

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIJOS KATEDRA

Naftos išsiliejimų atpažinimo algoritmai ir jų taikymas

Baigiamasis magistro darbas

Atliko: II m. kurso 2 gr. studentas
Simonas Kareiva

Darbo vadovas:
Algimantas Juozapavičius, dr.

Vilnius
2006

Turinys

SUTRUMPINIMŲ IR SAVOKŲ SĄRAŠAS.....	- 4 -
ANOTACIJA.....	- 5 -
SUMMARY	- 6 -
ĮVADAS.....	- 7 -
NAFTOS IŠSILIEJIMŲ PAIEŠKOS PROBLEMATIKA	- 9 -
BENDRA METODIKA	- 9 -
<i>Tiesioginės analizės objektai.....</i>	- 10 -
<i>Kontekstinės analizės objektai.....</i>	- 10 -
AUTOMATIZAVIMO PROBLEMA	- 11 -
ATPAŽINIMO ALGORITMAI.....	- 12 -
ĮPRASTINIŲ METODŲ APŽVALGA	- 12 -
<i>Canny filtras.....</i>	- 15 -
<i>Roberto operatorius</i>	- 17 -
<i>Sobelio operatorius</i>	- 18 -
SUDĖTINIS ALGORITMAS.....	- 19 -
PRISITAIKANTIS ALGORITMAS.....	- 21 -
<i>Statistinis modeliavimas.....</i>	- 23 -
<i>Išankstinių tikimybių specifikacija</i>	- 25 -
<i>Kitos specifikacijos.....</i>	- 25 -
PRAKTINIS ALGORITMŲ PANAUDOJIMAS.....	- 26 -
TAIKYMŲ PROBLEMATIKA	- 26 -
RADARSAT ALGORITMO MODELIS	- 26 -
MODELIO KOMPONENTAI.....	- 27 -
<i>Tekstūrinė analizė</i>	- 27 -
<i>Lee algoritmas.....</i>	- 28 -
<i>Gamma algoritmas.....</i>	- 29 -
NAGRINĖJAMO MODELIO SAVYBĖS	- 29 -
DINAMINIŲ VAIZDŲ ANALIZĖ.....	- 30 -
SIŪLOMI ALGORITMŲ PRAPLĖTIMAI	- 30 -
ALGORITMŲ PARINKIMAS	- 30 -
PROGRAMINĖ ĮRANGA	- 32 -
PRADINIAI DUOMENYS	- 32 -
<i>Radaras</i>	- 33 -

<i>Radiometras</i>	- 34 -
DUOMENŲ SAUGOJIMO SPECIFIKACIJA	- 35 -
VAIZDŲ APDOROJIMAS.....	- 36 -
PAPILDOMOS GALIMYBĖS	- 36 -
STRUKTŪRA	- 36 -
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	- 37 -
LITERATŪROS SĄRAŠAS	- 39 -
PRIEDAS NR. 1	- 41 -
PRIEDAS NR. 2	- 42 -
PRIEDAS NR. 3	- 44 -
PRIEDAS NR. 4	- 45 -
PRIEDAS NR. 5	- 46 -
PRIEDAS NR. 6	- 47 -

Sutrumpinimų ir sąvokų sąrašas

- SAR - Synthetic Aperture Radar – radaras, naudojamas vietovės vaizdui gauti
- SNP – skysti naftos produktai
- **Objektas** – SAR vaizdų rinkinys, sudarytas iš pagrindinio ir kontekstinių vaizdų
- **Histerežė** – objektų, kurių būklė priklauso nuo veiksmų su jais istorijos, savybė. Žr. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hysteresis>
- **PACE** (Picture Analysis, Correction, and Enhancement) – programinės įrangos rinkinys, naudojamas SAR duomenims apdoroti
- **MSE** (Mean-square error) – statistinė sąvoka, nusakanti paklaidą aproksimuojant dydžius. Žr. http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_squared_error
- **MMSE** (Minimum mean-square error) – algoritmas, skirtas nustatyti minimalią dydžio aproksimavimo paklaidą
- **Vertikalus kampas** – sensoriaus spindulio kampas su kryptimi, statmena vandens paviršiui.
- **Azimutas** – horizontalus kampas tarp tam tikro taško dienovidinio šiaurės krypties ir krypties į pasirinktą tašką
- **Netikras pavojus** (*false-alarm*) – situacija, kai programinė įranga klaidingai identifikuoja naftos dėmę.

Anotacija

Šis darbas nagrinėja naftos išsiliejimų atviruose vandens telkiniuose problematiką, tokių išsiliejimų atpažinimo iš gautų radaro vaizdų algoritmus, jų veiksmingumą, *false-alarm* identifikavimą, ir klasifikavimo metodiką, bei taikymus praktikoje. Vienas šio darbo tikslų – sukurti įrankį, leidžiantį analizuoti naftos dėmių sekimo ir atpažinimo sistemos charakteristikas ir nustatyti atpažinimo metodiką, leidžiančią efektyviausiai atpažinti naftos dėmes duotomis sąlygomis, bei ją algoritmizuoti ir taikyti automatiškai.

Summary

This paper examines problematics of oil spill detection in open water, detection of such oil spills from given radar images, their breakdown into categories, identification of false alarms and the use of specific algorithms to detect oil spills not only from static, but also from dynamic radar images. One of the main purposes of this work is to create a tool, which would allow to locate and analyze oil spill detections from given sensor data in given conditions, to define an efficient method for oil spill detection, to express this method algorithmically and to adjust it for automatic application.

[vadas

[vairių naftos produktų vartojimas vienaip ar kitaip supaprastina kasdieninį mūsų gyvenimą. Tačiau naftos išgavimas ir transportavimas toli gražu nėra tokie paprasti procesai, kaip gali atrodyti. Šių procesų problematika yra tiesiogiai proporcinga išgaunamų naftos produktų kiekiui, kuris tobulėjant technologijoms nuolat didėja. Avarijas šių procesų kontekste neretai seka skausmingos pasekmės, kurių kaštai kaskart vis didesni.

Kiekvienais metais pasaulyje išgaunama milijardai tonų naftos, kuri kol kas yra beveik nepakeičiamas energijos šaltinis beveik visose pasaulio šalyse. Daugiau negu pusė išgautos naftos yra transportuojama laivais. Yra paskaičiuota, jog kiekvienais metais dėl naftos transportavimo avarių į vandenynus patenka vidutiniškai apie trys milijonai tonų skystų naftos produktų. Šių incidentų žala gamtai akivaizdi, o jų šalinimo kaštai neretai siekia milijardus dolerių, ypač jeigu SNP dėmės pasiekia vandens telkinio krantus.

Padažnęjus SNP išsiliejimams atviruose vandens telkiniuose atsirado natūralus poreikis kuo efektyviau identifikuoti ir pašalinti tokius incidentus. Identifikavimą apsunkina faktas, jog SNP vandens paviršių padengia labai plona plėvelė. Ši plėvelė dažniausiai juda vėjo kryptimi, greičiu, apytikriai lygiu 3% vėjo greičio. Kadangi vizualiai plėvelės storio nustatyti neįmanoma, todėl šiam tikslui yra naudojama mikrobangų radiometrija, nes SNP plėvelė (dėl kapiliarinių bangavimų - tam tikrų fizikinių procesų vandens paviršiuje) labai gerai atspindi mikrobangas.

Sensorių pagalba yra generuojami vaizdai, kurie vėliau yra analizuojami pagal specialų algoritmą. Šiame darbe bus apžvelgti keli algoritmų variantai, jų savybės, taip pat galimybė prijungti šiuos algoritmus prie duomenų bazių valdymo sistemos, kuri leistų lengviau manipuluoti sensorių duomenimis. Šio darbo *tikslas* – naudojant pateiktus pavyzdinius sensorių duomenis, duotomis sąlygomis ištirti galimybę nesudėtingų vaizdų apdorojimo algoritmų pagalba sukurti efektyvią metodiką, leidžiančią pateiktuose sensoriaus duomenyse aptikti naftos dėmes.

Siekiant numatyto tikslo keliami šie *uždaviniai*:

1. Išanalizuoti sensoriaus duomenis bei sukurti šių duomenų perkėlimo į duomenų bazę metodiką, tam, kad palengvinti manipuliavimą duomenimis.
2. Nustatyti nesudėtingų vaizdų apdorojimo algoritmų efektyvumą analizuojant SAR vaizdus ir rasti efektyvius šių algoritmų pritaikymo duotų sensorių duomenų apdorojimui būdus.

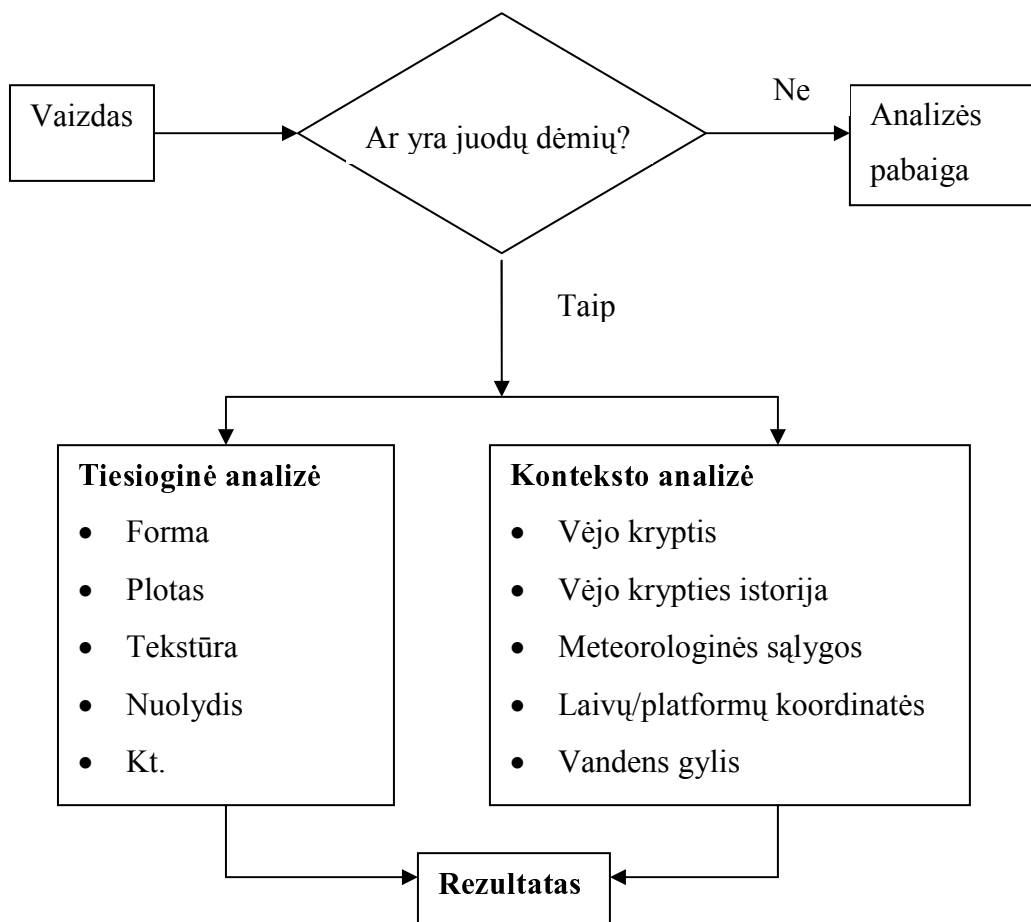
3. Apžvelgti kompleksinius naftos dėmių atpažinimo algoritmus ir įvertinti jų efektyvumą dirbant su duotais sensoriaus duomenimis.
4. Taikant kelias skirtingas metodikas bei jų kombinacijas nustatyti automatizuoto naftos dėmių atpažinimo algoritmo *false-alarm* tikimybę ir reikalingą operatoriaus intervenciją.
5. Sukurti įrankį, leidžiantį specialistui dirbti su pradiniais sensoriaus duomenimis, iš jų sugeneruotiems vaizdams taikyti parinktus vaizdų apdorojimo algoritmus bei naudoti duomenų analizės procedūras (statistinis modeliavimas, situacijos analizė, *data mining* ir pan.) bei sudaryti efektyviausią naftos dėmių atpažinimo metodiką duotomis sąlygomis.

Darbo objektas – dvejetainiuose failuose pateikti pavyzdiniai sensorių (radaro bei radiometro) duomenys.

Naftos išsiliejimų paieškos problematika

Bendra metodika

Naftos produktų išsiliejimo identifikavimas dažniausiai atliekamas vizualiai analizuojant aplinkos sensorių pateiktą vaizdą, o taip pat naudojant ir kontekstinę informaciją. Pateikiama supaprastinta paieškos ir kategorizavimo algoritmo schema, kurią vėliau išnagrinėsime detaliau:



Pav. 1. Naftos dėmių paieškos algoritmo schema

Tiesioginės analizės objektai

Tiesioginės sensoriaus pateikto vaizdo analizės metu gauti rezultatai dažniausiai leidžia iš vaizdo išskirti potencialias (kai kuriais atvejais ir beveik garantuotas) naftos dėmės. Reikšmingiausi šios analizės faktoriai:

- Forma – yra daroma prielaida jog objektas yra natūralus gamtos darinys arba nenatūralus objektas. Ieškoma aštrių kampų, kurie nebūdingi natūraliems dariniams, taip pat ieškoma būdingų formų – pvz., laivui plaukiant SNP dėmė tysta paskui laivą, sudarydama formą, primenančią smailų kūgį.
- Plotas – ši analizė labiausiai tinkama apytikriam žalos mastui įvertinti, tačiau sprendžiant iš objekto ploto galima įvertinti, ar tai natūralus objektas, ar ne.
- Tekstūra – nagrinėjamas objektas vaizde dažniausiai būna tamsios spalvos, su specifine tekstūra esant stipresniam vandens paviršiaus bangavimui.
- Nuolydis – nagrinėjant vaizdą reikia atsižvelgti į kampą, kuriuo buvo atliekamas vaizdo fiksavimas.

Kontekstinės analizės objektai

Atliekant kontekstinę analizę dažniausiai įsitikinama tiesioginės analizės duomenų teisingumu. Vieni svarbesnių šios analizės faktorių:

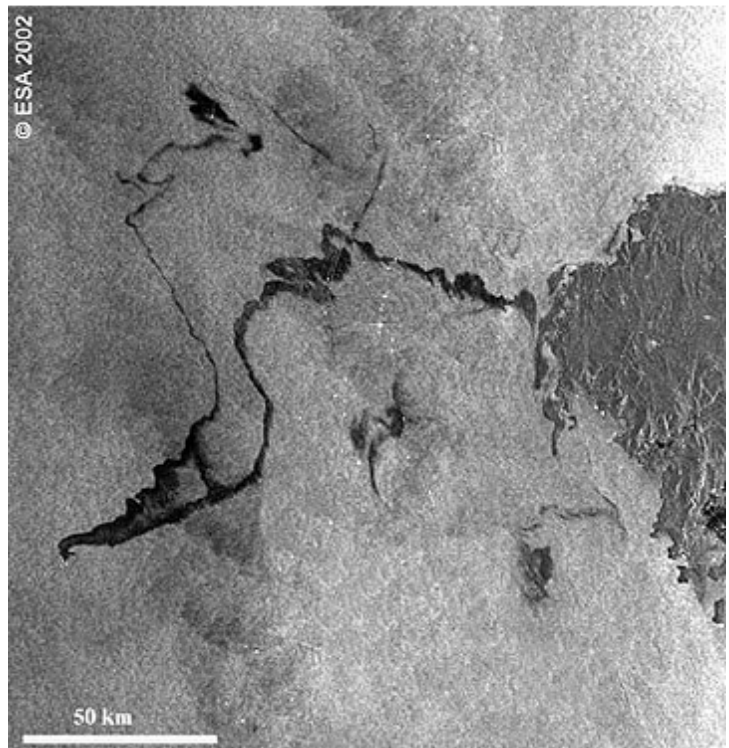
- Vandens paviršiaus ypatybės – pirmo bei antro lygio bangavimai, povandeninės srovės ir kiti šios kategorijos faktoriai lemia nevienareikšmišką objekto būsenos fiksavimą, todėl į juos būtina atsižvelgti. Pavyzdžiui, putos, susidariusios vandeniui banguojant, kitaip atspindi mikrobangas ar ultravioletinius spindulius.
- Vėjo kryptis – svarbus faktorius, žinant, jog naftos dėmės tendencingai juda vėjo kryptimi. Objekto deformacija, atitinkanti oro srautų judėjimo kryptis, dažniausiai reiškia teigiamą identifikavimą.
- Vėjo krypties istorija – objekto deformacija gali neatitikti esamų vėjo krypčių, todėl kartais reikalinga žinoti vėjo krypties istoriją tam tikrame praeities taške, kuriame objektas galėjo būti deformuotas.
- Meteorologinės sąlygos – kiti faktoriai, įtakojantys objekto formą, spalvą ar plotą (sniegas, lietus ir pan.)
- Laivų/platformų koordinatės – jei nagrinėjamas objektas yra netoli nuo potencialaus

incidento kaltininko, tikimybė kad objektas yra naftos dėmė padidėja.

- Vandens gylis (batimetrija) – nustato, ar objektas apskritai gali egzistuoti esamomis topografinėmis sąlygomis.

Automatizavimo problema

Remiantis minėto algoritmo rezultatais praktiškai galima daryti patikimas išvadas. Tačiau taikant tokį algoritmą galimi ir „netikri pavojai“, kurie pasitaiko išimtiniais atvejais ir dažnai papildo algoritmą savitais kriterijais, priklausančiais nuo konteksto. Be to, šio algoritmo naudotojas tipiniu atveju yra žmogus, todėl pritaikius jį pasirinktai informacinei sistemai galimi netikėti ir netikslūs rezultatai. Pavyzdžiui, sistemai pateikus SAR vaizdą (pav. 2), kuriame keli objektai galėtų būti identifikuoti kaip SNP išsiliejimas, tampa sudėtinga nustatyti incidento tikrumą. Norėdami užtikrinti, kad sistema atpažintų vaizdus maksimaliai tiksliai, sistemai yra reikalingi papildomi kriterijai, tokie kaip kartografinė informacija ar pan. Taip pat reikia užtikrinti, kad sistema galėtų palyginti esamą situaciją su kontekstu, todėl natūraliai atsiranda poreikis dideliam duomenų kiekiui saugoti.



Pav. 2. SAR vaizdas, kuriame regimos naftos dėmės

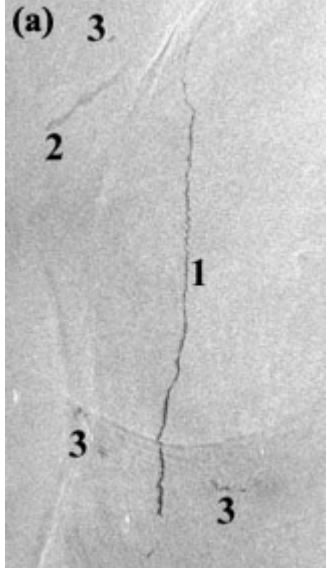
Atpažinimo algoritmai




Nors algoritmų naftos dėmėms identifikuoti yra nemažai, dauguma jų veikia pagal panašų principą. Išnagrinėsime keletą praktikoje naudojamų pavyzdžių, kuriuos būtų galima priskirti skirtingoms kategorijoms.

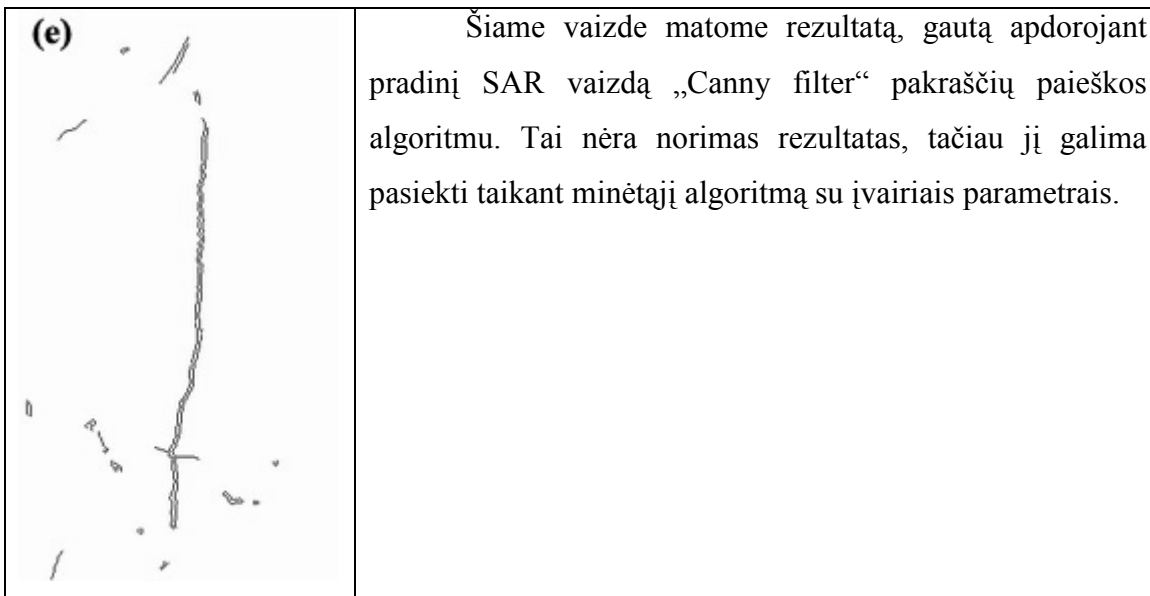
Įprastinių metodų apžvalga

Patys elementariausi metodai ir jų kombinacijos neretai pakankamai tiksliai identifikuoja SNP incidentus, todėl jie yra dažnai naudojami praktikoje. Dauguma jų realizuojami pasitelkiant universalius vaizinės medžiagos apdorojimo įrankius.

Šie metodai reikalauja žmogaus įvertinimo, todėl automatizavimo požiūriu jie yra neišbaigti, t.y. jų pritaikymas informacinei sistemai reikalautų nemažai pastangų. Žemiau aprašomi keli efektyviausi naftos dėmių atpažinimo algoritmai.

Vaizdas	Aprašymas
 A grayscale SAR image fragment showing several dark, irregular shapes representing oil stains. The largest stain is labeled '1', a medium-sized one is labeled '2', and two smaller ones are labeled '3'. The label '(a) 3' is in the top left corner.	SAR vaizdo fragmentas, kuriame matomos kelios SNP dėmės: didelė pailga (1), šiek tiek trumpesnė (2) ir kelios mažos (3) dėmės. Vaizde taip pat matomi kiti objektai, tačiau, kaip parodys tolimesnė analizė, nei vienas iš jų nėra naftos dėmė.

<p>(b)</p> 	<p>Šiame vaizde matome eksperto rankiniu būdu apdorotą SAR vaizdą, kuriame išryškėja potencialios naftos dėmės. Apdorojimui naudojami standartiniai algoritmai, randami kiekviename profesionaliame vaizdo apdorojimo programinės įrangos pakete. Duotame pavyzdyje naudojami spalvinės atkarpos pasirinkimo įrankiai, pasirenkant tamsių tonų spalvos atkarpą. Atlikus pasirinkimą jis invertuojamas, tuo parenkant nereikalingą vaizdinę informaciją, vėliau pasirinkimas ištrinamas ir paliekama tik naudinga informacija. Šis rezultatas – vienas tiksliausių.</p>
<p>(c)</p> 	<p>Šis vaizdas yra gautas apdorojant SAR vaizdą (a) morfologiniais operatoriais, kurie skirti sumažinti triukšmui, homogeniniam filtravimui, ar vaizdo ryškinimui. Rezultate matome vieną netikrą objektą, tačiau algoritmų kombinacija, kaip ir visais atvejais, išryškino didžiausius ieškomus objektus.</p>
<p>(d)</p> 	<p>Kelis kartus panaudojus „Smart Blur“ filtrą, panaikinus grūdėtumą ir suslenksčius spalvinę gamą gaunamas toks rezultatas. Akivaizdu, jog rezultatas primena pirmąjį (b) (išskyrus tai, jog viena iš dėmių (2) buvo padalinta į dvi), todėl galime teigti kad šiuo atveju algoritmas yra tinkamas. Tačiau tai būtina patvirtinti taikant algoritmą kitais atvejais.</p>



Projektuojant naftos dėmių atpažinimo įrankį buvo panaudoti keli nesudėtingi vaizdų apdorojimo algoritmai, kurie detaliau aprašyti žemiau. Nesudėtingi algoritmai buvo parinkti tam, kad būtų galimybė nesunkiai juos aprašyti SQL kalba ir taip sudaryti scenarijų – metaalgoritmą, kurį galima būtų taikyti automatiškai. Metaalgoritmas idealiomis sąlygomis pagal pradinį vaizdą turėtų savarankiškai nustatyti reikiamų algoritmų seką, tačiau atliktame praktiniame darbe šią funkciją atlieka operatorius.

Canny filtras

Šis metodas daugeliui žinomas kaip optimalus kraštų paieškos algoritmas. Canny filtras pirmame žingsnyje sušvelnina vaizdą (*smooth*), taip pašalindamas iš vaizdo triukšmą. Tuomet apskaičiuojamas vaizdo nuolydis, tam, kad surasti ir paryškinti erdvinį darinių regionus. Sekančiame žingsnyje algoritmas patikrina šiuos regionus ir nuslopina tuos taškus, kurių ryškumas nėra maksimalus nagrinėjamame regione (procedūra, žinoma kaip „nemaksimalus slopinimas“). Toliau slenksčio masyvas yra redukuojamas naudojant histerezę. Histerezė paprastai naudojama surinkti likusius taškus, kurie nebuvo nuslopinti. Šis metodas turi du slenksčius, jei taško reikšmė yra žemiau pirmojo slenksčio, taškas nunulinamas, t.y. tampa ne briauna. Jei taško reikšmė yra aukščiau antrojo slenksčio, taškas tampa briauna. Jei taško reikšmė patenka tarp dviejų slenksčių, jis paverčiamas ne briauna, išskyrus tuos atvejus, kai taškas liečiasi su briauna.

- **Pirmas žingsnis.** Vaizdo sušvelninimui gali būti parinktas bet koks tam tinkamas algoritmas. Naudojant standartinius konvoliucinius metodus paprastai taikomas Gauso filtras.
- **Antras žingsnis.** Sušvelninus vaizdą ir pašalinus triukšmus yra reikalinga apskaičiuoti vaizdo pakraščių svorius. Tai atliekama matuojant vaizdo nuolydį. Sobelio operatoriaus pagalba yra atliekamas dvimatis vaizdo nuolydžio matavimas. Tada galima surasti apytikrą kiekvieno taško nuolydžio reikšmę. Sobelio operatorius naudoja porą konvoliucinių kaukių, viena iš jų skirta nustatyti horizontaliam, o kita – vertikaliam vaizdo nuolydžiui. Šios kaukės yra 3x3 taškų dydžio:

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

G_x

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_y

Naudojant šias kaukes, briaunos svoris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$

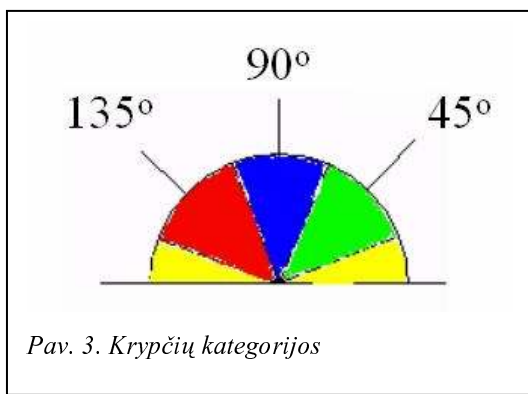
- **Trečias žingsnis.** Briaunos krypties paieška yra elementari, kadangi šiuo momentu jau yra žinomas vertikalus bei horizontalus nuolydis. Tam tikslui yra naudojama tokia formulė:

$$\theta = \arctan(G_y / G_x)$$

- **Ketvirtas žingsnis.** Kai yra žinoma briaunos kryptis, reikia susieti briaunos kryptį su kryptimi, kurią galima būtų apibrėžti vaizde. Kaip pavyzdį, pasitelkime 5x5 taškų dydžio vaizdą. Pažvelgus į vaizdą iš taško A pozicijos galima teigti, jog realiai kaimyninių taškų

X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	A	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X

kryptys gali būti nusakomos keturiomis kryptimis, t.y. atitinkamai 0, 45, 90 ir 135 laipsniai. Tuomet briaunos kryptis turi būti apibrėžta viena iš šių krypčių, t.y. priklausomai nuo to, kuri iš jų yra jai artimiausia (pvz. jei briaunos kryptis yra 3 laipsniai, ji priskiriama 0 laipsnių krypčių kategorijai). Šio principo grafinis atvaizdavimas leidžia paprasčiau jį suvokti (pav. 4).



- **Penktas žingsnis.** Kai yra žinomos briaunų kryptys, taikomas aukščiau aprašytas nemaksimalus slopinimas, t.y. briauna verčiama į liniją pašalinant visus

taškus, kurie jai nepriklauso.

- **Šeštasis žingsnis.** Slenksčio masyvas yra redukuojamas naudojant histerezę. Histerezė paprastai naudojama surinkti likusius taškus, kurie nebuvo nuslopinti. Šis metodas turi du slenksčius, jei taško reikšmė yra žemiau pirmojo slenksčio, taškas nunulinamas, t.y. tampa ne briauna. Jei taško reikšmė yra aukščiau antrojo slenksčio, taškas tampa briauna. Jei taško reikšmė patenka tarp dviejų slenksčių, jis paverčiamas ne briauna, išskyrus tuos atvejus, kai taškas liečiasi su briauna.

Algoritmo taikymo rezultatas dažniausiai būna pakankamai vienareikšmiškas. Palyginimui priede nr. 1 pateikiamas vaizdas ir rezultatas, pritaikius Canny filtrą.

Roberto operatorius

Šis filtras atlieka paprastą, greitai atliekamą dvimatį vaizdo nuolydžio matavimą. Matuojant nuolydį paryškinami tie vaizdo regionai, kuriuose aptinkamas didelis erdvinis dažnis; šie regionai dažniausiai atitinka vaizdo pakraščius. Operatorius yra sudarytas iš dviejų konvoliucinių kaukių:

+1	0
0	-1

G_x

0	+1
-1	0

G_y

Kaip matosi pavyzdyje, kaukė G_y yra kaukės G_x kopija, tik pasukta 90° kampu. Šios kaukės sukonstruotos taip, kad leistų efektyviai aptikti įstrižus pakraščius. Taikant šias kaukes po vieną nesunkiai galima apskaičiuoti kiekvienos krypties nuolydį atskirai, o jų abiejų kombinacija leidžia rasti absoliučias kiekvieno taško nuolydžio reikšmes ir to nuolydžio kryptį. Galimi du absoliutaus nuolydžio skaičiavimo būdai:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ - tikslus, tačiau lėčiau suskaičiuojamas;}$$

$$|G| = |G_x| + |G_y| \text{ - apytikris, tačiau suskaičiuojamas greičiau.}$$

Pakraščio krypties kampas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\theta = \arctan(G_y/G_x) - 3\pi/4$$

Šiuo atveju, kampas, kurio reikšmė yra 0, yra specialiai parinktas tam, kad parodyti, jog maksimalaus kontrasto nuo juodos iki baltos spalvos kryptis duotame vaizde yra iš kairės į dešinę, o kiti kampai matuojami pagal šią kryptį (pagal laikrodžio rodyklę).

Dažnai absoliučios reikšmės yra vienintelis algoritmo rezultatas, kadangi patogiau yra apjungti abi konvoliucines kaukes į vieną ir vienu ypu atlikti skaičiavimus pagal tokią pseudo-kaukę:

P₁	P₂
P₃	P₄

Tuomet apytikslę reikšmę galima rasti pagal šią formulę:

$$|G| = |P_1 - P_4| + |P_2 - P_3|$$

Sobelio operatorius

Šis algoritmas savo struktūra yra panašus į Roberto operatorių:

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

G_x

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_y

Kaip matosi pavyzdyje, kaukė G_y vėlgi yra kaukės G_x kopija, tik pasukta 90° kampu. Šios kaukės sukonstruotos taip, kad leistų duotame vaizde efektyviai aptikti vertikalius bei horizontalius pakraščius. Šio algoritmo absoliutaus nuolydžio skaičiavimo formulės atitinka Roberto operatoriaus formules. Greitam skaičiavimui naudojama tokia pseudokaukė:

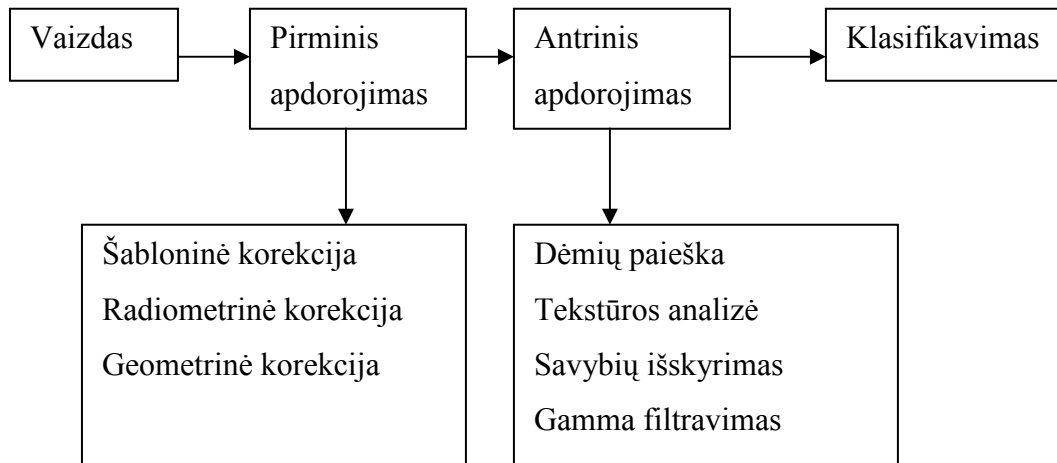
P₁	P₂	P₃
P₄	P₅	P₆
P₇	P₈	P₉

Apytikslės reikšmės randamos pagal tokią formulę:

$$|G| = |(P_1 + 2 \times P_2 + P_3) - (P_7 + 2 \times P_8 + P_9)| + |(P_3 + 2 \times P_6 + P_9) - (P_1 + 2 \times P_4 + P_7)|$$

Sudėtinis algoritmas

Siekiant kad SNP dėmių atpažinimo algoritmas būtų efektyvesnis, reikalinga įvesti šokią tokią sistematiką, kuri struktūrizuotų algoritmą ir išskaidytų jį į kelis, viena po kito atliekamus žingsnius. Nagrinėjamas algoritmas yra naudojamas taikant PACE programinę įrangą, kuri pateikia vartotojui nemažai funkcijų, skirtų SAR duomenims apdoroti. Šis algoritmas labiau abstraktus, kadangi jį sudaro konkretūs vaizdo apdorojimo algoritmai, išdėstyti tam tikra tvarka.



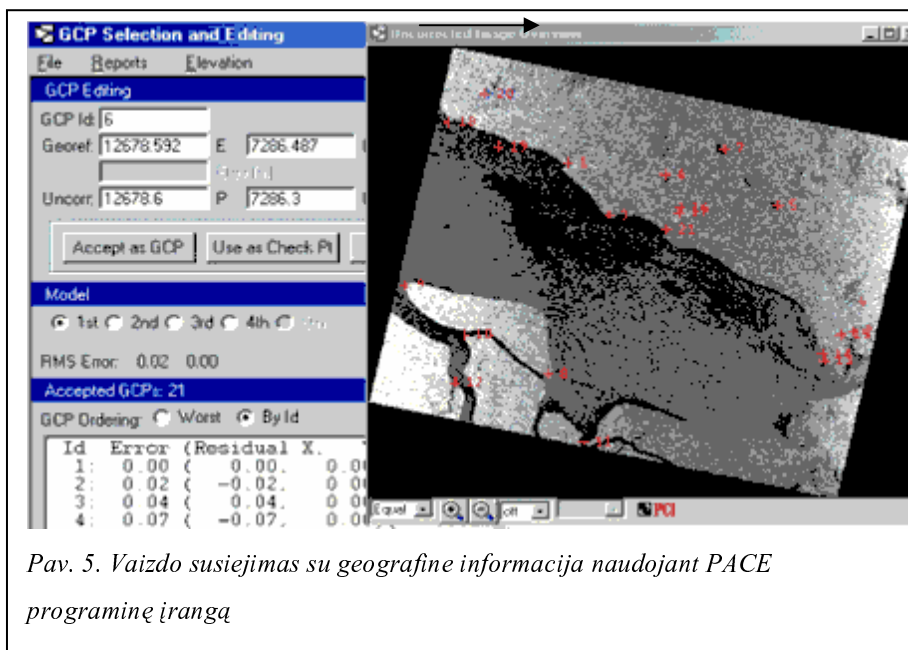
Pav. 4. Klasifikuojančio algoritmo schema

Pirminio apdorojimo metu vaizdas nėra analizuojamas, o tiesiog ruošiamas analizei, užtikrinama kad antrinio apdorojimo mechanizmui pateikiamas vaizdas yra proporcingas ir tiksliai atvaizduojantis konkrečią vietovę. Pirmame žingsnyje netaikomi vaizdo apdorojimo algoritmai. Tiesioginė ir kontekstinė analizė atliekama antrinio apdorojimo metu, kur objektui yra priskiriamos savybės, pagal kurias objektas vėliau klasifikuojamas. Išnagrinėtų vaizdų klasifikavimas reikalingas supaprastinti uždavinį ir siekiant minimizuoti paieškos algoritmo kaštus, t.y. objektas pasižymintis savybėmis, kurias turi jau suklasifikuotas objektas, gali būti lengvai identifikuojamas.

Vykdamt šabloninę korekciją atliekamas radiometrinis balansavimas, idant kompensuoti nevienarūšį apšvietimą, susidarantį dėl tam tikrų antenos struktūrinių savybių. Tuomet gautam vaizdui yra pritaikoma tinkama aibė nuorodų į geografinę padėtį, tuo nustatant vaizdo mastelį ir susidarant pradinį įspūdį apie radaro duomenis.

Antrinio apdorojimo metu sugeneruojamas radaro vaizdo ryškaus apšvietimo kanalas, tuomet naudojant specializuotas funkcijas nustatoma vaizdo tekstūros kategorija. Vėliau šios

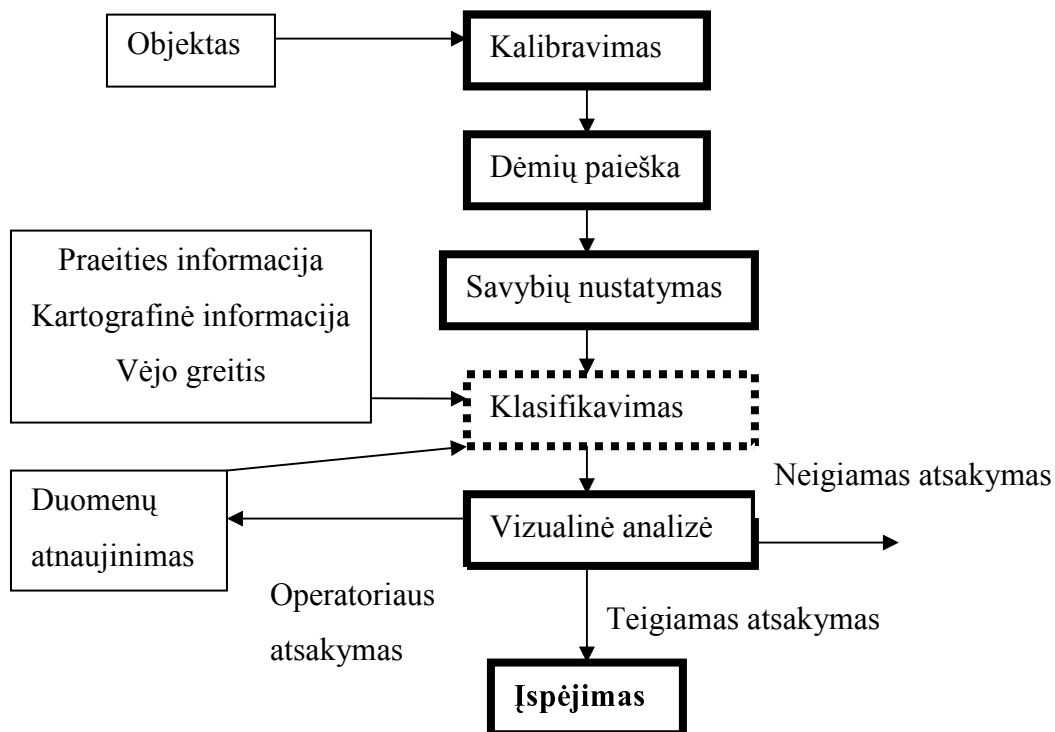
tekstūros, o taip pat ir kitos išskirtos savybės, bus pateikiamos klasifikavimo algoritmui. Išskiriamos savybės



Pav. 5. Vaizdo susiejimas su geografine informacija naudojant PACE programinę įrangą

Prisitaikantis algoritmas

Išnagrinėsime vieną iš nedaugelio publikuotų automatizuoto naftos dėmių atpažinimo algoritmų. Šis metodas be vizualinio sensoriaus vaizdų apdorojimo naudoja savotišką mokymosi mechanizmą, t.y. algoritmas ne tik klasifikuodamas, bet ir saugodamas informaciją apie praities tyrimus kiekvieną kartą pateikia vis tikslesnius atsakymus. Algoritmas yra maksimaliai automatizuotas, tačiau galutiniame žingsnyje potencialus incidentas pateikiamas sistemos operatoriui, kuris turi nuspręsti, ar tai yra incidentas ar ne. Remdamasi operatoriaus atsakymu (teigiamas, potencialus, neigiamas) sistema atnaujina duomenų bazę ir pvz., jei nagrinėjamu atveju atsakymas yra neigiamas, sistema pakartotinai analogiško objekto įvertinimui nepateikia. Taip sumažinama netikro įspėjimo tikimybė. Algoritmo veikimo principą galima pavaizduoti tokia apibendrinančia schema:



Detaliau išnagrinėkime esminius algoritmo žingsnius:

- Dėmių paieška šiame algoritme atliekama įprastu slenksčio metodu. Algoritmas veikia

prisitaikančio slenksčiavimo principu. Pradžioje pagal viso vaizdo bendrą spalvų intervalą apskaičiuojamas slenkstis, tuomet per visą vaizdą mažais žingsniais judinamas nedidelis langas (įprastai 100x100 taškų) ir taip suslenksčiuojami visi taškai.

Šio algoritmo efektyvumą apriboja tendencija, jog kartais dėmei priskiriama ir dalis jos aplinkos, ypač kai aplinka yra heterogeninė (dažniausiai - esant mažam vėjo greičiui). Ši problema sprendžiama taikant padalijimo metodą (angl. „*clustering step*“). Dėmės plotas padalinamas į dvi dalis, vienai iš jų priskiriant šviesiausius taškus, o kitai – tamsiausius. Tokiu atveju, kai tamsioji dalis yra nustatyta skaičių kartų didesnė už šviesiąją, laikoma, jog ieškomas objektas yra tamsioji dalis. Kitu atveju ieškomas objektas lieka nemodifikuotas, t.y. laikoma kad dėmė surasta teisingai.

- Kiekvienam surastos dėmės regionui suskaičiuojama aibė tam tikrų savybių, kurios vėliau naudojamos vaizdų klasifikavimui:
 1. Atstumas iki potencialaus šaltinio – vaizde vykdoma šviesių taškų paieška, jei randama tokių taškų, algoritmas skaičiuoja dėmės atstumą iki artimiausio taško.
 2. Dėmių skaičius regione
 3. Kaimyninių dėmių skaičius
 4. Aplinkos homogeniškumas
 5. Dėmės sudėtingumas – apibrėžiamas kaip $C = P^2/A$, kur P yra dėmės perimetras, o A – dėmės plotas.
 6. Dėmės plotis
 7. Dėmės plotas vaizdo taškais
 8. Pirmas nekintantis plokštumos momentas – nusako regiono formą.
 9. Kontrasto santykis – regiono kontrasto santykis su aplinkos kontrastu.
 10. Pakraščių nuolydis – pereinamų reikšmių kiekis dėmės pakraštyje, apskaičiuojamas naudojant Sobelio operatorių.
 11. Dispersinis santykis – koeficientas, nusakantis dėmės išsidėstymą jos centro atžvilgiu.
- Atliekant vizualinę analizę objektą galima priskirti keturioms pamatinėms kategorijoms:
 1. Vaizde surasta naftos dėmė, operatoriaus patvirtinta.
 2. Vaizde nerasta naftos dėmių, operatoriaus paneigta.
 3. Vaizde surasta potenciali naftos dėmė.

4. Vaizde akivaizdus netikras įspėjimas, operatoriaus paneigta.

Ši operatoriaus pateikta informacija taip pat naudojama klasifikatoriuje, siekiant sumažinti netikrų įspėjimų kiekį.

Identifikavus dėmes ir išskyrus jų savybes gauname tamsių dėmių aibę M , kurios elementus norime suklasifikuoti pagal tai, ar tai yra naftos dėmė, ar tik panašus objektas. Kiekvienam regionui turime savybių vektorių x_i , taip pat žinome kontekstinę informaciją, pvz. vėjo greitį ir kryptį, incidento tikimybę ir pan. Projektuojant vaizdų klasifikatorių reikia nepamiršti, jog klasifikatoriaus elgsena turi maksimaliai atkartoti operatoriaus elgseną, kuris naudojasi savo patirtimi, žino esamas meteorologines sąlygas ir apskritai, turi bendrą supratimą apie naftos dėmių savybes vandens telkiniuose. Nagrinėjamame algoritme klasifikatorius modeliuojamas atsižvelgiant į netikrų objektų skaičių vaizde, dėmių skaičių netoli šviesaus objekto (potencialaus šaltinio), stebimų savybių tikimybinį tankį ir jo modifikaciją, paremtą taisyklėmis, pagal kurias yra atsižvelgiama į konkrečios situacijos aplinkybes.

Statistinis modeliavimas

Dažnai reikalinga suprojektuoti tokį klasifikatorių, kuris apjungia kontekstines žinias apie susidariusią situaciją ir šios situacijos stebėjimų duomenis. Statistiniam modeliavimui reikalinga apibrėžti du komponentus, prieš tai egzistavusį duomenų modulį ir savybių tikimybinį tankį.

Standartinėje klasifikacijoje dažniausiai būtų nurodoma išankstinė tikimybė, ar objektas yra naftos dėmė, ar ne. Šiam atveji, turint stochastinį klasifikuojamų objektų kiekį, standartinis požiūris netinka. Reikia taip pat atsižvelgti ir į tai, jog tam tikri išoriniai faktoriai įtakoja objekto savybes, pvz. didelė laivų ar naftos platformų buvimo tikimybė, savo ruožtu padidinanti naftos dėmių tikimybę, arba vėjo stiprumas, padidinantis panašių į naftos dėmės objektų buvimo tikimybę.

Apibrėžkime tam tikras aplinkybes kintamaisiais:

- $\pi_o(\mathbf{b})$ - išankstinės tikimybės pasiskirstymas, apibrėžiantis priklausomybę nuo informacijos apie laivų ir naftos platformų egzistavimą, kuri yra pateikiama per vektorių \mathbf{b} .
- $f_{o,w}(\mathbf{x}_i)$ - naftos dėmės egzistavimo duotam savybių vektoriui tikimybinis tankis, $f_{l,w}(\mathbf{x}_i)$ - panašaus objekto egzistavimo tikimybinis tankis. Čia w – išorinė informacija, l apsprendžia panašių objektų klasę, o – naftos dėmių klasę
- c – nagrinėjamos dėmės priklausomybė tam tikrai kategorijai

Tuomet dėmės priklausomybę tam tikrai kategorijai galime apibrėžti tokia formule:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{opt}} = P(x, b, \omega) &= \frac{\pi_1 b_1 f_{1,1}(x)}{\pi_1 b_1 f_{1,1}(x) + (1 - \pi_1 b_1) f_{1,2}(x)} \\
 &= \frac{\pi_1 b_1 \frac{f_{1,1}(x)}{f_{1,2}(x)}}{\pi_1 b_1 \frac{f_{1,1}(x)}{f_{1,2}(x)} + 1 - \pi_1 b_1}
 \end{aligned}$$

Tikimasi, jog klasifikatorius suras visas dėmes su tam tikra tikimybe, jog tos dėmės yra būtent naftos dėmės. Visos suklasifikuotos dėmės tuomet yra patikrinamos operatoriaus. Suklasifikuoti naftos dėmę kaip panašų objektą yra labiau pavojinga, negu suklasifikuoti panašų objektą kaip naftos dėmė. Tai galima sumodeliuoti įveddami nuostolio funkciją. Apibrėžkime l_1 – nuostolis suklasifikavus naftos dėmę kaip panašų objektą, l_2 – nuostolis suklasifikavus panašų objektą kaip naftos dėmę. Tuomet optimali dėmės i klasifikacija yra apibrėžiama pagal formulę:

$$c = \begin{cases} c_1 & \text{jai } P_{\text{opt}} = P(x, b, \omega) \geq \frac{l_2}{l_1 + l_2} \\ c_2 & \text{kitu atveju} \end{cases}$$

Išankstinių tikimybių specifikacija

Naftos dėmių egzistavimo vaizde išankstinių tikimybių pasiskirstymas paprasčiausiai gali būti išreiškiamas per naftos dėmių kiekį duotame vaizde. Galima taip apibrėžti k naftos dėmių buvimo vaizde tikimybę:

$$\pi(k) = \alpha^k (1 - \alpha) \quad (*)$$

Čia $1/\alpha$ nusako tikėtiną naftos dėmių skaičių duotame vaizde. Laivų, ar naftos platformų buvimas vaizde padidina naftos dėmių buvimo jame tikimybę. Įsivaizduokime, jog vaizde yra k naftos dėmių, o b_1, \dots, b_k būtų trumpiausi atstumai nuo jų iki šviesių objektų. Tuomet prieš tai aprašytas modelis (*) apytikriai atrodytų taip:

$$\pi(k, b_1, \dots, b_k) = \alpha^k (1 - \alpha) \prod_{j=1}^k g(b_j)$$

kur

$$g(b_j) = \begin{cases} 0,000, & \text{jei } b_j < 10 \\ 0,001, & \text{jei } 10 < b_j < 20 \\ 0,25, & \text{kita atveju} \end{cases}$$

Analogiškai į šią specifikaciją galima įtraukti ir kitus kontekstinius faktorius.

Kitos specifikacijos

Galima teigti, jog panašaus į naftos dėmę objekto savybių vektorius nėra tapatus naftos dėmės savybių vektoriui. Tačiau esant tam tikrų kontekstinių sąlygų pasikeitimams, pvz. vėjo greičio/krypties kaitai, šios minėtos savybės savitai keičiasi. Tam reikalui kitose specifikacijose yra įvedami Gauso tikimybiniai tankiai, kurių pagalba vaizdai kategorizuojami remiantis šiais pokyčiais. Taip pat skaičiavimuose iš savybių vektoriaus gali būti išmetamos tos savybės, kurių aplinkybiniai pokyčiai neįtakoja, taip siekiant padidinti algoritmo efektyvumą. Šių specifikacijų kombinacijos ir variacijos lyginant su operatoriaus nustatymo tikslumu dažnai gana efektyviai nustato naftos dėmių išsiliejimus ir jų savybes.

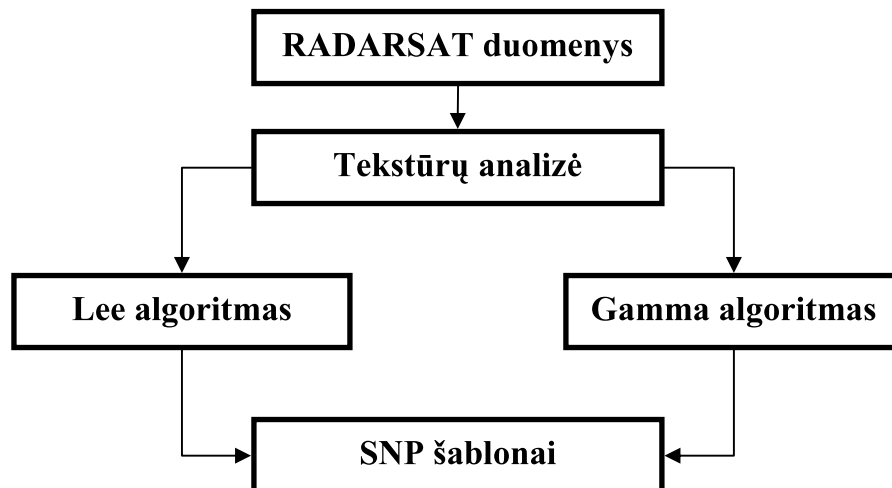
Praktinis algoritmų panaudojimas

Taikymų problematika

Statinių SAR vaizdų nagrinėjimui galima panaudoti daug įvairių algoritmų, kurių pagalba galima atlikti nevienareikšmiškas, tačiau pakankamai tikslias išvadas. Akivaizdu, kad egzistuojant keletui tos pačios vietovės vaizdų, užfiksuotų tinkamais laiko intervalais, sekai, galima gauti dar tikslesnius rezultatus, tačiau tam reikalinga įvesti papildomus algoritmus, skirtus judančių vaizdų analizei, t.y. tokius, kurie sugebėtų atskirti nejudančius objektus nuo judančių, o pastaruosius išanalizuoti, suklasifikuoti ir pateikti tam tikras šių objektų savybes (nurodyti judėjimo krypties tendencijas, pateikti jų išmatavimus ir tikimybę jog tai yra SNP darinys vandens paviršiuje).

Šiame skyriuje apžvelgsime praktikoje naudojamą sudėtinį statinių SAR vaizdų apdorojimo algoritmą ir pateiksime pasiūlymą, kaip tokį algoritmą galima būtų pritaikyti kelių tos pačios vietovės SAR vaizdų analizei.

RADARSAT algoritmo modelis



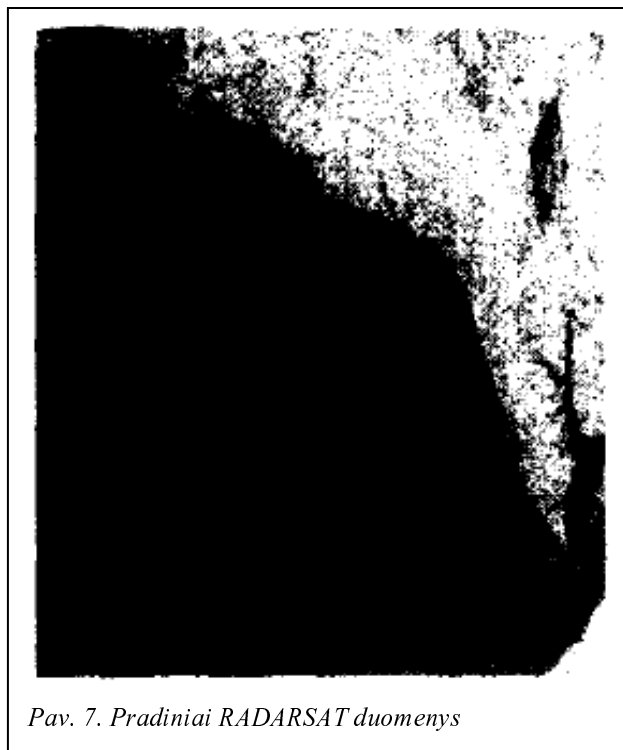
Pav. 6. RADARSAT algoritmo modelis

Modelio komponentai

Kaip matome iš schemos, šis algoritmas yra sudėtinis. Žemiau panagrinėsime šio algoritmo komponentus ir jų efektyvumą

Tekstūrinė analizė

Pagrindinis šio modelio turinys yra paremtas taip vadinamomis bendro paplitimo matricomis, kadangi tai yra vienas iš geriausių požiūrių į tekstūrinę analizę. Nuoseklus SAR vaizdo tipas gali būti nustatytas pagal vaizdo intensyvumą nuo vieno taško iki kito. Tai galime aprašyti naudodami vaizdo regionų tamsėjimo statistiką, kurią galima išreikšti atsitiktiniu tamsėjimo kintamuoju. Erdvinė



Pav. 7. Pradiniai RADARSAT duomenys

kiekvieno vaizdo taško, kuris sudaro ieškomą objektą, ryškumo variacija sukelia esminės vaizdo tekstūros suintensyvėjimą. Ši tekstūra gali būti apibrėžta atsitiktiniu tekstūros kintamuoju. Tekstūrinės analizės metodai yra išreiškiami pirmaeilėje tamsėjančių taškų pilkumo reikšmių statistikoje, o atsitiktiniai tekstūros kintamieji aprašo šių metodų tikimybinio tankio funkcijas. Antraeilė tamsėjimo ir tekstūrų statistika nusako sąryšį tarp vaizdo taško ir jo kaimyninių taškų.

Šio metodo tikslas yra charakterizuoti vaizdo pilkumo pasiskirstymo stochastines savybes. Bendrojo paplitimo matrica priklauso ne tik nuo erdviųjų pilkumo lygių sąryšių, bet taip pat ir nuo regioninio intensyvumo variacijų duotame vaizde. Tekstūrinė analizė gali būti paremta bet kuriuo kriterijumi, kuris gaunamas iš šių bendrojo paplitimo matricų. Šie kriterijai gali būti energija, kontrastas arba koreliacija. Energinis kriterijus iš principo yra homogeninis vaizdas duotajam, kuris matuoja homogeninio ploto padidėjimą pradiname vaizde, kontrastinis kriterijus yra vietinės vaizdo variacijos matavimas, o koreliacinis kriterijus savo ruožtu nusako vaizdo tiesiškumą (kryptinės tiesinės struktūros vaizde sąlygoja dideles koreliacinio kriterijaus reikšmes konkrečia kryptimi).

Siekiant išgauti daugiau vaizdo savybių buvo taip pat pasirinkti homogeniškumo bei entropijos kriterijai. Šiuos kriterijus galima išreikšti šiomis formulėmis:

Kontrastinė analizė:	$Con = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p_{ij}$
Koreliacinė analizė:	$Cor = \left\{ \sum_i \sum_j (ij) p_{ij} - \mu_x \mu_y \right\}$
Entropinė analizė:	$Ent = \sum_i \sum_j p_{ij} \log p_{ij}$
Energinė analizė:	$Eng = \sum_i \sum_j (p_{ij})^2$
Homogeniškumo analizė:	$Hom = \sum_i \sum_j p_{ij} / \{1 + (i - j)\}^2$

Šiose formulėse i, j – SAR vaizdo taškai ir linijos, P_{ij} – ribinė pilko lygio bendrojo paplitimo matricos tikimybė taškų i bei linijų j kryptimi. μ_x ir μ_y – ribinės taškų ir linijų tikimybės reikšmės. Šių kriterijų analizės rezultatai grafiškai pavaizduoti šio darbo priede nr. 2.

Lee algoritmas

Šis algoritmas naudingas homogeninių regionų identifikavimui bei pakraščių suradimui. Jis yra paremtas minimalaus vidurio kvadrato klaidos (MSE) principu ir veikia aproksimuodamas didinamojo triukšmo modelį su tiesiniu modeliu. Lee algoritmas implementuojamas judinant pasirinktu vaizdo fragmentu keturkampį langą, kurio kraštinės ilgis yra nelyginis taškų skaičius. Kiekvienoje lango pozicijoje skaičiuojama vaizdo intensyvumo reikšmė ir variacija. Galima sudaryti tokią svarinę funkciją:

$$W(x, y) = 1 - \frac{C_{si}^2}{C_l^2(x, y)},$$

kur C_{si} yra dėmėtumo indeksas, o C_l – kv. šaknis iš vietinės reikšmės ir intensyvumo santykio:

$$C_l(x, y) = \frac{\sigma_l(x, y)}{\bar{I}(x, y)}$$

Taigi, filtruotą vaizdą galime gauti iš šios formulės:

$$\bar{i}(x, y) = I(x, y)W(x, y) + \bar{I}(x, y)(1 - W(x, y))$$

kur $I(x, y)$ yra filtruojamas taškas, o $\bar{I}(x, y)$ – šio veiksmo rezultatas.

Lee algoritmo taikymo rezultatai rodo, jog šis



Pav. 8. Lee algoritmo rezultatas

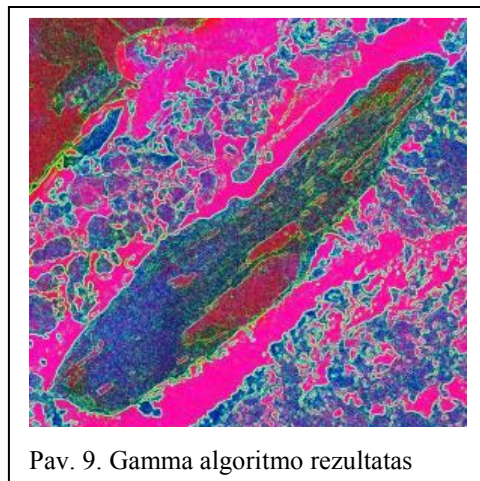
algoritmas sugeba eliminuoti triukšmo variacijas, taip pat dauginamąjį bei adityvųjį triukšmą ir nustatyti nagrinėjamo objekto tiesiškumą nemažinant vaizdo raiškos.

Gamma algoritmas

Gamma algoritmas paremtas MMSE principu, atsižvelgiant į tai kad laikoma jog nagrinėjamame vaizde yra Gamma pasiskirstymas. Filtravimas gali būti išreikštas tokia formule:

$$T = \frac{k\bar{I} + \sqrt{\bar{I}^2 k + 4\alpha N\bar{I}}}{2\alpha}$$

kur N yra multivaizdų skaičius o k yra dempingo faktorius.



Pav. 9. Gamma algoritmo rezultatas

Nagrinėjamo modelio savybės

Modelio analizė parodė, jog tarpusavyje integruojant entropinius, energinius bei homogeninius vaizdo kriterijus galima nesunkiai nustatyti SNP išsiliejimus, o taikant statistinius metodus juos taip pat galima lengvai atskirti nuo jūros vandens. Lee algoritmas padeda nustatyti objekto pakraščius, o Gamma algoritmas izoluoja SNP, SAR vaizde atskirdamas jį nuo vandens. Šių algoritmų galimybių pakanka jų taikymui statinių bei dinaminių radaro vaizdų analizėje.

Dinaminių vaizdų analizė

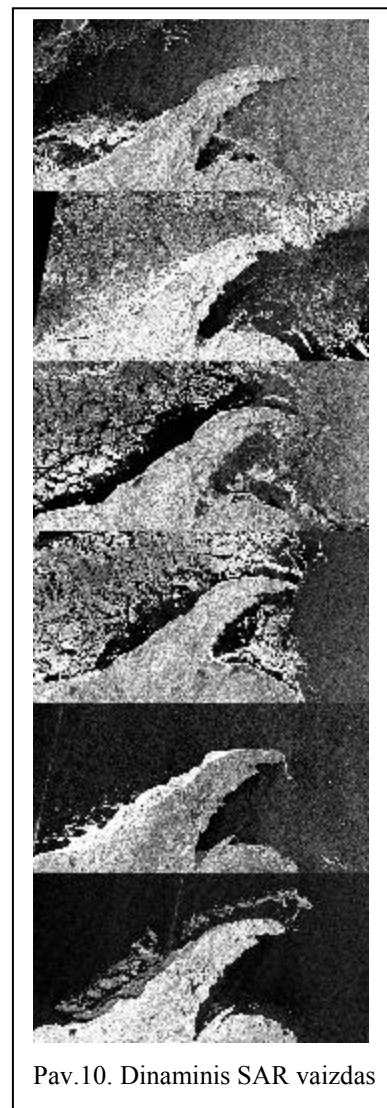
Pasitelkiant minėtus atpažinimo metodus galime nagrinėti tos pačios vietovės vaizdų, kurie užfiksuoti tam tikrais laiko intervalais, seką. Fiksuojant kelis vaizdus ir juos lyginant galima gauti daug tikslesnius rezultatus, negu iš vieno vaizdo. Tokius palyginimo ir analizės algoritmus pabandysime apžvelgti šiame skyriuje.

Siūlomi algoritmų praplėtimai

Analizuojant tiek SAR, tiek radaro-radiometro vaizdų seką svarbu atsižvelgti į tas SNP fizikines savybes, kurios keičiasi laikui bėgant. Pavyzdžiui, Gamma algoritmas sugeba iš SAR vaizdų nustatyti, ar SNP dėmė yra heterogeninė, t.y. ar ji plečiasi. Tai patikrinti galima sudarant vaizde rastų dėmių aibę ir kiekvieną dėmę charakterizuojant jos plotu, koordinatėmis duotame vaizde bei heterogeniškumo žyme. Tuomet galime šią aibę lyginti su kitam vaizdai tokiu pat būdu sudaryta aibe ir sekti vėjo kryptimi judančius arba besiplečiančius objektus, analizuoti judančių objektų sąveiką su krantais ar su kitais objektais. Naftos dėmių elgsena vandens paviršiuje gali būti apibrėžta vienareikšmiškai, kadangi didelio masto anomalijos yra retas reiškinys tokio tipo incidentuose.

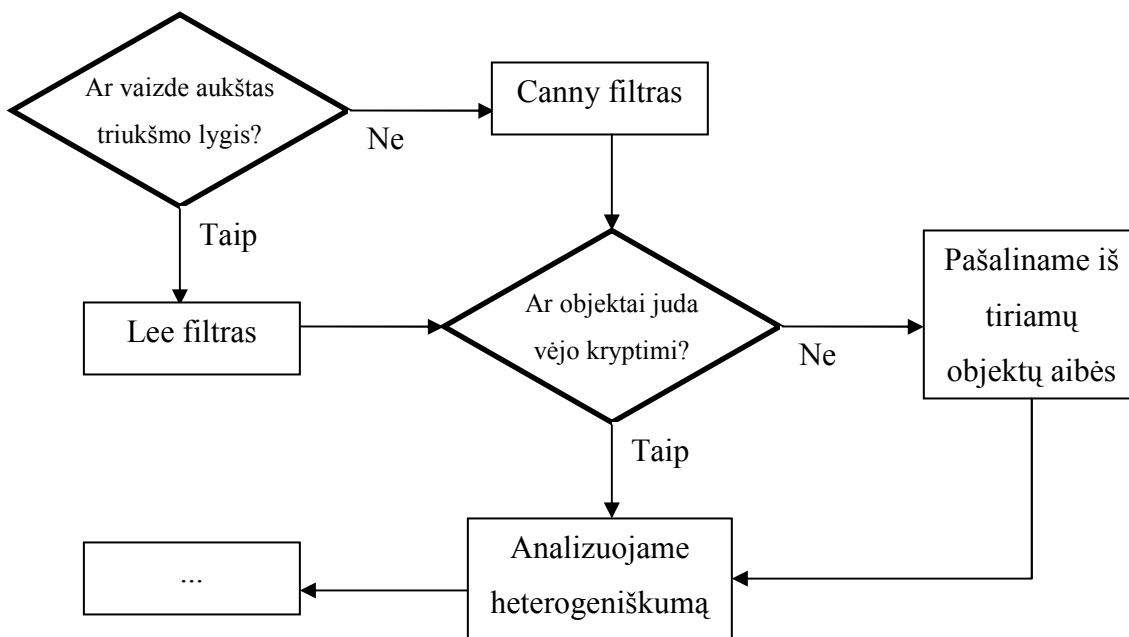
Algoritmų parinkimas

Kadangi idealus algoritmų derinys akivaizdžiai bus sudarytas iš keletos paprastų bei kelių šiek tiek sudėtingesnių algoritmų, todėl galima daryti išvadą, jog ne visuomet yra paranku būtinai panaudoti absoliučiai visus derinį sudarančius algoritmus. Norint išvengti tokio duomenų analizės proceso, kurio metu be tikslo naudojami sistemos resursai, reikalinga įvesti *metaalgoritmą*, kuris atliktų paprastą pradinių duomenų patikrinimą ir pagal pradinius duomenis nustatytų vaizdo apdorojimo algoritmų seką.



Pav.10. Dinaminis SAR vaizdas

Kaip pavyzdį galima pateikti tokį metaalgoritmo veikimo principą. Metaalgoritmo elementai šioje schemoje pažymėti tamsiau:



Programinė įranga

Šiam darbui sukurtos programinės įrangos tikslas yra suteikti operatoriui galimybes nustatyti, kokia naftos dėmių atpažinimo metodika yra geriausia esamomis sąlygomis. Įrankis taip pat turėtų leisti aprašyti pasirinktą metodiką algoritmiškai bei automatiškai taikyti šią metodiką konkrečiomis aplinkos sąlygomis.

Įrankio funkcijos:

- Interpretuoti sensoriaus duomenis ir juos pavaizduoti pasirinktu laiko momentu
- Leisti operatoriui apdoroti vaizdą (keisti mastelį ir pan.)
- Gautam vaizdui taikyti vaizdų apdorojimo algoritmų seką, parenkamą operatoriaus nuožiūra
- Išsaugoti taikytą algoritmų seką formate, tinkamame automatiniam duomenų apdorojimui.

Įrankis sukurtas Java programavimo kalba. Ši programavimo kalba pasirinkta dėl išplėsto funkcionalumo (patogi darbui su duomenų bazėmis, bylų bei vaizdų apdorojimui ir t.t.) bei dėl suderinamumo su daugeliu procesorių architektūrų.

Pradiniai duomenys

Sudarant analizuojamos vietovės vaizdą naudojami du sensoriai – radaras ir radiometras. Pagal pradines sąlygas šie sensoriai fiksuoja esamą situaciją vienodu laiko momentu, tam, kad būtų galima palyginus sensorių duomenis lengviau identifikuoti SNP išsiliejimą. Sensoriai skirstomi į aktyvius ir pasyvius. Aktyvus sensorius nukreipia spindulius tiriamo objekto kryptimi ir analizuoja atspindėtų spindulių kiekį, o pasyvus sensorius analizuoja tiriamo objekto skleidžiamų spindulių intensyvumą.

Dauguma sensorių veikia panašiu geometrinio principu. Dažniausiai sensorius yra fiksuotame aukštyje virš vandens paviršiaus ir skenuoja aplinką 360° kampu žiūrint iš viršaus. Šis kampas - azimutas – skaičiavimuose išreiškiamas matuojant kampą su šiaurės kryptimi. Stebint sensorių iš šono taip pat palaipsniui keičiamas vertikalus kampas. Šis kampas dažniausiai svyruoja nuo 0° iki kampo, artimo 90° , tačiau praktikoje šis intervalas yra šiek tiek mažesnis. Žemiau pateikiami dviejų sensorių, kurių duomenys naudojami programinėje įrangoje, veikimo principų aprašymai, o priede nr. 3 grafiškai pateikiamas šių sensorių persidengimo mastelis.

Radaras

Šis sensorius duomenis renka naudodamas 8-12 (dažniausiai – 10) GHz dažnio mikrobangų spinduliuotę ir nustato kapiliarinių bangų intensyvumą tiriamame plote. Radaro veikimas remiasi faktu, jog netgi pats ramiausias vėjas (1-2 m/s) vandens paviršiuje sukelia kapiliarinį bangavimą, kuris atspindi sensoriaus siunčiamas mikrobangas. SNP vandens paviršiuje slopina šį bangavimą ir tokiu būdu užteršto vandens paviršius atspindi mažesnę kiekį mikrobangų.

Šio sensoriaus geometrija pagrįsta principu, leidžiančiu išlaikyti didžiausią vaizdo raišką skenuojant vietovę, esančią toliau nuo sensoriaus, todėl vertikaliai kampui artėjant prie 0° sensoriaus judėjimas šiuo kampu sulėtėja taip, jog būtų galima užfiksuoti fiksuoto ilgio vandens paviršiaus ploto intensyvumą. Dažniausiai šio sensoriaus vertikalios kampo intervalas būna nuo 0° iki 87° , tai leidžia fiksuoti apskritimo formos vaizdą, kurio spindulys būna apie 760m – apie $1,8 \text{ km}^2$ plotą.

Radaro generuojamas vaizdas sudaromas nuskanuojant vietovę 360° kampu, keičiant kampą po 3° kiekviename žingsnyje. Kiekvienoje azimuto kampo pozicijoje pažingsniuj keičiant vertikalią kampą fiksuojamas vandens paviršiaus atspindėjimo intensyvumas. Kampas keičiamas 112 kartų mažėjančiu žingsniu, todėl taip sudaromas vaizdo ruožas 884 metrų atstumu, kur vienas vaizdo elementas apima apie 7.89 m. ilgio ir 3° pločio plotą. Šio ploto intensyvumas nusakomas fiksuoto kablelio skaičiumi, kurio vertė kinta nuo 0 iki 4095. Taip duotam laiko momentui suformuojamas failas, kuriame kartu su pradiniais techniniais įrangos duomenimis (laiko momentas, bangų dažnis ir pan.) išsaugomi visi skanavimo metu gauti duomenys:

Pradiniai duomenys	64 bitai
Azimuto kampai	$120 \cdot 16$ bitų
Intensyvumo reikšmės	$120 \cdot 112 \cdot 32$ bitai
Viso	432064 bitai

Ši byla pateikiama programinei įrangai, kuri perskaito pateiktus duomenis ir pakrauna juos į duomenų bazę, apskaičiuodama tikslias taškų poliarines koordinates sensoriaus atžvilgiu. Duomenų interpretavimo metodika smulkiau aprašyta žemesniuose skyriuose.

Radiometras

Radiometro sensoriaus veikimo principas pagrįstas principu, jog mikrobangų ryškumo temperatūra naftos dėmės paviršiuje yra didesnė, negu neužteršto vandens paviršiaus. Ši temperatūra yra beveik proporcinga SNP dėmės storiui, todėl kai kuriais atvejais galima nustatyti ir išsiliejusių SNP tūrį. Tačiau radiometro veikimo plotas yra gerokai mažesnis už radaro, kadangi radiometru judant vertikaliu kampu žingsnis yra pastovus, todėl vietovės, esančios toliau nuo sensoriaus buvimo vietos, vaizdų raiška yra atvirkščiai proporcinga atstumui iki sensoriaus.

Geometriniu požiūriu radiometro veikimo principas yra panašus į radaro, tačiau tiriant vietovę radiometru sukeičiami vietomis skanavimo žingsniai. Radiometras pradžioje fiksuoja vertikalų kampą ir nustato paviršiaus plotų temperatūrą kas 2° , apsisukdamas 360° kampu, o besisukdamas glodžiai padidina vertikalų kampą $1,6^\circ$, todėl sekančiu apsisukimu fiksuojami jau šiek tiek toliau esantys objektai. Tokiu būdu tiriamų paviršiaus taškų aibė sudaro derinį, primenantį spiralę. Kadangi vertikalus kampas sulig kiekvienu apsisukimu didinamas fiksuota reikšme, palaipsniui didėja tiriamas plotas bei mažėja raiška, todėl vertikalus kampas nėra toks didelis kaip radaro, o dėl šių priežasčių sensoriui esant 16 m. aukštyje ir maksimaliam vertikaliam kampui esant 86° , bendro tiriamo ploto spindulys sudaro apie 230 m.

Pateiktų radiometro duomenų formatas panašus į radaro, tik, kaip ir veikimo atveju, sukeičiami vietomis vertikalaus kampo bei azimuto žingsniai. Duomenų failo formatas:

Pradiniai duomenys	64 bitai
Azimuto kampai	$30 \cdot 180 \cdot 16$ bitų
Vertikalūs kampai	$30 \cdot 16$ bitų
Temperatūrų reikšmės	$30 \cdot 180 \cdot 32$ bitai
Papildomi duomenys (nenaudojama)	$4 \cdot 32$ bitai
Viso	259872 bitai

Duomenų saugojimo specifikacija

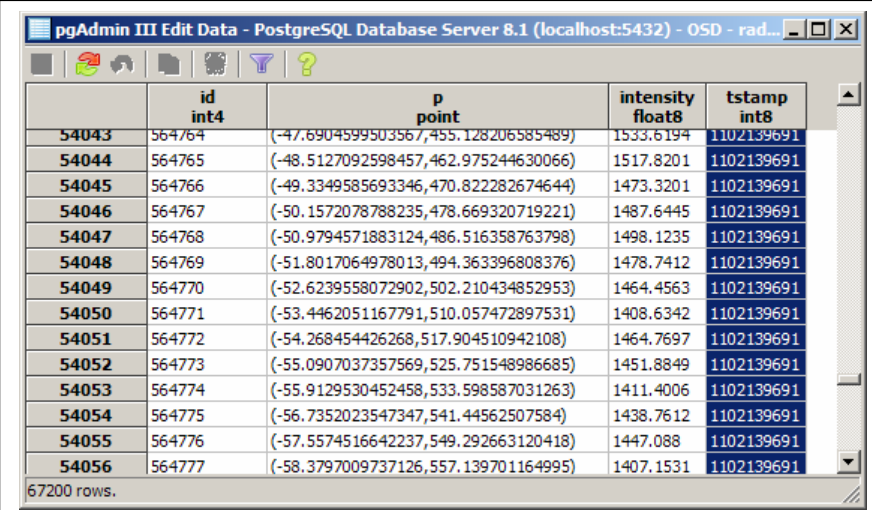
Sukurtoje programinėje įrangoje sensoriaus duomenys darbo pradžioje nuskaitomi iš nurodytame kataloge esančių bylų ir pakraunami į PostgreSQL duomenų bazę. Duomenys saugomi tokiose lentelėse:

	Radaro duomenys:	Radiometro duomenys:
Polinė koordinacių sistema	<pre>CREATE TABLE radar_polar_data (id SERIAL NOT NULL, azimuth int4 NOT NULL, sample int4 NOT NULL, intensity float8 NOT NULL, tstamp int8);</pre>	<pre>CREATE TABLE radio_polar_data(id SERIAL NOT NULL, azimuth int4 NOT NULL, v_angle int4 NOT NULL, intensity float8 NOT NULL, tstamp int8);</pre>
Dekarto koordinacių sistema	<pre>CREATE TABLE radar_xy_data(id SERIAL NOT NULL, p point NOT NULL, intensity float8 NOT NULL, tstamp int8 NOT NULL);</pre>	<pre>CREATE TABLE radio_xy_data(id SERIAL NOT NULL, p point NOT NULL, intensity float8 NOT NULL, tstamp int8 NOT NULL);</pre>

Įrankis pateikdamas vaizdus operatoriui nenaudoja polinės koordinacių sistemos lentelių, kadangi šie duomenys nėra tarpusavyje susieti. Pakrauti duomenys iš polinės koordinacių sistemos konvertuojami į Dekarto koordinacių sistemą, suvienodinant abiejų sensorių mastelius. Tokiu būdu gauname, jog vienas vaizdo taškas atitinka vieną kvadratinį metrą:

Radaro duomenys:	Radiometro duomenys:
<pre>INSERT INTO public.radar_xy_data (p,intensity,tstamp) SELECT point(7.89*sample*cos((azimuth+90)*0.01745, 7.89*sample*sin((azimuth+90)*0.01745, intensity, tstamp FROM radar_polar_data;</pre>	<pre>INSERT INTO public.radio_xy_data (p,intensity,tstamp) SELECT point(TAN(v_angle*0.01745)*16* COS((azimuth+90)*0.01745), TAN(v_angle*0.01745)*16* SIN((azimuth+90)*0.01745)), intensity, tstamp FROM radio_polar_data;</pre>

Pakrovus duomenis į šias lenteles taip pat sukuriame indeksai laukui *tstamp*, kadangi atvaizduojant duomenis grafiškai taškai iš duomenų bazės parenkami būtent pagal šį parametą. Atlikus šiuos žingsnius programinė įranga jau geba atvaizduoti sensoriaus duomenis grafiškai (žr priedus nr. 4 ir 5).



	id int4	p point	intensity float8	tstamp int8
54043	564764	(-47.6904599503567,455.128206585489)	1533.6194	1102139691
54044	564765	(-48.5127092598457,462.975244630066)	1517.8201	1102139691
54045	564766	(-49.3349585693346,470.822282674644)	1473.3201	1102139691
54046	564767	(-50.1572078788235,478.669320719221)	1487.6445	1102139691
54047	564768	(-50.9794571883124,486.516358763798)	1498.1235	1102139691
54048	564769	(-51.8017064978013,494.363396808376)	1478.7412	1102139691
54049	564770	(-52.6239558072902,502.210434852953)	1464.4563	1102139691
54050	564771	(-53.4462051167791,510.057472897531)	1408.6342	1102139691
54051	564772	(-54.268454426268,517.904510942108)	1464.7697	1102139691
54052	564773	(-55.0907037357569,525.751548986685)	1451.8849	1102139691
54053	564774	(-55.9129530452458,533.598587031263)	1411.4006	1102139691
54054	564775	(-56.7352023547347,541.44562507584)	1438.7612	1102139691
54055	564776	(-57.5574516642237,549.292663120418)	1447.088	1102139691
54056	564777	(-58.3797009737126,557.139701164995)	1407.1531	1102139691

67200 rows.

Pav. 11. Duomenys, patalpinti PostgreSQL duomenų bazėje.

Vaizdų apdorojimas

Sukurtas įrankis suteikia operatoriui galimybes taikyti duotam vaizdui parinktus vaizdo apdorojimo algoritmus. Parinkti įprastiniai algoritmai, kurių veikimo principai šiame darbe aprašyti anksčiau, tai – *Canny* filtras, Roberto ir Sobelio operatoriai. Taikant šiuos algoritmus sensoriaus vaizdams galima duotame vaizde nesunkiai išskirti įvairius objektus, o nagrinėjant skirtingo laiko gretimų sensoriaus vaizdų binarinį skirtumą galima efektyviai lokalizuoti judančius objektus.

Papildomos galimybės

Java programavimo kalba suteikia galimybę prie programinės įrangos dinamiškai prijungti papildomus vaizdų apdorojimo algoritmus. Įrankio sąsaja geba pateikti vaizdą kaip dvimatį taškų masyvą su papildoma metainformacija apie sensoriaus tipą, mastelį ir pan. Taškų intensyvumas išreiškiamas spalvos pilkumu, kuris koduojamas vienu baitu. Tokiu būdu esant poreikiui galima nesunkiai prijungti standartinius algoritmus, parašytus *Java* kalba.

Struktūra

Programinės įrangos struktūra bei klasių aprašymai pateikti priede nr. 6.

Išvados ir rekomendacijos

Šiame darbe buvo pateikta skystų naftos produktų išsiliejimo vandens paviršiuje problematika ir dažniausiai tokių naftos dėmių atpažinimui iš SAR vaizdų naudojami algoritmai. Pavieniai algoritmai ne visada yra efektyvūs, todėl reikalinga naudoti algoritmų derinius, kurie sugebėtų visapusiškai įvertinti pradinio vaizdo savybes. Kartais naftos dėmei identifikuoti pakanka paprastų vaizdo apdorojimo algoritmų, tačiau kaip rodo praktika, dažnai pasitaiko situacijų, kai norint atlikti tikslių atpažinimą greta įprastų algoritmų reikalinga taikyti įvairius sudėtingesnius, statistinius modelius. Galutinis rezultatas tam tikru aspektu visuomet lieka daugmaž toks pats – sistema išpėja operatorių apie galimą pavojų ir įvertina pavojaus tikimybę, tačiau garantuoti, jog gautas automatinio tyrimo rezultatas yra teisingas, negali.

Siekiant išgauti kuo daugiau informacijos iš pradinių sensoriaus duomenų, taikomi įvairūs algoritmų deriniai. Šiame darbe pasiūloma metodika, kurią pasitelkus statinių vaizdų analizės algoritmai gali būti taikomi dinaminiam vaizdams. Pateikta programinė įranga leidžia analizuoti dinaminis vaizdus, kuriant algoritmų seką, kurios pagalba identifikuojamas incidentas. Taip pat šiame darbe pasiūloma algoritmus derinti ne tiesiškai, o atsižvelgiant į pradines sąlygas; įvedama taip vadinama *metaalgoritmo* sąvoka. Metaalgoritmas turėtų optimizuoti analizės procesą ir taip pat apspręsti, kokia tvarka vykdomi algoritmai ar jų sekos tiksliausiai nustatys naftos dėmių buvimo duotame vaizde tikimybę.

Taip pat sukurtas įrankis, kurio pagalba galima atvaizduoti sensorių duomenis grafiškai, jais manipuluoti ir derinant įvairius nesudėtingus algoritmus nustatyti efektyviausią naftos dėmių atpažinimo metodiką duotomis pavyzdinėmis sąlygomis. Šio įrankio pagalba nustatytą optimalią veiksmų seką galima išsaugoti ir vėliau atpažinimui taikyti automatiškai.

Atliekant eksperimentus su sukurtu įrankiu nustatyta:

1. Duomenų bazėje saugomais sensoriaus duomenimis galima nesunkiai manipuluoti SQL kalba. PostgreSQL DBVS naudojant GiST praplėtimus galima atlikti tokias užklausas kaip nustatyto intensyvumo taškų paieška tam tikrame plote duotam laiko momentui, atstumų bei kampų matavimai ir pan.
2. Sensoriaus duomenų konversija į Dekarto koordinatų sistemą atliekama SQL kalba. Naudojant pakankamai galingą techninę įrangą vienas radaro vaizdas (13440 taškų) pakraunamas į programą greičiau negu per 1 sekundę, todėl prieita prie išvados jog sensoriaus duomenų saugojimas PostgreSQL netrukdo normaliam operatoriaus darbui, tik

suteikia daugiau galimybių.

3. Atvaizduojant sensoriaus duomenis Dekarto koordinatų sistemoje gaunamas dvimatis vaizdas, kuriam galima nesunkiai taikyti įvairius vaizdo apdorojimo algoritmus. Dėl palyginti nedidelės vaizdų raiškos algoritmai atliekami pakankamai greitai.
4. Tiriant sensoriaus pateiktus duomenis nustatyta, jog dauguma atveju SNP dėmės vandens paviršiuje juda viena ar kita kryptimi, todėl tokių objektų koordinatės, plotą ir judėjimo kryptį gana efektyviai galima nustatyti atliekant binarinį dviejų gretimų sensoriaus vaizdų palyginimą. Kontūrų išryškavimo bei lokalizavimo algoritmai padeda tiksliau nustatyti tiriamo objekto koordinatės ir plotą.
5. Paprastų vaizdo apdorojimo algoritmų pakanka naftos dėmei lokalizuoti, tačiau gilesnei analizei reikalingi kompleksiniai algoritmai, kurių pagalba tiksliau galima nustatyti SNP dėmės savybes (tūrį ir pan.).

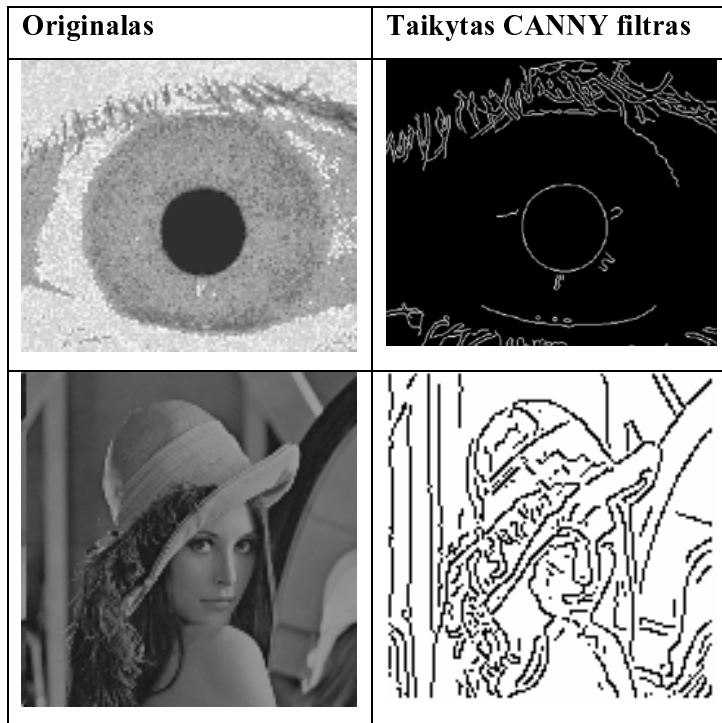
Literatūros sąrašas

- *Anne Solberg, Line Eikvil, Jason Baragry, NR.* OSD System analysis – 2004.
- *Coastal Environmental Assessment Regional Activity Centre.* Algorithms of oil spill detection on SAR images – 2004.
- *Antonios Gasteratos.* An introduction to soft mathematical morphology – 2000.
- *N. Petkov and M.B. Wielinng.* Canny edge detector (Canny filter) for image processing and computer vision – 2005
- *Solberg, A.H.S., Dokken, S.T., Solberg, R.* Automatic detection of oil spills in ENVISAT, Radarsat and ERS SAR images. 0-7803-7929-2/03/\$17.00 (C) 2003 IEEE, pp 2747 - 2749
- *Bob Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker and Erik Wolfart* - Hypermedia Image Processing Reference – 1994
- *S. B. Mansor, H. Assilzadeh, H.M. Ibrahim, A. R. Mohamd.* Oil Spill Detection and Monitoring from Satellite Image
- *K. L. Anderson, F. C. Mintzer, G. Goertzel, J. L. Mitchell, K. S. Pennington, W. B. Pennebaker.* Binary-image-manipulation algorithms
- *K. Topouzelis a, V. Karathanassi, P. Pavlakis, D. Rokos.* Oil spill detection using RBF neural networks and SAR data
- *Mervin F. Fingas, Carl E. Brown.* Review of Oil Spill Remote Sensing - 2000
- *Miroslav Kubat, Robert C. Holte, Stan Matwin.* Machine Learning for the Detection of Oil Spills in Satellite Radar Images – 1998
- *R. T. S. ARAÚJO, FÁTIMA N. S. DE MEDEIROS, R. C. P. MARQUES, RODRIGO C. S. COSTA.* Detection of Oil Spills in SAR Images Using Wavelets and Region Growing – 2001
- *Thomas Pintaric.* An Adaptive Thresholding Algorithm for the Augmented Reality Toolkit – 2003
- *Bill Green.* Canny Edge Detection Tutorial – 2002
- *Maged Marghany.* RADARSAT automatic algorithms for detecting coastal oil spill pollution – 2001
- *K. Sankaran, J. F. Guasch.* Radar Remote Sensing for Oil Spill Classification. IEEE MELECON May 2004, pp 511-518.
- *Niels Skou.* Remote sensing system for the detection of oil spills from offshore installations. Jun 2004, pp 5-14

- *A.G. Kostianoy, K.Ts. Litovchenko, S.A. Lebedev, O.E. Pichuzhkina, S.V. Stanichny and D.M. Soloviev. Operational Satellite Monitoring of Oil Spill Pollution in the Southeastern Baltic Sea. 0-7803-91 03-9/05/\$20.0002005 IEEE, pp 182-183*

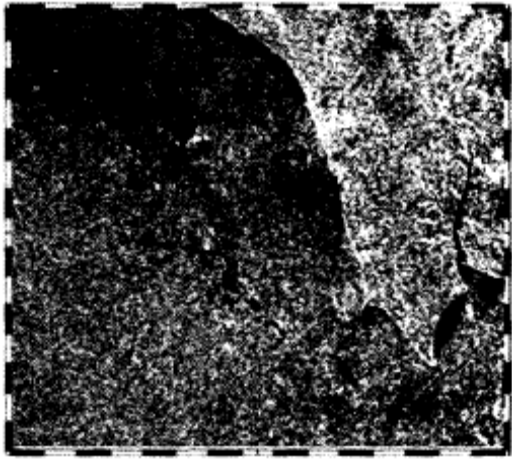

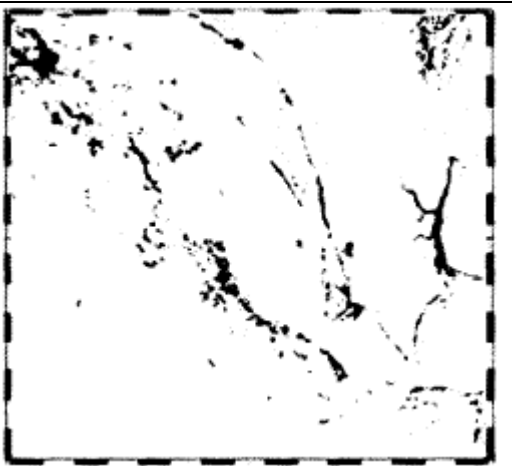
Priedas Nr. 1

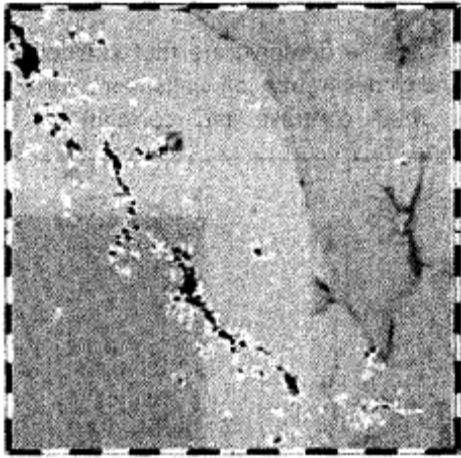
Canny filtro taikymo rezultatai:



Priedas Nr. 2

RADARSAT algoritmo tekstūrinės analizės rezultatai

	<p>Kontrastinė analizė</p> $Con = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p_{ij}$
	<p>Koreliacinė analizė</p> $Cor = \left\{ \sum_i \sum_j (ij) p_{ij} - \mu_x \mu_y \right\}$
	<p>Entropinė analizė</p> $Ent = \sum_i \sum_j p_{ij} \log p_{ij}$



Energinė analizė

$$Eng = \sum_i \sum_j (p_{ij})^2$$

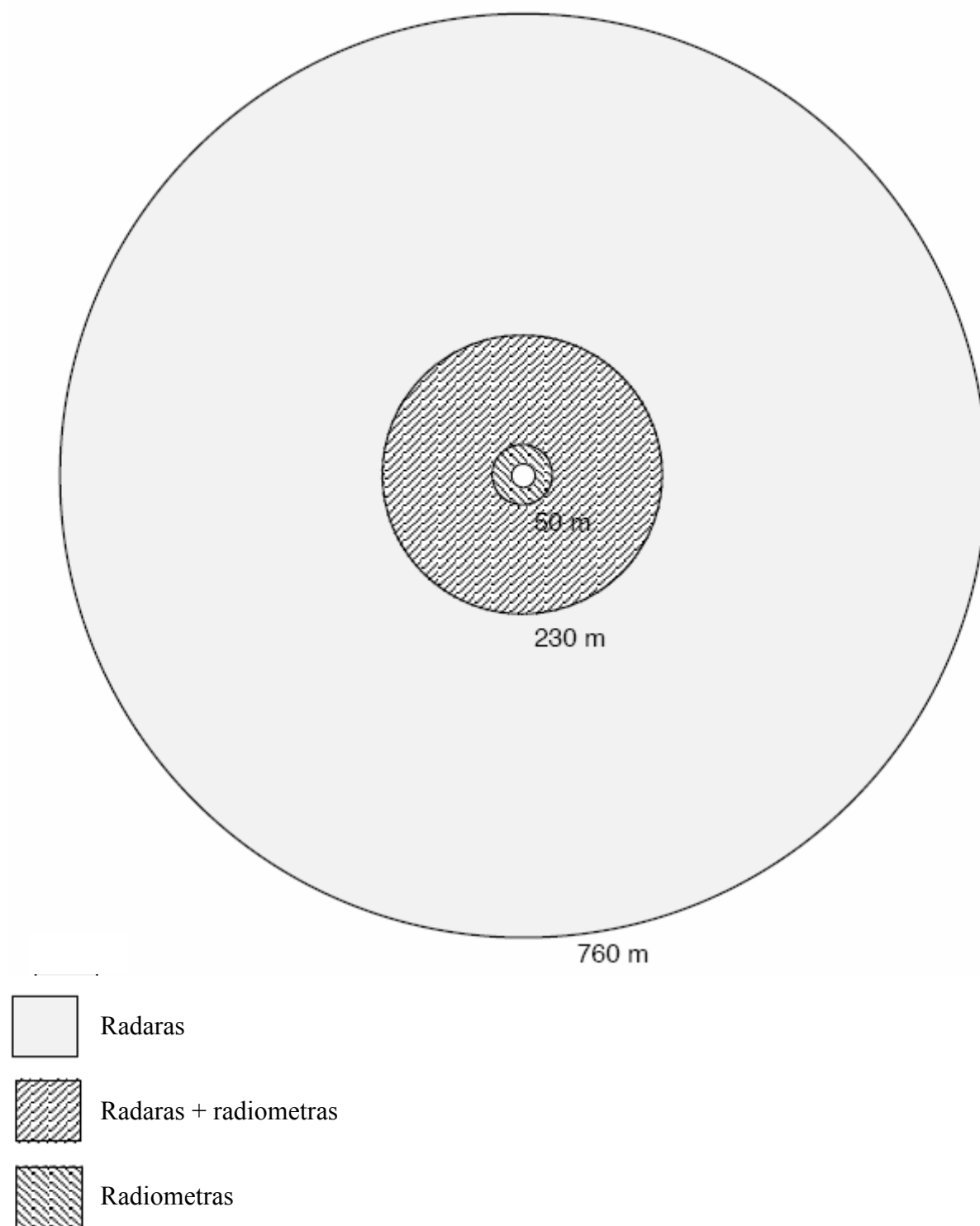


Homogeniškumo analizė

$$Hom = \sum_i \sum_j p_{ij} / \{1 + (i - j)\}^2$$

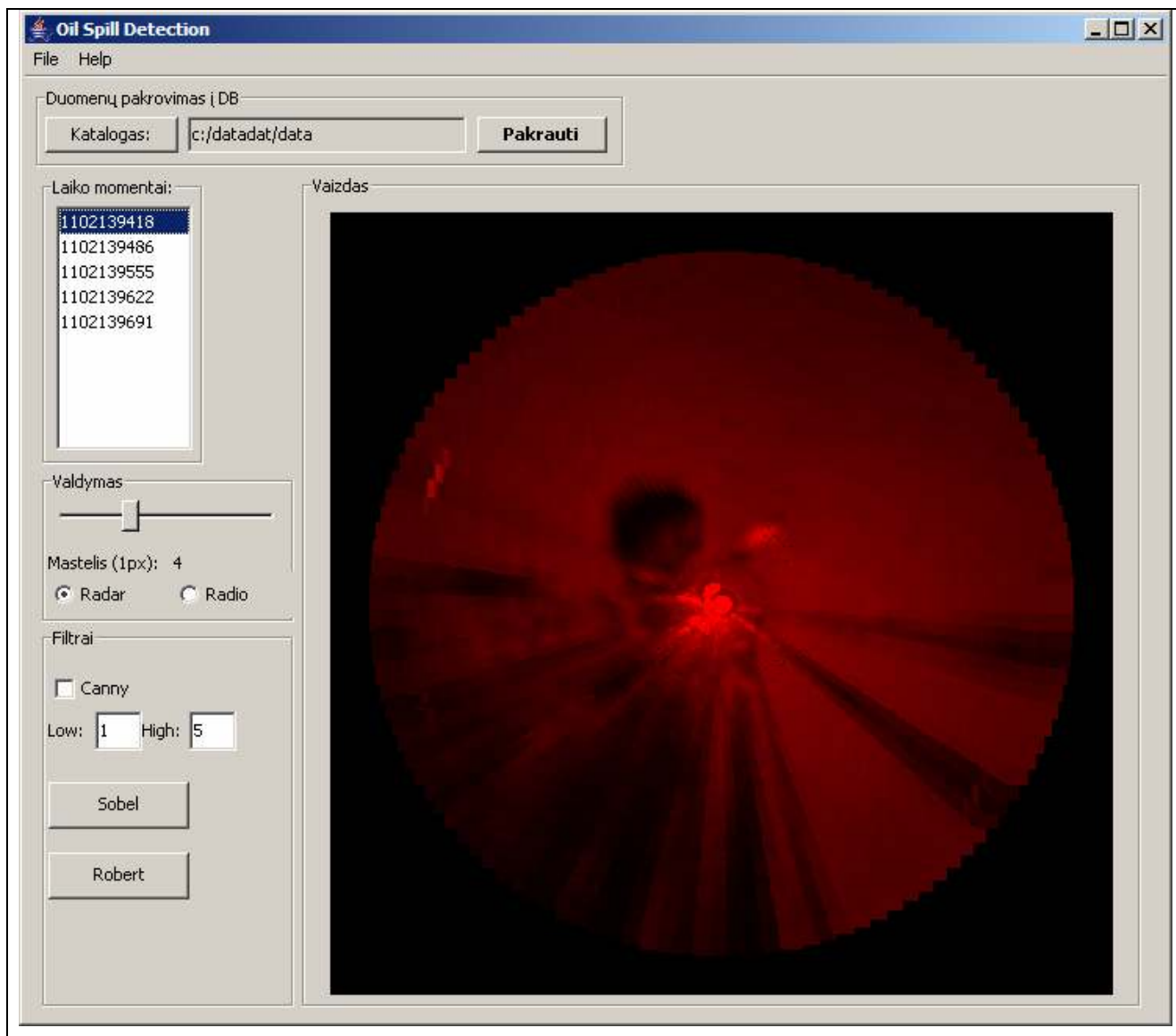
Priedas Nr. 3

Radaro bei radiometro veikimo laukų persidengimas:



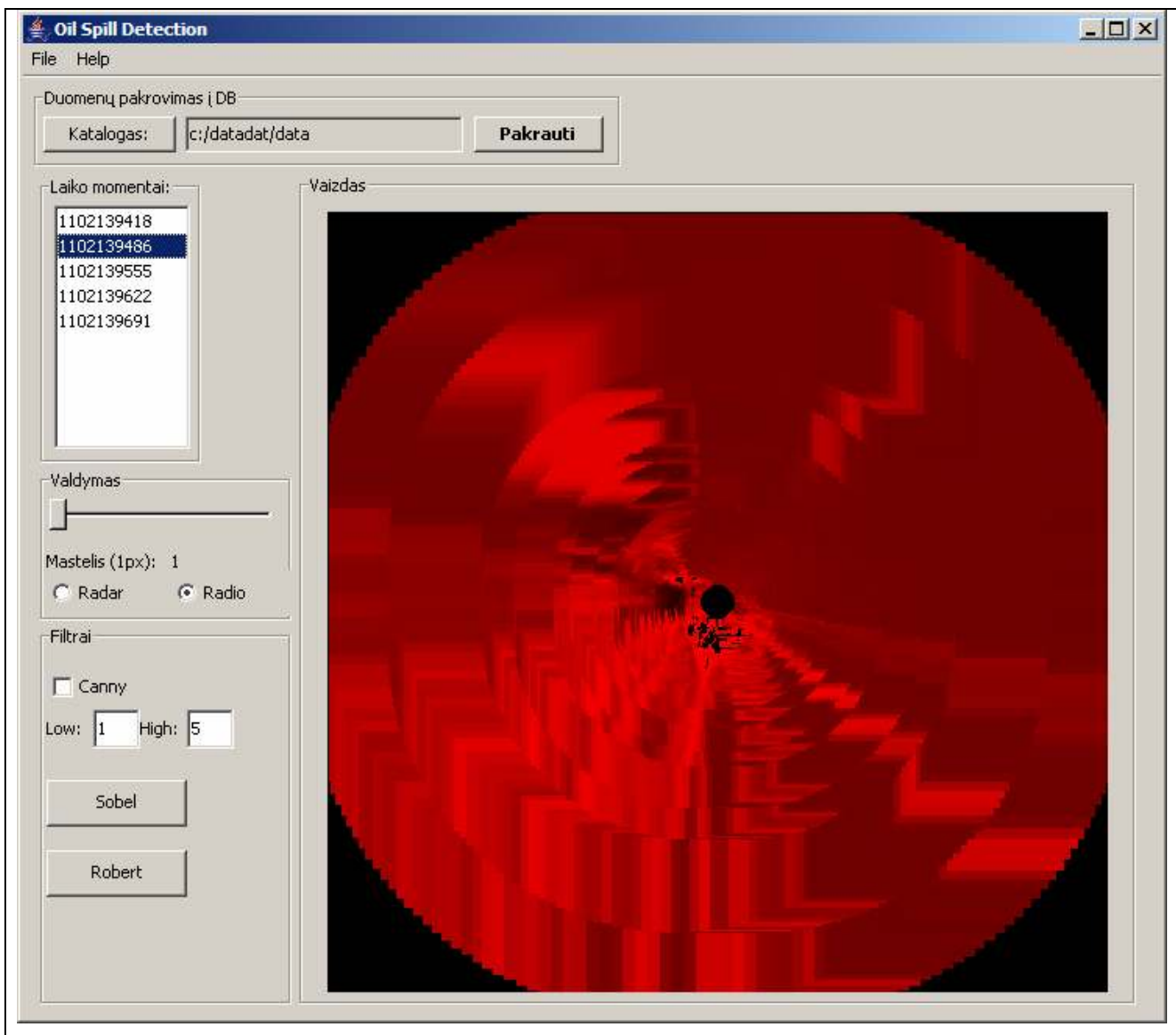
Priedas Nr. 4

Radaro duomenų atvaizdavimas sukurtoje programinėje įrangoje (mastelis 1px=4m):



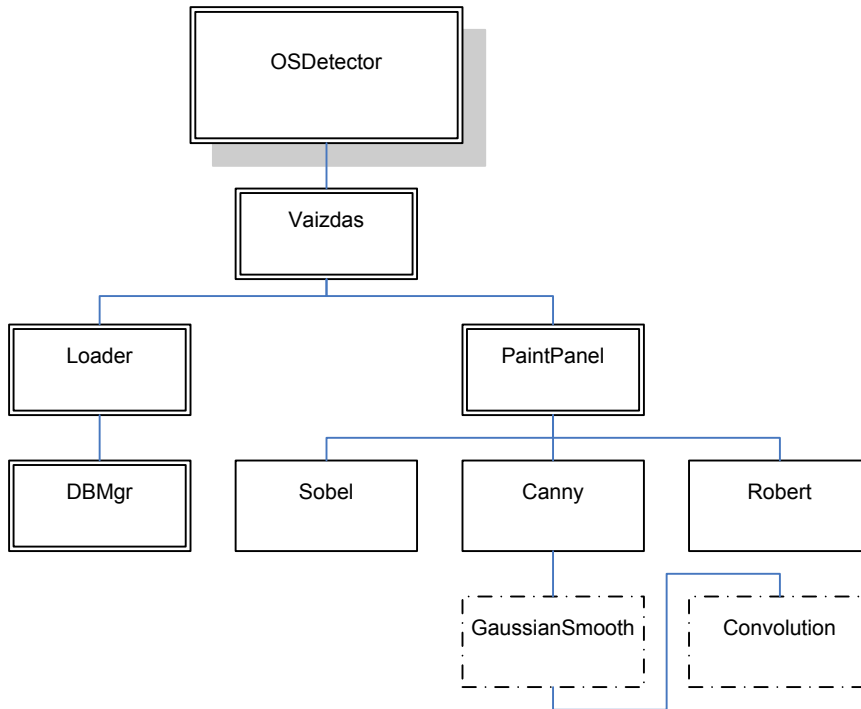
Priedas Nr. 5

Radiometro duomenų atvaizdavimas sukurtoje programinėje įrangoje (mastelis: 1px=1m):



Priedas Nr. 6

Hierarchinėje diagramoje pateikiama programinės įrangos struktūra:



Lentelėje pateikiami kiekvienos klasės funkcijų aprašymai:

Klasė	Aprašymas
<i>OSDetector</i>	Pagrindinė klasė, skirta formuoti aplikacijos langą ir juo manipuluoti
<i>Vaizdas</i>	Klasė, skirta aplikacijos apipavidalinimui (mygtukai, sensoriai ir pan.)
<i>Loader</i>	Klasė, skirta duomenims iš bylų ar iš duomenų bazės pakrauti.
<i>DBMgr</i>	Duomenų bazės klasė, pateikianti sąsają klasei <i>Loader</i>
<i>PaintPanel</i>	Duomenų atvaizdavimo ir interpretavimo bei veiksmų su vaizdais klasė.
<i>Sobel/Robert</i>	Atitinkamų vaizdo filtrų klasės
<i>Canny</i>	Canny filtro klasė, taip pat dvi pagalbinės vaizdo paruošimo filtravimui klasės.