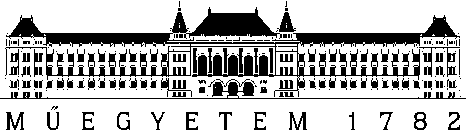
FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a **tanszék saját előírása szerint** vagy a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a tanszéki pecséttel ellátott, a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni a leadott munkába, vagy a tanszékvezető által elektronikusan jóváhagyott feladatkiírást kell a Diplomaterv Portálról letölteni és a leadott munkába belefűzni (ezen oldal HELYETT, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell megismételni a feladatkiírást.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Csók Viktor

N elemszámú autó vezérlése egy intelligens úthálózat Kereszteződésében

Konzulens

Dr. habil. Harmati István

BUDAPEST, 2020

Tartalomjegyzék

[Összefoglaló 5](#_Toc39735294)

[Abstract 6](#_Toc39735295)

[1 Bevezetés 7](#_Toc39735296)

[2 Projekt áttekintés 8](#_Toc39735297)

[3 Irodalomkutatás 9](#_Toc39735298)

[3.1 Gazdasági és Környezeti károk 9](#_Toc39735299)

[3.2 Önvezető autók jelenlegi fejlettségi szintje 9](#_Toc39735300)

[3.3 Önvezető autók társadalmi elfogadottsága 11](#_Toc39735301)

[3.4 Modern megoldások a városi forgalomirányításban 11](#_Toc39735302)

[3.4.1 Rögzített idejű vezérlő rendszerek 12](#_Toc39735303)

[3.4.2 Visszacsatolással rendelkező rendszerek 12](#_Toc39735304)

[3.4.3 Tömegközlekedés prioritása 20](#_Toc39735305)

[3.4.4 Dinamikus útvonal tervezés 20](#_Toc39735306)

[3.4.5 Dinamikus sáv kezelés 20](#_Toc39735307)

[4 Intelligens közlekedési rendszer tervezésének leírása 22](#_Toc39735308)

[5 További fejlesztési lehetőségek 23](#_Toc39735309)

[6 Köszönetnyilvánítás 24](#_Toc39735310)

[Irodalomjegyzék 25](#_Toc39735311)

[Függelék 27](#_Toc39735312)

Hallgatói nyilatkozat

Alulírott **Csók Viktor**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2020. 05. 28.

...…………………………………………….

Csók Viktor

Összefoglaló

Normal idovezerelt lampahoz kepest az intelligens lampa gazdasagilag es fentarthatosagilag, idoben hatekonyabb.

Abstract

Ide jön a ½-1 oldalas angol nyelvű összefoglaló, amelynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

# Bevezetés

A 21. századra elejére a metropoliszokban komoly problémaforrássá nőtték ki magukat a közlekedési torlódások, melyek mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból nagy kihívásokat jelentenek a társadalom számára. A gépjárművek forgalmának ugrásszerű növekedése leterhelte a városok uthálozatát és ez a túlterhelés a most alkalmazott közlekedésszervezési megoldásokkal nehezen, sok esetben egyáltalán nem oldható fel. Budapest tekintetében átlagosan 22 százalékkal nőtt az egy személyre jutó autók száma [1]. E probléma feloldására képesek lehetünk hogyha egy újfajta szemléletet alkalmazunk a városi útkereszteződések forgalmának szervezésében, továbbá kihasználjuk az intelligens úthálózatok adta lehetőségeket, valamint az önvezető autók képességeiben rejlő potenciát. Ezekkel az új technológiai vívmányokkal már elérhetőbbé vált egy átfogó V2X kommunikáció létrehozása és ezáltal egy intelligens közlekedési rendszer megvalósítása. Az intelligens közlekedési rendszerek és az önvezető autók nagy előnye, hogy kizárják az emberi tényezőt a rendszerből, mely sok esetben a torlódások első számú okozója. A problémát sajnos nem lehet megoldani az úthálózat áteresztő képességének növelésével mivel a hagyományos közlekedési rendszer sávszámainak növelésére nem adottak a környezeti lehetőségek, mivel a laikus szemnek is nyilvánvaló, hogy a zsúfolt városokban erre nincsen megfelelő szabad terület, illetve a zöldterületek védelme igen nagy hangsúlyt kapott napjainkban. A [2] tanulmány rámutat arra, hogy a személygépjármű forgalmat nem lehet teljesen kiváltani a tömegközlekedés fejlesztésével mivel általában az emberek több szempontból is vonzóbbnak tartják az autók használatát. Egy intelligens közlekedési stratégia kifejlesztése a fent ismertetett okok miatt rendkívül aktuálissá vált, sőt mi több sürgető egy ilyennek a kibontakoztatása, ha meg akarjuk óvni az emberek egészségét, valamint az országok gazdaságát a keletkező károktól.

# Projekt áttekintés

jobbak lennenek az onvezeto autok utvonalfrissites miatt. biztonsagosabb

# Irodalomkutatás

## Gazdasági és Környezeti károk

A közúti forgalmi torlódások és a lassuló közlekedési sebesség következtében nő a személyek utazási ideje, ami egyrészt a kieső munka és szabadidő miatt jelent magasabb költségeket, másrészt a megnövekedett üzemanyag-fogyasztás hatásaként növekszik a környezetszennyezés. A helyzet súlyosságát jól reprezentálja az, hogy a [3](neve cime) tanulmánya szerint a torlódások és az elvesztegetett idő gazdasági költsége a vizsgált területeken a 2000-ben 56 milliárd dollárról, várhatóan 2030-ra 96 milliárd dollárra növekedhet.

A gazdasági tényezőkön felül számolni kell a légszennyezéssel is, ami az emberek közegészségügyi állapotát jelentős mértékben rontja és számos esetben a korai halálozás egyik kiváltóoka lehet. A [4] tanulmánya szerint Európában átlagosan 800.000 ember korai haláláért lehet felelőssé tenni a légszennyezettséget és ez átlagban 2 évvel rövidítheti meg az emberek átlagéletkorát. A fizikai károsodás mellett számolni kell a lelki következményekkel is. Egy nemrégiben megjelent cikk szerint [6] az emberek 42 órát ülnek évente közlekedési dugóban, ez a szám egy forgalmasabb területen, mint például Los Angeles akár a 84 óra is lehet, de Budapest tekintetében is meghaladja a … órát. E cikkben említett tanulmány szerint a forgalmi torlódásokban eltöltött idő okozta stressz 9 százalékkal növelte meg az érintettek környezetében a családon belüli erőszakot, valamint megnőtt az utakon történő verbális, valamint fizikai összetűzések, azaz „road rage” -ek száma is.

Ezek a következmények indokolttá teszik azt, hogy minél hamarabb megszüntessük a közlekedési torlódásokat világszerte.

## Önvezető autók jelenlegi fejlettségi szintje

Elmúlt években az autó iparban új, szofisztikáltabb irányítási rendszereket mutattak be. A fejlesztések célja, hogy biztonságosabbá tegyék a közlekedést, valamint az autóban utazó személyek kényelmét javítsák. Ezeknek a rendszereknek az összefoglaló neve ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Különböző technologiákat alkalmaznak ezek megvalósítására, ilyenek például a sebesség tartása, a biztonságos követési távolság tartása, valamint a sáv tartása. A pozitív hatások listája tovább bővíthető lenne, ha az egyedülálló járművek képesek lennének kommunikálni a körülöttük lévő többi közlekedési eszközzel, valamint a közúti infrastruktúrával, tehát V2X (Vehicle-to-everything) kommunikációt tudnának megvalósítani. A szakirodalomban háromfajta irányítást különböztetnek meg ezek rendre a hosszanti irányba történő irányítás, oldal irányba történő irányítás és az autonóm vagy önvezető irányítás, ami az első kettőben használt rendszerek kombinációja és kiegészítése.

Hosszanti irányba történő irányításhoz tartozik például az ACC (Adaptive Cruise control) és a CACC (Co-operative Adaptive Cruise Control). Ezekben a rendszerekben a vezető feladata, hogy beállítsa a követési távolságot, amit az előtte lévő gépjárműtől tartani kíván, valamint a maximális haladási sebességet. A jármű beméri a közvetlen előtte haladó autó mutatóit és a beállított paraméterek figyelembevételével gyorsítja vagy lassítja a gépjármű haladását. Sok esetben az ACC-t kiegészítik még ráfutásgátló rendszerrel, mely teljesen képes lefékezni az autót, ha az előtte lévő megáll és a vezető erre nem reagál időben. Jelenleg fejlesztés alatt áll egy CACC-nek nevezett rendszer, mely az ACC-t egészíti ki a járművek közötti kommunikáció képességével. Működésének lényege, hogy a sorban legelöl haladó autó továbbítja a mögötte haladóknak a saját sebesség változásának mértékét, igy csökkentve azok reakcióidejét a változásra. Ezzel a technikával sok esetben baleseteket lehet megelőzni, valamint a forgalom áramlása is dinamikusabbá válik.

Oldal irányba történő irányításhoz tartoznak a sáv elhagyást jelző és sávtartó rendszerek. Ezek a rendszerek képi, lézeres és infravörös szenzorok adatai alapján végzik el a kívánt számításokat a biztonságos közlekedés érdekében. A sáv elhagyást jelző rendszerek csak akkor jeleznek mikor úgy érzékelik, hogy az autó jelzés nélkül sodródik le a sávról, míg a sávtartó megoldások a sávon belül próbáljak tartani az autót automatikus kormányzás segítségével.

Megemlített rendszerek közül az utolsó irányítási módszer az autonóm irányítás. Ez a korábban említett két típus képességeit ötvözi. Az amerikai NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) 5 szintre osztotta a járműveket attól függően, hogy milyen autonóm képességekkel rendelkeznek. Nullás szinten semmilyen autonóm képességgel nem rendelkezik a gépjármú, a vezető felelős a gyorsításért, lassításért és az irányváltásért. Egyes szinten az alapképességek közül egy vagy több funkció automatikusan történik. Kettes szinten már legalább két fő funkciót a járműbe szerelt automatika valósit meg, például működik a fedélzeten egy ACC és egy sáv elhagyást jelző rendszer. Hármas szinten már vannak olyan időszakai a járműnek, mikor minden funkciót az automatika irányít, azonban itt fontos az, hogy a vezetőnek jelen kell lennie és bármikor be kell tudnia avatkozni a folyamatba. A legfelső, négyes szinten vannak azok a járművek, amik teljesen autonómok. Minden funkciót saját maguk látnak el a teljes út során és folyamatosan figyelik a forgalmat maguk körül, azonban ebben az esetben is szükség van vezető jelenlétére.

## Önvezető autók társadalmi elfogadottsága

A feladat valós környezetben való megvalósításához két feltétel elengedhetetlen. Az első, hogy létezzenek megbízható önvezető autók, erre azért van szükség, mert egy ilyen intelligens komplex rendszer elengedhetetlen követelménye, egy olyan jármű, ami képes befogadni a mikrokörnyezetét szenzorok és érzékelők segítségével, valamint kommunikálni tud a körülötte lévő gépjárművekkel, és a kiépített infrastruktúrával, meg tudja osztani a pozícióját, sebességét, aktuális útvonalát és szükség esetén frissíteni is tudja azt külső körülmények hatására. Ezt a fajta komplex kommunikációs rendszert hívjuk V2X kommunikációnak. A második fontos szempont, ami valóban meghatározza egy ilyen fejlesztés sikerességét az az, hogy az emberek mennyire fogadják el az új technológiai vívmányokat. Ebben az esetben a kérdés arra egyszerűsödik le, hogy felhasználók kimerik-e adni az irányítást a kezükből és rámerik e bízni azt egy digitális intelligens rendszerre.

Ezen a területen számos kutatás készült már, ezek eredményét összegzi szemléletesen a [5] tanulmány. Ez alapján a társadalmi elfogadottsága a járműveknek régiónként eltér, de általánosságban kimondható, hogy a férfiak és a fiatalabb korosztály mutat nagyobb hajlandóságot az önvezető autók használatára. Külön kiemelendő, hogy azok az autók nagyobb bizalmat keltenek az emberekben, ahol a vezetőnek van lehetősége visszavenni az irányítást a jármű kezelése felett. Az ilyen típusú autók kínálata folyamatosan növekszik mégis a Deloitte cég által gyűjtött adatok alapján 2014-ről 2018-ra az önvezető autók általános elfogadottsága viszont nem növekedett.

Azért, hogy a jövőben egy ilyen technológia általánossá tudjon válni az emberek körében, el kell fogadtatni és meg kell őket győzni a technológia biztonságosságáról és a rendszer számtalan előnyéről.

## Modern megoldások a városi forgalomirányításban

Az intelligens önszabályzó úthálózatok témakörében végzett irodalomkutatásom során sajnos nem találtam olyan konkrét algoritmust, ami lefedi azt a problémát, mely a 2x2 sávos útkereszteződések önvezérlő torlódást elhárító rendszerének vezérlésére szolgálna, ezért is gondolom innovatívnak az általam alkalmazandó módszert. Azonban erre a problémára számos más, jelenleg is alkalmazott megoldást is találtam, amiket a városi forgalom kezelésben napjainkban is használnak.

### Rögzített idejű vezérlő rendszerek

A rögzített idejű vezérlő rendszerek nem rendelkeznek semmilyen valós idejű információval az úthálózatról, valamint a forgalmi helyzetről mivel nincsenek szenzorjaik, melyekkel információhoz tudnának jutni. (Korábban gyűjtött forgalmi adatok optimalizálásával kialakított rögzített idejű vezérlést alkalmaznak.) A módszer irányítástechnikai neve open-loop controller vagy non-feedback controller. Ennek egyik változata a rögzített idejű vezérlő rendszer. 1960-ban alkalmaztak először ilyen módszert a kereszteződések torlódásának kezelésére. Ennek lényege, hogy a korábban gyűjtött forgalmi információk alapján előre összeállítják az optimálisnak vélt lámpa ciklusokat, valamint azok időzítését és a megfelelő ciklust működtetik a megfelelő időpontban a hét megfelelő napjain. A rendszer fő hátránya, hogy nem rendelkezik valós idejű információval az úthálózatról ezért a használt lámpaciklus nem biztos, hogy a legmegfelelőbb minden idő pillanatban, mivel az emberek közlekedési szokásai kiszámíthatatlanok és eltérhetnek a korábban gyűjtött információktól. E-mellett számos előnye is van ennek a rendszernek például, hogy a lámpaciklusokat egy központi helyről is lehet vezérelni, frissíteni, továbbá nagy mennyiségű ciklusterv tarolására is képes az adatbázis.

### Visszacsatolással rendelkező rendszerek

Az előző módszernél egy szinttel szofisztikáltabb megoldás az olyan rendszerek alkalmazása, ahol a rendszernek már van visszacsatolása, tehát rendelkezik különböző szenzor információkkal az autók mennyiségéről, pozíciójáról, úticéljáról. Az ilyen rendszereket hívják adaptív forgalomirányítási rendszereknek. Itt öt szintet különböztetnek meg a szakirodalomban fejlettségi szint szerint, az első amikor egy előre megírt cikluskönyvtár ciklusait alkalmazzák, ezt nevezik Első Generációs rendszernek. Ebben az esetben a korábban ismertetett módszerhez hasonlóan van egy előre megírt nagy számú lámpaciklust tartalmazó adatbázis, melyekhez hozzá van rendelve az a forgalmi szituáció, amelynek bekövetkezésekor alkalmazandó. Az említett adatbázist a korábban begyűjtött forgalmi információk alapján készítik el a szakemberek. A kereszteződés vagy útszakasz a szenzor információk alapján kap egy képet a kialakult helyzetről és ezt összehasonlítja az adatbázisban tárolt szituációkkal, majd az ehhez tartozó lámpaciklust alkalmazza. A rendszer előnye, hogy érzékenyebb a forgalmi terhelés megváltozására, mint a rögzített idejű vezérlőrendszer, az aktív visszacsatolás miatt, azonban a ciklusok még mindig előre megírtak, valamint a rendszer nem rendelkezik semmilyen prediktív képességgel. A Második generációs rendszernél már nem előre megírt lámpaciklusokat alkalmaznak, hanem az optimális ciklust valós időben a rendszer számítja ki a szenzorinformációk alapján, tehát ebben az esetben kevesebb ideig fog tartani a forgalmi helyzet kezelése. Ezeket a rendszereket már Második, sok esetben Harmadik generációs rendszereknek is nevezik. Az Első generációs rendszerekhez képest itt sokkal gyakrabban történnek a ciklus váltások, általában 3-5 percenként attól függően, hogy Második vagy Harmadik generációs rendszerről beszélünk. Előnye még, hogy bizonyos esetekben a Harmadik generációs rendszerek már rendelkeznek forgalom előrejelző algoritmusokkal. Ezek a különböző szenzor információk alapján adnak egy becslést a várható forgalomra az útszakaszon, azonban csak rövid időintervallumban tudnak előre prognózist adni. A Második és Harmadik generációs rendszerek hátrányaként említhető, hogy a valós idejű megfigyelés, az optimális ciklus kiszámítása és a prediktív képesség igen nagy számításigényű folyamat főleg, ha nagyvárosok úthálózatairól beszélünk[7].

Ezeknek a rendszereknek a célja a szakirodalomban ciklushossznak, ofszetnek, valamint splitnek nevezett változók optimalizálása, beállítása. Ciklushossznak nevezik egy adott lámpaciklusnak azt a hosszát amíg lezajlik az egész ciklus. Ennek a változónak ugyan olyan hosszúnak kell lennie az összes kereszteződésre, ami a vizsgált rendszeren belül van. Ezt a felhasználó által kiválasztott ponttól mérik. Az ofszet az egymást követő lámpák koordinált fázisainak időbeli kapcsolatát adja meg. Az arányt vagy százalékosan vagy másodpercben definiálják. Az ofszet, az ofszet referencia ponttól függ, amit az úgynevezett „master clock” -hoz igazítanak. A „master clock” a háttérben futó óra mechanizmus amire a koordinált működés érdekében van szükség. Végül a split, ami egy cikluson belül az egyes fázisokhoz tartozó időt adja meg. Ezt is feltüntethetik másodpercben vagy pedig százalékos arányban. Általában tartalmazza a fázishoz tartozó sárga, valamint piros jelzés idejét is [9].

Léteznek továbbá Negyedik és Ötödik generációs rendszerek is. Negyedik generációs rendszer egy integrált forgalom kezelő, valamint irányító rendszer, ami egyesíti a technikai és teljesítménybeli előnyeit az egyes alrendszereknek, tehát itt többfajta dinamikus modellt és lámpa frissítési stratégiát alkalmaznak egyszerre. Ötödik generációs rendszerek azok, melyek merőben eltérőek a korábban említettektől. Alapja az önálló tanulás és a számolások hatékony elvégzése olyan környezetben, ahol autonóm, valamint hagyományos járművek is előfordulnak. A rendszer a korábban begyűjtött adatok, valamint a valós forgalmiadatok alapján saját magától tanulja meg a forgalom irányítás műveletét, nem pedig előre meghatározott lámpa ciklusokat használ, így ezeknek a rendszereknek a nagy előnye, hogy csökken az optimalizálás számítási igénye. A legelterjedtebb ilyen rendszer az úgynevezett InSync amit 2014 júniusáig 1350 kereszteződésen alkalmaztak 100 városban egész Amerika területén. A jövőben elképzelhető, hogy más megközelítéseket is alkalmaznak majd. Ilyen például a neurális háló a Fuzzy logika, valamint a csoportos intelligencia. A csoportos intelligencia témakörébe tartozik az ACO (Ant colony optimization) es a PSO (Particle Swarm Optimization). Viszont a problémát valószínű, hogy lineáris programozással nem lehet majd megoldani mivel túl bonyolult a folyamat működése.[14]

A továbbiakban ismertetem a leggyakrabban használt rendszereket, melyeket a világ számos nagyvárosaiban alkalmaznak.

#### SCOOT módszer

A SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) egy adaptív rendszer, amit az angliai Transport Research Laboratory fejlesztett ki az 1980.-as években. Működésének az elve, hogy a rendszeren belül van egy teljesítmény index (PI = Performance Index), mely a forgalom mozgásának hatásosságát adja meg. Varga István által készített tanulmányban tett megállapítás szerint: „A teljesítményindex az alábbi összegből tevődik össze:

ahol di az átlagos késleltetés (lassítás, megállás) jármű/órában a hálózat i. helyzetjelző vonalánál, ci a periódusonkénti járműmegállások száma az i. helyzetjelző vonalánál, a Ki az i. helyzetjelző súlyozó tényezője.”[8] Ezt, valamint más paramétereket felhasználva meghatározható az, hogy mi történik az útvonalon. A SCOOT rendszer célja, hogy ezt az értéket minimalizálja a ciklushosszak, a splitek valamint az ofszettek változtatásával. A számításokat az FP (Flow Profiles) alapján végzi, mely egy hisztogram és a forgalom áramlás változását mutatja egy ciklus alatt. [7]

A split optimalizáló rész kiegyenlíti a szaturációt egy kereszteződésben azzal, hogy minimalizálja a maximális szaturáció értékét a kereszteződéshez vezető utakon. A szaturációt úgy számolja, hogy az FP és az SC (Saturation Occupancy) arányát megszorozza az effektív zöld jelzés idejével. Megvizsgálja, hogy mi történne a szaturációval, ha egy szakasz 4 másodperccel előbb jönne, maradna az eredeti időpontjában vagy 4 másodperccel később jönne. Majd miután az optimális döntést implementálta visszaállítja a splitet 3 másodperccel, hogy elkerülje a split nagymértékű oszcillációját A split optimalizáló 5 másodperccel fut le minden szakasz előtt. [10]

Az ofszet optimalizáló rész minden ciklusban egyszer, az FP alapján meghatározza a megállásokat, valamint késéseket egy egész cikluson belül. Ezek alapján jön ki a PI a fent részletezett módon. Majd megvizsgálja, hogy mi történik PI-vel, ha csökkenti 4 másodperccel, nem változtatja vagy növeli 4 másodperccel az ofszet értékét, majd azt az ofszett beállítást választja, mely a legkedvezőbb hatással van PI értékére, továbbá, ha egy út zsúfolttá válik prioritást ad neki. Az új ofszet lehet, hogy rontja pár útvonal haladását, de összességében javítja a teljes hálózat teljesítményét [10].

A ciklushossz optimalizáló azon a régión üzemel, ahol jó haladást vár a kereszteződések között. Ez a régió változhat, illetve egy kereszteződés átkerülhet egyik régióból a másikba. Az optimalizáló figyelembe veszi a szaturációt az összes úton a kereszteződések között az adott régióban. Ha ezek közül bármelyiken ideális a szaturáció (általában az ideális érték 90%) akkor növeli az MPCY-t (Minimal Practical Cycle length) egy kis lépéssel annál a kereszteződésnél, melybe az út érkezik. Ha egy adott kereszteződéshez csatlakozó minden út szaturációja az ideális szint alatt van akkor csökkenti az MPCY értékét az adott kereszteződésnél. A kezdő MPCY értéket a felhasználó állítja be majd a program ±4, ±8, ±16 másodperccel állítja attól függően, hogy az adott MPCY érték 64 másodperc alatt van, 72 és 128 másodperc között van vagy 144 másodperc felett van. A határoló ciklushosszoknál ezeknek a lépéseknek a kombinációját használja, hogy elérje a legközelebbi szomszédos értéket. A ciklushossz optimalizáló figyelembe veszi az összes ciklushosszt a legnagyobb kiszámolt MPCY-tól a legnagyobb regionális ciklushosszig. Általában a legnagyobb MPCY-t választja ciklushossznak minden kereszteződésre, de ha a felhasználó által meg van engedve a lehetőség akkor egy nagyobb értéket is választhat, hogy úgynevezett „double cycling” jöjjön létre. Ez a folyamat a felhasználó által beállított periódussal fut le, általában 5 perc, de 2-10 perc között változhat értéke. [10]

A rendszer hátránya, hogy számítás igényes tekintettel arra, hogy valós időben végzi el a szenzoradatok begyűjtését, azok kiértékelését, valamint a folyamatos optimalizációt. A rendszer számos verziófrissítésen átesett már és új funkciókkal is bővült. Jelenlegi formájában képes előnyben részesíteni a tömegközlekedési eszközöket, automatikusan felismeri a baleseteket, valamint rendelkezik egy adatbázissal is, ami az egyes szenzorok korábbi adatait tárolja, ezáltal akkor is képes működni, ha egy szenzor meghibásodott mivel fel tudja használni a korábban gyűjtött adatokat. [7]

A korábban ismertetett szintek szerint a SCOOT rendszer a Második generációs rendszerek közé tartozik mivel centralizált és passzív irányítást valósit meg. [14]

#### SCATS módszer

A SCATS (Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System) módszert az 1970-es években fejlesztették ki Ausztráliában. A SCOOT rendszerrel szemben nagy előnye, hogy itt nincsen szükség annak a szakasznak a vizsgálatára, ahol eljutnak az autók az egyik csomópontból a másikba, elég csak a csomópont előtti megállást jelző vonal környezetében vizsgálni a forgalmat. Ez költséghatékonyabbá teszi a rendszert mivel sokkal kevesebb szenzor telepítése és karbantartása szükséges, valamint a jelenleg alkalmazott jelzőberendezések is el vannak látva a megfelelő érzékelőkkel. Működési elve, hogy visszacsatolt rendszer révén után tudja állítani a ciklushosszokat az észlelt közlekedésben résztvevő járművek mennyisége alapján. A stratégia feltételezi, hogy a hosszabb ciklusidő nagyobb áteresztő kapacitást is jelent, valamint azt támogatja, hogy a split arányos legyen a közeledő autók által jelentett terheléssel és az ofszett hosszabb legyen, ha megnövekedett a járművek száma. Az algoritmus első lépésben begyűjti a szenzorok adatait, majd ebből kiszámolja az úgynevezett DS-t (Degrees of Saturation) minden útszakaszra, mely a felhasznált és rendelkezésre álló zöld jelzés idejének aránya és egy LF-et (Link Flows). Majd ezt a kettőt felhasználva kiszámítja a megfelelő ciklushosszt, split-et és ofszetet. Minden értéket egyszer számol ki ciklusonként. [7][10]

A ciklushossz állítást végző tag alrendszereket hoz létre a kereszteződésekből attól függően, hogy jó e a haladás köztük. Ez az összekapcsolás lehet véges vagy annak a feltétele, hogy a ciklushosszoknak a különbsége két kereszteződés között ≤ 10 másodperc. A ciklushosszokat különböző módon számolja alacsony és magas forgalom esetére. Alacsony forgalom esetén 3 beállítás lehetséges a forgalom mennyiségétől függően. A legrövidebb ciklushosszt LOWPER-nek hívják és általában 40-60 másodpercet jelent. Ezen kívül van még a STOPPER 1 és STOPPER 2, melyek ideje 50-70 másodperc, valamint 75-95 másodperc között lehet. Ezek között LF szerint dönt, minél magasabb az értéke annál hosszabb ciklushosszt választ. A meghatározott értéktartományokon kívül nem választhat a rendszer más értéket, valamint számos követelmény létezik LF-re, hogy ne legyenek túl gyakoriak a váltások a ciklushosszok között. Amint a legmagasabb DS elér egy meghatározott értéket akkor ez alapján határozza meg a ciklushosszokat. Három előre meghatározott érték van DS-re és a ciklushosszokra, amik lineáris kapcsolatot írnak le a két érték között. Ha DS 115%-os akkor a ciklushossz 150 másodperces (HIPER), ha 93%-os akkor a ciklushossz 110 másodperces (XPER) valamint, ha 83%-os akkor 80 másodpercet (STOPPER) állít be ciklushossznak. Ezután ezekből a kapcsolatokból számít egy RLo (recommended cycle length) értéket. Miután ennek értéke meg lett határozva még számos ciklushossz beállító lépés van hátra. Majd a korábban említett összekapcsolt kereszteződések ciklushosszai közül meghatározza a leghosszabbat és ezt választja ciklushossznak az összekapcsolt kereszteződésekre. Később ez az érték kis lépésekben változhat. [10]

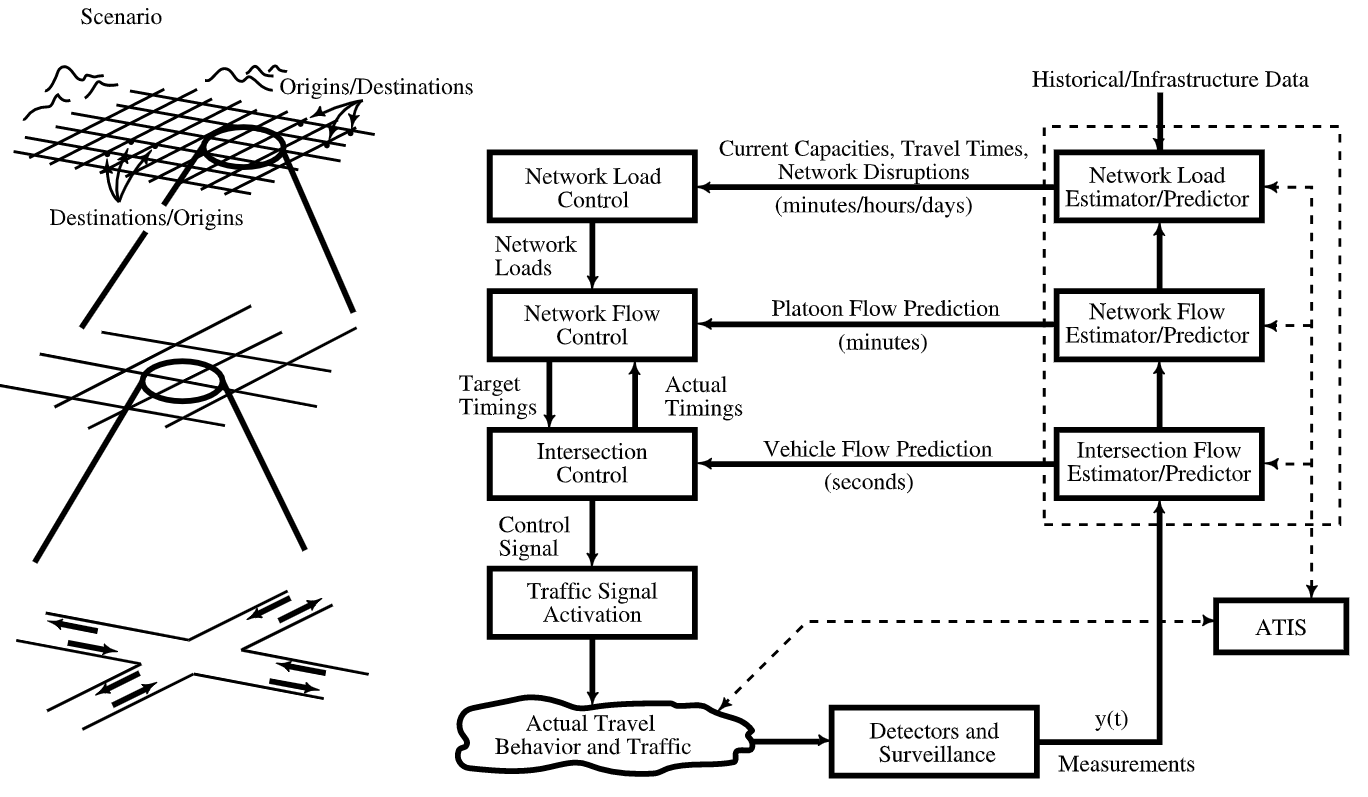
A split állítást végző tag feladata, hogy kiegyenlítse egy kereszteződés szaturációját. Ezt úgy teszi meg, hogy minimalizálni próbálja a maximális DS értéket a kereszteződéshez vezető utakon. A legoptimálisabb split érték kiválasztását egy úgynevezett ISS (Incremental Split Selection) segítségével teszi meg, melynek a lényege, hogy a splitet mindig csak egy kis értékkel csökkenti vagy növeli minden olyan ciklusban, ahol a cél az, hogy csökkentsük a DS-t. Általában ez a ciklushossz ±4%-át jelenti. [10]

Az ofszet állítást végző tag 4 LP-t (Link Plan) tartalmaz, melyek különböző ofszet beállítások. Ezeknek az értéke lineáris kapcsolatban áll a ciklushosszokkal. Míg LP 1 és LP 3 jó haladást biztosít két kereszteződés között mindkét irányba addig LP 2 és LP 4 a magas bejövő és kimenő forgalomnak biztosít áthaladást. Általában a kis forgalomhoz tartozó ciklushosszokhoz olyan LP-k tartoznak, melyek jó haladást biztosítanak mindkét irányba. Ehhez a taghoz tartozik még négy a felhasználó által meghatározott DB (Directional Bias) mellyel be lehet állítani a négy érkező irány prioritását. Majd ezt, valamint az LP-t felhasználva meghatározza, hogy melyik LP lépjen érvénybe. Ahhoz, hogy ne legyen nagy fluktuáció az LP értékek között egymás után négy-, ötször kell ugyan azt az LP beállítást választani, hogy a beállítás érvényre jusson. [10]

A rendszer telepítéséhez szükséges egy SCATS kompatibilis forgalom irányító lámparendszer, központosított számítógéphálózat, mely képes irányítani a lámparendszereket, megbízható kommunikációs összeköttetés a lámparendszerek között, valamint járműfigyelő rendszer minden egyes kereszteződésben [11]. Sajnos a SCATS rendszer is még csak a Második generációs rendszerekhez tartozik a SCOOT-nál ismertetett okok miatt. [14]

#### RHODES módszer

A RHODES (Real-time Hierarchical Distributed Effective System) módszert 1991 óra fejlesztik az Arizónai Egyetemen. Úgy alkották meg, hogy kihasználja a forgalom természetes sztochasztikus változásait annak érdekében, hogy javuljon a rendszer teljesítménye. Ez egy olyan szemlélet, melyet a korábban ismertetett két módszer nem tartalmaz. A rendszer bemenetként az úthálózatra kihelyezett érzékelők jeleit várja, majd ezekből előre megmondja a jövőbeni forgalom áramlást, mind térben, mind időben, kimenetén pedig meghatározza az optimális forgalomirányító jelzés beállításokat. A javítani kívánt paraméter bármi lehet, de mindenképpen a forgalom hatékonyságához kell kapcsolódnia. Ilyen paraméter például az átlagos késés a hálózaton belül vagy a hálózat áteresztő képessége. Felépítését tekintve három szintű hierarchikus rendszerről beszélhetünk, mely három komponensre bontja a forgalomirányítási problémát. Ezek rendre a hálózat feltöltése, a hálózaton belüli folyam irányítása, valamint a kereszteződések irányítása. [7][12]



3.1 ábra RHODES hierarchia[12]

A legfelső szinten található egy dinamikus hálózat feltöltő modell („dynamic network loading”), mely érzékeli a forgalom lassan változó karakterisztikáit. Ezek a jellemzők a hálózat geometriájára és az utazók tipikus útvonal választására vonatkoznak. A lassan változó karakterisztikák alapján kiszámítható az egyes összeköttetések, utak terhelése mértékegységben. A következő lépést már a középső szint végzi el. [7][12]

A középső szintet nevezik hálózati áramlásvezérlő résznek („network flow control”). Ezen a szinten határozza meg a RHODES rendszer a jelzések hosszát minden eltérő terhelési típusra és fázisra úgy, hogy a hálózaton belüli áramlás optimális legyen. A rendszer ezen része megpróbálja figyelembe venni a következő pár percben várható forgalmi terhelést. A hálózat áramlásának karakterisztikáit ezen a szinten az együtt haladó autó csoportok („car platoon”) és azok sebessége alapján határozza meg. [7][12]

A legalsó szinten a kereszteződés vezérlő („intersection controller”) része a rendszernek a korábban kiszámolt zöld jelzések ideje, valamint az egyes autók megfigyelt és megjósolt kereszteződéshez való érkezési ideje alapján meghatározza, azt az időpontot mely megfelelő a jelzések fázisának váltására, valamint azt is meghatározza, hogy a mostani fázist kell e hosszabbítani vagy rövidíteni. [7][12]

Jól látható, hogy minden szint tartalmaz egy becslő egységet, valamint egy vezérlő egységet. A becsléshez Head által 1995-ben bemutatott PREDICT algoritmust használja a módszer. Az algoritmus figyelembe veszi az érzékelők kimenetét minden érkező sávon, a forgalom állapotához kapcsolódó információkat és a tervezett fázisok időzítését is, hogy megjósolja a járművek érkezését a kereszteződéshez abban az esetben, ha RHODES irányítást használnak. Ahhoz, hogy a PREDICT modellt használjuk szükségünk van az utazási időkre két érzékelő között a sávokon, a feltorlódott sor leürülési mértékére, egy autó kanyarodási valószínűségére végül pedig annak a becslésére, hogy milyen hosszú lesz a sor a kereszteződés előtt. A vezérlés az előző két esethez képest eltér, mivel itt nem a ciklushossz, ofszett, split hármas hangolásával, optimalizálásával próbál a rendszer jobb teljesítményt elérni, hanem pro-aktív módon a fázisok hosszának változtatásával a megjósolt forgalmi helyzetnek megfelelően. A középső szinten Dell’Olmo és Mirchandani 1995-ben bemutatott REALBAND algoritmusát használják, mely optimalizálja az összetartozó autósorok („car platoons”) mozgását. A legalsó szinten egy úgynevezett COP algoritmust használ a rendszer, melyet Sen és Head publikált 1997-ben. [12]

A RHODES megközelítés az előző kettőhöz képest már Harmadik generációsnak mondható, mivel a működése nem centralizált, hanem elosztott, valamint passzív helyett aktív irányítást valósit meg. [14]

### Tömegközlekedés prioritása

A fent említett módszereken kívül gyakran alkalmazott technika, hogy a tömegközlekedésben résztvevő járműveket részesítik előnyben az utakon. Ezt Amerikában TSP-nek („Transit Signal Priority”) nevezik és a célja, hogy csökkentse a buszok, villamosok és taxik késését azzal, hogy elsőbbséget kapnak a kereszteződésekben. Ezt megtehetik aktív, valamint passzív módon. A passzív rendszereknél próbálják úgy kialakítani a körülményeket, hogy azok kedvezzenek az ilyen típusú járműveknek, az aktív rendszereknél pedig érzékelőket használnak a közeledő tömegközlekedési eszközök észlelésére. Utóbbinál több módszert is alkalmaznak. Első ilyen, hogy meghosszabbítják a zöld lámpa idejét az adott irányon, hogy a közeledő busznak legyen ideje elhaladni megállás nélkül. Ezt csak kevés járműre lehet alkalmazni, de ennél a módszernél az alkalmazott járművek késésében jelentős javulás volt tapasztalható. A következő módszer ennek az ellentéte, ha a jármű piros jelzés alatt ér oda, akkor a többi irányon csökkentik a zöld jelzések hosszát, hogy a prioritást élvező jármű hamarabb elindulhasson. Ez a módszer több járműre is alkalmazható egyszerre viszont nem olyan nagy az időbeli nyereség az egyes járművekre nézve. Kiemelendő még az az eset, mikor a prioritást élvező járműnek külön jelzése van, melyre ő áthaladhat. Ez a jelzés csak akkor működik, ha olyan jármű tartózkodik a lámpa előtt mely prioritást élvez. [7]

### Dinamikus útvonal tervezés

A Dinamikus útvonal tervezés olyan esetekben használható, mikor alternatív útvonalak is léteznek az adott irányba, ilyen például egy autópálya. Ebben az esetben a forgalom optimalizálása megoldható matematikai módszerekkel. Tehát létezik egy célfüggvény, melyet minimalizálni vagy maximalizálni kell és leírja a hálózatnak azt a paraméterét, melyet optimalizálni szeretnének. Például a cél lehet az, hogy minimalizáljuk az utazási időt. Ennek a megoldását ITS-ekre (Intelligent Transport Systems) szokták bízni, mely megadja az optimális útvonalat a valós idejű forgalmi helyzetnek megfelelően, majd a megkapott útvonalakat jelzi az autók felé VMS-ekkel (Variable Message Sign), ezek olyan LED táblák, melyek segítségével szövegeket, ábrákat lehet megjeleníteni, vagy kommunikálja azt az autóba épített útvonal tervező program segítségével. [7]

### Dinamikus sáv kezelés

Dinamikus sáv kezelésnek hívjuk azt a módszert, mikor a közlekedési sávokat rugalmasan tudjuk elosztani a forgalomnak megfelelően, annak az iránynak több sávot biztosítva, ahonnan több autó érkezik. A dinamikus sáv kezelést többféle megoldással vagy a megoldások együttes a kombinációjával is meg lehet valósítani. Többek között alkalmaznak például VMS-t, valamint állandó fény jelzéseket, LED-es aszfaltba helyezett jelzéseket és nem utolsó sorban fizikai elválasztó korlátokat, hogy biztonságos legyen a sávok terelése. Dinamikus sáv kezelés alkalmazására a leggyakoribb példa a szakirodalomban „tidal flow” -nak nevezett megoldás. Akkor beszélünk ilyen útról mikor rendelkezik az adott út olyan sávval, ahol az autók mindkét irányba haladhatnak bizonyos feltételek teljesülése esetén, természetesen nem egyszerre mindkét irányba. Általában hidak, kereszteződések és alagutak esetében találkozhatunk ilyen megoldással, azonban a sáv irányának megfordításához minden esetben egy kezelő kell, aki ellenőrzi, hogy valóban megtörténhet e az irányváltás. [13]

Két esetet különböztetnek meg az alapján, hogy mozgatjuk e a központi sávelosztó korlátot vagy sem. Az első módszer lényege ahelyett, hogy az autókat terelnénk át a korlát túloldalára a korlátot mozgatjuk, így egy plusz sávot tudunk adni annak az iránynak, ahol túlterhelés jelentkezik. A technika alkalmazását nem csak a mozgatható korlát segíti, hanem számos PDMS (Portable Dynamic Message Sign) és különböző útjelző tábla. Ez a rendszer működik jelenleg is például a Golden Gate hídon. A rendszer hátránya az, hogy a másik iránytól sávot veszünk el. Másik megoldás mikor az elválasztó korlát másik oldalára tereljük át az autókat. Ennek is az az előnye, hogy a kevésbé terhelt iránytól sávot veszünk el és a terheltebb iránynak adjuk vagy egy egyebként üres sávot tartunk fent, melyet torlódás esetén veszünk csak igénybe. A másik esethez képest az a különbség, hogy itt az autók tereléséhez nem egy mozgatható korlátot használunk hanem VMS-eket, úttestbe helyezett módosítható jelzéseket, távolról irányítható kapukat és szenzorokat. Ezt a megoldást számos amerikai városban, valamint Barcelonában és Birminghamben is használják. [13]

# Intelligens közlekedési rendszer tervezésének leírása

# További fejlesztési lehetőségek

# Köszönetnyilvánítás

Irodalomjegyzék

1. Erhart Szilárd: *A budapesti közlekedési dugók okai és következményei*
2. Linda Steg: *Can public transport compete with the private car?*
3. Jonathan I Levy, Jonathan J Buonocore , Katherine von Stackelberg: *Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: a health risk assessment*
4. Richard Burnetta , Hong Chena,b, Mieczysław Szyszkowicza,1, Neal Fannc , Bryan Hubbelld , C. Arden Pope IIIe , Joshua S. Aptef , Michael Brauerg , Aaron Cohenh , Scott Weichenthali,j, Jay Cogginsk , Qian Dil , Bert Brunekreefm, Joseph Frostadn , Stephen S. Limn , Haidong Kano , Katherine D. Walkerh , George D. Thurstonp , Richard B. Hayesq , Chris C. Limr , Michelle C. Turners , Michael Jerrettt , Daniel Krewskiu , Susan M. Gapsturv , W. Ryan Diverv , Bart Ostrow, Debbie Goldbergx , Daniel L. Crousey , Randall V. Martinz , Paul Petersaa,bb,cc, Lauren Pinaultdd, Michael Tjepkemadd, Aaron van Donkelaarz , Paul J. Villeneuveaa, Anthony B. Milleree, Peng Yinff, Maigeng Zhouff, Lijun Wangff, Nicole A. H. Janssengg, Marten Marragg, Richard W. Atkinsonhh,ii, Hilda Tsangjj, Thuan Quoc Thachjj, John B. Cannone , Ryan T. Allene , Jaime E. Hartkk, Francine Ladenkk, Giulia Cesaronill, Francesco Forastierell, Gudrun Weinmayrmm, Andrea Jaenschmm, Gabriele Nagelmm, Hans Concinnn, and Joseph V. Spadarooo: *Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter*
5. Páthy Ádám: *Az autonóm járművek társadalmi elfogadottságára, illetve a technológiával kapcsolatos várakozásokra irányuló empirikus kutatási előzmények a nemzetközi szakirodalomban*
6. Austin Frakt: *Stuck and Stressed: The Health Costs of Traffic* (<https://www.nytimes.com/2019/01/21/upshot/stuck-and-stressed-the-health-costs-of-traffic.html>)
7. World Road Association: *Urban traffic Control*  
   <https://rno-its.piarc.org/en/its-basics-its-technologies-traffic-control/urban-traffic-control> utolsó megtekintés: 2020.04.29
8. Varga István: *Közúti folyamatok paramétereinek modell alapú becslése és forgalomfüggő irányítása*
9. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration: Traffic Signal Timing Manual  
   <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter6.htm#6.3>
10. Aleksandar Stevanovic, Cameron Kergaye, Peter T. Martin: *SCOOT and SCATS: A Closer Look into Their Operations*
11. New South Wales Government Roads & Maritime Services: SCATS  
    <https://www.scats.com.au/how-scats-works.html>
12. Pitu Mirchandani, Larry Head: *A real-time traffic signal control system: architectrue, algorithms, and analysis*
13. World Road Association: *Highway Traffic Management*<https://rno-its.piarc.org/en/network-control-traffic-management-traffic-control-measures/highway-traffic-management>
14. Yizhe Wang, Xiaoguang Yang, Hailun Liang, Yangdong Liu: *A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic Environment*

Függelék