

## JUTIKLIŲ ORIENTACIJOS DUOMENŲ INTEGRACIJA PAPILDYOTOSIOS REALYBĖS TECHNOLOGIJOJE

Edgaras Artemčiukas<sup>1</sup>, Leonidas Sakalauskas<sup>2</sup>

Vilniaus universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>[e.artemciukas@gmail.com](mailto:e.artemciukas@gmail.com); <sup>2</sup>[sakal@ktl.mii.lt](mailto:sakal@ktl.mii.lt)

**Santrauka.** Šiuo metu mikroelektromechaniniai jutikliai (akcelerometrai, giroskopai ir magnetometrai) dominuoja mobiliuosiuose įrenginiuose. Mobilųjų įrenginių rinka nepaliaujamai plečiasi ir telkiasi į jutiklių integracijos procesą, kuriamoms aplikacijoms pridedama papildomo funkcionalumo. Tokiu būdu suteikiama galimybė pritaikyti jutiklių informaciją priimant papildytosios realybės technologijos sprendimus. Daugelis papildytosios realybės sprendimų veikia remiantis vaizdų apdorojimo metodais, norint atpažinti ir sekti žymeklį ar kitus objektus bei atvaizduoti kompiuteriu generuojamą virtualų turinį. Pagrindinė tokių metodų problema – netvarkinga aplinka, apšvietimo sąlygos, todėl objektą atpažinti ir sekti realiuoju laiku tampa sudėtinga arba neįmanoma. Darbe nagrinėjamos mikroelektromechaninių jutiklių naudojimo galimybės ir kvaternionų taikymas jutiklių duomenims, norint patikimai ir tiksliai įvertinti kameros orientaciją erdvėje. Tokiu būdu virtualus turinys atvaizduojamas papildytosios realybės technologijoje, netaikant vaizdų apdorojimo metodų.

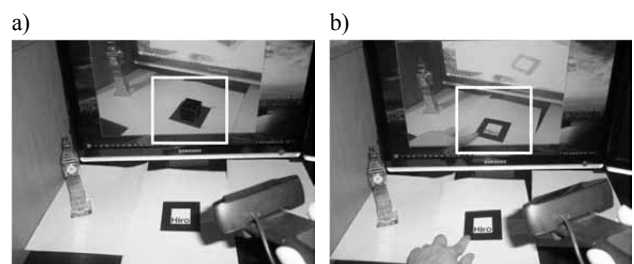
**Reikšminiai žodžiai:** mikroelektromechaniniai jutikliai, jutiklių duomenų sujungimas, orientacijos įvertinimas, papildytosios realybės technologija.

### Įvadas

Papildytosios realybės (angl. *augmented reality*) technologija yra eksponentiškai auganti vadinamos virtualiosios realybės sritis. Skirtingai nuo papildytosios realybės, virtualiosios realybės vartotojas negali sąveikauti su realia aplinka. Papildytosios realybės galimos taikymo sritys yra medicina, švietimas, gamyba, laisvalaikis ir kitos vizualizacijos. Ši technologija suteikia galimybę matyti tikrąją aplinką ir papildyti ją virtualiu turiniu ar kita informacija. Šiuo atveju objektai nėra pakeičiami, o integruojami į realybę. Papildytojoje realybėje sekimo uždaviniams įgyvendinti dažniausiai taikomi metodai, skirti vaizdams apdoroti. Šie metodai vykdo sudėtingą informacijos iš realios aplinkos išgavimo ir apdorojimo procesą, norint patikimai pateikti virtualų turinį vartotojui. Efektyvus objektų atpažinimas ir sekimas yra esminiai uždaviniai, sprendžiami papildytosios realybės technologijos srityje. Šiuo metu papildytosios realybės technologija dažniausiai naudojama mobiliuosiuose įrenginiuose, todėl reikalingas sprendimo būdas, kuris optimizuotai įvykdytų atpažinimo, sekimo ir virtualaus turinio atvaizdavimo, pavyzdžiui, trimačio modelio, uždutis. Šiuo metu įvairiose sistemose naudojami inerciniai jutikliai teikia galimybę įvertinti įrenginių orientaciją. Naudoti apskaičiuotą įrenginių orientaciją yra perspektyvu papildytosios realybės technologijoje.

### Tyrimų apžvalga

Taikant vaizdo apdorojimo metodus sprendžiamos problemos, susijusios su klaidingu kontrastu dėl įvairių apšvietimo sąlygų, atspindžių ir posvyrio kampų, kurie paslepia svarbius vaizdų požymius. Dėl šių problemų sudėtinga įvykdyti sėkmingą žymeklio ar kito objekto sekimą papildytosios realybės technologijoje. Šiuo metu akivaizdžios problemos neišsprendžia gerai žinoma papildytosios realybės programinė įranga *NyARToolKit*. Naudojant šią priemonę, priklausomai nuo žymeklio vietos vaizde, realiuoju laiku galima apskaičiuoti kameros poziciją ir orientaciją erdvėje bei atvaizduoti virtualų turinį (1 pav.).



1 pav. Papildytosios realybės pavyzdys, naudojant *NyARToolKit*: a – virtualus turinys virš kvadratinio žymeklio; b – virtualus turinys dingsta dėl kliūtis virš kvadratinio žymeklio

Fig. 1. Augmented reality example using *NyARToolKit*: a – virtual content over a square marker; b – virtual content disappears over occluded square marker

Naujesiems papildytosios realybės technologijos sprendimams dažniausiai taikomi FAST (Rosten *et al.* 2010) ir SURF (Bay *et al.* 2008) vaizdų apdorojimo metodai ir įvairios šių metodų modifikacijos. Tokiu atveju identifikuojamas sekamas objektas, kai yra kliūčių. Konkretus atpažinimo vaizdo apdorojimas suteikia galimybę papildytosios realybės turinį susieti su realistiškesne ir natūralesne aplinka, pavyzdžiui, knygos paviršiumi. Kiekvienas vaizdas, pvz., iš kameros gautas kadras, tam tikroje vietoje papildomas virtualiu turiniu pagal gautą požymių informaciją. Požymius sudėtinga aptikti dėl skirtingų aplinkos sąlygų ir įvairių galimų vaizdų transformacijų. Sekimas gali būti klaidingas ir virtualus turinys bus nematomas arba netinkamai atvaizduojamas: vartotojo matomas vaizdas skirsis nuo laukiamo vaizdo. Patikimumas šiuo atveju priklauso nuo gautų požymių ir jų sekimo vaizdų sekoje efektyvumo. Kitas tokių metodų trūkumas – sudėtinga sekti vaizdus dėl greitų judesių. Greitas arba netolygus kameros judėjimas sukelia vaizdo sekimo sutrikimų ar nestabilumą. Toks trūkumas gali būti pašalintas naudojant inercinius jutiklius, norint įvertinti greitus kameros orientacijos pokyčius ir sėkmingai sekti žymeklio ar kito objekto vaizde poziciją bei orientaciją (Bleser, Stricker 2008; Kanbara *et al.* 2000; You 2001). Ultragaršiniai jutikliai taip pat sėkmingai naudojami objektams sekti, tačiau vartotoją riboja nedidelė darbo erdvė (Lukosiunas *et al.* 2011). Sistemose, kuriose taikomi jutiklių duomenų sujungimo metodai (angl. *sensor data fusion*), galima pagerinti sekamų objektų stabilumą ir patikimumą nei naudojant jutiklių duomenis atskirai. Viena iš galimų akcelerometro, giroskopo ir magnetometro taikymo sričių yra papildytosios realybės technologija. Kituose pateiktuose pažangiuose sprendimuose, norint nustatyti objektų orientaciją erdvėje, taikomi kvaternionai (Trawny, Roumeliotis 2005) ir Kalmano filtras (Hol *et al.* 2006; Marins *et al.* 2001; Sabatini 2006).

Apibendrinant galima teigti, kad pagrindiniai sprendžiami uždaviniai papildytosios realybės sistemose – užtikrinti tikslų objektų sekimą ir atvaizduoti kompiuteriu generuojamą virtualų turinį realiame pasaulyje. Šiame darbe nagrinėjamas kvaternionų taikymas mikroelektromechaninių jutiklių (angl. *Microelectromechanical sensors*) duomenims, norint įvertinti kameros orientaciją. Šiuo sprendimu siekiama pašalinti pavienių jutiklių trūkumus ir pagerinti kameros sekimo (orientacijos įvertinimo) tikslumą, patikimumą ir virtualaus turinio atvaizdavimą papildytosios realybės technologijoje, netaikant vaizdo apdorojimo metodų.

## Skaitmeninių jutiklių tyrimas

Dėl esamų vaizdo apdorojimo metodų trūkumų geresnių rezultatų gali būti pasiekta naudojant jutiklius. Tai leidžia sukurti pažangesnes papildytosios realybės aplikacijas. Judesio sekimo sistemose naudojami inerciniai jutikliai gali atlikti matavimus dideliu greičiu, o tai suteikia galimybę aptikti sparčius pozicijų ar orientacijų pokyčius. Pasirenkant sekimo metodą daugelis papildytosios realybės sistemų reikalauja judesio apribojimų, norint užtikrinti robusišką virtualaus turinio atvaizdavimą. Kameros sekimas, naudojant inercinius jutiklius, yra tinkamas pasirinkimas dėl didelio greičio. Pagrindinė šiuo atveju sprendžiama problema – būtina išlaikyti gautų skaičiavimo rezultatų (gautų pagal matavimus) stabilumą po tam tikro laiko tarpo, dėl jutiklių triukšmo, nuokrypių ir magnetinės interferencijos.

Darbe daug dėmesio skiriama jutiklių analizei. Tyrimui pasirinktas Arduino Nano mikrovaldiklis, o orientacijos duomenims nuskaityti iš skaitmeninių jutiklių (naudojant I<sup>2</sup>C komunikavimo protokolą) – akcelerometras ADXL345, giroskopas ITG3200 ir magnetometras HMC5883L, jutikliai (angl. *Magnetic, Angular Rate and Gravity, MARG*). Mikrovaldiklis veikia autonomiškai arba gali komunikuoti su kita programine įranga, surinkti ir apdoroti gautą informaciją iš įvairių jutiklių (2 pav.).



2 pav. Parinkta techninė įranga: a – Arduino Nano mikrovaldiklis; b – MARG jutikliai

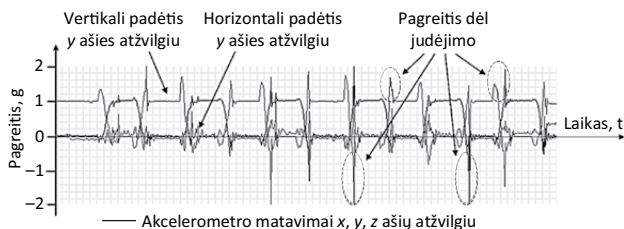
Fig. 2. Selected hardware: a – Arduino Nano microcontroller; b – MARG sensors

Akcelerometras matuoja gravitaciją ir įrenginio pagreitį. Bendruoju atveju šis jutiklis tinkamas norint nustatyti, kaip orientuotas objektas priklausomai nuo Žemės veikiančios gravitacijos jėgos. Pagal akcelerometrą gautus matavimų duomenis galima apskaičiuoti bet kurio objekto pokrypį  $x$  (kampas  $\phi$ ) ir  $y$  (kampas  $\theta$ ) ašių atžvilgiu  $Acc_{\phi, \theta}$ :

$$Acc_{\phi, \theta} = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left(a_y / \sqrt{a_x^2 + a_z^2}\right) \\ \arctan\left(a_x / \sqrt{a_y^2 + a_z^2}\right) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

čia  $a_n$  – pagreitis;  $n$  – atitinkamai akcelerometro  $x$ ,  $y$  ir  $z$  ašys. Naudoti skaitmeninį akcelerometrą orientacijai nustatyti nėra sudėtinga. Pagrindinė problema – esant stabi-

liai būsenai duomenys vis tiek paveikti mechaninio triukšmo, o sparčiai judinamo įrenginio  $\phi$  ir  $\theta$  kampų vertės bus klaidingos ir nepatikimos. Gravitacijos jėga, kaip atskaitos vektorius, nesuteikia informacijos apie objekto orientaciją  $z$  ašies atžvilgiu. Vidurkinant akcelerometro duomenis galima filtruoti išorinius pagreičius, tačiau gaunami uždelsti rezultatai. Toliau atliktame eksperimente (3 pav.) pateikti akcelerometro matavimai, paveikti triukšmo.



3 pav. Trijų ašių akcelerometro matavimų duomenys  
Fig. 3. Data readings of the three-axis accelerometer

Keičiant objekto padėtį, gravitacijos vektorius pereina iš  $y$  ašies į  $x$  ašį ir atvirkščiai, o papildomi maksimalūs signalų lygiai sukelti jutiklio pagreičio pokyčių. Skirtingai nei akcelerometras, giroskopas matuoja kampinį greitį (4 pav.) ir nėra jautrus linijiniams mechaniniams judesiams.

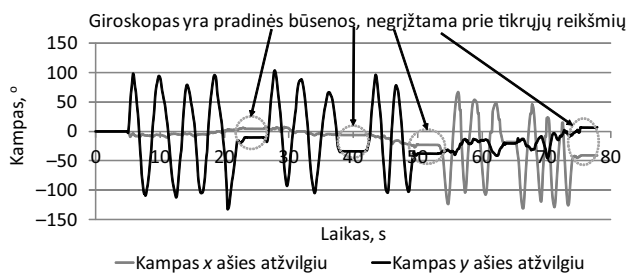


4 pav. Trijų ašių giroskopo matavimų duomenys  
Fig. 4. Data readings of the three-axis gyroscope

Gauti giroskopo kampinio greičio matavimai nekaučia paklaidų. Naudojant kampinį greitį galima apskaičiuoti objekto orientaciją  $\omega_{\phi, \theta, \psi}$  ( $x$  (kampas  $\phi$ ),  $y$  (kampas  $\theta$ ) ir  $z$  (kampas  $\psi$ ) ašių atžvilgiu) pagal tokią išraišką:

$$\omega_{\phi, \theta, \psi} = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{\phi_{t-1}} + \omega_{x_t} \cdot \Delta t \\ \omega_{\theta_{t-1}} + \omega_{y_t} \cdot \Delta t \\ \omega_{\psi_{t-1}} + \omega_{z_t} \cdot \Delta t \end{bmatrix}, \quad (2)$$

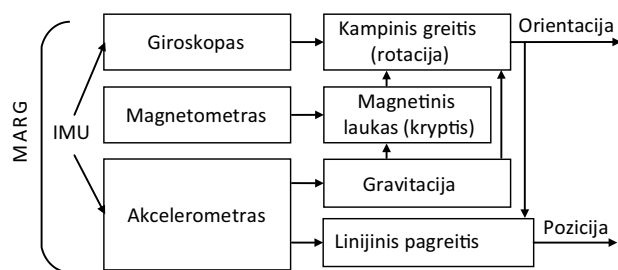
čia  $\omega_{x_t}$ ,  $\omega_{y_t}$ ,  $\omega_{z_t}$  – giroskopo kampinis greitis esamu laiku  $t$ ;  $\omega_{\phi_{t-1}}$ ,  $\omega_{\theta_{t-1}}$ ,  $\omega_{\psi_{t-1}}$  – giroskopo apskaičiuotas kampas  $x, y$  ir  $z$  ašių atžvilgiu ankstesniu  $t - 1$  laiku;  $\Delta t$  – laiko tarpas tarp matavimų. Šiuo atveju apskaičiuota orientacija iš giroskopo duomenų yra labai tiksli trumpais laiko tarpais, tačiau nukrypsta po ilgesnio laiko (5 pav.).



5 pav. Objekto kampų skaičiavimas naudojant skaitmeninį giroskopą

Fig. 5. Calculation of object angles using digital gyroscope

Giroskopas taip pat teikia informaciją apie gravitacijos vektorius. Rezultatai po tam tikro laiko tarpo, be fiksuotos atskaitos sistemos, akumuliuoja klaidas. Orientacijos sekimo sistemose ir papildytosios realybės technologijoje tai kritinis aspektas. Norint nustatyti patikimą objektų orientaciją erdvėje, naudojami kombinuoti šiuolaikiniai skaitmeniniai jutikliai: akcelerometras, giroskopas ir magnetometras. Skirtingai nei giroskopo kampinio greičio matavimai, magnetometro magnetinio lauko matavimams įtakos turi įvairūs iškraipymai, kuriuos sukelia feromagnetiniai objektai. Šiuos iškraipymus galima kompensuoti. Giroskopas užtikrina greitus matavimus  $z$  ašies atžvilgiu, o magnetometras užtikrina koreguotą sekamo objekto krypties ( $z$  ašies atžvilgiu) įvertinimą, suderinimui naudojant akcelerometro duomenis. Jutiklių duomenų sujungimo principinė diagrama pateikta 6 pav.



6 pav. Sujungtų jutiklių duomenų principinė diagrama  
Fig. 6. Basic diagram of sensor data fusion

MARG jutikliai sudaryti iš hibridinio IMU jutiklio. MARG papildomai turi trijų ašių magnetometrą, kuri užtikrina  $x, y$  ir  $z$  ašių visus orientacijos matavimus, priklausomai nuo gravitacijos jėgos krypties ir Žemės magnetinio lauko matavimų, kitaip dar žinomą kaip orientacijos ir pozicijos atskaitos sistemą (angl. *Attitude and heading reference system* – AHRS). Šiuo metu yra daug įrenginių, kuriuose galima rasti įvairių jutiklių, padedančių nustatyti objektų orientaciją ir poziciją erdvėje: GPS imtuvai, išmanieji akiniai, mobilieji ir sąveikos, pvz., naudojant gestus, įrengi-

niai. Kai sujungti kelių jutiklių duomenys, galima ištaisyti atskirų jutiklių trūkumus ir tiksliau apskaičiuoti orientaciją ir poziciją, kuri labai svarbi ne tik papildytosios realybės technologijoje, bet ir aviacijoje, robotikoje, navigacijoje, žmogaus judesių tyrimuose ir žmonių bei mašinų sąveikai.

### Kameros orientacijos įvertinimas ir naudojimas papildytos realybės technologijoje

Kameros orientaciją erdvėje galima nustatyti  $x$ ,  $y$  ir  $z$  ašių atžvilgiu, naudojant Eulerio kampus (angl. *Euler angles*), rotacijų matricas (angl. *rotation matrix*) ir kvaternionus (angl. *quaternions*). Eulerio kampai  $\phi$  (angl. *roll*),  $\theta$  (angl. *pitch*),  $\psi$  (angl. *yaw*) gali būti išreikšti kaip rotacijų matrica. Tokiu atveju objekto orientacija apibūdinama pagal tris nuoseklias rotacijas. Pagrindinė problema – svarbi rotacijų atlikimo seka ir atsirandantis efektas, kuriuo prarandamas vienas laisvės laipsnis trimatėje erdvėje. Dėl netikslaus kameros orientacijos įvertinimo gali atsirasti vizualinių netikslumų pateikiant virtualų turinį papildytojoje realybėje.

Kvaternionas yra keturių dimensijų kompleksinis skaičius  $q = [q_0 + q_1 + q_2 + q_3] = [w + xi + yj + zk]$ , kuris taip pat naudojamas objekto orientacijai ar koordinatų sistemai trimatėje erdvėje nustatyti:  $x$ ,  $y$  ir  $z$  ašių atžvilgiu vyksta rotacijos ir jų dydį nusako  $w$ . Naudojant kvaternionus išvengiama problemų, būdingų tiek Eulerio kampams, tiek rotacijų matricoms, reikia mažesnės skaičiavimo trukmės. Kvaternionas, aprašantis orientaciją, turi būti normuotas pagal šią išraišką:

$$N(q) = \sqrt{w^2 + x^2 + y^2 + z^2} . \quad (3)$$

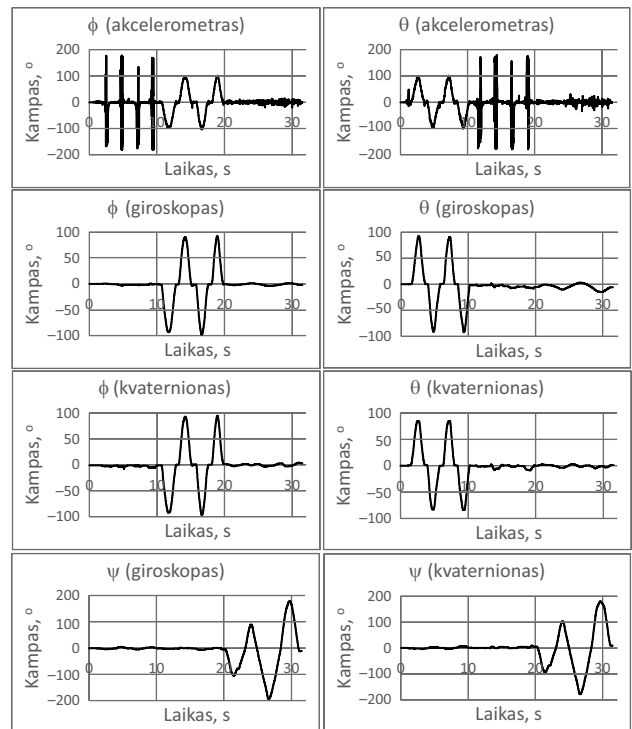
Šios išraiškos gauta vieneto vertė rodo, kad objekto orientacija trimatėje erdvėje yra matematiškai tiksli. Bendruoju atveju kvaternionas taikomas kompiuterinėje grafikoje, vaizdams apdoroti ir navigacijoje.

Galimas jutiklių duomenų sujungimo rezultatas dažnu atveju yra gravitacija, linijinis pagreitis (pozicijai įvertinti) ir orientacija (Eulerio kampai, rotacijų matricos, kvaternionai). Jau aptarta, kad, sujungiant skirtingų jutiklių duomenis, galima padidinti orientacijos įvertinimo patikimumą. Naudotas pasiūlytas kvaternionų sprendimas (Madgwick 2011) pritaikytas parinktų skaitmeninių jutiklių informacijai, norint sekti kameros orientaciją ir atvaizduoti virtualų turinį per papildytąją realybę. Pradinis algoritmo variantas buvo plėtotas kitų mokslininkų nepiltojamiems skraidymo aparatams (angl. *unmanned aerial vehicles*) (Euston *et al.* 2008). Praplėstas tas algoritmas (Madgwick 2011), kuriame įtraukta magnetinio lauko iškrypimų kompensacija.

Turint kvaternioną  $q$ , galima apskaičiuoti orientaciją pagal Eulerio kampus  $e_a = [\phi, \theta, \psi]^T$ :

$$e_a = \begin{bmatrix} \text{atan2}\left(2(q_2q_3 - q_0q_1), 2q_0^2 - 1 + 2q_3^2\right) \\ -\arctan\left(\frac{2(q_1q_3 + q_0q_2)}{\sqrt{1 - (2q_1q_3 + 2q_0q_2)^2}}\right) \\ \text{atan2}\left(2(q_1q_2 - q_0q_3), 2q_0^2 - 1 + 2q_1^2\right) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

čia  $T$  – transponuotas kampų vektorius. Kameros sekimo (kampų) eksperimentiniai rezultatai pateikti 7 pav.



7 pav. Įvertinti kameros tolygūs kampų pokyčiai  
Fig. 7. Estimation of gradual angle changes of a camera

Kampų skaičiavimai visais atvejais pritaikyti realiems jutiklių duomenims. Akcelerometro  $\phi$  ir  $\theta$  kampų skaičiavimai rodo, kad realūs matavimai yra paveikti triukšmo. Giroskopo atveju  $\phi$ ,  $\theta$  ir  $\psi$  kampų skaičiavimų rezultatai po tam tikro laiko nukrypsta, o kvaternionų sprendimas išlaiko stabilumą. Pagrindinė jutiklių sujungimo idėja – naudoti gravitacijos ir Žemės magnetinio lauko stebėjimo vektorius, gautus atitinkamai iš akcelerometro ir magnetometro, norint suskaičiuoti pakoreguotus giroskopo kampų įverčius ir pašalinti atsirandantį nuokrypį. Akcelerometru kompensuojamas nuokrypis skaičiuojant kampus  $\phi$  ir  $\theta$ , o magnetometru – kampas  $\psi$ . Įvertinti gautų

rezultatų patikimumą apskaičiuotas standartinis nuokrypis  $\sigma$  (angl. *standard deviation*) (5):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (5)$$

čia  $x_i$  – akcelerometro, giroskopo, magnetometro arba kvaterniono sprendimo įvertintų orientacijų rezultatai;  $i$  – atitinkamai  $x, y$  ir  $z$  ašis;  $\bar{x}$  – įvertintų orientacijų vidutinė vertė atitinkamai  $x, y$  ir  $z$  ašių atžvilgiu;  $n$  – matavimų skaičius. Orientacijų standartinių nuokrypių rezultatai  $\sigma$  pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Standartinių nuokrypių rezultatai

Table 1. Results of a standard deviation

	$a_\phi$	$a_\theta$	$\omega_\phi$	$\omega_\theta$	$\omega_\psi$	$q_\phi$	$q_\theta$	$q_\psi$
Esant tolygiems orientacijos pokyčiams								
$\sigma_T$	42,0	45,9	30,0	28,2	59,1	30,2	27,2	58,1
Esant atsitiktiniams orientacijos pokyčiams								
$\sigma_A$	75,4	74,3	66,2	197,2	73,1	66,1	38,1	61,7

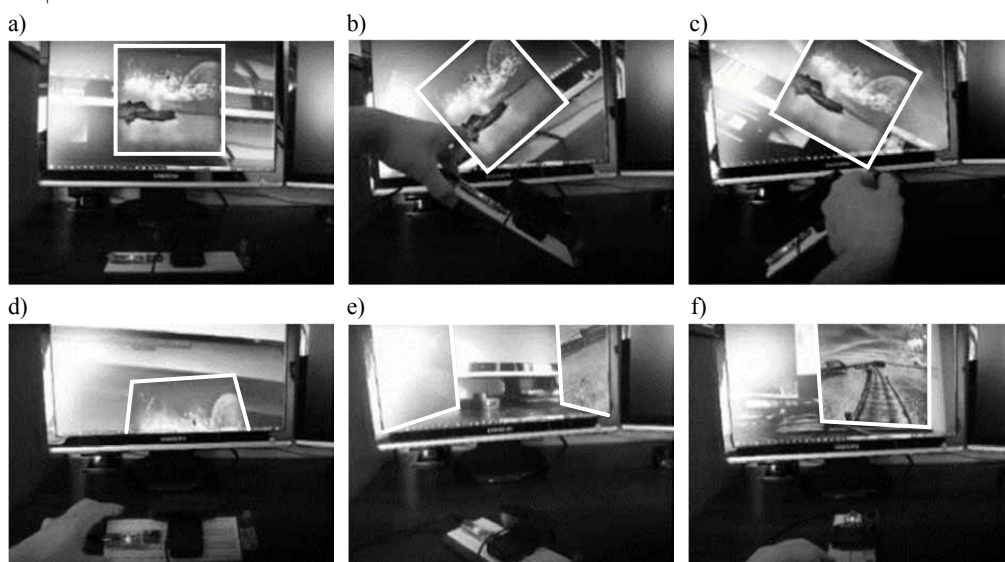
Pagal 1 lentelėje pateiktus rezultatus tiek tolygių, tiek atsitiktinių orientacijos pokyčių atveju beveik visų kampų standartinio nuokrypio rezultatai, naudojant kvaternionus, yra mažiausi. Mažesnė standartinio nuokrypio vertė rodo nedidelį duomenų pokytį nuo vidutinės vertės, todėl galima teigti, kad kvaternionų sprendimas patikimesnis nei kampų įvertinimas, naudojant atskirų jutiklių duomenis. Pagal tikslingus orientacijos pokyčius tik kampo  $\phi$  standartinis nuokrypis, naudojant giroskopą ( $\omega_\phi$ ), rodo geresnį rezultatą nei kvaterniono ( $q_\phi$ ) sprendimas.

Tokia situacija galima dėl palyginti trumpo  $\sim 30$  s eksperimento, todėl apskaičiuoti kampai nenukrypo nuo tikrųjų verčių. Per šį laiką tarpą nuskaityti 1989 duomenys. Kvaternionų atveju trūkumai panaikinti, todėl, priklausomai nuo įvertintų kameros orientacijų, patikimai pateikiamas virtualus turinys per bežymeklę papildytąją realybę (8 pav.).

Pateikta bežymeklę papildytosios realybės sistema nevykdo jokio vaizdų apdorojimo. Tokia jutiklinė sistema yra visiškai savarankiška, matavimai nėra ribojami nei judesių, nei specifinės aplinkos ar vietos. Ateityje numatoma kvaternionams pritaikyti Kalmano filtrą ir ištirti kitas galimas gradientinio nusileidimo bei Gauso ir Niutono optimizavimo metodų taikymo galimybes ne tik orientacijai įvertinti, bet ir pozicijai apskaičiuoti erdvėje, kuriant inovatyvias vartotojo sąsajas bei praplečiant papildytosios realybės technologijos sprendimus.

## Išvados

1. Atliekant orientacijos kodavimą su kvaternionais galima išvengti Eulerio kampų ir rotacijos matricių problemų. Kvaternionai yra stabilesni, be trūkumų nustato objektų orientaciją erdvėje  $x, y$  ir  $z$  ašių atžvilgiu.
2. Eksperimentiniai atskirų jutiklių ir sujungtų jutiklių duomenų orientacijų rezultatai įvertinti ir palyginti. Pagal atliktų eksperimentų ir skaičiavimų rezultatus nustatyta, kad, naudojant kvaternionų sprendimą, galima kompensuoti atskirų jutiklių trūkumus, padidinti įvertintų orientacijų tikslumą ir patikimumą.



8 pav. Bežymeklę papildytosios realybės sistema: a – pradinė kameros, mikrovaldiklio su jutikliais ir virtualaus turinio padėtis; b, c – kameros orientacija pagal kampą  $\phi$ ; d – kameros orientacija pagal kampą  $\theta$ ; e, f – kameros orientacija pagal kampą  $\psi$ ; virtualus turinys visomet išlaiko savo pradinę padėtį

Fig. 8. Markerless augmented reality system: a — initial camera, microcontroller with sensors and virtual content position; b, c — camera orientation according to angle  $\phi$ ; d — camera orientation according to angle  $\theta$ ; e, f — camera orientation according to angle  $\psi$ ; virtual content always holds its initial position

3. Pateiktu kameros sekimo sprendimu parodytas taikymas bežymeklėje papildytosios realybės sistemoje. Sprendimui visiškai netaikomi vaizdo apdorojimo metodai ir išlaikomas suderinamumas su atvaizduojamu turiniu be jokio pastebimo delsimo.

## Literatūra

- Bay, H., *et al.* 2008. SURF: Speeded up robust features, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)* 3(110): 346–359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>
- Bleser, G.; Stricker, D. 2008. Advanced tracking through efficient image processing and visual-inertial sensor fusion, in *Proceedings of Virtual Reality Conference*, 8–12 March, 2008, Los Alamitos, California, 137–144.
- Euston, M., *et al.* 2008. A complementary filter for attitude estimation of a fixed-wing UAV, in *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 22–26 September, 2008, Nice, France, 340–345.
- Hol, J.D., *et al.* 2006. Sensor fusion for augmented reality, in the *9th International Conference on Information Fusion*, 10–13 July, 2006, Florence, Italy, 1–6.
- Kanbara, M., *et al.* 2000. A stereo vision-based augmented reality system with an inertial sensor, in *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*, 2000, Munich, Germany, 97–100. <http://dx.doi.org/10.1109/ISAR.2000.880931>
- Lukosiunas, E., *et al.* 2011. An ultrasonic tracking method for augmented reality, in *Proceedings of the 17th International Conference on Information and Software Technologies*, 27–29 April, 2011, Kaunas, Lithuania, 27–29.
- Madgwick, S.O.H. 2011. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm, in *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 29 June – 1 July, 2011, Zurich, Switzerland, 1–27.
- Marins, J.L., *et al.* 2001. An extended Kalman filter for quaternion-based orientation estimation using MARG sensors, in *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (4)*, 23 October – 3 November, 2001, Maui, Hawaii, 2003–2011.
- Rosten, E.; Porter, R.; Drummond, T. 2010. Faster and better: a machine learning approach to corner detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 32(1): 105–119. <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2008.275>
- Sabatini, A.M. 2006. Quaternion-based extended Kalman filter for determining orientation by inertial and magnetic sensing, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 7(53): 1346–1356. <http://dx.doi.org/10.1109/TBME.2006.875664>
- Trawny, N.; Roumeliotis, S.I. 2005. *Indirect Kalman filter for 3D attitude estimation. A tutorial for quaternion algebra*. Multiple Autonomous Robotic Systems Laboratory. Department of Computer Science & Engineering Technical Report. 24 p.
- You, S. 2001. Fusion of vision and gyro tracking for robust augmented reality registration, in *Proceedings of the Virtual Reality Conference*, 13–17 March, 2001, Yokohama, Japan, 71–78.

## INTEGRATION OF SENSOR ORIENTATION DATA INTO AN AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

E. Artemčiukas, L. Sakalauskas

### Abstract

Currently, such microelectromechanical sensors as accelerometers, gyroscopes and magnetometers are the dominant sensors in mobile devices. The market of mobile devices is constantly expanding and focused on sensor integration process by adding supplementary functionality for the applications; therefore, it is possible to adapt these sensors for augmented reality technology solutions. Many augmented reality solutions are based on computer vision processing methods in order to identify and track markers or other objects. However, the main problem is chaotic environment, lighting conditions where object recognition and tracking in real-time becomes difficult and sometimes is an impossible process. This paper analyses possibilities to apply microelectromechanical sensors. Additionally, it investigates quaternion use for sensor data to estimate reliable and accurate camera orientation and represent virtual content in augmented reality technology.

**Keywords:** microelectromechanical sensors, orientation estimation, sensor data fusion, augmented reality technology.