

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIJOS KATEDRA

Baigiamasis magistro darbas
Archeologinių duomenų analizė.
Sukimo ašies radimas.

Atliko: II kurso magistrantūros studentas
Ramūnas Misiukevičius

Darbo vadovas
lekt. Valdas Rapševičius

Vilnius
2012

Turinys

Turinys.....	2
Anotacija.....	3
Summary.....	3
Įvadas.....	4
1. Metodika.....	5
1.1. Archeologinių duomenų tyrimas.....	5
1.2. Tyrimo priemonės.....	6
1.2.1. 3D skaitytuvas Konica Minolta Vivid 9i.....	6
1.2.2. Java technologijos.....	7
1.2.3. VRML.....	7
2. Analizės metodai.....	9
2.1. Objekto krypties nustatymas.....	10
2.1.1. Mažiausių kvadratų metodas (Standart Least Squares).....	10
2.1.2. Paprastasis krypties nustatymo metodas.....	11
2.1.3. Pradinės sukimo ašies radimas.....	12
2.2. Sukimo ašies radimo metodai.....	14
2.2.1. Apskritimų metodas.....	14
2.2.2. Normalių klasterių metodas.....	15
2.2.3 Artimų normalių klasterio metodas.....	17
2.2.4. Objekto angos lanko metodas.....	18
3. Archeologinių duomenų saugojimo ir analizės aplikacija.....	22
Išvados.....	26
Literatūros sąrašas.....	27
1. Priedas.....	28
2. Priedas.....	28
3. Priedas.....	29
4. Priedas.....	30
5. Priedas.....	30
6. Priedas.....	32

Anotacija

Pasaulyje sparčiai besivystančios informacinės technologijos (IT) neaplenkia ir archeologijos mokslo. Vis dažniau archeologai naudoja įvairias kompiuterines programas ne tik archeologinės medžiagos dokumentavimui, vaizdavimui ar rekonstrukcijai, bet ir žmonių veiklos, būties, gyvenimo aplinkos rekonstrukcijai ar modeliavimui.

Šis uždavinys reikalauja atlikti kelių etapų analizę ir išsiaiškinti radinių kilmę, tipą, originalumą ir paskirtį. Turint šią informaciją, galime daug sužinoti apie žmonių, kurie naudojami tais daiktais žinias, turėtus įrankius, papročius, emigraciją ir daug kitos informacijos. Žinių kiekis apie senovę priklauso nuo radinių ir mūsų gebėjimų juos analizuoti. Šiame darbe yra pristatomas vienas iš puodų šukių analizės metodų - sukimo ašies radimas. Tai yra pirmasis ir esminis tokio tipo radinių analizės etapas, nes nuo jo rezultatų priklauso kitos radinio analizės - profilio linijos radimas, simetriškumo tikrinimas, segmentacijos realizavimas, objektų tipologija, rekonstrukcija ir galiausiai - žmonių gyvenimo analizė. Klaidos šiame etape turi lemiamos reikšmės kitiems analizės etapams, o gautos žinios gali suklaidinti tiriant senovės žmonių kultūrą ir jų paplitimą bei migraciją.

Darbe yra aptariami sukimo ašies radimo metodai, jų privalumai ir trūkumai, pateikiami pavyzdžiai.

Summary

The world is rapidly developing information technology (IT) exist in archaeological science. Increasingly, archaeologists use various computer programs not only for documentation of archaeological material, or the depiction of reconstruction, but human activity, lifestyle, environmental reconstruction and modeling. This task requires a multi-step analysis of the findings and to clarify the origin of the type of originality and purpose. With this information, we can learn a lot about the people who used the objects of knowledge at the tools, customs, emigration, and much other information. Amount of knowledge about ancient artifacts and depends on our ability to analyze them. This paper has presented one of the pottery shards of methods of analysis – estimation of the axis of rotation. This is the first of its kind and an essential step in the analysis finds, because it captures the results of another analysis - Finding the profile lines, symmetry checks, realization of segmentation, object typology, reconstruction, and finally - an analysis of people's lives. Errors at this stage is critical for other steps in the analysis and the knowledge generated is likely to mislead the investigation of ancient human cultures and their distribution and migration. The paper discusses the rotation axis of the detection methods, their advantages and disadvantages, are examples.

Ivadas

Pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, yra randama labai daug archeologinių radinių, kurių didžiąją dalį sudaro įvairūs keraminiai dirbiniai: puodai, vazos, lėkštės ir pan. Visi šie indai buvo gaminami ant sukimo lėkštės. Siekiant gauti kuo daugiau informacijos apie rastus indus naudojusią žmonių buitį, taip pat apie juos gaminusių žmonių profesionalumą ir įgūdžius, turėtus įrankius, o taip pat apie žmonijos vystymąsi ir jos migracijas, kiekvieną radinį yra būtina aprašyti, išanalizuoti ir klasifikuoti. Anksčiau visa tai archeologai darydavo rankiniu būdu, tai yra: piešdavo radinius ant popieriaus, išmatuodavo naudodami specialius įrankius, atlikdavo gautų duomenų analizę ir patalpindavo į archyvą saugojimui. Archyvai yra naudojami informacijos apie analizuojamą vietovę ar laikmetį paieškai. Tokia radinių analizė užima labai daug laiko, o didėjant radinių skaičiui tampa tiesiog neįmanoma. Šiuo metu yra aktyviai ieškoma galimybių pritaikyti kompiuterinę techniką siekiant automatizuoti archeologų darbą. Kompiuterinės programos yra naudojamos radinių analizei, o archeologai, savo ruožtu analizuoja gautus rezultatus ir suveda juos į duomenų bazines, kurios užtikrina greitą analizės rezultatų paiešką.

Šiame darbe aptariamas sukimo ašies radimo metodas yra pirmasis indų šukių dokumentavimo etapas. Kiekvienas keraminis indas buvo gaminamas ant sukimo lėkštės, buvo simetrinis bei turėjo sukimo ašį. Tam tikrais atvejais indo gamyba galėjo vykti ir nenaudojant sukimo lėkštės (lipdoma iš kelių dalių) arba gaminamas indas nebuvo simetrinis dėl žiedžiaus neprofesionalumo. Tokius atvejus galima išaiškinti profilio linijos gavimo etape. Apskaičiavus sukimo ašį, yra brėžiama profilio linija keliose skirtingose objekto vietose, vis pasukant objektą pagal sukimo ašį. Gautas profilio linijas sudėjus vienoje plokštumoje labai gerai matomas lūžis, kur nėra simetriškumo.

Tikslui pasiekti buvo sukurta programinė įranga, kuri perskaito 3D skaitytuvo duomenų failą, randa pirminę šukės sukimo ašį ir ją vizualizuoja. Apie 3D skaitytuvą ir naudotas technologijas yra aprašoma pirmajame skyriuje. Taip pat čia aprašomas duomenų formatas, kuris yra paimamas sistemos iš skaitytuvo.

Antrame skyriuje aprašyti analizės metodai, kuriuos aprašė ir realizavo pasaulio mokslininkai. Dauguma analizės metodų suskirstomi į du etapus, tai objekto krypties nustatymas ir sukimo ašies radimas. Remiantis esamais metodais, aprašyti nauji siūlomi skaičiavimai jų tobulinimui. Atlikti ir aprašyti eksperimentai, siekiant įrodyti jų efektyvumą. Šio skyriaus ir viso darbo tikslas, sukurti aplikaciją, kuri rastų archeologinio objekto sukimo ašį naudojant aprašytuosius metodus.

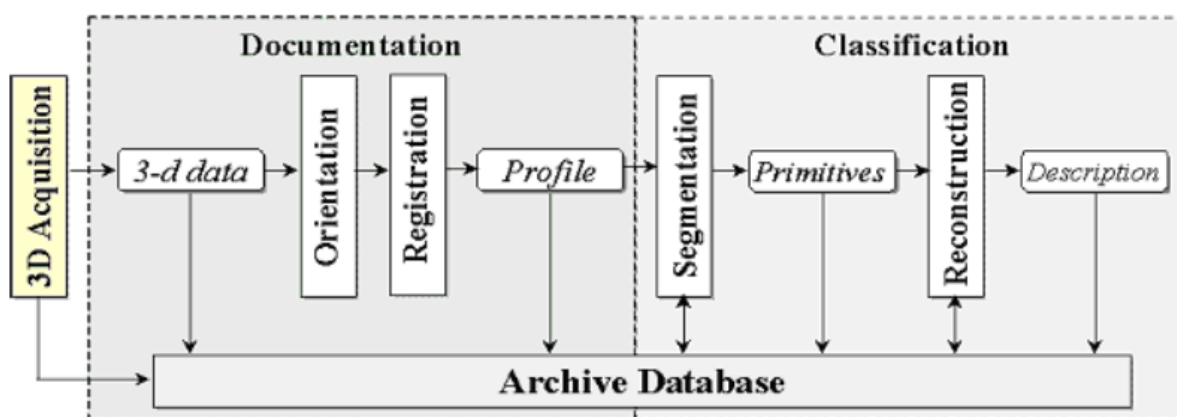
Pabaigoje bus aptartos išvados, įvertinti gauti rezultatai. Bus palyginami analizuoti ir siūlomi metodai, apibendrinti jų privalumai bei trūkumai. Aptartos tolimesnio darbo galimybės.

1. Metodika

Lietuvoje muziejų fondai yra sukaupę daug archeologinės medžiagos. Kiekvienas rastas objektas turi būti išanalizuotas, išmatuojami jo parametrai, tipologizuotas ir išsaugomas duomenų bazėje. Sukaupți duomenys yra naudojami informacijos paieškai, sugrętinimui ir platesnei istorinio konteksto analizei atlikti. Spartus kompiuterinių technologijų vystymasis neaplenkia ir archeologijos mokslo. Jos įgalina tą patį darbą, kurį archeologai anksčiau atlikdavo rankiniu būdu, padaryti daug greičiau ir tiksliau.

1.1. Archeologinių duomenų tyrimas.

Archeologinių duomenų tyrimas susideda iš dviejų pagrindinių dalių, tai dokumentacija ir klasifikacija. Šiame darbe aptariama dokumentacijos etapo dalis - sukimo ašies radimas. Tai apima objekto krypties nustatymą ir registravimą. 1 paveikslėlyje esanti schema pavaizduoja visus objekto apdorojimo etapus.



1 pav. Archeologinių radinių apdorojimo etapai.[KSM01]

Archeologinis radinys, šiuo atveju keraminė šukė, yra šio darbo tyrimo objektas. Pradžioje šukė yra kaip įmanoma geriau nuvaloma ir padedama prie 3D skaitytuvo. Jis nuskenuoja objektą ir įskaitmenina jo geometrinę formą. Skaitytuvas konvertuoja duomenis į VRML formatą. Vėliau jie perduodami į archeologinių duomenų analizės aplikaciją.

1.2. Tyrimo priemonės.

Duomenų gavimui ir analizei neapsieita be techninės ir programavimo įrangos. Duomenų gavimui į kompiuterio atmintį buvo panaudotas Konica Minolta Vivid 9i 3D skaitytuvas, apie jį plačiau aprašyta 1.2.1 skyriuje. Programavimui buvo naudojama Java kalba su atitinkamomis bibliotekomis ir programomis. Plačiau apie tai 1.2.2 skyriuje.

1.2.1. 3D skaitytuvas Konica Minolta Vivid 9i



2 pav. Konica Minolta Vivid 9i skaitytuvas.

3D skaitytuvas Konica Minolta Vivid 9i (2pav.) pasižymi tikslumu, patogumu bei lankstumu, kadangi turi didelę raišką ir greitį. Su juo galima nuskaityti įvairaus dydžio objektus, tam tereikia pasikeisti objektyvą. Ši savybė labai reikalinga archeologinių radinių skaitymui, kadangi randama įvairiausių dydžių, t.y. nuo didelių sveikų puodų iki mažų nuolaužų. Skenuojant labai mažą šukę, nuskaitymo tikslumas yra labai svarbus. Pasitaiko daug atvejų, kad iš šukės nepavyksta gauti sukimo ašies ar profilio linijos, todėl iš jos yra mažai naudos, kadangi negalima nei klasifikuoti, nei rekonstruoti. Todėl dideliu tikslumu siekiama bent truputį pagerinti dokumentacijos rezultatus. Šio skaitytuvo tikslumas yra +/- 50 mikrometrų. Jame yra integruota kamera, kurios pagalba galima tiksliai nustatyti lazerio kryptį ir atstumą iki objekto. Atstumą būtina žinoti, norint nustatyti objekto matmenis.

3D skaitytuvas turi savo programinę įrangą, kurios pagalba yra apjungiami keli paveikslėliai į vieną, sudarydami 3D objektą. Ši funkcija archeologiniuose duomenyse suteikia galimybę nuskaičius šukę iš visų pusių, naudojant skaitytuvo programą sujungti į vieną failą, o paskui vykdyti dokumentaciją. Tačiau taupant laiką daroma kiek kitaip. Pirmiausia objektas nuskaitymas iš vidinės ir išorinės pusių, skaičiavimai vykdomi su atskirais vaizdais. Tai gali būti

naudinga skaičiavimų tikrinimui, kadangi abiejų pusių duomenų rezultatai turi sutapti, nes tai yra tas pats objektas. Dažnai pasitaiko atveju, kad viena pusė būna labai pažeista, kas trukdo analizuoti duomenis, todėl pasirenkama ta pusė, kuri mažiau nutrinta ir geriau užsilaikiusi.

3D skaitytuvo programa suteikia galimybę ekportuoti duomenis į kelis atvaizdavimo formatus. Pradžioje 3D vaizdas yra sudaromas į specialų Konica Minolta formatą, vėliau yra galimybė eksportuoti į STL, DXF, OBJ, ASCII points, VRML. Kuriama aplikacija naudoja VRML formatą.

1.2.2. Java technologijos.

Java – objektiškai orientuota programavimo kalba, 1991 metais sukurta Džeimso Goslingo ir kitų Sun Microsystems inžinierių. Apie ją oficialiai paskelbta 1995 metų gegužės 23 d., o išleista tų pačių metų lapkritį [Wik1]. Java yra objektiškai orientuota, beveik nepriklausoma nuo naudojamos platformos kalba.

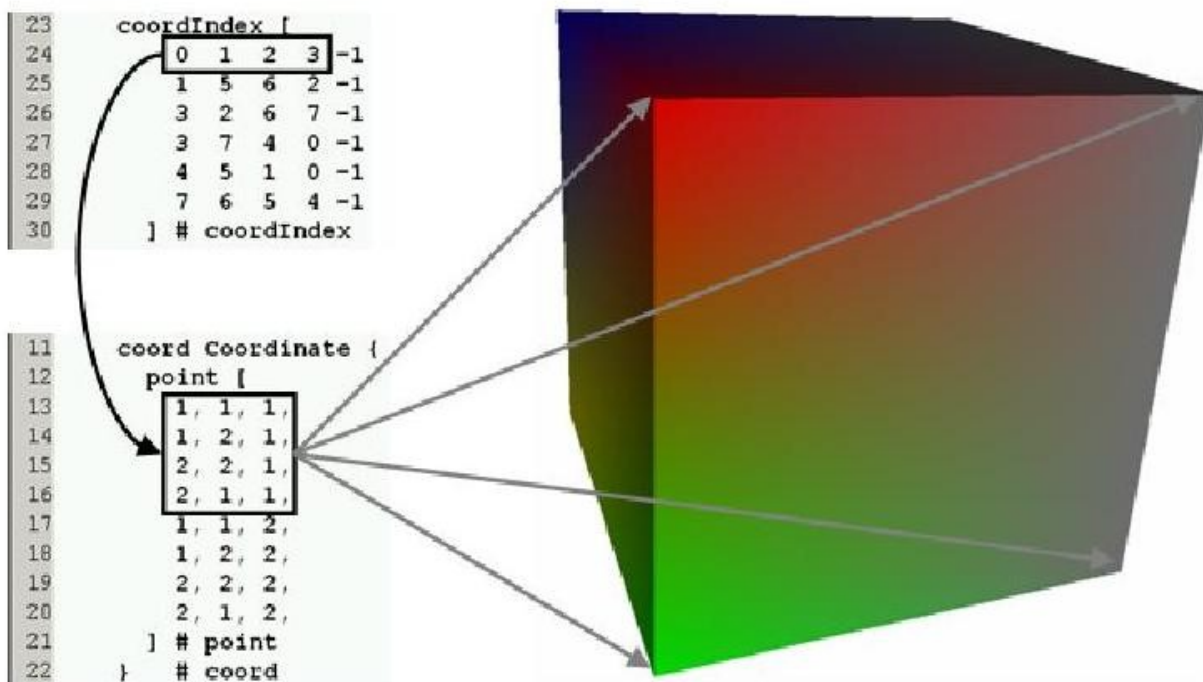
Archeologinės duomenų analizės aplikacijos kūrimui buvo naudojamas įrankis *NetBeans IDE*. Jis suteikia patogesnę valdymą duomenų bazei ir Java kodui sukurti. Taip pat su IDE galima sukurti vizualią ir patogiai naudojamą vartotojo sąsają. Duomenų nuskaitymui iš VRML formato yra naudojama standartinė biblioteka teksto skaitymui „java.io“. Išanalizavus duomenų formatą, buvo sukurtas įrankis duomenų paėmimui, kad būtų galima vykdyti tolimesnius analizės darbus.

Rezultatų atvaizdavimui naudojama standartinė „Applet“ klasė. Įvykdžius duomenų analizę, gauti rezultatai parodomi taškų ir linijų pavidalu.

1.2.3. VRML

Nuskaičius objektą 3D skaitytuvu gaunamas VRML failas. Šio failo sandara yra tokia:

- 1) taškų (viršūnių) koordinatės trimatėje erdvėje, kurie yra suindeksuoti;
- 2) naudojant taškų indeksus, yra sudaromi maži daugiakampiai, toliau vadinami objekto paviršiais, kurių viršūnės yra pirmame punkte aprašytos viršūnės;
- 3) kiekvieno taško arba paviršiaus normalės vektorių kryptys;
- 4) kiekvieno paviršiaus spalva, naudojant RGB koduotę.



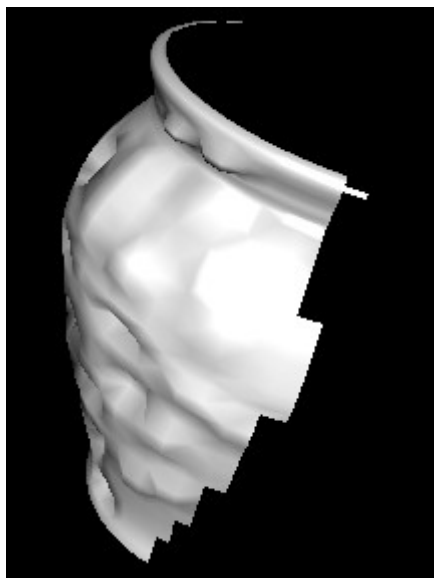
3 pav. VRML formato kubo pavyzdys [Mar03].

3 paveikslėlio apačioje yra taškų koordinatės, x, y, z. Viršuje yra taškų indeksai, kurie sudaro keturkampį, trys viršūnės reikštų trikampį. Paviršiai atskirti -1 simboliu. Čia yra paprasto kubo pavyzdys, todėl ir duomenų yra labai mažai. Pirmame priede esantis paveikslėlis rodo archeologinių objektų sintetinius duomenis. Jis turi 633 viršūnes ir 574 paviršius. Dauguma paviršių sudaryti iš keturkampių. Tikri duomenys iš 3D skaitytuvo turi dar mažesnius paviršius, jų paviršių didžioji dauguma sudaryta iš trikampių. Tikrų duomenų vaizdas matomas šeštame priede. Juose viršūnių yra 12240, o paviršių – 23093. Paviršių yra beveik dvigubai daugiau nei viršūnių, tai įrodo, kad paviršiai sudaryti iš trikampių. 3D skaitytuvu gauto failo sandara yra viršūnių koordinatės ir paviršių indeksai.

Iš VRML sandaros matyti, kad šiame formate gali būti saugomos kiekvieno paviršiaus arba kiekvieno taško normalės vektoriai, taip pat kiekvieno paviršiaus spalva. Tačiau analizei, konkrečiau sukimo ašies radimui, nereikia skaityti visų šių duomenų. Tam užtenka turėti tik kiekvieno objekto taško koordinatės ir taškų indeksus, kurie sudaro paviršius. Tai duomenys, kurie yra būtini.

Po duomenų nuskaitymo, visos reikalingos reikšmės yra programoje kintamųjų pavidale, kurie naudojami sukimo ašies radimo metoduose.

2. Analizės metodai.



4 pav. Bandyams naudotas archeologinis objektas (sukurtas programa Wings 3D).

Archeologinis objektas – geometriškai sudėtinga figūra, sudaryta iš viršūnių ir jais sudaromų paviršių aibių. Jie yra sudėtingi, kadangi objektų sienos yra nelygios arba įskilusios. Tokie šalutiniai archeologinių objektų bruožai priverčia naudoti sudėtingesnius geometrinius analizės metodus. Jais bandoma iš duomenų gauti svarbią informaciją objektų dokumentavimui, registravimui, klasifikavimui ir rekonstrukcijai.

Pirmasis, ir vienas iš sudėtingesnių archeologinių duomenų analizės etapų, tai sukimo ašies radimo automatizavimas. Mokslininkai iš įvairių šalių yra pasiūlę keletą metodų šiam tikslui pasiekti. Čekijos mokslų akademikas Radim Halir aprašė sukimo ašies radimo metodą, naudojant apskritimus [Hal99]. Ispanijos mokslininkai nagrinėja archeologinį objektą, kurio žinomas viršutinės dalies kontūras [MLC+00]. Austrių akademikas Srdan Tosovic savo diplominiame darbe analizuoja metodą, naudojantis šviesos spindulių ir šešėlių pagalba [Tos02]. Kitas austrių mokslininkas Hubert Mara savo darbe ieško objekto profilio linijos, naudodamas susikirtimo taškų tarp plokštumos ir objekto, kai plokštumoje guli objekto sukimo ašis [Mar03]. Keletas austrių mokslininkų, Martin Kampel ir Robert Sablatnig savo darbuose naudoja „Hough Inspired method“ [MB97] sukimo ašiai rasti [KS99], [KS99a]. Tie patys austrių mokslininkai H. Mara, M. Kampel ir R. Sablatnig pasiūlė sukimo ašies radimą, kai yra žinomas objekto dugnas [MKS99].

Šiame darbe bus išanalizuoti keletas mokslininkų darbų, jie realizuoti, įvardijami jų privalumai ir trūkumai, bandymai juos pakeisti, norint išgauti geresnius rezultatus. Taip pat bus pasiūlytas naujas metodas sukimo ašiai rasti, remiantis ispanijos mokslininkų pagrindinėmis idėjomis, kai yra žinoma archeologinio objekto viršutinė dalis.

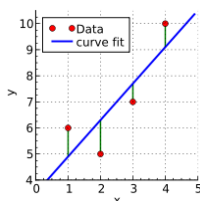
2.1. Objekto krypties nustatymas.

Sukimo ašies radimo metodas yra padalinamas į du etapus. Vienas iš jų - objekto krypties nustatymas. Remiantis mokslininkų literatūra, populiariausi yra du metodai, kurių pagalba galima nustatyti objekto kryptį. Jie abu naudos „Mažiausių kvadratų metodą (angl. Standard Least Squares)“ [Mil03].

2.1.1. Mažiausių kvadratų metodas (Standard Least Squares).

Mažiausių kvadratų metodo (Standard Least Squares) uždavinys yra rasti tiesę, einančią arčiausiai visų plokštumoje arba erdvėje esančių taškų. Šio metodo esmę lengvai suprantama iš 5 paveikslėlio esančių koordinatinių sistemoje pavaizduotų duomenų. Jame yra keturi taškai su žinomomis koordinatėmis. Naudodami paprastą tiesės $y = a + bx$ lygtį, galima gauti keturių tiesių lygtis, einančias per taškus. Reikia sudaryti lygčių sistemą, kad rastume nežinomuosius a ir b . Bet turėdami keturis taškus, gaunamos keturios lygtys ir du nežinomieji, kurių niekaip negalima suvesti į vieną sistemą. Taip ir turi būti, nes iš 5 paveikslėlio matyti, kad neįmanoma išvesti vienos tiesės per visus keturis taškus. Šio metodo esmė yra minimizuoti atstumus tarp visų taškų ir išvesti tiesę, kuri yra artimiausia visiems taškams. Kad tai įvykdyti, reikia suvesti visų tiesių kvadratų sumą. Gaunama tokia formulė: $S(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2$, kur $i=1 \dots n$. n yra taškų kiekis. Apskaičiavę šios formulės išvestines pagal du nežinomuosius, a ir b , gaunamos dvi lygtys ir du nežinomieji. Įstatę juos į sistemą galima apskaičiuoti a ir b reikšmes. Šios reikšmės įsistatomos į tiesės lygtį $y = a + bx$ ir taip gaunama tiesė, kuri eina arčiausiai visų duotų taškų (5 pav.).

Tai pavyzdys dvimatėje plokštumoje. Jeigu būtų paimta tiesės lygtis trimatėje erdvėje, tokius skaičiavimus būtų galima atlikti ir ten, tik tiesės lygtį reikėtų paimti su trimis koordinatėmis.

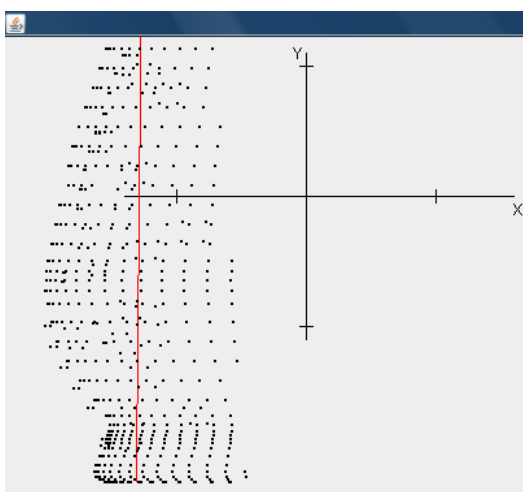


5 pav. Tiesė, apskaičiuota 'Standart least squares' metodu (Šaltinis: <http://en.wikipedia.org>).

2.1.2. Paprastasis krypties nustatymo metodas.

Naudojant austrų mokslininkų idėją, kurie sako, jog kiekvieno objekto paviršiaus normalės vektoriai kertasi vienoje erdvėje, vadinamoje Hough-space (šios erdvės iliustracija parodyta 6 paveikslėlyje, jeigu laikytume, kad tiesė a yra atitinkamas plotas 3D erdvėje). Tuomet galima rasti tiesę, kuri guli arčiausiai visų šių taškų naudojant „Mažiausių kvadratų metodą (angl. Standart Least Squares)“ [Mil03]. Plačiau apie šio metodo realizavimą aprašyta 2.1.1. skyriuje. Surasta tiesė yra laikoma pirmine (netikslią) sukimo ašimi.

Remiantis pastaruoju metodu, galima įvykdyti pirmąjį sukimo ašies radimo etapą – objekto krypties nustatymą. Skirtumas nuo pasiūlyto metodo yra tai, kad nėra ieškoma „Hough-space“, o surandama tiesė, einanti arčiausiai visų objekto taškų. Šio sprendimo privalumas yra tai, kad nereikia ieškoti kiekvieno objekto paviršiaus normalės vektorių, taigi sumažinamas duomenų kiekis, kartu mažėja ir skaičiavimų sudėtingumas. Naudojant mažesnius resursus yra nustatoma objekto kryptis, kad žinoti, kur yra objekto viršus ir kur apačia. Panaudojus ketvirtame paveikslėlyje (4pav.) esančius duomenis rezultatai nudžiugino, kadangi kryptis buvo rasta. Grafiškai rezultatas yra pavaizduotas 6 paveikslėlyje.



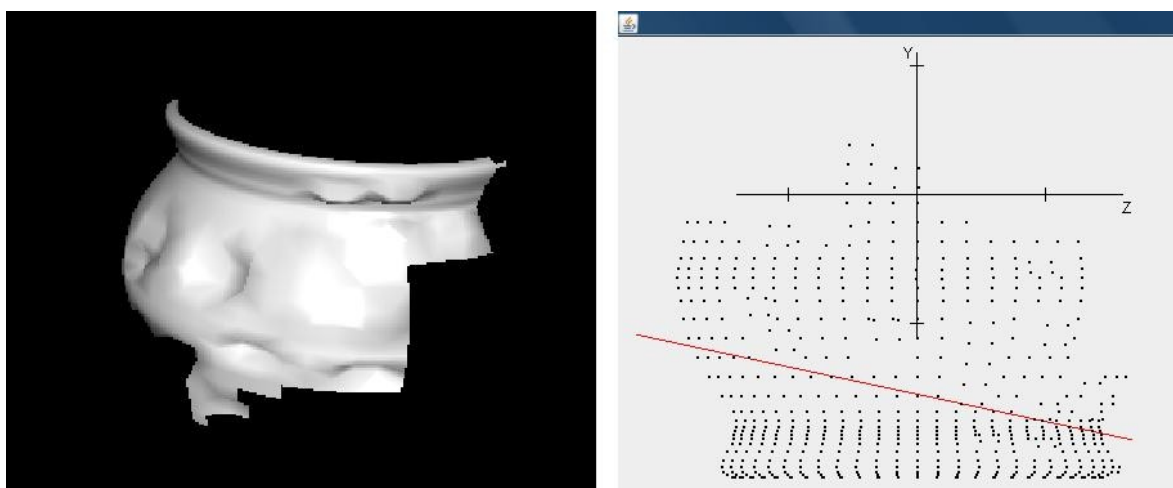
6 pav. Pirminė sukimo ašis.

Objekto krypties radimas gali būti prilygintas pirminės (netikslios) sukimo ašies radimui. Kitame etape – sukimo ašies radime, paimdami metodą, kuris naudoja apskritimus, galima rasti tikslią sukimo ašį. Plačiau metodas aprašytas 2.2.1. skyriuje.

Krypties nustatymui, buvo pasiektas labai geras greitis, kadangi visus objekto taškus reikia panaudoti tik vieną kartą. Metodo sudėtingumas yra $O(n)$, kur n yra objekto taškų skaičius.

Vykdam tolimesnius bandymus su kitais duomenimis paaiškėjo, jog šis metodas tinka ne visiems archeologiniams radiniams. Problema yra tada, kai archeologinis objektas neturi viso

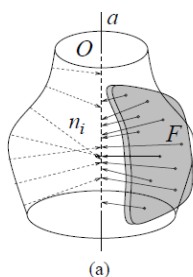
aukščio, o tik dalį jo. Kitą kartą buvo paimtas objektas, kurio aukštis yra mažas. Pirminė sukimo ašis gavosi visiškai netiksli, 7 pav.



7 pav. Kairėje sintetiniai duomenys iš VRML. Dešinėje – gautas rezultatas pirminės sukimosi ašies radimui.

Matyti, kad sukimo ašies kryptis tapo blogai nustatyta, todėl tolimesni skaičiavimai bus netikslūs. Daroma išvada, kad objektams, kurių aukštis yra didesnis nei plotis, šis metodas puikiai tinka, o jį naudojant galima sutaupyti laiko ir kompiuterio resursų.

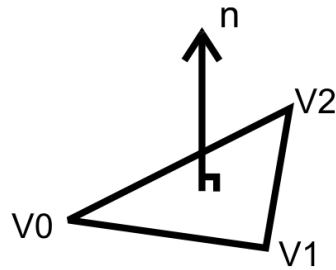
2.1.3. Pradinės sukimo ašies radimas.



8 pav. Idealaus atvejo pirminės sukimosi ašies radimas [Hal99].

Šį metodą aprašė čekijos mokslininkas Radim Halir [Hal99] pradinės sukimo ašies radimui. Vėliau darbo rezultatai panaudoti tiksliai sukimo ašiai gauti. Metodas naudoja kiekvieno objekto paviršiaus normalės vektorius. Juos reikia apskaičiuoti, kadangi iš 3D skaitytuvo *Konica Minolta Vivid 9i* gauti duomenys yra be normalės vektorių. Jie yra apskaičiuojami taip:

- paimamos vieno paviršiaus 3 viršūnės (9 pav).
- apskaičiuojamas paviršiaus normalės vektorius, naudojant formulę (1)



9 pav. Paviršius su normalės vektoriumi (šaltinis: <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>)

$$n = ((v1-v0) \times (v2-v0)) + ((v0+v1+v2)/3), \quad (1)$$

kur \times - yra vektorių vektorinė sandauga. Formulės antroji dalis perkelia vektorių link paviršiaus, kad būtų galima atvaizduoti tiesę, kuri yra statmena duotam paviršiui.

Radus paviršių normalės vektorius, yra daroma prielaida, kad jeigu objektas arba jo šukė būtų idealios formos, tuomet visų paviršių normalės turėtų kirsti vieną liniją, kuri yra archeologinio radinio sukimo ašis (8 pav). Tačiau realybėje šukės paviršius nėra lygus, todėl normalės vektoriai išsikraipo ir ne visos kerta vieną liniją. Jai gauti naudojamas „Mažiausių kvadratų metodas (Standart Least Squares)“ [Mil03]. Šiuo sprendimu nėra gaunama tiksli ašis, todėl ji pavadinta pradine sukimo ašimi.

Metodo duomenys yra apskaičiuoti pagal (1) formulę, tai paviršių normalės vektoriai. Mažiausių kvadratų metodui yra panaudojama atstumo funkcijos kvadratas tarp normalės vektoriaus n_i ir sukimo ašies a (2).

$$\min_a \sum_{i=1}^M d^2(n_i, a), \quad (2)$$

M yra normalės vektorių kiekis,

n_i – i -tasis normalės vektorius, aprašomas formule $n_i = X_i + t_i * N_i$, kur X_i yra duotas objekto taškas, N_i yra taško X_i normalė,

a – sukimosi ašis, aprašoma formule $a = X_0 + t_0 * N_0$, kur X_0 yra ašies taškas, N_0 yra ašies kryptis.

Atstumas $d(n_i, a)$ apskaičiuojamas pagal (3) ir (4) formules.

$$d(n_i, a) = \frac{(X_i - X_0) \odot (N_i \times N_0)}{\|N_i \times N_0\|}, \quad (3)$$

$$d(n_i, a) = \|(X_i - X_0) \times N_0\|. \quad (4)$$

simbolis \times reiškia vektorinę sandaugą, o \odot - skaliarinę sandaugą. $\| \cdot \|$ yra vektoriaus ilgis. (4) formulė naudojama tuo atveju, jeigu tiesės n_i ir a yra lygiagrečios.

Įstatę (3) ir (4) formules į (2), gaunama lygtis, kurioje nežinomieji yra X_0 ir N_0 . Apskaičiavus (2) formulės dalines išvestines pagal X_0 ir pagal N_0 , gaunamos dvi lygtys, iš kurių sudaroma sistema ir randami nežinomieji. Įstatę gautas reikšmes į formulę: $a = X_0 + t_0 * N_0$, gaunama tiesė, kuri ir bus objekto pradinė sukimo ašis.

2.2. Sukimo ašies radimo metodai.

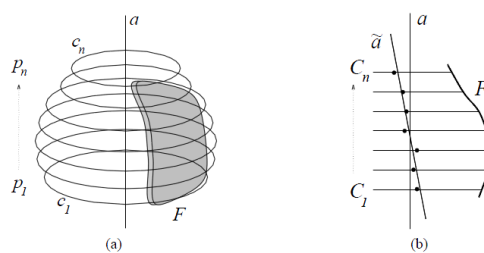
Sukimo ašies radimo metodais nustatoma tiksli ašis. Vieni būdai naudoja objekto krypties nustatymo metodus, kiti – ne. Šiame skyriuje bus aptartos mokslininkų darytos analizės metodai, tai pat, jais remiantis, bus pasiūlyti metodų papildymai.

2.2.1. Apskritimų metodas.

Vienas iš populiariesnių metodų, kuris yra pasiūlytas Čekijos mokslininko Radim Halir yra sukimo ašies radimas naudojant apskritimus [Hal99]. Tai vienas iš metodų, kuriam pradžioje reikia žinoti archeologinio objekto kryptį. Jis surandamas ankstesniuose skyriuose aprašytais būdais (2.1.2 arba 2.1.3). Tai metodas, kuris naudoja iteracijas. Po kiekvienos iteracijos yra tikslinama pradinė sukimo ašis, kol pokytis tampa labai nedidelis.

Metodas turi penkis žingsnius ir juos kartoja. Jie yra tokie:

- randama pradinė sukimo ašis a .
- randamos plokštumos p_i , kurios yra statmenos pradinei sukimo ašiai. Plokštumų kiekis yra nesvarbus, kadangi kuo daugiau bus plokštumų, tuo ilgiau bus skaičiuojama kiekviena iteracija, tačiau kuo bus jų daugiau, tuo yra didesnė tikimybė, kad reikės mažiau iteracijų.
- kiekvienai plokštumai p_i :
 - surandamas susikirtimas tarp plokštumos p_i ir archeologinio radinio F naudojant „*Hessian Normal Forms*“ [Mar03].
 - nubrėžiamas apskritimas, kuris yra artimiausias visiems rastiems susikirtimo taškams [Bul06].
 - randamas apskritimo centras.
- randama linija, kuri eina per visų apskritimų centro taškus. Ji apskaičiuojama naudojant „Mažiausių kvadratų metodą (Standart Least Squares)“ [Mil03].
- patikrinama, ar naujai gauta sukimo ašis daug skiriasi nuo pradinės. Jeigu skiriasi daugiau nei nustatytas slenkstis, vykdoma kita iteracija, pradedant nuo antro punkto. Jeigu $\| \tilde{a} - a \| > \varepsilon$, tai $a = \tilde{a}$ ir grįžtama į antrąjį žingsnį.



10 pav. Sukimo ašies radimas, naudojant apskritimus metodą.[Hal99]

Iš 10 paveikslėlio matyti, kaip yra nubrėžiami apskritimai ir kaip yra randama nauja sukimo ašis. Šis metodas yra geras tuo, kad gali tiksliai rasti ieškomą tikslą, tačiau trūkumas yra tai, kad jis naudoja pradinės sukimo ašies metodus. Netinkama pradinė sukimo ašis reikš, kad apskritimų metodas taip pat gaus blogus rezultatus.

2.2.2. Normalių klasterių metodas.

Remiantis pasaulio mokslininkų sukaupta patirtimi ir parašytais straipsniais, buvo bandyta sukurti metodą, kuris iš karto surastų tikslią sukimo ašį, nenaudojant krypties nustatymų metodų. Tam tikslui buvo panaudotas pradinės sukimo ašies radimo metodas, kuris aprašytas 2.1.3. skyriuje, o jo autorius čekų mokslininkas Radim Halir, kuris aprašė ir publikavo tai straipsnyje apie archeologinio objekto sukimo ašies radimą [Hal99]. Remiantis autoriaus idėjomis, bandyta sukurti metodą, kuris iš karto surastų ne pradinę, o tikslią sukimo ašį.

Bandydams naudojami sintetiniai duomenys *VRML* formatu. Tai vazos dalis, kurios paviršius sukurtas dirbtinai nelygus. Yra žinoma tai, kad jos tikroji sukimo ašis sutampa su y koordinačių ašimi. Duomenys kurti *Wings 3D* programa ir eksportuoti į *VRML* formatą. Tai matoma 4 paveikslėlyje. Tačiau tai yra visą objekto aukštį turintis archeologinis objektas. Žinant 2.1.2. skyriuje gautus rezultatus, tokių duomenų rezultatai gali visiškai skirtis nuo ne visą aukštį turinčių duomenų. Todėl panaudojus *Wings 3D* įrankį „nukerpama“ archeologinio objekto apačia ir paliekamas tik viršus. Pirmajame priede yra objekto atvaizdas su „nukirpta“ apačia. Priede gerai matomos objekto viršūnės ir paviršiai.

Pirmas žingsnis, kurio reikalauja, ir mokslininko metodas, ir šis, tai normalės vektorių radimas kiekvienam paviršiui. Jis apskaičiuojamas panaudojus (1) formulę iš 2.1.3. skyriaus. Tai atlikus, kiekvienas paviršius turės du taškus, paviršiaus centrą, kuris guli pačiame objekte, ir paviršiaus normalės vektoriaus taškas. Turėdami šiuos duomenis, gaunama tiesė, kuri statmena paviršiui. Šios tiesės, pasak autoriaus [Hal99], kertasi vienoje tiesėje, jeigu archeologinio radinio sienos būtų idealiai lygios. Tačiau realybėje idealiai lygaus radinio vargu ar įmanoma rasti. Sintetiniai duomenys įrodo, kad radinio nelygios sienos duoda kitus rezultatus ir normalės

vektoriai nesikerta vienoje tiesėje (2 priedas). Iš čia matyti, kad dauguma taškų kertasi y ašyje. Taip ir turėtų būti, kadangi tai yra sintetiniai duomenys ir yra žinoma, kad šio objekto tikroji sukimo ašis yra y koordinačių ašyje. Iš grafiškai gauto rezultato išvedama hipotezė, kad sukimo ašies gavimui reikia suvidurkinti visas esamas tieses, kad nuokrypis nuo realios sukimo ašies būtų kuo mažesnis.

Priešingai nei mokslininko naudotus atstumus tarp kiekvieno paviršiaus normalės vektorių ir menamos sukimo ašies, čia bus ieškoma artimiausių taškų (klasterių) tarp normalių. Kitas žingsnis yra kiekvienai paviršiaus normalės vektoriui surasti artimiausius taškus su visomis kitomis paviršių normalės vektorių tiesėmis. Tam panaudojamas metodas, kuris suranda trumpiausią atstumą tarp dviejų nelygiagrečių tiesių [Hob].

Tolimesnis darbas yra rasti gautų taškų vidurkį (jų bus vienu mažiau, nei objekto paviršių skaičius, todėl, kad yra atmetama nagrinėjama tiesė). Paskutiniai du žingsniai atliekami su kiekviena tiese. Rezultate yra gaunama taškų aibė, kurių kiekis lygus objekto paviršių skaičiui. Toliau panaudojė mažiausio kvadrato metodą (*Standart Least Squares*) [Mil03], yra apskaičiuojama tiesė, kuri tikimasi, kad bus objekto sukimo ašis. 3 priede parodytas rezultatas, kuris gautas realizavus šį metodą.

Rezultatas yra geresnis nei yra 2.1.2 skyriuje esančiame „Paprastajame krypties nustatymo metode“ su tais pačiais duomenimis, kadangi iš karto matyti, kad sukimo ašies kryptis yra gauta teisinga. Tačiau šio metodo tikslas buvo gauti iš karto tikslią sukimo ašį, kurios, bandymo metu, nepavyko išgauti.

Žinoma, šis metodas kuo puikiau tinka pradinės sukimo ašies nustatymui. Jeigu toliau būtų panaudotas apskritimų metodas, po kelių iteracijų būtų gaunama tiksli sukimo ašis. Trūkumas yra tai, kad taip skaičiuojant, nėra niekuo pagerintas čekų mokslininko aprašytas metodas [Hal99]. Duomenys naudojami tie patys, kadangi čia taip pat reikia apskaičiuoti kiekvieno paviršiaus normalės vektorius. Greitis taip pat nėra labai geras. Jo sudėtingumas yra $O(n^2)$, kur n yra objekto paviršių skaičius.

Tačiau galima tvirtinti tai, kad metodas yra pagerintas, yra surasta objekto kryptis, todėl verta jį panagrinėti plačiau, surasti jo trūkumus, kad toliau tobulinant, būtų galima išgauti geresnius rezultatus. Aiškinamasi kodėl, kaip tikėtasi, buvo negauta teisinga sukimo ašis iš karto, nenaudojant apskritimų metodo? Vėlgį, viską sugadina sudėtinga archeologinio objekto forma. Reikia atkreipti dėmesį į objekto viršutinę dalį - angą ir kaklelį. Apatinės dalies forma yra įgaubta, todėl visų normalės vektorių susikirtimo taškai bus objekto vidinėje pusėje. Tačiau viršutinė objekto dalis yra išgaubta, todėl tiesių susikirtimo taškai yra išorinėje objekto pusėje (matyti metodo rezultatuose, 3 priedas). Tai lemia visų normalės vektorių taškus, kadangi

kiekvienas taškas apskaičiuojamas naudojant visus kitus normalės vektorius. Antra priežastis, kodėl gaunami blogi rezultatai yra tai, kad objekto dalys yra išgaubtos arba įgaubtos horizontaliai ir vertikalčiai nevienodai. Ši objekto kontūro savybė yra nepalanki aprašytajam metodui, kadangi visi apskaičiuoti taškai išsidėstę vienoje srityje ir jie netgi yra arčiau nei y koordinačių ašis, kuri turėtų būti tikroji sukimo ašis. Tai įvyksta todėl, kad vertikalčiai įgaubtumas yra didesnis, nei horizontaliai.

Kad tai įrodyti buvo atliktas eksperimentas. Nuo sintetinių duomenų, kurie buvo naudojami šiam metodui, buvo „nukirpta“ viršutinė dalis. Tai buvo atlikta tam, kad visas objektas taptų įgaubtas. 4 priede matomas rezultatas, kuris įrodo sudėtingą objekto geometrinę figūrą. Dabar taškų yra daug mažiau išorinėje objekto pusėje.

2.2.3 Artimų normalių klasterio metodas.

Atsižvelgiant į praeito metodo rezultatus ir jo trūkumus, buvo pateiktas ir realizuotas nedidelis pakeitimas. Tikėtina, kad tai gali išspręsti dvi problemas dėl objekto sudėtingos struktūros. Šiuo atveju, bus skaičiuojami atstumai ne tarp visų normalių, o tik tarp pačių artimiausių.



11 pav. Objekto paviršius, kurio paviršiai sunumeruoti (Sukurtas su Wings 3D).

Pavyzdys 11 paveikslėlyje. Pradedama nuo paviršiaus centro koordinatės su numeriu 1. Jam ieškoma artimiausia kita centro koordinatė. Atstumų skaičiavimo metu yra gaunama, kad artimiausias taškas yra paviršiaus numeris 2 centro koordinatė. Abu paviršiai turi po apskaičiuotas tieses, kurios yra statmenos paviršiui. Šioms tiesėms yra randamas taškas, kuriame jos priartėja labiausiai viena prie kitos. Taip padaroma su kiekvienu paviršiumi ir gaunama aibė taškų. Panaudojus „Mažiausių kvadratų metodą (*Standart Least Squares*)“ [Mil03] gaunama tiesė, kuri remiantis hipoteze, turėtų būti sukimo ašis. Šis sprendimas buvo pasirinktas todėl, kad juo yra išvengiama vieno paviršiaus priklausomybė nuo kitų.

Rezultatai parodyti 5 priede. Iš jų matyti, kad dauguma taškų sutampa su y koordinačių ašimi, tai geras ženklas, kadangi yra žinoma, jog tikroji sukimo ašis yra y koordinačių ašis. Tačiau vistiek daug taškų lieka nutolę, todėl nors ir dar pagerinę „Normalių klasterio metodą“ tikslas nėra pasiektas. Vėl rasta tik pradinė sukimo ašis, nors tikslesnė nei praeituose metoduose, todėl

tikėtina, kad panaudojus apskritimų metodą, reikės mažiau iteracijų, kad būtų rasta tiksli sukimo ašis.

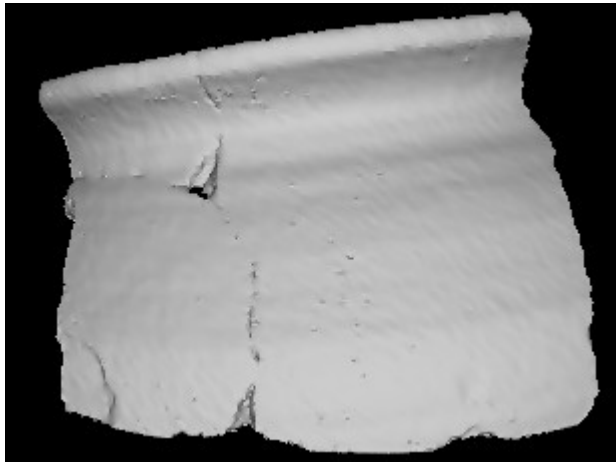
Analizuojant gautus rezultatus, bandoma nustatyti, kodėl gauti blogi rezultatai. Taip yra todėl, kad du analizuojami paviršiai ne visada paimami šalia vienas kito horizontaliai, o ir vertikaliai. Jeigu randamas arčiausias paviršius, kuris yra virš analizuojamo, tada jų arčiausias priartėjimo taškas klaidina kitus rezultatus ir todėl gaunama netiksli sukimo ašis.

Metodo rezultatai nebuvo tokie, kokių tikėtasi, tačiau buvo sukurtas geras metodas sukimo ašies kryptį nustatyti. Jis nereikalauja daug kompiuterio resursų ir skaičiuojamas gana greitai. Jo sudėtingumas yra $O(n)$, kur n yra paviršių skaičius. Praktiškai realizavus metodą, algoritmas visus objekto paviršius turi prabėgti du kartus: pirma – normalių suradimui, antra – artimiausio taško radimui.

2.2.4. Objekto angos lanko metodas.

Visada yra geriau pilnas automatizavimas nei dalinis, tačiau kartais, dalinis automatizavimas yra tikslesnis ir daro mažiau klaidų. Ispanijos mokslininkai yra pasiūlę metodą, kuris randa objekto viršutinę dalį, ją išanalizuoja ir remiantis gautais duomenimis randa objekto sukimo ašį [MLC+00]. Šio metodo trūkumas yra vienas – archeologinis radinys būtinai turi turėti nors mažą dalį viršutinės savo dalies. Tačiau pasak archeologų, radinio viršutinė dalis duoda daugiausiai informacijos apie jį ir kartais radus mažą nuolaužą be viršutinės dalies, jos neverta nei analizuoti, kadangi labai sunku gauti naudingos informacijos. Viršutinė objekto dalis yra svarbiausia, naudojantis ja yra įmanoma (naudojant atitinkamus metodus) „atspėti“ kokia galėjo būti jo apatinė dalis, taip pat, pagal šią dalį, galima pritaikyti kitą šukę manant, kad ji galėjo priklausyti tam pačiam objektui. Todėl verta analizuoti ir pritaikyti archeologams metodą, kuris yra pusiau automatinis. Šiame darbe jau paminėtas realus nuskenuotas radinys bus naudojamas analizuojant ir realizuojant metodą, kadangi jis turi savo viršutinę dalį (6 priedas).

Pirmasis žingsnis yra rasti visus paviršius, kurie yra pačiame angos pakraštyje. Mokslininkai savo darbe siūlo skenuojant objektą, padėti jį taip, kad į stalą būtų atremta objekto viršutinė dalis. Taip programiškai ieškant viršutinės dalies yra paprasčiau rasti ieškomus taškus, kadangi kryptis yra žinoma. Šiame darbe objektas ant stalo buvo pastatytas taip, kad jo viršutinė dalis būtų viršuje. Taip skenuojant nėra tiksliai nustatoma objekto kryptis, tik apytiksliai. 12 paveikslėlyje matyti, kad viršutinė dalis nėra horizontali, ji truputį pasvirusi.

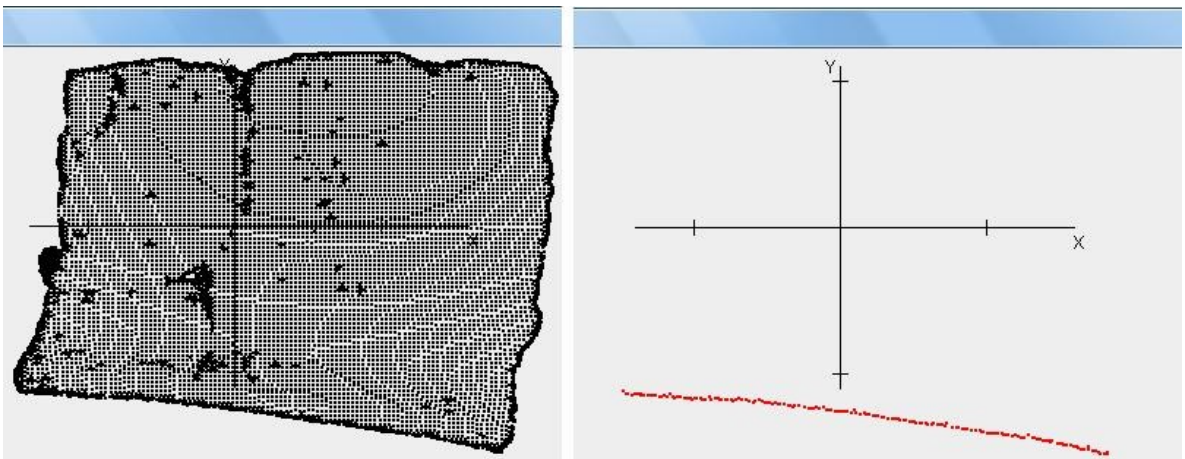


12 pav. Nuskenuto objekto kryptis.

Nuskenuto objekto viršūnės radimo žingsniai yra tokie:

- surandamas visų objekto viršūnių vidurinis taškas. Taip pat mažiausia ir didžiausia objekto viršūnių x reikšmė.
- surandamas didžiausias atstumas tarp artimiausiai esamų viršūnių.
- nuo centrinio taško einant po gautą atstumą antrame žingsnyje x koordinačių ašimi į dešinę, po to į kairę, kiekviename intervale ieškodami didžiausią y reikšmę turinčios viršūnės.
- Pašalinamos gautos viršūnės, kurių y koordinatė skiriasi nuo artimiausio taško daugiau nei apskaičiuotas atstumas antrajame žingsnyje.

Įvykdžius visus žingsnius gaunamas rezultatas, kuris pavaizduotas 13 paveikslėlyje.



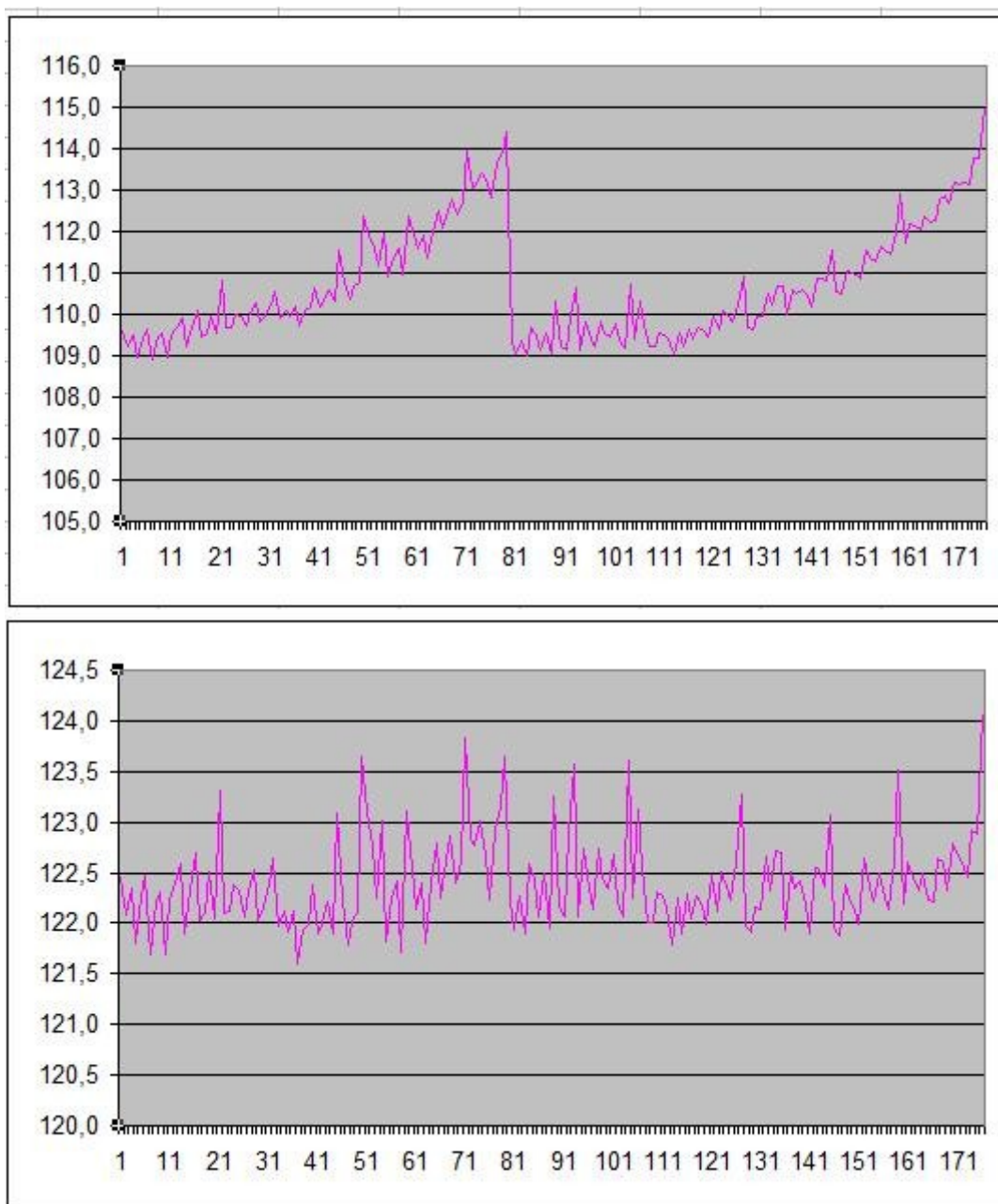
13 pav. Kairėje – nuskenuotas realus objektas. Dešinėje – objekto viršūnės, kurios yra pašiame objekto viršuje.

Iš 12240 objekto viršūnių atrenkamos yra tik 176, su kuriomis toliau vyks sukimo ašies radimo metodas. Tai labai sutaupys laiko, kadangi nereikės vis perskaičiuoti didelio kiekio viršūnių.

Kitas skaičiavimo etapas yra iš gautų viršūnių aibės surasti apskritimo centrą. Apskritimo briauna turi labiausiai tikti esamoms viršūnėms. Apskritimo centras randamas naudojant David Eberly aprašytu metodu, kurį publikavo straipsnyje apie geometrinių formų radimą, kurios labiausiai tinka duotiems taškams [Ebe99]. Jis savo darbe remiasi „*Least Squares*“ metodu, kuriame naudoja dalines išvestines. Centro koordinatė randama iteracijų būdu vis tikslinant rezultatą (pradinė centro koordinatė yra visų duotųjų viršūnių vidurkis), kol naujai gauta reikšmė yra lygi arba mažesnė už nustatytą slenkstį ε . Slenkstis apskaičiuojamas pagal (5) formulę:

$$\varepsilon = |(X_{prev}+Y_{prev}+Z_{prev})-(X+Y+Z)| \quad (5)$$

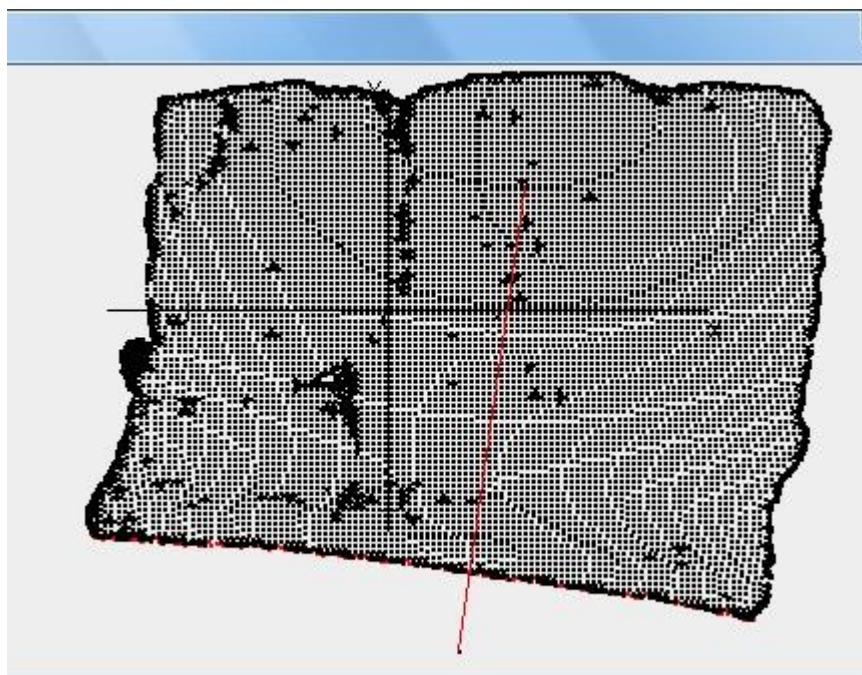
X_{prev} , Y_{prev} , Z_{prev} yra centro koordinatės prieš tai esančios iteracijos, o X , Y , Z – centro koordinatė, apskaičiuota dabartinėje iteracijoje. Symbolis $| \cdot |$ reiškia, kad tai yra absoliuti reikšmė. Slenksčio reikšmė ε nustatoma atlikto eksperimento metu. 14 paveikselyje yra dvi diagramos. Abscisių ašyje yra sunumeruoti paviršiai, o ordinačių ašyje atstumai tarp rasto apskritimo centro koordinatės ir kiekvienos viršūnės. Viršutinė diagrama, kai $\varepsilon = 0,1$, o apatinė, kai $\varepsilon = 0,01$. Matyti, kad viršutinėje diagramoje yra blogai nustatytas apskritimo centras, kadangi atstumas didėja ir kyla aukštyn. Viduryje staigų kritimą lemia tai, kad viršūnės sąrašė išdėstytos nuo centro iki vieno, paskui iki kito krašto pagal x ašį. Apatinėje diagramoje su $\varepsilon = 0,01$ matyti, kad rezultatas geras, kadangi atstumai pasiskirstę tolygiai, nėra aukštėjančios ar žemėjančios amplitudės. Taškų atstumų skirtumą lemia objekto paviršiaus nelygumas.



14 pav. Atstumų tarp apskritimo centro koordinatės ir kiekvienos duotos viršūnės diagramos. Viršuje $\varepsilon = 0,1$, apačioje $\varepsilon = 0,01$.

Kai $\varepsilon=0,01$, su analizuojamais duomenimis apskritimo centro koordinatė konverguoja po 421 iteracijos. Rasta centro koordinatė yra taškas, per kurį eis objekto sukimo ašis.

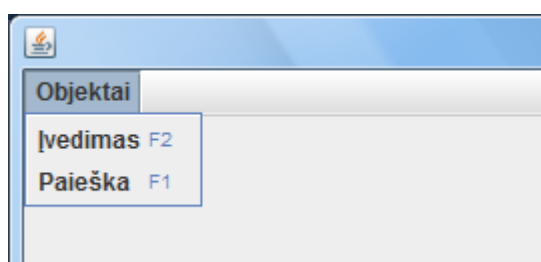
Kitas žingsnis yra rasti sukimo ašies tikslią kryptį, geometriškai kalbant – rasti tiesės krypties koeficientą, kurį žinant, galima nubrėžti tiesę, kuri būtų objekto sukimo ašis. Kryptis randama nustatius visų galimų trikampių, iš duotų viršūnių vidurkį. Rezultatas matomas 15 paveikslėlyje, kuriame yra objekto taškai ir rasta sukimo ašis. Vizualiai matyti, kad sukimo ašis yra teisingoje padėtyje.



15 pav. Archeologinio objekto rasta sukimo ašis (sukimo ašis pažymėta raudona spalva).

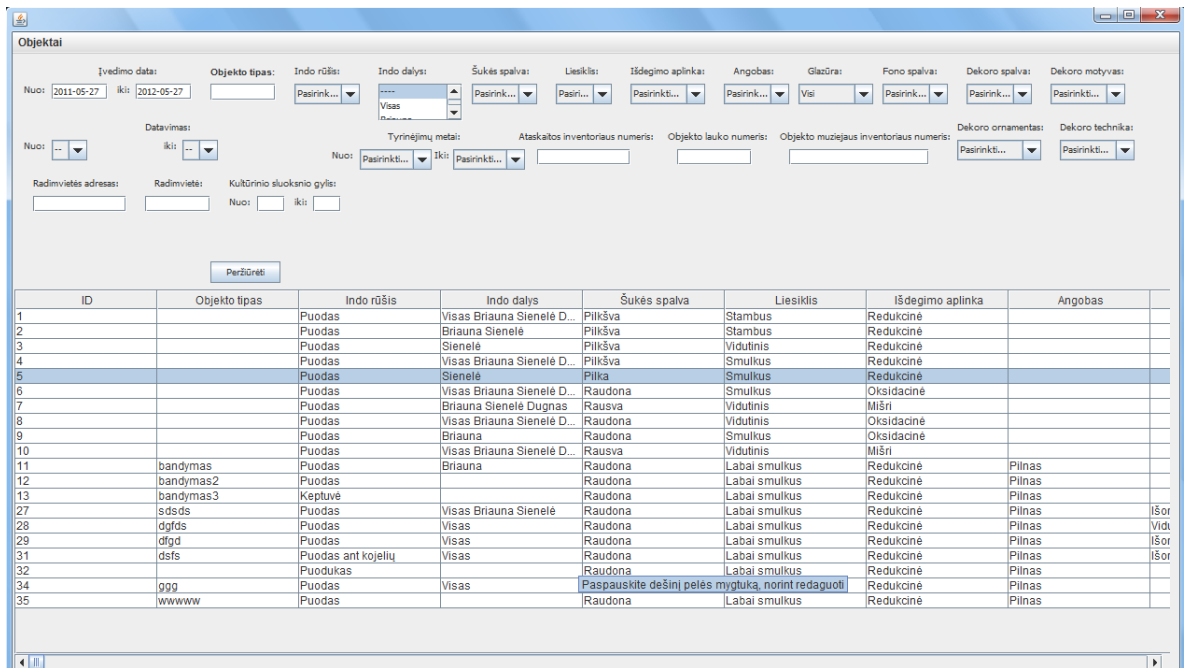
3. Archeologinių duomenų saugojimo ir analizės aplikacija.

Sukimo ašies aplikacijos galimybės šiuo metu yra įvesti ir kaupti archeologinius duomenis (matmenis, radimo vietą, spalvą ir t.t.), taip pat yra galimybė, naudojant filtrą susirasti reikiamus duomenis. Nuo ankstesnės versijos, kuri aprašyta bakalauro baigiamajame darbe [Mis08], skiriasi langų išdėstymas, dabar įvedimas yra daug patogesnis. Atsirado galimybė saugoti paveikslėlius. Lango viršuje sukurtas meniu punktas „Objektai“, kurį paspaudus iškrenta du pasirinkimai: „Įvedimas“ ir „Paieška“ (16pav).



16 pav. Archeologinės aplikacijos meniu punktai.

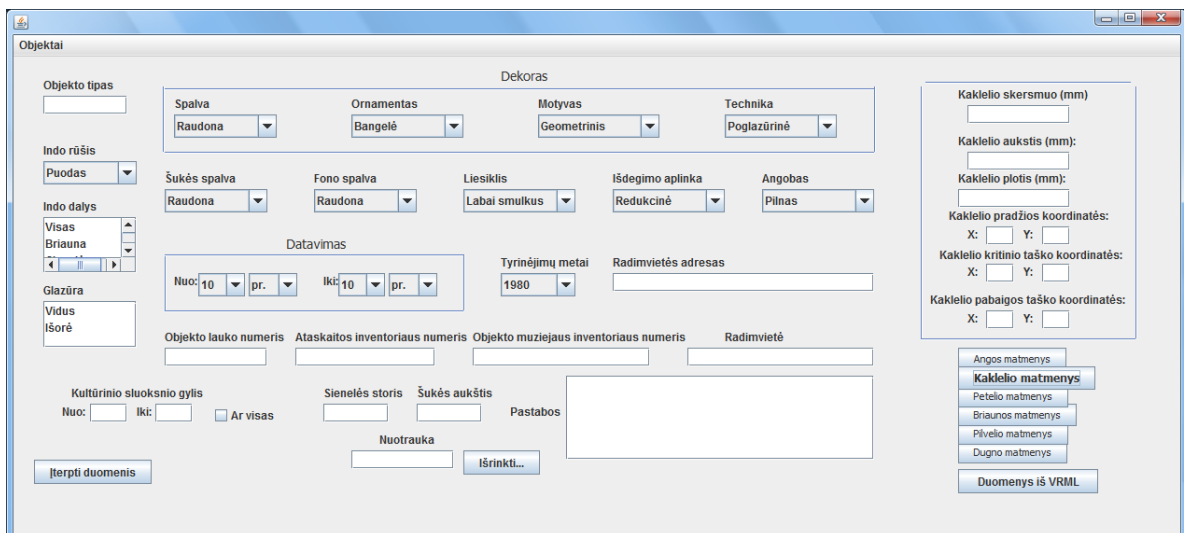
Pasirinkus meniu punktą „Paieška“ arba paspaudus F1, atsidaro duomenų paieškos langas (17pav). Paieška yra sukurta konsultuojantis su archeologais, pagal kuriuos kriterijus jiems reikalinga filtruoti duomenis.



17 pav. Archeologinės aplikacijos paieškos langas.

Nuo ankstesnės versijos padarytas patogesnis paieškos peržiūros langas. Paieškos filtrai ir rezultatai sudėti viename lange. Yra intervalinė paieška pagal įvedimo datą. Paieška veikia taip, kad jeigu neįvedame jokių paieškos kriterijų, išveda visą informaciją, kuri yra duomenų bazėje.

Kitas meniu punktas „Įvedimas“. Įėjus, arba paspaudus F2 atsidaro duomenų įvedimo langas (18 pav.).

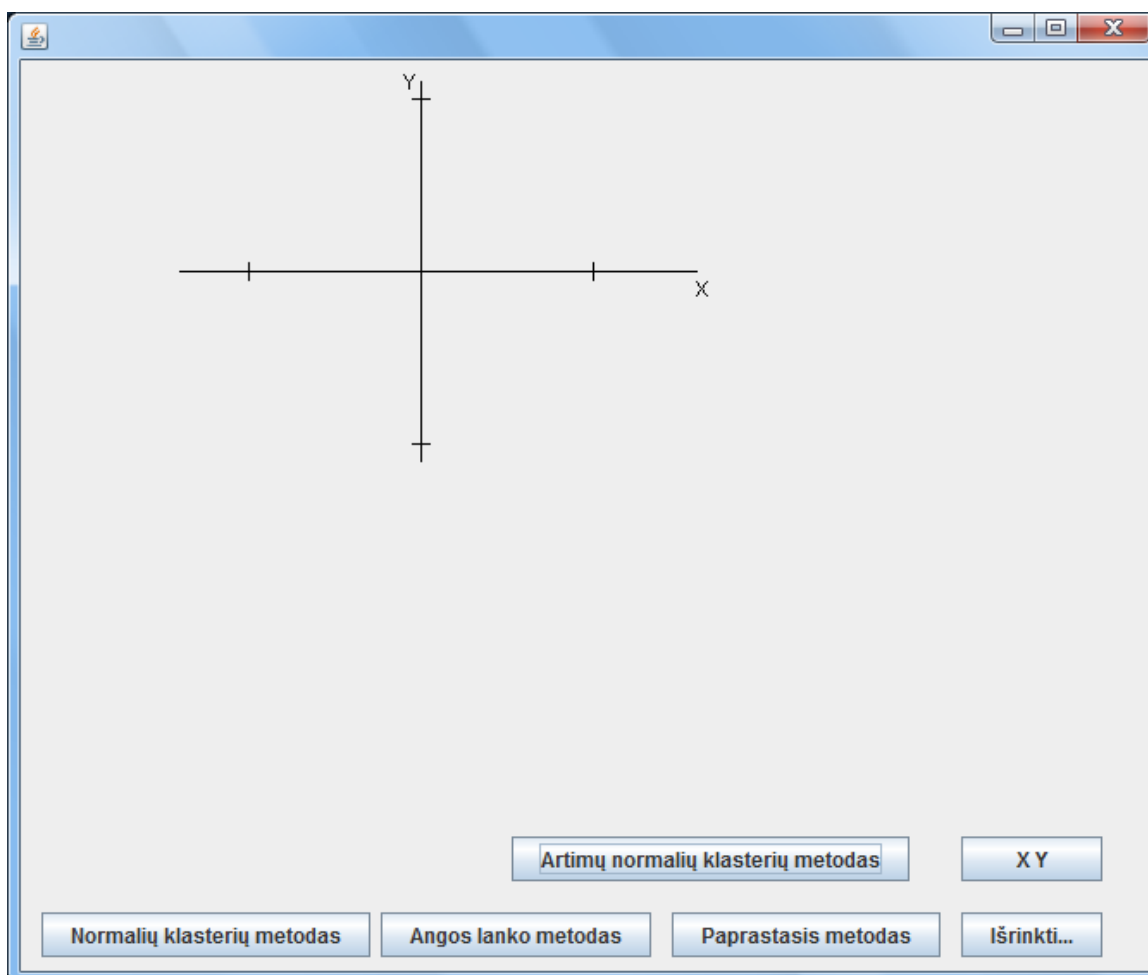


18 pav. Archeologinės aplikacijos duomenų įvedimo langas.

Įvedama informacija yra aptarta su archeologais, kad nebūtų nereikalingų duomenų. Dešinėje lango pusėje yra mygtukai: „Angos matmenys“, „Kaklelio matmenys“, „Pilvelio matmenys“ ir t.t. Tai yra archeologinio objekto indo dalys. Paspaudus bet kurį iš šių mygtukų atsidaro

atitinkamų duomenų įvedimo langas (18 pav atidaryti kaklelio matmenys). Yra galimybė įvesti objekto nuotrauką. Kad neapkrauti duomenų bazės, nuotrauka keliamą į kompiuterio atitinkamą direktoriją, o duomenų bazėje įsirašo tik failo pavadinimas. Jis yra pakeičiamas, kad neatsirastų vienuodų. Paspaudus ant nuotraukos nuorodos, galima ją peržiūrėti. Duomenų bazę pritaikyta tolimesniems darbams - rekonstrukcijai. Yra varnelė „Ar visas“. Jeigu varnelė uždėta, įsirašo papildomas požymis, kad įvedamas radinys yra sveikas ir nesutrūkęs. Jeigu varnelė nuimta, požymis neužsideda, ateities darbuose tai reikš, kad šiam radiniui galima ieškoti atitikimų ir ieškoti jį atitinkančią kitą indo dalį.

18 paveikslėlio dešinėje, apačioje yra mygtukas „Duomenys iš VRML“. Jį paspaudus atsidaro naujas langas su koordinačių ašimis (19 pav). Jame bus atvaizduojami nuskaityti iš VRML duomenys.



19 pav. Duomenų nuskaitymo, atvaizdavimo ir analizės langas.

Paspaudus mygtuką „Išrinkti...“, atsidarys failo parinkimo langas. Išsirenkamas .wrl failas ir spaudžiama „Open“. 19 paveikslėlio lange atsiras objekto viršūnės, nuskaitytos iš VRML failo. Nuskaityti ir atvaizduoti duomenys matomi 6 priede. Duomenų analizė vyksta tada kai

paspaudžiami mygtukai „Paprastasis metodas“, „Normalių klasterių metodas“, „Artimų normalių klasterių metodas“ ir „Angos lanko metodas“. Po šių mygtukų paspaudimų yra randamos objektų sukimo ašys aprašytos ankstesniuose skyriuose. Gauti rezultatai atvaizduojami, tai galima pamatyti 15 paveikslėlyje ir prieduose.

Gautą vaizdą galima vartyti pagal XY, XZ ir YZ ašis. Tai daroma paspaudus mygtuką XY. Mygtuko pavadinimas reiškia, kurių koordinačių ašių atžvilgiu yra rodomas vaizdas.

Išvados

Sukurta archeologinė aplikacija, gebanti rasti sukimo ašį, naudojant „Paprastąjį metodą“, „Normalių klasterių metodą“, „Artimų normalių klasterių metodą“ ir „Angos lanko metodą“. Tai nauji siūlomi metodai, kurie buvo realizuoti remiantis mokslininkų idėjomis ir darbais. Padaryta archeologinių duomenų analizė sukimo ašiai rasti. Aptartas archeologinių objektų figūrų sudėtingumas, atlikti bandymai, norint juos pagerinti greičiu ir sudėtingumu. Prieita išvada, kad sukimo ašies radimo rezultatai labai priklauso nuo archeologinio objekto figūros. „Paprastajam metodui“ tinka archeologiniai objektai, turintys visą aukštį. Jo skaičiavimo greitis ir sudėtingumas yra $O(n)$. „Normalių klasterių metodui“ labiau tinka archeologiniai radiniai, kurie neturi kaklelio, tai yra visos objekto sienos yra išgaubtos. „Artimų normalių klasterio metodui“, priešingai nei kitiems, tinka daugelis figūrų, tačiau kaip ir visi prieš tai esantys, jis nėra labai efektyvus, kadangi tai yra tik pirminės sukimo ašies radimo metodai. Po jų naudojimo reikia tikslinti ašį naudojant kitus metodus, pavyzdžiui „Apskritimų metodą“. „Angos lanko metodas“ randa tikslią ir ganėtinai greitai sukimo ašį, kadangi nenaudoja visų duomenų, bet kad jį naudoti reikia, kad objektas turėtų viršutinę dalį. Daugelis metodų reikalauja „Mažiausių kvadratų metodo (Standart Least Squares)“. Jis naudojamas surasti tiesę, apskritimą arba kitą geometrinę figūrą, kuri labiausiai tinka duotiems taškams. Visi šie metodai realizuoti ir veikia archeologinėje aplikacijoje, kurioje taip pat yra archeologinių duomenų įvedimas ir paieška.

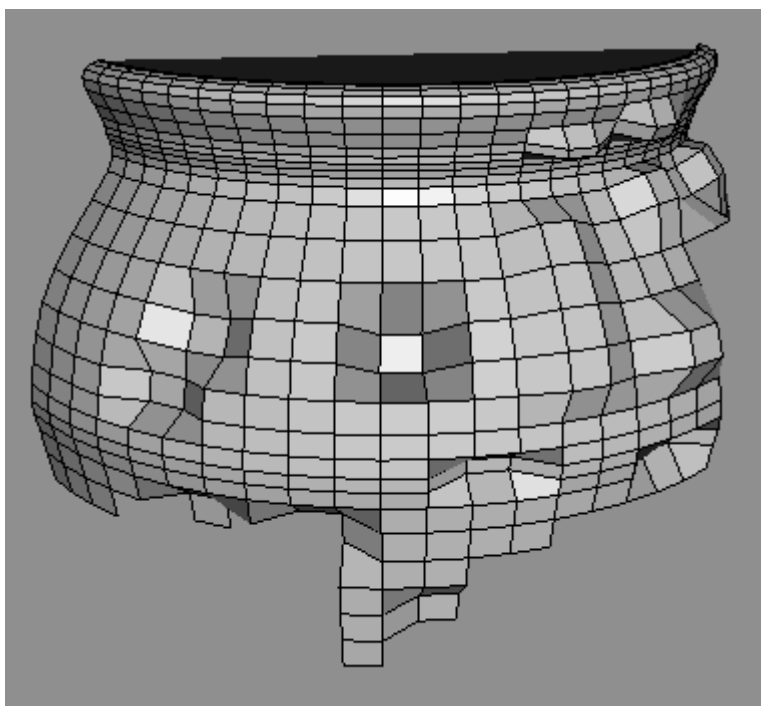
Tyrimams naudoti sintetiniai duomenys sukurti programa *Wings 3D*. Taip pat buvo naudojama šukė, kuri nuskenuota 3D skaitytuvu *Konica Minolta Vivid 9i*.

Literatūros sąrašas.

- [1] http://members.tripod.com/~Paul_Kirby/vector/Vplane.html
- [Hob] A.J.Hobson „Vector equations of straight lines“ Skyrius. 8.5.6 THE SHORTEST DISTANCE BETWEEN TWO SKEW STRAIGHT LINES
- [Wik1] Wikipedia „Java (kalba)“ [http://lt.wikipedia.org/wiki/Java_\(kalba\)](http://lt.wikipedia.org/wiki/Java_(kalba))
- [Hal99] Radim Halir „An automatic estimation of the axis of rotation of fragments of Archaeological pottery: a multi-step model-based approach“.
- [Mil03] Steven J. Miller „The Method of Least Squares“.
- [Wik12] Wikipedia „Linear regression“ http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression .
- [MLC+00] Francisco Javier Melero, Alejandro J. Leon, Francisco Contreras, Juan Carlos Torres. „A New System for Interactive Vessel Reconstruction and Drawing“ 2000m.
- [Tos02] Srdan Tosovic „Adaptive 3D Modeling of Objects by Combining Shape from Silhouette and Shape from Structured Light“ 2002
- [Mar03] Hubert Mara „Automated Profile Extraction of Archaeological Fragments“ 2003m.
- [KS99] Martin Kampel, Robert Sablatnig „On 3d Modelling of Archaeological Sherds“ 1999m.
- [MKS99] H. Mara, M. Kampel, R. Sablatnig. „Preprocessing of 3D-Data for Classification of Archaeological Fragments in an Automated System“ 2002m.
- [KS99a] Martin Kampel and Robert Sablatnig. „Range Image of Rotationally Symmetric Objects“
- [KM03] M. Kampel and F. J. Melero. „Virtual Vessel Reconstruction from a Fragment’s Profile“
- [BM97] S. Ben Yacoub, C. Menard. „Robust Axis Determination for Rotational Symmetric Objects out of Range data“ 1997m.
- [Bul06] R. Bullock. „LeastSquares Circle Fit“ 2006m.
- [KSM01] M. Kampel, R. Sablatnig, H. Mara. „Automated Documentation System for Pottery“.
- [Ebe99] David Eberly. „Least Squares Fitting of Data“. 5 skyrius. „Fitting a Circle to 2D Points“ 1999m.

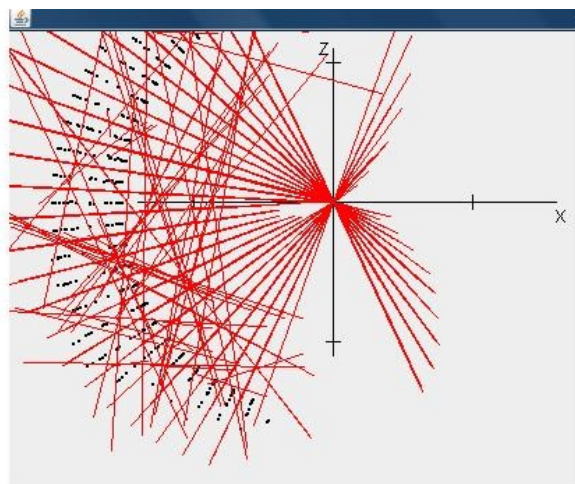
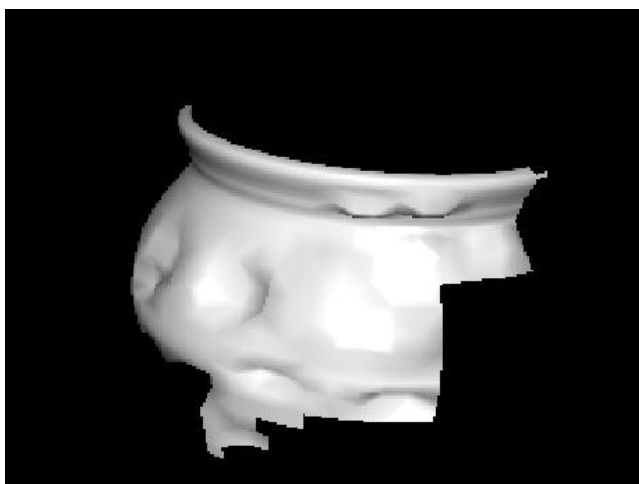
[Mis08] Ramūnas Misiukevičius. „Archeologinės keramikos objektų rekonstrukcijos ir modeliavimo sistema“. 2008m.

1. Priedas.



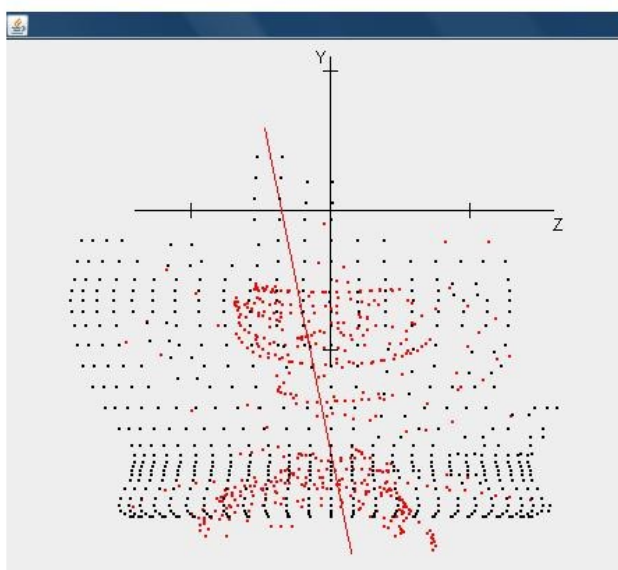
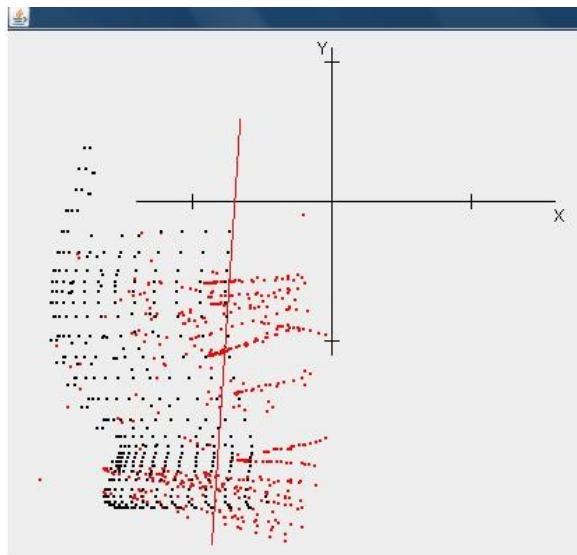
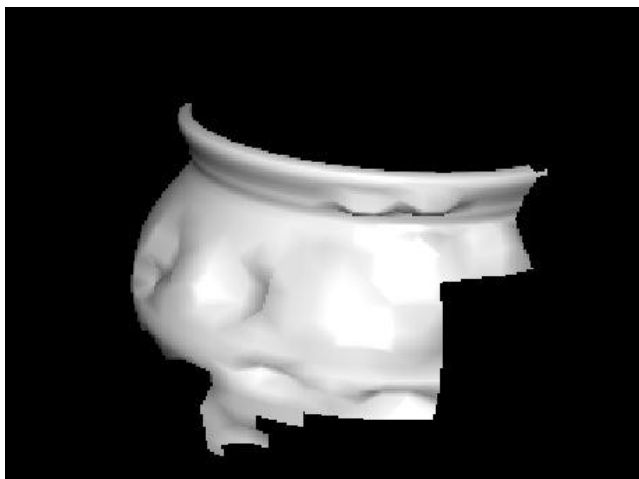
Objektas, kuriame matomas kiekvienas paviršius (Sukurtas naudojant Wings 3D).

2. Priedas.



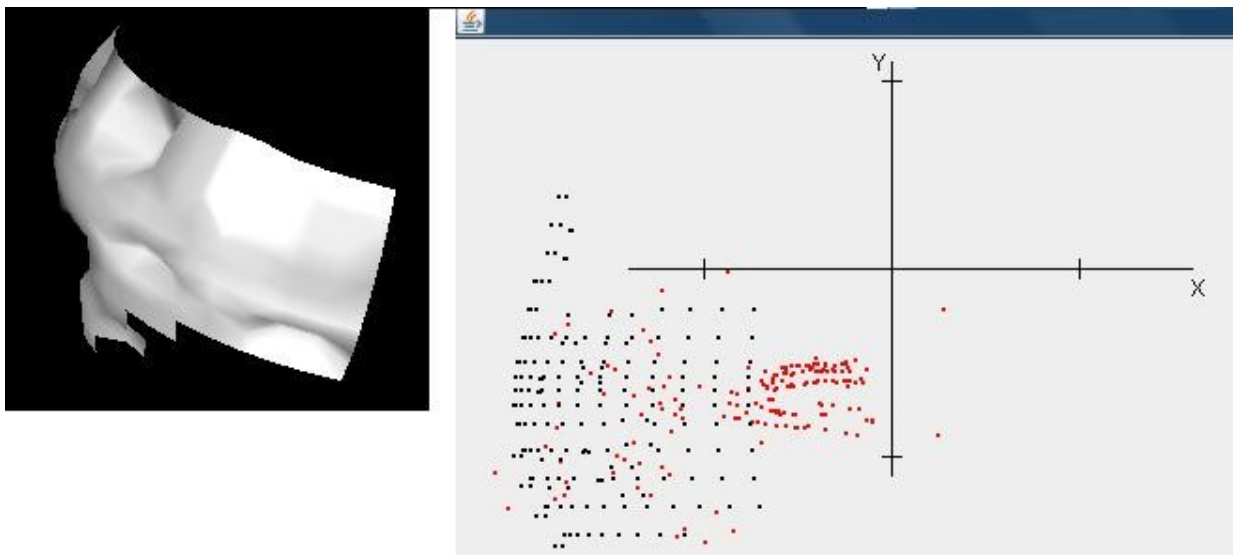
Objektas – kairėje. Dešinėje - žiūrint iš viršaus, kiekvieno paviršiaus normalės vektorių tiesės.

3. Priedas.



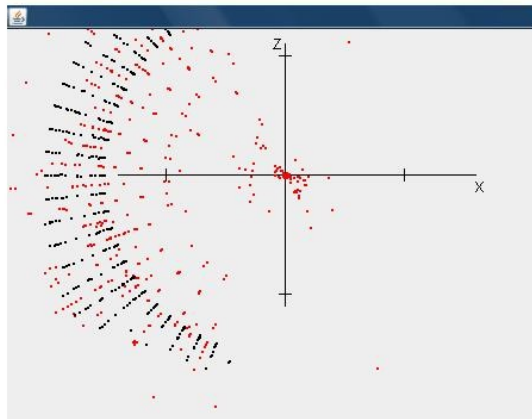
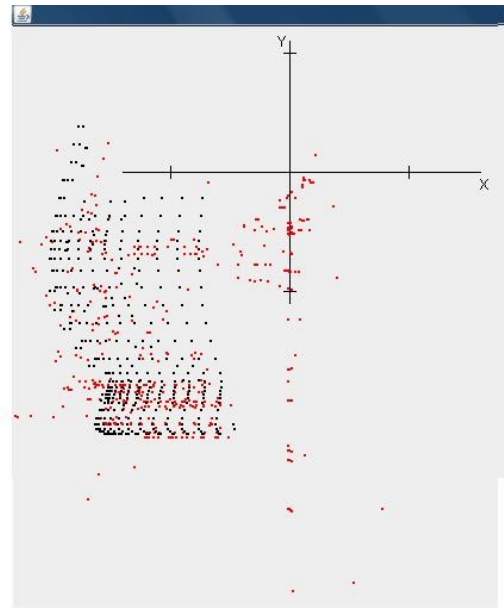
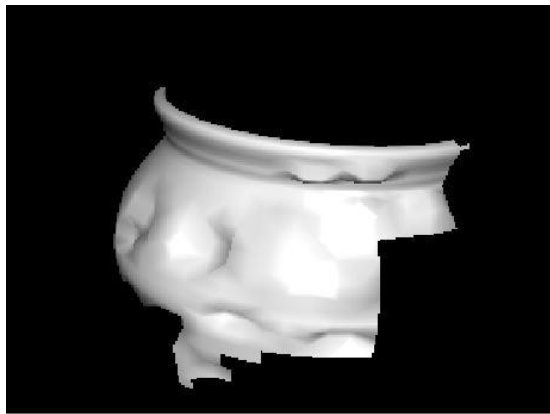
Objektas – kairėje viršuje. Dešinėje viršuje – rasti artimiausių taškų kiekvienam normalės vektoriui vidurkis ir jais naudojantis nubrėžta tiesė, artimiausia jiems visiems, (x, y) koordinatinių ašyse. Kairėje apačioje – (z, y) koordinatinių ašyse.

4. Priedas.



Objektas – kairėje. Dešinėje – rasti artimiausių taškų kiekvienam normalės vektoriui vidurkis ir jais naudojantis nubrėžta tiesė, artimiausia jiems visiems, (x, y) koordinatinių ašyse.

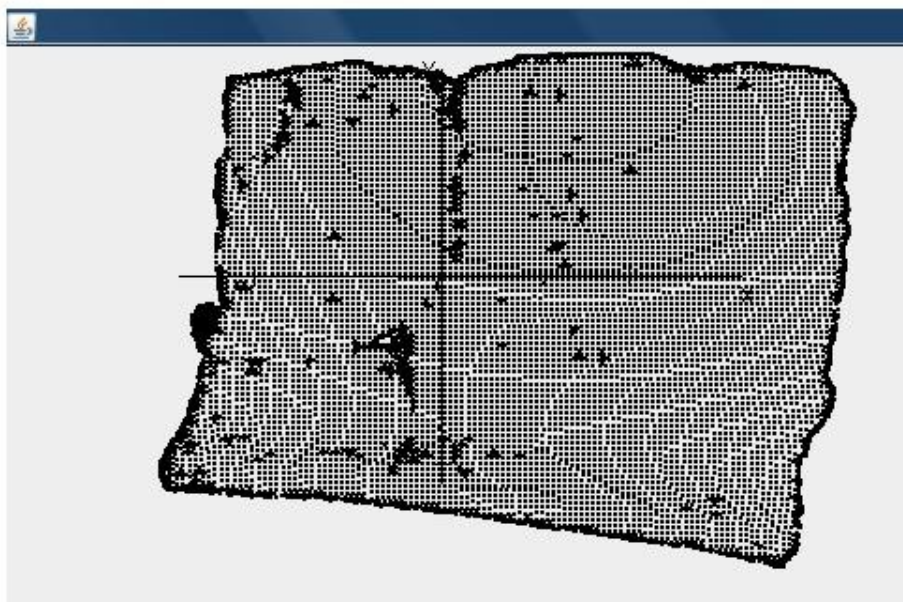
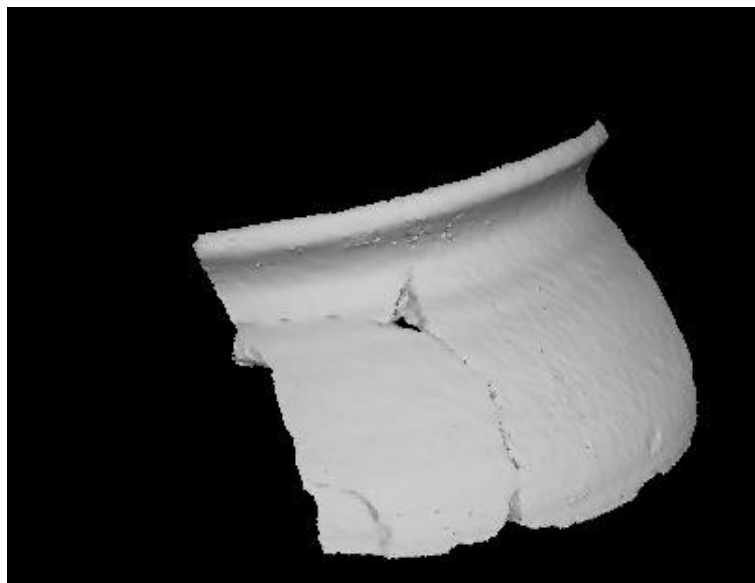
5. Priedas.



Kairėje viršuje – objektas. Dešinėje viršuje – Pagerinto metodo gauti rezultatai (x, y) ašyse. Kairėje apačioje – pagerinto metodo gauti rezultatai (x, z) ašyse.

20

6. Priedas.



Viršuje – realūs duomenys VRML formatu. Apačioje – kurtoje aplikacijoje matomi duomenys.