



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS**

Aistė Štulienė

**IŠMANIOJI APŠVIETIMO VALDYMO SISTEMA, PAGRĮSTA
ŽMOGAUS ELGESIO MODELIAIS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Agnė Paulauskaitė-Tarasevičienė

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

**IŠMANIOJI APŠVIETIMO VALDYMO SISTEMA, PAGRĮSTA
ŽMOGAUS ELGESIO MODELIAIS**

Baigiamasis magistro projektas
Programų sistemų inžinerija (kodas 621E16001)

Vadovas

Doc. dr. Agnė Paulauskaitė-
Tarasevičienė
2017-05-25

Recenzentas

Prof. dr. Robertas Damaševičius
2017-05-25

Projektą atliko

Aistė Štulienė
2017-05-25

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Informatikos fakultetas

(Fakultetas)

Aistė Štulienė

(Studento vardas, pavardė)

Programų sistemų inžinerija (kodas 621E16001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Išmanioji apšvietimo valdymo sistema, pagrįsta žmogaus elgesio modeliais“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 25 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Aistės Štulienės**, baigiamasis projektas tema „Išmanioji apšvietimo valdymo sistema, pagrįsta žmogaus elgesio modeliais“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjusi.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

1.	Ižanga.....	9
1.1.	Dokumento paskirtis	9
1.2.	Santrauka.....	9
2.	Analitinė dalis.....	10
2.1.	Temos aktualumas ir tikslingumas	10
2.2.	Programų sistemos projekto tikslas ir uždaviniai.....	10
2.3.	Empirinis tyrimas	11
2.4.	Galimų sprendimų apžvalga.....	14
2.4.1.	Vaizdų klasifikavimo metodų palyginimas	14
2.4.2.	Vaizdų klasifikavimo metodų tikslumo įvertinimas.....	16
2.4.3.	Apšvietimo intensyvumo standartai	17
2.4.4.	Optimalaus apšvietimo intensyvumo parinkimas.....	18
2.5.	Sistemos realizacijai pasirinkti sprendimai	19
2.5.1.	Metodiniai aspektai.....	19
2.5.2.	Techniniai aspektai	21
2.6.	Analitinės dalies išvados	23
3.	Projektinė dalis	23
3.1.	Sistemos panaudojimo atvejai	23
3.2.	Reikalavimai sistemai	28
3.2.1.	Funkciniai reikalavimai	28
3.2.2.	Nefunkciniai reikalavimai	28
3.3.	Sistemos architektūra	29
3.3.1.	Sistemos statinis vaizdas	29
3.3.2.	Sistemos dinaminis vaizdas	32
3.4.	Sistemą sudaranti techninė įranga	33
3.5.	Projektinės dalies išvados.....	34
4.	Tyrimo dalis.....	34
4.1.	Tyrimo tikslas.....	34
4.2.	Tyrimo aprašymas ir eiga.....	34
4.3.	Tyrimo rezultatai	35
4.4.	Tyrimo dalies išvados.....	38
5.	Eksperimentinė dalis.....	38
5.1.	Eksperimentinio tyrimo tikslas.....	38
5.2.	Eksperimentinio tyrimo aprašymas ir eiga.....	39

5.3.	Eksperimentinio tyrimo rezultatai	40
5.4.	Eksperimentinės dalies išvados	44
6.	Išvados ir rezultatai	45
7.	Literatūra	45
8.	Terminų ir santrumpų žodynas	49
9.	Priedai	50

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Klasifikavimo pavyzdys, kai numatytos dvi galimos kategorijos	16
2.2 lentelė. Patalpų dirbtinės apšvietos parametrai	17
2.3 lentelė. Apšvietos ribinės vertės skirtingiems darbams ar veiklai	18
2.4 lentelė. Apšvietos parametrai skirtingų veiklų kategorijoms	20
3.1 lentelė. Pirmas panaudojimo atvejis „Sistemos įjungimas“	24
3.2 lentelė. Antras panaudojimo atvejis „Apšvietimo įjungimas“	25
3.3 lentelė. Trečias panaudojimo atvejis „Apšvietimo intensyvumo reguliavimas“	25
3.4 lentelė. Ketvirtas panaudojimo atvejis „Apšvietimo išjungimas“	26
3.5 lentelė. Penktas panaudojimo atvejis „Sistemos išjungimas“	26
3.6 lentelė. Šeštas panaudojimo atvejis „Nustatymų įvedimas“	27
3.7 lentelė. Septintas panaudojimo atvejis „Ataskaitos generavimas“	27
4.1 lentelė. CNN „AlexNet“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	36
4.2 lentelė. CNN „CaffeRef“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	36
4.3 lentelė. CNN „VGG“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	36
4.4 lentelė. BoF metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	37
4.5 lentelė. SVM metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	37
4.6 lentelė. KNN metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms	37
5.1 lentelė. Eksperimentinio tyrimo dalyvių informacija	39
9.1 lentelė. Pirmo sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	51
9.2 lentelė. Antro sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	52
9.3 lentelė. Trečio sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	53
9.4 lentelė. Ketvirto sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	54
9.5 lentelė. Penkto sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	55
9.6 lentelė. Šešto sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai	56

Paveikslų sąrašas

2.1 pav. Išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos savybių svarba.....	12
2.2 pav. Priežastys, dėl kurių paliekami įjungti nenaudojami šviestuvai	12
2.3 pav. Žmonėms priimtinausias išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos tipas	13
2.4 pav. „Viola-Jones“ algoritmo panaudojimo pavyzdys <i>MATLAB</i> aplinkoje.....	14
2.5 pav. „AlexNet“, „CaffeRef“ ir „VGG“ architektūrų panaudojimas paveikslėlių klasifikavimui ..	14
2.6 pav. BoF technikos panaudojimas paveikslėlių klasifikavimui	15
2.7 pav. KNN klasifikavimo pavyzdys	16
2.8 pav. Vaizdų klasifikavimo praktinis taikymas	19
2.9 pav. Sistemos veikimo logika apšvietimo intensyvumo nustatymo (reguliavimo) daliai.....	22
3.1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama	24
3.2 pav. Paketų diagrama	29
3.3 pav. Paketo „Techninė dalis“ klasių diagrama.....	30
3.4 pav. Paketo „Veikla“ klasių diagrama	30
3.5 pav. Paketo „Sistema apšvietimas“ klasių diagrama	31
3.6 pav. Paketo „Parametrai“ klasių diagrama.....	31
3.7 pav. Veiklos diagrama pirmajam – penktajam panaudojimo atvejams	32
3.8 pav. Sistemos techninės įrangos komponentai.....	33
4.1 pav. Vaizdų, reprezentuojančių penkias skirtingas žmogaus veiklos kategorijas, pavyzdžiai	35
4.2 pav. Skirtingų metodų žmogaus veiklos klasifikavimo rezultatų palyginimas.....	38
5.1 pav. Tyrimui vykdyti pasirinkta aplinka	39
5.2 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai I kategorijos veikloms	41
5.3 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai II kategorijos veikloms.....	41
5.4 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai III kategorijos veikloms	42
5.5 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai IV kategorijos veikloms	42
5.6 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai V kategorijos veikloms.....	43
5.7 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai: galimi ir įvykdyti apšvietimo intensyvumo keitimai	44
5.8 pav. Įvykdytų ir galimų keitimų dienų kiekio santykis.....	44

Štulienė, A. *Intelligent Lighting Control System Based On Human Behavior Patterns: Master's thesis in Software Engineering / supervisor doc. dr. Agnė Paulauskaitė-Tarasevičienė. The Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Software Engineering.

Key words: intelligent lighting control, human activity recognition, image classification, convolutional neural networks.

Kaunas, 2017. 56 p.

SUMMARY

The solution of lighting control problem is one of the most challenging tasks being encountered while developing the intelligent control systems. Primarily, the relevance of this problem was identified in the business sectors in order to reduce the indoor lighting costs. Nowadays, the other priorities have been identified, including the assisting control, health friendly environment, adaptation to changing human's needs and individual habits.

The major challenge while solving the lighting control task is to identify and implement significant requirements, because they determine not only the properties of the product, but its prevalence as well. The system, which focuses on lighting intensity standards, predefined control rules, usually does not pay attention to particular human needs and habits. On the contrary situations, when only human needs are estimated, the sufficient (health friendly) and cost-effective illumination is not always ensured. Finding the balance between human's preferred lighting and recommended illumination may be beneficial solution. Besides, intelligent system has to be flexible and respond to changing environment, so human activity monitoring must be constantly taken into account.

This document and developed software represent the proposed solution: intelligent lighting control system, which is based on the human's lightning control habits and recommended illumination for the current activity. The interactive lighting control algorithm has been proposed, which provides lighting according user's needs and recommended illumination. In order to create unnoticeable and convenient lighting control system, activity recognition is mapped to the image classification task, which allows to avoid of using various wearable sensors. The implementation of human activity recognition relies only on the combination of video monitoring devices and machine learning algorithms most suitable for image recognition tasks.

1. IŽANGA

1.1. Dokumento paskirtis

Šis dokumentas yra skirtas išsamiam magistro studijų metu sukurtos išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos, pagrįstos žmogaus elgesio modeliais, tyrimui. Rengiant dokumentą ir atliekant susijusius tyrimus siekiama į apšvietimo valdymo uždavinį pažvelgti iš skirtingų perspektyvų. Analitinėje dalyje pateikiama galimų sprendimų apžvalga, pagrindžiamos pasirinktos technologijos. Projektinėje dalyje detalizuojami esminiai sistemos dokumentacijos aspektai. Tyrimo metu siekiama įvertinti vaizdų klasifikavimo metodų tikslumą, numatyti galimas sistemos tobulinimo perspektyvas. Eksperimentinėje dalyje pateikiamas sistemos panaudojimo tyrimas. Formuluojuojant išvadas apibendrinami esminiai dokumento aspektai, siekiant pateikti svarbiausius susistemintus rezultatus, reikalingus tolimesniems tyrimams.

1.2. Santrauka

Apšvietimo valdymo problema – viena dažniausiai sprendžiamų, kuriant išmaniąsias valdymo sistemas. Toks uždavinys, pirmiausiai susiformavęs verslo sektoriuje, siekiant sumažinti elektros energijos sąnaudas, skirtas patalpų apšvietimui, šių dienų kontekste turi kiek kitokią paskirtį – asistuoti žmogui, prisitaikyti prie kintančių poreikių, sukurti sveikatai neigiamo poveikio neturinčią aplinką ir esant galimybėms, sumažinti elektros energijos kaštus.

Sprendžiant apšvietimo valdymo uždavinį, bene didžiausia problema yra prioritetinių reikalavimų nustatymas ir realizavimas, kadangi jie dažnai lemia ne vien produkto savybes, bet ir jo populiarumą. Jei apšvietimo valdymo sistemoje pirmenybė teikiama apšvietimo intensyvumo standartams, dažniausiai neatsižvelgiama į individualius naudotojo poreikius bei įpročius. Dėl šios priežasties atsiradęs diskomfortas gali suformuoti neigiamą sistemos naudotojų požiūrį arba paskatinti atsisakyti produkto. Įvertinant tik žmogaus poreikius, ne visuomet užtikrinamas pakankamas (sveikatai neigiamo poveikio neturintis) bei elektros energijos sąnaudas optimizuojantis apšvietimas. Balansas tarp apšvietimo intensyvumo standartų ir individualių naudotojo poreikių gali padėti išvengti pastarųjų problemų.

Šis dokumentas bei sukurta programinė įranga reprezentuoja siūlomą sprendimą: išmaniąją apšvietimo valdymo sistemą, paremtą naudotojo apšvietimo valdymo įpročiais bei skirtingoms veikloms numatytais apšvietimo intensyvumo standartais. Siekiant sukurti nepastebimą ir diskomforto žmogui nesukeliančią apšvietimo valdymo sistemą, atsisakyta portatyvių jutiklių panaudojimo, o reikalingoms apšvietimo korekcijoms vykdyti numatyti minimalūs periodiški keitimai. Žmogaus veiklos identifikavimui realizuoti pasirinkta vaizdo stebėjimo įranga bei vaizdų klasifikavimo metodai. Optimalaus apšvietimo intensyvumo parinkimui konkrečios veiklos atveju nenaudotos griežtai apibrėžtos taisyklės bei iš anksto numatyti scenarijai: sukurtas interaktyvus

apšvietimo intensyvumo parinkimo algoritmas, suderinantis sistemos naudotojo poreikius ir apšvietimo standartus.

2. ANALITINĖ DALIS

2.1. Temos aktualumas ir tikslingumas

Apšvietimo valdymas, pagrįstas žmogaus elgesio modeliais (veiklomis, įpročiais) ir atitinkamu apšvietimo intensyvumu, iki šiol yra aktuali tyrimų sritis. Sistemos, pagrįstos vien tik konkrečiomis taisyklėmis, apribojimais bei iš jutiklių gaunama informacija [3], [8], [10], [18], negali būti traktuojamos kaip išmaniosios ar intelektinės. Pagrindinė išmaniųjų apšvietimo valdymo sistemų savybė – gebėjimas operatyviai prisitaikyti prie kintančių aplinkos veiksnių, siekiant valdyti šviesos šaltinius.

Kuriant išmaniąsias valdymo sistemas, gana dažnai siekiama kuo tiksliau įvertinti žmogaus padėtį apšvietimo zonoje [30], atkartoti jo elgseną arba tam tikrus veiksmus [29], operatyviai prisitaikyti prie naudotojo įpročių bei aplinkos pokyčių. Vis dėlto, apšvietimo valdymo sistemose ne visuomet reikalingas ypatingas tikslumas, nes mažos paklaidos parenkant apšvietimo intensyvumą gyvenamosiose erdvėse daugeliu atvejų nėra pastebimos. Pagal E. H. Weberio dėsnį, žmogaus akys nepastebi mažesnių nei 8 % apšvietimo intensyvumo pokyčių [41]. Be to, konkrečios veiklos atveju siekiant užtikrinti tinkamą apšvietimo intensyvumą, dažnai nepakanka tik sistemos naudotojo veiksmų pakartojimo.

Egzistuojančiuose standartuose norminės apšvietimo intensyvumo reikšmės pateikiamos konkrečių paskirčių patalpoms arba numatomoms veiklų kategorijoms [21], [38]. Besikeičiantis gyvenimo būdas, šiuolaikiški būstai turi įtakos gyvenamųjų namų erdvių panaudojimui, todėl patalpos paskirtis ir gyventojų vykdoma veikla dažnai nesutampa (pavyzdžiui, žmogus gali valgyti darbo kambaryje, dirbti kompiuteriu virtuvėje arba skaityti knygą sėdėdamas ant laiptų). Dėl šios priežasties atliekama veikla yra svarbesnis faktorius parenkant tinkamą apšvietimo intensyvumą nei buvimas tam tikroje patalpoje.

Atsižvelgiant į temos aktualumą, tikslinga sukurti išmaniąją apšvietimo valdymo sistemą, gebančią reguliuoti apšvietimo intensyvumą atsižvelgiant į žmogaus poreikius ir apšvietimo intensyvumo standartus, numatytus žmogaus vykdomoms veikloms. Pastarųjų identifikavimui naudoti pažangiausi vaizdų klasifikavimo metodai. Darbe siekiama įvertinti tiek skirtingų vaizdų klasifikavimo metodų tikslumą, tiek ir sukurto optimalaus apšvietimo intensyvumo parinkimo algoritmo tinkamumą apšvietimo valdymo uždaviniui spręsti.

2.2. Programų sistemos projekto tikslas ir uždaviniai

Programų sistemos projekto tikslas – sukurti išmaniąją apšvietimo valdymo sistemą, išlaikančią balansą tarp žmogaus apšvietimo valdymo įpročių bei apšvietimo standartų.

Uždaviniai:

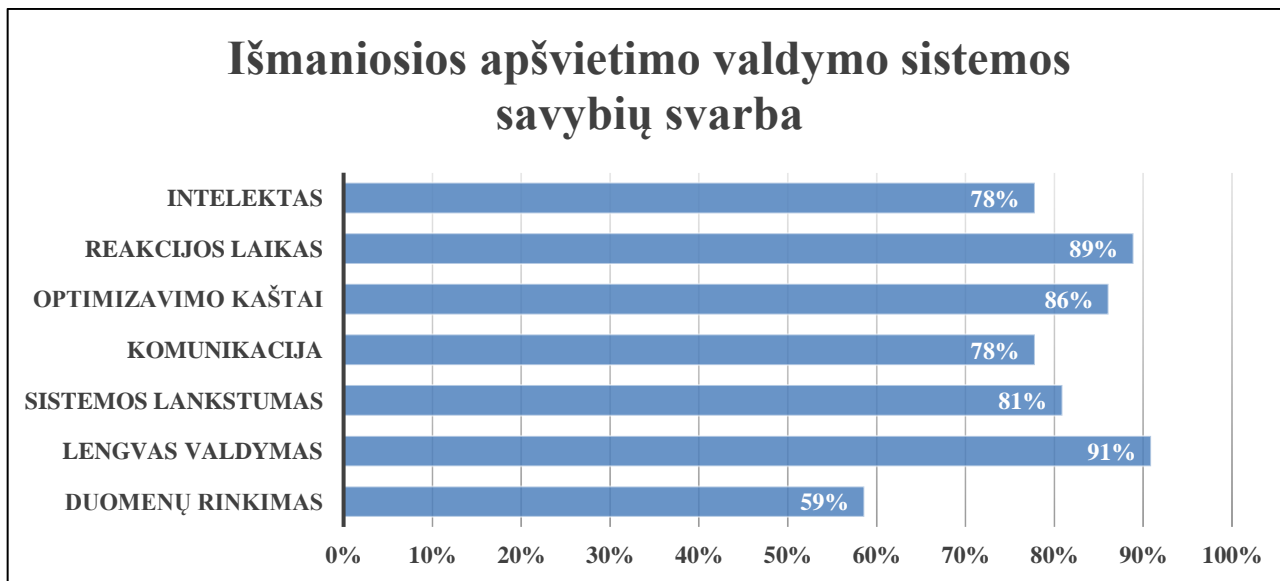
- Išanalizuoti tinkamiausius vaizdų klasifikavimo metodus ir jų taikymą žmogaus veiklos identifikavimo problemai spręsti.
- Apžvelgti ir susisteminti pasaulyje pripažintus standartus, pateikiančius sveikatai tinkamiausias apšvietimo intensyvumų normas, priklausomai nuo žmogaus vykdomos veiklos.
- Sukurti apšvietimo intensyvumo valdymo algoritmą, paremtą sistemos naudotojo įpročiais konkrečios veiklos atveju bei apšvietimo intensyvumo standartais.
- Išskirti namų aplinkoje ir darbo vietose vykdomų veiklų kategorijas, kurioms reikalingas skirtingas apšvietimo intensyvumas.
- Įvertinti skirtingų vaizdų klasifikavimo metodų tikslumą, kai naudojamos išskirtos vykdomų veiklų kategorijos ir jas reprezentuojančios duomenų imtys.
- Atlikti eksperimentinius tyrimus, leidžiančius įvertinti realizuoto algoritmo tinkamumą apšvietimo valdymo uždaviniui spręsti.

2.3. Empirinis tyrimas

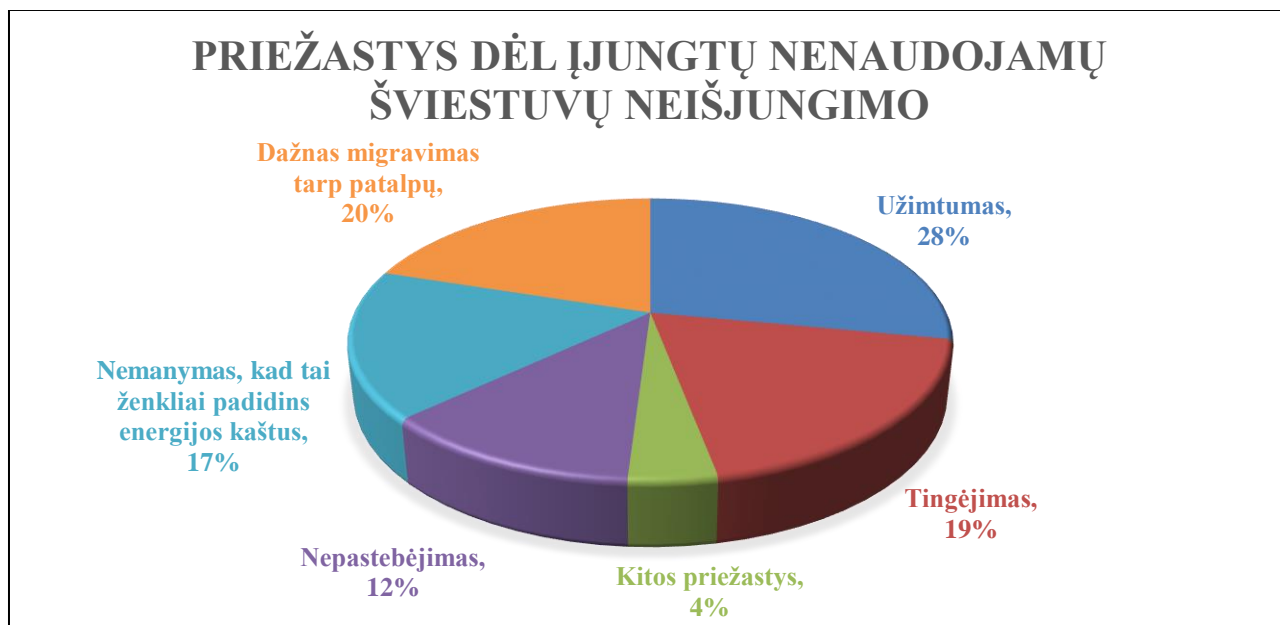
Kuriant išmaniąją apšvietimo valdymo sistemą gyvenamosioms erdvėms, prioritetas yra personalizuotas valdymas, atsižvelgiant į naudotoją supančią aplinką ir individualius apšvietimo valdymo įpročius. Intelektualaus valdymo sąvoka apima nuolatinį mokymąsi iš žmogaus elgesio, adaptaciją ir autonomiškumą. Siekiant išsiaiškinti tokios sistemos poreikį ir potencialių naudotojų lūkesčius, buvo atlikta apklausa, panaudojant elektroninę anketą [28]. Vartotojo lūkesčių išskyrimas leidžia suformuoti reikalavimus sistemai ir, atlikus realizaciją, praktiškai patikrinti jos naudingumą. Apklausoje dalyvavo lietuviai, kurių amžiaus vidurkis yra 37 metai. Svarbiausi anketos rezultatai grafikų pavidalu, bei išvados, kurios leidžia išskirti vartotojo poreikius, yra pateikiami toliau.

Visų pirma, tikslinga apibrėžti, kaip žmonės suvokia išmaniąją (intelektualią) apšvietimo valdymo sistemą. Be abejo, pagrindinis aspektas, įvardytas daugelyje atsakymų, yra automatinis valdymas. Vis dėlto, automatinį apšvietimo valdymą žmonės traktuoja skirtingai: didžioji dalis apklausos dalyvių tai supranta kaip apšvietimo intensyvumo reguliavimą, siekiant taupyti kaštus, kiti – kaip išankstinių taisyklių nurodymą, likusieji – kaip žmogaus veiksmų atkartojimą. Remiantis anketos rezultatais galima teigti, kad paprastas valdymas, reakcijos laikas ir kaštų optimizavimas yra svarbiausios išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos savybės (žr. 2.1 pav.). Tokie prioritetai nestebina, nes vartotojas, įsigydamas valdymo sistemą, tikisi, kad gebės ją greitai perprasti, sistemos sprendimas bus tikslus ir greitas, o kaštų optimizavimas visuomet yra siekiamybė. Sistemos intelektualumas taip pat labai svarbus: iš vartotojo elgsenos gebanti „apsimokyti“ sistema savaime vykdo kaštų optimizavimą. Pavyzdžiui, žmogui išeinant iš kambario šviesos šaltiniai dažniausiai yra išjungiami ir gerai „apmokyta“ sistema visada išjungs nereikalingą apšvietimą. Palikti įjungti šviesos

šaltiniai – dažnas reiškiny s gyvenimiškose situacijoje (atsižvelgiant į apklausos rezultatus galima teigti, jog pagrindinės šio reiškinio priežastys yra užimtumas, dažnas migravimas tarp gretimų patalpų bei tingėjimas (žr. 2.2 pav.)). Net ir pastebėję įjungtą nenaudojamą šviestuvą tik 25 % apklaustųjų tuoj pat eina jį išjungti, 33,3 % bando ieškoti, kas tai padarytų už juos, o 41,7 % nekreipia dėmesio ir ketina apšvietimą išjungti vėliau. Galimas ir kitas scenarijus: sistemos naudotojas dažnai migruoja tarp gretimų patalpų (pavyzdžiui, tarp svetainės bei virtuvės) ir specialiai palieka įjungtą apšvietimą (taupiosioms lemputėms dažni išjunginėjimai sutrumpina galimą naudojimo laiką ir nėra efektyvūs), tuomet išmanioji sistema pritaikys šią taisyklę.



2.1 pav. Išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos savybių svarba



2.2 pav. Priežastys, dėl kurių paliekami įjungti nenaudojami šviestuvai

Siekiant išsiaiškinti, kokio tipo išmanioji apšvietimo valdymo sistema yra patraukliausia naudotojui, buvo pasiūlyti penki galimos sistemos tipai, leidžiant pasirinkti patį priimtinausią (žr. 2.3 pav.):

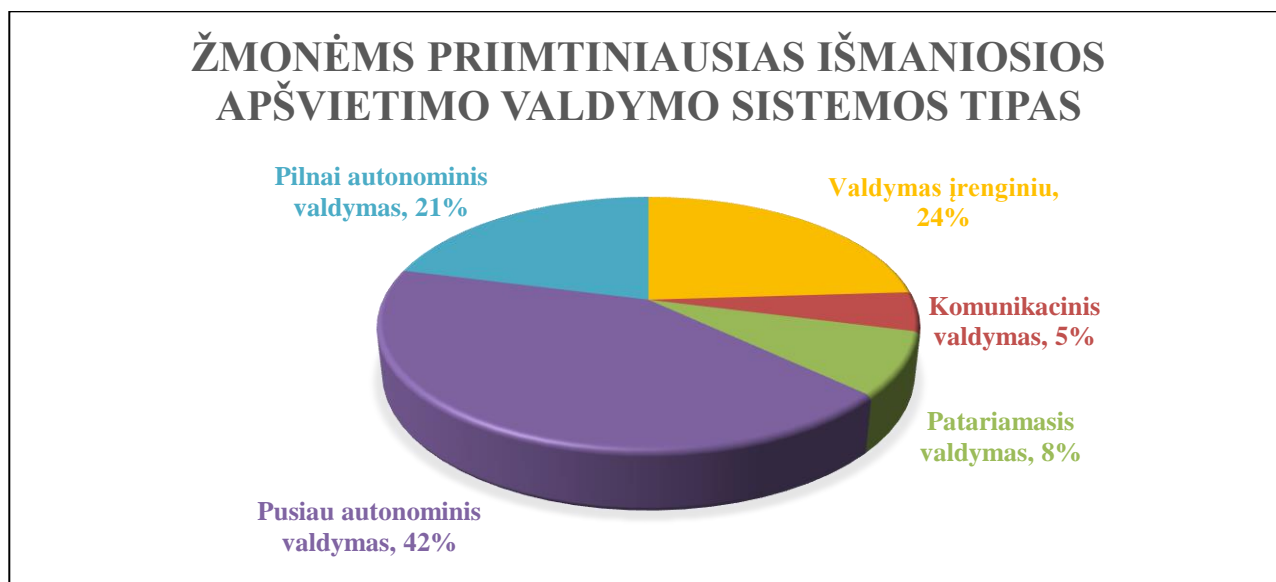
Valdymas įrenginiu – namų apšvietimo valdymo sistema yra kontroliuojama įrenginiu (pavyzdžiui, specializuotu distanciniu pultu, planšetiniu kompiuteriu, stacionariu įrenginiu su vartotojo sąsaja), kuriuo naudotojas sistemai gali nurodyti pageidaujamą apšvietimo intensyvumą tam tikrose apšvietimo zonose, laiką, kuomet reikia išjungti bei įjungti apšvietimo šaltinius ir t. t.

Komunikacija paremtas valdymas – sistema, prieš atlikdama apšvietimo nustatymo veiksmus, esant tam tikroms aplinkybėms (pavyzdžiui, aplinkos veiksnių pasikeitimams) komunikuoja su naudotoju ir laukia patvirtinimo, kad siūlomas sprendimas yra tinkamas.

Patariamasis valdymas – sistema pati automatiškai nevaldo apšvietimo, tik pateikia informaciją apie: esamą namų apšvietimą, įspėjamuosius ir informacinius pranešimus apie paliktus įjungtus šviestuvus, patarimus, kaip sumažinti energijos kaštus ir efektyviau paskirstyti apšvietimą.

Pusiau autonominis valdymas – vartotojas pats įjungia bei išjungia šviesos šaltinius, reguliuoja apšvietimo intensyvumą, o sistema gali atlikti tam tikras modifikacijas, siekdama palaikyti optimalų apšvietimą. Pavyzdžiui, jeigu apšvietimas yra nebereikalingas, jis yra išjungiamas, jeigu per daug intensyvus – sumažinamas.

Pilnai autonominis valdymas – sistema, „apsimokiusi“ pagal konkretaus žmogaus apšvietimo valdymo įpročius, pati valdo namų apšvietimą.



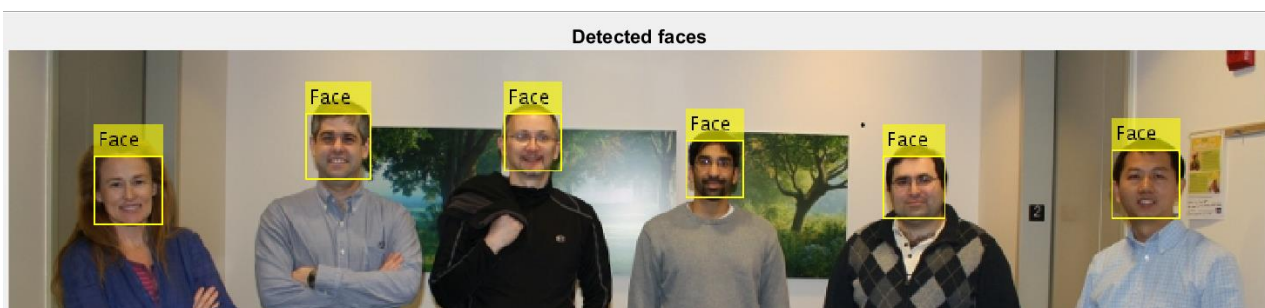
2.3 pav. Žmonėms priimtinausias išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos tipas

Kasmet kreipiamas vis didesnis dėmesys į konkretaus vartotojo (sistemų naudotojo) poreikių personalizavimą, todėl galima teigti, jog ateityje išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos turės daug potencialių pritaikymo sričių. Pastaraisiais metais vis populiarėjantis „protingų namų“ (*angl. smart home*), pastatų įrengimas, jaukesnės, sveikatai neigiamo poveikio neturinčios darbo aplinkos kūrimas – tik keletas galimų sistemos panaudojimo pavyzdžių.

2.4. Galimų sprendimų apžvalga

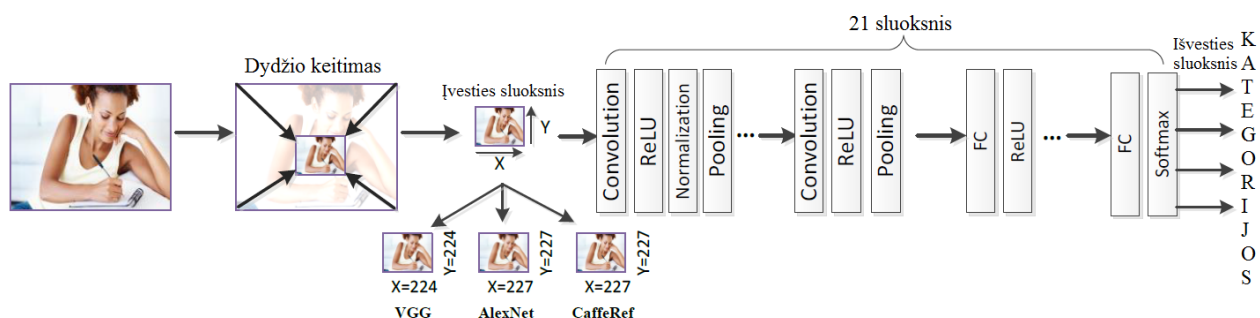
2.4.1. Vaizdų klasifikavimo metodų palyginimas

Sprendžiant apšvietimo valdymo uždavinį ir naudojantis vaizdo stebėjimo prietaisu itin svarbu gebėti iš nuotraukose (vaizduose) esančių objektų išskirti žmogaus veidą iš priekinės perspektyvos. Vienas iš klasikinių metodų, realizuotas įvairiose programavimo aplinkose – „Viola-Jones“ algoritmas (žr. 2.4 pav.). Atsižvelgiant į algoritmo greitaveiką [40], šio metodo derinimas su kitais žmogaus aptikimo bei vaizdų klasifikavimo būdais gali būti pritaikytas išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos kontekste.



2.4 pav. „Viola-Jones“ algoritmo panaudojimo pavyzdys *MATLAB* aplinkoje

Žmogaus veiklos identifikavimo problemai spręsti svarbus ne tik sistemos naudotojo atpažinimas, bet ir jo atliekamos veiklos klasifikavimas [36], [17]. Pastaraisiais metais ženkliai išsiplėtė CNN (angl. *Convolutional Neural Networks*) metodų panaudojimas vaizdų atpažinimo užduotyse dėl itin gerų gaunamų rezultatų [12], [43], [32]. „AlexNet“ [19], „CaffeRef“ [16] ir „VGG“ [35] – dažnai naudojamos CNN architektūros, turinčios tą patį kiekį sluoksnių, bet keliančios skirtingus reikalavimus įvesties duomenims (paveikslėliams). „AlexNet“ ir „CaffeRef“ numatytas įvesties paveikslėlių dydis – 227×227 pikselių (RGB skalė), o „VGG“ – 224×224 pikselių (RGB skalė) (žr. 2.5 pav.).

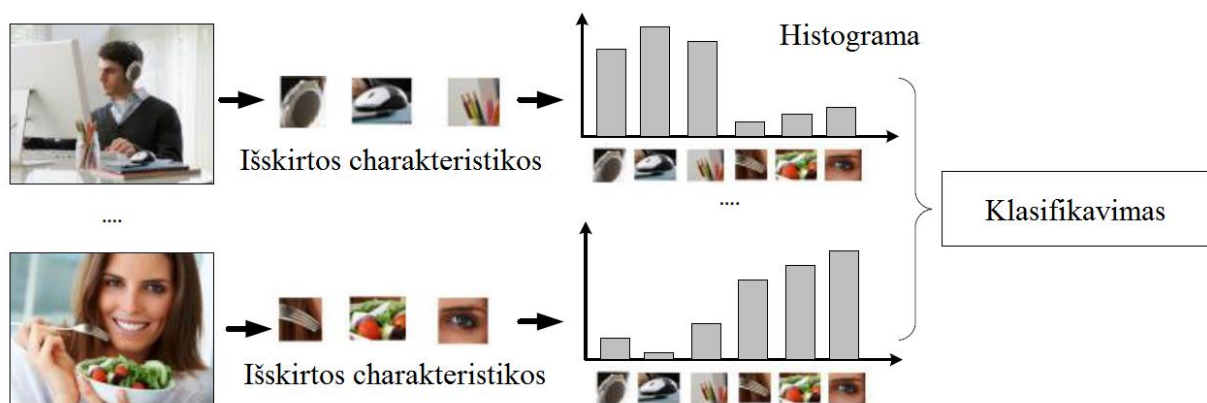


2.5 pav. „AlexNet“, „CaffeRef“ ir „VGG“ architektūrų panaudojimas paveikslėlių klasifikavimui

Tyrimai rodo, kad taikant CNN metodus, žmogaus veiklos klasifikavimas į dažniausiai eksperimentuose naudojamas kategorijas (pavyzdžiui, ėjimą, bėgimą, mojavimą ar plojimą) gali pasiekti netgi didesnę nei 90 % tikslumą [44], [4]. Visgi, daugeliu atvejų sprendimai neapsiriboja

vien CNN metodo taikymu – neretai pasitelkiama ir iš įvairių jutiklių gaunama informacija [15], [11], [33].

BoF (angl. *Bag of Features*) – viena iš technikų, naudojamų vaizdų klasifikavimo (grupavimo) uždaviniui spręsti. Šios technikos tikslas – išskirti pagrindines paveikslėlių charakteristikas (kurios kai kuriais atvejais gali būti elementarios, tokios kaip spalva, tekstūra ar forma) ir jas taikyti ieškant panašumų tarp atitinkamų vaizdų (žr. 2.6 pav.). BoF taikymas veiklų atpažinimui vaizdo įrašų sekose pademonstravo gerus rezultatus – buvo pasiektas didesnis nei 80 % tikslumas [45], [27]. Atlikti eksperimentai, išskiriant tipiškas sporto veiklų rūšis (šokinėjimą, vaikščiojimą, bėgimą) parodė, kad BoF tikslumas padidėja, jei realizuojant sprendimą pasitelkiami papildomi klasifikavimo metodai bei technikos [6], [37]. Atsižvelgiant į tyrimų rezultatus, galima teigti, jog CNN ir BoF yra tinkami algoritmai išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos veiklos klasifikavimo dalies realizacijai (atsižvelgiant į tai, kad žmogaus veikla bus vertinama periodiškai).

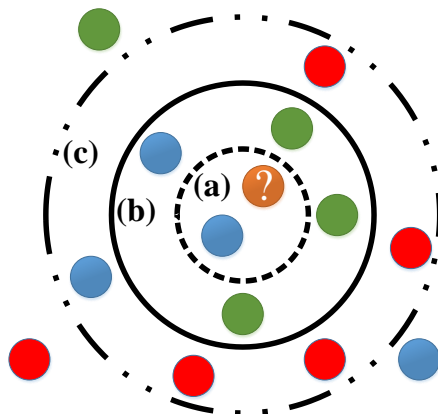


2.6 pav. BoF technikos panaudojimas paveikslėlių klasifikavimui

Vaizdų, reprezentuojančių žmogaus atliekamas veiklas, klasifikavimui naudojami ir kiti algoritmai, tokie kaip SVM (angl. *Support Vector Machine*) [5] arba KNN (angl. *K-Nearest Neighbors*). SVM metodas dažnai naudojamas kaip klasifikatorius, sprendžiant uždavinius, kuriuose numatytos dvi galimos klasės (kategorijos). Žmogaus veiklos identifikavimo kontekste dažniausiai formuluojamas sudėtingesnis klasifikavimo uždavinys, kuriame išskiriamos daugiau nei dvi galimos žmogaus veiklos rūšys. Dėl šios priežasties naudojamas modifikuotas SVM, pritaikytas duomenų skirstymui į konkrečiu atveju reikalingą kategorijų kiekį [13]. Atlikti tyrimai rodo, kad žmogaus veiklos identifikavimo kontekste SVM tikslumas mažesnis nei CNN ar BoF ir siekia 71,63 % [34].

Pasitelkus KNN, klasifikavimo procesas grindžiamas atstumo tarp įvesties taškų aibės ir mokymo taškų skaičiavimu (gali būti taikomi įvairūs būdai – pavyzdžiui, Mahalanobio, Spirmeno ar Euklido atstumai). Objektai klasifikuojami pagal k „artimiausių kaimynų“ bruožus. Klausukų pažymėtas skritulys, priklausomai nuo k reikšmės, kuri pasirinktame pavyzdyje gali būti 1, 5 arba 10,

yra atitinkamai mėlynas (a), žalias (b) ir raudonas (c) (žr. 2.7 pav.). Kai kurie tyrimai rodo, kad KNN naudojimas žmogaus veiklos nustatymo uždaviniui spręsti pateisina lūkesčius – pasiekiamas didesnis nei 90 % tikslumas. Visgi, geri rezultatai gali būti gauti tuo atveju, jei pasitelkiama papildoma įranga (pavyzdžiui, jutikliai) [7].



2.7 pav. KNN klasifikavimo pavyzdys

2.4.2. Vaizdų klasifikavimo metodų tikslumo įvertinimas

Žmogaus veiklos klasifikavimo rezultatai konkrečiam metodui dažnai pateikiami naudojant sumaišymo matricą (angl. *confusion matrix*) $M_{n \times n}$, kur n yra lygus numatytų kategorijų kiekiui. Matricai priklausantis elementas M_{ij} parodo, kiek elementų iš kategorijos i buvo klasifikuoti kaip j kategorijos elementai [20]. Klasifikavimo, kai numatytos dvi galimos kategorijos, pavyzdys pateiktas 2.1 lentelėje. Santrumpų reikšmės:

- TP (angl. *True Positives*) parodo teigiamų („+“) elementų skaičių, kurie buvo klasifikuoti kaip teigiami.
- TN (angl. *True Negatives*) parodo neigiamų („-“) elementų skaičių, kurie buvo klasifikuoti kaip neigiami.
- FP (angl. *False Positives*) parodo neigiamų elementų skaičių, kurie buvo klasifikuoti kaip teigiami.
- FN (angl. *False Negatives*) parodo teigiamų elementų skaičių, kurie buvo klasifikuoti kaip neigiami.

2.1 lentelė. Klasifikavimo pavyzdys, kai numatytos dvi galimos kategorijos

		Atpažinta kategorija	
		-	+
Esama kategorija	-	TN	FP
	+	FN	TP

Rezultatų apibendrinimui dažnai skaičiuojamas pasirinkto klasifikavimo metodo tikslumas:

$$Tikslumas = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2.1)$$

Sumaišymo matricos ir tikslumas gali būti taikomi klasifikavimo užduotims su n kategorijų (kai $n > 1$). Tokiais atvejais elementai yra teigiami arba neigiami atsižvelgiant į tam tikrą kategoriją (pavyzdžiui, teigiami gali būti visi elementai, priklausantys kategorijai „skaitymas”, o neigiami – nepriklausantys „skaitymo” kategorijai).

2.4.3. Apšvietimo intensyvumo standartai

Kuriant išmaniają apšvietimo valdymo sistemą, pagrįstą žmogaus elgesio modeliais, svarbu ne tik įvertinti naudotojo poreikius, bet ir patikrinti, ar esant įvairioms situacijoms, žmogus, nustatydamas vienokį ar kitokį apšvietimo intensyvumą, nekenkia savo sveikatai. Ekspertų rekomenduojamas apšvietimo intensyvumas dažniausiai priklauso nuo to, kokia veikla žmogus užsiima arba kokios paskirties patalpoje yra [21], [38], [42]. Įvairiuose šaltiniuose numatomos konkrečios rekomenduojamos apšvietimo intensyvumo vertės (arba atitinkamos verčių ribos, intervalai) gana dažnai šiek tiek skiriasi. 2.2 lentelėje pateiktos konkrečios paskirties patalpų apšvietimo parametrų reikšmės, numatytos statybos techniniame reglamente [38].

2.2 lentelė. Patalpų dirbtinės apšvietos parametrai

Eil. Nr.	Patalpos tipas	Normuojamos apšvietos dydis, lx
1.	Bendrasis kambarys (svetainė)	150-300
2.	Miegamasis	100-200
3.	Virtuvė	100-200
4.	Valgomasis	100-200
5.	Kabinetas, biblioteka	300
6.	Buto koridoriaus holas	50
7.	Skalbykla	100
8.	Vonia, tualetas	75
9.	Rūbinė	100
10.	Sandėliukas	50
11.	Treniruočių kambarys	150
12.	Daugiabučių namų laiptinės, namo koridoriai	50
13.	Vestibiulis	50

Lietuvos higienos normose numatyti konkretūs reikalavimai darbo vietų apšvietimui (pavyzdžiui, darbo vietose, kuriose nuolat dirbama, rekomenduojama mažiausia apšvietos ribinė

vertė yra 200 liuksų) [21]. 2.3 lentelėje pateiktos kai kurios Lietuvos higienos normose numatytos apšvietos ribinės vertės skirtingiems darbams ir veiklai.

2.3 lentelė. Apšvietos ribinės vertės skirtingiems darbams ar veiklai

Eil. Nr.	Darbų ar veiklos tipas	Apšvietos ribinės vertės, lx	Darbo ar veiklos pavyzdys
1.	Judėjimas darbo zonos, įprastas stebėjimas, trumpalaikiai apsilankymai	50 – 100 – 150	Poilsis
2.	Nenuolatinis darbas	100 – 150 – 200	Pokalbiai telefonu
3.	Darbai, kuriems atlikti reikia nedidelio regos tikslumo	200 – 300 – 500	Darbas kompiuteriu
4.	Darbai, kuriems atlikti reikia vidutinio regos tikslumo	300 – 500 – 750	Skaitymas
5.	Darbai, kuriems atlikti reikia didelio regos tikslumo	500 – 750 – 1000	Rašymas

Apšvietimo standartai gali priklausyti ne vien nuo patalpų paskirties, atliekamos veiklos, bet ir nuo konkretaus žmogaus amžiaus ar sveikatos būklės [14]. Dėl šios priežasties tikslinga sistemos naudotojui sudaryti galimybę keisti (didinti arba mažinti) apšvietimo intensyvumo ribines vertes daugiau nei 8 %, nes žmogaus akys vargiai pastebi mažesnę apšvietimo intensyvumo pokytį [41].

2.4.4. Optimalaus apšvietimo intensyvumo parinkimas

Realizuojant sprendimo dėl apšvietimo intensyvumo priėmimo algoritmą, tikslinga numatyti i_0 – bazinę veiklos apšvietimo intensyvumo vertę, kuri bus parenkama tuomet, kai dar nebus sukaupti duomenys apie sistemos naudotojo pageidaujamą apšvietimo intensyvumo vertę konkrečios veiklos atveju. Jei n – sistemos naudotojo apšvietimo intensyvumo keitimų kiekis, w_n – n -tojo keitimo metu pasirinkto pageidaujamo apšvietimo intensyvumo svoris (įtaka) optimaliam apšvietimo intensyvumui, i_n – n -tojo keitimo metu pasirinktas pageidaujamas apšvietimo intensyvumas, tuomet optimalų apšvietimo intensyvumą I_{avg} po pirmųjų sistemos naudotojo išpročių pokyčių galima aprašyti formule:

$$I_{avg} = w_n \cdot i_n + w_{n-1} \cdot i_{n-1} + w_{n-2} \cdot i_{n-2} + \dots + w_1 \cdot i_1 + w_0 \cdot i_0 \quad (2.2)$$

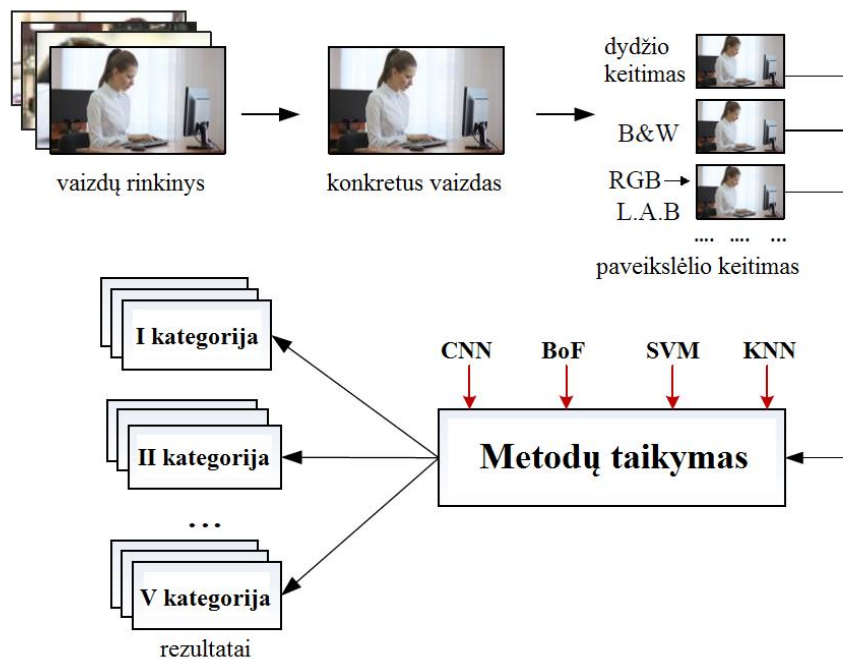
Naujesnius sistemos naudotojo poreikius atitinkančių svorių reikšmės turi būti didesnės nei priskirtos senesniems (t. y. $w_{k-1} < w_k$, kai $2 \leq k \leq n$). Visų svorių suma turi būti lygi vienam [31]:

$$\sum_{j=0}^n w_j = 1 \quad (2.3)$$

2.5. Sistemos realizacijai pasirinkti sprendimai

2.5.1. Metodiniai aspektai

Kuriant išmaniają apšvietimo valdymo sistemą, pagrįstą žmogaus elgesio modeliais, ir siekiant praktiškai įvertinti skirtingų vaizdų klasifikavimo metodų tinkamumą žmogaus veiklos klasifikavimo problemai spręsti, pasirinkta realizuoti tiek CNN metodus („AlexNet“, „CaffeRef“ ir „VGG“ architektūras), tiek ir BoF, SVM, KNN technikas. Supaprastinta žmogaus atliekamas veiklas reprezentuojančių vaizdų klasifikavimo schema, kai naudojamas bet kuris iš keturių metodų, pateikta 2.8 pav. Atsižvelgiant į taikomą techniką, įvesties duomenims (paveikslėliams) keliami skirtingi reikalavimai. Pavyzdžiui, naudojant CNN architektūras, visi paveikslėliai turi būti tokio paties dydžio (realizacijai pasirinktais atvejais 227×227 pikselių (RGB skalė) arba 224×224 pikselių (RGB skalė)). Jei naudojama SVM technika, RGB skalės paveikslėliai pirmiausiai turi būti pakeičiami į juodos ir baltos spalvų su pustoniais (angl. *grayscale*) vaizdus, o po to – į juodos ir baltos spalvų (angl. *white-black*) vaizdus.



2.8 pav. Vaizdų klasifikavimo praktinis taikymas

Išskirtos penkios galimos sistemos naudotojo veiklos kategorijos (žr. 2.4 lentelėje). Minimalios bei maksimalios apšvietos reikšmes sistemos naudotojas gali keisti – didinti arba mažinti 10 %, 20 % arba 30 %. Keitimas vykdomas įvedant ir išsaugant nustatymus. Atlikus minimalios bei maksimalios apšvietos reikšmių keitimą, atitinkamai koreguojamas ir sistemos parenkamas apšvietimo intensyvumas visų kategorijų veikloms.

2.4 lentelė. Apšvietos parametrai skirtingų veiklų kategorijoms

Veiklos kategorija		Minimali apšvieta, lx	Maksimali apšvieta, lx
(I)	Keleto žmonių bendravimas, pokalbiai	150	300
(II)	Miegas, poilsis	50	150
(III)	Nenuolatinis žmogaus buvimas apšvietimo zonoje	50	100
(IV)	Darbas kompiuteriu, skaitymas, rašymas	300	500
(V)	Valgymas, gėrimas	100	300

Parenkant optimalų apšvietimo intensyvumą I_{avg} konkrečiai veiklai, prioritetas turi būti teikiamas naujausiems sistemos naudotojo poreikiams. Kai i_0 – sistemoje numatytas bazinis veiklos apšvietimo intensyvumas, n – sistemos naudotojo apšvietimo intensyvumo keitimų kiekis, o i_n – tojo keitimo metu pasirinktas pageidaujamas apšvietimo intensyvumas, optimalų apšvietimo intensyvumą po pirmųjų sistemos naudotojo įpročių pokyčių galima aprašyti formulėmis:

$$I_{avg} = i_0, \text{ kai } n = 0 \quad (2.4)$$

$$I_{avg} = \frac{1}{2}i_1 + \frac{1}{2}i_0, \text{ kai } n = 1 \quad (2.5)$$

$$I_{avg} = \frac{1}{2}i_2 + \frac{1}{4}i_1 + \frac{1}{4}i_0, \text{ kai } n = 2 \quad (2.6)$$

$$I_{avg} = \frac{1}{2}i_3 + \frac{1}{4}i_2 + \frac{1}{8}i_1 + \frac{1}{8}i_0, \text{ kai } n = 3 \quad (2.7)$$

$$I_{avg} = \frac{1}{2}i_4 + \frac{1}{4}i_3 + \frac{1}{8}i_2 + \frac{1}{16}i_1 + \frac{1}{16}i_0, \text{ kai } n = 4 \quad (2.8)$$

$$I_{avg} = \frac{1}{2}i_5 + \frac{1}{4}i_4 + \frac{1}{8}i_3 + \frac{1}{16}i_2 + \frac{1}{32}i_1 + \frac{1}{32}i_0, \text{ kai } n = 5 \quad (2.9)$$

Bendruoju atveju, kai sistemos naudotojas bent kartą keitė apšvietimo intensyvumą atlikdamas konkrečią veiklą, optimalaus apšvietimo intensyvumo šiai veiklai išraiška užrašoma formule:

$$I_{avg} = \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{2^{n+1-k}} \cdot i_k \right) + \frac{1}{2^n} i_0 \quad (2.10)$$

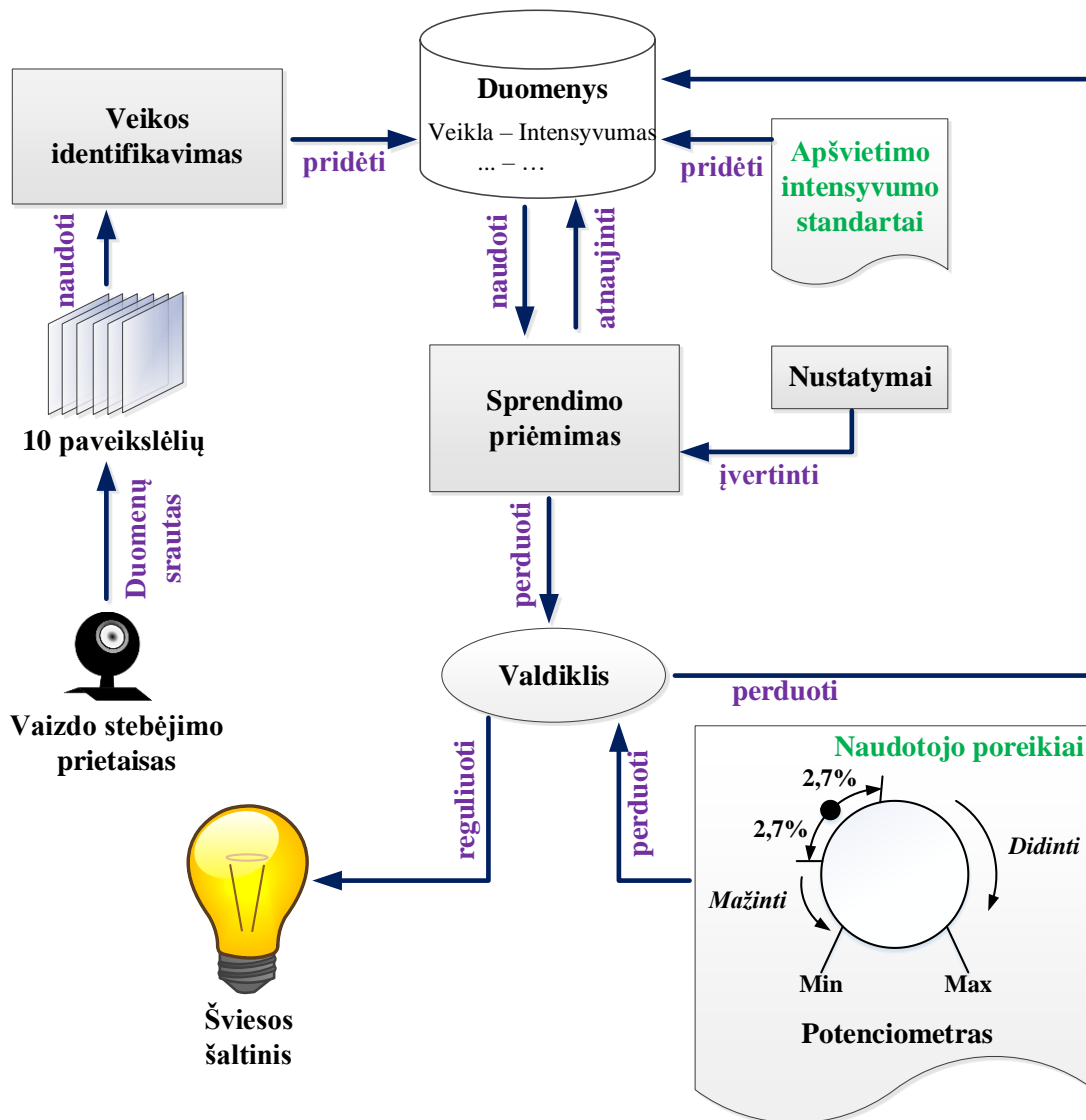
Naujausio sistemos naudotojo apšvietimo intensyvumo poreikio svoris prilygsta senesnių poreikių svorių sumai:

$$I_{avg} = \frac{1}{2} \cdot i_n + \left(\sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{2^{n+1-k}} \cdot i_k \right) + \frac{1}{2^n} i_0 \quad (2.11)$$

Sistemos naudotojas gali koreguoti apšvietimo intensyvumą konkrečiai veiklos kategorijai pasirinkdamas vertes tarp minimalios bei maksimalios (arba modifikuotų – padidintų / sumažintų 10 %, 20 % arba 30 %) apšvietos reikšmių imtinai. Vis dėlto, jei optimalus apšvietimo intensyvumas I_{avg} konkrečiai veiklai tampa pastovus (nekinta sistemoje numatyta periodą Δt) ir daugiau nei 10 % didesnis / mažesnis už bazines vertes, sistemos intelektualaus bloko pagalba reikšmės mažinamos / didinamos 7,5 % (atsižvelgiant į E. H. Weberio dėsnį), siekiant suderinti apšvietimo intensyvumo standartus bei sistemos naudotojo poreikius.

2.5.2. Techniniai aspektai

Iš vaizdo stebėjimo prietaiso kas 2 sekundes gaunama nuotrauka, atspindinti sistemos naudotojo atliekamą veiklą. Kas 20 sekundžių (sukauptus 10 nuotraukų) įvertinama, ar žmogaus veikla nepasikeitė. Nustačius veiklos pokytį, atsižvelgiama į žmogaus įpročius ir apšvietimo intensyvumo standartus bei sistemos naudotojo pasirinktus nustatymus, priimamas sprendimas dėl apšvietimo intensyvumo. Šviesos šaltinis prijungtas prie valdiklio išėjimo: valdiklis nustato apšvietimo intensyvumą. Jei parinktas apšvietimas sistemos naudotojui nepriimtinas, žmogus gali keisti potenciometro rankenėlės padėtį – didinti arba mažinti apšvietimo intensyvumą (informacija apie žmogaus pakeistą apšvietimo intensyvumą išsaugoma). Siekiant eliminuoti galimą aplinkos veiksmų įtaką, nesusijusių su sistemos naudotojo poreikiais, duomenys iš potenciometro fiksuojami tuo atveju, kai potenciometro rankenėlės padėtis pakeičiama (pasukama prieš laikrodžio rodyklę arba laikrodžio rodyklės kryptimi) daugiau nei 2,7 % galimų skalės verčių. Kaskart pradėjus naudotis sistema ir įjungus apšvietimą, žmogaus veiklos identifikavimas įvyksta tik po 20 s, todėl pradinio laiko momentu parenkamas numatytas apšvietimo intensyvumas – 200 lx.



2.9 pav. Sistemos veikimo logika apšvietimo intensyvumo nustatymo (reguliavimo) daliai

Realizacijai buvo pasirinkta *MATLAB* programavimo kalba, plačiai naudojama vaizdų apdorojimo bei klasifikavimo uždaviniams spręsti [25], [26]. *MATLAB* pasižymi paprasta integracija su techninės įrangos komponentais (pavyzdžiui, vaizdo stebėjimo prietaisais, mikrovaldikliais [24]). „MatConvNet” – plėtinys, skirtas CNN metodų realizacijai *MATLAB* aplinkoje [22], [39]. Praktiniam taikymui egzistuoja tam tikri reikalavimai techninei bei programinei įrangai: kompiuteris su *NVIDIA* vaizdo plokšte, *C\C++* kompiliatorius, *CUDA* tvarkyklė [23]. Apšvietimo intensyvumui reguliuoti reikalingas valdiklis (mikrovaldiklis). Galimas pasirinkimas – „Arduino” mikrovaldikliai, pasižymintys modelių įvairove, konkurencingomis kainomis, naudojami kartu su nemokama „Arduino” programine įranga [1] [2]. Šie mikrovaldikliai dažniausiai integruojami su papildomais techninės įrangos komponentais. Kuriamos sistemos kontekste „Arduino“ mikrovaldiklis gali būti naudojamas su apšvietimo intensyvumo matuokliu ir tiesiniu potenciometru.

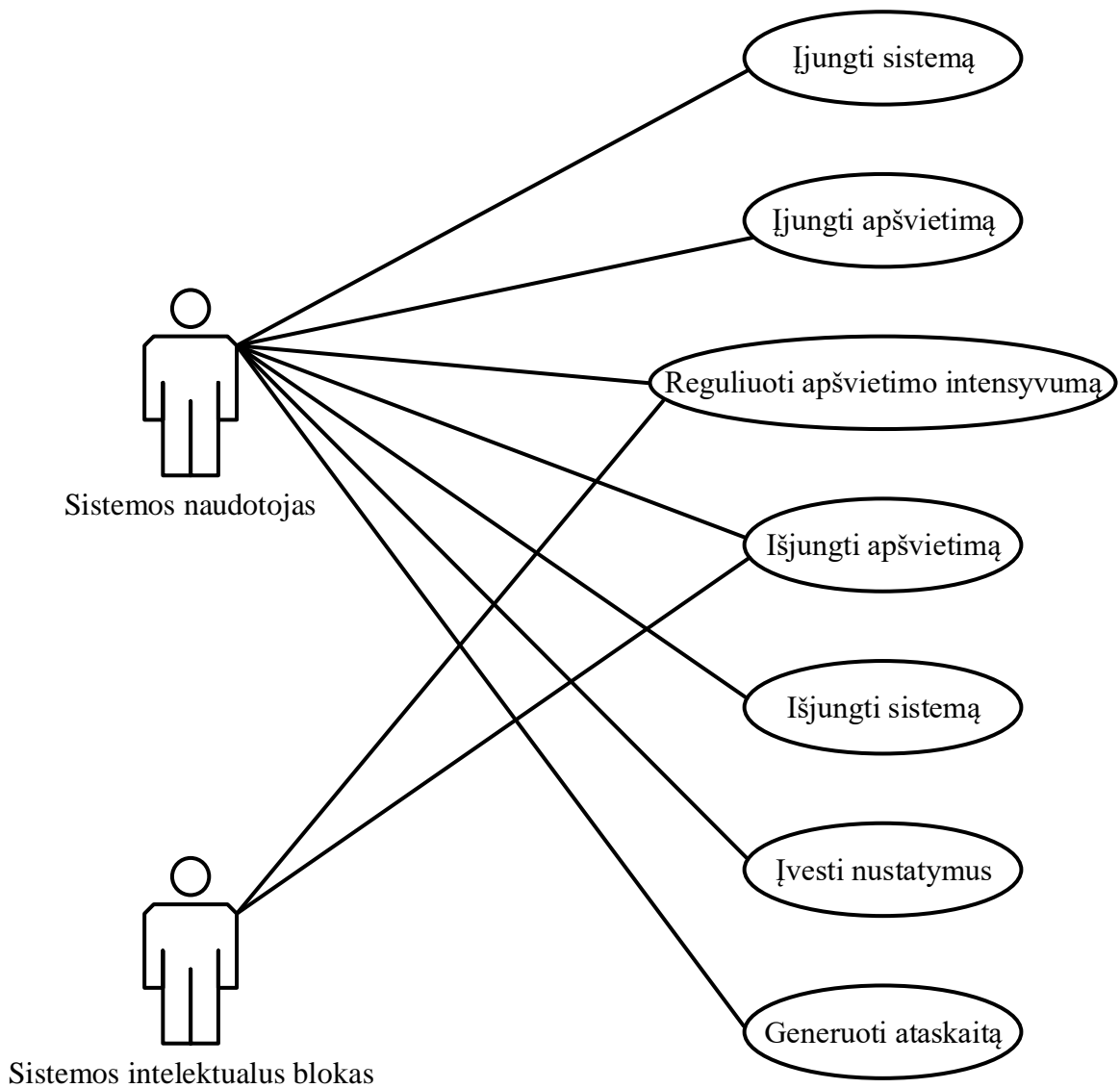
2.6. Analitinės dalies išvados

1. Atlikus temos aktualumo ir tikslingumo analizę, suformuluotas programų sistemos projekto tikslas, numatyti svarbiausi uždaviniai.
2. Panaudojus empirinio tyrimo rezultatus, ištirtas išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos poreikis ir potencialių sistemos naudotojų požiūris, leidžiantis pagrįsti kuriamos sistemos reikalingumą bei svarbiausias jos ypatybes.
3. Įvertinus bei susisteminius analizės rezultatus, numatyta atlikti išsamų praktinį CNN, BoF, SVM ir KNN metodų palyginimą sprendžiant žmogaus veiklos klasifikavimo problemą.
4. Išanalizavus apšvietimo intensyvumo standartus skirtingiems darbų arba veiklos tipams bei įvairių paskirčių patalpoms, išskirtos bei sistemos realizacijoje numatytos penkios žmogaus veiklos kategorijos bei atitinkamų apšvietimo intensyvumų ribinės reikšmės.
5. Išanalizavus pagrindines optimalaus apšvietimo intensyvumo parinkimo charakteristikas, numatytas kuriamoje sistemoje taikytinas algoritmas.
6. Išskirti ir realizacijai pasirinkti pagrindiniai išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos, pagrįstos žmogaus elgesio modeliais, metodiniai ir techniniai aspektai.

3. PROJEKTINĖ DALIS

3.1. Sistemos panaudojimo atvejai

Kuriant išmaniają apšvietimo valdymo sistemą, pagrįstą žmogaus elgesio modeliais, numatyti septyni panaudojimo atvejai (žr. 3.1 pav.). Kiekvienas panaudojimo atvejis detalizuotas 3.1 – 3.7 lentelėse.



3.1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

3.1 lentelė. Pirmas panaudojimo atvejis „Sistemos įjungimas“

Panaudojimo atvejis	Sistemos įjungimas
Tikslas:	Ijungti sistemą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos išjungimas. Apšvietimo išjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra išjungta. Apšvietimas yra išjungtas. Sistemos techninė įranga yra paruošta naudoti.
Sužadinimo sąlyga:	Sistemos naudotojui reikia naudotis sistema.
Po – sąlyga:	Sistemos naudotojas gali naudotis sistema.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas paspaudžia sistemos įjungimo mygtuką. 2.Sistema įsijungia.
Alternatyvūs scenarijai:	-

3.2 lentelė. Antras panaudojimo atvejis „Apšvietimo įjungimas“

Panaudojimo atvejis	Apšvietimo įjungimas
Tikslas:	Įjungti apšvietimą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos įjungimas. Apšvietimo išjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra įjungta. Apšvietimas yra išjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Sistemos naudotojui reikia įjungti apšvietimą.
Po – sąlyga:	Apšvietimas įjungtas.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas paspaudžia apšvietimo įjungimo mygtuką. 2.Apšvietimas įsijungia.
Alternatyvūs scenarijai:	-

3.3 lentelė. Trečias panaudojimo atvejis „Apšvietimo intensyvumo reguliavimas“

Panaudojimo atvejis	Apšvietimo intensyvumo reguliavimas
Tikslas:	Nustatyti apšvietimo intensyvumą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas, sistemos intelektualus blokas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos įjungimas. Apšvietimo įjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra įjungta. Apšvietimas yra įjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Reikia nustatyti apšvietimo intensyvumą.
Po – sąlyga:	Potenciometras norimoje padėtyje; nustatytas tinkamas apšvietimo intensyvumas.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos intelektualus blokas arba sistemos naudotojas reguliuoja apšvietimo intensyvumą. 2.Nustatomas tinkamas apšvietimo intensyvumas.
Alternatyvūs scenarijai:	-

3.4 lentelė. Ketvirtas panaudojimo atvejis „Apšvietimo išjungimas“

Panaudojimo atvejis	Apšvietimo išjungimas
Tikslas:	Išjungti apšvietimą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas, sistemos intelektualus blokas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos įjungimas. Apšvietimo įjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra įjungta. Apšvietimas yra įjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Reikia išjungti apšvietimą.
Po – sąlyga:	Apšvietimas išjungtas.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas paspaudžia apšvietimo išjungimo mygtuką. 2.Apšvietimas išsijungia.
Alternatyvūs scenarijai:	1.Sistemos intelektualus blokas priima sprendimą dėl apšvietimo išjungimo. 2.Apšvietimas išsijungia.

3.5 lentelė. Penktas panaudojimo atvejis „Sistemos išjungimas“

Panaudojimo atvejis	Sistemos išjungimas
Tikslas:	Išjungti sistemą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos įjungimas. Apšvietimo išjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra įjungta. Apšvietimas yra išjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Sistemos naudotojui reikia išjungti sistemą.
Po – sąlyga:	Sistema išjungiama, sistemos naudotojas negali naudotis sistema jos vėl neįjungęs.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas paspaudžia sistemos išjungimo mygtuką. 2.Sistema išsijungia.
Alternatyvūs scenarijai:	-

3.6 lentelė. Šeštas panaudojimo atvejis „Nustatymų įvedimas“

Panaudojimo atvejis	Nustatymų įvedimas
Tikslas:	Įvesti nustatymus.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos išjungimas. Apšvietimo išjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra išjungta. Apšvietimas yra išjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Sistemos naudotojui reikia įvesti nustatymus.
Po – sąlyga:	Nustatymai išsaugomi.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas pasirenka procentinę reikšmę, kuria bus didinamos / mažinamos apšvietimo intensyvumo ribinės reikšmės visoms veikloms. 2.Sistemos naudotojas paspaudžia išsaugojimo mygtuką. 3.Pasirinktos nustatymų reikšmės yra išsaugomos.
Alternatyvūs scenarijai:	1.Sistemos naudotojas pasirenka procentinę reikšmę, kuria bus didinamos / mažinamos apšvietimo intensyvumo ribinės reikšmės visoms veikloms. 2.Sistemos naudotojas paspaudžia atšaukimo mygtuką. 3.Pasirinktos nustatymų reikšmės nėra išsaugomos.

3.7 lentelė. Septintas panaudojimo atvejis „Ataskaitos generavimas“

Panaudojimo atvejis	Ataskaitos generavimas
Tikslas:	Sugeneruoti ataskaitą.
Aktoriai:	Sistemos naudotojas.
Ryšiai su kitais PA:	Sistemos išjungimas. Apšvietimo išjungimas.
Prieš – sąlygos:	Sistema yra išjungta. Apšvietimas yra išjungtas.
Sužadinimo sąlyga:	Sistemos naudotojui reikia sugeneruoti ataskaitą.
Po – sąlyga:	Sugeneruojamas ir išsaugomas ataskaitos failas; sistemos naudotojas gali jį peržiūrėti.
Pagrindinis scenarijus:	1.Sistemos naudotojas paspaudžia ataskaitos generavimo mygtuką. 2.Ataskaita sugeneruojama ir išsaugoma.
Alternatyvūs scenarijai:	-

3.2. Reikalavimai sistemai

3.2.1. Funkciniai reikalavimai

Sistemai keliami funkciniai reikalavimai:

- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė įjungti sistemą paspaudus atitinkamą mygtuką vartotojo sąsajoje.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė išjungti sistemą paspaudus atitinkamą mygtuką vartotojo sąsajoje.
- Vartotojo sąsajoje turi būti matoma sistemos būsenos informacija (*sistema įjungta* arba *sistema išjungta*).
- Įjungiant sistemą naudotojas turi būti informuojamas, jei aplinkos apšvieta didesnė nei 1000 liuksų.
- Įjungiant sistemą naudotojas turi būti informuojamas, jei techninės įrangos komponentai neparengti naudojimui.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė įjungti apšvietimą paspaudus atitinkamą mygtuką vartotojo sąsajoje.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė išjungti apšvietimą paspaudus atitinkamą mygtuką vartotojo sąsajoje.
- Jei sistemos naudotojas ilgiau nei 8 valandas nepasirodo apšvietimo zonoje, apšvietimas turi būti išjungiamas.
- Vartotojo sąsajoje turi būti matoma apšvietimo būsenos informacija (*apšvietimas įjungtas* arba *apšvietimas išjungtas*).
- Apšvietimo intensyvumas turi būti parenkamas derinant apšvietimo standartus bei sistemos naudotojo poreikius.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė keisti apšvietimo intensyvumą, įvertinant apšvietimo intensyvumo standartus.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė pasirinkti procentinę reikšmę, kuria bus didinamos / mažinamos apšvietimo intensyvumo ribinės reikšmės visoms veikloms.
- Sistemos naudotojui turi būti sudaryta galimybė generuoti ir išsaugoti apšvietimo intensyvumo duomenų ataskaitą.

3.2.2. Nefunkciniai reikalavimai

Sistemai numatyti pagrindiniai nefunkciniai reikalavimai (pagal *Volere* šabloną):

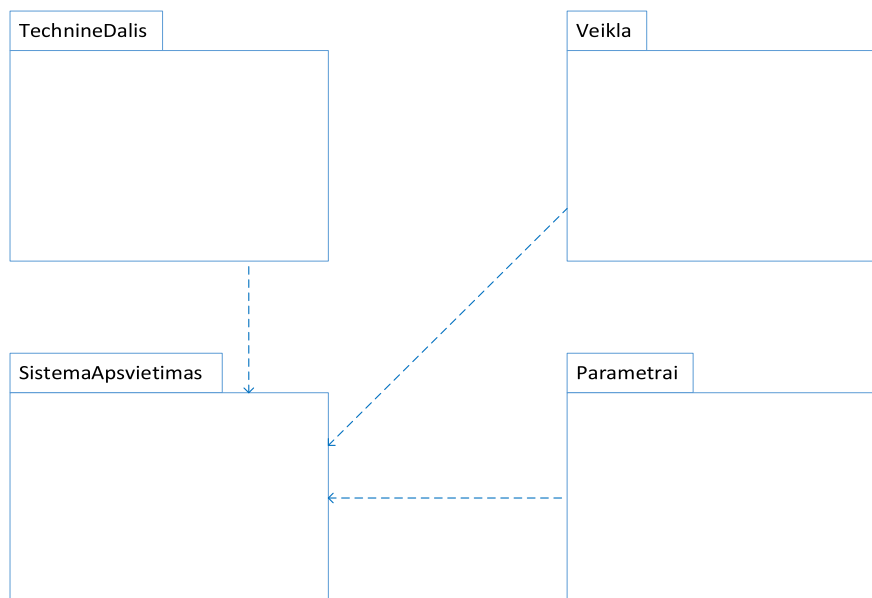
- 10a „Išvaizda“: Visi pagrindiniame sąsajos lange esantys mygtukai turi būti išdėstyti nuosekliai vienas po kito; mygtuko dydžio ir tarpo tarp mygtukų santykis turi būti 1:1.
- 11b „Vartotojui skirtos savybių ir kalbos konfigūravimo priemonės“: produkte turi būti įgyvendinta numatytų kalbų (lietuvių ir anglų) pasirinkimo galimybė.

- 11e „Prieinamumas neįgaliesiems“: sistemos bei apšvietimo būsenos atvaizdavimui turi būti naudojama ne tik spalvinė koduotė, bet ir sutartiniai ženklai, žodinis paaiškinimas.
- 12b „Darbo saugos reikalavimai“: sistema turi atitikti elektroaugos reikalavimus.
- 12c „Reikalavimai tikslumui“: numatyta galima apšvietimo intensyvumo paklaida – iki 8 %.
- 12f „Reikalavimai apdorojamų duomenų apimtims“: numatyta, kad sistemos naudotojas vienu metu atlieka tik vieną veiklą.
- 13a „Numatoma fizinė aplinka“: sistema negali naudoti garsinių signalų, blyksėjimų ir t. t.

3.3. Sistemos architektūra

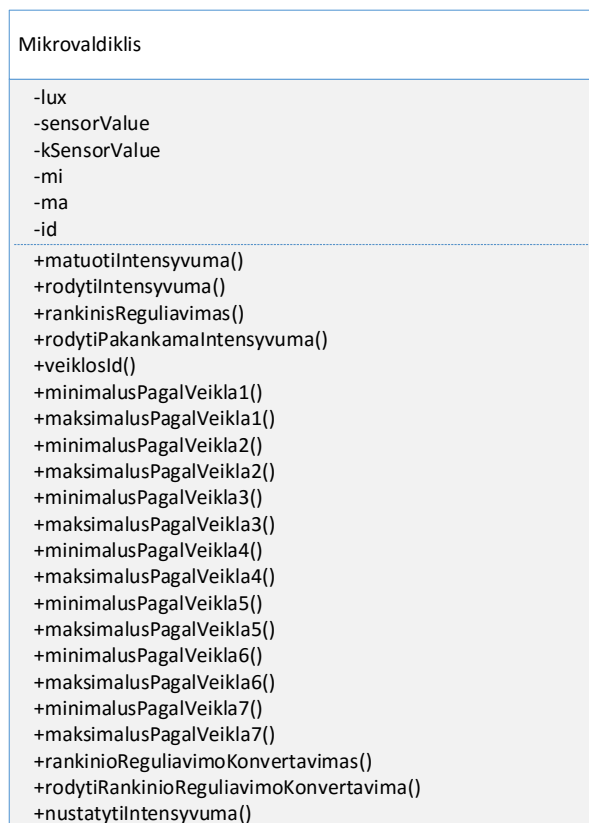
3.3.1. Sistemos statinis vaizdas

Išmaniajai apšvietimo valdymo sistemai, pagrįstai žmogaus elgesio modeliais, realizuoti numatyti keturi paketai, reprezentuojantys atskiras sistemos dalis: techninę, veiklos identifikavimo, sistemos ir apšvietimo valdymo, parametrų (žr. 3.2 pav.).



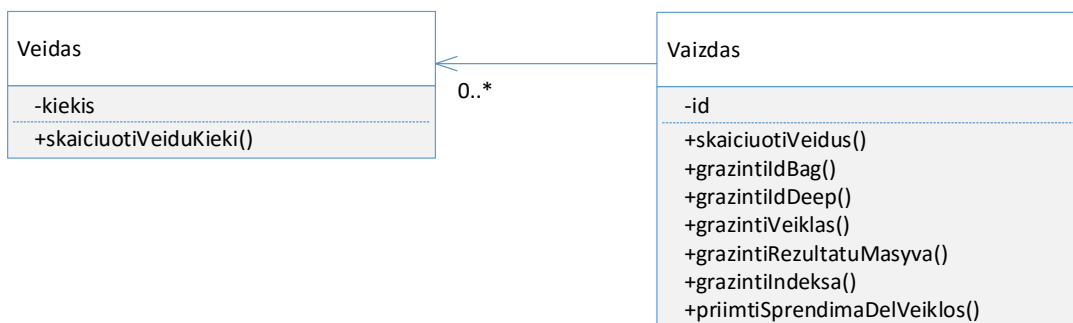
3.2 pav. Paketų diagrama

„Techninė dalis“ – paketas, skirtas pirminei sistemos techninės įrangos perduodamai informacijai apdoroti bei signalams (informacijai) į techninę įrangą grąžinti. Paketą „Techninė dalis“ sudaro viena klasė – mikrovaldiklis (žr. 3.3 pav.).



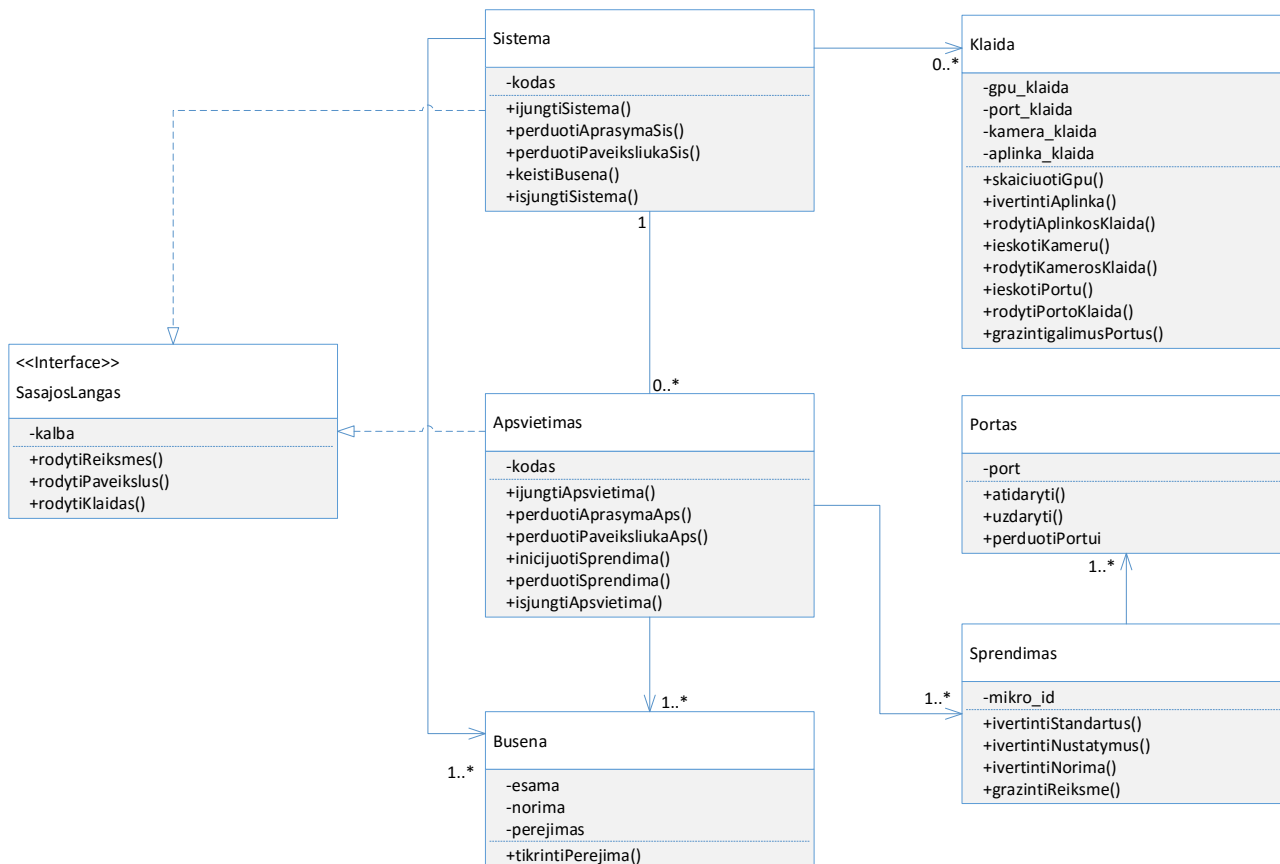
3.3 pav. Paketo „Techninė dalis“ klasių diagrama

„Veikla“ – veidų atpažinimo ir skaičiavimo bei veiklos į numatytas kategorijas klasifikavimo paketas. Paketą „Veikla“ sudaro dvi klasės: veidas ir vaizdas (žr. 3.4 pav.).



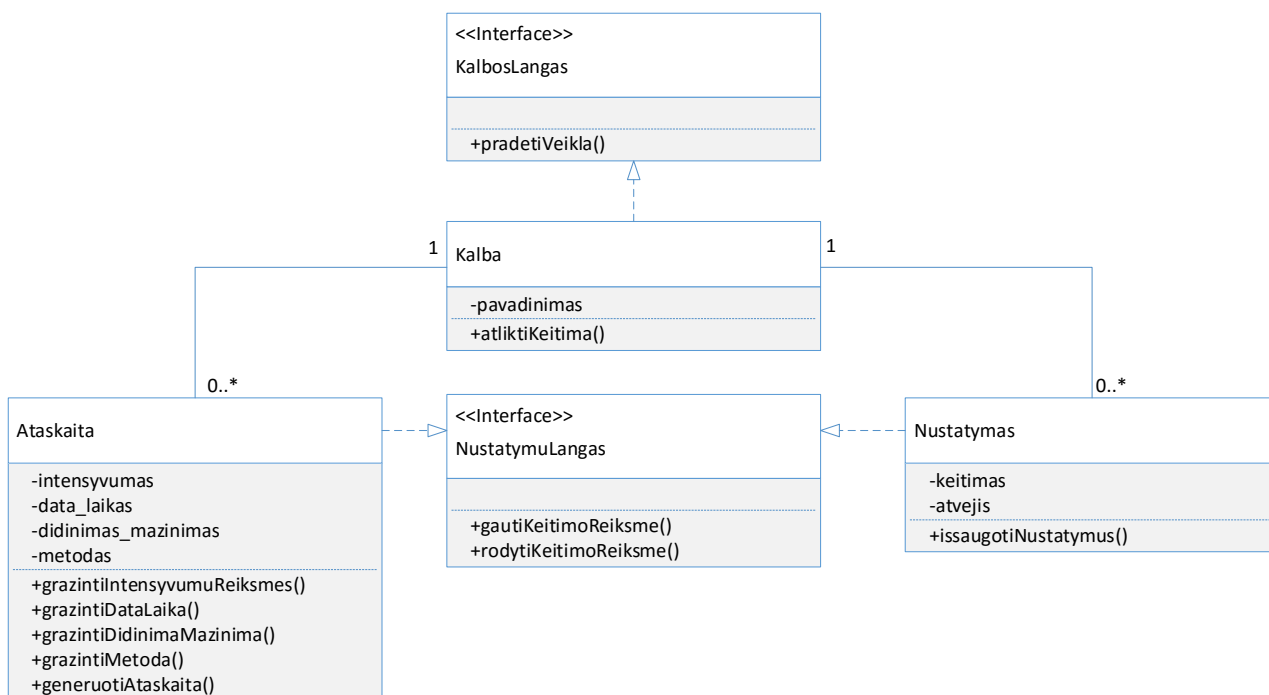
3.4 pav. Paketo „Veikla“ klasių diagrama

„Sistema apšvietimas“ – paketas, skirtas sistemos bei apšvietimo būsenų valdymui, sprendimo dėl optimalaus apšvietimo intensyvumo priėmimui. Paketą „Sistema apšvietimas“ sudaro klasės: sistema, klaida, apšvietimas, portas, būsena, sprendimas ir vartotojo sąsaja (žr. 3.5 pav.).



3.5 pav. Paketo „Sistema apšvietimas“ klasių diagrama

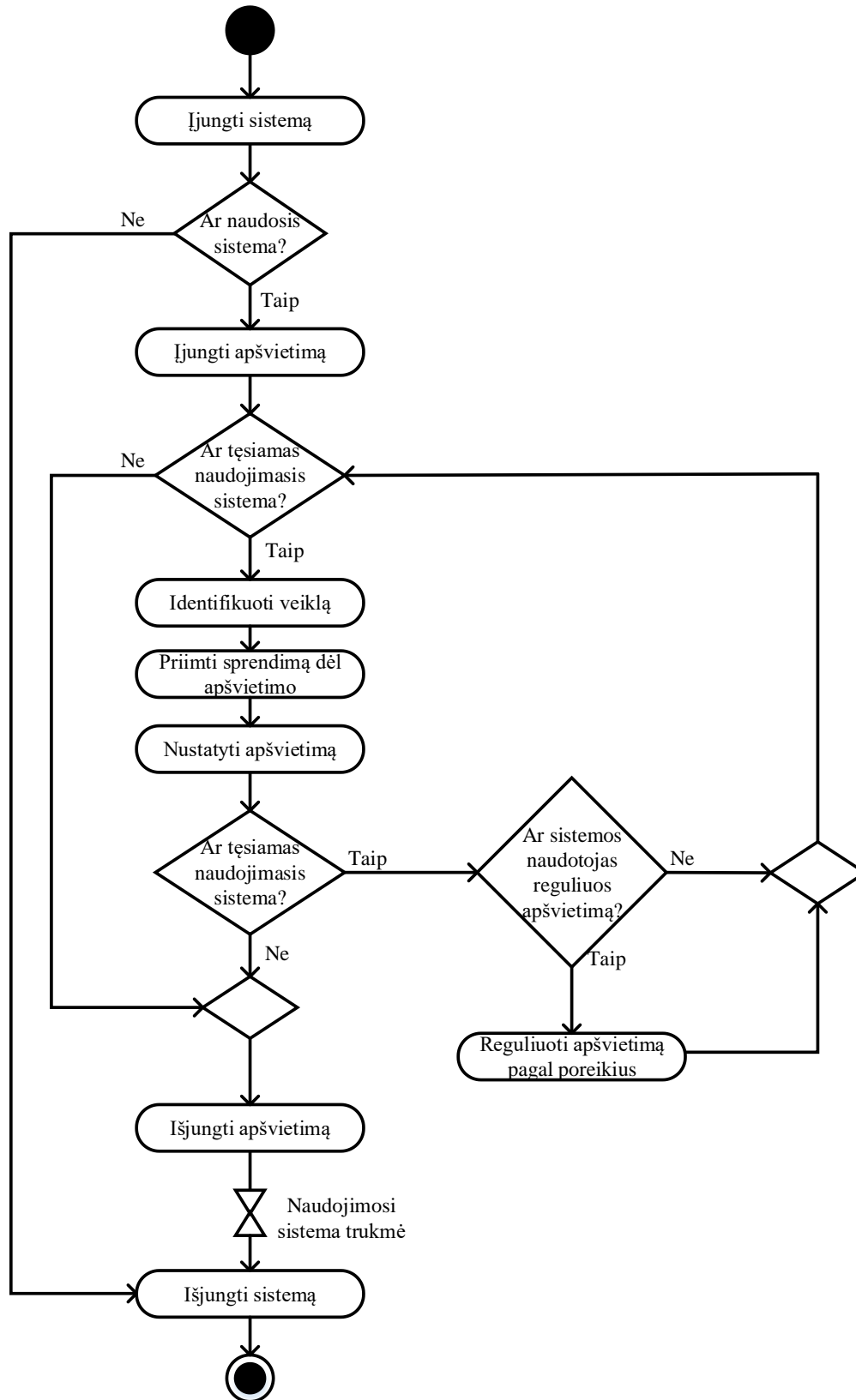
„Parametrai“ – nustatymų klasių paketas. Paketą „Parametrai“ sudaro klasės: ataskaita, nustatymas, kalba ir dvi vartotojo sąsajos (žr. 3.6 pav.).



3.6 pav. Paketo „Parametrai“ klasių diagrama

3.3.2. Sistemos dinaminis vaizdas

Pagrindinis apšvietimo valdymo sistemos funkcionalumas realizuotas pirmaisiais penkiais panaudojimo atvejais, todėl veiklos diagramoje (žr. 3.7 pav.) nėra įvertinti nustatymų įvedimo ir ataskaitų generavimo procesai.

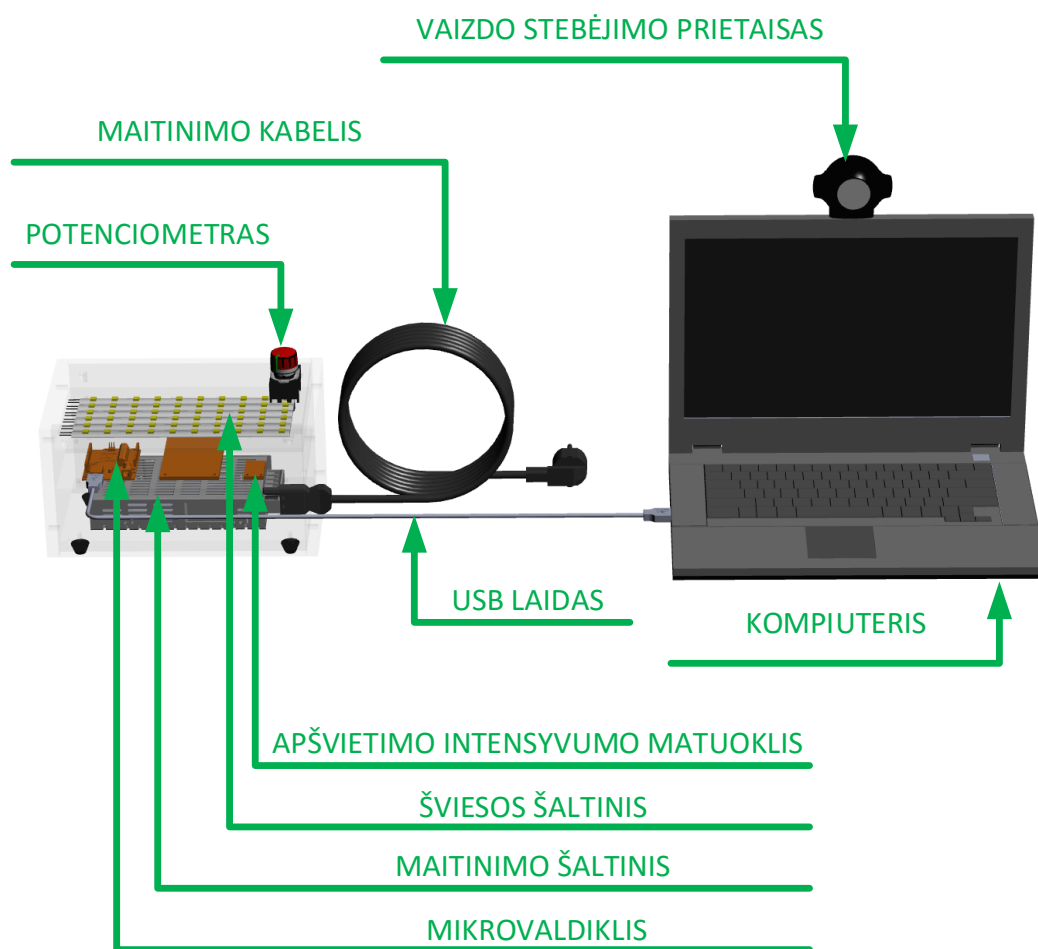


3.7 pav. Veiklos diagrama pirmajam – penktajam panaudojimo atvejams

Sistemos naudotojas, įjungęs sistemą, gali ją išjungti arba naudotis sistema – įjungti apšvietimą. Tuomet pradedamas veiklos identifikavimo procesas, priimamas sprendimas dėl optimalaus apšvietimo intensyvumo ir nustatomas apšvietimas. Sistemos naudotojas gali keisti apšvietimo intensyvumą pagal savo poreikius arba norimu metu išjungti apšvietimą. Procesas tęsiasi tol, kol žmogus naudoja sistemą.

3.4. Sistemą sudaranti techninė įranga

Išmaniosios apšvietimo valdymo sistemos, pagrįstos žmogaus elgesio modeliais, techninės įrangos komponentų vaizdas pateiktas 3.8 pav.. Vaizdo stebėjimo prietaisas per USB jungtį prijungiamas prie kompiuterio: duomenys perduodami iš vaizdo stebėjimo prietaiso į kompiuterį. Kompiuteris per USB jungtį sujungiamas su mikrovaldikliu: duomenų perdavimas vykdomas abiem kryptimis (tiek iš kompiuterio į mikrovaldiklį, tiek iš mikrovaldiklio į kompiuterį). Apšvietimo intensyvumo matuoklis bei potenciometras prijungti prie mikrovaldiklio įėjimų: informacija perduodama į mikrovaldiklį. Šviesos šaltinis prijungtas prie valdiklio išėjimo: valdiklis nustato apšvietimo intensyvumą. Maitinimo šaltinis sujungtas su maitinimo kabeliu, kurio kištukas jungiamas į rozetę (elektros tinklą).



3.8 pav. Sistemos techninės įrangos komponentai

Sistemos realizacijai naudota programinė įranga:

- *MATLAB* R2015b su integruotais „Add-Ons” ir „MatConvNet” plėtiniais, C\C++ kompiliatorius, *CUDA* tvarkyklė;
- „Arduino“ programinė įranga.

Sistemos realizacijai naudoti pagrindiniai techninės įrangos komponentai:

- Kompiuteris su *NVIDIA GeForce GTX 650 Ti* vaizdo plokšte (kurios „compute capability: 3.0“);
- Internetinė kamera *Logitech HD Pro C920*;
- „Arduino Mega 2560“ mikrovaldiklis;
- Apšvietimo intensyvumo matuoklis „BH1750“;
- Tiesinis potenciometras „B5K”.

3.5. Projektinės dalies išvados

1. Pasitelkus panaudojimo atvejų vaizdą – PAM diagramą (aktorių ir PA sąveikos grafines diagramas) bei pagrindines PA specifikacijas lentelių pavidalu – numatyti ir detalizuoti septyni sistemos panaudojimo atvejai.
2. Išskirti išmaniajai apšvietimo valdymo sistemai keliami svarbiausi funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai.
3. Naudojant sistemos statinį ir dinaminį vaizdus, numatyti pagrindiniai sistemos architektūros aspektai: sistemos išskaidymas į paketus, kiekvienam paketui – jo trumpas aprašymas ir klasių diagramos, pirmiesiems penkiems sistemos panaudojimo atvejams – veiklos diagrama.
4. Pasitelkus sistemą sudarančios techninės įrangos vaizdą ir atskirų techninės įrangos komponentų sąsajas, nurodyta, kokia programinė bei techninė įranga naudojama sistemos realizacijai.

4. TYRIMO DALIS

4.1. Tyrimo tikslas

Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų vaizdų klasifikavimo metodų (CNN, BoF, SVM ir KNN) tikslumą, kai naudojamos išskirtos vykdomų veiklų kategorijos ir jas reprezentuojančios duomenų imtys.

4.2. Tyrimo aprašymas ir eiga

Išmaniojoje apšvietimo valdymo sistemoje, pagrįstoje žmogaus elgesio modeliais, numatytos penkios galimos veiklų kategorijos. Pirmai kategorijai priskiriamos veiklos, susijusios su keleto žmonių bendravimu, pokalbiais, antrai – situacijos, kai sistemos naudotojas miega arba ilsisi. Trečioji kategorija reprezentuoja nenuolatinį žmogaus buvimą apšvietimo zonoje, tuščias patalpas.

Ketvirtajai kategorijai priskiriamas darbas kompiuteriu, skaitymas, rašymas, mokymasis, penktajai – valgymas, gėrimas, užkandžiavimas. Vaizdų, priskiriamų kiekvienai iš numatytų kategorijų, pavyzdžiai pateikti 4.1 pav.



I



II



III



IV



V

4.1 pav. Vaizdų, reprezentuojančių penkias skirtingas žmogaus veiklos kategorijas, pavyzdžiai

Kiekvienos kategorijos duomenų imtį sudaro 502 paveikslėliai. Apsimokymo imties dydis kiekvienai iš penkių žmogaus veiklos kategorijų – 400 paveikslėlių. Vaizdų klasifikavimo metodų tikslumo tyrimui naudotas 510 vaizdų rinkinys (po 102 kiekvienai kategorijai). Siekiant atlikti kuo objektyvesnį pasirinktų metodų tikslumo palyginimą ir išvengti galimų dėsningumų, tyrimui bei apsimokymui naudoti vaizdai iš pradinių duomenų imčių buvo atrinkti atsitiktine tvarka.

Siekiant kuo objektyviau įvertinti pasirinktų metodų tikslumą ir imituoti įvairiose aplinkose žmogaus vykdomas veiklas, tyrimui naudojami paveikslėliai nėra keičiami: nepašalinami nuotraukoje esantys, bet su atliekama veikla nesusiję objektai, neišryškinami siluetai ir t. t. Tyrimui naudotuose vaizduose esantys žmonės yra įvairaus amžiaus ir skirtingos išvaizdos.

4.3. Tyrimo rezultatai

Tyrimo metu atliktas CNN, BoF, SVM ir KNN metodų palyginimas. Detalūs atlikto tyrimo rezultatai pateikti 4.1 – 4.6 lentelėse. CNN „AlexNet“, „CaffeRef“ ir „VGG“ metodų rezultatai ganėtinai panašūs: vidutinis tikslumas svyruoja nuo 88,04 % iki 90,78 %. Galima teigti, kad naudojant bet kurį iš pasirinktų CNN metodų, vidutiniškai devyniose iš dešimties nuotraukų vaizduojama žmogaus veikla bus identifikuota teisingai. Visgi, didžiausias tikslumas pasiektas naudojant „AlexNet“. BoF rezultatai – kur kas prastesni (vidutinis tikslumas siekia 68,24 %). SVM

(vidutinis tikslumas – 59,61 %) ir KNN (vidutinis tikslumas – 40,98 %) rezultatai – ženkliai blogesni nei kitų realizuotų veiklos klasifikavimo metodų.

4.1 lentelė. CNN „AlexNet“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

CNN „AlexNet“ vidutinis tikslumas: 90,78 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	93	4	2	3	0	102
	II	7	87	2	2	4	102
	III	1	1	100	0	0	102
	IV	3	3	0	93	3	102
	V	7	4	0	1	90	102

4.2 lentelė. CNN „CaffeRef“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

CNN „CaffeRef“ vidutinis tikslumas: 88,04 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	86	9	1	3	3	102
	II	7	91	2	2	0	102
	III	0	1	101	0	0	102
	IV	8	6	1	82	5	102
	V	1	4	2	6	89	102

4.3 lentelė. CNN „VGG“ metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

CNN „VGG“ vidutinis tikslumas: 88,43 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	91	6	1	2	2	102
	II	8	89	2	2	1	102
	III	1	1	99	0	1	102
	IV	4	5	1	91	1	102
	V	5	5	0	11	81	102

4.4 lentelė. BoF metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

BoF vidutinis tikslumas: 68,24 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	71	9	8	2	12	102
	II	17	75	7	1	2	102
	III	6	9	82	1	4	102
	IV	7	16	19	47	13	102
	V	8	8	4	9	73	102

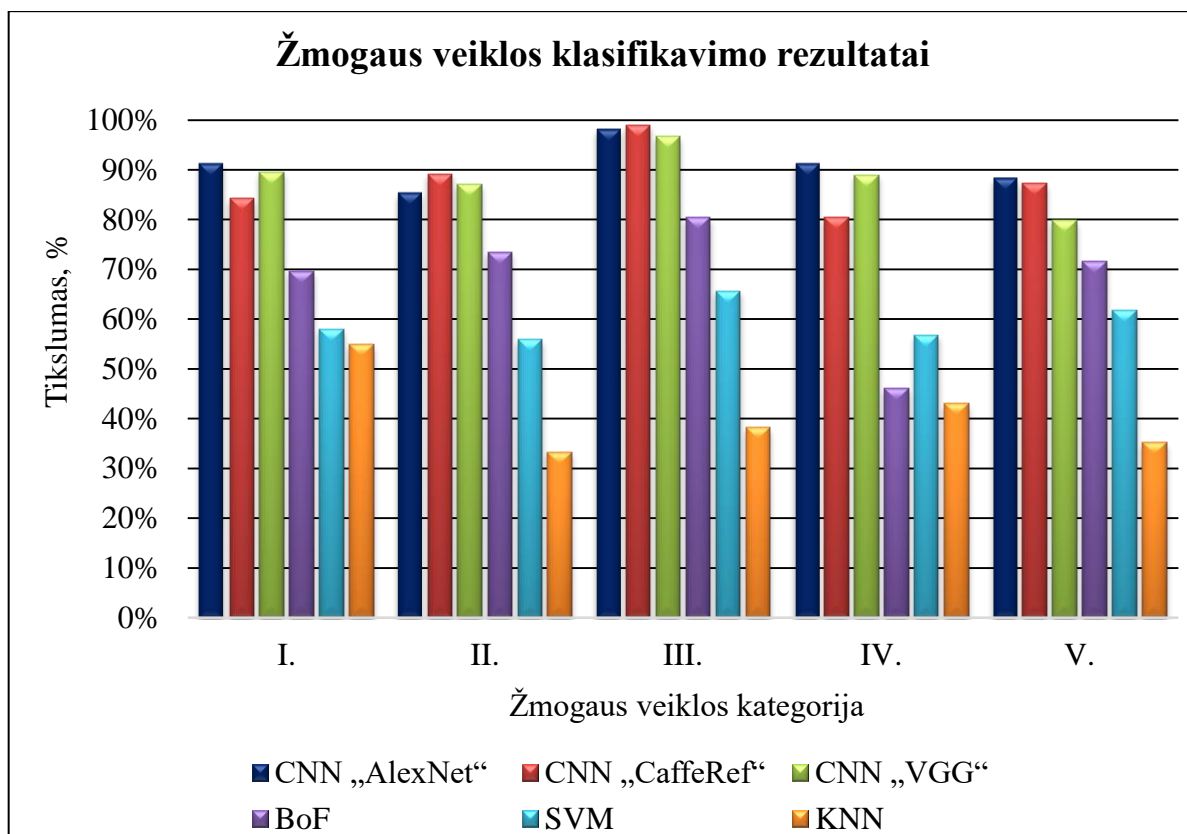
4.5 lentelė. SVM metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

SVM vidutinis tikslumas: 59,61 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	59	23	6	10	4	102
	II	19	57	10	5	11	102
	III	6	12	67	12	5	102
	IV	10	8	12	58	14	102
	V	8	9	4	18	63	102

4.6 lentelė. KNN metodo klasifikavimo rezultatai skirtingoms veikloms

KNN vidutinis tikslumas: 40,98 %		Atpažinta veiklos kategorija					Viso:
		I	II	III	IV	V	
Esama veiklos kategorija	I	56	13	10	13	10	102
	II	27	34	13	14	14	102
	III	18	13	39	16	16	102
	IV	12	11	9	44	26	102
	V	12	15	13	26	36	102

Tikslinga atlikti ne tik vaizdų klasifikavimo metodus, bet ir skirtingų veiklos kategorijų palyginimą (žr. 4.2 pav.). Atlikti tyrimai parodė, kad naudojant bet kurį iš pasirinktų vaizdų klasifikavimo metodų, išskyrus KNN, lengviausia identifikuoti veiklas, priklausančias III kategorijai (nenuolatiniam žmogaus buvimui apšvietimo zonoje). Sudėtinga klasifikuoti II kategorijos (kuriai priskiriamas miegas bei poilsis), IV kategorijos (kuriai priskiriamas darbas kompiuteriu, skaitymas, rašymas) ir V kategorijos (kuriai priskiriamas valgymas, gėrimas, užkandžiavimas) veiklas.



4.2 pav. Skirtingų metodų žmogaus veiklos klasifikavimo rezultatų palyginimas

4.4. Tyrimo dalies išvados

1. Atlikus sistemos realizacijai pasirinktų vaizdų klasifikavimo metodų tikslumo tyrimą, nustatyta, kad KNN, SVM ir BoF nėra tinkami metodai šiame darbe išskirtų žmogaus atliekamų veiklų klasifikavimui, nes jų vidutinis tikslumas yra mažesnis nei 70 %.
2. Klasifikavimo rezultatai, gauti naudojant CNN architektūras, parodė, kad vidutinis klasifikavimo tikslumas naudojant „AlexNet“, „VGG“ ir „CaffeRef“ neženkliai skiriasi – patenka į intervalą nuo 88,04 % iki 90,78 %. Remiantis tokiais tyrimų rezultatais, nustatyta, kad išmaniojoje apšvietimo valdymo sistemoje žmogaus atliekamų veiklų klasifikavimui tinkamiausia yra CNN „AlexNet“ architektūra, kurios vidutinis tikslumas yra didžiausias ir siekia daugiau nei 90 % .

5. EKSPERIMENTINĖ DALIS

5.1. Eksperimentinio tyrimo tikslas

Eksperimentinio tyrimo tikslas – naudojant sukurtą išmaniąją apšvietimo valdymo sistemą, pagrįstą žmogaus elgesio modeliais, įvertinti sistemos gebėjimą suderinti naudotojų poreikius ir apšvietimo intensyvumo standartus. Siekiama patikrinti sukurto apšvietimo valdymo algoritmo tinkamumą sprendžiamai problemai.

5.2. Eksperimentinio tyrimo aprašymas ir eiga

Eksperimentiniam tyrimui vykdyti pasirinkta statinė aplinka su nekintančiais dirbtinės šviesos šaltiniais (žr. 5.1 pav.). Eksperimentų metu žmonės vykdė veiklas, priklausančias sistemoje numatomoms veiklos kategorijoms. Eksperimentinio tyrimo dalyviai kiekvieną naudojimosi sistema dieną vykdė veiklas, priklausančias vienai arba daugiau numatytų kategorijų. Pavyzdžiui, jei žmogus pasirinktą dieną (naudojimosi sistema metu) skaitė knygą ir dirbo kompiuteriu, teigiama, kad jis tą dieną vykdė veiklas, priklausančias IV kategorijai. Dar vienas pavyzdys: jei žmogus pasirinktą dieną (naudojimosi sistema metu) rašė laišką, valgė, o tuomet – dirbo kompiuteriu, teigiama, kad jis tą dieną vykdė veiklas, priklausančias IV ir V kategorijoms.



5.1 pav. Tyrimui vykdyti pasirinkta aplinka

Tyrimo dalyvavo dvi moterys (25 ir 50 metų amžiaus) ir keturi vyrai (20, 21, 26 ir 56 metų amžiaus). Detalesnė eksperimentinio tyrimo dalyvių informacija pateikta 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. Eksperimentinio tyrimo dalyvių informacija

Eksperimentinio tyrimo dalyvis	Amžius	Naudojimosi sistema trukmė	Vidutinė naudojimosi sistema trukmė (per 1 parą)
Pirmas sistemos naudotojas	25	25 dienos	62 minutės
Antras sistemos naudotojas	50	22 dienos	46 minutės
Trečias sistemos naudotojas	21	19 dienų	38 minutės
Ketvirtas sistemos naudotojas	26	23 dienos	81 minutė
Penktas sistemos naudotojas	56	20 dienų	31 minutė
Šeštas sistemos naudotojas	20	21 diena	87 minutės

Eksperimentinio tyrimo dalyviai sistema naudojami vienas po kito: pirmas sistemos naudotojas sistema naudojami 25 dienas, po kurių sistema pradėjo naudoti antras sistemos naudotojas ir t. t. Prieš sukurtos sistemos perdavimą naujam eksperimentinio tyrimo dalyviui, parenkami numatyti

sistemos parametrai: ištrinama visa kitų sistemos naudotojų informacija. Tokiu būdu užtikrinama, kad vieno sistemos naudotojo eksperimentinių tyrimų rezultatai neįtakoja kito sistemos naudotojo eksperimentinių tyrimų rezultatų.

5.3. Eksperimentinio tyrimo rezultatai

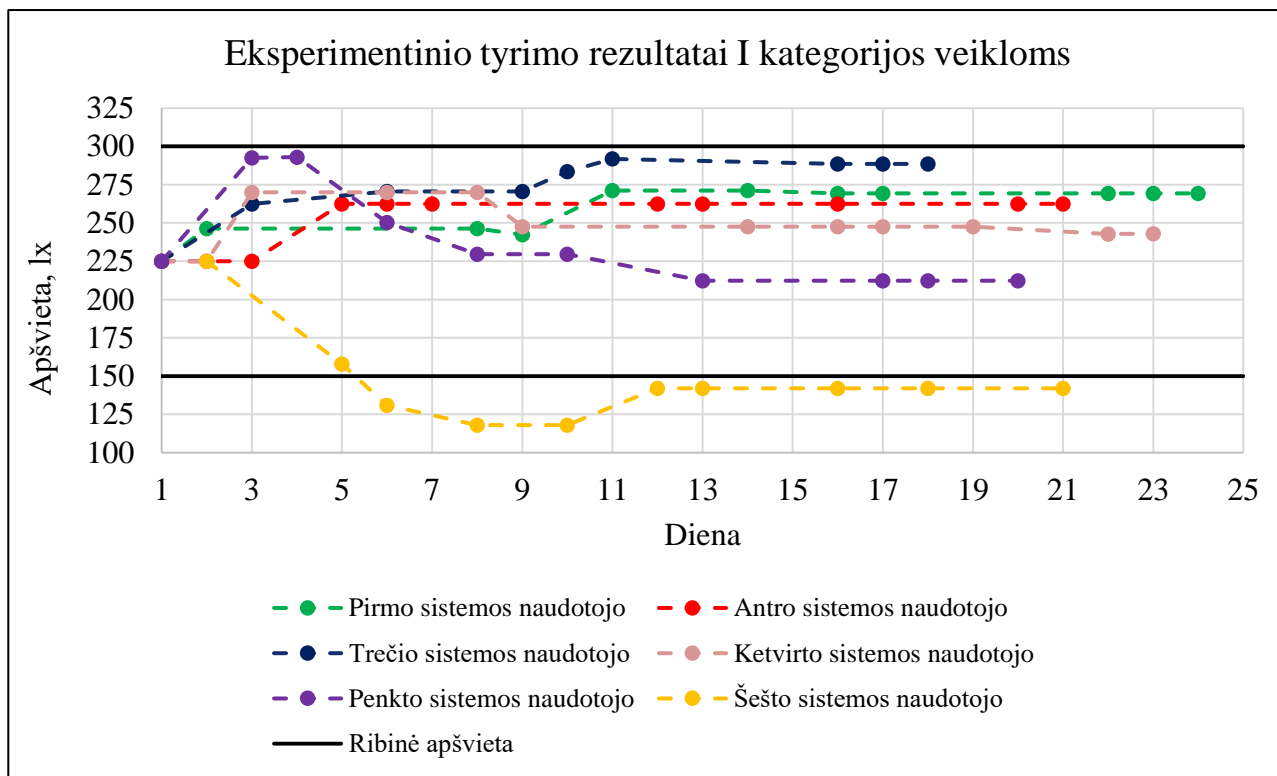
Visų sistemos naudotojų eksperimentinių tyrimų rezultatai pateikti 5.2 – 5.6 pav. Kiekvienos naudojimosi sistema dienos pabaigoje sugeneruojama ataskaita, kurioje nurodyta, kokį apšvietimo intensyvumą sistema taikys, kai bus atliekamos konkrečios kategorijos veiklos. Naudojantis sistema eksperimento dalyvis gali keisti apšvietimo intensyvumą. Visų sistemos naudotojų buvo paprašyta nekeisti numatyto apšvietimo intensyvumo konkrečiai veiklai tą dieną, kai ši veikla vykdoma pirmą kartą.

Toliau pateiktuose grafikuose esantys taškai nurodo, kokiomis dienomis buvo vykdomos tam tikros kategorijos veiklos bei veiklos kategorijai sistemos taikomą apšvietimo intensyvumą dienos pabaigoje. Grafikuose esančios laužtės jungia konkrečios veiklos taškus: jei tiesė, einanti per du gretimus konkrečios veiklos taškus, su abscisių ašimi sudaro smailųjį kampą – parenkamas apšvietimo intensyvumas didėja, jei bukąjį kampą – mažėja, jei tiesė yra lygiagreti abscisių ašiai – parenkamas apšvietimo intensyvumas nekinta (išlieka pastovus).

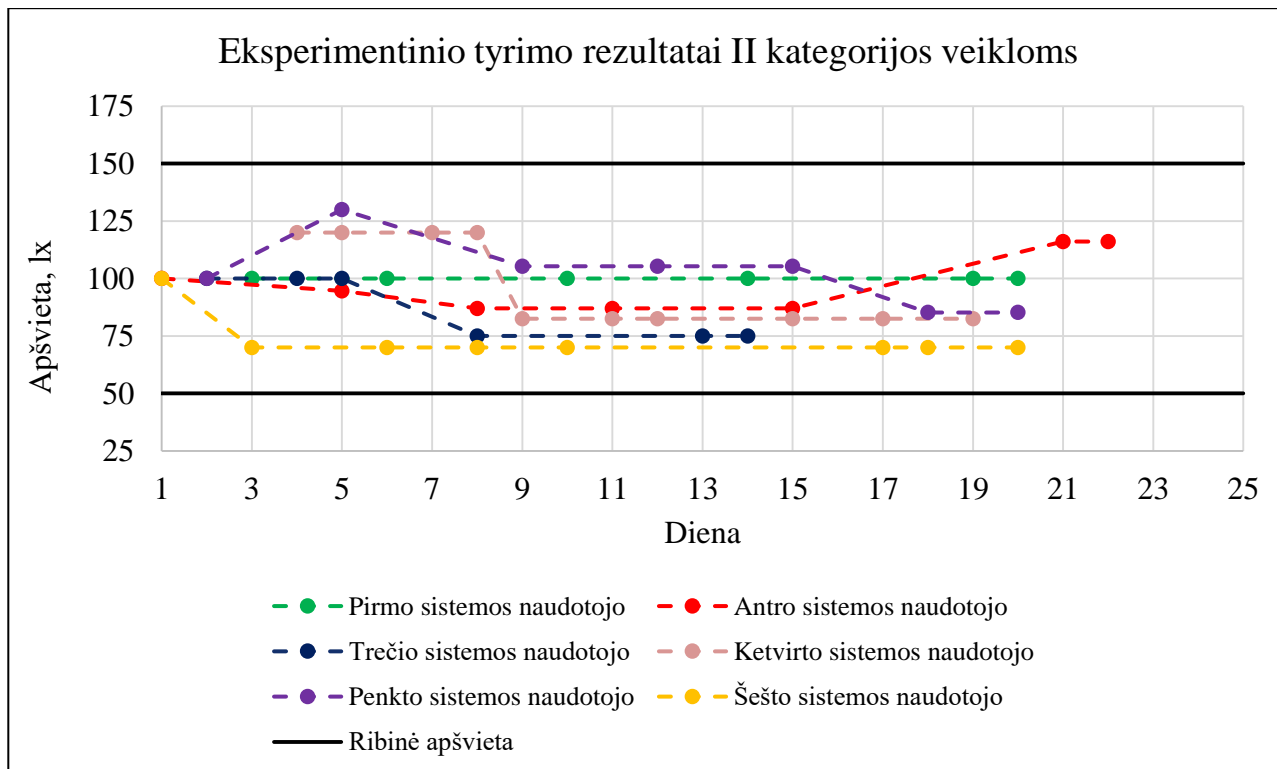
Atsižvelgiant į eksperimentinių tyrimų grafikus, galima teigti, kad didžioji dalis parenkamo apšvietimo intensyvumo pokyčių įvyksta naudojimosi sistema pradžioje (t. y. 76,32 % dienų, kai sistemos naudotojai keitė apšvietimo intensyvumą, yra pirmojoje naudojimosi sistema laikotarpio pusėje). Po tam tikro naudojimosi sistema laiko sistemos naudotojai randa sau tinkamiausius apšvietimo sprendimus konkrečioms veiklos kategorijoms. Toks dėsningumas parodo, kad bėgant laikui sistema geba suderinti apšvietimo intensyvumo standartus ir eksperimentinio tyrimo dalyvių poreikius.

Eksperimentinio tyrimo metu sistemos naudotojams vykdant II ir III kategorijų veiklas ir atitinkamų dienų pabaigoje fiksuojant parenkamo apšvietimo intensyvumo duomenis, nustatyta, kad parenkamo apšvietimo intensyvumo vertės patenka į kategorijoms numatytas apšvietos normines ribas. I, IV ir V kategorijų veikloms parenkamo apšvietimo intensyvumo vertės dažniausiai pateko į šioms kategorijoms numatytas apšvietos normines ribas, vis dėlto, identifikuotos kelios išimtys. Trumpalaikės (mažiau nei keturių dienų) arba mažiau nei 10 % ribinių reikšmių neatitiktys yra leistinos – sistema tokio apšvietimo nekoreguoja. Tokie atvejai pastebėti šeštam sistemos naudotojui vykdant I kategorijos veiklas, ketvirtam sistemos naudotojui vykdant IV kategorijos veiklas. Penktam ir šeštam sistemos naudotojams vykdant IV kategorijos veiklas bei ketvirtam sistemos naudotojui vykdant V kategorijos veiklas, sistema atliko apšvietimo intensyvumo keitimus – sumažino skirtumą tarp parenkamų apšvietimo intensyvumų verčių ir apšvietos norminių ribų (5.5 pav. ir 5.6 pav. šias korekcijas iliustruoja laužčių „išsišakojimai“: vientisos linijos parodo, koks

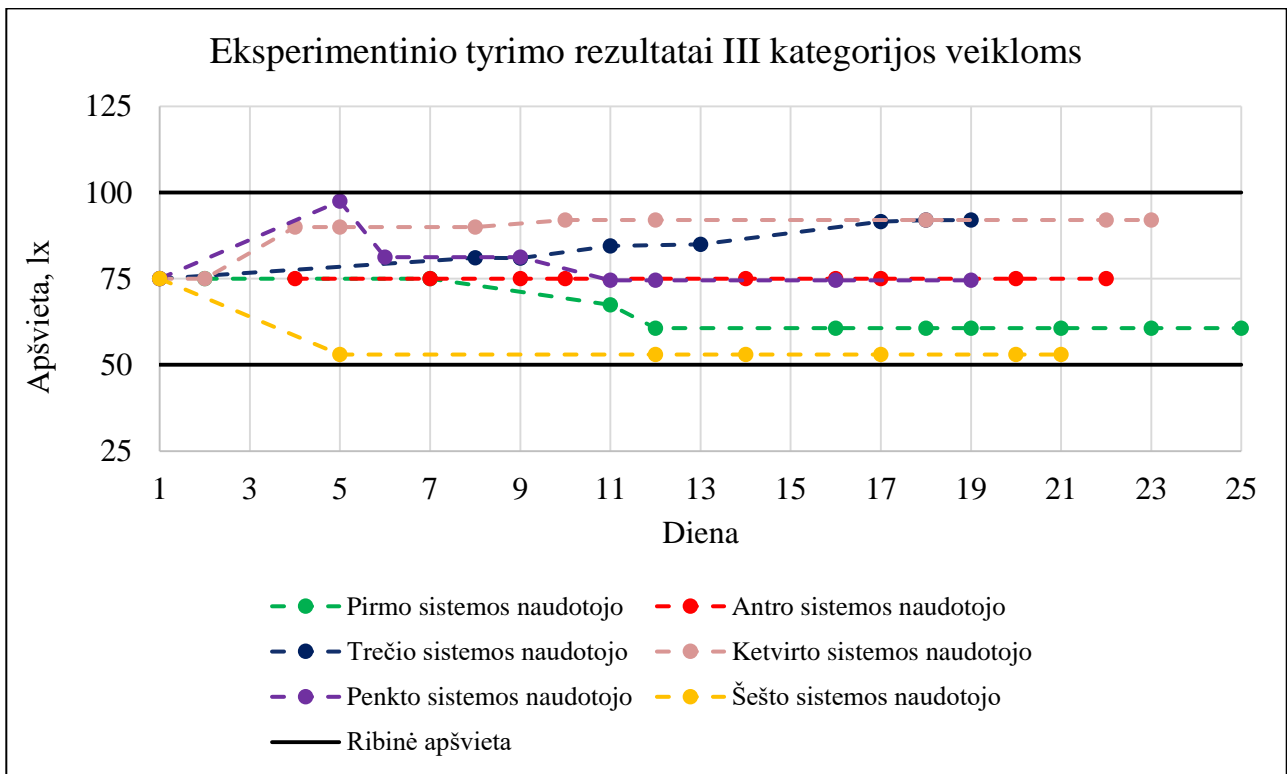
intensyvumas būtų taikomas, jei sistema neatliktų keitimų, o punktyrinės linijos atspindi pritaikytą korekciją). Pastaraisiais atvejais sistema reikšmes pakoregavo – atitinkamai sumažino arba padidino 7,5 %. Sistemos naudotojai skirtumo neįjutė – nebekeitė apšvietimo intensyvumo.



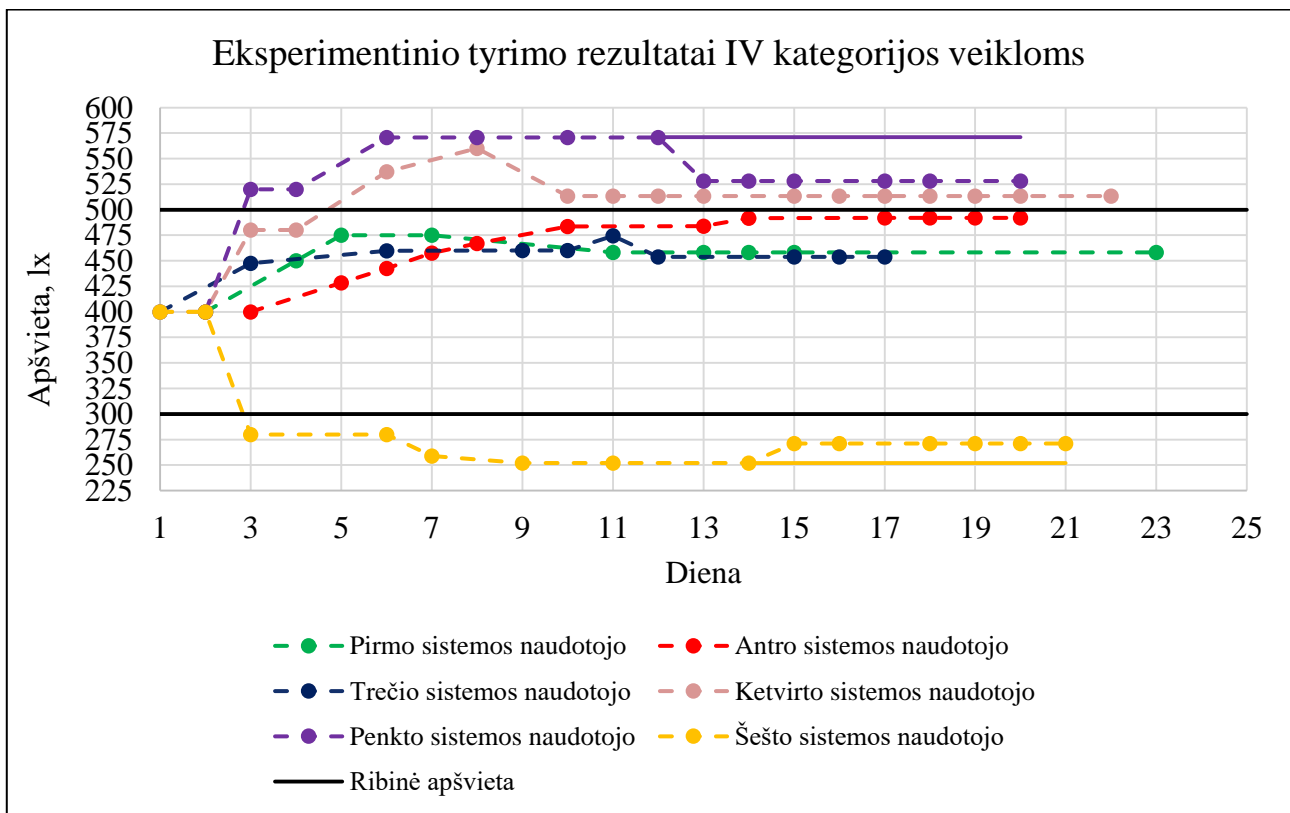
5.2 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai I kategorijos veikloms



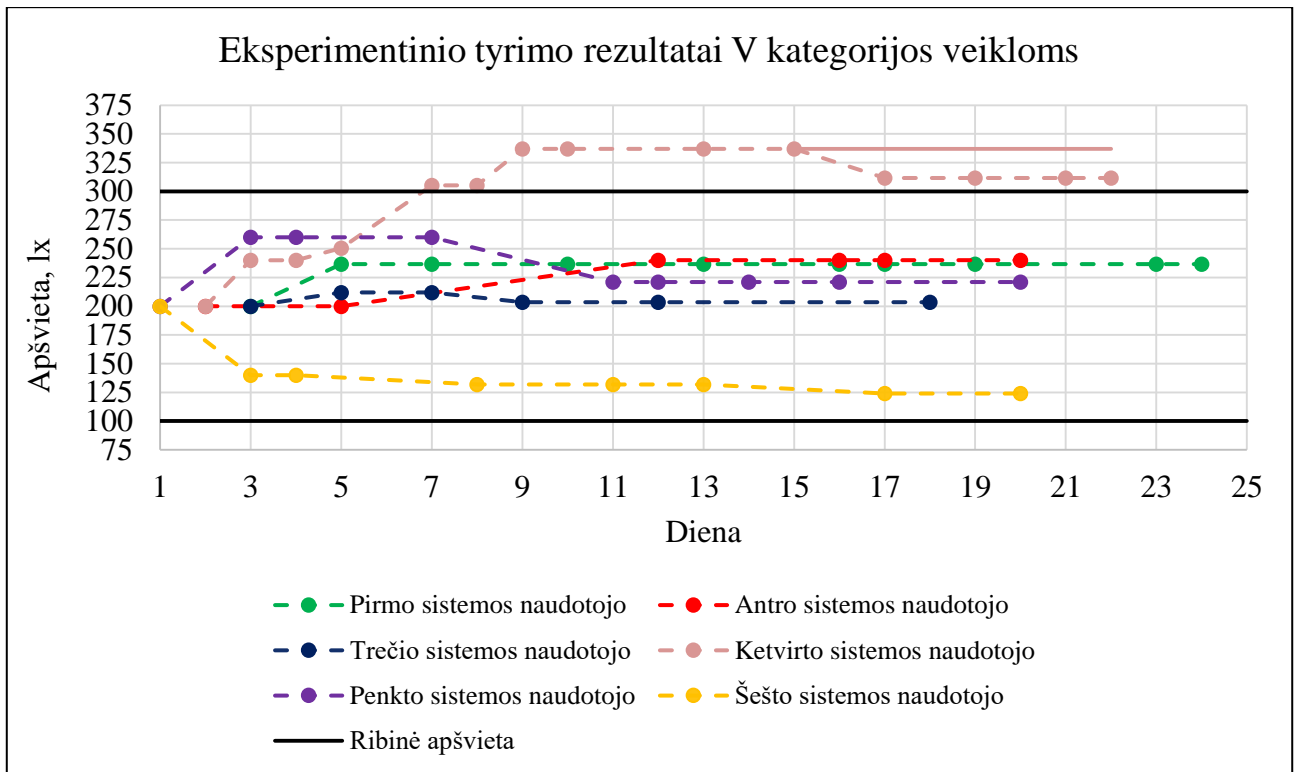
5.3 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai II kategorijos veikloms



5.4 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai III kategorijos veikloms



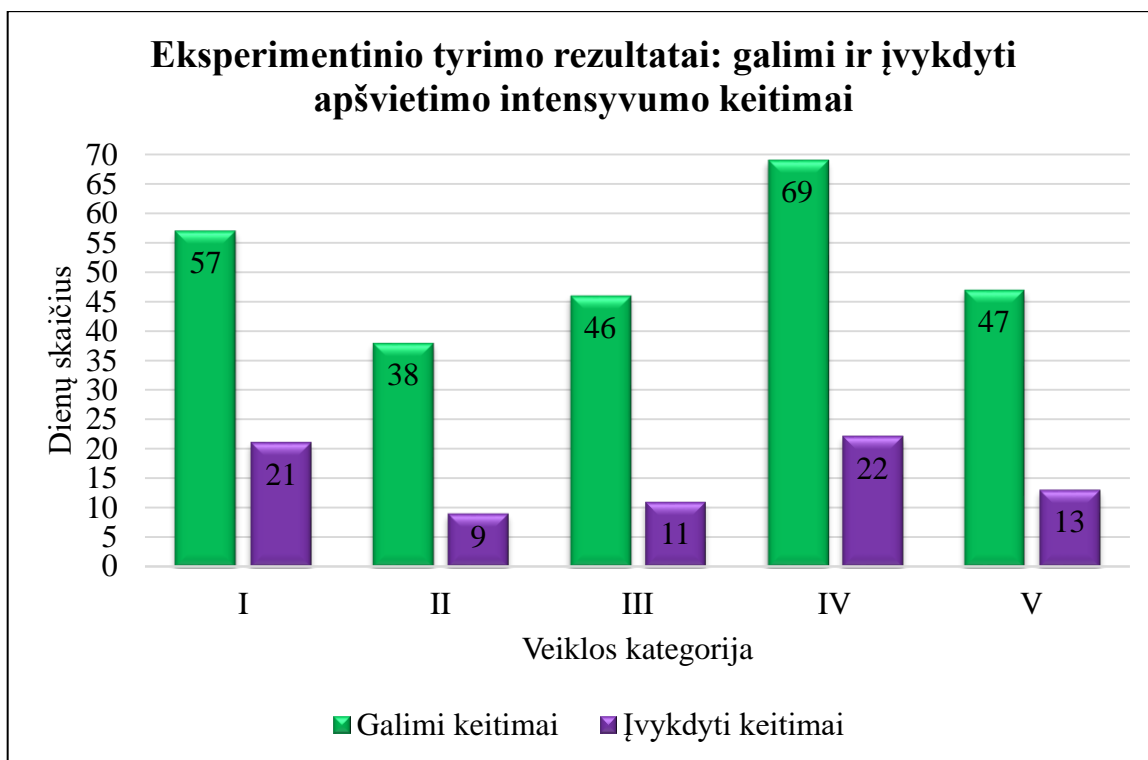
5.5 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai IV kategorijos veikloms



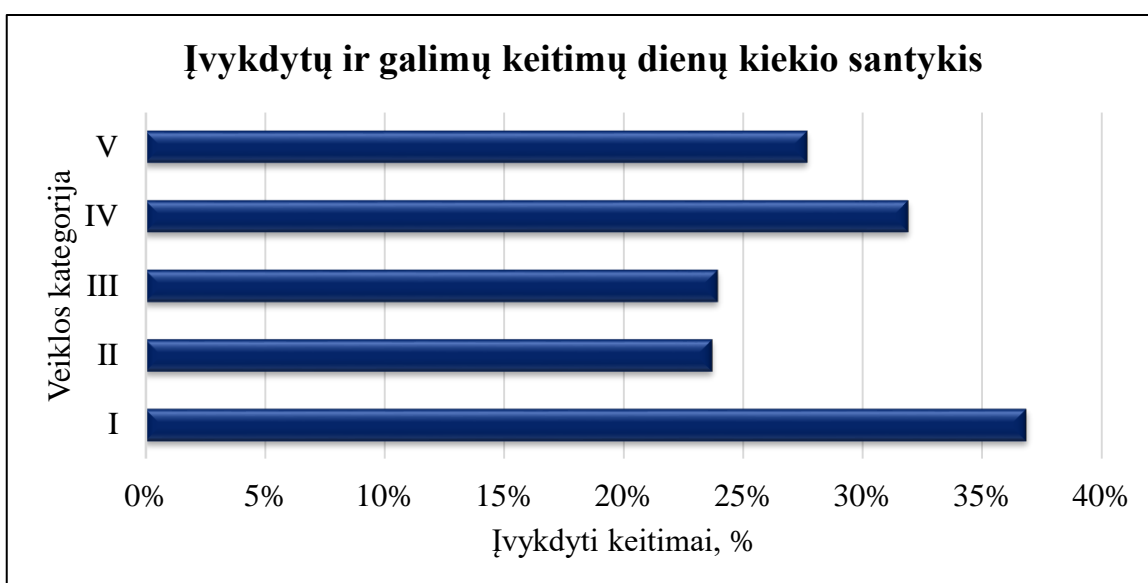
5.6 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai V kategorijos veikloms

Apibendrinus visų šešių sistemos naudotojų eksperimentinio tyrimo rezultatus, galima teigti, jog I (keleto žmonių bendravimas, pokalbiai) ir IV (darbas kompiuteriu, skaitymas, rašymas) kategorijų veiklos bendrai buvo vykdytos dažniausiai, atitinkamai, 63 ir 75 dienas. Teigiama, kad sistemos naudotojai galėjo keisti apšvietimo intensyvumą konkrečiai veiklai visomis dienomis, kai ją vykdė, išskyrus pirmąją dieną.

Dienų, kuomet sistemos naudotojai galėjo keisti ir keitė apšvietimo intensyvumus, statistika pateikta 5.7 pav. Didžiausias keitimų dienų skaičius ir galimų keitimų dienų skaičiaus santykis nustatytas I (keleto žmonių bendravimas, pokalbiai) ir IV (darbas kompiuteriu, skaitymas, rašymas) kategorijų veikloms (žr. 5.8 pav.). Pasiteiravus, kokie faktoriai lėmė, kad būtent šių kategorijų veikloms išsirinkti tinkamą apšvietimo intensyvumą buvo sudėtingiausia, eksperimentinio tyrimo dalyviai įvardijo keletą priežasčių. Visų pirma, vykdant I kategorijos veiklas, sistemos naudotojai atsižvelgdavo ne tik į savo, bet ir į žmonių, su kuriais bendrauja, poreikius. Antrąją priežastimi eksperimentinio tyrimo dalyviai įvardijo tai, kad per trumpą laiką išsirinkti tinkamiausią apšvietimo intensyvumą IV kategorijos veikloms trukdė platus veiklų, priskirtų šiai kategorijai, spektras. Kaip vienas iš galimų sistemos tobulinimo variantų buvo įvardytas IV kategorijos veiklų išskaidymas.



5.7 pav. Eksperimentinio tyrimo rezultatai: galimi ir įvykdyti apšvietimo intensyvumo keitimai



5.8 pav. Įvykdytų ir galimų keitimų dienų kiekio santykis

5.4. Eksperimentinės dalies išvados

- Atlikti eksperimentai patvirtino, jog sukurta sistema geba suderinti apšvietimo intensyvumo standartus ir eksperimentinio tyrimo dalyvių poreikius adaptyviai reguliuojant apšvietimą tam tikrais žingsniais:
 - Eksperimentų metu pastebėti trumpalaikiai arba mažos vertės (< 10 %) nukrypimai nuo apšvietimo intensyvumo norminių reikšmių buvo identifikuoti, tačiau sukurta algoritmas toleruoja mažus nuokrypius ir tokiu atveju reguliavimų neatlieka.

- Apklausus eksperimento dalyvius, buvo išsiaiškinta, jog sistemos atliktų apšvietimo intensyvumo reguliavimų dalyviai nepastebėjo, todėl naudotojai pakoreguoto apšvietimo intensyvumo nebekeitė.

6. IŠVADOS IR REZULTATAI

1. Atlikta plačiai naudojamų vaizdų klasifikavimo metodų (CNN, BoF, SVM ir KNN) literatūros analizė, įvertintos šių metodų taikymo galimybės žmogaus atliekamos veiklos identifikavimo problemai spręsti.
2. Apžvelgti pasaulyje galiojantys standartai, susisteminta Lietuvos teisės aktuose pateikta informacija apie apšvietos ribines vertes, kurios nesukelia nemalonių regėjimo pojūčių ir nekenkia žmogaus regėjimui bei sveikatai.
3. Išskirtos penkios galimos namų aplinkoje ir darbo vietose žmogaus vykdomų veiklų kategorijos, kurioms numatytos rekomenduojamos apšvietimo intensyvumo norminės ribos.
4. Atlikus sistemos realizacijai pasirinktų vaizdų klasifikavimo metodų tikslumo tyrimą, naudojant išskirtas vykdomų veiklų kategorijas, nustatyta, kad naudojant tris skirtingas CNN architektūras gaunami labai panašūs rezultatai: tikslumas svyruoja nuo 88,04 % iki 90,78 %. Vis dėlto, „AlexNet“ tikslumas yra didžiausias ir siekia daugiau nei 90 %.
5. Remiantis praktinio vaizdų klasifikavimo tyrimo rezultatais, nustatyta, kad BoF, SVM ir KNN metodų taikymas išskirtų penkių veiklos kategorijų identifikavimui nėra tinkamas, nes klasifikavimo rezultatai – atitinkamai 68,24 %, 59,61 % ir 40,98 %.
6. Sukurtas interaktyvus apšvietimo intensyvumo parinkimo algoritmas, kuris leido suderinti sistemos naudotojo įpročius konkrečios veiklos atveju bei apšvietimo intensyvumo standartus. Atliktų apšvietimo intensyvumo reguliavimų eksperimentinio tyrimo dalyviai nepastebėjo ir pakoreguoto apšvietimo intensyvumo nebekeitė. Trumpalaikiai arba mažos vertės (< 10 %) nukrypimai nuo apšvietimo intensyvumo norminių reikšmių buvo identifikuoti, tačiau sukurtas algoritmas tokias išimtis toleruoja, todėl reguliavimai nebuvo vykdomi.

7. LITERATŪRA

1. Arduino. (n.d.). Arduino Products. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
2. Arduino. (n.d.). Software. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

3. Atallah, L., Lo, B., King, R. C. and Gitang, G. Z. (2011). Sensor positioning for activity recognition using wearable accelerometers. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 5(4), 320–329.
4. Baccouche, M., Mamalet, F., Wolf, C., Garcia, C. and Baskurt, A. (2011). Sequential Deep Learning for Human Action Recognition. *International Workshop on Human Behavior Understanding*, Vol. 7065, *Lecture Notes in Computer Science*, (pp. 29-39).
5. Bagheri, M. A., Gao, Q. and Escalera, S. (2016). Support vector machines with time series distance kernels for action classification. *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*. Support vector machines with time series distance kernels for action classification.
6. Campos, T. D. et al. (2011). An evaluation of bags-of-words and spatio-temporal shapes for action recognition. *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV)*.
7. Chamroukhi, F., Mohammed, S., Trabelsi, D., Oukhellou, L. and Amirat, Y. (2013). Joint segmentation of multivariate time series with hidden process regression for human activity recognition. *Neurocomputing*, 120, (633-644).
8. Dubois, A. and Charpillat, F. (2013). Human activities recognition with RGB-Depth camera using HMM. *Annual International Conference of the IEEE*.
9. Foerster, F. and Fahrenberg, J. (2000). Motion pattern and posture: Correctly assessed by calibrated accelerometers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 32(3), (450–457).
10. Gupta, P. and Dallas, T. (2014). Feature Selection and Activity Recognition System using a Single Tri-axial Accelerometer. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(6), 1780–1786.
11. Hammerla, N. Y., Halloran, S. and Plotz, T. (2016). Deep, Convolutional, and Recurrent Models for Human Activity Recognition Using Wearables. In *Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, (pp. 1533–1540).
12. He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition”, *Computer Vision Foundation. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (pp. 770-778).
13. Hsu, C.W. and Lin, C. J. (2002). A comparison of methods for multiclass support vector machines. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 13(2), 415–425.
14. Illuminating engineering society. (n.d.). *An Introduction to The IES Lighting Handbook 10th Edition*. [žiūrēta 2017-04-26]. Prieiga per internetą

<https://www.ies.org/handbook/DiLaura/Introduction%20to%20the%20IES%20Handbook%20PDF.pdf>

15. Yang, J. B., Nguyen, M. N., San, P. P., Li, X. L. and Krishnaswamy, S. (2015). Deep Convolutional Neural Networks On Multichannel Time Series For Human Activity Recognition. Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Intelligence, (pp. 3995–4001).
16. Jia, Y. (2014). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. In Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia, (pp. 675-678).
17. Jiang, W. and Yin, Z. (2015). Human Activity Recognition Using Wearable Sensors by Deep Convolutional Neural Networks. Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia, (pp. 1307-1310).
18. Khan, M. A. A. H., et al (2016). RAM: Radar-based activity monitor. IEEE INFOCOM 2016, Computer Communications, (pp. 1-9).
19. Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Advances in Neural Information Processing Systems, (pp. 1106-1114).
20. Lara, O. D. and Labrador, M. A. (2013). A survey on human activity recognition using wearable sensors. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15(3), 1192–1209.
21. Lietuvos respublikos seimas. (2000). Dėl Lietuvos higienos normos HN 98 : 2000 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“. [žiūrėta 2017-04-20]. Prieiga per internetą <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854>
22. MatConvNet. (n.d.). MatConvNet: CNNs for MATLAB. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <http://www.vlfeat.org/matconvnet/>
23. Mathworks. (2017). Add-On Product Requirements & Platform Availability for R2017a. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://se.mathworks.com/products/availability.html>
24. Mathworks. (n.d.). Hardware Support. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://se.mathworks.com/hardware-support/home.html>
25. Mathworks. (n.d.). Image Category Classification Using Deep Learning. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://se.mathworks.com/help/vision/examples/image-category-classification-using-deep-learning.html>

26. Mathworks. (n.d.). Image Classification with Bag of Visual Words. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://se.mathworks.com/help/vision/ug/image-classification-with-bag-of-visual-words.html>
27. Niebles, J. C. and Wang, H. (2008). Unsupervised Learning of Human Action Categories Using Spatial-Temporal Words. *International Journal of Computer Vision*, 79(3), 299–318.
28. Paulauskaitė-Tarasevičienė, A. (2015). Intelektualaus gyvenamojo būsto apšvietimas. [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per internetą <https://goo.gl/forms/KjT4EUsaAQZ474Vj2>
29. Paulauskaite-Taraseviciene, A., Jukavicius, V., Morkevicius, N., Jasinevicius, R., Petrauskas, V. and Kazanavicius, V. (2015). Statistical Evaluation of Four Technologies used for Intellectualization of Smart Home Environment. In *Information Technology and control*, 44(3), 334-344.
30. Paulauskaite-Taraseviciene, A., Morkevicius, N., Jukavicius, V., Kizauskiene, L. and Kazanavicius, E. (2015). Agent-Based System Architecture for Intelligent Lighting Control Based on Resident's Behavior. *International Journal of Modeling and Optimization*, 5(1), 48-54.
31. Paulauskaite-Taraseviciene, A., Stuliene, A. and Kazanavicius, E. (2017). Intelligent Lighting Control Providing Semi-Autonomous Assistance. *Elektronika ir elektrotechnika*. 23(2), 68-73.
32. Ravimaran, S. and Anuradha, R. (2016). Survey of Action Recognition Methods for Human Activity Recognition. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 6(5), 284–284.
33. Ronao, C. A. and Cho, S. B. (2016). Human activity recognition with smartphone sensors using deep learning neural networks. *Expert Systems with applications*, 59(C), 235-244.
34. Schuldt, C., Laptev, I. and Caputo, B. (2004). Recognizing Human Actions: A Local SVM Approach. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*.
35. Simonyan, K. and Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *Conference ICLR*.
36. Stuliene A. and Paulauskaite-Taraseviciene, A. (2017). Research on human activity recognition based on image classification methods. *IVUS 2017*.
37. Ullah, M. M., Parizi, S. N., Laptev, I. (2010). Improving Bag-of-Features Action Recognition with Non-Local Cues. *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, (pp. 1-11).

38. Valstybinė teritorijų planavimo ir statybos inspekcija prie aplinkos ministerijos. (2016). Statybos techninis reglamentas STR 2.02.01:2004 „Gyvenamieji pastatai“. [žiūrėta 2017-04-12]. Prieiga per internetą <http://www.vtpsi.lt/node/1062>
39. Vedaldi, A. and Lenc, K. (2015). MatConvNet: Convolutional Neural Networks for MATLAB. Proceedings of the 25th annual ACM international conference on Multimedia, (pp. 689-692).
40. Viola, P. and Jones, M. (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (pp. 511-518).
41. Weber, E. H. (1978). De pulsu, resorptione, audita et tactu. Annotationes anatomicae et physiologicae. New York: Academic Press.
42. Williams, A., Atkinson, B., Garbesi, K., Page, E. and Rubinstein, F. (2012). Lighting Controls in Commercial Buildings. LEUKOS, 8(3), 161-180.
43. Zeiler, M. D. and Fergus, R. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. In Proceedings ECCV, 818-833.
44. Zhang, L., Wu, X. and Luo, D. (2015). Human activity recognition with HMM-DNN model. In Cognitive Informatics and Cognitive Computing 2015 IEEE 14th International Conference, (pp. 192-197).
45. Zhang, M. and Sawchuk, A. A. (2012). Motion primitive-based human activity recognition using a bag-of-features approach. ACM symposium on International health informatics (IHI), (pp. 631–640).

8. TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

Apibendrinimo savybė – sistemos gebėjimas sėkmingai apdoroti ne vien mokymo imties duomenis, bet ir visus nematytus tos pačios rūšies duomenis.

Apšvieta – kuriame nors paviršiaus taške į paviršiaus elementą krintantis šviesos srautas, padalytas iš to elemento ploto.

Apšvietimo intensyvumo matuoklis – elektronikos elementas (įtaisas), skirtas esamą apšvietimo vertę pakeisti į skaitmeninį signalą.

Apšvietos ribinė vertė – apšvieta, kurios sąlygomis dirbant iki 40 val. per savaitę visą profesinio darbo laikotarpį nekyla nemalonių regėjimo pojūčių ir nepakenkiama žmogaus regėjimui bei sveikatai.

Dirbtinis apšvietimas – elektros techninių įrenginių skleidžiama šviesa darbo patalpose.

Duomenų imtis – klasifikuotų duomenų (vaizdų) rinkinys kartu su savo žymėmis.

Liuksas (lx) – apšvietos matavimo vienetas – tai apšvieta, kurią suteikia 1 liumeno šviesos srautas, krentantis statmenai į 1 m² plotą.

Potenciometras – elektronikos elementas, skirtas įtampos reguliavimui (įtampa reguliuojama keičiant jo varžą).

Požymių išskyrimas – naujų parametru, pagal kuriuos klasifikuojami duomenys, sudarymas.

Sistemos intelektualus blokas – projektuojamos sistemos dalis, kuri remiasi sukaupta patirtimi ir teikia rekomendacijas sistemai – nustato numatytą priimtinausią apšvietimo intensyvumą.

Sistemos naudotojas – žmogus, besinaudojantis sistemos funkcionalumu. Remiantis įprastais sistemos naudotojo elgesio modeliais, sistema parenka tinkamiausią apšvietimo intensyvumą žmogui užsiimant kasdieninėmis veiklomis, t.y. sistemos naudotojo įpročiai (veiklos ir apšvietimo intensyvumo poreikis) – pagrindiniai sistemos veikimo duomenys.

Vaizdų klasifikavimas – vaizdų skirstymas į kategorijas (klases, skyrius, grupes) pagal išskirtus požymius.

Žmogaus elgesio modeliai (sistemos kontekste) – suklasifikuoti sistemos naudotojo elgsenos šablonai, kuriais remiantis priimamas apšvietimo valdymo sprendimas.

9. PRIEDAI

Prieduose (9.1 – 9.6 lentelėse) pateikiami šešių sistemos naudotojų eksperimentinių tyrimų rezultatai.

9.1 lentelė. Pirmo sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	37	225				
2	62	246		75	400	
3	137		100			200
4	86				450	
5	113				475	237
6	60		100			
7	103			75	475	237
8	64	246				
9	17	242				
10	62		100			237
11	112	271		67	458	
12	10			61		
13	127				458	237
14	42	271	100		458	
15	87				458	
16	131	269		61		237
17	19	269				237
18	8			61		
19	55		100	61		237
20	26		100			
21	23			61		
22	14	269				
23	78	269		61	458	237
24	59	269				237
25	11			61		

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.

9.2 lentelė. Antro sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	73	225	100			
2	48	225				200
3	51	225			400	
4	18			75		
5	76	263	95		428	200
6	61	263			443	
7	74	263		75	458	
8	38		87		467	
9	27			75		
10	70			75	484	
11	9		87			
12	31	263				240
13	65	263			484	
14	29			75	492	
15	17		87			
16	80	263		75		240
17	41			75	492	240
18	31				492	
19	11				492	
20	73	263		75	492	240
21	52	263	116			
22	44		116	75		

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.

9.3 lentelė. Trečio sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	62	225		75	400	
2	21		100			
3	50	263			448	200
4	29		100			
5	11		100			212
6	77	271			460	
7	13					212
8	10		75	81		
9	62	271		81	460	203
10	65	284			460	
11	101	292		85	474	
12	48				454	203
13	36		75	85		
14	20		75			
15	3				454	
16	15	289			454	
17	53	289		92	454	
18	31	289		92		203
19	8			92		

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.

9.4 lentelė. Ketvirtos sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	166	225		75	400	
2	65	225		75	400	200
3	100	270			480	240
4	102		120	90	480	240
5	67		120	90		251
6	64	270			537	
7	16		120			305
8	159	270	120	90	560	305
9	62	248	83			337
10	129			92	513	337
11	34		83		513	
12	75		83	92	513	
13	91				513	337
14	33	248				
15	65		83		513	337
16	108	248			513	
17	89	248	83		513	312
18	133			92	513	
19	126	248	83		513	312
20	72				513	
21	12					312
22	82	243		92	513	312
23	8	243		92		

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.

9.5 lentelė. Penkto sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	25	225		75		200
2	34		100		400	
3	38	293			520	260
4	41	293			520	260
5	11		130	98		
6	75	250		81	571	
7	10					260
8	15	230			571	
9	23		105	81		
10	40	230			571	
11	26			75		221
12	43		105	75	571	221
13	35	212			528	
14	25				528	221
15	24		105		528	
16	25			75		221
17	19	212			528	
18	62	212	85		528	
19	9			75		
20	29	212	85		528	221

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.

9.6 lentelė. Šešto sistemos naudotojo eksperimentinio tyrimo rezultatai

Diena	Naudojimosi sistema trukmė, min	Dienos pabaigoje parenkamos apšvietos vertės I – V kategorijų veikloms*, lx				
		I	II	III	IV	V
1	124		100	75	400	200
2	120	225			400	
3	133		70		280	140
4	30					140
5	79	158		53		
6	73	131	70		280	
7	98				259	
8	60	118	70			132
9	23				252	
10	36	118	70			
11	38				252	132
12	132	142		53		
13	82	142				132
14	167			53	252	
15	91				271	
16	151	142			271	
17	30		70	53		124
18	82	142	70		271	
19	66				271	
20	105		70	53	271	124
21	108	142		53	271	

* – reikšmės pateikiamos tuo atveju, jei atitinkamų kategorijų veiklos tą dieną buvo vykdytos, priešingu atveju paliekamas tuščias laukas.