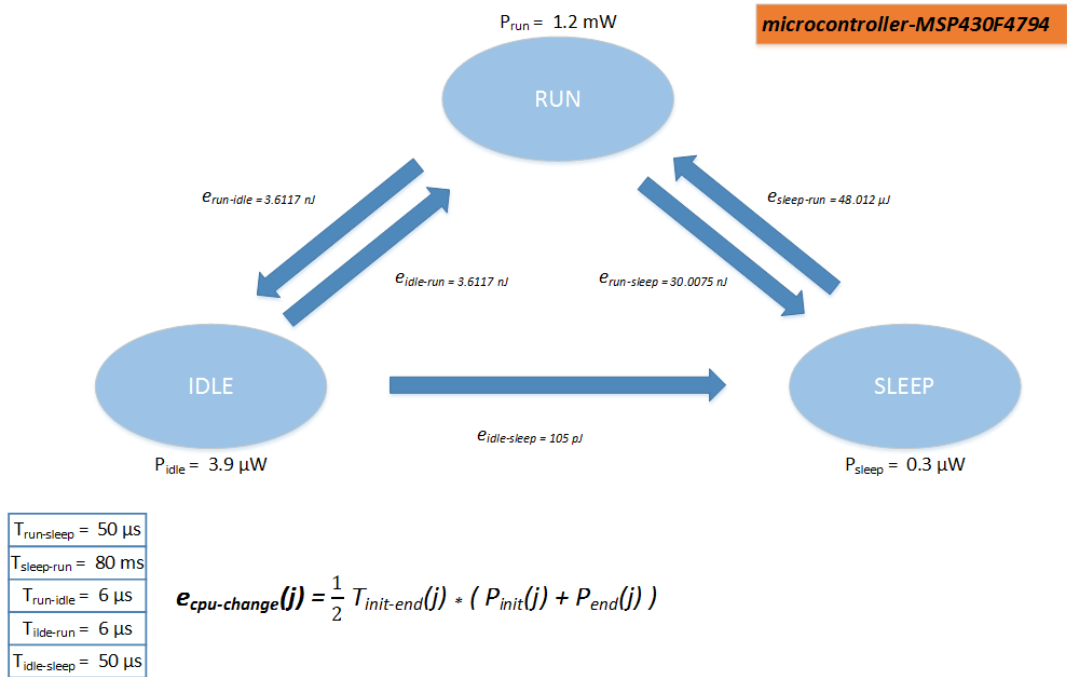
a $T_{inti-end}$ az átváltáshoz szükséges idő, a P_{init} és a P_{end} a kezdő, illetve a végállapot teljesítménye. A mérés állapotdiagramját a 3.1.3-2 ábrán láthatjuk.



$$e_{sensor-change} = \frac{1}{2} T_{init-end} * (P_{init} + P_{end})$$

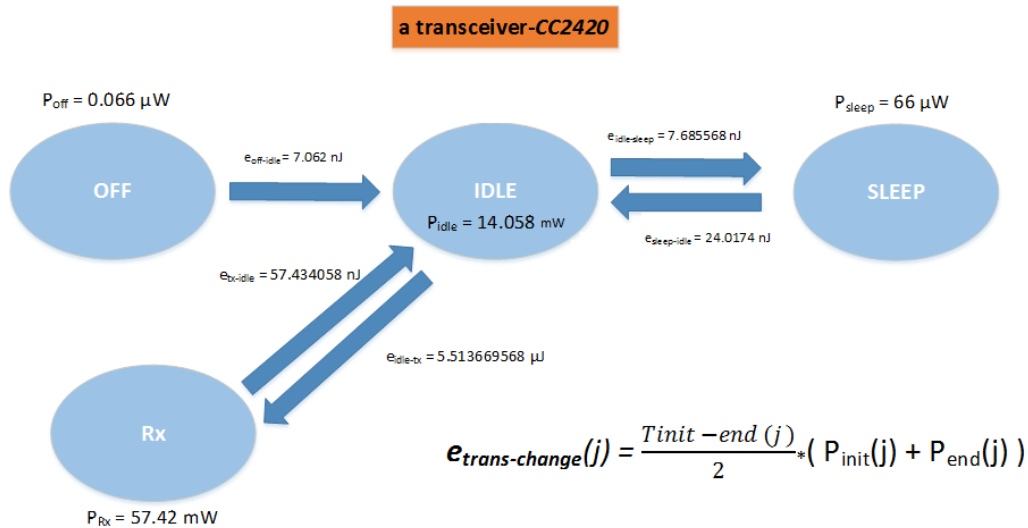
3.1.3-2 ábra Mérés állapotdiagramja

A mérést követően, az adatfeldolgozás folyamata következik, melyet egy mikrokontrollerrel végezzük [15]. Itt létrehoztunk, egy alvó állapotot, ami segítségével csökkenthetünk az energia kiadásainkon. A szimuláció elején a mikrokontroller egy úgynevezett "idle" ideális állapotból indul, amelyből a mérés hatására átkerül az adatfeldolgozó állapotba, amelyet a "run" állapot jelöl. Az állapotok közti átváltás itt is energiát igényel amit hasonló módon számoltunk, mint a mérés esetén. A mérés állapotdiagramját a 3.1.3-3 ábrán láthatjuk.



3.1.3-3 ábra Adat feldolgozás állapotdiagramja

Miután feldolgoztuk a mért adatokat, ezeket minden szenzor a bázisállomásnak küldi el. Egy adó-vevő egység adataival számolva hoztuk létre a kommunikáció állapotdiagramját, amelyet a 3.1.3-3 ábrán láthatunk [16]. Abban az esetben, amikor szükség van a kommunikációra, az adó-vevő egység a kikapcsolt állapotból átkerül az adat küldést jelölő "Rx" állapotba, egy "idle" ideális állapoton keresztül. Amikor a kommunikáció befejeződött, szintén az "idle" állapoton keresztül, egy energia takarékos "sleep" alvó állapotba kerül. Az állapotok közti átváltás szintén energia igényes folyamat, amit hasonlóan számoltunk, mint az előzőekben.

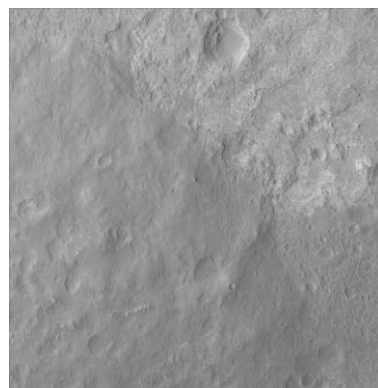


3.1.3-4 ábra Kommunikáció állapotdiagramja

3.2 Szimulációs program

3.2.1 Térképek felhasználása

A Mars körül több keringő egység is nagy pontosságú képek készítésére alkalmas. Az egyik ilyen keringő egység a Mars Reconnaissance Orbiter, melyen található a HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment – Nagy felbontású képalkotó tudományos kísérlet) [17]. Az eszköz által készített képek, valamint a belőlük generált domborzatmodell szabadon hozzáférhető az interneten [18], így ezekből tudunk dolgozni. A számos elérhető térkép közül egy olyat választottunk, mely a Gale kráter egy részét ábrázolja [19]. Ezen a területen ért földet a Curiosity marsjáró is 2012-ben [20], mely azóta is üzemel. A térképből egy négyzetkilométer nagyságú terület került kivágásra, mely a 3.2.1-1 ábrán látható.



3.2.1-1. ábra. Kép a vizsgált területről

3.2.2 Domborzatmodellek

Mivel a vizsgálandó terület domborzata jelentősen befolyásolja a szenzorok mozgatásához szükséges energiát, így elengedhetetlen volt, hogy a lehető legpontosabb adatokkal dolgozzunk. Ehhez nyújtottak segítséget a digitális terepmodellek.

3.2.2.1 Digitális terepmodell készítésének lépései

A Digital Terrain modelling [21] egy fontos része a földrajzi információ feldolgozásnak. Segítségével egy földrajzi terület sajátosságait tudjuk modellezni, analizálni, megjeleníteni. A digitális terepmodell (ezentúl DTM) készítése a következő folyamatokból áll:

- DTM generálás: mintavételezés, modell konstrukció
- DTM manipuláció: a DTM módosítása és finomítása, középszintű modell megalkotása
- DTM értelmezés: DTM analízis, információ kinyerése
- DTM vizualizáció: a DTM, valamint a származtatott információk grafikus megjelenítése
- DTM felhasználása: megfelelő felhasználási modell megalkotása

Ezek a folyamatok nem feltétlenül egyirányúak, olykor a vizualizáció és az értelmezés a DTM további manipulálását igényli, így a modellezési lépések között visszacsatolás jöhet létre.

3.2.2.2 Adat források csoportosítása

Egy DTM készítésének első és elengedhetetlen lépése a szükséges adatok begyűjtése. Az adatok forrását különbözőképpen csoportosíthatjuk.

- Felszíni mintavétel
- Fotogrammatikus adatgyűjtés
- Térképészeti források

A felszíni mintavétel rendkívül pontos DTM készítését teszi lehetővé, de számos hátránya van. Az adatok ily módon történő gyűjtése időigényes, így használata csak akkor javallott, ha a vizsgált terület kisméretű. Egy távoli égitesten az adatgyűjtő eszközök kis számából adódóan, csak korlátozottan használható. A fotogrammatikus

adatgyűjtés során légi, illetve műholddal készített fényképekből történik a szükséges információ kinyerése. Nagy területet fedhetünk le költséghatékonyan térképészeti források felhasználásával, amennyiben ezek rendelkezésre állnak.

3.2.2.3 Interpoláció

Az adatgyűjtés nem mindig tökéletes, így előfordulhat, hogy a megalkotott modell bizonyos részein hiányoznak az adatok. Az interpoláció célja, hogy a meglévő információkból becslést tudjunk adni a hiányzó adatokra.

Az egyik legegyszerűbb módszer az Inverse Distance Weighing, röviden IDW számítása, mely azzal a feltételezéssel él, hogy a nem mintavételezett területen lévő érték a környező ismert adatpontok súlyozott átlaga [22].

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(h_{ij} + \delta)^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(h_{ij} + \delta)^\beta}},$$

ahol

Z_j - a nem mintavételezett helyen lévő érték

Z_i - az ismert értékek

β - a súly

δ - a „simítási” paraméter

h_{ij} - a távolság az ismert és ismeretlen pont között

$$h_{ij} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2},$$

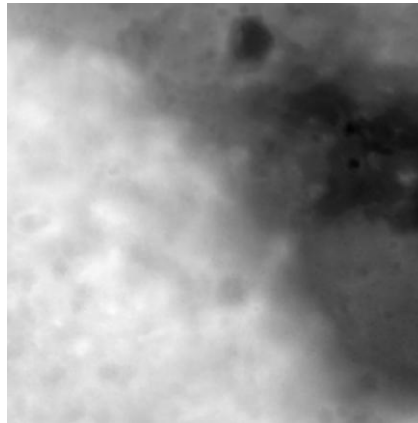
ahol Δx , Δy – távolságok az ismeretlen j pont és az ismert i pont között

Az általunk vizsgált területről kész DTM állt rendelkezésre, így nem volt szükség rá, hogy mi állítsunk elő egyet.

3.2.3 Domborzatmodell kialakítása

A HiRISE által készített domborzati térképet szürkeárnyalatossá módosítottuk. Az így előállt kép RGB (Red, Green, Blue) értékeit olvassa be programunk, majd ezekből készíti el a domborzatmodellt. A (255,255,255)-fehér színek jelöli a legalacsonyabb pontot, míg a (0,0,0)-fekete a legmagasabbat. A megfelelő magasságadatok számolásához szükség volt még egy paraméterre, ami meghatározza,

hogy egy pixelen a két színérték között egy egységnyi eltérés mekkora magasságkülönbséget jelent. A felhasznált térképnek, mely a 3.2.3-1 ábrán látható, felbontása 1m/pixel. A legmagasabb és legalacsonyabb pont közötti különbség 280,5 méter.



3.2.3-1. ábra. A program által beolvasott térkép

A beolvasott adatokat négyzetrácsos (grid) modellben tároltuk, melyre főként az egyszerűsége miatt esett a választásunk. A modell a térkép minden pontjához rendel egy magasságadatot, így egy kétdimenziós tömböt kapunk, melynek oszlopai a terület X koordinátáinak, sorai pedig az Y koordinátáknak feleltethetőek meg. A tömbben tárolt értékek a magasságadatokat.

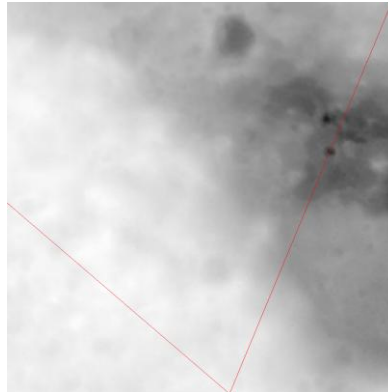
3.2.4 Szenzorok mozgása

Szenzorhálózatunk modelljében a szenzorok helyváltoztatásra képesek. Amennyiben az összes szenzor a neki kijelölt útvonalon végighaladt, ezáltal a vizsgálandó területet elhagyta, a szimuláció véget ér. Az útvonalak meghatározására háromféle algoritmust valósítottunk meg.

3.2.4.1 Véletlen pattogás

Ezen mozgásforma során a szenzorok elindulnak a térkép egyik oldaláról, célként választva a bejárando terület alsó vagy felső széléről egy véletlenszerű pontot. Amint elérte a térkép alsó vagy felső szélét, egy új útvonalat határoz meg, melynek célját a térkép másik szélén lévő pontjai közül válassza szintén véletlenszerűen („visszapattan”). Ez pont úgy kerül meghatározásra, hogy a szenzor mindenképpen haladjon előre a térkép bejárásával, tehát nem fog „hátrafele pattanni”. Ennél az esetről a bázisállomás nem változtatja helyzetét. Az 3.2.4-1 ábrán egy ilyen algoritmus szerinti

mozgás látható. A szenzor kiindulási pontja a térkép bal oldalán található, útvonalát pirossal jelöltük.

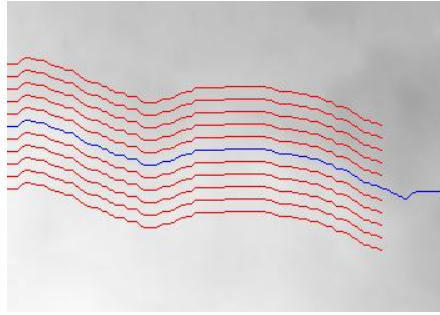


3.2.4-1. ábra. Szenzor véletlen pattogó útvonalon

3.2.4.2 Bázisállomás-követés

A bázisállomásból csak egy található, így elvesztése esetén szenzorhálózatunk nem tudja továbbítani a mért adatokat. A küldetés sikerességének érdekében minden olyan kockázati tényezőt, ami ezen egység épségét veszélyezteti, minimalizálni kell. Egy távoli égitesten működő eszköz mozgatása komoly kockázatokat rejt, mivel ismeretlen a terep és az emberi beavatkozás lehetősége erősen korlátozott. Mindezek miatt, célszerű minél könnyebb terepet magába foglaló útvonalon mozgatnunk a bázisállomást. A bázisállomás-követéses mozgási algoritmusnál a bázisállomás útvonalát úgy határoztuk meg, hogy lehetőleg kerülje a magasságváltoztatással járó mozgást. Ennek érdekében a Dijkstra algoritmust[23] alkalmaztuk. A négyzetrácsos domborzatmodellből előállítottuk a súlyozott gráfot, melyet az útvonalkereső algoritmus igényel. A gráf csúcspontjai a domborzatmodell koordinátái. A súlyozott éleket pedig a domborzatmodell szomszédos koordinátáinak távolságából, valamint a magasságkülönbségeiből határoztuk meg.

A szenzorok a bázisállomással párhuzamosan haladnak. Szimulációnkban 10 db szenzort használtunk melyek a bázisállomástól két irányban 50-50 méteres területen osztottunk szét. A 3.2.4-2 ábrát a program futása közben készítettük az algoritmus szemléltetésére.



3.2.4-2. ábra. Bázisállomás-követés

3.2.4.3 Bázisállomás-követő véletlen pattogás

Az első két módszer összeillesztettük, így előálltunk egy olyan algoritmussal, amikor a bázisállomás útvonala kijelöl egy sávot a térképen, melyen belül a szenzorok a 3.2.4.1 fejezetben ismertetett pattogó mozgáshoz hasonlóan járják be a területet. Ezen algoritmusnál a térképen meghatározott kisebb sáv felderítése a cél, így a szenzorok „pattogását” a sávhatár elérése váltja ki.



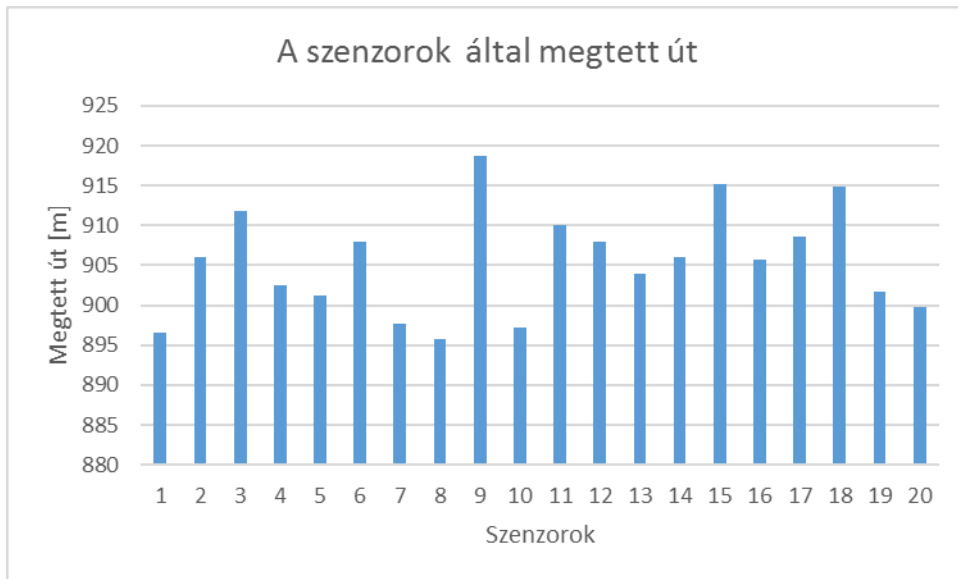
3.2.4-3. ábra. Bázisállomás-követő véletlen pattogó mozgás

4 Eredmények

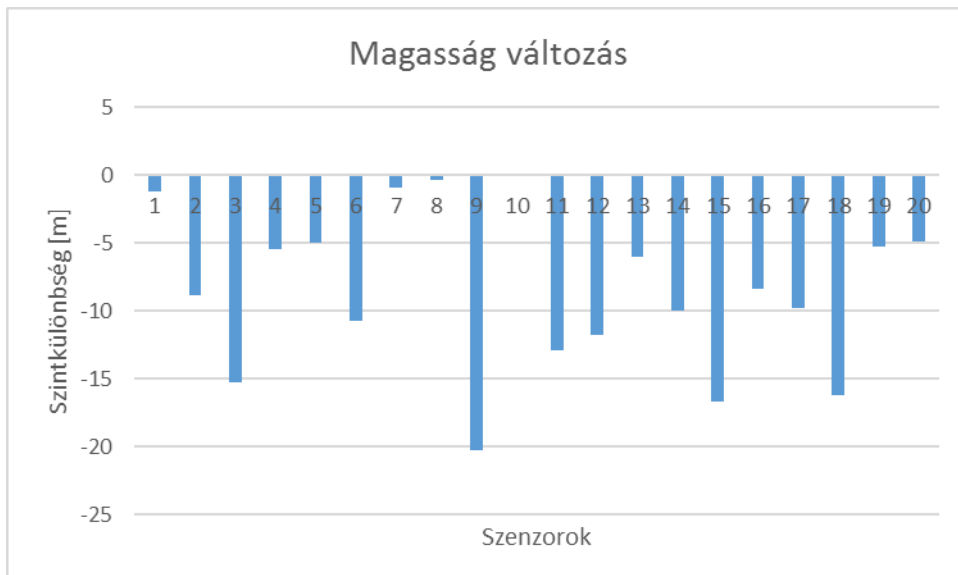
A szimulációkban azokat a tényezőket vizsgáltuk, amelyek hatással lehetnek a szenzorok energia fogyasztására, valamint a szenzorok által lefedett területre. A 4.1, 4.2, 4.3, illetve a 4.4 fejezetekben a 4.1.3 ábrán látható térképen mozgó húsz darab szenzort, a 4.5 fejezetben a 4.5.2 ábrán látható térképen mozgó egy darab szenzort vizsgáltunk. A 4.3 és 4.4 fejezetekben a szimulációt a 100. óráig végeztük, a többi fejezetben a szimulációt . A 4.6 fejezetben két mozgási algoritmust hasonlítottuk össze.

4.1 A domborzat hatása a fogyasztásra

A mozgás az a művelet, ami a legnagyobb befolyással van az energiafogyasztásra, ezért a szenzorok eltérő útvonala más módon befolyásolja az energiaviszonyokat. A szimulációkban háromdimenziós térképet használunk, ezért nem hagyhattuk figyelmen kívül, a szintbeli különbséget a szenzorok által bejárt út során. A szenzorok nem csak vízszintes úton mozognak, hanem a domborzati viszonyoknak megfelelően haladnak: ha egy szenzor magasabb pontról jut egy alacsonyabb pontra, akkor kevesebb energiát fogyaszt, ellenkező esetben pedig többet. A 4.1-1. ábrán húsz szenzor mozgási adatait, a 4.1-2. ábrán pedig a szenzorok szintkülönbségeit láthatjuk. A szintkülönbségeket minden lépés során számoltuk, mivel ezek az egyes lépésekhez szükséges energiát befolyásolták, majd ezeket szintkülönbségeket összegeztük.

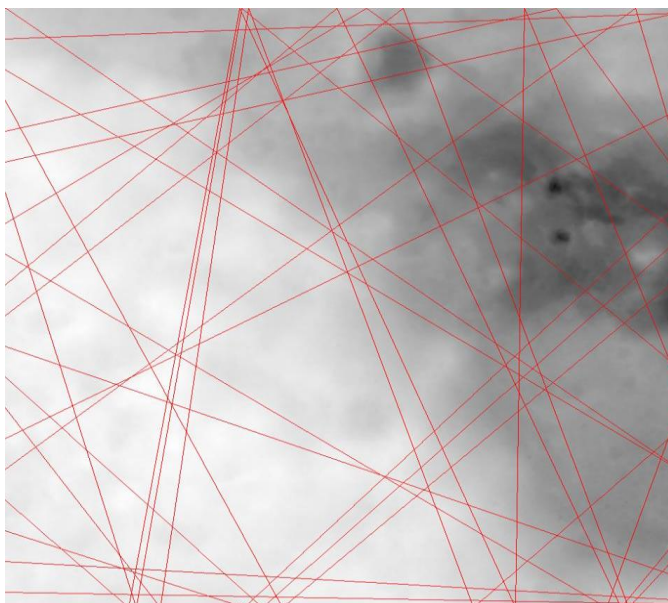


4.1-1. ábra Megtett út, a domborzat függvényében



4.1-2. ábra Szenzorok szintkülönbség változása a megtett út alatt

A vártak megfelelően azok a szenzorok haladtak a legtávolabb, amelyek az idő nagyobb részében lejtőn haladtak. Az ábrákon látható, hogy a 9. szenzor több mint 20 méterrel alacsonyabban járt a mérés végén, mint ahonnan kezdte, ennek megfelelően ez tette meg a legnagyobb utat. Megfigyelhető továbbá, hogy azok a szenzorok, amelyek kevésbé haladtak lejtős terepen, azok a mozgás során több energiát fogyasztottak, ezért kisebb távolságot sikerült megtenniük. A 4.1-3 ábrán a szenzorok mozgását láthatjuk.

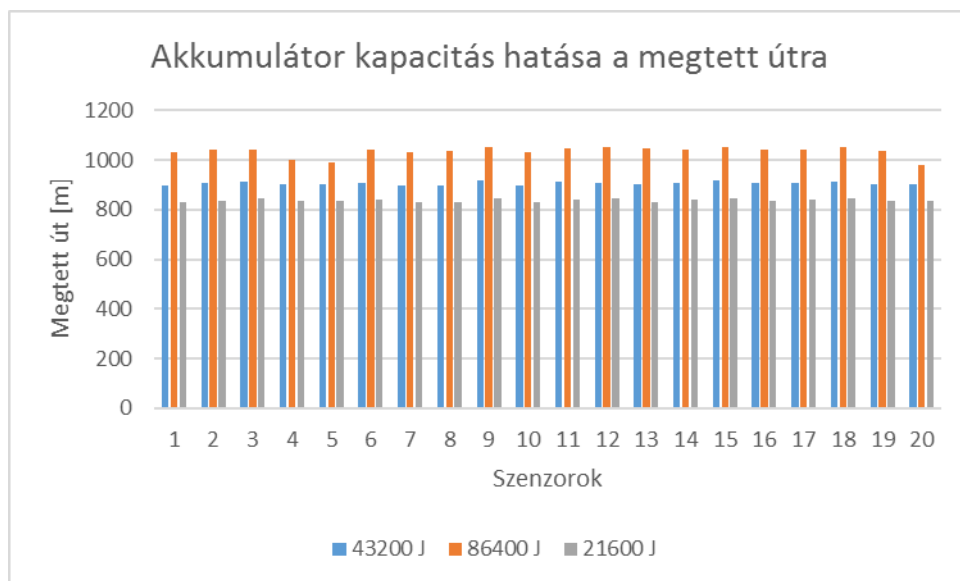


4.1-3. ábra Szenzorok útvonala

A domborzatot nem áll módunkban megváltoztatni, azonban hatással van a mozgáshoz szükséges energiára, ezért fontosnak tartottuk a domborzat és fogyasztás viszonyának vizsgálatát.

4.2 Akkumulátor hatása a fogyasztásra

Ebben mérésben arra kerestük a választ, hogy az akkumulátor mérete mekkora mértékben befolyásolja a szenzorok működését. Az egyes esetekben az akkumulátorok mérete a következők voltak: 43200 J, 86400 J, illetve 21600 J. A mérést húsz szenzorral végeztük, melynek eredményeit a 4.2.1. ábrán láthatjuk. A domborzat, illetve a szenzorok útvonala megegyezik 4.1-es fejezetben használtakkal.



3.2.4-1. ábra Szenzorok által megtett út, a különböző akkumulátor méretekkel

Érdekes megfigyelés, hogy kétszeres akkumulátor méret hatására nem nőtt duplájára a megtett út, ezzel csupán 9-15,5% növekedést értünk el. Abban az esetben, amikor felére csökkentettük, 7-8% tettek meg kevesebb utat. Az eredmény annak köszönhető, hogy a szenzorok mozgása jóval több energiát emésztett fel, mint amit a napenergia fedezni tudott. A szimuláció során a kezdeti időszakot leszámítva, a szenzorok energiaszintje alacsony volt, ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy minél tovább futtatjuk a szimulációt, annál kevésbé van hatással az akkumulátor mérete a megtett útra.

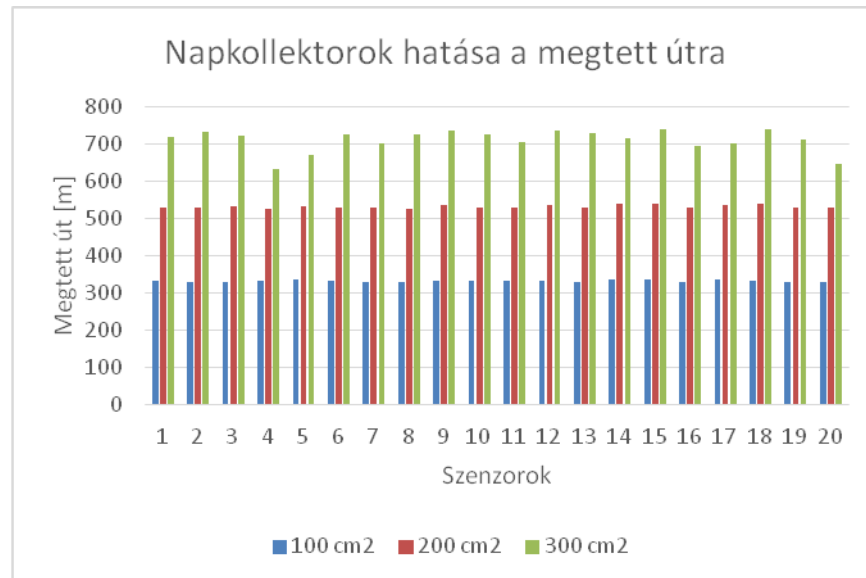
Több ezer szenzor esetén érdemes az akkumulátor méretét csökkenteni, mivel ezáltal kevesebb anyagi ráfordítással is, hasonló eredményeket érhetünk el, mint nagyobb akkumulátorral. A szenzor méretének csökkenéséből adódóan, több szenzort tudunk eljuttatni egy távoli bolygóra, mivel az űrhajó rakterében egyszerre több szenzor fér el. A költségek nem kizárólag az olcsóbb akkumulátor miatt csökkennek, hanem a szenzorok tömegének csökkenése révén, sokat nyerhetünk az űrhajók üzemanyag költségén.

A hatékonyság növelésének, egy másik módja lehet, a napkollektorok méretének növelése, melyet következő fejezetben vizsgálunk.

4.3 A napkollektor méretének hatása a fogyasztásra

Az előző fejezetben láthattuk, hogy a szenzorok a mérés során alacsony energiaszinten mozognak, ennek növelése érdekében az energia bevételi oldalát

növelnünk kellett. A szenzorok csak egy energiaforrással rendelkeznek, így a napkollektor felületének növelésével tudunk a bevételen változtatni.

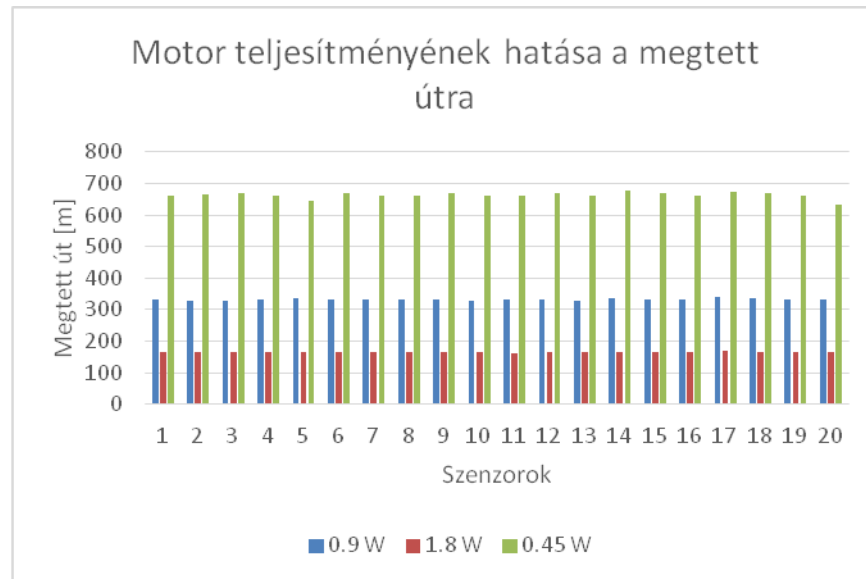


3.2.4-1 Szenzorok által megtett út, az eltérő felületű napkollektorokkal

Megfigyelhető, hogy ha a napkollektorok felületének méretét a duplájára növeljük, azáltal kb. 60%-al nagyobb utakat tettek meg a szenzorok. Átlagosan több mint 110%-al messzebb jutottak a szenzorok, amikor háromszor akkora napkollektorral rendelkeztek. Ez az arány természetesen nem növelhető a végtelenségig, mivel a szenzorok éjjel és nappal működnek, ezért ahhoz, hogy a szenzorok éjjel is mozogjanak, nem kizárólag a napkollektor méretét, hanem az akkumulátor méretét is növelnünk kellene. Továbbá, azt is figyelembe kell vennünk, hogy a szenzorok kis mérete miatt, nem használhatunk hatalmas napkollektorokat, ha optimalizálni akarjuk az energia használatát, akkor a bevételi oldal mellett, a kiadási oldalt is vizsgálnunk kell. A kiadás legnagyobb része a szenzorok mozgatásából tevődik, melyet a 4.4 fejezetben vizsgálunk.

4.4 A motor teljesítményének hatása a fogyasztásra

Az előző fejezetben, azt a megállapítást tettük, hogy nem növelhetjük a napkollektorok felületét nagy mértékben, a szenzorok kis mérete miatt, ezért vizsgálnunk kell a motor teljesítményének hatását is.

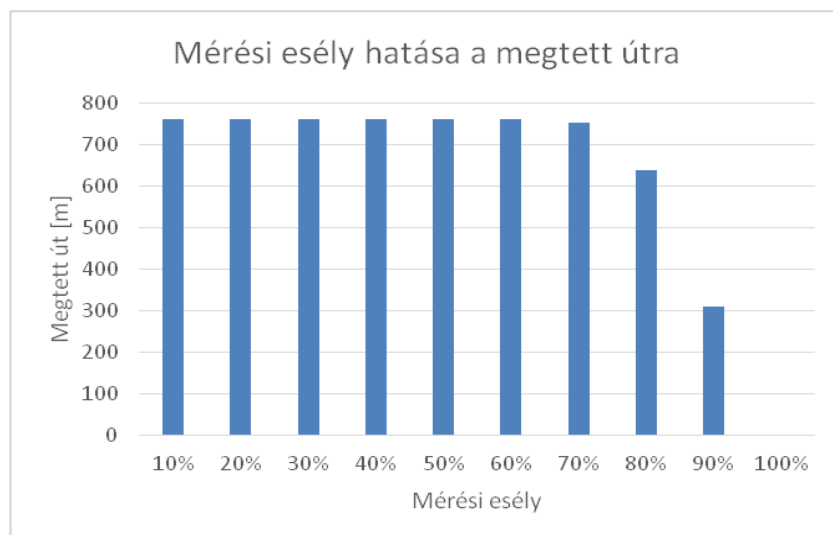


3.2.4-1 Szenzorok által megtett út, különböző teljesítményű motorokkal

Látható, hogy kétszeres fogyasztású motort alkalmazva, fele akkora a megtett út, illetve, hogy ha fele akkora teljesítményű motort használunk, akkor kétszer olyan messzire jutottak a szenzorok. Ez az eredmény megfelel a várakozásainknak, miszerint a fogyasztás legnagyobb része a mozgásból tevődik.

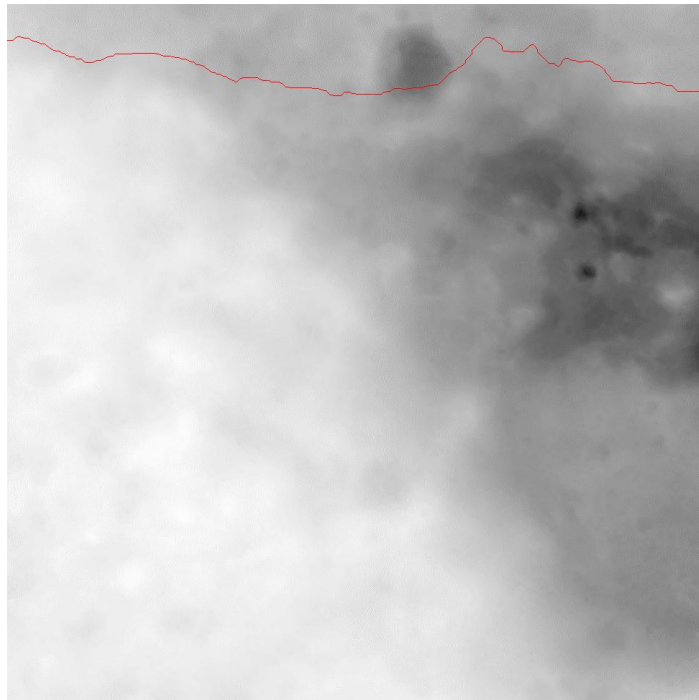
4.5 A mérési esély hatása a fogyasztásra

Az eddig ismertetett szimulációkban mindegyik szenzor 30%-os valószínűséggel mért. Kíváncsiak voltunk, hogy a mérési esély változtatása, milyen mértékben van hatással a megtett útra. Jelen esetben egyetlen szenzort vizsgáltunk, amelynek különböző mérési esélyeket állítottunk be. A szenzor mozgásának útvonala a 4.5.2 ábrán látható.



3.2.4-1 Szenzorok által megtett út, különböző mérési esélyek tekintetében

A 4.5.1 ábrán láthatjuk, hogy a mérési esély igen kis mértékben befolyásolta a megtett utat. 80% feletti mérési esélynél a különbség azzal magyarázható, hogy amikor a szenzorok a méréseket végezték akkor nem mozogtak, emiatt az idő nagy részében, csak méréseket végeztek, pedig lett volna kellő energiájuk a mozgáshoz is. (100%-nál látható, hogy egyáltalán nem mozgott a szenzor).



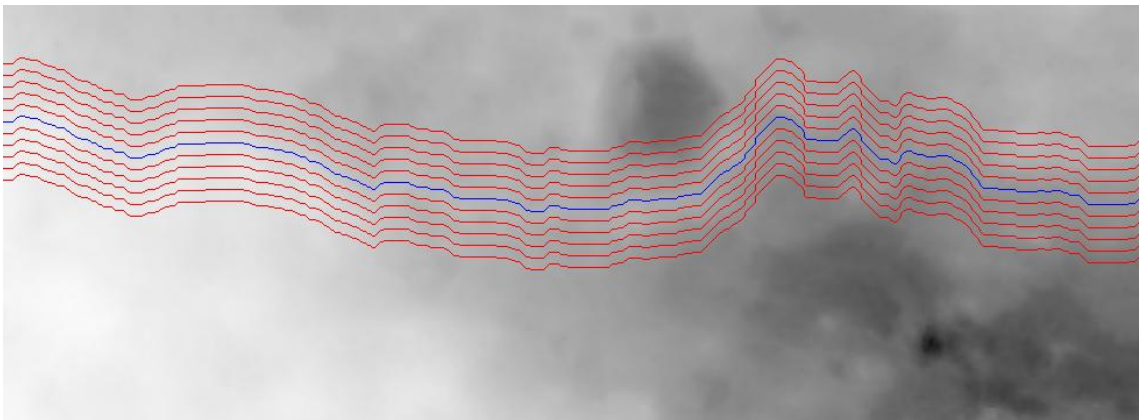
3.2.4-2. ábra Szenzor útvonala

4.6 Mozgási algoritmusok összehasonlítása

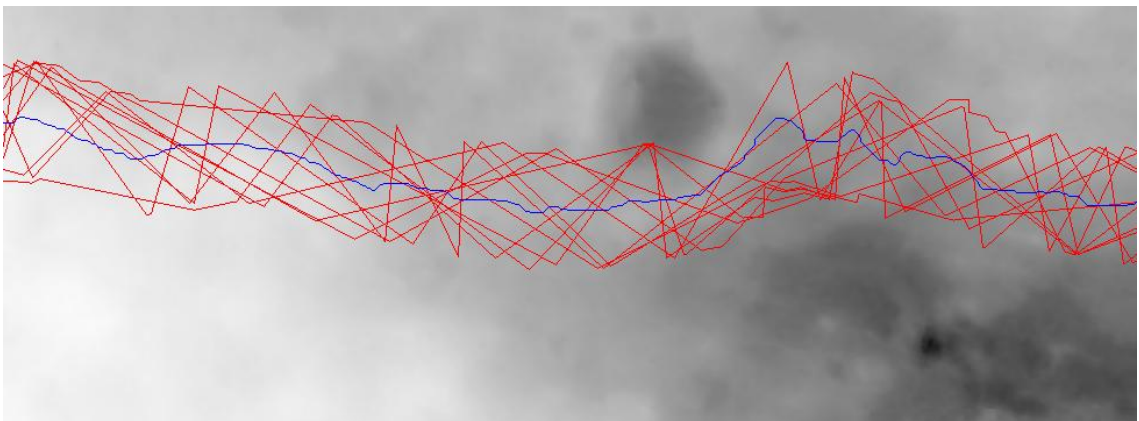
4.6.1 Lefedett terület vizsgálata

Szimulált szenzorhálózatunk célja egy ismeretlen terület feltérképezése. Ez a folyamat mérések során végződik, melyeket a szenzorok hajtanak végre útvonaluk bejárása közben. Fontosnak tartottuk, hogy megvizsgáljuk az alkalmazott mozgási algoritmusok, hogyan befolyásolják a szenzorok által lefedett területet.

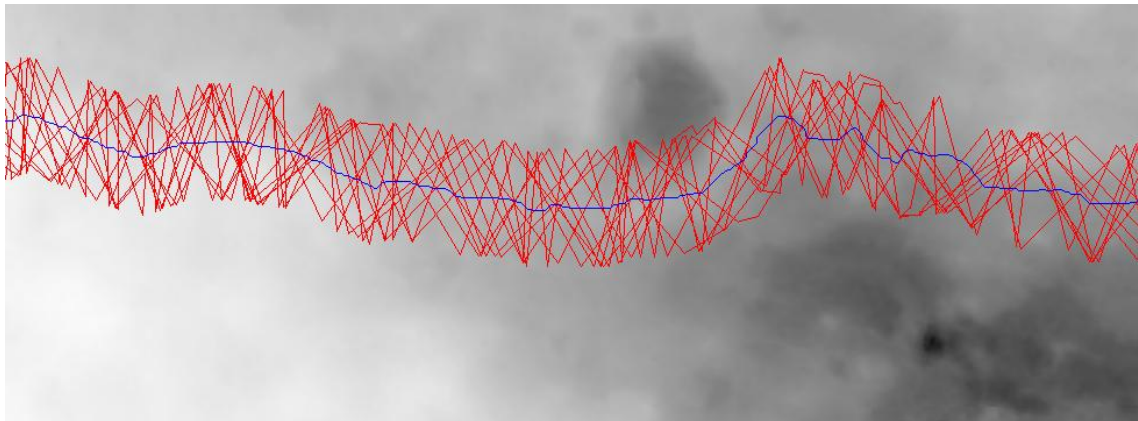
Attól függően, hogy milyen méréseket hajtanak végre a szenzorok, változhat a szükséges mintavételezés gyakorisága. A szimulációban egy területet megvizsgálnak tekintettünk, ha az egyik szenzor egy adott távolságon belül mérést végzett. Erre a távolságra a továbbiakban mérési sugárként fogunk hivatkozni. A 4.6.1-1, 4.6.1-2 és a 4.6.1-3 ábrákon a szenzorok útvonalai láthatóak a három vizsgált algoritmusra. A véletlenszerűséget tartalmazó algoritmusoknál csak az egyik futásnál generált útvonalakat ábrázoltuk.



4.6.1-1. ábra. Bázisállomás-követő útvonalak

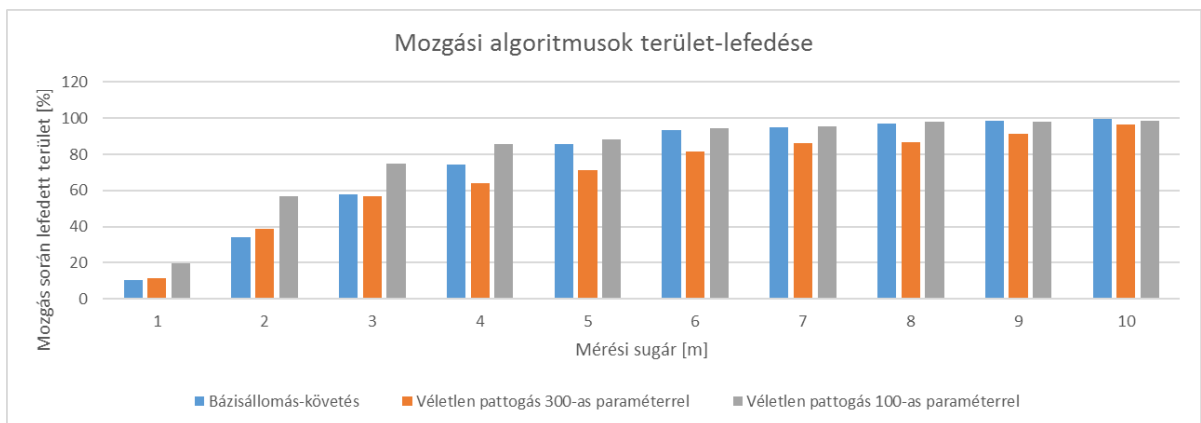


4.6.1-2. ábra. Véletlen pattogó útvonalak 300-as paraméterrel



4.6.1-3. ábra. Véletlen pattogó útvonalak 100-as paraméterrel

Vizsgálatunk során a mérési sugarakat változtattuk, majd összevetettük a szenzorok által feltérképezett területtel a három algoritmusra. A szenzorok induláskor egymástól 10 méter távolságra helyezkednek el a térkép bal oldalán. Az eredményeket a 4.6.1-4 ábrán láthatjuk.

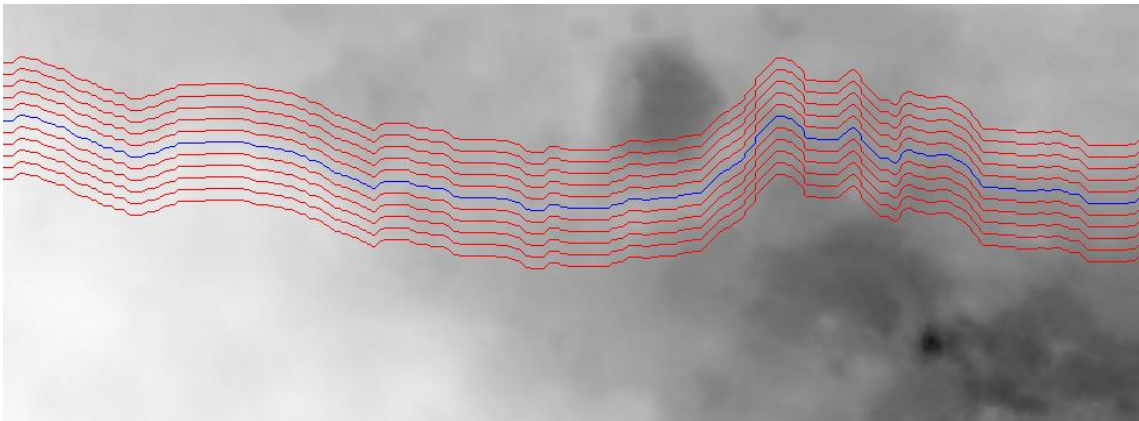


4.6.1-4. ábra. Mozgási algoritmusok által lefedett terület

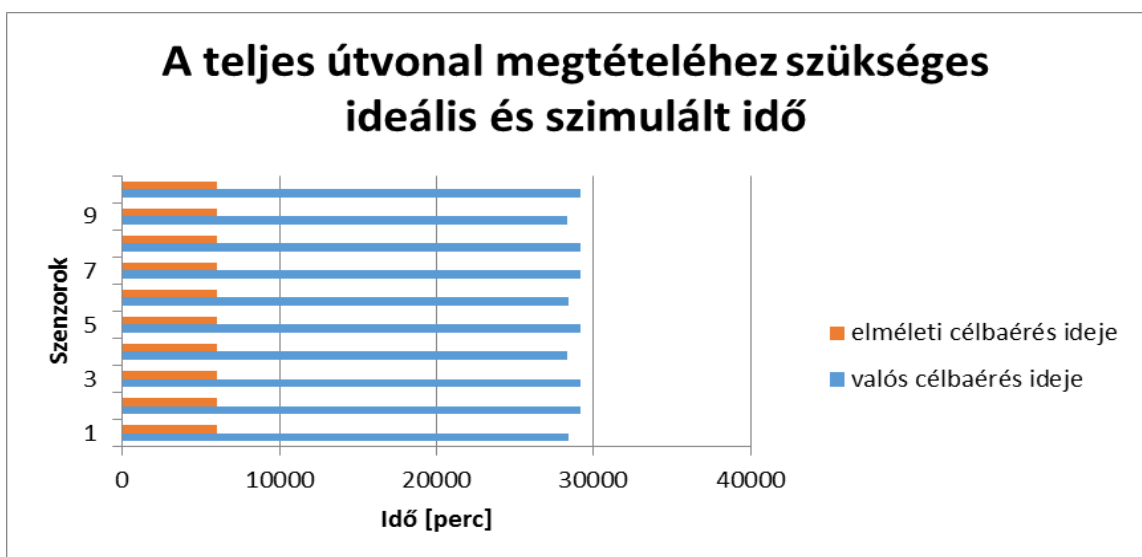
Megfigyelhető, hogy kis mérési sugarak esetén a „meredeken” 100-as paraméterrel véletlenszerűen pattogó algoritmus adja a legjobb eredményt. Erre számítottunk, mivel a szenzorok jóval több utat járnak be, mint a másik két esetben. A mérési súly növelésével meredeken emelkedik a bázisállomás-követés által lefedett terület, 3-as mérési sugárnál már jobbnak is bizonyul, mint a 300-as paraméteres pattogás. Ez is várt eredmény, hiszen komoly előny, hogy a különböző szenzorok útjai azonos távolságra vannak egymástól. Tíz méteres mérési sugárnál mindegyik algoritmus lefedettsége megközelíti a 100%-ot.

4.6.2 Szimuláció időtartama

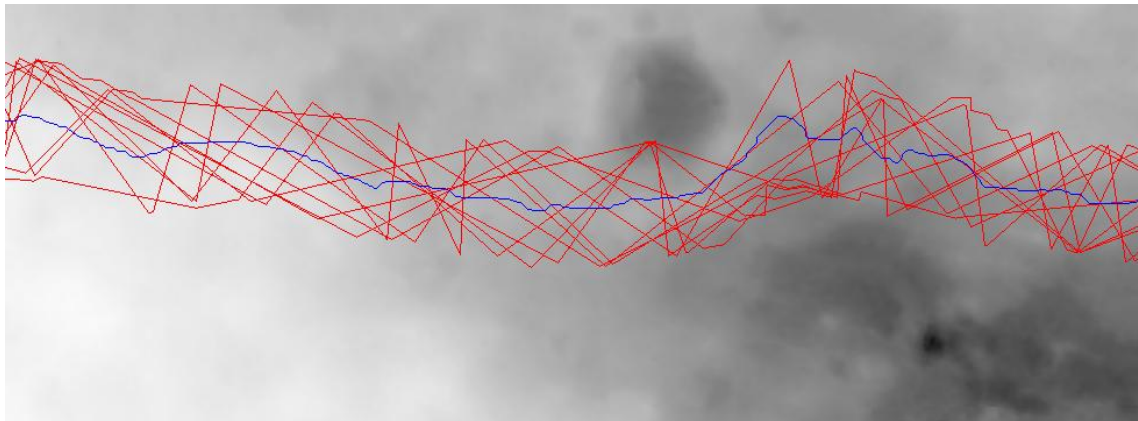
A lefedett terület nagysága mellett, fontos azt is szem előtt tartani, hogy mennyi idő alatt képesek a szenzorok befejezni a méréseket. A szenzorok útvonalaiból kiszámoltunk az ideális időt, ami alatt a szenzorok bejárják az adott területet, ezt hasonlítottuk össze azzal az idővel, ami az útvonal végigjárásához végig járásához szükséges szimulációnkban.



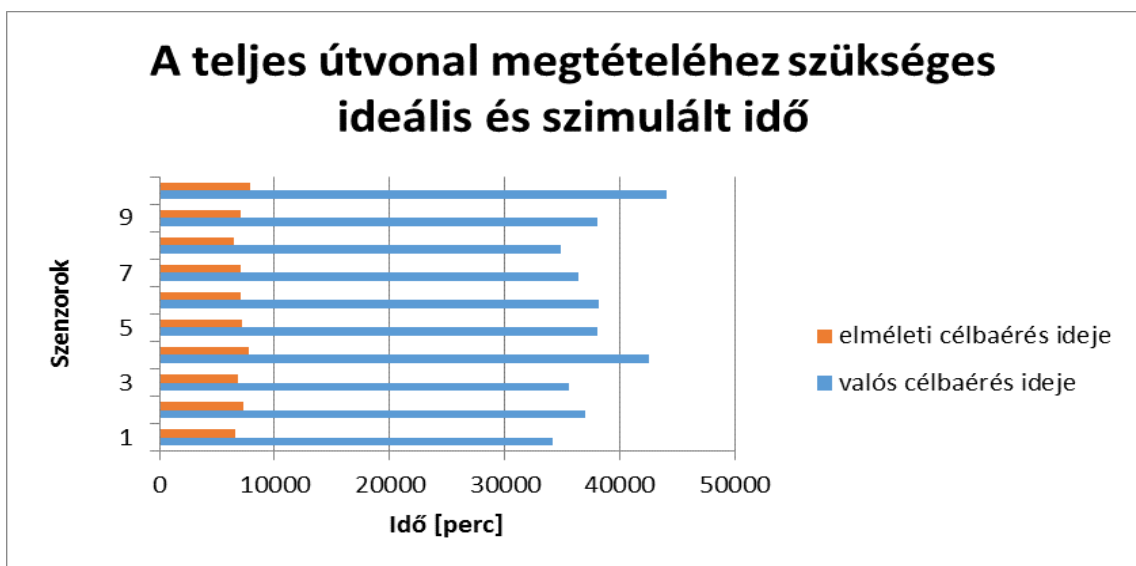
4.6.2-1. ábra. Bázisállomás-követő mozgás



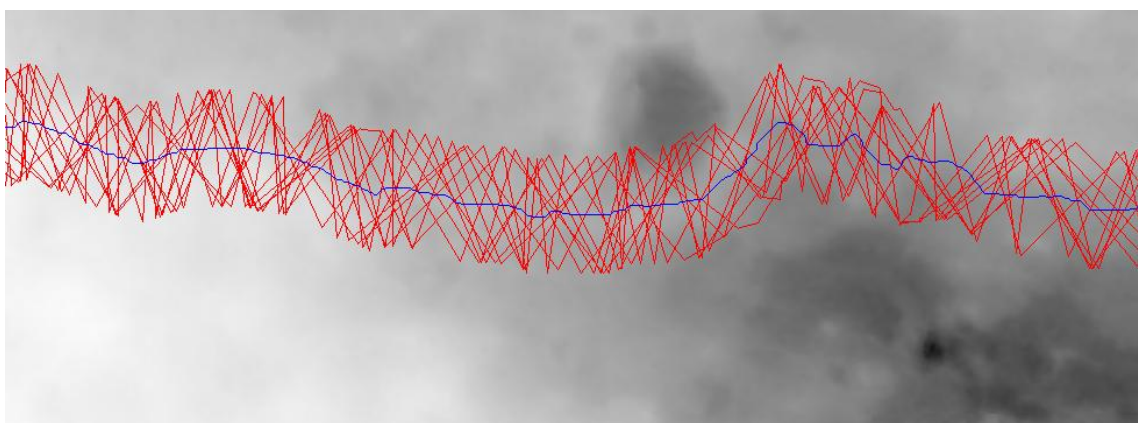
4.6.2-2. ábra. Szimuláció időtartama bázisállomás-követő mozgásná



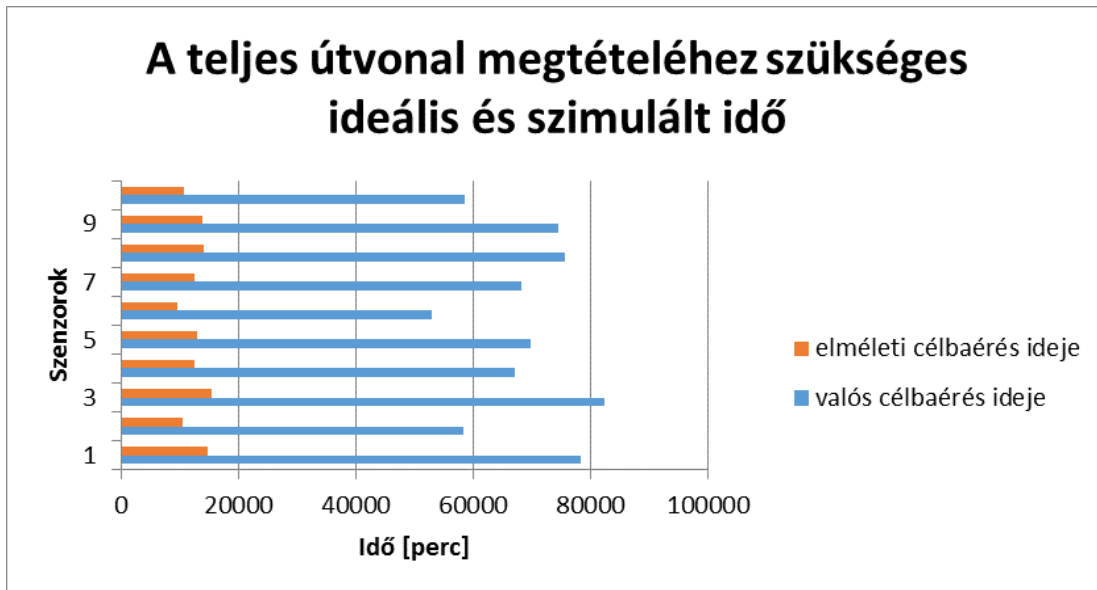
4.6.2-3. ábra. Véletlen pattogás, 300-as paraméterrel



4.6.2-4. ábra. Szimuláció időtartama véletlen pattogó mozgásnál, 300-as paraméterrel



4.6.2-5. ábra. Véletlen pattogás, 100-as paraméterrel



4.6.2-6. ábra. Szimuláció időtartama véletlen pattogó mozgásnál, 100-as paraméterrel

Megfigyelhető, hogy minél „meredekebben” pattogó mozgás szerint haladnak a szenzorok, annál inkább nő az átlagos befutási idejük. Míg 300-as paraméternél 5,3034 szorosára nő az átlagos befutási idő, addig a 100-as paraméternél 5,4325 szorosára. A bázisállomás követő mozgásnál, ahol a legkevesebb utat járják be a szenzorok, ott átlagban hamarabb is végeznek, ott az ideálishoz képest 4,8085 szorosára nő a befutási idő.

5 Összefoglalás

A Mars megismerése, már régóta tartó folyamat, melynek egy új fejezete előtt állunk. Komoly erőfeszítések folynak, hogy ember léphessen a Mars felszínére. Ennek a célnak elérése érdekében, minimalizálnunk kell a kockázatokat. Egy ilyen horderejű feladatnál elkerülhetetlen lépés, a bolygó részletes tanulmányozása, melyre a szenzorhálózatok alkalmazása tökéletes megoldást nyújthat. Ezért döntöttünk amellett, hogy dolgozatunkban, a Marsot feltérképező szenzorhálózatot vizsgálunk.

Feltérképezés során, az a célunk, hogy minél több adatot gyűjtsünk a felszínről. Ennek érdekében, fontos a megfelelő mozgási algoritmus kiválasztása. A dolgozatunkban különböző algoritmusokat vizsgáltunk. A mozgási algoritmusokat az expedíció céljához kell igazítani, attól függően, hogy milyen részletesen akarjuk felderíteni, az adott területet.

Marsi környezetben működő szenzorhálózatnál, az eszközök hatékony kihasználása érdekében, figyelembe kell vennünk az energia viszonyokat. Dolgozatunkban azt is vizsgáltuk, hogy a szenzorok egyes paraméterei milyen hatással vannak az energiafogyasztásra. Az emberi beavatkozás hiányában, nincs lehetőségünk a szenzorokat akkumulátorainak cseréjére, a különböző energia hatékony módszerek alkalmazása elengedhetetlen.

Irodalomjegyzék

- [1] G. Anastasi, O. Farruggia, G. Lo Re, M. Ortolani: „*Monitoring High-Quality Wine Production using Wireless Sensor Networks*”, Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences - 2009
- [2] NASA weboldala: Mariner-4 küldetés tájékoztatója
<http://www.jpl.nasa.gov/missions/mariner-4/> [Utolsó látogatás dátuma: 2016. október 21.]
- [3] NASA weboldala: Viking-1 küldetés tájékoztatója
<http://www.jpl.nasa.gov/missions/viking-1/> [Utolsó látogatás dátuma: 2016. október 21.]
- [4] NASA weboldala: Space Launch System áttekintése
<http://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/overview.html> [Utolsó látogatás dátuma: 2016. október 21.]
- [5] SpaceX weboldala, 2016 szeptember 27-én tartott előadás prezentációja
http://www.spacex.com/sites/spacex/files/mars_presentation.pdf [Utolsó látogatás dátuma: 2016. október 21.]
- [6] P. Rodrigues, A. Oliveira, F. Alvarez, R. Cabás, G. Oddi, F. Liberati, T. Vladimirova, X. Zhai, H. Jing: *Space Wireless Sensor Networks for Planetary Exploration: Node and Network Architectures* - 2014 NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS)
- [7] F. Nack: *An Overview on Wireless Sensor Networks*
- [8] Vincze Zoltán, Vida Rolland: „*Mobil eszközök alkalmazása szenzorhálózatokban*”, Híradástechnika LXI/12, pp. 13-17.
- [9] F. Davoodi, N. Murphy: *Wind-Driven Wireless Networked System of Mobile Sensors for Mars Exploration*, NASA Tech Briefs, January 2013
- [10] <http://bydit.com/doce/products/Li-EnergyProducts/>
- [11] Winston K:G: Seah, Zhi Ang Eu, Hwee-Pink Wan: *Wireless Sensor Networks Powered by Ambient Energy Harvesting (WSN-HEAP) - Survey and Challenges* - Institute for Infocomm Research, Singapore
- [12] J. Li, H. Y. Zhou, D. C. Zuo, K. M. Hou, H. P. Xie, P. Zhou: *Energy Consumption Evaluation for Wireless Sensor Network Nodes Based on Queuing Petri Net*, International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2014, Article ID 262848, 11 pages
- [13] http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/tutorial/h-bridge/datasheets/mabuchi_rc280rasa.pdf
- [14] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf>

- [15] <http://www.ti.com/product/MSP430F4794>
- [16] <http://www.ti.com/product/CC2420>
- [17] McEwen, A. S., et al., *Mars Reconnaissance Orbiter's High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE)*, *Journal of Geophysical Research*, 2007
- [18] *A HiRISE projekt weboldala*
<http://hirise.lpl.arizona.edu/index.php> [Utolsó látogatás dátuma 2016. október 25]
- [19] HiRISE: Possible MSL Landing Site in Gale Crater
http://hirise.lpl.arizona.edu/PSP_010573_1755 [Utolsó látogatás dátuma 2016. október 25]
- [20] NASA honlapja a Curiosity misszióról
<http://mars.nasa.gov/msl/mission/timeline/prelaunch/landingsiteselection/aboutgalecrater/> [Utolsó látogatás dátuma 2016. október 25]
- [21] Weibel, R. and Heller, R., „*Digital terrain modelling*”, *Geographical Information Systems. Principles and Applications*. Longman, London, Vol. 2, pp. 269-297., 1991.
- [22] G.Garnero, D. Godone: „*Comparison between different interpolation techniques*”
The Role of Geomatics in Hydrogeological Risk, 27 – 28 February 2013, Padua, Italy
- [23] Katona Gyula Y., Recski András, Szabó Csaba: *A számítástudomány alapjai*
 Typotex kiadó 2006, 52-54. oldal