

Intelektualiosios transporto valdymo sistemos

A. Marma, D. Eidukas, A. Valinevičius, M. Žilys

Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g. 50, LT-3031 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 35 13 89, +370 612 72169

Intelektualiosios transporto valdymo sistemos

Daugėjant miestuose automobilių, didėja gatvių sankryžų apkrovimas, mažėja jų pralaidumas, automobiliams ilgiau stovint sankryžose teršiama aplinka, be reikalo deginami degalai. Šias problemas galima spręsti keliais būdais: platinti kelius, didinti eismo juostų skaičių, branginti degalus, tobulinti visuomeninio transporto sistemą bei kurti intelektualias transporto valdymo sistemas. Sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai, automatikos sistemoms ir optinėms duomenų perdavimo sistemoms, gali tobulėti ir intelektualios transporto valdymo sistemos (ITVS).

Intelektualiosios transporto valdymo sistemos yra vientisos sistemos koncepcija, kurioje integruotos tokios sistemos: vaizdo stebėjimo, duomenų perdavimo, duomenų apdorojimo ir automatinio valdymo. Tokia sistema leidžia mažinti transporto kamščius, avaringumą ir oro taršą.

Pagrindinę stebėjimo sistemos dalį sudaro vaizdo kameros ir specialios vaizdo signalo apdorojimo ir perdavimo plokštės, kurios yra montuojamos reikiamose kelio atkarpose ar sankryžose. Visa tai leidžia realiu laiku gauti informaciją apie eismo sąlygas dominančiose kelio atkarpose ir visą šią informaciją panaudoti transporto srautams valdyti. Visi signalai iš vaizdo kamerų perduodami į transporto srautus analizuojančias centras sistemas.

Veikimo principas. Viena pagrindinių intelektualiosios transporto valdymo sistemos sudedamųjų dalių yra duomenų apie transporto srautus surinkimo mechanizmas. Viena perspektyviausių duomenų surinkimo technologijų tai vaizdo stebėjimo sistema su skaitmeniniu vaizdo signalo apdorojimu. Pagrindinė vaizdo stebėjimo funkcija yra eismo stebėjimas, transporto srautų tam tikruose keliuose įvertinimas, transporto priemonių paieška. Ji veikia ir kaip prevencinė priemonė nuo transporto priemonių vagysčių ar kitų vandalizmo veiksmų.

Sistemos pagrindą sudaro vaizdo kamera ir iš jos gauto vaizdo skaitmeninio apdorojimo įrenginys. Vaizdo stebėjimo sistemos su skaitmeninės ir vaizdo informacijos kombinacija yra kur kas pranašesnės už kitas informacijos apie transporto srautus surinkimo sistemas. Iškart centrinėje stebėjimo stotyje gaunamas vaizdo signalas leidžia operatoriui įvertinti, kaip veikia vaizdo apdorojimo sistema ir ar gaunama tiksli informacija. Vaizdo sistemos vienas pranašumų yra tai, kad galima automatiškai fiksuoti

tam tikrus įvykius kelyje, pavyzdžiui, avarijas, sugedusius ar neleistinose vietose stovinčius automobilius.

- Automobilių transporto srautams stebėti vaizdo filmavimo kameros montuojamos tam tikrame aukštyje.

- Vaizdo kameros signalas naudojamas kaip detektavimo priemonė.

- Vaizdas apdorojamas tam tikromis VIP (*Video Image Processor*) plokštėmis.

- Vaizdo apdorojimo plokščių paleidimo metu uždedami tam tikri aktyvūs plotai (pavyzdžiui, ant kelio eismo juostos, žr. 1 pav.).

- Specialia programine įranga apdorojamas gaunamas vaizdo signalas aktyviuose ploteliuose pasirodžius automobiliui. Jis yra atpažįstamas ir detektuojamas.

- Naudojant tam tikrus algoritmus, gaunama įvairi reikalinga informacija.

- Komunikacijų plokštės apdorotus duomenis (skaitmeniniu būdu suspaustą vaizdą, duomenis apie automobilių srautus, kiekius, aliarmus ir t.t.) turimais kanalais persiunčia į centrinį stebėjimo postą.

- Centrinėje stebėjimo stotyje stebimas vaizdas.

- Naudojantis gauta informacija apie transporto srautus, pagal tam tikrą logiką koreguojami šviesoforų valdiklių darbo parametrai.

- Pakoreguoti valdymo parametrai komunikacijomis perduodami valdikliams.



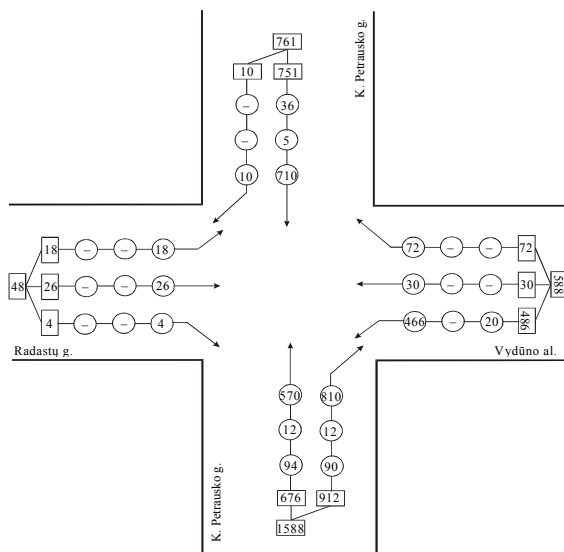
1 pav. Vaizdo analizė

Kaune eismo intensyvumui tirti buvo pasirinktos trys sankryžos:

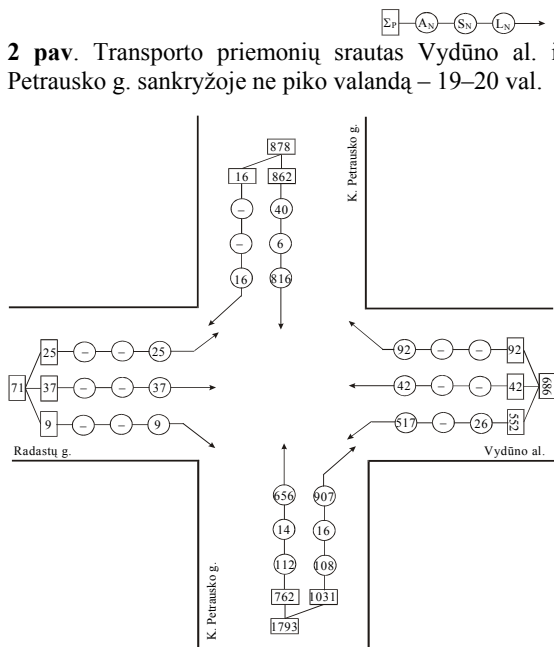
1. Šauklių ir Šv. Gertrūdos gatvių sankryža.
2. K. Petrausko g. ir Vydūno al. sankryža.
3. Studentų ir A. Baranausko gatvių sankryža.

Straipsnyje detaliau panagrinėsime K. Petrausko gatvės ir Vydūno alėjos sankryžą (žr. 2 ir 3 pav.). Visose sankryžose eismo intensyvumas stebėtas po vieną valandą, tarp 16-17 val. ir 19–20 val., po penkias darbo dienas, tris savaites. Bendras vidutinis sankryžas pervažiuojančių automobilių skaičius pateiktas 2 ir 3 paveiksluose, kur L_N – lengvieji automobiliai (tarp jų ir maršrutiniai mikroautobusai); S_N – sunkvežimiai; A_N – autobusai; Σp – bendras automobilių skaičius.

Didžiausią automobilių srauto dalį visuose stebėjimo postuose sudaro lengvieji automobiliai. Šauklių ir Šv. Gertrūdos gatvių sankryžoje lengvieji automobiliai sudaro 85,8% bendro automobilių srauto, K. Petrausko g. ir Vydūno al. – 92 %, o Studentų ir A. Baranausko gatvių sankryžoje – net 94 %.

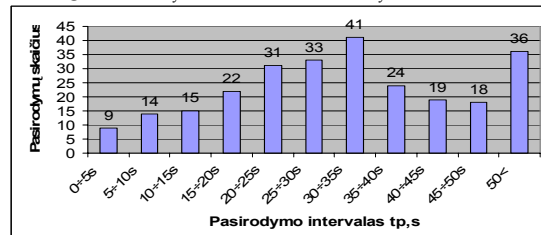


2 pav. Transporto priemonių srautas Vydūno al. ir K. Petrausko g. sankryžoje ne piko valandą – 19–20 val.

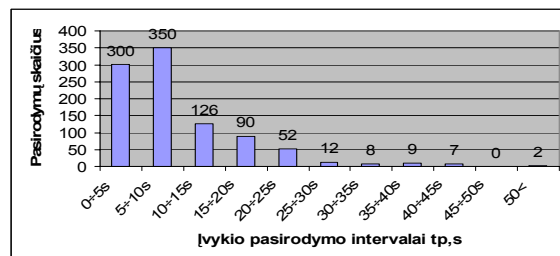


3 pav. Transporto priemonių srautas Vydūno al. ir K. Petrausko g. sankryžoje piko valandą - 16-17 val.

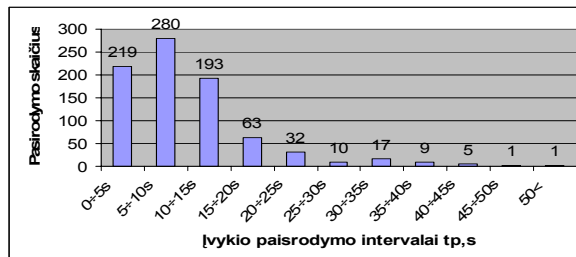
Tyrimas atliktas Vydūno al. ir K. Petrausko g. sankryžoje Kaune, 4 dienas paėliui 19 – 21 valandomis. Įvykiai pateikti srauto pasirodymo intervalų histogramomis 4 – 7 paveiksluose. Atskirai įvertintas kiekvienu kanalu (gatve) į kaupiklį (sankryžą) įeinantis $S_{in i}$ įvykių srautas (į sankryžą atvažiuojančių automobilių srautas) ir išeinantis $S_{out i}$ įvykių srautas (iš sankryžos išvažiuojančių automobilių srautas). Šviesoforų atsidarymo laikai yra pastovūs, jų reikšmės: K. Petrausko gatvėje žalias signalas $t_{petr\bar{z}}=35$ s, raudonas signalas $t_{petrR}=25$ s, Vydūno al. ir Radastų g. žalias $t_{vyd\bar{z}}=25$ s, raudonas $t_{vydR}=35$ s.



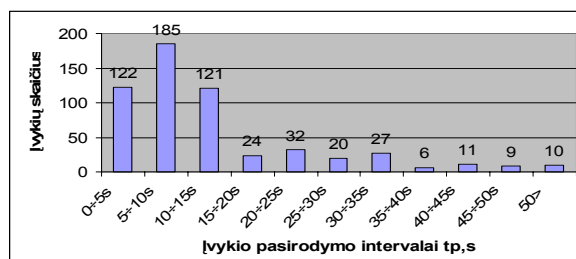
4 pav. Įeinančio įvykių srauto S_{in1} (Radastų g.) pasirodymo visų intervalų histograma. Bendras įvykių skaičius 262



5 pav. Įeinančio įvykių srauto S_{in2} (K. Petrausko g. nuo Parodos kalno) pasirodymo visų intervalų histograma. Bendras įvykių skaičius 956



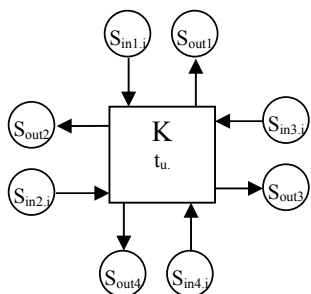
6 pav. Įeinančio įvykių srauto S_{in3} (K. Petrausko g. nuo Sukilėlių pr.) pasirodymo visų intervalų histograma. Bendras įvykių skaičius 830



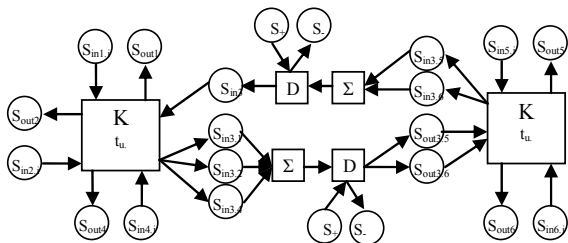
7 pav. Įeinančio įvykių srauto S_{in4} (Vydūno al.) pasirodymo visų intervalų histograma. Bendras įvykių skaičius 567

Modeliavimui sudaromos sankryžų srautų schemas [1] (žr. 8 pav.). Šiame paveiksle K yra kaupiklis, atitinkantis sankryžą, nes kiekviena sankryža veikia analogiškai kaupikliui. Kaupiklio pagrindinis parametras – užlaikymo trukmė t_u . $S_{in,j}$ įeinantis automobilių srautas, ir judantis „j“ kryptimi, ir judėsiantis „i“ kryptimi. S_{out} – iš sankryžos „i“ kryptimi išvažiuojančių automobilių srautas. 8 paveiksle matome vienos sankryžos srautų schemą. Sankryžose esant kelių juostų judėjimui skirtingomis kryptimis (tiesiai, į dešinę, į kairę), žinome, kaip pasiskirstys transporto srautai išvažiuojant iš sankryžos, pvz.: $S_{out} = S_{in4,2} + S_{in3,2} + S_{in1,2}$.

Tiriant šiuos srautus galima prognozuoti transporto srautus ir kitose gretimosose sankryžose. Tokiu principu (žr. 9 pav.) galima sudaryti viso miesto transporto srautų schemą. Pakeliui nuo vienos iki kitos sankryžos transporto srauto kiekis gali pakisti (išsukti iš kelio ar į jį įvažiuoti iš kiemo ar pan.), dėl to prieš sankryžą įterpiamas vienas daliklis, kuriame pridedami ir atimami srautai S_+ ir S_- . Tame pačiame daliklyje srautas su tam tikromis tikimybėmis išdalijamas į važiuojančius tiesiai, į dešinę ir į kairę.



8 pav. Vienos sankryžos srautų schema



9 pav. Dviejų sankryžų srautų sujungimo schema

Paprastumo dėlei toliau nagrinėsime vienos sankryžos srautų schemą bei apsiribosime transporto priemonėmis, važiuojančiomis tik tiesiai.

Pagal Markovo masinio aptarnavimo sistemų teoriją [2] vidutinis sankryžos atsidarymo laikas, t. y. aptarnavimo laikas Vydūno alėja $T_{aptV} = 25s$, o K. Petrausko gatve $T_{aptP} = 35s$.

Parametras μ yra atvirkščias dydis vidutinei paraiškoms aptarnavimo trukmei:

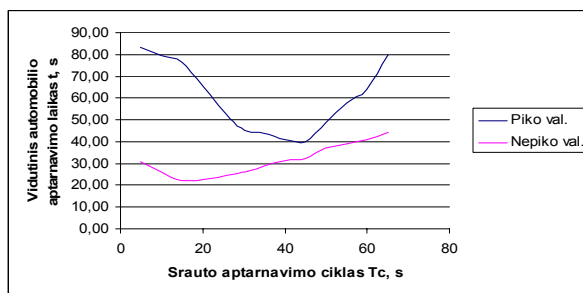
$$\mu = \frac{1}{T_{apt}} = \frac{1}{30} = 0,033 \text{ 1/s}^1.$$

Modeliavimui pasirenkame M/M/1 sistemą. Šią sistemą sudaro viena aptarnaujanti linija, eilės ilgis neribojamas.

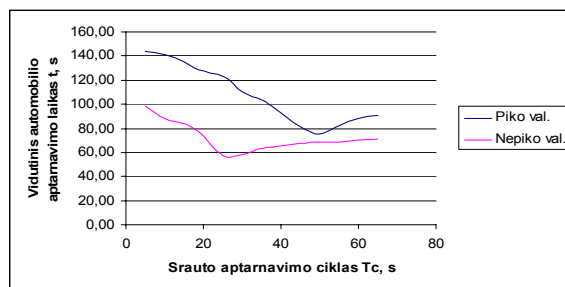
Vidutinė automobilio laukimo eilėje trukmė $\bar{w} = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} + 1 \approx 18,3s^*$. Čia $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1^1$.

Vidutinė laštelės (automobilio) buvimo sistemoje (sankryžoje) trukmė: $\bar{\tau} = \tau_{atml} + \bar{w} \approx 22,6s^1$. Čia τ_{atml} yra laikas per kurį automobilis vidutiniškai pervažiuoja sankryžą užsidedus žaliajam šviesoforo signalui ir $\tau_{atml} \approx 4,3s^1$.

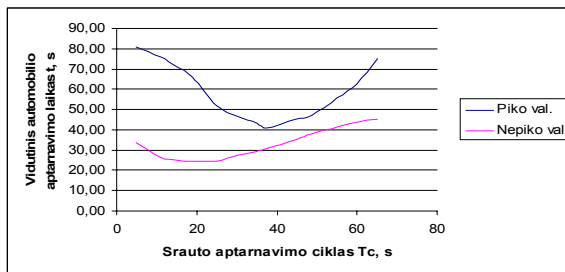
Vidutinis prie sankryžos eilėje stovinčių automobilių skaičius: $\bar{N}_\rho = \lambda \cdot \bar{w} \approx 13^1$.



10 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis vasaros metu (K. Petrausko g. nuo Parodos g.)

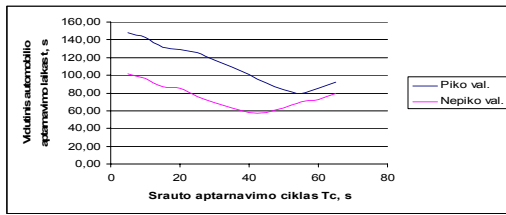


11 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis žiemos metu (K. Petrausko g. nuo Parodos g.)

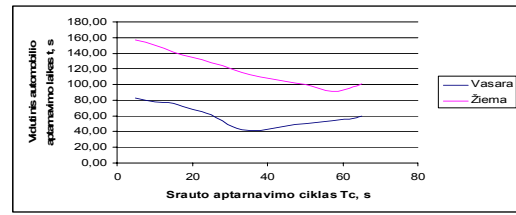


12 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis vasaros metu (K. Petrausko g. nuo Sukilėlių pr.)

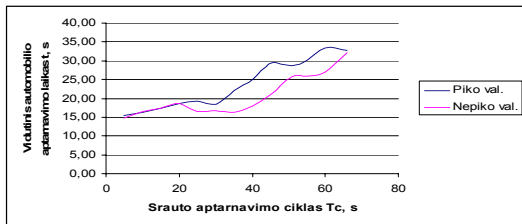
¹ Čia dydžiai kaip \bar{w} , τ_{atml} , $\bar{\tau}$, T_{apt} , \bar{N}_ρ , \bar{N}_{sist} ir t.t yra pateikti eksperimentiniais dydžiais atlikus tyrimą realioje Kauno gatvių sankryžoje. (Vydūno al. K. Petrausko gatvių sankryžoje). Tyrimas atliktas 4 dienas paeiliui 19.30 – 21.30 valandomis.



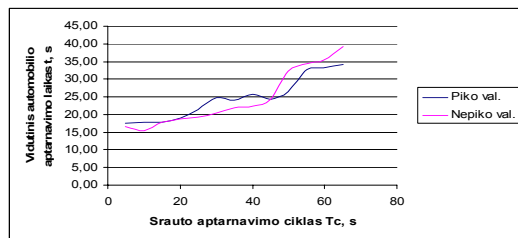
13 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis žiemos metu (K. Petrausko g. nuo Sukilėlių pr.)



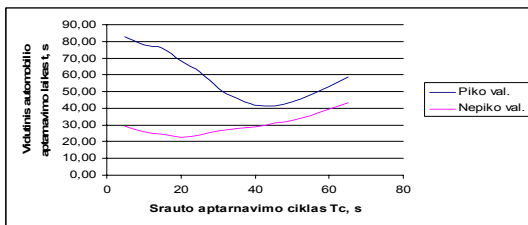
18 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) žiemos ir vasaros metu



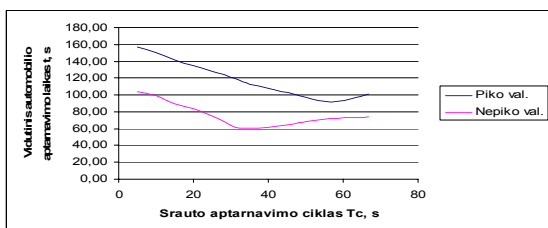
14 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis vasaros metu (Radastų g.)



15 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis žiemos metu (Radastų g.)

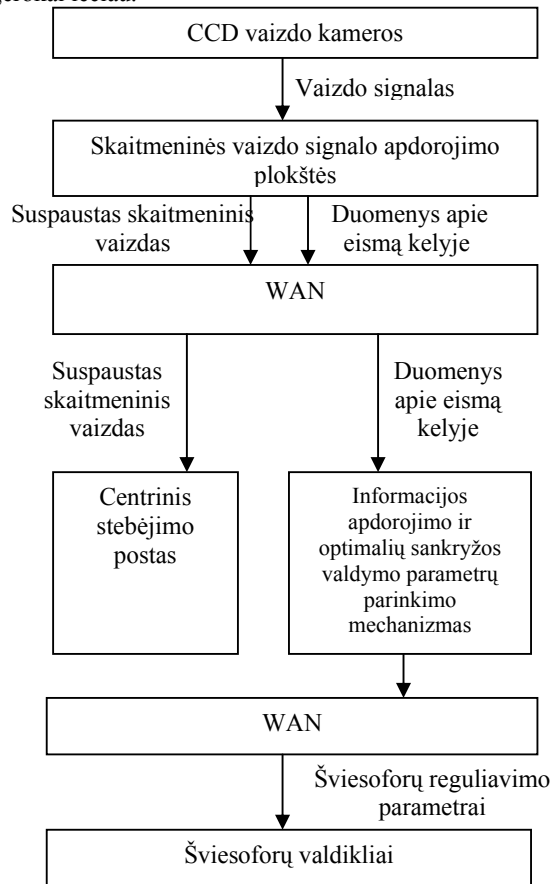


16 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis vasaros metu (Vyduño al.)



17 pav. Transporto priemonių vidutinės aptarnavimo trukmės priklausomybė nuo aptarnavimo ciklo (žalio ir raudono signalo ciklo dažnio) piko ir ne piko valandomis žiemos metu (Vyduño al.)

Išanalizavus gautus rezultatus, pateiktus 11 ÷ 17 paveiksluose, matyti, kad priklausomai nuo to, koks yra automobilių srautas, reikia parinkti ir šviesoforų darbo parametrus (kiek laiko skirti žaliai ir raudonam signalams). Esant dideliame automobilių sraute, mažiausia vidutinė transporto priemonių aptarnavimo trukmė \bar{T}_{apt} pasiekama, kai T_{cikl} yra nuo 50 iki 60 s (50 s žaliai ir 50 s raudonai), o esant mažesniai automobilių sraute, optimalus aptarnavimo laikas pasiekiamas esant ciklui nuo 30 iki 40 s. Tai galioja ir vasaros – žiemos periodais (žr. 18 pav.). Toks rezultatų skirtumas atsiranda dėl to, kad žiemą, esant sniegotam ar apledėjusiam keliui, gerokai pailgėja vidutinė vieno automobilio aptarnavimo trukmė \bar{T}_{apt} , nes visi automobiliai pradeda važiuoti ir pervažiuoja sankryžą gerokai lėčiau.

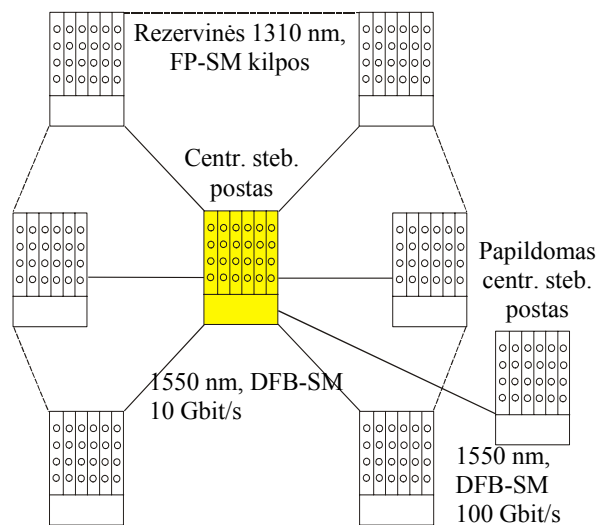


19 pav. Integruotos vaizdo stebėjimo ir transporto valdymo sistemos struktūra

Norint visada rasti optimalius sankryžos valdymo parametrus, reikalingi tokie duomenys: atvažiuojančių automobilių skaičius, kas kiek laiko vidutiniškai prie sankryžos privažiuoja automobilis, stovinčios eilės ilgis, per kiek laiko vidutiniškai aptarnaujamas vienas automobilis, kokios oro sąlygos ir t. t. Visą šią informaciją galima gauti labai paprastai: programiškai analizuojant vaizdo kameros filmuojamą vaizdą. Turint visą šią informaciją (ką parodė modeliavimo rezultatai), galima optimaliai valdyti sankryžą pervažiuojančių automobilių srautus bei neleisti susidaryti transporto priemonių kamščiams.

Vaizdo kameros filmuojamas vaizdas kartu yra ir puiki informacija tiriant autotransporto įvykius (avarijas), pavogtų automobilių paiešką, o įdiegus ir numerių atpažinimo sistemą, ši informacija labai padėtų ieškoti pavogtų autotransporto priemonių. Ji taip pat gali būti panaudota ir komerciniams tikslams, pvz., didelės įmonės gali patikrinti, ar jų automobiliai važiuoja reikiama maršrutais.

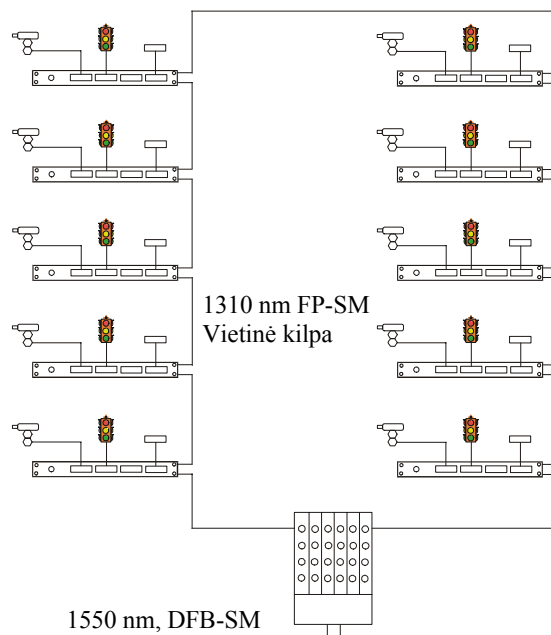
Norint perduoti 25 kadrų per sekundę greičiu vienos vaizdo kameros MPEG-2 ar MPEG-4 (800x600 vaizdo elementų) formatu suspaustą skaitmeninį vaizdą, reikalingas 20 – 30 Mbit/s Ethernet tinklo pralaidumas. Kiekvienoje sankryžoje priklausomai nuo jos dydžio ir konfigūracijos vidutiniškai reikia nuo 4 iki 8 vaizdo kamerų. 100 BaseT Ethernet tinklo užtektų vienos sankryžos vaizdui ir duomenims perduoti. Tačiau šio tinklo 100 Mbit/s pralaidumo tinklą sudarant vytos poros 5e kategorijos kabeliais (100 MHz), maksimalus leistinas atstumas be kartotuvų yra tik iki 100 m. O mieste reikalingas dešimčių kilometrų tinklas, užtikrinantis reikiamą spartą, t. y. iš kiekvienos sankryžos po 100 – 200 Mbit/s duomenų perdavimo spartą. Vienas iš sprendimų – optinis duomenų tinklas. Visą Ethernet tinklą galima suskirstyti dalimis ir išskirti atskiras skirtingos spartos duomenų kilpas (žr. 20 ir 21 paveikslus).



20 pav. Vietinio optinio duomenų perdavimo tinklo kilpa

Vietinė duomenų kilpa gali būti sudaroma 1310 nm FP-SM siūstuvais, kurie užtikrina 1Gbit spartos Ethernet tinklą iki 10 km atstumu. Pagrindinei kilpai sudaryti gali

būti naudojami modernesni 1550 nm DFB-SM siūstuvai, užtikrinantys 10 Gbit spartą net iki 100 km atstumu. Mieste šių atstumų užtenka.



21 pav. Visų vietinių optinių duomenų perdavimo potinklių sujungimas su centru stebėjimo postu

Išvados

1. Darbe išnagrinėta transporto srautų duomenų surinkimo technologija parodė, kad daugiausia pranašumų turi vaizdo signalo skaitmeninio apdorojimo technologija. Šiuo metodu galima rinkti visus duomenis, reikalingus transporto srautams reguliuoti:

- ateinančių paraiškų skaičių λ (kas kiek laiko vidutiniškai prie sankryžos privažiuoja automobiliai);
- stovinčios eilės ilgį;
- vidutinės paraiškos aptarnavimo trukmę \bar{T}_{apt} ;
- aptarnavimo intensyvumą μ ;
- oro sąlygas;
- papildomą informaciją, nenaudojamą srautams valdyti (informacija, padedanti atskleisti autoįvykius, automobilių vagystes ir t. t.).

2. Eksperimentinio tyrimo metu surinkta pakankamai duomenų sankryžos darbui modeliuoti.

3. Naudojantis programų paketu „Arena“ (akademinė versija) sukurtas imitacinis sankryžos modelis. Programų paketu šiame modelyje galima keisti visus sankryžos modelio parametrus: ateinančių paraiškų skaičių λ , vidutinę paraiškos aptarnavimo trukmę \bar{T}_{apt} , šviesoforo darbo ciklus ir t. t.

4. Panaudojus sukurtą imitacinį modelį darbe atlikti sankryžos valdymo eksperimentai. Gauti tyrimai parodė, kad:

- esant skirtingiems paraiškų skaičiams nuo $\lambda \approx 4s$ iki $\lambda \approx 6,5s$, vidutinę paraiškos aptarnavimo trukmę \bar{T}_{apt} galima sutrumpinti net iki 30 %;

• esant skirtingoms oro sąlygoms, automatiškai keičiasi paraiškos aptarnavimo trukmė, taigi net ir esant vienodam paraiškų skaičiui $\lambda = const$, keičiant šviesoforų darbo ciklus, kiekvieno automobilio užlaikymo trukmę galima sutrumpinti net iki 35%.

5. Sudarytas adaptyvus optimalių sankryžos valdymo parametrų parinkimo algoritmas, kuriuo galima optimaliai valdyti automobilių srautus, ką ir parodė atlikto modeliavimo rezultatai, bei neleisti susidaryti transporto priemonių kamščiams.

Literatūra

1. **Pranevičius H., Valakevičius E.** Markovo procesų teorijos taikymas sistemoms modeliuoti. – Kaunas: Technologija, 1991. – 90 p.
2. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем. Москва: Наука, 1999. – С.205–300.

Pateikta spaudai 2004 06 12

A. Marma, D. Eidukas, A. Valinevičius, M. Žilys. Intelektualiosios transporto valdymo sistemos // Elektronika ir elektrotechnika.- Kaunas: Technologija, 2004. – Nr.7(56).- P.49-54.

Lietuvos miestuose daugėjant autotransporto priemonių, didėja ir automobilių srautai gatvėse, sankryžų apkrovimas, daugėja automobilių spūsčių, be reikalo deginami degalai, o kartu didėja oro užterštumas. Šios problemos sprendžiamos įvairiais būdais: platinami keliai, didinamas eilių skaičius, branginami degalai, tobulinamos visuomeninio transporto sistemos bei kuriamos intelektualios transporto valdymo sistemos (ITVS). Eksperimentinio tyrimo metu buvo stebimos Kauno miesto kelių sankryžos (Vydūno al. – K.Petrausko g., Studentų g. – A. Baranausko g. bei Šv. Gertrūdės g. – Šauklių g.). Buvo sukaupta pakankamai daug eksperimentinių duomenų imitaciniam sankryžos darbo modeliui sudaryti. Buvo pasirinkta Vydūno al. ir K. Petrausko g. sankryža, sudarytas vienos sankryžos imitacinis darbo modelis. Gauti modeliavimo rezultatai parodė, kad, naudojant kintančius šviesoforų darbo ciklo parametrus, vidutinę automobilio užlaikymo sankryžoje trukmę galima sutrumpinti net iki 35 %. Šie rezultatai pasiekiami reguliuojant šviesoforų darbo ciklo parametrus atsižvelgiant į sankryžos apkrovimą (piko ir ne piko metu) bei oro sąlygas (žiema – vasara). Visa vaizdo stebėjimo sistemos renkama informacija perduodama optiniu tinklu. Il. 21, bibl. 2 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

A. Marma, D. Eidukas, A. Valinevičius, M. Žilys. Intelligent Transportation Systems // Electronics and Electrical Engineering.- Kaunas: Technologija, 2004. –No.7(56). – P.49-54.

Nowadays the quantity of vehicles in the Lithuanian cities is growing very fast. Loading on street intersections, traffic jams, wasting fuel and air pollution is increasing also. There are many ways to solve these problems for example: road widening, increasing number of paths, increasing fuel price, improvement of public transport system and creating Intelligent Transportation Systems. Accumulated enough data for creating road intersection imitation model. Created one road intersection imitation model. Obtained modeling results showed that use of changeable traffic light cycle working parameters we can decrease average car spending time at road intersection up to 35 %. These results we can obtain changing traffic lights working parameters depending on the traffic amount (rush and non-rush hours) and weather conditions (summer – winter). All this data we can get live from intelligent road video surveillance system through fiber optic network. Il. 21, bibl. 2 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

A. Марма, Д. Эйдукас, А. Валинявичюс, М. Жилис. Интеллектуальные системы управления транспортом // Электроника и электротехника. - Каунас: Технология, 2004.- №7(56). – С.49-54.

Увеличение количества автотранспорта в городах Литвы вызывает ряд проблем связанных с управлением потоками автомобилей на перекрестках, транспортными пробками, загрязнением воздуха. Один из способов решения этих проблем – внедрение интеллектуальных электронных систем, управления транспортом. В работе проведены экспериментальные исследования транспортных потоков на перекрестках г. Каунас. Накопленные данные использованы для создания имитационной модели работы перекрестка. Результаты моделирования показали, что изменением параметров цикла работы светофора, среднее время задержки автомобиля можно уменьшить до 35 %. Ил. 21, библи. 2 (на литовском языке; рефераты на литовском, русском и английском яз.).