

## PAPILDYTOS REALYBĖS ALGORITMO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Dovilė Kurpytė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas dovile.kurpyte@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamas papildytos realybės (PR) algoritmo efektyvumas keičiant posūkio kampus ir apšvietimą. Tiksliniai keičiami tiriamieji parametrai yra šie: trijų laisvės laipsnių atžvilgiu nagrinėjama posūkio kampo įtaka ir šoninis apšvietimas, sudarantis šešėlį. Statiniai tiriamieji parametrai su galimybe juos pakeisti yra šie: atstumas tarp žymeklio ir kameros, kamera, procesorius, atstumas iki šviesos šaltinio. Ištyrus atvirojo kodo Java programavimo kalba įgyvendintą algoritimą su dešimčia skirtingų žymeklių, pateikiamos rekomendacijos.

**Reikšminiai žodžiai:** papildyta realybė, Java, algoritmas, NyARToolKit, tyrimas, atvirasis kodas, posūkio kampas, šešėlis.

## Įvadas

Papildyta realybė (angl. *Augmented reality*) – terminas, apibūdinantis fizinį, realų, tiesiogiai ar netiesiogiai regimą pasaulį, kurio elementai yra papildyti virtualiais kompiuteriu generuojamais vaizdais. Šis terminas susijęs su bendra koncepcija, pavadinta tarpine realybe, kurioje kompiuteriu realybės vaizdas yra modifikuojamas.

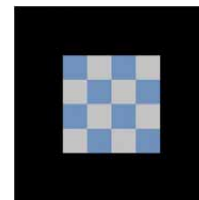
Pagrindinė papildytos realybės technologijų funkcija – sustiprinti žmogaus realybės suvokimą. Šiuo metu kuriamos technologijos papildytai realybei integruoti tokiose srityse, kaip medicina, karo technika, pramogų industrija ir pan. Taikant papildytą realybę žaidimuose svarbu tiksliai nustatyti papildytos realybės algoritmo veikimo efektyvumą, nes šiuo atveju dažniausiai siekiama maksimalių rezultatų.

Dauguma papildytos realybės įrenginių iš gauto vaizdo apskaičiuoja stebimo objekto požymius. Tada, remiantis požymiais, papildytos realybės įrenginiai atpažįsta ieškomą vietą ir joje esantį vaizdą papildo virtualiu vaizdu. Dažniausiai virtualaus vaizdo įterpimo vietai nurodyti taikomi žymekliai (angl. *marker*).

Šiame straipsnyje nagrinėjamas ir tiriamas atvirojo kodo Java programavimo kalba įgyvendintas papildytos realybės algoritmo efektyvumas, taikant įvairius žymeklius ir keičiant jų posūkių kampus bei apšvietimą.

## Realybės papildymo būdas

Nuo žymeklio, naudojamo papildant realybę virtualiais vaizdais, dydžio tiesiogiai priklauso jo sudėtingumas (arba kitaip – galimų žymeklių įvairovė) ir žymeklio apdoravimo proceso trukmė. Žymeklio dydis dažniausiai išreiškiamas ne fiziniiais vaizdo taškais, o jį sudarančio stačiakampio



1 pav. Žymeklio pavyzdys

Fig. 1. The example of marker

(dažnai kvadrato) kraštinių ilgiu, išreiškiamu kraštinės vaizdo dalis koduojančių bitų skaičiumi, pvz.,  $4 \times 4$ ,  $5 \times 5$  ar net  $16 \times 16$  bitų. 1 pav. pateikiamas  $4 \times 4$  bitų dydžio žymeklio pavyzdys.

Papildytos realybės sistema, nepriklausomai nuo filmavimo įrangos tipo, iš skaitmeninių vaizdų turi gauti vaizdą, išreiškiantį realaus pasaulio koordinatėmis. Šis procesas vadinamas vaizdo registravimu (Azuma 1997).

Vaizdai registruoti taikomi įvairūs kompiuterinės regos metodai, daugiausia susiję su objektų vaizdo sraute sekimu (angl. *tracking*), taikomu tokiose srityse, kaip automobilių greičio matuokliai ir pan. Įprastai vaizdo registravimo metodai susideda iš dviejų dalių (Azuma *et al.* 2001):

1. Pirmiausia aptinkami reikalingi taškai, numatyti žymekliai arba optiniai judesiai kameros vaizduose. Šiame etape gali būti taikomi požymių aptikimo metodai, pvz.: kampų aptikimas (angl. *corner detection*), taškų aptikimas (angl. *blob detection*), krašto aptikimas (angl. *edge detection*), žymėjimas (angl. *thresholding*) ir (ar) kiti vaizdo apdoravimo metodai.

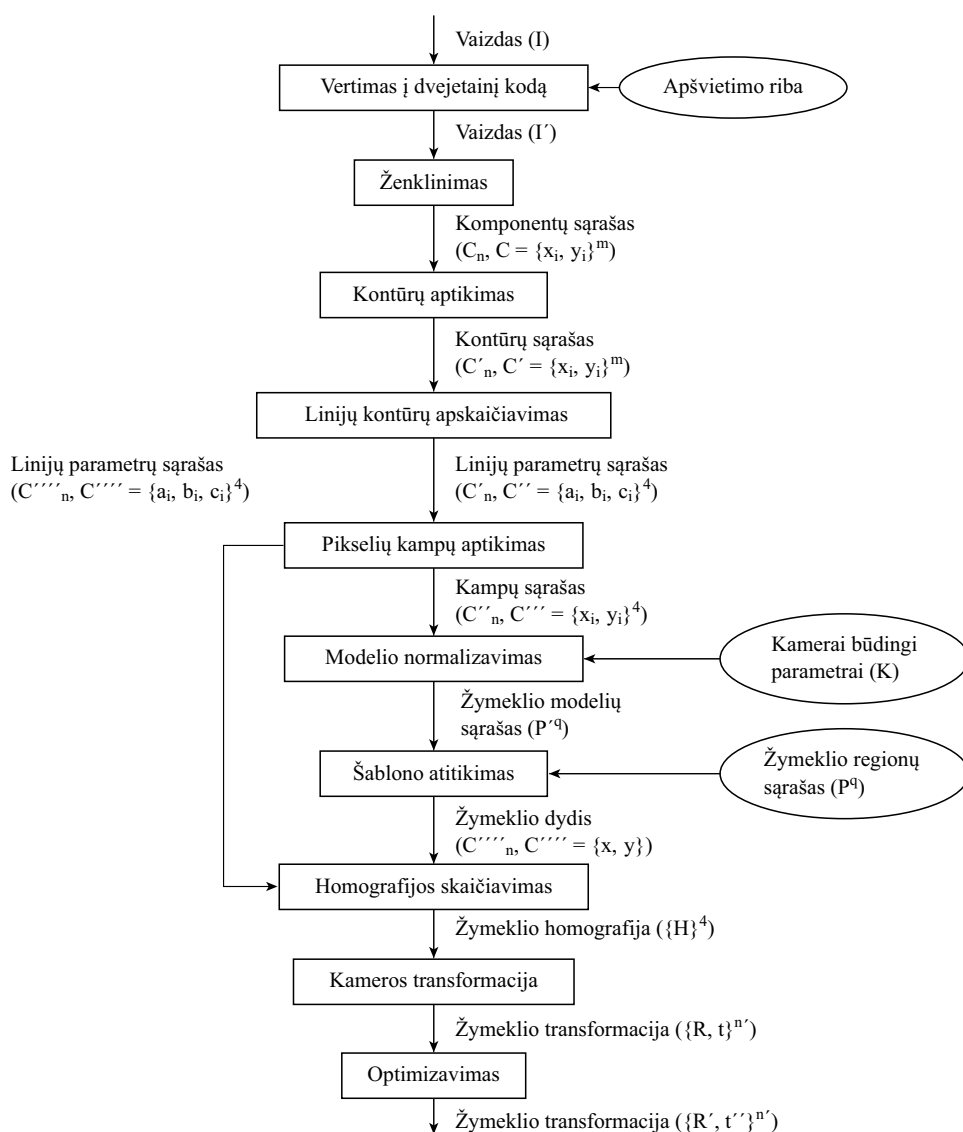
2. Vėliau atkuriamas realaus pasaulio koordinatinių sistema remiantis gautais duomenimis iš pirmojo etapo. Tam tikri metodai prisiima objektų žinomą geometriją (arba numatytas žymes) esamoje scenoje. Kai kuriais iš šių atvejų 3D scenos struktūra turėtų būti apskaičiuota iš anksto. Jei scenos metu nežinoma dalis lokalizacijos ir žemėlapių (angl. *simultaneous localization and mapping*), tada gali būti nustatytos santykinės padėties žemėlapyje. Šiame etape taikomi matematiniai metodai apima: projektavimo (angl. *epipolar*) geometriją, geometrinę algebrą, sukimosi atvaizdavimą su eksponentiniu žemėlapiu, Kalmano ir dalelių filtrus, netiesinį optimizavimą bei statistikos modelius.

## Papildytos realybės algoritmas

Tiriamam algoritmui sukurti naudota JAVA ARToolKit biblioteka (ARToolKit 2001) skirta papildytai realybei įgyvendinti. Ši biblioteka suteikia galimybę įgyvendinti vaizdo sekimą, leidžia realiuoju laiku apskaičiuoti naudojamos vaizdo kameros padėtį ir orientaciją, susietą su žymekliu.

NyARToolKit – tai Java programavimo kalba sukurta objektinė ARToolKit biblioteka (2 pav.). Ji pasižymi galimybe kurti programas, veikiančias daugelyje platformų ir virtualiose mašinose (NyARToolKit 2012).

Šio tyrimo metu vaizdo kamera nejuda, todėl atsižvelgiama tik į tiriamų žymeklių posūkių rezultatus. ARToolKit taikymas išsprendžia du pagrindinius papildytos realybės uždavinius – žiūrėjimo kampo sekimą ir virtualaus objekto sąveiką. Algoritmo veikimo principas paaiškintas 3 pav. pateiktoje algoritmo struktūrinėje schemoje.



2 pav. ARToolKit veikimo principas (ARToolKit 2001)

Fig. 2. Working principle of ARToolKit (ARToolKit 2001)

### Papildytos realybės tyrimo metodika

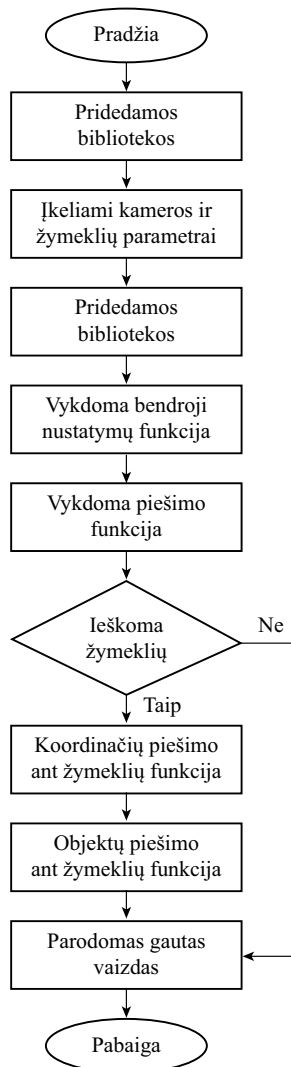
Papildytos realybės tyrimo sistemą sudaro:

- taikomoji papildytos realybės programa (3 pav.);
- asmeninis nešiojamasis kompiuteris;
- Creative Technology Ltd. integruota vaizdo kamera (640×360 vaizdo taškų skyra);
- 10 tiriamųjų žymeklių;
- papildomas šviesos šaltinis.

Papildytos realybės tyrimo metu vykdoma taikomoji papildytos realybės programa ir fiksuojami jos rezultatai, kai  $x, y, z$  ašių kryptimis keičiamos pasirinktų žymeklių padėtys. Tyrimai vykdomi be papildomo šviesos šaltinio ir su juo. Jis sudaro šešėlių, krintantį 90° kampu į stebimą žymeklį.

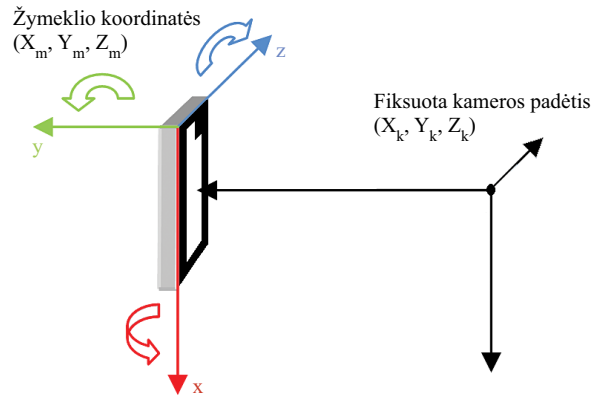
Tyrimo schema grafiškai pateikta 4 pav.

Eksperimentams atlikti naudojama Utah universiteto žymeklių duomenų bazė (Utah 2002). Naudota 10 žymeklių, juos sunumeravus nuo 0 iki 9 (5 pav.).



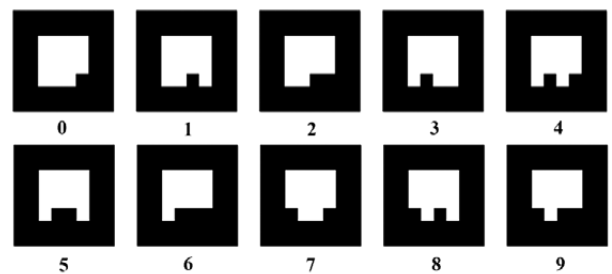
3 pav. Papildytos realybės algoritmo veikimo struktūrinė schema

Fig. 3. Flowchart of augmented reality implementation



4 pav. Tyrimo schema

Fig. 4. Framework of investigation



5 pav. Naudoti žymekliai (identifikavimo numeriai nurodyti apačioje)

Fig. 5. Employed markers (identification numbers shown at the bottom)

### Tyrimo rezultatai

Tyrimo rezultatai pateikti lentelėse: 1 lentelėje pateikti rezultatai esant skirtingiems posūkių kampams ( $x, y, z$  ašyse), 2 lentelėje – papildomai pridodant šoninį apšvietimą ir taip sudarant šešėlių.

1 lentelė. Papildytos realybės algoritmo tyrimo rezultatai, esant skirtingiems posūkių kampams

Table 1. The results of augmented reality algorithm investigation while changing the rotation angle

Žymeklio numeris	Posūkių kampas, °					
	x ašimi		y ašimi		z ašimi	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	-68	93	-79	72	-90	90
1	-70	92	-77	69	-90	90
2	-65	94	-78	<b>68</b>	-90	90
3	-70	92	-82	80	-90	90
4	-76	92	-87	77	-90	90
5	-70	<b>88</b>	-78	<b>85</b>	-90	90
6	-68	93	-86	84	-90	90
7	-75	95	-83	75	-90	90
8	-75	<b>96</b>	-85	73	-90	90
9	-78	92	-81	84	-90	90

2 lentelė. Papildytos realybės algoritmo tyrimo rezultatai, esant skirtingiems posūkio kampams ir naudojant papildomą šoninį apšvietimą

Table 2. The results of augmented reality algorithm investigation while changing the rotation angle and using additional side lighting source

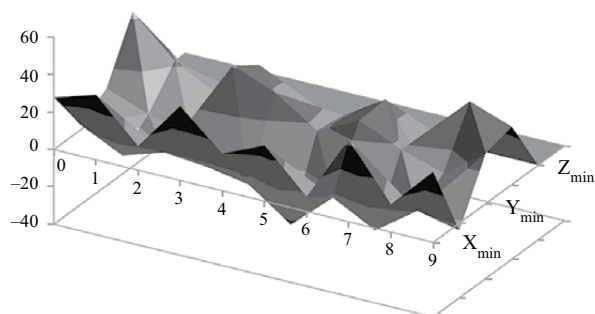
Žymeklio numeris	Posūkio kampas, °					
	x ašimi		y ašimi		z ašimi	
	min	max	min	max	min	max
0	-40	<b>90</b>	-67	<b>29</b>	-90	90
1	-35	100	-73	47	-90	90
2	-52	95	<b>-80</b>	58	-90	90
3	<b>-30</b>	95	<b>-41</b>	49	-90	90
4	-56	99	-55	<b>80</b>	-90	90
5	-40	<b>111</b>	-61	70	-90	90
6	<b>-60</b>	96	-58	55	-90	90
7	-31	110	-65	79	-90	90
8	<b>-60</b>	94	-74	34	-90	90
9	-40	96	-54	53	-90	90

Tyrimai rodo, kad skirtingos žymeklių vidinės figūros daro įtaką atpažinimo rezultatams iki 16°, o pridėjus papildomą šoninį šviesos šaltinį – net iki 51°.

Pastebima, kad *x* ašyje atpažinimas vyksta vidutiniškai nuo -72° iki 92,6°, *y* ašyje vidutiniškai nuo -82° iki 76,6°, o *z* ašies atžvilgiu algoritmas veikia nuo -90° iki 90°. Taigi kai žymeklis yra „sukamas“ aplink savo vertikaliają centrinę ašį (*y*), rezultatai pastebimai blogesni nei „sukant“ aplink horizontaliąją ašį (*x*). Taip yra dėl apšvietimo ir esamų simetrijų.

Veikiant tris (*x*, *y*, *z* ašimis) posūkio kampus, pridėtas 90° nuo sistemos šoninis 20 000 liuksų apšvietimas, taip sudarant šešėlį. Pastebimi akivaizdūs pokyčiai nuo pradinio tyrimo rezultatų, kurie papildomai iliustruoti 6 pav.

Kaip parodyta 6 pav., matomas netolygus rezultatų skirtumų pasiskirstymas, o tai lemia skirtingi žymeklių požymiai, skirtingai interpretuojamas apšvietimas. Naudojant papildomą šoninį šviesos šaltinį pastebima, kad žymekliai,



6 pav. Skirtumas tarp rezultatų eksperimentų su papildomu šviesos šaltiniu ir be jo

Fig. 6. The difference between results of experiments with and without the lighting source

turintys kelis 1×1 atskirus vidinius elementus, yra tiksliau atpažįstami įvairiomis sąlygomis. Papildoma šviesa taip pat rodo, kad kai šviesa krinta *x* ašyje tiesiogiai į žymeklį, atpažinimas krito nuo vidutiniškai 71,5° iki 44,4°, t. y. net 37,9 %. Kai šviesos šaltinis yra už žymeklio, atpažinimas pagerėjo nuo vidutiniškai 92,6° iki 98,6° (6,1 %).

Posūkių *y* ašimi vertinimo rezultatai skiriasi – dėl susidariusio netolygaus šešėlio matoma, kad efektyvumas akivaizdžiai pablogėjo. Minimalios vertės pakito nuo vidutiniškai 81,6° iki 62,8° (23 %), maksimalios vertės – vidutiniškai nuo 76,7° iki 55,4° (27,8 %). Sukant žymeklius *z* ašies kryptimi, matavimo rezultatai yra pastovūs visų žymeklių atveju.

### Išvados

1. Pastebėta, kad, esant kelioms aiškioms smulkioms vidinėms žymeklio figūroms, tiriamo algoritmo efektyvumas didžiausias.
2. Esant tiesioginiam apšvietimui pastebima, kad šviesa užgožia esamus parametrus ir pakeičia (nubalina) spalvas, todėl atpažinimas tampa vidutiniškai net 38 % prastesnis.
3. Kai apšvietimo šaltinis yra už žymeklio, pastebimas vidutiniškai 6 % algoritmo efektyvumo pagerėjimas, nes šviesa „aplenkia“ žymeklį, tik padėdama išryškinti požymius.
4. Geriausiai atpažįstamas žymeklis yra toks, kuris turi daugiau vidinių kampų ar keletą aiškiai atpažįstamų figūrų. Todėl tinkamesni yra ketvirtas ar aštuntas žymekliai.

### Padėka

Dėkoju prof. dr. Daliui Navakauskui už pagalbą rengiant straipsnį.

### Literatūra

- ARToolKit*. 2001 [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/vision.htm>
- Azuma, R. T. 1997. A survey of Augmented reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6(4): 355–385.
- Azuma, R.; Balliot, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B. 2001. *Recent Advances in Augmented Reality*. Computers & Graphics, November.
- NyARToolKit* プロジェクト. 2012 [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: [http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page\\_id=55](http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page_id=55)
- Utah. 2002. Augmented reality – ARToolKit Patternmaker [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cs.utah.edu/gdc/projects/augmentedreality/>

## THE EFFICIENCY ANALYSIS OF THE AUGMENTED REALITY ALGORITHM

D. Kurpytė

Abstract

The article presents the investigation of the efficiency of augmented reality algorithm that depends on the rotation angles and lighting conditions. The following were the target subject parameters: three degrees of freedom perspective of the rotation and side lighting that forms a shadow. Static parameters of subjects with the ability to change them were as follow: the distance between the marker and the camera, camera, processor, and the distance from the light source. The study is based on an open source Java programming language algorithm, where the algorithm is tested with 10 markers. It was found that the rotation error did not exceed 2%.

**Keywords:** augmented reality, Java, algorithm, NyARToolKit, analysis, open source, rotation, lighting conditions.