



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Az önvezető gépkocsik parkolóhely-választása

Hatósági szabályozási és korlátozási lehetőségek
egy modellvilágban

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
2020.

Készítette
Alekszejenkó Levente
(mérnökinformatikus MSc hallgató)

Konzulens
Dr. Dobrowiecki Tadeusz Pawel

2020. október 28.

A dolgozatban ismertetett eredmények a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Balatonfüredi Hallgatói Kutatócsoport szakmai közössége keretében jöttek létre a régió gazdasági fejlődésének elősegítése érdekében. Az eredmények létrehozása során figyelembe vettük a balatonfüredi központú Rendszertudományi Innovációs Klaszter által megfogalmazott célkitűzéseket, valamint a párhuzamosan megvalósuló EFOP 4.2.1-16-2017-00021 pályázat támogatásával elnyert „BME Balatonfüredi Tudáscentrum” térségfejlesztési terveit.

A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (EFOP-3.6.2-16-2017-00013, Innovatív Informatikai és Infokommunikációs Megoldásokat Megalapozó Tematikus Kutatási Együttműködések).

Absztrakt

Az önvezető gépjárművek megjelenésével a városaink közlekedése gyökeresen meg fog változni. Ezen gépjárművek ugyanis nem törvényszerűen maradnak utasaik célállomása közelében, hanem a parkolóhelyüket tetszőlegesen is megválaszthatják. Valószínűsíthető, hogy mind a járműgyártók, mind a gépjármű-tulajdonosok olyan parkolóhelyeket vetnének célba ezen gépjárművekkel, melyeknek a tulajdonos szempontjából vett költsége a lehető legkevesebb.

Sajnos ez a cél ugyan megfelel a gépjármű-tulajdonosok igényének, de az olcsó parkolóhelyek feltételezhetően a városok külső kerületeiben találhatóak (esetleg a tulajdonosok otthoni, saját garázsa is szóba jöhet, mint célpont), így az önvezető autók potenciálisan hosszú utakat fognak megtenni anélkül, hogy "hasznos terhet" vinnének. Ez a nyilvánvaló problémák (zaj- és károsanyag-kibocsátás) mellett további gondokat is okozhatnak, hiszen városaink úthálózati kapacitása véges, így nem feltétlenül tud megbírkózni a megnövekvő forgalmi igénnyel.

Annak érdekében, hogy ezen negatív hatásokat visszaszorítsuk, vélhetően hatósági szabályozásra lesz szükség. Dolgozatomban olyan paramétereket keresek, melyek beállítása alapvetően befolyásolja az önvezető gépjárművek parkolóhely-választását, így alapul szolgálhatnak hatósági korlátozó paramétereknek. A vizsgálatokhoz elkészítettem egy város egyszerű matematikai modelljét. Bemutatok egy decentralizált, egyidejű aukción alapuló parkolóhely-kiosztó mechanizmust is. Ebben a modellvilágban két alapvető paramétert találtam a parkolóhelyek választása szempontjából (megfelelő parkolóhelyek preferencialistájának súlyozása és a maximális eltávolodás). E két paraméter változtatásával jelentősen változik a modellezett gépjárművek parkolási szokása, mely befolyásolja a gépjárművek által kibocsátott zajt és károsanyagot, a tulajdonosok parkolásra fordított költségét (így a parkolószolgáltatók bevételét is), továbbá a sikeres parkolóhely-foglalást is.

Abstract

With the mass emerging of the autonomous vehicles, the traffic in our cities will fundamentally change, since these vehicles will not necessarily choose parking lots near the destinations of their passengers, but they can find a (potentially inexpensive) parking lots on their own. It is quite possible that both vehicle manufacturers and vehicle owners will make their cars select the cheapest possible parking lots.

As such parking lots are likely to be in the outer districts of a city, this goal, unfortunately, suits only the vehicle owners. As the vehicles will make longer journeys without "useful load", the noise and the pollution of the traffic will also increase. Besides these trivial problems, the road-network of our cities might not handle well these strengthened traffic demands.

To deal with these negative impacts, limitations and controlling shall be defined by the authorities. In this work, we look for parameters which can significantly modify the parking lot selection of the autonomous vehicles, hence, they can be used as the above mentioned authoritative means. For the experiments, a simplified mathematical model of a city is defined in this work. We show a decentralized method of parking lot assignment, based on a simultaneous auction mechanism. In this model world, two principal parameters can be identified (weighting of the parking lots in a preference list of a vehicle and the so called maximal distancing) which modify the parking-lot selection behavior of the smart cars. By manipulating these parameters, the behavior of autonomous vehicles, regarding emitted noise and pollution, the costs to the vehicle owners (as well as the income of parking lot operators) and the number of successful parking-lot assignments, can be significantly influenced.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	1
1.1. Irodalmi áttekintés	2
1.2. A dolgozat felépítése	3
2. Definíciók	5
2.1. Infrastrukturális elemek definíciói	5
2.1.1. Parkolóhely	5
2.1.2. Parkolózónák	5
2.2. Okosautók és viselkedési mintáik	6
2.2.1. Érkezés utasokhoz	6
2.2.2. Konfliktushelyzetek	7
2.2.3. A maximális eltávolodás	7
2.2.4. Tevékenységek, tevékenységláncok	7
2.2.5. Az önvezető gépjárművek hasznos és haszontalan útjai	7
3. Absztrakt városmodell	8
3.1. A város-metamodellelem	8
3.2. Távolságok a város-metamodellemben	9
3.2.1. Pontok választása az összehasonlításhoz	9
3.2.2. Távolságarányok számítása	9
3.2.3. A távolságok meghatározása	10
3.2.4. A számított s érték és a hálózati hányados kapcsolata	11
3.3. A gépjárművek költségei a város-metamodellemben	13
3.4. Az absztrakt városmodell központjai és a parkolási díjak	13
3.5. Parkolók az absztrakt városmodellemben	15
3.6. Tevékenységek szimulációja	16
3.6.1. Tevékenységek leírása az irodalomban	16
3.6.2. A szimulációhoz alkalmazott tevékenységek generálása	17
4. Az optimális parkolóhely kiválasztása	21
4.1. A legolcsóbb parkolóhely	21
4.2. A legközelebbi parkolóhely	22
4.3. A kompromisszumos megoldás	22

5. Parkolóhelyek kiosztása – Az egyidejű licitálás	25
5.1. Elméleti áttekintés	25
5.1.1. Részvétel és aktivitás az aukciókon	26
5.1.2. Legfeljebb egy tételre licitálás	26
5.1.3. Preferencialista figyelembe vétele	26
5.1.4. Licitszabályok	27
5.2. Skálázhatóság, számítási költségek	27
5.2.1. Hatékonyság az aukció szervezője szempontjából	27
5.2.2. Hatékonyság a résztvevők szempontjából	28
5.2.3. Az aukció skálázhatósága	29
5.3. Egyidejű licitálás parkolóhelyek elosztására	29
5.3.1. Az önvezető gépjárművek preferencialistája	30
6. Modellszimuláció	33
6.1. A használt modell paraméterei	33
6.1.1. Városgenerálás	33
6.1.2. Gépjárművek és tevékenységeik generálása	34
6.2. Vizsgált mértékek	35
6.2.1. Aukciók száma és a sikeres aukciók aránya	35
6.2.2. Összesített parkolási költség	35
6.2.3. Haszontalanul megtett távolság	35
6.2.4. Parkolóhelyek kihasználtsága	35
6.3. A szimuláció futtatása	36
6.4. Eredmények	36
6.4.1. A (sikeres) aukciók számának alakulása	36
6.4.2. Parkolási költségek	38
6.4.3. Haszontalan utak hossza	41
6.4.4. A parkolóhelyek foglaltsága	43
6.5. Javaslatok az α és a maximális eltávolodás mértékére	46
7. Értékelés	47
7.1. Az egyidejű aukciós módszer értékelése	47
7.2. Későbbi vizsgálatok	48
7.3. Konklúzió	48

1. fejezet

Bevezetés és célkitűzés

Mindannyian, akik nagyvárosban élünk, tapasztalhatjuk, hogy a gépjárművek megnövekedett száma, illetve a gépjárműhasználat megnövekedett igénye igen komoly torlódásokat okoz városainkban a reggeli és a délutáni órákban. A modern közlekedés-és várostervezés egyik célja az, hogy a mobilitás iránti igényt lecsökkentse. Ez a csökkenés a forgalom csökkenését is jelentené, ami a víziók szerint a torlódások megszűnéséhez, ezáltal a városi életminőség javulásához, a fenntartható fejlődéshez is hozzájárulna.

Manapság sokszor messiásként tekintünk [16] a jövő V. szintű önvezető [11] autóira, amelyektől a közlekedési problémák megoldását is várjuk. Felhasználói oldalon akár 40 perc parkolóhelykeresést [15], és tekintélyes parkolási díjat is megspórolhatnak nekünk. Sőt, akár meg is tankolhatnák vagy fel is tölthetnék magukat, melyhez már napjainkban is rendelkezésre áll a technológia [21].

Azonban hajlamosak vagyunk azt nem észrevenni, hogy ezen cselekvések mindmind növelni fogják az autonóm gépjárművek mobilitási igényét, így az esetlegesen elért forgalomcsillapítási eredményeket ezen autók megjelenése azonnal megsemmisítheti. A környezetvédelmi és társadalmi érdekek tehát azt kívánják, hogy hatósági-lag korlátozzuk a feljebb említett cselekvéseket. Dolgozatom célja, hogy az önvezető autók parkolásán keresztül egy példát mutasson ilyen szabályozási lehetőségekre.

Ehhez szükséges egy város egyszerű matematikai modelljét elkészíteni, hogy láthassuk, milyen alapvető hatással vannak a korlátozó paraméterek változtatásai a gépjárművek viselkedésére. A munkám során felmerült az igény a parkolóhelyek hatékony és konfliktusmentes kiosztására is. Ehhez egy újszerű aukciós eljárást is vázolok dolgozatomban.

Végül pedig elvégzett szimulációim alapján néhány irányelvet fogalmazok meg a korlátozó tényezők beállításáról. Meggyőződésem, hogy szükséges lesz ezekkel meg-egyező értelmű, vagy ezekhez igen-igen hasonló korlátozások bevezetésére a (közeli) jövőben. Mivel ezen tényezők létén és beállításán igen nagy pénzek és nem utolsósorban társadalmi érdekek is kockán forognak, véleményem szerint ezeket a nagy nyilvánosságnak is be kell majd mutatni, illetve elmagyarázni a létjogosultságukat és hasznukat.

1.1. Irodalmi áttekintés

A 3. fejezetben röviden bemutatom azt, hogyan lehet egy absztrakt városmodellt létrehozni. Egy ilyen modell előnye, hogy kevésbé adatigényes egy konkrét szimulációs környezetbe, például az Eclipse SUMO-ba [18] betáplált modellhez képest. Másik előnye egy ilyen modellnek, hogy matematikailag könnyen leírható, és reményeink szerint a belőle nyert adatokban kevésbé jelennek meg külső hatások, így jó alapot adhatnak elvi módszerek kipróbálásához és összehasonlításához.

Az okos kiberfizikai rendszerek metamodellezése nem újkeletű módszer. A [7] egy általános keretrendszert definiál, és egy intelligens irodai légkondicionáló berendezéssel mutatja be keretrendszerének használhatóságát. A [13] pedig már a mi témánkhoz egészen közeli alkalmazását mutatja ennek a keretrendszernek, ugyanis okos városok környezeti terheléseit szimulálják általa.

Az 5. fejezetben bemutatott probléma nagyon hasonlít egy *double auction*hoz [12], ám annál nehezebb is. Egy általános double auction megegyező számú vásárló és eladó között (mindenki pontosan egy árut szeretne megvásárolni és mindenki pontosan egy árut ad el) talál egy egyensúlyi árat. Az általam leírt és értelmezett probléma ettől abban bonyolultabb, hogy egyfelől közel sem biztos, hogy ugyanannyi vevő, azaz okosautó van jelen, mint ahány eladó, azaz parkolóhely van a városban. Másfelől az sem igaz, hogy az autók számára szükség lenne parkolóhelyre, ugyanis azok akár haza is mehetnének vagy akár egész nap mozgásban is maradhatnának. Ugyanakkor az sem biztos, hogy a parkolóhelyek szempontjából létezne egy közös ár, amelyen minden parkolóhely elkelne. Egy város látnivalói környékén vagy egy előkelőbb környéken a parkolódíj sokkal magasabb, mint egy külvárosi ipartelepen vagy egy rossz hírű környéken. Egy közös ár megállapításával előbbi parkolóhelyek igencsak áron alul kelnének el, míg utóbbi parkolóhelyekért irreálisan magas árat is fizethetnének.

Mivel egy konkrét parkolóhely szempontjából úgy néz ki a probléma, hogy érte többen versenyeznek egyszerre, ezért ezen parkolóhely szempontjából nem feltétlenül lenne szerencsés a problémát egy fordított árverésként [22] megfogalmazni. Egy fordított árverésen ugyanis az eladók próbálnak meg versenyezni egy vevőért, azaz több parkolóhelynek kellene parkolási díjban versenyeznie egy-egy járműért.

Érdekes ötlet lehet, hogy a járművek csak néhány parkolóhellyel állnak kapcsolatban, a parkolóhelyek viszont elfedik a versenyhelyzetet a gépjárművek előtt, miközben ők is több gépjárművel tárgyalnak. Ennek az egyidejű tárgyalási láncolatnak egyetlen szemét mutatják be a [20] cikkben. A problémát hasonlóan lehetne leírni tárgyalási hálókkal [23], azaz itt is egy tárgyalási hálóláncolat alakulna ki.

Egy többdimenziós, többlépéses feladat-hozzárendelési problémaként [24] fogalmazni meg a követelményeket előnyösnek tűnik, ugyanis így a parkolóhely-foglalások időbeli dinamikája is kezelhető volna. Azonban egy lassú algoritmus lefuttatása közben a gépjárművek jó eséllyel megváltoztatják a pozíciójukat, így nem feltétlenül kapunk az algoritmus lefuttatása után optimális megoldást, még akkor sem, ha ez a

megoldás az algoritmus elindításakor optimális is lett volna. Ha feltételezzük, hogy a gépjárművek preferenciái az idő múlásával változhatnak, akkor viszont a módszer nem feltétlenül vezet konszenzusra.

Az autonóm gépjárművek parkolási problémája igen komplex és újszerű kérdés [16], amellyel érdemes foglalkozni. [25] bemutat egy módszert, amellyel a megváltozott forgalom egyensúlya számítható. Számításaikkal rámutatnak arra, hogy a parkolóhelyek árazása és elhelyezése alapvető hatással van az egyensúlyi forgalomra. Valószínűsíthető azonban, hogy a parkolóhely-szolgáltatók a jövőben sem fognak engedni áraikból, a városok áttervezése az önvezető gépjárművekre pedig egy igen lassú folyamat lesz. Így az általam javasolt hatósági szabályozásra is szükség lesz.

Az önvezető autók és a napjainkban megjelenő közlekedési megoldások szabályozására hívja fel a figyelmet [19] is az útpadka felosztásának kérdésén keresztül. [17] egy lineáris városmodellt használva megmutatja, hogy a társadalomra gyakorolt hatásokat figyelembe véve érdekesebb a városközpontokba telepíteni a parkolókat, szemben a városszéli parkolókkal. Ez megerősíti dolgozatom azon felvetését, hogy érdemes limitálni az önvezető autók *haszontalanul* megtett útját.

Ahogy az a hivatkozott cikkek dátumán is látszik, az autonóm járművek parkolási problémájának vizsgálata egy igen új kutatási terület, azonban (társadalmi és környezetvédelmi) fontossága miatt szükségszerűek is az effajta vizsgálatok. A jövőben egyre több, az én dolgozatom eredményeihez hasonló publikációk megjelenése várható. Ezt segíti a népszerű Eclipse SUMO forgalomszimulátorhoz készült, parkolóhely-menedzselő keretrendszer közelmúltbeli kifejlesztése is [8]. Azonban az ilyen jellegű vizsgálatoknál sosem felejthetjük el azt, hogy a vizsgálataink tárgyai a távoli jövő nagyvárosai. Így nem lehetünk biztosak abban, hogy a mai városainkon alapuló szimulációk mennyire adnak a jövő városairól megbízható képet. A dolgozatomban javasolt, ennél lényegesen absztraktabb modellnek talán pontosan ez a nagyobb rugalmasság lehet a legfőbb előnye is.

1.2. A dolgozat felépítése

A 2. fejezetben definiálok néhány alapvető fogalmat, melyet a dolgozat további részében használni fogok.

A 3. fejezetben részletesen bemutatom azt, hogyan lehet egy várost és annak parkolóhelyeit matematikailag, magas absztrakciós szinten modellezni. A 3.6. fejezetben külön hangsúlyt fektetek arra is, hogy egy ilyen modellvárosban milyen tevékenységeket folytathatnak annak „lakói”.

A 4. fejezetben leírom, hogy milyen szempontok alapján választhatnak az autonóm gépjárművek parkolóhelyeket. Természetesen a 4.3. fejezetben bemutatott kompromisszumos megoldás több okosautónak is kompromisszumos megoldása lehet, így az esetleges konfliktushelyzetet fel kell oldani. Ennek egy lehetséges módja az 5. fejezetben ismertett *egyidejű aukciós* eljárás.

A 6. fejezetben bemutatom, hogy milyen paraméterezéssel futtattam szimulációkat, illetve azt, hogy ezen szimulációk milyen eredményeket adtak. Az eredmények elemzésével a 6.5. fejezetben teszek javaslatot arra vonatkozóan, hogy miképpen korlátozhatjuk az okosautók parkolóhelyválasztását annak érdekében, hogy elkerülhessük az állandó torlódást városaink útjain.

A vizsgálatok kritikus értékelését, továbbfejlesztési lehetőségeit a 7. fejezetben mutatom be.

2. fejezet

Definíciók

2.1. Infrastrukturális elemek definíciói

2.1.1. Parkolóhely

Parkolóhelyként hivatkozok a Kreszben [1] „várakozóhelyként” jelölt fogalomra, miszerint az az egy gépkocsi várakozására szolgáló helyet jelöli meg.

2.1.2. Parkolózónák

Parkolózóna alatt az angolul *parking lotnak* is nevezett parkolót értem. Egy parkolózóna egy vagy több *parkolóhelyet* tartalmaz.

A parkolózónák típusai

A parkolózónák csoportokba oszthatóak használati módjuk, fekvésük és a fizetendő parkolódíj szerint. Dolgozatomban a következő felosztást fogom alapul venni:

- **Saját garázs:** a gépjárművek állhatnak (magán vagy korporációs) tulajdonosuk saját garázsában. Ezt a tárolási módot költségmentesnek feltételezem. A parkolást is jellemzően hosszú időre (akár hónapokra) is biztosítottnak tekinthetjük. Hátránya, hogy potenciálisan messze (általában >10 km távolságra) van az úticéltól.
- **Parkolóház:** Parkolóház (vagy P+R parkolóházak) alatt a klasszikusan a város szélére telepített, sokszor „P+R” jelzéssel ellátott parkolózónákat értem. Olcsó parkolóhelyként tartom őket számon, aminek egy *napi fix költsége van*. Ennek megfelelően a parkolást itt néhány napig tartom megoldhatónak. Mivel ezeket általában a városok szélén létesítik, ezért az úticéloktól általában kb. 5–10 km-es távolságra vannak.

- **Utcai parkoló:** Az utcai parkolók (vagy útszéli parkolók) a klasszikus értelemben vett parkolóhelyek összefüggő területen lévő halmaza. Ennek már viszonylag nagy a költsége (pl. óra alapú számlázással), ennek megfelelően viszonylag rövid idejű parkolásokhoz (egy-két órára) vesszük igénybe. Az úticélokhoz általában párszáz méteren belül találhatóak. A különböző bevásárlóközpontok parkolója is ehhez a kategóriához sorolható.
- **Kiszállási pont:** A kiszállási pontoknak (angolul *dropoff points*) nevezem azokat a parkolóhelyeket vagy esetleg taxidrosztokhoz hasonló megállóhelyeket ahol a jövő okosautói leteszik vagy felveszik utasaikat. Dolgozatomban feltételezem, hogy (pl. városvezetőségi döntésre vagy egy-egy cég saját parkolóhelyeinek némelyikén) az úticélok közvetlen közelében megtalálhatóak ezek a helyek. Az okosautók itt elhanyagolható időt tartózkodnak csupán, így ezen helyek hatásaival dolgozatomban nem foglalkozok.

2.2. Okosautók és viselkedési mintáik

Munkám során a kommunikációra képes, önvezető gépjárműveket összefoglaló néven *okosautóként, önvezető gépjárműként vagy autonóm gépjárműként* fogom nevezni. Ennek angol rövidítését (CAV, *Communicating Autonomous Vehicle*) is többször használni fogom kényelmi szempontokból.

2.2.1. Érkezés utasokhoz

Az okosautók képesek teljesen autonóm módon közlekedni, így nem feltétlenül kell ott maradniuk, ahol gazdáik hagyták őket. Ez természetesen magával hozza azt a kérdést is, hogy a gazdáikhoz mikor és miért menjenek vissza az okosautók. Úgy gondolom, hogy két esetet különböztethetünk így meg:

- **Érkezés fix időre:** Mindennapi életünkben általában ütemesen végezzük dolgainkat. Például (valamilyen valószínűséggel) reggel nyolc órára bemegyünk dolgozni, délután négykor pedig végzünk ott. Ilyenkor az okosautóktól elvárható viselkedés az, hogy visszatérjen hozzánk mondjuk délután négy óra után öt perccel, hogy felvegyen bennünket és hazavigyen. Az ehhez hasonló használati esetet értem *fix időre érkezés* alatt. Dolgozatomban kizárólag ezzel az esettel foglalkozok, ugyanis ez a jellemzőbb viselkedés.
- **Érkezés kérésre:** Persze előfordulnak olyan esetek is, amikor a *fix érkezés* nem lenne praktikus, mert nem tudjuk előre kiszámítani azt, hogy mikor fogunk egy feladattal végezni. Ilyenkor jelezhetjük az okosautónak hogy végeztünk, ezért elindulhat értünk. Az ehhez hasonló használati esetet értem *kérésre történő érkezés* alatt.

2.2.2. Konfliktushelyzetek

Ha létezik olyan időpont, hogy egynél több okosautó is ugyanazt a parkolóhelyet szeretné elfoglalni ebben az időpontban, akkor az okosautók között *konfliktushelyzet* alakul ki.

A munkám egyik fő célja, hogy ezeket a konfliktushelyzeteket elkerüljük vagy feloldjuk.

2.2.3. A maximális eltávolodás

Egy okosautó, miután célba juttatta utasait, parkolóhelyet fog magának keresni. Eközben természetesen *eltávolodik* utasainak célállomásától. Ezen eltávolodás maximális mértékét nevezem *maximális eltávolodásnak*.

2.2.4. Tevékenységek, tevékenységláncok

Az autonóm járművek utasainak természetesen vannak *tevékenységei*. Ilyenek például a munkába/iskolába járás, a bevásárlás vagy éppen a szórakozás. Egy napon előfordulhat, hogy nem csak egyetlen tevékenység elvégzése miatt indulunk útnak, ezért a tevékenységek egy napon belüli sorrendje alkotja a *tevékenységláncokat*.

2.2.5. Az önvezető gépjárművek hasznos és haszontalan útjai

Kényelmi szempontból bevezetem az okosautók *hasznosan megtett útjának* a fogalmát. Ez alatt azt értem, hogy a gépjármű utasokat¹ is szállított. Természetesen adódik a *haszontalan utak* fogalma is, ezek azok a technikai utak², amelyet egy önvezető gépjármű utasok nélkül tett meg.

¹ esetleg árut

² pl. üzemanyag-töltésért, parkolásért, karbantartásért stb. megtett utak

3. fejezet

Absztrakt városmodell

A városok parkolási problémáinak vizsgálatához igen sok bemeneti adatra van szükség. Ezek közül könnyen elérhető például az úthálózat felépítése, illetve viszonylag egyszerűen megbecsülhető a forgalom nagysága is¹.

Ezeknél már egy fokkal nehezebb kérdés a parkolóhelyek számának a beszerzése. A közterületeken természetesen adott a lehetőség arra, hogy megszámoljuk a kijelölt parkolóhelyek számát, viszont a magánparkolók kapacitását legfeljebb megbecsülni lehet a hatályos OTÉK [2] alapján.

Ami viszont a legnehezebben elérhető adat, és a parkolások valóság-hű szimulációjához elkerülhetetlen, hogy ismerjük az emberek utazási céljait. Azaz igen pontosan tudunk kellene, hogy pontosan ki, mikor és milyen céllal ül autóba. Továbbá, ha megérkezett az úticéljához, akkor meddig fog ott maradni, illetve számíthatunk-e esetleg arra, hogy a tervezetthez képest eltérő időben fog távozni.

Ahogy az látszik, a teljes szimulációhoz szükséges pontos adatokhoz nem férhetünk hozzá, legfeljebb egy becsléssel élhetünk. Azonban a különböző problémák formalizálása, a javasolt megoldások hatásainak vizsgálata egy komplex szimulációs környezetben, mint amilyen például az Eclipse SUMO [18], igen összetett feladat. A bonyolultság csökkentése érdekében előnyös lehet egy magasabb absztrakciós szinten kipróbálni és szimulálni a javasolt módszereket.

Ezt a magasabb absztrakciós szintet nevezem absztrakt városmodellnek avagy város-metamodellnek.

3.1. A város-metamodell elemei

A város-metamodellnek részei a 2.1.2. fejezetben bemutatott P+R parkolóházak és utcai parkolók. A városban jelen vannak kommunikáló, önvezető gépjárművek (CAV) is. Minden gépjárműhöz definiálunk egy ingyenesnek tekintett parkolóhelyet (*home*) is. Ez az ingyenes parkolóhely szimbolizálhatja az otthoni garázsunkat vagy

¹Az elhaladó járművek megszámlálásával ez egy viszonylag könnyen elérhető adat.

a munkahelyünkön számunkra fenntartott parkolóhelyet is².

3.2. Távolságok a város-metamodellben

A város-metamodell generálásához alapvetően szükségünk van arra, hogy megadjuk, hogy két síkbeli pont milyen távolságra van egymástól. Ennek megadásához szükségünk van egy távolságértékre. Az egyszerűség kedvéért ezen értékeket is véletlenszerűen szeretnénk generálni³. Viszont érdekes kérdés, hogy mekkorára (azaz milyen matematikai tulajdonságúra) válasszuk ezt a távolságot.

Alsó becslésként természetesen használható a két pont közötti euklideszi távolságérték. Egy amerikai nagyvárosban azonban (melynek úthálózata jellemzően sakktábla-szerű) ez az alsó becslés érzésem szerint sokkal közelebb van a két pont Manhattan-távolságához, mint a két pont euklideszi távolságához.

3.2.1. Pontok választása az összehasonlításhoz

Ahhoz, hogy megvizsgáljuk, hogy mekkora távolságot feltételezhetünk reálisan két metamodellbeli pont között, elvégeztem egy vizsgálatot. A vizsgálatban összehasonlítottam néhány pont jellemző távolságát Budapesten és Washington DC-ben.

Ennek a vizsgálatnak az első érdekes kérdése az volt, hogyan lehet nagyjából ekvivalens pontokat választani a két városban, melyek távolságviszonyaira kíváncsiak vagyunk. Véleményem szerint érdemes úgy kiválasztani ezen pontokat, hogy lehetőleg hasonló eloszlásban legyenek megtalálhatóak mindkét városban. Az OpenStreetMap adatbázisát lekérdezve arra jutottam, hogy Washington DC-ben és Budapesten is kb. 20 étteremmel van jelen⁴ a McDondald's gyorsétterem-lánc. A profitorientált működés miatt feltételezhetjük, hogy egy gyorsétterem-lánc nagyjából azonos elvek szerint telepíti egységeit világszerte, így a McDondald's-ok eloszlása⁵ nagyjából megegyezhet a két város esetében.

3.2.2. Távolságarányok számítása

Az OpenRouteService használatával lekérdeztem a valós távolságokat (v) mindkét város esetében a McDondald's éttermek között. Ez a szolgáltatás valós útvonalat tervez a megadott két pont között, így például a balra kanyarodások tiltását is ismeri, azaz ez a szolgáltatás azt az útvonalat adja vissza, amelyet egy konvencionális navigációs rendszer is jelölne.

²Az egyszerűség kedvéért jelenleg feltételezzük, hogy a város határán kívülről érkező nincsen.

³Szimulációimban két pont távolságát véletlenszerűen számítom ki, viszont az első kiszámítás után ez a távolság nem változhat meg.

⁴Budapesten 20 McDondald's található, míg Washington DC-ben 19.

⁵Eloszlás alatt alapvetően egymástól való távolságukat értem, illetve azt, hogy turistacélpontok közelében sűrűbben helyezkednek el, mint szimplán a külvárosi területeken.

Továbbá mindkét városban, a McDondald's-ok koordinátáinak ismeretében meghatároztam⁶ a köztük lévő euklideszi (e) és Manhattan (m) távolságot. Eredetileg azt feltételeztem, hogy mindkét város esetén a valós távolság e két érték közé fog esni, ezért egy olyan formulát használok a városok összehasonlításához, mely a valós távolsághoz egy s skála-értéket rendel, mely 0, ha a valós távolság megegyezik az euklideszi távolsággal és 1, ha a Manhattan-távolsággal egyezik meg, lásd a (3.1) egyenletet.

$$s = \frac{v - e}{m - e} \quad (3.1)$$

Érdekes módon az adódott, hogy jellemzően Budapesten 1-nél nagyobb értékekkel találkozunk (lásd a 3.1. ábrát), míg Washington esetében az elvárt 0-1 tartományba esik a legtöbb s -érték (lásd a 3.2. ábrát). A jellemző statisztikai mértékeit a 3.1. táblázat mutatja.⁷

3.1. táblázat. Statisztikai jellemzők alakulása az s paraméter szerint

Statisztikai jellemző	Budapest	Washington DC
átlag	3.96	1.32
szórás	18.78	1.63
min	0.00	-0.1
25%	0.80	0.60
50%	1.30	0.90
75%	2.53	1.28
max	300.7	13.70

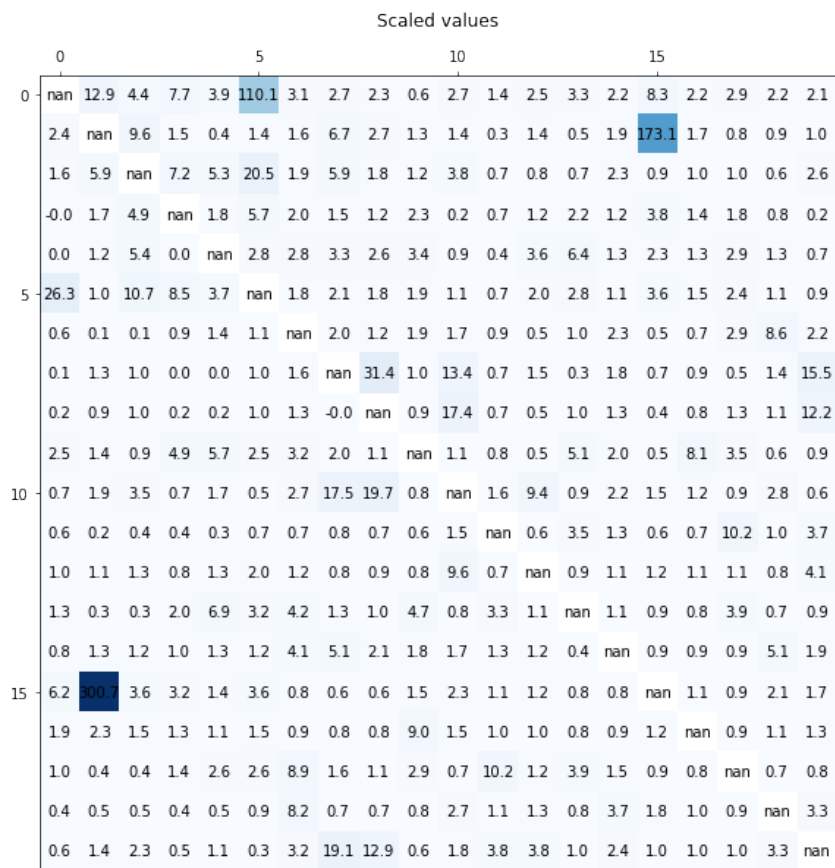
3.2.3. A távolságok meghatározása

A vizsgálat alapján úgy látszik, érdemes megkülönböztetni azt, hogy amerikai vagy európai stílusú városmodellt szeretnénk-e generálni. Amennyiben amerikai, úgy érdemes a távolságértékeket oly módon generálni, hogy kis szórással az $s = 0.9$ köré essenek (azaz a washingtoni s értékekre kapott eloszlás mediánja köré essenek). Ugyanez az eloszlás egy európai város esetében az $s = 1.3$ várható értékű lehet, viszont lényegesen nagyobb szórással kell dolgoznunk ebben az esetben az amerikai városokhoz viszonyítva.

A további vizsgálatokhoz a budapesti adatsor 18.78-as szórása túlságosan nagy-

⁶A haversine-formula segítségével.

⁷Feltehetően az OpenStreetMap adatbázisa szerint két koordinátája is van egy adott McDondald's-nak, viszont útvonalat természetesen nem is érdemes keresni a kettő között. Így jöhetett ki negatív s -érték.



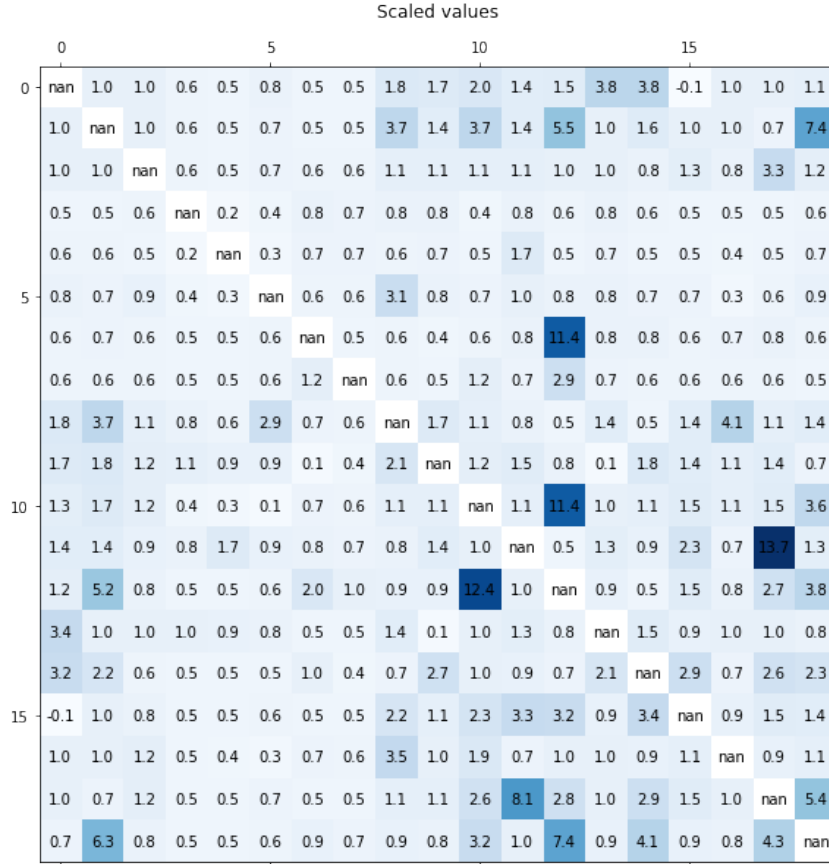
3.1. ábra. A McDondald's gyorséttermek közötti s távolságarányok alakulása Budapest esetében.

nak bizonyult. Mivel néhány érték egyértelműen outlier⁸, ezért a 95. percentilisének megszürtém az adatsort. Így az amerikai szóráshoz képest még mindig magasabb, kb. 1.8-es értéket kaptam, mely egy sokkal hihetőbb eloszlást ad, így ezzel dolgoztam tovább.

3.2.4. A számított s érték és a hálózati hányados kapcsolata

A d hálózati hányadost (angolul *detour index*) [6] gyakran a közúti d_s és a légvonalbeli d_a távolság hányadosaként definiálják, lásd a (3.2) képletet.

⁸Az egyik ilyen kiugró értékre jó példát a Budapesti Jászai Mari téri gyorsétteremtől a Nyugati pályaudvarnál található McDondald's étterembe történő eljutás jelenti. Ugyanis szabályosan ezt úgy lehet kivitelezni, ha az ember átmegy Budára a Margit hídon, ott visszafordul, majd túlmege a Nyugati téren, és megint visszafordul. Így a térben az alig néhány száz méteres utat autóval egy kb. 5 km-es vezetéssel lehet megtenni.



3.2. ábra. A McDondald's gyorséttermek közötti s távolságarányok alakulása Washington DC esetében.

$$d = \frac{d_s}{d_a} \tag{3.2}$$

Ez igen hasonló az általam definiált s értékhez. A lényeges különbség azonban az a kettő között, hogy az általam definiált tényező az euklideszi- és Manhattan távolság közé esést jellemzi egy adott úthálózatnál. Egy szabálytalan formájú, gyalogos közlekedésalakította város úthálózatában (mint pl. a legtöbb európai városban) két pont távolsága értelemszerűen közelebb lesz az euklideszi távolsághoz ($s \approx 0$), mint egy sakktábla-szerű, pl. amerikai városban ($s \approx 1$). Míg a hálózati hányados jellemzően az $[1, \sqrt{2}]$ tartományban mozog, addig az s érték egy könnyebben értelmezhető $[0, 1]$ tartományba esik. Ráadásul rendelkezik azzal a tulajdonsággal is, hogy a 0 az alsó korlátja, nem pedig az 1, ami szintén a könnyebb megértést segíti.

Ha a lehető legegyszerűbb modellt szeretnénk egy városbeli távolságok megállapítására adni, akkor európai városhoz az s várható értékét 0-ra, amerikai városhoz az s várható értékét 1-re kellene beállítani. Persze láthatjuk, hogy egy valós európai város

mérései alapján az s érték beállítása ennél jóval komplikáltabb és nem is feltétlenül az elvárt (európai város esetén alacsonyabb) módon történik, lásd a 3.2.3. fejezetet.

3.3. A gépjárművek költségei a város-metamodellben

Egyszerűsített modellünkben úgy tekintjük, hogy a gépjárművek költségei két forrásból származhatnak:

- **Útiköltség:** a gépjárműveket homogénnek tekintjük, és úgy számolunk, hogy benzinmotorral vannak felszerelve. A benzinmotor üzemanyagfogyasztása kizárólag a megtett út hosszának a függvénye, még hozzá úgy, hogy a motor fogyasztását állandónak tekintjük.⁹ A motor által elfogyasztott üzemanyagot még egy konstans számmal, az üzemanyaggárral¹⁰ megszorozva kapjuk meg az útiköltséget.
- **Parkolási díj:** az adott parkolózóna típusától, a parkolózóban fizetendő parkolási díjtól és a parkolási időtől függ.

Mivel az egyéb költségekkel (pl. amortizáció, vagy, hogy piros lámpánál várakozás közben, alapjáraton is fogyaszt üzemanyagot egy gépjármű, a gyorsítások többletfogyasztással járnak stb.) egyelőre nem foglalkoztam, a jelenleg számolt költségeink legfeljebb alsó becslésként alkalmazhatóak. Egy kevésbé absztrakt szimuláció eredményei ennél kétséget kizárólag magasabbak lennének, és közelebb is állnának a valósághoz.

3.4. Az absztrakt városmodell központjai és a parkolási díjak

A parkolóhelyek árazása szempontjából egy városnak több központja is lehet. Nyilvánvalóan a legdrágább parkolóhelyek a történelmi belvárosban találhatóak, míg egy kertvárosi vagy ipari területen a parkolás többnyire ingyenes.

Ugyanakkor a városok topologikus felépítése nem feltétlenül van összhangban a parkolóhelyek árazásával¹¹. Egy városszéli üzleti negyedben vagy egy sok látogatót vonzó úticél környékén, annak fekvésétől függetlenül is találkozhatunk igen magas parkolási díjakkal.

⁹Jelen vizsgálatokban ez $8,5 \frac{l}{100 \text{ km}}$.

¹⁰Példáinkban ez az érték $380 \frac{\text{Ft}}{l}$.

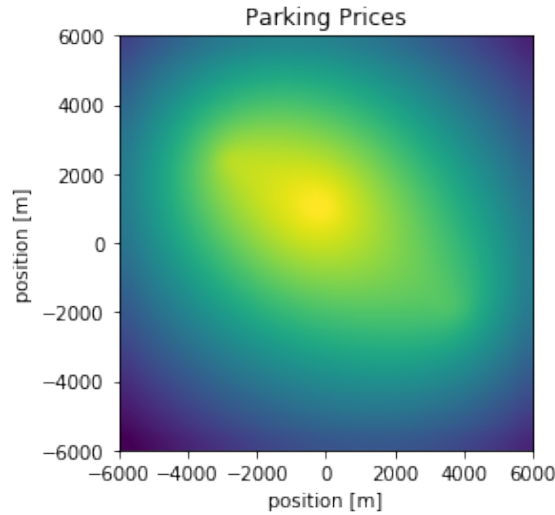
¹¹Budapest viszonylatában természetesen az I. kerületben vagy az V. kerületben a parkolás igen drága, hiszen ez gyakorlatilag a történelmi város szíve. Ezekről a területektől néhány kilométerre viszont, pl. Józsefvárosban, az előzőekhez képest féláron is parkolhatunk, köszönhetően a környék nem éppen pozitív hírnevének. Ugyanakkor a jóval távolabb fekvő Városligetben ismét magasabb díjakkal találkozhatunk.

Ennek megfelelően az absztrakt városmodellben érdemes kijelölni néhány pontot, amely parkolási szempontból központnak tekinthető, és emiatt magasabb parkolási költségekkel számolhatunk a környékén. Ezen pontokhoz meghatározhatunk egy súlytényezőt is, amely azt hivatott reprezentálni, hogy nem minden központ körül egyformán drága a parkolás (vö. Budapest I. kerület és Városliget parkolási díjai).

Ha a város egy adott pontjára elhelyezünk egy utcai parkolóhelyet, annak árát normáleloszlással modellezem, a (3.3) képletben meghatározott μ várható értékkel és 70 szórással. Az egyenletben szereplő c_i az i . középpontra utal, melynek súlytényezője w_{c_i} , $d_E(c_i)$ pedig a parkolóhely és a c_i középpont közötti euklideszi távolság.

$$\mu = 400 \cdot \sum_{c_i} w_{c_i} \cdot e^{9 \cdot 10^{-5} \cdot d_E(c_i)} \quad (3.3)$$

Ily módon az absztrakt város parkolóhelyeinek az ára várható értékben egy felületet határoz meg, ahogyan azt a 3.3. ábra is mutatja.



3.3. ábra. Példa a parkoló díjak várható értékeinek alakulására egy városmodellben. A városban kettő dimenziós egyenletes eloszlást követve három középpont található. Mivel a parkolási díjak ezen az ábrán nem feltétlenül egyeznek meg a tényleges parkolási díjakkal, a konkrét számértékek ábrázolásától eltekintettem.

A P+R parkolóhelyek díjszabása napidíjas jellegű, és mivel az leginkább várostervezési döntés, hogy ezen parkolóházak konkrét árai hogyan alakulnak, ezért a fenti városközponttól vett távolságképletet egyelőre nem alkalmazom. Így a P+R parkolók árát egy 1200¹² várható értékű, 300 szórású normáleloszlás mintavételezésével állapítom meg.

¹²Ez például reális ár lehet Forintban mérve

3.5. Parkolók az absztrakt városmodellben

A 2.1.2. fejezetben bemutatott P+R parkolóházak és utcai parkolókat el kell valamilyen módon helyezni a város-metamodellben.

Az utcai parkolók főleg a város középpontjában koncentrálnak, így (x, y) Descartes-síkkoordinátájú pozíciójuk egy 0 várható értékű és σ szórású kétdimenziós normál-eloszlással modellezhető, ahogyan azt a 3.4 képlet mutatja.¹³

$$\begin{aligned}x &\sim \mathcal{N}(0, \sigma) \\y &\sim \mathcal{N}(0, \sigma)\end{aligned}\tag{3.4}$$

A valóságban a városvezetés általában egy területen nem egyesével jelöli ki a parkolóhelyeket, hanem egy adott utca egy adott oldalára vetítve engedélyezi vagy éppen megtiltja az ott történő parkolást. Mivel ez a számításokat is fel tudja gyorsítani, a szimulációimban a feljebb olvasható módon azokat a gócpontokat jelöltem ki, *ahol néhány (n) útszéli parkolóhely elhelyezhető*. Az ilyen pontoknál egyenletes eloszlással legalább egy, de legfeljebb 10 parkolóhely lehet. Ezt a ν eloszlást mintavételezve, és egésyre kerekítve adódik minden egyes ilyen gócpont esetében, hogy hány konkrét parkolóhelyet tartalmaz, lásd a (3.5) képletet.

$$\begin{aligned}\nu &\sim \mathcal{U}(1, 10) \\n &= \lfloor \nu \rfloor\end{aligned}\tag{3.5}$$

A parkolóházak város szélére helyezése kissé trükkösebb. Matematikailag ezt talán úgy tudjuk könnyen megfogalmazni, hogy a parkolóházak egy körgyűrű mentén, véletlenszerűen helyezkednek el.

Ezáltal most nem a Descartes-koordinátákkal írjuk le ezen parkolóházak pozícióját, hanem (r, ϕ) polárkoordinátákkal. A körgyűrű belső sugarát jelöljük \bar{r} -rel, a gyűrű szélességét pedig d -vel. Így a koordinátákat egyenletes eloszlások mintavételezésével nyerhetjük, a (3.6) képlet szerint.

$$\begin{aligned}r &\sim \mathcal{U}(0, d) + \bar{r} \\ \phi &\sim \mathcal{U}(0, 2\pi)\end{aligned}\tag{3.6}$$

Ezen leírásokkal a város-metamodell egyelőre minden statikus tulajdonságot képes szimulálni, amit a munka jelenlegi fázisában szükséges. Ilyenek a parkolóhelyek és parkolási díjak számítása (lásd a 3.4. ábrán), illetve egy távolságszámító módszer. A város-metamodellhez már csak a dinamikus viselkedést kell leírnunk, azaz meg kell határozni az absztrakt *tevékenységlánccokat*.

¹³A konkrét megoldásban $\sigma = 5000$ szórással dolgoztam.

3.6. Tevékenységek szimulációja

Azon túl, hogy a város szerkezetét képesek vagyunk leírni egy matematikai modell segítségével, ahhoz, hogy a valóságot némiképpen tükröző szimulációt kaphassunk, modelleznünk kell a városunk lakóinak viselkedését. Hétköznap például a városlakók egy része munkába indul, ahol nagy valószínűséggel nyolc munkaórát eltölt, majd esetleg hazaúton beszalad még vásárolni egy üzletbe is. Mások az adott napon nem dolgoznak, hanem például hivatalos ügyeiket intézik, vagy több üzletet is útba ejtve vásárlással töltik a napot. Feltételezésem szerint a nyugati világban ezen *tevékenységláncolatok* általánosnak tekinthetők függetlenül attól, hogy az ember történetesen Moszkvában, Budapesten vagy Los Angeles-ben él-e.

3.6.1. Tevékenységek leírása az irodalomban

Sajnos viszonylag kevés olyan cikket vagy felmérést sikerült találnom, amely az emberek napirendjét (főleg közlekedési szempontból) részletesen tárgyalná. Az természetesen elképzelhető, hogy egy város közútkezelője erről részletes adatokkal rendelkezik, viszont az ezekhez való hozzáférés sajnos nem csak jogosultságbeli, hanem morális kérdéseket is felvet.

A forgalomszimulátorokhoz, például az Eclipse SUMO szimulátorhoz [18] eleve mellékelnek tevékenységeket generáló szoftvert is [3]. Ezt a tevékenységgeneráló megoldást alkalmazza például [9] is. Természetesen egy konkrét város ismeretében, illetve az egyes városrészekre eső PoI-k¹⁴ száma alapján [10]-hoz hasonlóan a forgalmi igények, azaz végsősoron a tevékenységek becsülhetőek.

[5] svájci felmérések szerint közli a leggyakoribb tevékenységláncolatokat és a gyakoriságukat. Kiindulva abból a feltételezésből, hogy a nyugati világban ezen tevékenységláncolatok számottevően nem változnak meg, ezen gyakoriságokat univerzálisnak tekinthetjük.

Ahhoz, hogy a tevékenységeket a modell szintjén is generálni tudjuk, szükségünk van arra is, hogy megtudjuk az emberek általában mennyi időt töltenek el egy-egy aktivitással.¹⁵ Kifejezetten érdekes kérdés, hogy átlagosan mennyi időt töltünk el egy-egy üzletben¹⁶. [4] felmérése szerint a vásárlók jelentős része 20–60 percet tölt el vásárlással egy svájci bevásárlóközpontban, 20 percnél gyorsabban pedig a vásárlók 15%-a sem végez. Ugyanakkor a vásárlók kb. fele tölt el legalább egy óránál több időt a bevásárlóközpontban, viszont másfél óránál többet már csak az esetek kb. 12%-ában töltenek átlagosan az emberek.

Ezek után már csak azt érdemes tisztázni, hogy mikor indulnak útnak az emberek, és az útnakindulásnak mekkora a szórása. [14] statisztikai szerint Svájcban a

¹⁴Angolul *Point of Interest*, azaz érdekes úticélok

¹⁵A munkaidő ilyen szempontból egyszerű, feltételezésem szerint Gauss-eloszlással jól modellezhető. Ennek az eloszlásnak a várható értéke 8 órának adódik, valamekkora szórással.

¹⁶Feltételezhetjük, hogy a hivatalok és orvosi rendelők is nagyon hasonló mintázatot adnak a kereskedelmi üzletekhez.

lakosság közel 40%-a közlekedik reggel 7 és 8 óra között. Délután négy körül ez az érték a 40%-ot is meghaladja, és a déli órákban is van egy kis kiugrás. Kísérletem során igyekeztem úgy választani az eloszlásokat, hogy egy ehhez hasonló mintát rajzoljon ki a generált tevékenységek száma egy adott időpontban. [14] arra vonatkozóan is tartalmaz statisztikai adatokat, hogy a svájci lakosság milyen céllal mennyi időt közlekedik. Ezen célok a *kikapcsolódás*, a *munkavégzés*, *bevásárlás*, *oktatás* és *egyéb célok* lehetnek.

3.6.2. A szimulációhoz alkalmazott tevékenységek generálása

A 3.6.1. fejezetben említett adatok alapján elkészítettem egy egyszerűsített matematikai modellt, amely alapján a tevékenységek generálhatóak lesznek. Annak érdekében, hogy egy egyszerű leírást kaphassunk éltem néhány egyszerűsítő feltételezéssel:

- A munkába járást és az iskolába járást egy kategóriának tekintem, és a továbbiakban csak *munkába járásként* vagy *munkavégzésként* fogok erre hivatkozni. Ez a feltételezés várhatóan nem torzítja túlságosan a kapott eredményeket, ugyanis az általános iskolásokat a szüleik akkor viszik be és hozzák el az iskolából, amikor munkába indulnak. A középiskolások jelen szabályok szerint önállóan még nem járhatnak autóval, és feltételezhetően ez a közeljövőben, az első önvezető autók megjelenésével sem fog megváltozni. A főiskolások és egyetemisták kis száma és véletlenszerű órarendje pedig legfejlebb zajként jelentkezik az adatokban.
- Nem foglalkozok külön a kikapcsolódás célú közlekedéssel. Feltételezésem szerint a városi kikapcsolódás (pl. moziba járás, étteremben vacsorázás, múzeumlátogatás stb.) nagyon hasonlóan viselkedik a bevásárlás kategóriájával, így ezeket egy kategóriának tekintem, és a továbbiakban csak *vásárlásként* hivatkozok erre a kategóriára.

Ezen egyszerűsítő feltételezésekkel tehát kétféle tevékenységet különböztetek meg, a munkavégzést (m) és a vásárlást (v). [5] adatai alapján a leggyakoribb tevékenységminták, *tevékenységláncok* az egyszerű munkába járás (m), illetve bevásárlás (v). Ennél ritkábban fordulnak elő a két tevékenységet magába foglaló láncok (mv és vv) permutációi és a három tevékenységet magába foglaló láncok (vvv és mmv) permutációi. Ezen láncok eloszlását mutatja a 3.2. táblázat.

Az egyetlen munkavégzést tartalmazó tevékenységláncokban a munkavégzés X_{m1} hossza a szimulációimban normáloszlást követ 8 óra várható értékkel, és 1000 másodperc szórással, melyet másodpercben számolva ad meg a (3.7) képlet. Ha egy tevékenységlánc kettő munkavégzést tartalmaz, akkor ezek X_{m2} hossza egy 4 óra várható értékű, szintén 1000 másodperces szórású normáloszlás kétszeri mintavételével áll elő, másodpercben számolva a (3.8) képlet szerint.

3.2. táblázat. Az egyes tevékenységláncok hossza és a tevékenységek eloszlása

tevékenységlánc hossza	tevékenységlánc valószínűsége	tevékenységlánc és munkavégzés együttes valószínűsége
1	82.75%	38.6%
2	11.34%	3.7%
3	5.91%	5.7% (dupla munkavégzés)

$$X_{m1} \sim \mathcal{N}(28800, 1000) \quad (3.7)$$

$$X_{m2} \sim \mathcal{N}(14400, 1000) \quad (3.8)$$

A vásárlások [4] szerinti hossza nem modellezhető egyértelműen egy normáeloszlással. Így a vásárlások X_v hosszát egy normál- és egy β -eloszlás összegeként számolom másodpercben a (3.9) képlet szerint. Eredményül a [4] tanulmányban említett tartózkodási időket talán jól szimuláló görbéket kaphatunk, lásd a 3.5. ábrán.

$$X_v \sim \mathcal{N}(1800, 800) + \beta(3, 7) \cdot 7200 \quad (3.9)$$

Szimulációimban a generált tevékenységek várhatóan reggel 7.30-kor kezdődnek (T_a), 1950 másodperc szórással, egy normáeloszlást követve (ez másodpercben felírható a 3.10 képlettel). Így a tevékenységek a város összes parkolóhelyére vetítve a 3.6. ábrán látható módon igénylik a parkolások megkezdését és befejezését. Ez a jelalak hasonlít a 3.6.1. fejezetben említett, svájci adatokon alapuló mintához, mely egy reggeli és délutáni 40% körüli forgalmat említ, dél körül egy kisebb kiemelkedéssel. Az ábrán látható, hogy 6 és 18 óra között folyamatosan van igény újabb parkolóhelyek foglalására, míg 7 és 20 óra között a szimulált tevékenységek parkolóhelyek felszabadításával is járnak. A parkolóhelyek foglalásai/felszabadulásai egyben a forgalom növekedését is jelzik, ugyanis az éppen nem parkoló járművek természetes módon mozognak, tehát részt vesznek a forgalomban.

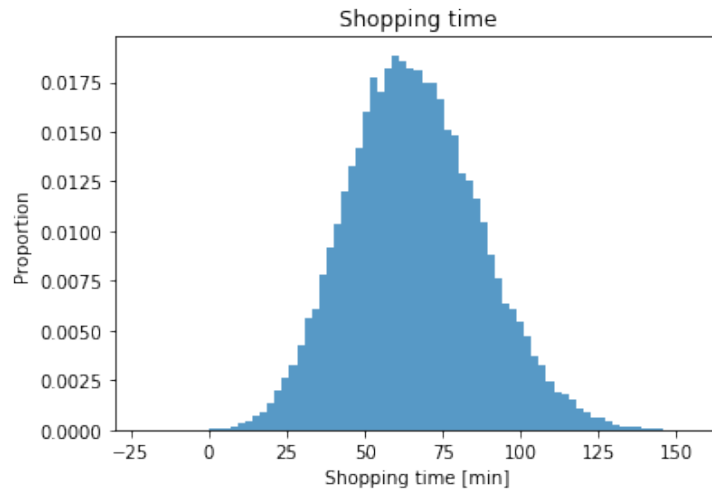
$$T_a \sim \mathcal{N}(27000, 1950) \quad (3.10)$$

A generált tevékenységekhez célpontot is illik rendelni. Szimulációmban ezen célpontok a város geometriai közepe körül, mindkét síkbeli koordinátájuk (x_a, y_a) szerint normáeloszlást követnek $\sigma = 5000$ szórással, a (3.11) képlet szerint.

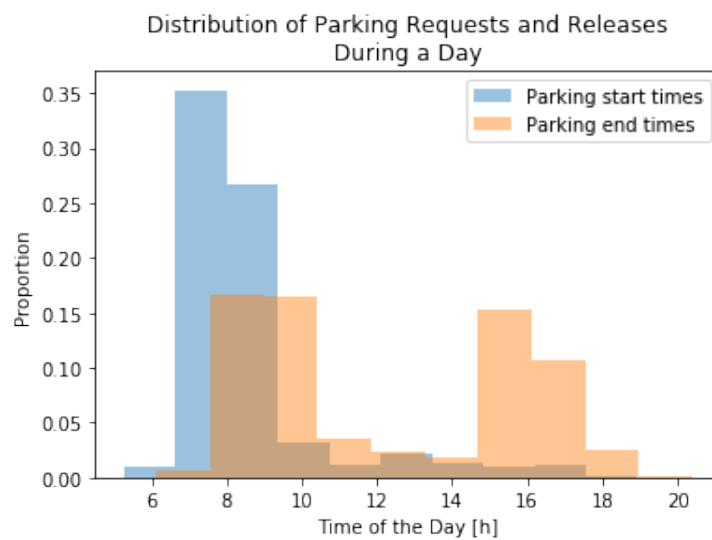
$$\begin{aligned} x_a &\sim \mathcal{N}(0, 5000) \\ y_a &\sim \mathcal{N}(0, 5000) \end{aligned} \quad (3.11)$$



3.4. ábra. Példa a különböző típusú parkolóhelyek (a narancssárga körök a P+R parkolóházak helyét, a kék körök az utcaszéli parkolóhelyeket mutatja) pozíciójára. Az ábrázolt körök mérete arányos azzal pénzüsszeggel, amelyet az adott parkolóhelyen egy 8-órás parkolásért fizetnünk kellene. A példában láthatunk elhelyezve egy gépkocsit, melyet zöld kereszt jelöl, és a hozzá tartozó saját garázst is, amelyet a piros kör reprezentál. Az útszéli parkolóhelyek árazásához a 3.3. ábrán látható árazási mezőt használtam.



3.5. ábra. A vásárlási idők eloszlása. A vízszintes tengelyen a vásárlások hossza [perc] került ábrázolásra, a függőleges tengelyen pedig az vásárlási hosszok részaránya látszik.



3.6. ábra. A parkolóhelyek elfoglalási (kék) és felszabadulási (narancssárga) időpontjainak eloszlása egy nap során.

4. fejezet

Az optimális parkolóhely kiválasztása

Napjainkban gépkocsivezetőként egészen sok szempontot figyelembe veszünk, amikor kiválasztjuk gépjárművünk parkolóhelyét. Az egyik legfontosabb szempont, hogy a *lehető legkevesebbet kelljen a parkolóhelyért fizetni* és ez a parkolóhely a *lehető legközelebb legyen* az úticélunkhoz. Ezen felül szeretjük, ha a gépkocsink árnyékban van, és azt is, hogyha sikerül viszonylag messze megállnunk a szomszédos autóktól.

Egy önvezető autó számára valószínűleg az utóbbi két szempont nem releváns, ugyanis, ha felételezzük, hogy a szomszédos jármű is önvezető, akkor nem kell tőle messze megállnunk, ugyanis feltehetőleg senki sem szeretne itt éppen ki- vagy beszállni a járműbe.¹ Továbbá az is könnyen látható, hogy a gépjármű nem fog félni attól, hogy túlságosan felforrósodna az utastere, hiszen mire felveszi az utasait, addigra könnyen lehűtheti az utasteret is egy kellemes hőmérsékletre.

Azonban a *lehető legolcsóbb* parkolóhely kiválasztása, illetve a *célállomáshoz közel* történő parkolás már koránt sem ennyire egyszerű kérdés az önvezető autók esetében. A következő fejezetekben vázolom ezen szempontok fontosságát és potenciális ellentétét.

4.1. A legolcsóbb parkolóhely

A lehető legolcsóbb parkolóhely elfoglalása természetes célja lesz az önvezető járműveknek is, hiszen ezzel pénzt tud spórolni a gépjármű fenntartójának. Éppen ezért ezt a célt már az autógyártók is be kell, hogy építsék a termékeik szoftverében.

Tegyük fel ugyanis azt, hogy ezt valamelyik autógyártó elfelejti ezt megtenni. Ennek az autógyártónak a vásárlói hamarosan észre fogják venni, hogy az ő járműveik parkolása több pénzbe kerül, mint a többi autógyártó termékének parkolása. Ezért természetes reakció lesz a nem feledékeny autógyártók termékeit előnyben részesíteni. Ily módon az önvezető autók számára természetes cél lesz, hogy a lehető

¹Pont ezen megfontolás miatt az önvezető autók valószínűleg igen szorosan fognak egymás mellé parkolni.

legolcsóbb alternatívát részesítsék előnyben.

4.2. A legközelebbi parkolóhely

A társadalom érdeke viszont azt diktálja, hogy az önvezető autók az úticéljukhoz a lehető legközelebb fekvő parkolóhelyet foglalják el. Ez ugyanis a társadalom szempontjából több előnnyel is jár.

Az természetesen előnyös, hogy egy éppen parkoló autó az nem bocsát ki kipufogógázokat, nem okoz zajterhelést, és nem veszélyezteti az utcán közlekedő gyalogosokat sem. Ezen felül nem okoz az úthálózaton sem többletterhelést, így nem foglal más autók előtt sem szűkös erőforrásokat.

4.3. A kompromisszumos megoldás

Játsszunk el a gondolattal, hogy mi történne abban az esetben, ha minden autonóm jármű a lehető legolcsóbb parkolóhelyet favorizálná, ami történetesen nem lenne más, mint az, hogy minden jármű hazatér tulajdonosa garázsába², miután célba jutatta az utasait.

Ekkor a napjainkban szokásos reggeli csúcsforgalmat rögtön egy délutánihoz hasonló csúcsforgalom követné³. Jó közelítéssel a késő délelőtti órákra az utolsó önvezető jármű is hazaérne, viszont a kora délutáni órákban már indulnia is kellene vissza, hogy hazahozza az utasait. Így kora délután ismét egy reggelihez hasonló csúcsforgalomra kellene számítani az utakon, amit rögtön ezután a szokásos délutáni csúcsforgalom követne.

Mivel az útiköltségek jellemzően eltörpülnek a parkolási díjakhoz képest, ezért a gépjármű-tulajdonosok elégedettek lehetnek, ugyanis a manapság kiadott parkolási költségek kifizetését így megspórolták.

Könnyen látható viszont, hogy ez a megoldás egyetlen nap alatt a napjainkban tapasztalható, közlekedésből származó lég- és hangszennyezést jó közelítéssel megduplázná. Ráadásul az úthálózat is költői túlzással átjárhatatlanná válna, ugyanis megduplázódna a torlódások időtartama is. Így a napjainkban 10 és 15 óra között tapasztalható forgalomcsökkenés helyett egy jóval rövidebb, és kisebb volumenű

²Ez a feltételezés talán a gyakorlatban is megállja helyét. Vegyünk ugyanis egy messzebbről érkezett járművet, amelynek már az útiköltsége kapcsán sem feltétlenül előnyösebb anyagilag a hazatérés, mint például egy olcsóbb parkolóház igénybe vétele. Ekkor természetesen a parkolóházat fogja választani, viszont az úthálózat szempontjából ez az eset szinte megkülönböztethetetlen attól, mintha a gépjármű-tulajdonos a szóban forgó parkolóház szomszédja lenne. Így kényelmes erre az esetre úgy gondolni, mintha minden önvezető jármű hazatérne.

³Arról nem is beszélve, hogy ezek még át is lapolódhatnak, azaz egyszerre lehetne jelen a reggeli és délutáni csúcsforgalom is az utakon!

csökkenésre⁴ számíthatunk csupán a déli órákban.

Látható tehát, hogy a legolcsóbb parkolóhely favorizálása katasztrofális következményekkel járna mind környezetvédelmi, mind társadalmi szempontból. Ezért ezt az opciót érdemes lenne elkerülni.

Ezzel szembe állítható az a megoldás, hogy minden gépjármű az utasai célállomáshoz legközelebb eső szabad parkolóhelyen álljon meg. Itt az előbb említett káros hatások többete egyáltalán nem jelentkezne. Ugyanakkor a gépjármű-tulajdonosok jogosan szegezhetnék járműveik gyártói felé a kérdést, hogyha a gépjárművük képes lenne olcsóbb alternatívákat választani, akkor ezt miért nem teszi meg. Erre a nyomásra az autógyártók valószínűleg úgy reagálnának, hogy gépjárműveiket az olcsóbb parkolóhelyek felé terelnék. Sajnos ezzel az a probléma, hogy szabályozás hiányában az autógyártók addig-addig engednének (részben a vásárlóik nyomásának, részben a versenyképességük megóvása érdekében) olcsóbb alternatívákat választani, hogy eljutnánk a legolcsóbb alternatíva esetéhez.

Ha a két szélsőséges preferencia (a legolcsóbb ellenben a legközelebbi preferenciájával) között egy kompromisszumos megoldást szeretnénk találni, akkor ahhoz mindenképpen hatósági szabályozásra lesz szükségünk. Egyfelől az autógyártóknak meg kell állapodniuk egy *de jure* súlytényező értéktartományában. Ez a súlytényező mutatná, hogy egy önvezető gépjármű mekkora súllyal veszi figyelembe a környezetvédelmi és társadalmi szempontokat (azaz mennyire preferálja a közeli célpontokat), és mekkora súllyal veszi figyelembe a gazdája pénztárcáját (azaz a legolcsóbb alternatívát) amikor megválasztja a parkolóhelyét.

Mivel minden település más és más, ezért ez a súlytényező még nem feltétlenül elegendő ahhoz, hogy gátat szabjon a túlzott forgalomnövekedésnek.⁵ Ezért szükség van egy városfüggő, helyhatósági szabályozásra is. Az egyszerűség kedvéért vezessünk be egy távolsághatárt, aminél messzebbre nem távolodhatnak el az önvezető gépjárművek az utasaik célállomásától. Hívjuk ezt a távolságot *maximális eltávolodásnak!*

Belátható, hogy az említett korlátozásokkal elkerülhető az a veszélyes helyzet, hogy minden gépjármű a lehető legolcsóbb parkolóhelyet favorizálja. Ugyanakkor az is valószínű (de természetesen nem is kizárt), hogy az önvezető gépjárművek nem a lehető legközelebbi parkolóhelyet próbálják meg elfoglalni. Így a gépjárműfenntartók érdeke sem sérül. Az így kialakult megoldás tehát kompromisszumos

⁴Az áthaladó forgalom így jóformán csak a déli órákban kapna lehetőséget arra, hogy viszonylag kis forgalom mellett szelhesse át a várost. Feltehetjük, hogy amennyiben ez lehetséges, ezt a kis ablakot az áthaladó forgalom ki is használná.

⁵Képzeljünk el egy körutas-sugárutas várost, amelynek a mértani közepén egy hatalmas parkolóház áll. Ez a parkolóház viszont csak egy nagyon szűk, nagyon kicsi teherbírású hídon át közelíthető meg, amin egyszerre csak egyetlen autó tartózkodhat. Ezzel szemben a város mindenhol máshol bőven elég számú, viszont viszonylag drága útszéli parkolóhelyet is biztosít. Az autógyártók pedig egy olyan súlyzófaktorban állapodtak meg, amely nem zárja ki a közeli parkolóhelyek használatát sem, viszont a gépjárműveket ebben a konkrét helyzetben a parkolóház felé irányítaná. A szűk keresztmetszetű híd miatt itt gyorsan torlódások alakulnának ki.

lesz, mind a gépjármű-tulajdonosok, mind a társadalom, mind a környezetvédelem szempontjából.

5. fejezet

Parkolóhelyek kiosztása – Az egyidejű licitálás

Tételezzük fel, hogy nincsen gyakorlati akadálya annak, hogy a jövő önvezető autói egy város összes parkolóhelyéről tudják azt, hogy az éppen szabad lesz-e abban az időszakban, amikor ezen autóknak parkolniuk kell. Ekkor – egy adott preferencialista mentén – az okos gépjárművek képesek lehetnek annak eldöntésére is, hogy melyik parkolóhelyet lenne érdemes elfoglalniuk.

Mivel igen valószínű az, hogy egy-egy parkolóhely több önvezető autó számára is ideális célpont lesz, ezért foglalkoznunk kell egy a parkolóhelyeket az önvezető járművekkel összerendelő algoritmussal is. Mivel potenciálisan nagyon sok autó és nagyon sok parkolóhely összerendelési problémáját kell megoldanunk, olyan megoldást keresünk, amely elosztottan is számítható. Ilyen megoldás lehet például egy aukció.

5.1. Elméleti áttekintés

Kiindulási feltevésünk, hogy szükségünk van egy bizonyos fajta termékből legfeljebb egy darabra. Ilyen terméket egyszerre több aukción is meg lehetne vásárolni, bár az igaz, hogy van egy preferencialistánk az egyes aukciókon hirdetett termékpéldányokról. A célunk az, hogy a (lehetőleg a preferencialistánkon előrébb szereplő) termékből beszerezzünk legfeljebb egyet úgy, hogy egyszerre veszünk részt minden liciten.

Aukciós stratégiánknak biztosítania kell tehát azt, hogy egyszerre legfeljebb egy árverésen legyen miénk a legnagyobb licit. Továbbá azt is biztosítanunk kell, hogy a preferencialistánkon elől szereplő terméket nyerjük el a módszer által. A preferencialistának nem feltétlenül kell állandónak lennie, az aukciók állása befolyásolhatja ezt a listát.

5.1.1. Részvétel és aktivitás az aukciókon

Mivel a következő fejezetekben több aukció és több résztvevő viszonyáról is szó lesz, bevezetek néhány definíciót, amely a résztvevők és az aukciók újszerű viszonyát hivatott leírni:

- **Az aukció résztvevője:** az aukció *résztvevői* mindazok, akik az aukció megkezdése előtt jelezték az *aukció rendezőjének* a részvételi szándékukat. Ha egy résztvevő egy másik aukción nyertessé válik, akkor kilép az összes további aukcióból, azoknak nem lesz résztvevője a továbbiakban.
- **Az aukció aktív résztvevője:** valamely aukció *aktív résztvevője* egy aukciós körben az, aki ebben a körben a szóbanforgó aukción licitál.
- **Az aukció inaktív résztvevője:** valamely aukció *inaktív résztvevője* egy aukciós körben az, aki az adott aukciónak *résztvevője*, azonban nem licitál az adott körben.

5.1.2. Legfeljebb egy tételre licitálás

Ha egyszerre csupán egyetlen aukción veszünk aktívan részt (csak itt emeljük a tétet), az triviálisan garantálja, hogy egyszerre legfeljebb egyetlen tételt nyerhessünk el.

Ezáltal minden körben csak egyetlen aukción licitálunk. Itt is legfeljebb egy felső összeghatárig leszünk hajlandóak emelni a tétet.

5.1.3. Preferencialista figyelembe vétele

Ahhoz, hogy a preferencialistánkon elől szereplő tételek valamelyikét hozhassuk el a módszer által, ki kell választanunk, hogy melyik aukció legyen az 5.1.2. fejezetben említett egyetlen aukció, amelyben aktívan is részt veszünk. Észszerű megoldás, hogy azon termék licitjén vegyünk részt, amely preferencialistánkon legelől áll.

Fontos megjegyeznünk, hogy a termékek árainak alakulása hatással lehet a preferencialistánkra, ezért azt minden egyes aukciós körben (azaz, ha bármely aukció bármely résztvevője emelte a tétet) frissíthetjük. Így az igazán érdekes kérdés az, hogy mi történik olyankor, hogyha a preferencialistánkon elől szereplő termékek megcserélődnek.

Amennyiben új termék kerül a preferencialistánk élére, úgy fel kell hagynunk a korábbi licitálással, és egy másik aukción kell tovább licitálnunk (azaz a korábbi árverésen inaktívvá válunk). Igen ám, de ha az első aukción nyeresre állunk, és már senki sem hajlandó ránk licitálni, akkor előfordulhat, hogy több aukció is nyertesnek hozna ki minket. Ezt úgy tudjuk elkerülni, ha csak akkor váltunk az aukciók között, ha a korábbi aukción már érkezett valaki mástól egy magasabb licit az általunk legutoljára tett ajánlatnál.

5.1.4. Licitszabályok

A preferencialistákon legelől szereplő termékre licitálunk kezdetben. Minden egyes tételnelésnél (akármelyik aukción is történt az) frissítjük a preferencialistánkat. A továbbiakban igyekszünk a listánk élén szereplő termékre licitálni, ennek az árverésén részt venni aktívan.

Amennyiben az árak úgy alakulnak, hogy elkezdünk egy másik terméket preferálni, akkor annak aukciójára lépünk át. Ezt az átlépést akkor tehetjük meg, ha jelenleg nem vezetjük azt az árverést, amely a korábban preferált termékünk eladását célozza.

Az árakról való vélekedést az aukció szervezője végigkérdezi az összes résztvevőtől (természetesen az első ár a kikiáltási ár lesz). Ha valamely résztvevő hajlandó megadni az éppen kért összeget, akkor az a szervező ezt feljegyzi, és valamekkora mennyiséggel emel az aktuális tételen, és ezzel az árral folytatja a kérdezést. Az aukció befejeződik, ha egy körben pontosan egy résztvevő volt már csak hajlandó elfogadni az aktuális tétet. Az aukció akkor is befejeződik, hogyha az aukciónak már nem marad több résztvevője¹.

Az árverésre annak elkezdése után újabb résztvevő nem léphet be². Természetesen a kezdeti résztvevők inaktívak lehetnek egy aukcióban.

5.2. Skálázhatóság, számítási költségek

Feltételezve azt, hogy a preferencialisták könnyen számíthatóak a vevők oldalán, érdekes kérdés, hogy a javasolt módszer mennyire hatékony. A hatékonyságot vizsgálhatjuk az aukció szervezője, illetve az aukciókon résztvevő járművek szempontjából is.

5.2.1. Hatékonyság az aukció szervezője szempontjából

Egy aukción vegyen részt n résztvevő. Jelölje p azt a legtöbb pénzt, amelyet valamely résztvevő hajlandó áldozni az eladandó termékért. Továbbá jelölje s_0 a kikiáltási árat, δ_s pedig azt a kis lépést, amellyel az aukció szervezője emeli a tétet minden egyes kérdésnél.

Könnyen látható, hogy az a legszámításigényesebb lehetőség, ha minden résztvevő hajlandó megadni p -t. Ekkor a kérdések szükséges l számát az (5.1) képlet mutatja, ugyanis legfeljebb ennyi kérdést tesz fel az aukció szervezője a résztvevőknek. Hiszen addig, amíg a p -t nem haladja meg az aktuális tét, addig mindenki

¹Mivel több aukció is fut egyszerre párhuzamosan, előfordulhat, hogy egy résztvevő egy másik árverésen nyer, így beszerezte azt a legfeljebb egy terméket, amire szüksége volt. Így a többi árverésből ki fog lépni.

²Ez jelen dolgozatomban egy technikai egyszerűsítő feltételezés. A módszer szempontjából ezt a feltételt nem kellene előírni.

megadja az aktuális összeget. Ezután az aukció rendezőjének még egy kört kell futnia, azaz n db kérdést fel kell tennie.

$$l = \lceil \frac{p - s_0}{\delta_s} \rceil + n \quad (5.1)$$

Ez alapján megállapíthatjuk, hogy az aukció rendezője szempontjából az aukciós algoritmus lépésszáma $\mathcal{O}(n)$ nagyságrendű. Míg a memóriaigénye szintén $\mathcal{O}(n)$, ugyanis ismernie kell az n résztvevőt. Ezen felül pedig még nyilván kell tartania azt, hogy mekkora az aktuális tét és azt, hogy ki a legutóbbi licitáló. Az utóbbiak pedig nem befolyásolják a memóriaigény nagyságrendjét.

5.2.2. Hatékonyság a résztvevők szempontjából

Használjuk továbbra is az 5.2.1 alfejezetben bevezetett jelöléseket!

Egy résztvevő vegyen részt m db aukción. Egy résztvevő szempontjából akkor a legkevésbé hatékony az aukciós eljárás, hogyha minden résztvevő preferencialistája az aukciók lépései során megegyezik, mivel így mindig ugyanazon az aukción emelnek tétet. Ennek eredményeképpen a legnagyobb lépésszámú eset az egy résztvevő szempontjából, ha már mind az m aukció a $p - \delta_{s_i}$ költséghatárhoz ért, ahol δ_{s_i} jelentése az i . aukcióhoz tartozó kis kétemelés. Ehhez az 5.2.1. alfejezet tanulságai szerint nagyjából $m \cdot \mathcal{O}(n)$ lépés kellett.

Ekkor a résztvevőt még $m - 1$ aukciórendező végig fogja kérdezni arról, hogy elfogadja-e az (immár legrosszabb esetben $p + \delta_{s_i}$) ajánlatot, az m . aukciószervező pedig p -t fog ajánlani neki. Mivel az utolsó ajánlatot elfogadjuk, és már minden más résztvevő nyert egy aukciót előttünk, így összesen tehát az (5.2) képlettel számolható l lépést tettük meg.

$$k = m \cdot \mathcal{O}(n) + m \quad (5.2)$$

Ahogy azt látjuk, ez az aukciók számának (m) függvényében szintén lineáris, $\mathcal{O}(m)$ nagyságrendű. Tárigény tekintetében is $\mathcal{O}(m)$ nagyságrenddel számolhatunk, ugyanis az elenyésző méretű nyilvántartott paraméter (pl. vezetjük-e éppen az aktív árverésünket) mellett az m méretű preferencialistánkat avagy a számításához szükséges m db aktuális árat számon kell tartanunk.

Nem szóltunk ugyanakkor arról, hogy a preferencialista-számító eljárásunk költségeiről. Mivel az aukciók költsége meglehetősen alacsony (lineáris), ezért a preferenciaszámítás lépésszáma és tárigénye alapvetően befolyásolja az árverési algoritmus hatékonyságát.

5.2.3. Az aukció skálázhatósága

Alapvetően mind az aukció szervezője, mind a résztvevője szempontjából lineáris tár- és számításigényű módszerről van tehát szó³, így azt mondhatjuk, hogy ez a módszer jól skálázható mind az aukció rendezőinek, mind a résztvevőinek a számáraiban.

Mivel az aukció lépéseit a résztvevők önmaguk is tudják számolni, lehetséges az eredményt elosztottan kiszámítani. Ezért (feltételezve azt, hogy a preferencialistát a résztvevők ki tudják számítani) a módszer alkalmas lehet arra, hogy nagyon sok vevő számára nagyon sok terméket beárazzon egyidőben, még hozzá úgy, hogy az aukciók egymástól függetlenül tudnak futni, a vevők pedig az általuk favorizált terméket⁴ fogják megvásárolni.

5.3. Egyidejű licitálás parkolóhelyek elosztására

Az 5.1. fejezetben ismertetett módszer egy konkrét alkalmazási lehetősége az, ha segítségével parkolóhelyeket osztunk ki autonóm járműveknek. Ilyenkor a „termékek”, amelyet az aukciókon meg lehet venni, azok maguk a parkolóhelyek. A vásárlók természetesen az intelligens járművek lesznek. A „termék”, a parkolóhely kikiáltási ára legyen első körben a parkolóhely óradíja.

Figyeljük meg azonban, hogy a járműveknek nem kötelező elnyerni egy parkolóhelyet, ugyanis egy konfliktusmentes megoldást mindig ismernek. Ez a megoldás az, hogy az intelligens jármű hazatér, és beáll a garázsába.⁵

Egy gépjármű szempontjából a preferencialista oly módon állítható fel, hogy jobban preferáljuk azokat a megoldásokat, ahol az úti- és parkolási költségek valamint a környezeti terhelések is alacsonyabbak.

Ha az árat a parkolóhely óradíjaként vesszük fel, akkor az mind a parkoló üzemeltetője számára, mind a járművek számára jó viszonyítási alap lehet. Például egy komplexebb modellben elképzelhető, hogy nem minden licitáló jármű ugyanakkor érkezik és távozik, csupán annyit feltételezünk róluk, hogy létezik egy olyan időpont, amikor minden licitáló jármű igénybe venné az adott parkolóhelyet. Ilyenkor unfair megoldás lenne egy néhány perces parkolásért egy több órás parkolási díjat elkérni. Ennél igazságosabbnak tűnik az, hogy megemeljük a parkolási óradíjat, és a járművekre bizzuk annak eldöntését, hogy nekik megéri-e még így is kifizetni a parkoló árát. Természetesen a kikiáltási ár az eredeti parkolási óradíj lenne.

³Természetesen a preferencia-számító algoritmus hatékonyságától eltekintve.

⁴De legalábbis pontosan az előző fordulóig általuk favorizált terméket kell majd megvásárolniuk.

⁵Vagy akár az is, hogy addig mozog a város útjain, amíg a tulajdonosának újra szüksége nem lesz rá.

5.3.1. Az önvezető gépjárművek preferencialistája

Ahogy az a 4. fejezetben tárgyaltuk, az önvezető gépjárművek preferencialistáját a tulajdonos érdeke (lehető legolcsóbb parkolás), a társadalmi és környezetvédelmi érdek (lehető legközelebbi parkolás) együttesen határozzák meg. Annak érdekében, hogy egy kompromisszumos megoldás születhessen a két véglet között, az autógyártók bevezethetnek egy súlyozó tényezőt, amely megmutatja, hogy milyen arányban preferálhatják a gépjárművek a legolcsóbb parkolóhelyet a legközelebbi megoldással szemben. Továbbá a városvezetés is bevezethet egy távolsági korlátozást, a maximális eltávolodást, amely megmutatja, hogy legfeljebb milyen messze parkolhat le egy önvezető autó annak tulajdonosától.

A kiválasztható parkolóhelyek listája

Hogy szűkítsük a szóbajöhető parkolóhelyek körét, észre kell vennünk néhány alapvető jelenséget. Az összes parkolóhely közül (beleértve a saját garázsunkat is) válasszuk ki a legolcsóbb és a legközelebbi parkolóhelyet.

A legközelebbi parkolóhelynél drágább parkolóhelyet magától értetődő, hogy nem érdemes választani, hiszen ez sem a gépjármű-tulajdonosoknak, sem a társadalomnak, sem a környezetvédelemnek nem lenne hasznos. Így a legközelebbi parkolóhely ára jó lesz korlátozó egy korlátozó tényezőnek.

Ugyanakkor az is egy jól érthető szempont, hogy a legolcsóbb parkolóhelynél távolabbi parkolóhelyeket is nyugodtan figyelmen kívül hagyhatjuk. Hiszen itt is fennáll az, hogy egyetlen szereplőnek sem lenne érdeke az, ha ezen parkolóhelyek közül választana egy önvezető autót. Így a legolcsóbb parkolóhely távolsága egy második korlátozó tényezőként használható.

Természetesen a *maximális eltávolodás* egy harmadik tényezőként adódik a korábban említett két tényező mellett. Így a legolcsóbb parkolóhely távolságánál és a maximális eltávolodás mértékénél közelebbi, valamint a legközelebbi parkolóhely áránál olcsóbb parkolóhelyek közül választhat egy önvezető autót.

A parkolóhelyek rangsora

A parkolóhelyeket árak és távolságuk alapján egy kétdimenziós térben ábrázolhatjuk. Ahhoz, hogy ebből egy egydimenziós preferencialistát készíthessünk szükségünk van egy függvényre, amely a kétdimenziós tér pontjait egydimenziós számokká képes képezni. Ezen u_i számokat felhasználva egy monoton preferencialistát fogunk képezni a kiválasztható parkolóhelyekről.

Dolgozatomban ezt egy lineáris függvényként definiálom, mely figyelembe veszi egy i parkolóhely p_i költségét és d_i távolságát.

A p_i költség számításában két meghatározó tényező van:

- A $c_d [Ft]$ úti költség (kétszerese, ugyanis oda és vissza is meg kell tenni parkolóhely és az utasok célja közötti távolságot), mely a parkolóhely $d_i [m]$ távol-

ságával arányos. Ez az arány függ egy gépjármű $c_f \left[\frac{l}{100km} \right]$ fogyasztásától és a konstansnak tekinthető $p_f [Ft]$ üzemanyagártól is. Így a (magyar forintban számított) útköltségre az (5.3) képlet alkalmazható.

- A $c_p [Ft]$ parkolási költség, amely $t_p [s]$ parkolási időtől függ. A c_p költségfüggvény parkolóház esetében napidíjas jellegű, amely nem a t_p másodpercben, hanem a parkolással megkezdett $\left\lceil \frac{t_p}{24 \cdot 60 \cdot 60} \right\rceil$ napok alapján a p_d napdíjjal számolható. Egy útszéli parkolóhely esetén a fizetés másodperc alapú a megközelítésemben, így egyszerűen, a p_s másodpercre vetített parkolási költséggel számolható. Az otthoni parkolás parkolási díja 0 $[Ft]$. Lásd az (5.4) képletet.

$$c_i = 2 \cdot \frac{d_i}{1000} \cdot \frac{c_f}{100} \cdot p_f \quad (5.3)$$

$$c_p(t_p) = \begin{cases} \left\lceil \frac{t_p}{24 \cdot 60 \cdot 60} \right\rceil \cdot p_d, & \text{ha P+R parkolóház} \\ t_p \cdot p_s, & \text{ha útszéli parkoló} \\ 0, & \text{ha otthoni parkoló} \end{cases} \quad (5.4)$$

A $p_i [Ft]$ parkolási költségek tehát ezen két komponens összegeként számítható, ahogyan azt az (5.5). képlet mutatja.

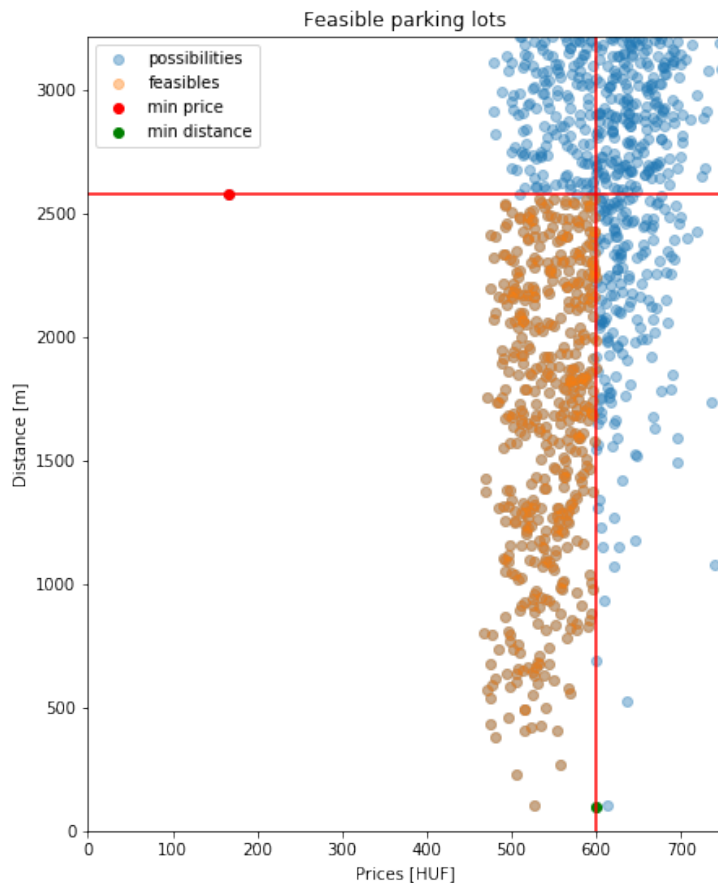
$$p_i = c_i + c_p(t_p) \quad (5.5)$$

Ahogy arról már a 4.3. fejezetben is szó volt, az autógyártók bevezethetnek valamilyen súlyozó paramétert arra vonatkozóan, hogy a gépkocsik milyen mértékben preferálják az olcsóbb parkolóhelyeket a közelebbiekkal szemben. Dolgozatomban azt feltételezem, hogy ez egyetlen szorzótényező, melyet α -val jelölök.

Ilymódon az i . parkolóhely u_i preferenciaértéke az (5.6) képlet szerint alakul. Mivel a d_i távolságot figyelembe kell vennünk az utasok úticéljától a parkolóhelyig és a visszaúton is, ezt a távolságértéket kétszeres szorzóval vesszük. A kapott képlet *magyar forint* pénznem mellett numerikusan igen kellemesen alakul, ugyanis a várható parkolási költségek az ezer forintos nagyságrendben alakulnak, míg a távolságok méterben kifejezve is ebbe a nagyságrendbe várhatóak.

$$u_i = \alpha \cdot p_i + 2 \cdot (1 - \alpha) \cdot d_i \quad (5.6)$$

$$\alpha \in [0..1]$$



5.1. ábra. A kiválasztható parkolóhelyek ábrázolása. A függőleges tengelyen a parkolóhelyek távolságait láthatjuk méterben kifejezve, míg a vízszintes tengely a parkolóhelyek költségét mutatja útiköltséggel együtt, magyar forintban kifejezve kb. egy 1 órás parkolási időre. A parkolóhelyeket egy-egy kör jelképezi. A legközelebbi parkolóhelyet egy zöld kör, a legolcsóbb parkolót pedig egy piros kör mutatja. A parkolóhelyek közül a narancssárgák azok, amelyek (a maximális eltávolodás figyelembe vétele nélkül) kiválaszthatóak.

6. fejezet

Modellszimuláció

Az előző fejezetekben több olyan ötlet is felvázolásra került, amelyet több ok miatt sem lehet a való világban kipróbálni. Itt nem csupán arról van szó, hogy jelenleg még nem rendelkezünk valódi önvezető gépjárművekkel, hanem arról is, hogy a közlekedés nagyon erősen biztonságkritikus is. Ugyan a parkolóhelyek elosztásán talán emberi élet nem múlik, viszont az anyagi befolyása igen nagy lehet. Éppen ezért a valós vizsgálatokat számtalan modellsimulációnak és szimulációnak kell megelőznie.

A szimulációs vizsgálatok tekintetében fontos kérdés a szimuláció absztrakciós szintje. Egy mikroszkopikus forgalomszimulátor, mint például az Eclipse SUMO [18] már igen precíz eredményeket tud adni, viszont a szimuláció meghajtásához szükségünk van az úthálózat¹, a forgalmi igények és járművek viszonylag pontos leírására. Egy ilyen szimulációt tehát igen fáradtságos összeállítani, ráadásul nem feltétlenül szolgálja azt sem, hogy megbizonyosodjunk egy-egy új ötlet működőképességéről, ugyanis az is lehet, hogy egy eredendően gyenge hatást az egyedi szimulációs helyzetek gyengítik vagy éppen megerősítik.

Éppen ezért érdemes lehet egy ennél magasabb absztrakciós szinten kezdeni a vizsgálatot. Jelen dolgozatom fókuszában így egy matematikai modell szimulációi állnak. Amennyiben az előző fejezetekben javasolt módszerek működésképtelen, az már ezen az absztrakciós szinten is láthatóvá válik, a hatáserekségeket pedig jóval kevesebb további ismert vagy ismeretlen hatás befolyásolja, mint egy ennél konkrétabb esetben.

6.1. A használt modell paramétere

6.1.1. Városgenerálás

A matematikai szimulációhoz kiindulásképpen a 3. fejezetben leírt módszerrel generálok egy európaihoz hasonló várost, melynek középpontja a koordinátarendszere

¹További kérdés, hogy a mai úthálózat mennyire hasonlít arra a jövőbeli úthálózatra, amelyben az autonóm vezetés mellett az emberi sofőrök már a háttérbe szorulnak.

origójában található. Ennek a városnak 1 „központi része”, van, amely környékében drágább parkolóhelyekkel lehet találkozni. Ezen városközpontok (X_{c_i}, Y_{c_i}) pozíciói a város geometriai középpontja körül egyenletesen helyezkednek el egy 4000 méter sugarú kör mentén, a (6.1) képlet szerint.

$$\begin{aligned} X_{c_i} &\sim \mathcal{U}(-4000, 4000) \\ Y_{c_i} &\sim \mathcal{U}(-4000, 4000) \end{aligned} \tag{6.1}$$

A városban 1400 helyen jelölök ki olyan gócpontokat, ahol útszéli parkolóhelyek lehetnek, így várhatóan 7700 útszéli parkolóhelyből (melyek 1400 különböző ponton találhatóak) választhatnak az autonóm járművek.

Ezen felül a város rendelkezett 10 db P+R parkolóházzal is, melyek kapacitása egyenként 300 gépkocsi volt.

6.1.2. Gépjárművek és tevékenységeik generálása

A szimulációk során egy munkanap 24 órájában, 10000 gépjárműhöz rendelék tevékenységi láncokat a 3.6 fejezetben foglaltak szerint. Ezen cselekvésláncok a gépkocsik otthonából indulnak, és ott is zárulnak. Az otthonok a város geometriai központjához képest egy 10 km sugarú körben, egyenletesen helyezkednek el, ahogyan azt a (6.2) képlet definiálja.

$$\begin{aligned} X_{h_i} &\sim \mathcal{U}(-10000, 10000) \\ Y_{h_i} &\sim \mathcal{U}(-10000, 10000) \end{aligned} \tag{6.2}$$

Feltételezem továbbá, hogy a gépkocsik (utasok nélkül) leparkolnak két tevékenységük között. Azaz egy ilyen bővített tevékenységi lánc lehet például a következő:

1. otthonról vezetés munkahelyre utassal
2. parkolás utas nélkül
3. visszavezetés munkahelyre utas nélkül
4. vezetés a bolthoz utassal
5. parkolás utas nélkül
6. visszavezetés a bolthoz utas nélkül
7. hazavezetés utassal

6.2. Vizsgált mértékek

6.2.1. Aukciók száma és a sikeres aukciók aránya

Vizsgálataim során mértem az aukciók számát, illetve azt, hogy ezek közül hány végződött sikeresen. Sikeres az az aukció, melyet egy vásárló megnyert².

Az aukciók száma azt mutatja, hogy átlagosan hány parkolóhely lehet kiválasztott egy bizonyos paraméterezés mellett. A sikerességi arány pedig két dolgot is tükröz. Egyfelől, ha nagy a sikertelen aukciók száma, az azt is jelenti, hogy túlságosan sok aukció fut feleslegesen, azaz ezeket az aukciókat kezdetben akár el is hagyhattuk volna. A sikertelen aukciók magas száma továbbá azt is jelezheti, hogy az autonóm gépjárművek számára az elérhető parkolóhelyek nem jelentenek jó megoldást, mert például átlépik a napi parkolási költséghatárt vagy racionális opcióvá válik a hazatérés is.

6.2.2. Összesített parkolási költség

Az egyik legfontosabb kérdés (mind városvezetési vagy parkolóhely-fenntartói, mind gépjármű-tulajdonosi szempontból), hogy mekkora parkolási kiadásokkal lehet számolni bizonyos paraméterezések mellett. Emiatt ezt a paramétert elengedhetetlen vizsgálni szimulációim során.

6.2.3. Haszontalanul megtett távolság

Nevezzük hasznosnak azt a távolságot, amelyet egy autonóm jármű úgy tesz meg, hogy utasokat is szállít. Ennek ellentéte a haszontalan távolság, amelyet egy autonóm gépjármű utasok nélkül tesz meg. Jelen esetben ez a technikai távolság a parkolóhelyekre való el-, és az utasokért történő visszajutásból származik.

Természetesen a társadalom és a környezetvédelem érdeke az, hogyha ez az érték az összes járműre összegezve a lehető legalacsonyabban alakul. Jelen dolgozatnak egyik célja az, hogy megválaszolja azt a kérdést, hogy ez milyen paraméterezés mellett érhető el, így ezt a paramétert is vizsgáltam.

6.2.4. Parkolóhelyek kihasználtsága

Parkolóüzemeltetőként fontos kérdés az is, hogy milyen kihasználtsággal lehet számolni a különböző paraméterezések mellett. Így egy órás felbontással mértem a parkolóhelyek kihasználtságát is a szimulált munkanapon.

²Az egyidejű aukciós eljárás sajátossága, hogy egy aukció nem feltétlenül sikeres, ugyanis az aukció résztvevői közben egy másik aukción is elnyerhetnek egy terméket.

6.3. A szimuláció futtatása

A szimulációt az 5.3.1. fejezetben bemutatott α és *maximális eltávolodás* paraméterek változtatásával futtattam. Az α paramétert a $[0..1]$ intervallumon növeltem, 0,1-es lépéssel, míg a *maximális eltávolodást* az $[500..10000]$ méteres tartományon, 500 méteres lépéssel. Ezen felül egy olyan beállítással is kísérleteket végeztem, ahol az *eltávolodás* nem volt korlátozva. Minden egyes paraméterpárral 5 db mérést értékeltem ki. Ez természetesen azt is jelentette, hogy a 6.2. fejezetben bemutatott mértékeket a változó paraméterektől függően 5-5 némileg különböző városmodellben is lemértem.

A parkolóhelyek kiosztásánál a *maximális parkolási* költséget 5000 Ft-ban korlátoztam. Az aukciókon (parkolóházak és útszéli parkolóhelyek esetén is) egységesen $10 \frac{\text{Ft}}{\text{h}}$ lépéssel növeltem a parkolási költséget aukciós lépésenként.

Hatékonysági célból a teljes napot 3 perces időszakokra osztottam fel, és azon gépjárművek részvételével indultak az aukciók, akik ezen 3 perces időablakban jutatták célba utasaikat, azaz ekkor vált számukra szükségessé a parkolóhelyek keresése. Feltételezhető, hogy a valóságban sem teljesen valósidejű lesz az effajta kiszolgálás, hiszen minél szélesebb ablakot nyitunk, potenciálisan annál több jármű tud részt venni egy-egy aukción. Ez pedig megnöveli a versenyt is, amivel a parkolóhely fenntartója jobban jár, hiszen nagyobb bevétellel számolhat.

6.4. Eredmények

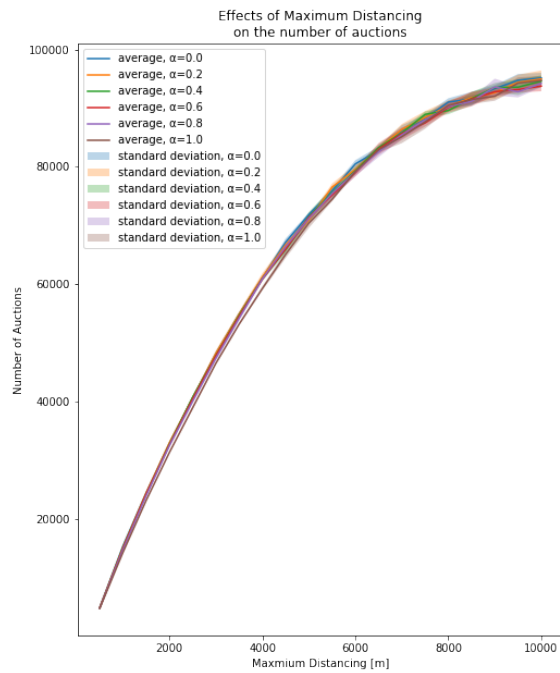
6.4.1. A (sikeres) aukciók számának alakulása

Ahogy azt a 6.1a. ábra mutatja, ahogy növeljük a *maximális eltávolodás mértékét*, úgy egyre több aukció fog elindulni. Ez természetesen nem meglepő, hiszen a távolság növelésével egyre több parkolóhely lesz elérhető az autonóm gépjárművek számára.

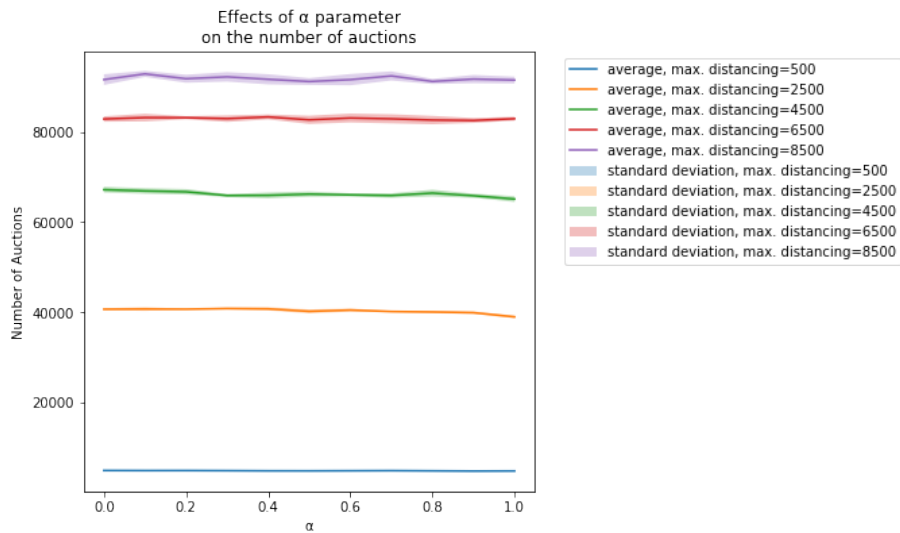
A 6.1b. ábra tanúsága szerint az α -paraméter megváltoztatása nincsen igazi hatással az elinduló aukciók számára. Ez nem meglepő eredmény, hiszen a parkolóhelyek kiválasztásában az α -paraméter nem játszik szerepet.

A sikeres aukciók aránya (lásd a 6.2a. ábrát) viszont megmutatja azt is, hogy ezen aukciók közül a *maximális eltávolodás* növelésével egyre több aukció futott feleslegesen is. A 6.2b. ábrán az α paraméter növelésével megfigyelhetünk némi letörést is a görbéken. Ez feltehetően azért van, mert így egyre érzékenyebbé válnak a gépjárművek, így a preferencialistájuk is gyorsabban változik³. Ez talán egy kissé erősebb versenyhez vezet, és néhány gépjármű már nem talál magának a

³Ugyanis a preferencialista kiszámolásakor a távolságok állandóak, viszont az árak aukciós lépésenként változhatnak.

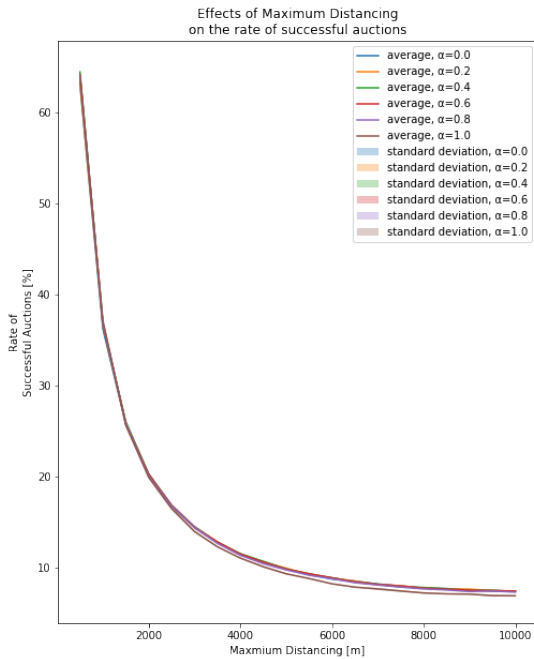


(a) Az aukciók számának alakulása a maximális eltávolodás [m] függvényében, különböző α -paraméterek mellett.

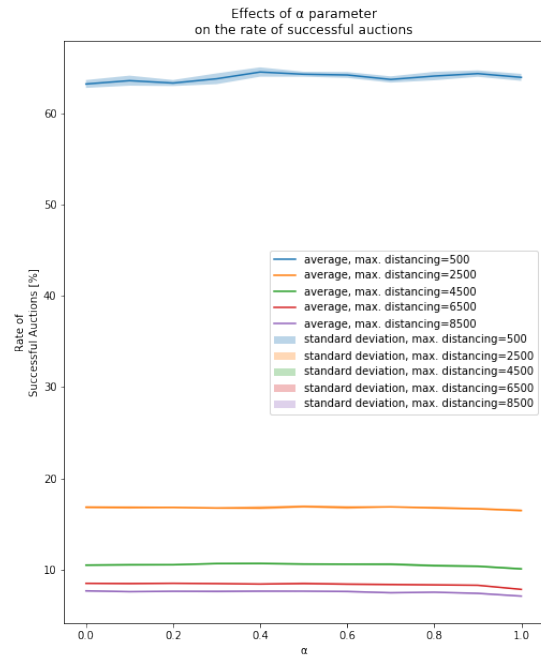


(b) Az aukciók számának alakulása az α -paraméter függvényében, különböző maximális eltávolodások [m] mellett.

6.1. ábra. Az aukciók számának alakulása. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.



(a) A sikeres aukciók arányának alakulása a maximális eltávolodás [m] függvényében, különböző α -paraméterek mellett.



(b) A sikeres aukciók arányának alakulása az α -paraméter függvényében, különböző maximális eltávolodások [m] mellett.

6.2. ábra. A sikeres aukciók arányának alakulása. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

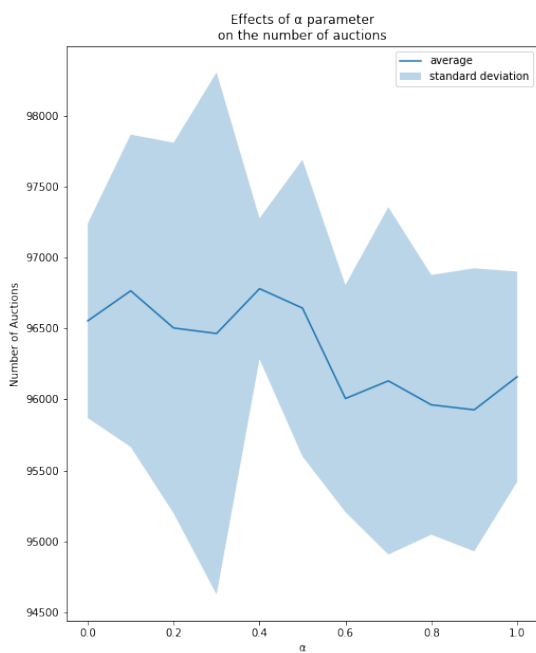
költségkorláton belül parkolóhelyet vagy racionális döntéssé válik a hazatérés⁴.

Ahogy azt tehát láthatjuk, az aukciók számát és sikerességét jelentősen csak a *maximális eltávolodás* mértéke befolyásolja. Ezt mutatják azok az eredmények is, melyeknél az eltávolodás mértéke nem volt korlátozva (lásd a 6.3. ábrát). Itt mind az aukciók száma, mind a sikeressége szinte állandónak tekinthető, a változásuk a 2%-ot sem éri el.

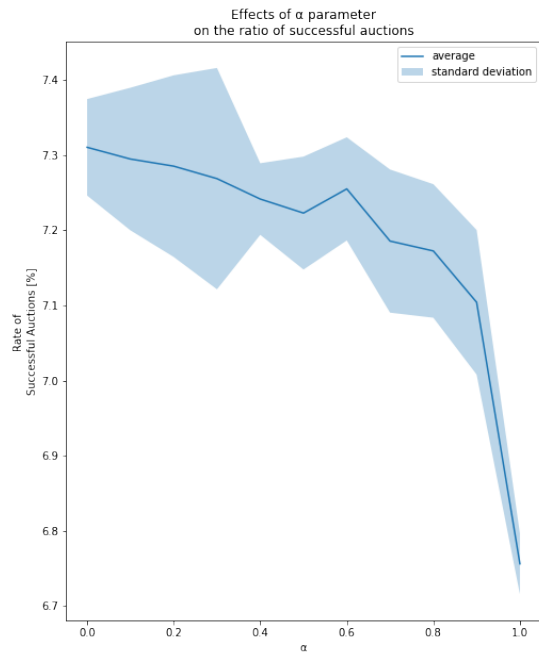
6.4.2. Parkolási költségek

Az összesített parkolási költségek igen érdekesen alakulnak alacsony *maximális eltávolodás* mellett, lásd a 6.4a. ábrát. Ez annak tudható be, hogy ebben az esetben az autonóm gépjárművek számára eleve nem érhetőek el a parkolóhelyek, hiszen azok túlságosan messze vannak. Ebben az esetben tehát a gépjárműveknek haza kell térniük jelen szimulációinkban, így nem járulnak hozzá az összesített parkolási költségek alakulásához sem.

⁴Feltéve, ha ez a kiválasztható parkolóhelyek listájában eleve szerepelt. Ha eredendően ebben nem szerepelt a hazatérés, mint opció, akkor csak akkor választja ezt a megoldást egy gépjármű, ha egyetlen aukciót sem sikerült megnyernie.

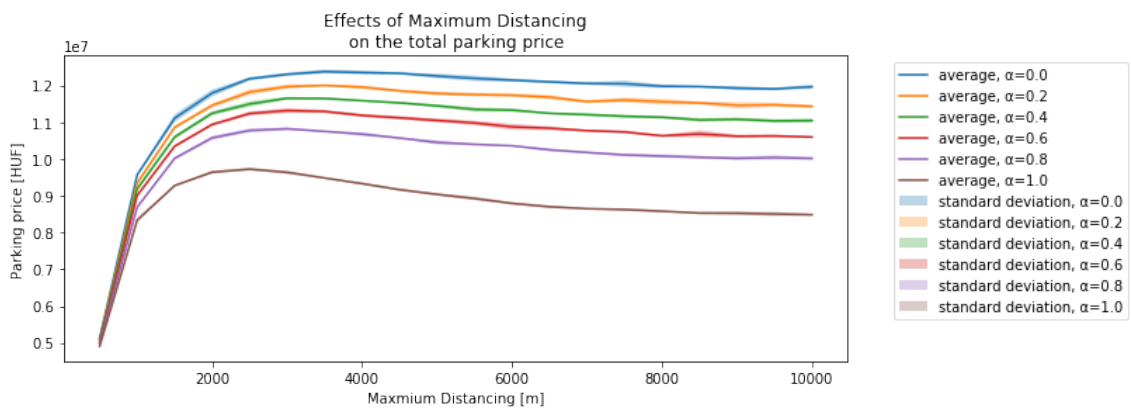


(a) Az aukciók számának alakulása az α -paraméter függvényében

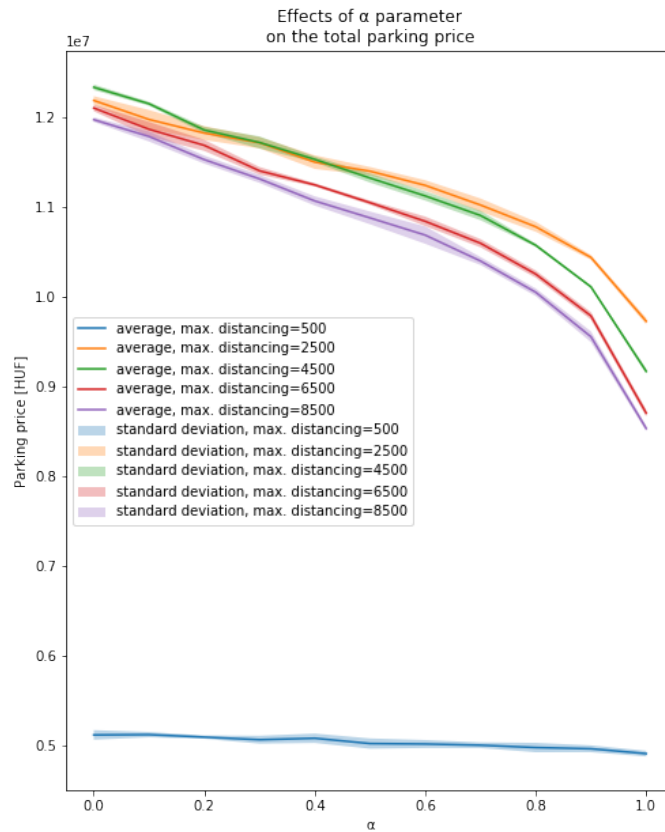


(b) A sikeres aukciók arányának alakulása az α -paraméter függvényében

6.3. ábra. Az aukciók alakulása abban az esetben, ha az eltávolodás nincsen korlátozva. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

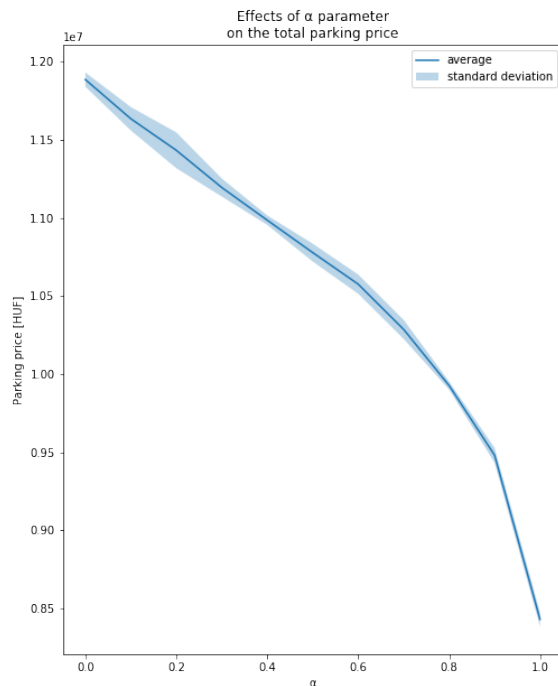


(a) Az összesített parkolási költségek [Ft] a maximális eltávolodás [m] függvényében, különböző α -paraméterek mellett.



(b) Az összesített parkolási költségek [Ft] alakulása az α -paraméter függvényében, különböző maximális eltávolodások [m] mellett.

6.4. ábra. Az összesített parkolási költségek alakulása. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.



6.5. ábra. Az összesített parkolási költségek [Ft] az α -paraméter függvényében, abban az esetben, amikor az eltávolodás nincsen korlátozva. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

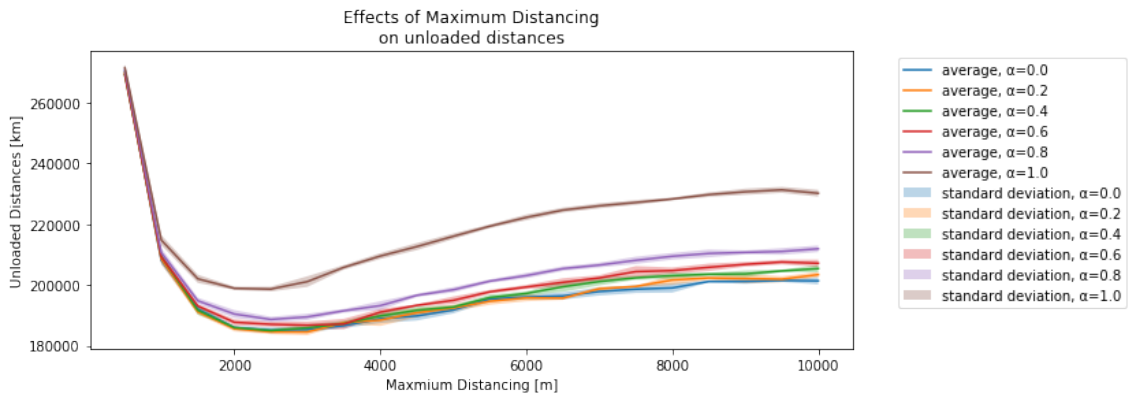
A parkolási költségek görbéi a *maximális eltávolodás* növelésével mutatnak némi beszakadást. Ez annak tulajdonítható, hogy így elérhetővé válnak a távoli, potenciálisan olcsóbb alternatívák (pl. P+R parkolóházak) is.

A 6.4b. ábrán az is jól megfigyelhető, hogy az α -paraméter növelésével a parkolási költségek a várt módon csökkennek. Az $\alpha = 1$ -nél lévő beszakadásra itt is talán az a magyarázat, hogy a preferencialisták változása dinamikusabb (nem tartalmaz explicite egy távolsági faktort), így nagyobb verseny alakulhat ki. A nagyobb verseny következtében pedig könnyen elérhetik a gépjárművek a beállított költséghatárt. Ebből következően pedig nem nyernek aukciókat, hanem inkább a hazatérés opcióját választják, ami nem jelenik meg parkolási költségként.

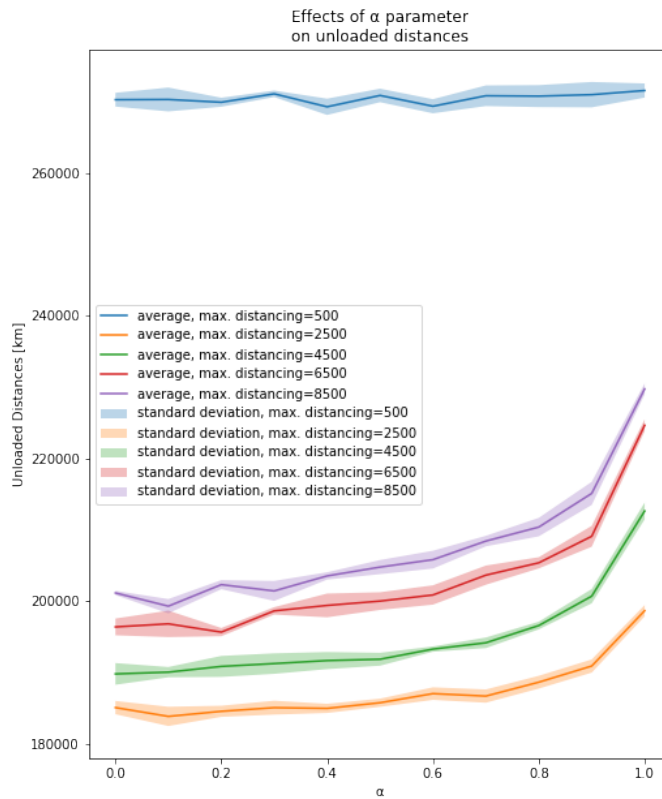
A 6.5. ábrán látható, hogy csupán az α -paraméter beállítása is jelentős hatással van a beszakadható parkolási díjak nagyságára. Az viszont talán jó hír lehet a parkolóüzemeltetők számára, hogy ezt az összeget a *maximális eltávolodás* (egy bizonyos szint felett) kevésbé befolyásolja (lásd a 6.4a. ábrán nagyjából együtt futó görbéket).

6.4.3. Haszontalan utak hossza

Az összesített haszontalan úthosszak gyakorlatilag a költségek tükörképeiként alakultak. Mivel alacsony *maximális eltávolodás* mellett viszonylag kevés parkolóhelyet

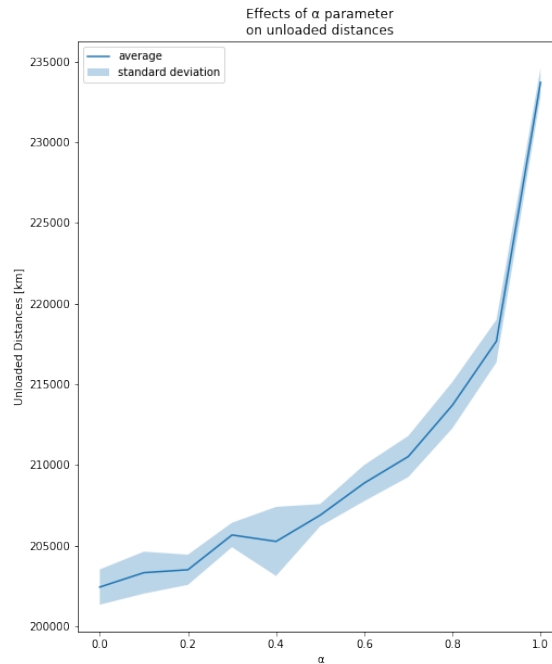


(a) Az összesített haszontalan úthossz [km] a maximális eltávolodás [m] függvényében, különböző α -paraméterek mellett.



(b) Az összesített haszontalan úthossz [km] alakulása az α -paraméter függvényében, különböző maximális eltávolodások [m] mellett.

6.6. ábra. Az összesített haszontalan úthossz alakulása. Vonall jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.



6.7. ábra. Az összesített haszontalan úthosszak [km] az α -paraméter függvényében, abban az esetben, amikor az eltávolodás nincsen korlátozva. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

sikerül foglalni, ezért itt a haszontalanul megtett távolság nagy lesz, hiszen a gépjárművek kénytelenek hazatérni, lásd a 6.6a. ábrát.

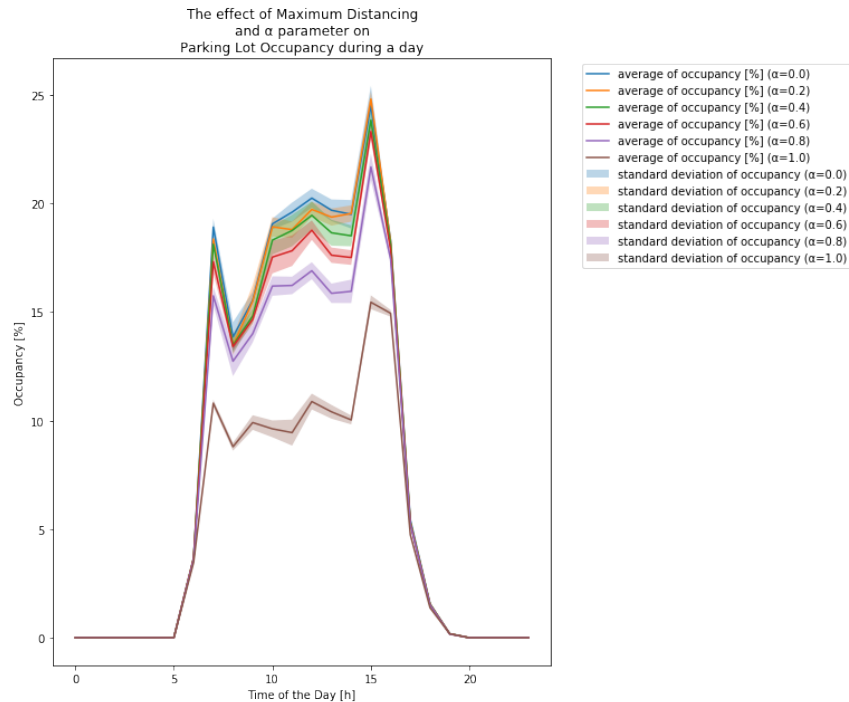
A haszontalan úthosszgörbéknek minimuma van a *maximális eltávolodás* 2000–2500 méteres értékénél, amely azzal magyarázható, hogy itt már elérhetőek az útszéli parkolóhelyek, de az olcsóbb, parkolózásas alternatívák még nem.

A 6.6b. ábrán az is jól megfigyelhető, hogy az α -paraméter növelésével a megtett haszontalan úthosszak a várt módon megnőnek. Az $\alpha = 1$ -nél lévő ugrásra is talán az a magyarázat, hogy a preferencialisták változása dinamikusabb (nem tartalmaz explicite egy távolsági faktort), így nagyobb verseny alakulhat ki. A nagyobb verseny következtében pedig könnyen elérhetik a gépjárművek a beállított költséghatárt. Ebből következően pedig nem nyernek aukciókat, hanem inkább a hazatérés opcióját választják, ami megnövekvő haszontalan úthosszal jár.

A 6.7. ábrán látható, hogy az α -paraméter beállítása hatással van a megtett felesleges úthosszakra. Éppen ezért társadalmi és környezetvédelmi érdek, hogy azt az α -paramétert alacsonyabban tartassuk.

6.4.4. A parkolóhelyek foglaltsága

Ahogy azt a 6.4.2. alfejezetben is láttuk, a parkolóhelyek üzemeltetői is (a társadalommal és a környezetvédelemmel egyetemben) érdekelték abban, hogy az α -



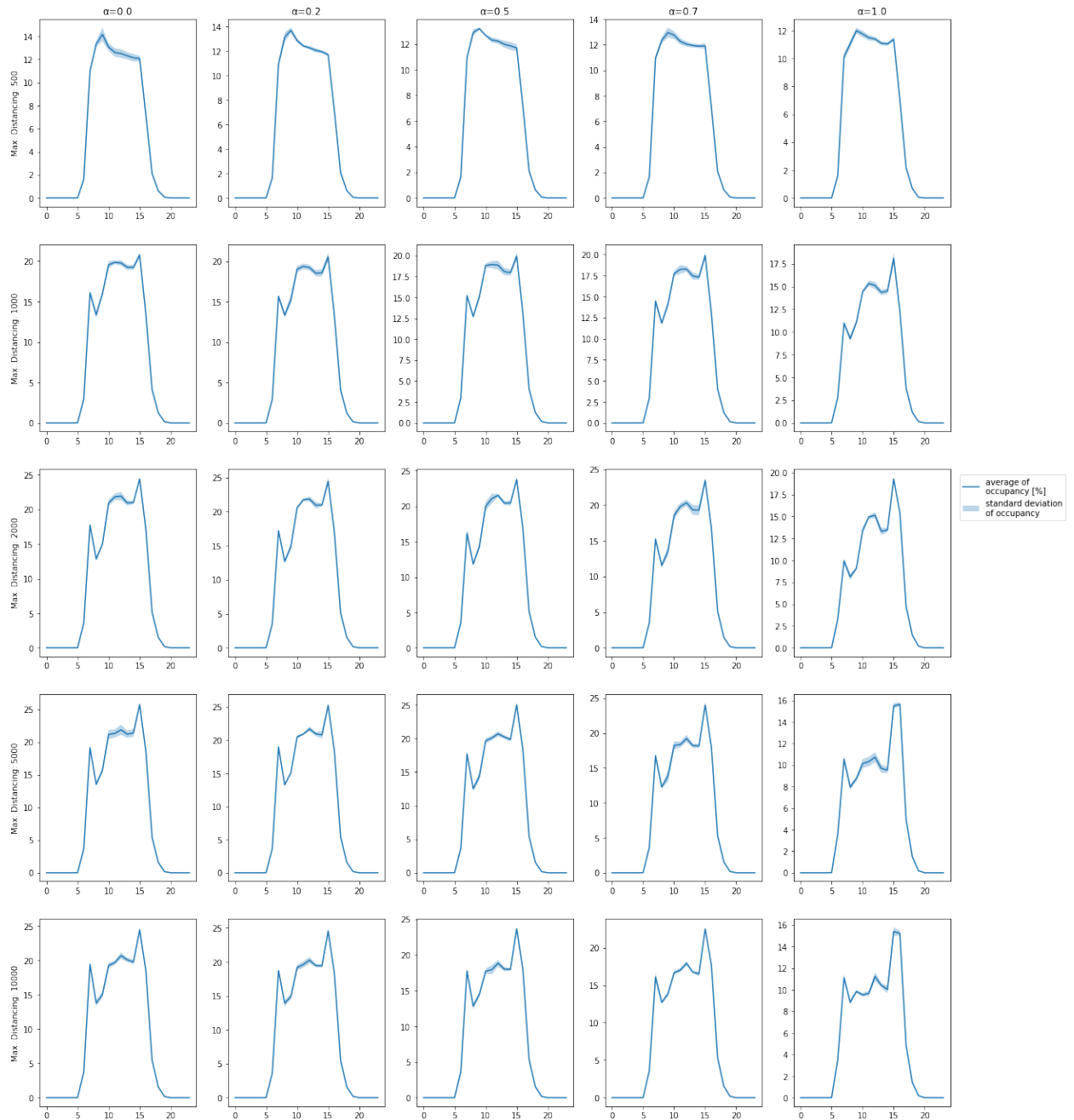
6.8. ábra. A parkolóhelyek foglaltsága [%] egy nap folyamán különböző α -paraméterek mellett abban az esetben, amikor az eltávolodás nem korlátozott. Vonal jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

paramétert alacsonyan tartásuk, hiszen az nekik nagyobb bevételt jelent. Érdekes kérdés azonban, hogy vajon ez annak tudható-e be, hogy ilyen esetben az autonóm gépjárművek nem is foglalnak el parkolóhelyeket.

Hogy a választ erre megkapjuk, tekintsük először az egyszerűbb esetet, amikor nincsen *maximális eltávolodás* definiálva. Ekkor a 6.8. ábrának megfelelő módon alakulnak a parkolóhelyek kihasználtságai, azaz az α -paraméter növelésével a kihasználtság csökken. Ez azt mutatja, hogy az intelligens gépjárművek kevesebb parkolóhelyet foglalnak el akkor, ha magasabb α -paraméterrel dolgoznak. Az viszont talán előnyös, hogy a $[0..0, 6]$ intervallumban a kihasználtságok egészen közel futnak egymáshoz.

Kifejezetten érdekes tanúsággal rendelkezik a 6.9. ábra, ugyanis megmutatja, hogy miért alakul különlegesen az az eset, amikor a *maximális eltávolodás* értéke alacsony. Ezen az ábrán jól látható, hogy ennek az esetnek a görbéi különböznek a többi eset görbéitől. Ez a különbség abban látható, hogy a maximumot a reggeli órákban veszik fel ezen görbék, amik alapján arra következtetünk, hogy a munkába igyekvők már reggel elfoglalják a közeli helyeket. (A görbéken ezután található csökkenő szakasz annak tudható be, hogy aki nem egy 8 órás munkaidőt tölt el, hanem pl. vásárolni indult, az már korábban végez, így a parkolóhelye felszabadul.)

The effect of Maximum Distancing
and α parameter on
Parking Lot Occupancy during a day



6.9. ábra. A parkolóhelyek foglaltsága [%] egy nap folyamán különböző maximális eltávolodási és α -paraméterek mellett. A diagramokon a vízszintes tengelyen egy nap órái vannak feltüntetve, míg a függőleges tengelyen a kihasználtság értékei [%]. Az α -paraméterek balról jobbra, a maximális eltávolodási értékek fentről lefelé növekednek. Vonál jelöli az eredmények átlagát, míg a vonalak színes környezete az eredmények szórását.

Így a később érkezők számára már nincsen szabad parkolóhely a közelben, ezért kénytelenek lesznek a konfliktusmentes megoldást, a hazamenetelt választani.

6.5. Javaslatok az α és a maximális eltávolodás mértékére

A vizsgálataim során megállapítottam, hogy az $\alpha = 0.1$, *maximális eltávolodás* = 2500 m paraméterpár mellett tapasztalható a legkevesebb haszontalanul megtett út. Ugyancsak megállapítható, hogy a legkisebb a parkolási költség abban az esetben, ha nincsen limitálva az eltávolodás, és az $\alpha = 1.0$.

Az előző megállapítás feltehetőleg csak az elvégzett szimulációkra érvényes, ezért érdemes lehet az eredmények ismeretében néhány irányelvet meghatározni:

- A *maximális eltávolodás* nagyságát úgy kell megválasztani, hogy az potenciálisan jó parkolóhelyeket ne zárhasson ki. (Jelen esetben ez például azt jelenti, hogy legyen nagyobb, mint 500 m.)
- Ugyanakkor azt is láthatjuk, hogy 4000–10000 m maximális eltávolodás esetén az aukciók csupán kb. 10%-a sikeres, tehát a maximális eltávolodást jelen példánkban nem érdemes 4000 m felé választani, mert akkor már feleslegesen sok parkolóhelyért folyik aukció.
- A parkolóhelyek kihasználtsága szempontjából előnyös, ha az α -paraméter nem nagyobb a 0,6-es értéknél.

Az így megválasztott korlátok mellett megállapíthatjuk, hogy a gyakorlati szempontból is fontosnak tekinthető mért értékek változása a szimulációink szerint 10%-nál nem jelentősebb.

7. fejezet

Értékelés

7.1. Az egyidejű aukciós módszer értékelése

Az 5. fejezetben javasolt módszer aukció lévén képes feloldani a konfliktushelyzeteket az azonos parkolóhelyért versengő autonóm járművek között. Erről már beláttuk, hogy lineáris időben képes futni (a résztvevők preferencialistát számító algoritmusától eltekintve). Azt is megállapítottuk, hogy jól skálázható, a számítás pedig természetes módon alakul elosztottan.

Persze nem tekinthetünk el attól a tényről, hogy a módszer működtetése igényli azt, hogy az autonóm gépjárművek tudomására jusson valahogyan az, hogy milyen parkolóhelyek milyen feltételekkel érhetőek el egy adott területen. Továbbá az intelligens gépjárműveknek azzal is tisztában kell lenniük, hogy éppen szabad lesz-e egy adott parkolóhely abban az időszakban, amikor a gépjárműnek szükége lenne rá. A szimulációk során azzal a feltételezéssel éltem, hogy ezek ismert tények, viszont a valóságban ezen információk összegyűjtéséről, továbbításáról, feldolgozásáról gondoskodni kell. Ugyanakkor azt mondhatjuk, hogy az egyre nagyobb lefedettséggel rendelkező mobilinternethálózatoknak, valamint a felhő alapú, nagyteljesítményű architektúráknak köszönhetően ez a feladat technológiailag már napjainkban is megvalósítható lenne.

A másik érdekes kérdés az, hogy érdemes-e egyáltalán ezt az algoritmust futtatni, nem volna-e érdemesebb a „klasszikus” parkolóhelykereső módszerrel dolgozni. A klasszikus parkolóhelykereső módszer alatt azt érthetjük, hogy az úticél körül egyre bővülő spirálban keresünk parkolóhelyet [15]. Tegyük fel, hogy ez átlagosan 8 perc alatt eredményre vezet [15] és ezidő alatt $20 \frac{km}{h}$ átlagsebességgel mozogtunk. Ebben az esetben is kb. 2,67 km-t megtettünk, amely nagyobb, mint a 6.5. fejezet szerint legjobbnak tűnő 2,5 km-es maximális eltávolodási érték. Ebből arra következtethetünk, hogy ha van megfelelő parkolóhely a járművek számára, akkor valamennyivel hatékonyabb lehet ez az algoritmus a klasszikus megoldásnál.

Sajnos a szimulációink során a parkolóhelyek kihasználtsága alacsony, de modelemben a parkolóhelyek és az úticélok pozíciója teljesen véletlenszerű. A valóságban

a népszerű úticélok környékén általában több parkolóhely van, így feltételezhetően egy konkrét város esetén a kihasználtság jóval magasabb lenne, mint a modellvilágban, így talán a parkolóhely kiosztó módszer hatékonyabb lehetne. Ez a későbbiekben még további vizsgálatok tárgya lehet.

7.2. Későbbi vizsgálatok

A matematikai modell szerinti vizsgálatok igen hasznosak, ugyanis ha egy módszer eleve nem működőképes, akkor azt képesek megmutatni. Azonban a magas absztrakciós szint miatt igen sok hatást elhanyagolnak, így szükséges lesz egy (mikroszkopikus) forgalomszimulátorral is méréseket végezni.

Itt első sorban arra a kérdésre lehetne választ kapni, hogy egy város úthálózatát milyen mértékben terheli meg az önvezető gépjárművek parkolási tevékenysége. Ez – a környezetvédelmi szempontok mellett – ugyanis alapvetően meghatározhatja a *maximális eltávolodás* mértékét.

További vizsgálat tárgyát képezheti az is, hogy megállapítsuk, hogy mennyire hatékony a parkolóhelyek kiosztására az egyidejű aukciók algoritmusa. Ehhez lehetséges, hogy nem egy teljesen véletlenszerű városmodellt kell felépíteni, hanem egy olyat, melyen több érdekes úticél (angolul *point of interest*) található, és ezek közül választanak véletlenszerűen célpontot a gépjárművek tulajdonosai.

7.3. Konklúzió

A matematikai modellalapú vizsgálataimon túl szükséges lesz még alacsonyabb absztrakciós szintű szimulációk elvégzése is. Annyi azonban már a meglévő szimulációim alapján is megállapítható, hogy az önvezető gépjárművek parkolása új, eddig nem látott problémáira (legfőképpen a parkolási célból megnövekvő forgalmi igény hatáscsökkentését) megoldást kell találnunk.

Ezt a megoldást egyfelől az autógyártók (jelen dolgozatban α -paraméterként hivatkozott) súlyzó tényezővel szabályozhatják. Másfelől városspecifikusan meg kell állapítani a *maximális eltávolodás* megengedhető mértékét.

Ezen paraméterek előírása és a majdani betartatása *közös társadalmi érdek*. Éppen ezért ezen paramétereket érdemes lenne már napjainkban előírni, hogy a jövő gépjárműinek tervezésekor már figyelembe lehessen venni ezen korlátozásokat. Továbbá mivel ez a leendő gépjármű-tulajdonosok és a parkolóüzemeltetők számára is költséggel jár, a *maximális eltávolodás* fontosságát a társadalom számára is közölni kell.

Irodalomjegyzék

- [1] “1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól”. 1/1975. (II. 5.) (1975).
- [2] *254/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről.* 1997. URL: https://net.jogtar.hu/getpdf?docid=99700253.KOR&targetdate=ffffff4&printTitle=253/1997.+%28XII.+20.%29+Korm.+rendelet&referer=http%3A//net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi%3Fdocid%3D00000001.TXT.
- [3] *activitygen – SUMO Documentation.* URL: <https://sumo.dlr.de/docs/activitygen.html> (elérés dátuma 2020. 09. 09.).
- [4] Siegfried Alberton és Giuliano Guerra. “Il comportamento dei consumatori in materia di mobilità nei principali centri commerciali del cantone Ticino”. (2008). CODE, Centro per l’osservazione delle dinamiche economiche, c/o IRE, Istituto di Ricerche Economiche.
- [5] Michael Balmer. “Travel demand modeling for multi-agent traffic simulations: Algorithms and systems”. Dissz. ETH Zurich, 2006. jan.
- [6] Marc Barthelemy. “Spatial Network”. *Physics Reports-review Section of Physics Letters - Phys Rep-Rev Sect Phys Lett* 499 (2010. okt.). DOI: 10.1016/j.physrep.2010.11.002.
- [7] Franco Cicirelli és tsai. “Metamodeling of Smart Environments: from design to implementation”. *Advanced Engineering Informatics* 33 (2017), 274–284. old. ISSN: 1474-0346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.005>.
- [8] L. Codeca, J. Erdmann és J. Harri. “A SUMO-Based Parking Management Framework for Large-Scale Smart Cities Simulations”. *2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)* (2018. dec.). Taipei, Taiwan.
- [9] L. Codeca és tsai. “Luxembourg SUMO Traffic (LuST) Scenario: Traffic Demand Evaluation”. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 9.2 (2017), 52–63. old.

- [10] Lara Codecà és Jérôme Härrri. “Monaco SUMO Traffic (MoST) Scenario: A 3D Mobility Scenario for Cooperative ITS”. *SUMO 2018, SUMO UserConference, Simulating Autonomous and Intermodal Transport Systems* (2018. máj.). DOI: 10.29007/1zt5.
- [11] S. O.-R. A. V. S. Committe. “Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems”. *SAE Standard J3016_201806* (2014). Society of Automobile Engineers, 1–16. old.
- [12] *Double Auction*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Double_auction (elérés dátuma 2020. 05. 29.).
- [13] Cicirelli F. és tsai. “Exploiting the SEM Framework for Modeling Smart Cities”. *Internet and Distributed Computing Systems. IDCS 2017. Lecture Notes in Computer Science* 10794. (2018). Szerk. Fortino G. és tsai.
- [14] Federal Statistical Office FSO Federal Department of Home Affairs FDHA. “Mobility and Transport – Pocket Statistics 2020”. (2020).
- [15] A. Lefauconnier és E. Gantelet. “La recherche d’une place de stationnement: strategies, nuisances associees, enjeux pour la gestion du stationnement en France”. (2005). URL: www.sareco.fr.
- [16] Todd Litman. “Autonomous Vehicle Implementation Predictions, Implications for Transport Planning”. (2020. jún.). Victoria Transport Policy Institute.
- [17] Wei Liu. “An equilibrium analysis of commuter parking in the era of autonomous vehicles”. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 92 (2018), 191–207. old. ISSN: 0968-090X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.024>.
- [18] Pablo Alvarez Lopez és tsai. “Microscopic Traffic Simulation using SUMO”. *The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*. IEEE, 2018. URL: <https://elib.dlr.de/124092/>.
- [19] Greg Marsden, Iain Docherty és Robyn Dowling. “Parking futures: Curbside management in the era of ‘new mobility’ services in British and Australian cities”. *Land Use Policy* 91 (2020), 104012. old. ISSN: 0264-8377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.031>.
- [20] Thuc Duong Nguyen és Nicholas R Jennings. “Coordinating multiple concurrent negotiations”. New York, New York, USA, 2004. febr.
- [21] B. Péceli és tsai. “Integrated Infrastructure for Electro Mobility Powered by the Arrowhead Framework”. *IEEE Access* 6 (2018), 73210–73222. old.
- [22] *Reverse Auction*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_auction (elérés dátuma 2020. 05. 29.).
- [23] José M Vidal. *Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples*. 2010. URL: <http://jmvidal.cse.sc.edu/papers/mas.pdf>.

- [24] X. Zhang, V. Lesser és R. Podorozhny. “Multi-Dimensional, MultiStep Negotiation for Task Allocation in a Cooperative System”. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 10 (2005), 5–40. old.
- [25] Xiang Zhang, Wei Liu és S. Travis Waller. “A network traffic assignment model for autonomous vehicles with parking choices”. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 34.12 (2019), 1100–1118. old. DOI: 10.1111/mice.12486.