

VILNIAUS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS INSTITUTAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

**Plaučių ligų diagnozavimas rentgeno
nuotraukose**

Lung disease recognition in chest x-ray images

Bakalauro baigiamasis darbas

Atliko: Laurynas Vaišys (parašas)

Darbo vadovas: lekt. dr. Tomas Plankis (parašas)

Darbo recenzentas: lekt. dr. Vytautas Valaitis (parašas)

Vilnius – 2020

PADĒKA

Norēčiau padēkoti savo darbo vadovui, Tomui Plankiui, už pagalbą rašant baigiamąjį darbą, konsultācijas.

SANTRAUKA

Šiame darbe yra aptariami literatūroje randami automatiniai pneumonijos aptikimo plaučių rentgeno nuotraukose metodai, kurie paremti tradicinėmis skaitmeninių vaizdų apdorojimo technikomis bei konvoliuciniais neuroniniais tinklais. Vienas iš detaliau pristatomų metodų tai A. Sharma ir kolegų pateiktas metodas, kuris remiasi Otsu slenksčio radimu ir tradicinėmis skaitmeninių nuotraukų apdorojimo technikomis. Darbe buvo pasiūlytas ir sukurtas algoritmas, kuris remiasi A. Sharma ir kolegų pateikta metodika. Sukurtame algoritme buvo panaudotas plaučių radimas ir apkirpimas, kuris remiasi klasikiniiais objektų atpažinimo metodais HOG, Haar ir LBP bei Otsu slenksčio radimu. Pagal sukurtą algoritmą įgyvendinta taikomoji programa. Atlikus jos testavimus su plaučių rentgeno nuotraukomis nustatyta, kad sukurtas metodas gali tapti pagalbiniu įrankiu specialistams siekiant nustatyti pneumoniją, nes jį pritaikius galima lengviau pamatyti, kad sveikų plaučių užpildymas yra vientisesnis ir mažiau suiręs nei pneumonijos paveiktų. Tačiau kartais jis nepajėgia teisingai atpažinti ir apkirpti pneumonijos pažeistų plaučių masyvo, o Otsu algoritmas net ir sveikuose plaučiuose gali parodyti pneumonijos atvejais randamus tam tikrus nevientisumus.

Raktiniai žodžiai: pneumonija, rentgeno nuotraukos, klasikinis skaitmeninių vaizdų apdorojimas, Otsu metodas.

SUMMARY

In this study methods of automatic pneumonia detection in chest X-rays (CXR) that are found in literature are presented. These methods are based on traditional image processing techniques and convolutional neural networks. One of presented is the method proposed by A. Sharma and his colleagues. It is based on traditional image processing and Otsu thresholding. We proposed new algorithm that was based on A. Sharma's one. In this algorithm we used HOG, Haar-like and LPB approaches to detect and cut lungs from whole image as well as Otsu thresholding. By this algorithm we created application. While testing it with real CXRs we noticed that this method could help recognize pneumonia, because for healthy lungs it showed less corrosion in lung masks and they were smoother than for lungs with present pneumonia. However, sometimes it was not able to correctly recognize lungs and cut CXRs with present pneumonia. Also, sometimes even in healthy lungs Otsu thresholding was showing some disintegration that are common for pneumonia affected lungs.

Keywords: pneumonia, chest X-rays, image processing, Otsu thresholding.

TURINYS

ĮVADAS.....	6
1. PNEUMONIJOS ATPAŽINIMAS RENTGENO NUOTRAUKOSE	9
1.1. Kompiuteriniai neuroniniai tinklai.....	9
1.1.1. CheXNET technologija	10
1.1.2. John R. Zech bei kolegų aprašyta technologija	10
1.1.3. R. Sarkar, A. Hazra bei kolegų pateiktas metodas	10
1.2. Skaitmeninis vaizdų apdorojimas	11
1.2.1. A.Khatri ir kolegų metodas	11
1.2.2. A. Sharma ir kolegų metodas	12
1.3. Pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodikų apibendrinimas	14
2. SKAITMENINIŲ RENTGENO NUOTRAUKŲ APDOROJIMO METODIKOS	
ĮGYVENDINIMAS	17
REZULTATAI IR IŠVADOS	24
ŠALTINIAI.....	25
SĄVOKŲ IR SANTRUMPŲ APIBRĖŽIMAI.....	28

IVADAS

Žmogus ramybės būsenoje vidutiniškai įkvėpia 16-20 kartų per minutę. Tam, kad vyktų šis nenutrūkstamas biologinis procesas, svarbų vaidmenį atlieka žmogaus kvėpavimo takai bei plaučiai, kurie padeda įsisavinti deguonį ir pašalinti anglies dioksidą iš organizmo [GL00]. Be šių kvėpavimo sistemos organų žmogus negalėtų egzistuoti.

Kiekvienas iš mūsų turi rūpintis savo sveikata, tačiau ne visi turi galimybes tinkamai ir reguliariai tai daryti. Tai yra didelė problema valstybėse, kuriose ekonominis, socialinis bei politinis išsivystymo lygis yra gana žemas. Pasak Pasaulinės Sveikatos Organizacijos (PSO), viena iš daugiausia mirčių pareikalaujanti liga tokiose šalyse yra pneumonija. Kaip teigia Sakalauskas su kolegomis [SBB+03], pagal mirties atvejų skaičių pneumonija kartu su kitomis respiracinėmis infekcijomis užima pirmąją vietą tarp visų infekcinės kilmės ligų.

Pneumonija – tai ūminis, dažniausiai lokalizuotas, infekcinės kilmės plaučių uždegimas. Sergamumas pneumonija įvairiose pasaulio šalyse svyruoja nuo 1 iki 16 atvejų per metus 1000-iui gyventojų, nors pacientų iki 5 metų ir vyresnių kaip 75 metų grupėse šis rodiklis gali viršyti 35/1000 [SBB+03]. Tai plačiai paplitusi ir grėsminga liga, kurios sunkumas varijuoja nuo lengvos iki sunkiausių formų [SDM+16]. Šios ligos sukėlėjai gali būti įvairūs virusai, bakterijos ir kita [SBB+03].

Daugeliu atvejų galima išvengti mirtinų šios ligos pasekmių, pritaikius tinkamą gydymo planą. Ši liga diagnozuojama atliekant kraujo tyrimus, imant tam tikrų išskyrų (skreplių) mėginius, darant rentgeno nuotraukas [SBB+03]. Gydytojui, kuriam tenka diagnozuoti ir gydyti pneumonija sergantį pacientą, labai svarbu mokėti tinkamai suprasti asmens tyrimo rezultatų duomenis laiku ir tinkamai diagnozuoti šią ligą. Kuo greičiau medicinos darbuotojai gebės aptikti plaučiuose vykstančius pakitimus, tuo greičiau galės imtis optimalaus gydymo parinkimo. Greita ir pakankamai tiksli diagnostika galėtų pagerinti gydymo rezultatus [SDM+16]. Atsižvelgiant į tai svarbu kurti įvairias metodikas, galinčias padėti kuo greičiau ir patogiau diagnozuoti šią ligą ar bent jau padėti nustatyti įtarimą keliančius atvejus.

Rentgenografija yra labai svarbus medicininių tyrimų metodas. Pasitelkiant rentgeno spinduliuotę jautrioje fotografinėje medžiagoje registruojamas tiriamo objekto atvaizdas – rentgenograma. Tokiu būdu nustatomi įvairių lūžių ar kitų vidaus organų pažeidimai [BDL+06]. Šis metodas, kaip ir minėta anksčiau, dažnai naudojamas patvirtinti pneumonijos diagnozei [SDM+16]. Ši procedūra yra visiškai neskausminga ir trunka labai trumpai, tačiau nerekomenduojama jos atlikti dažniau nei 1-2 kartus per metus. Šis metodas yra pigesnis, nei kitas medicinos srityje naudojamas kompiuterinės tomografijos metodas, todėl būtent rentgenografija yra naudojama kaip vienas iš pradinių diagnozavimo įrankių [GTF+14].

Svarbu atsižvelgti į tai, kad rentgeno nuotraukos peržiūrėjimas užtrunka sąlyginai daug laiko ir ne visi specialistai gali tinkamai ir greitai išanalizuoti jas. Nuotraukose sveikatos priežiūros darbuotojai turi kruopščiai ieškoti atsiradusių pneumonijos pėdsakų plaučiuose, kurių radimas gali padėti identifikuoti atsiradusią infekciją [GTF+14].

Taigi, medicinos darbuotojai dažnai užsako rentgeno nuotraukas pacientams, kuriems įtariama pneumonija, jų analizei skiriama daug laiko. Atsižvelgiant į tai bandoma kurti įvairias metodikas padėsiančias supaprastinti rentgeno nuotraukų peržiūrą. Siekiama, kad būtų galima greičiau ir tiksliau identifikuoti tam tikrus pakitimus, šiuo atveju, atsirandančias tarsi baltus debesis plaučiuose. Rentgenografijoje bandoma įdiegti kompiuterines technologijas, kurios šį procesą palengvintų ir pagreitintų [GTF+14].

Tyrėjai pastebi, kad ne visos technologijos ir apdorojimo technikos yra vienodai efektyvios. Todėl lieka neaišku, kokie būdai apdorojant rentgeno nuotraukas turėtų būti naudojami praktikoje.

Atsižvelgiant į tai imtasi tyrimo, kuriuo siekiama apžvelgti rentgeno nuotraukų apdorojimo būdus, vieną jų pasiūlyti ir įgyvendinti, pritaikius tam tikrus patobulinimus. Taigi, šio baigiamojo darbo pagrindinis **tikslas** – atlikus literatūros apžvalgą, pasiūlyti ir įgyvendinti rentgeno nuotraukų apdorojimo ir atpažinimo metodą, leidžiantį aptikti pneumoniją plaučiuose.

Tiksliui pasiekti keliama **uždaviniai**:

1. Apžvelgti literatūroje aprašomų plaučių rentgeno nuotraukų apdorojimo ir atpažinimo technologijas, skirtas nustatyti pneumoniją.
2. Pasirinkti ir įgyvendinti vieną pneumonijos atpažinimo plaučių rentgeno nuotraukose metodą.
3. Patikrinti įgyvendinto metodo veiksmingumą su realiomis plaučių rentgeno nuotraukomis.

Tyrimo objektas: pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodas.

Tyrimo metodai: teorinis - mokslinės literatūros analizė, ieškant pneumonijos radimo plaučių rentgeno nuotraukose technologijų; empirinis tyrimas – parengiama ir testuojama taikomoji programa, leidžianti realizuoti vaizdų apdorojimo ir atpažinimo technologijas.

Darbo atlikimo eiga:

1. Atlikti teorinės medžiagos, apie pneumonijos nustatymą plaučių rentgeno nuotraukose, rinkimą ir analizę.
2. Pasiūlyti pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodą.
3. Atrinkti tyrimui tinkamas su įvairiais plaučių pažeidimais, sukeltais pneumonijos, skaitmenines rentgeno nuotraukas.
4. Parengti pasiūlytą metodą įgyvendinančią taikomąją programą.

5. Atlikti bandymus su įvairiomis skaitmeninėmis plaučių rentgeno nuotraukomis.
6. Atlikti bandymų metu gautų tyrimo rezultatų analizę.

1. PNEUMONIJOS ATPAŽINIMAS RENTGENO NUOTRAUKOSE

Rentgenografija yra labai svarbus medicininių tyrimų metodas. Pasitelkiant rentgeno spinduliuotę jautrioje fotografinėje medžiagoje registruojamas tiriamo objekto atvaizdas – rentgenograma [BDL+06]. Šis atvaizdas gali būti perkeltas į skaitmeninį formatą. Techniškai skaitmeninės rentgeno nuotraukos yra nespalvoti paveikslėliai, kurie pateikiami matricos pavidalu, kurioje kiekvienas taškas turi užkoduotą informaciją. Nespalvoto vaizdo atveju kiekvieno matricos elemento reikšmė koduojama 0-255 režio reikšme, o tai yra mažiau už spalvoto vaizdo matricos elementų reikšmes, kurios koduojamos RŽM spalvų paletėje, visa tai palengvina vaizdo apdorojimą [Tya18].

Nagrinėjant plaučių rentgeno nuotraukas sveikatos priežiūros darbuotojai turi kruopščiai ieškoti atsiradusių tarsi baltų dėmių plaučiuose, jų radimas gali padėti identifikuoti atsiradusią infekciją - pneumoniją [GTF+14]. Nustatant pneumoniją rentgeno nuotraukose susiduriama su tokiais iššūkiais kaip plaučių kontūro radimas, nepakankamai ryškus vaizdas, pašaliniai daiktai rentgeno nuotraukoje ir panašiai [Tya18].

Toliau pateikta keletas plačiau žinomų būdų naudojamų nustatant pneumoniją rentgeno nuotraukose.

1.1. Kompiuteriniai neuroniniai tinklai

Pasitelkus kompiuterines technologijas nemažai naudos nustatant pneumoniją buvo gauta panaudojus kompiuterinius konvoliucinius neuroninius tinklus (*angl. Convolutional Neural Networks*) [OSB+08]. Konvoliuciniai neuroniniai tinklai, tai viena iš dirbtinio neuroninio tinklo rūšių, kuri yra plačiai taikoma dviejų dimensijų pikselių masyvų (vaizdų) apdorojime. Šie neuroniniai tinklai yra tokie tinklai, kurie bent vieną kartą vietoje matricų daugybos (*angl. general matrix multiplication*) tinklo apmokymo metu naudoja bent vieną matematinę operaciją, dar kitaip vadinama konvoliucija. Šia technologija neuroniniam tinklui yra suteikiama pavyzdinė informacija, kuri yra išmokstama ir kurią jis geba imituoti [GBC16]. Tokių įrankių kūrimas yra labai populiarus ir augantis. Literatūroje randama labai daug tokių technologijų paremtų kompiuteriniais konvoliuciniais neuroniniais tinklais, kurių veiksmingumas atpažįstant pneumoniją yra labai aukštas. Keletas iš plačiau aprašytų tai „CheXNet“ [RIZ+17], John R. Zech bei kolegų pateiktas metodas [ZBL+18] bei M. Gupta, D. Konar ir kolegų pateiktas metodas [GKB+19]. Trumpa jų apžvalga pateikta tolesniuose skyreliuose.

1.1.1. CheXNET technologija

2017 metais publikuota „CheXNet“ technologija – tai radiogramų, kitaip objektų atvaizdavimų, pavyzdžiui, rentgenogramų analizavimo technologija, kuri remiasi 121-o lygio neuroniniais tinklais [RIZ+17]. Ji yra sukurta naudojant plaučių rentgeno nuotraukų duomenų bazę „ChestX-ray 14“, kurioje yra daugiau nei 100000 rentgeno nuotraukų. Tai yra patvirtinta ir gerokai pranokstanti rentgenologijos specialistus technologija, kurios patikimumas atskiriant plaučius su pneumonija ir be jos yra AUC 76%, tačiau ši technologija nėra pajėgi nustatyti pneumoniją plaučių rentgenogramoje, kuri yra daryta iš šono [TNV+20] [RIZ+17].

1.1.2. John R. Zech bei kolegų aprašyta technologija

2018 metais „PLoS medicine“ publikuotame straipsnyje pristatomas dar vienas Zech ir kolegų metodas, skirtas nustatyti pneumoniją plaučių rentgeno nuotraukose [ZBL+18]. Šis metodas taip pat naudoja konvoliucinius kompiuterinius neuroninius tinklus klasifikuojant rentgeno nuotraukas. Apmokyti neuroninį tinklą buvo panaudotos trys plaučių rentgeno nuotraukų bibliotekos (NIH, IU, MSH), todėl iš viso buvo panaudoti net 158,323 rentgeno nuotraukų vaizdai. Šio modelio apmokytas metodas su naujomis rentgeno nuotraukomis pasiekė net AUC 81% patikimumą, o su jau naudotomis rentgeno nuotraukomis buvo gautas net AUC 93% patikimumas [ZBL+18].

1.1.3. R. Sarkar, A. Hazra bei kolegų pateiktas metodas

2019 metais R. Sarkar, A. Hazra su kolegomis pateikė dar vieną metodologiją, kuri paremta išankstiniu konvoliucinių tinklų apmokymu, tačiau, kitaip nei prieš tai įvardintuose metoduose, autoriai naudoja išankstinį skaitmeninio vaizdo apdorojimą [GKB+19]. Šio algoritmo neuroniniam tinklui apmokyti naudota duomenų bazė kurioje buvo tik 5856 rentgeno nuotraukos, tačiau išankstiniu skaitmeninių nuotraukų apdorojimui buvo panaudotos triukšmo šalinimo ir vaizdo detalių kokybės tobulinimo technologijos. Šios technikos tai „Bilateral“ triukšmo filtravimas ir „CLAHE“ vaizdo kokybės gerinimo mechanizmas [GKB+19]. Pasak autorių, dėl šių skaitmeninių vaizdo apdorojimo technikų panaudojimo buvo gautas net 99,72% AUC algoritmo patikimumas nustatant pneumoniją [GKB+19].

Apibendrinus aukščiau įvardintus įrankius skirtus nustatyti pneumonijai plaučių rentgeno nuotraukose, galima pastebėti, kad jos reikalauja pasirengimo apmokant kompiuterinius

neuroninius tinklus, taip pat reikalinga daug duomenų norint užtikrinti gerą rezultatą bei tam tinkamos įrangos, kuri gebėtų apdoroti didelį kiekį informacijos. Atsižvelgiant į tai, neretai tam naudojami kiti būdai, kuriais būtų galima atpažinti pneumoniją rentgeno nuotraukose. Apie juos pateikiama kitame skyriuje.

1.2. Skaitmeninis vaizdų apdorojimas

Pirminiam pneumonijos aptikimui galima naudoti ir yra naudojamos skaitmeninės rentgeno vaizdų apdorojimo ir keitimo metodikos. Šios metodikos yra plačiai naudojamos medicinoje ir laboratoriniuose tyrimuose [DAS08]. Tai yra nuolat tobulėjanti ir auganti technologija, kuriai sukurti nereikia tiek daug resursų ir ji gali būti perkelta net ir į mobilių įrenginių [LEP+12]. Šiuo metu, klasikiniai vaizdų apdorojimo metodai nėra tokie tikslūs, tačiau dažnai jie naudojami kaip pagalbiniai metodai arba įeities duomenys. Literatūroje galima aptikti aprašytus tokių autorių, kaip A. Khatri ir kolegų bei A. Sharma ir kolegų metodikas, skirtas pneumonijos nustatymui rentgeno nuotraukose. Jos abi paremtos tik klasikiniu skaitmeninių vaizdų apdorojimu. A.Khatri šią metodiką pristatė 2020 metais išleistoje knygoje [KJV+20], o A. Sharma, D. Raju ir S. Ranjan pateikia vieną iš tokių metodų savo 2017 metų publikacijoje [SRR17].

1.2.1. A.Khatri ir kolegų metodas

A.Khatri ir kolegų pateiktas algoritmas skirtas nustatyti pneumonijai rentgeno nuotraukoje yra paremtas EMD (*angl. Earth Mover's Distance*) metodika. Šios metodikos tikslas yra apskaičiuoti minimalią kainą, reikalingą vieną paveikslėlį paversti kitu t. y. vieno paveikslėlio histogramą suvienodinti su kito paveikslėlio (bazės) histograma [KJV+20].

Siekiant aptikti pneumonijos pėdsakų rentgeno nuotraukose, pirmiausia ieškoma tiriamo paveikslėlio skirtumo nuo sveiko, nes sveikų plaučių rentgeno nuotolis nuo kitų sveikų plaučių rentgeno nuotraukos yra mažesnis lyginant su nesveikais. Nagrinėjant rentgeno nuotraukas, susiduriama su problema, kur plaučių rentgeno nuotraukos gali labai skirtis ne tik dėl pneumonijos, bet ir dėl triukšmo vaizde, iškraipymų, skirtingų rentgeno nuotraukų histogramų pločio ir t. t. Taip pat EMD metodika yra labai jautri paveikslėlio pasukimams, dydžiui, intensyvumui. Atsižvelgiant į tai, autoriai taikant šį metodą siūlo visų pirma apdoroti paveikslėlį tokia tvarka:

- Paveikslėlio dydžio suvienodinamas.
- Iškerpamas minimalus paveikslėlis, kuriame matytųsi visas plaučių masyvas.
- Plaučiai yra pasukami taip, kad būtų simetriški.

- Paveikslėlio spalvų intensyvumai yra normalizuojami taip, kad jie būtų kuo panašesni vidutiniam rentgeno nuotraukų paveikslėlių spalvų intensyvumui [KJV+20].

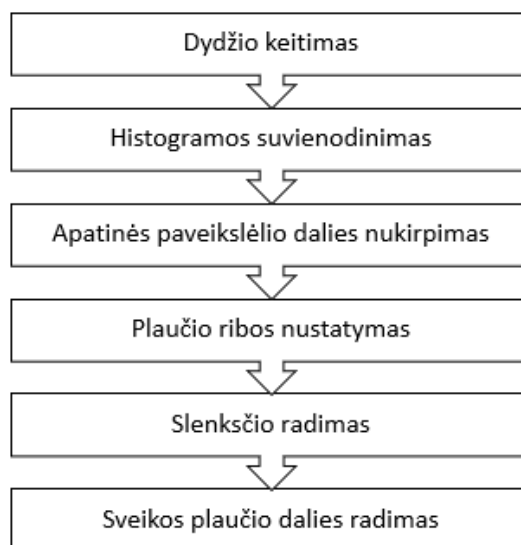
Toliau norint nustatyti EMD atliekami tokie veiksmai:

- Sukuriamos dvi grupės paveikslėlių, viena sveikų plaučių, kita – paveiktų pneumonijos.
- Paskaičiuojamas EMD paveikslėliui su iš anksto nustatytais sveikais plaučiais.
- Paskaičiuojamas EMD paveikslėliui su iš anksto nustatytais pneumonijos paveiktais plaučiais.

Gavus EMD lyginama su kurios klasės paveikslėliais (sveikų ar paveiktų pneumonijos) gauta mažesnė reikšmė ir taip identifikuojama ar plaučiai paveikti pneumonijos. Autoriai įgyvendino šią metodologiją su Python 3.6 programavimo kalba panaudodami „OpenCV“, „Matplotlib“ ir kitas technologijas. Buvo pastebėta, kad vidutiniškai sveikų plaučių EDM nuo iš anksto žinomų sveikų yra 11, o paveiktų pneumonijos nuo iš anksto žinomų sveikų yra vidutiniškai 16-25. Taip pat autoriai pastebi, kad tikslumas priklauso nuo iš anksto atrinktų paveikslėlių kiekio kiekvienoje klasėje. Autoriai teigia, kad jo tikslumas yra ACU 88% [KJV+20].

1.2.2. A. Sharma ir kolegų metodas

Kitas skaitmeninių vaizdų apdorojimo metodas pateikiamas A. Sharm ir kolegų. Autorių naudojamame metode nustatant pneumoniją plaučių rentgeno nuotraukose, pirmiausia atliekami tam tikri veiksmai [SRR17], jie pavaizduoti žemiau esančioje schemoje (žr. 1 pav.).



1 pav. Pneumonijos radimo algoritmas

Iš 1 paveikslėlio matyti, kad pirmiausiai yra įvykdomas plaučių rentgeno nuotraukos dydžio keitimas. Nagrinėjamas plaučių rentgeno paveikslėlio dydis yra pakeičiamas dėl optimaliausio programos veikimo laiko. Antra - paveikslėliui yra pritaikomas histogramos suvienodinimo metodas, tam, kad būtų padidintas paveikslėlio kontrastingumas. Kadangi tiriamuose paveikslėliuose gali būti pavaizduota didesnė kūno dalis nei yra reikalinga, atliekamas trečias etapas – apatinės paveikslėlio dalies nukirpimas t. y. paveikslėlis apkarpomas taip, kad būtų matoma tik plaučių rentgenograma. Toliau, nustatomos plaučių ribos nagrinėjamame paveikslėlyje. Po to, penktame etape atliekamas slenkstinių reikšmių paveikslėlyje nustatymas tam, kad būtų rastas skaidrus plaučio regionas. Ir galiausiai, lyginant skaidrų plaučio plotą su visu plaučio plotu, randama sveika plaučio dalis, kitaip tariant šiame etape galima pastebėti tam tikrą plaučio pažeidimo lygį. Toliau detaliau aptariamas kiekvienas etapas [SRR17].

Dydžio keitimas

Optimaliam rentgeno nuotraukos dydžiui nustatyti autoriai parinko penkis plaučių rentgeno nuotraukų vaizdus ir atlikdami bandymus parinko optimaliausią dydį lygindami metodo atlikimo trukmę ir gautą rezultatą. Jų tyrimo metu buvo pasirinktas paveikslėlio dydis pikseliais 800x800. Nors originalus paveikslėlis buvo 2048x2048 pikselių dydžio. Toks dydis vis dar leido rezultate nustatyti pneumonijos paveiktus plaučius. Programiškai tam buvo panaudota „*OpenCV*“ bibliotekos „*resize*“ funkcija [SRR17].

Histogramos suvienodinimas

Paveikslėlio histograma, tai kiekvieno paveikslėlio pikselio reikšmės atvaizdas diagramoje. Šiuo būdu yra stengiamasi pakeisti paveikslėlio spalvų intensyvumą, taip sustiprinant kontrastingumą. Kontrastingesnis paveikslėlis leidžia tiksliau nustatyti pneumonijos paveikto plaučio vietas, dar kitaip vadinamas „pneumonijos debesimis“. Šiam žingsniui autoriai naudoja „*OpenCV*“ bibliotekos „*equalizeHist*“ funkciją [SRR17].

Apatinės paveikslėlio dalies nukirpimas

Šiuo žingsniu nukerpama paveikslėlio dalis, kurioje nėra pavaizduoti plaučiai. Visa tai neturi įtakos plaučių pneumonijos nustatymui plaučių rentgenogramoje. Tam atlikti autoriai naudojo savo sukurtą algoritmą. Paveikslėlis buvo suskirstytas horizontaliai į juostas, kurių aukštis buvo penki pikseliai. Taip paveikslėlis buvo suskirstytas iki pusės. Kiekvienam pikselių masyvui buvo suskaičiuoti jo spalvų intensyvumai. Tada buvo lyginami gretimi pikselių masyvai, siekiant surasti tuos masyvus, kurių spalvų iš baltos į juodą intensyvumai skiriasi 100-tu. Toks skaičius buvo

pasirinktas atlikus daugiau bandymų ir palyginus gautus rezultatus. Kai buvo rastas toks spalvų intensyvumo skirtumas, toje vietoje paveikslėlis nukerpamas [SRR17].

Plaučių ribos nustatymas

Šiuo etapu autoriai bando nustatyti plaučių plotus rentgeno nuotraukoje, randant šonkaulių ir plaučių ribas. Šiam tikslui autoriai siūlo paveikslėlį padalinti į dvi lygias horizontalias dalis, vienoje iš jų matysis vienas plautis, kitoje dalyje kitas. Po to reikia pasirinkti 100 horizontalių, vienodai viena nuo kitos nutolusių linijų ir jose ieškoti pikselio, kurio spalvos intensyvumo reikšmė yra didesnė nei slenkstinė. Atlikus daug bandymų, kaip slenkstinę reikšmę autoriai siūlo pasirinkti – 30 [SRR17].

Slenksčio radimas

Šiame etape autoriai bando nustatyti sveikų plaučių dalis, kurios nėra paveiktos pneumonijos. Tam nustatyti autoriai siūlo naudoti *Otsu* slenksčio radimo metodiką [SRR17]. Atlikus šį veiksmą yra gaunamas plaučio binarinis vaizdas, kur tamsus vaizdas tampa juodu, o likęs baltu. Iš šio plaučių vaizdo matoma ar plaučiai yra paveikti pneumonijos.

Sveikos plaučio dalies radimas

Išvadose metodo autoriai teigia, kad norint nustatyti ar plaučiai paveikti pneumonijos reikia skaičiuoti plaučių ploto santykį, lyginant plotą rastą *Otsu* slenksčio radimo etape ir viso plaučio plotą. Šis santykis turi būti mažesnis kai plaučiai rentgeno nuotraukoje yra paveikti pneumonijos. Tačiau kaip rasti viso plaučio plotą autoriai nepateikia.

1.3. Pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodikų apibendrinimas

Galiausiai aptariant visas nagrinėtas pneumonijos atpažinimo plaučių rentgeno nuotraukose metodikas buvo sudaryta lentelė (žr. 1 lentelė), kurioje matomos kiekvieno aptarto metodo savybės.

1 lentelė. Rastų pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodų savybės

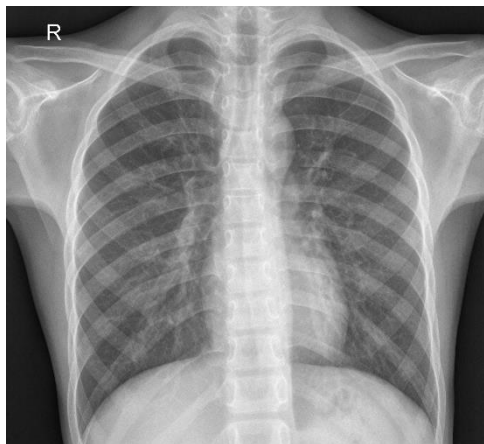
Metodas/autoriai	Metai	Panaudota technologija	Patikimumas	Panaudota vaizdų duomenų bazė	Privalumai	Trūkumai
„CheXNet“	2017	121 lygio konvoliucinis neuroninis tinklas	AUC 76%	ChestXray 14 (apie 100 000 nuotraukų)	Gali būti naudojamas 14-os ligų atpažinimui	Tiriami tik priekinio plaučių vaizdai
John R. Zech bei kolegų	2018	ResNet-50 konvoliuciniai neuroniniai tinklai	Vidinis AUC 93,1% Išorinis AUC 81,5 %	NIH, IU, MSH institucijų duomenų bazės (158323 vaizdai)	Aukštas patikimumas	Patikimumas labai sumažėjęs kai tiriami nauji vaizdai
R. Sarkar, A. Hazra bei kolegų	2019	Išankstinis skaitmeninių vaizdų apdorojimas ir konvoliucinis neuroninis tinklas	AUC 99%	Mendeley Data (5856 vaizdai)	Labai aukštas patikimumas	Panaudota gana mažai duomenų apmokant neuroninį tinklą
A.Khatri ir kolegų metodas	2020	Skaitmeninis vaizdų apdorojimas ir EMD reikšmės radimas	AUC 88%	Pagal [RCK+20] 144	Aukštas patikimumas	Reikia pradinių klasifikuotų rentgeno vaizdų
A. Sharma ir kolegų metodas	2017	Skaitmeninių vaizdų apdorojimas ir Otsu slenksčio radimas	-	40 vaizdų	Nereikia apmokyti	Neaiškus patikimumas

Atsižvelgus į visus nagrinėtus metodus, buvo nuspręsta pabandyti praktiškai įgyvendinti pneumonijos nustatymo rentgeno nuotraukose algoritmą, kuris būtų paremtas klasikiniu skaitmeninių vaizdų apdorojimu randamu A. Sharma ir kolegų sukurtame metode. Toks

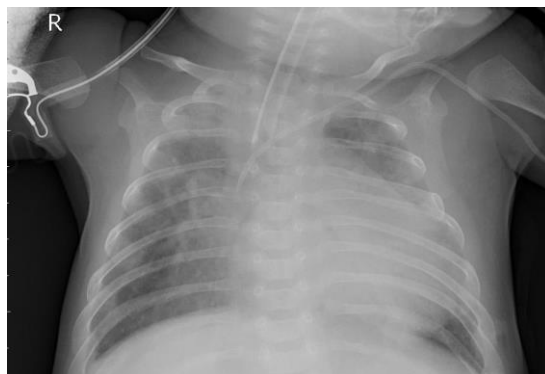
sprendimas padarytas dėl to, kad šis metodas plačiai aptariamas kitų autorių šaltiniuose, kaip galintis tapti, geru pagalbiniu metodu sveikatos priežiūros specialistas pastebint pakitimus plaučiuose [TNV+20][GKB+19], jam sukurti naudojamos klasikinės skaitmeninių vaizdų apdorojimo technikos, todėl nereikia ilgo apmokymo, yra paprastas įgyvendinti.

2. SKAITMENINIŲ RENTGENO NUOTRAUKŲ APDOROJIMO METODIKOS ĮGYVENDINIMAS

Įgyvendinant metodą, paremtą A. Sharma ir kolegų sukurtu metodu, visų pirma buvo ieškoma skaitmeninių rentgeno nuotraukų, kurių pagalba būtų galima nustatyti ar iš tiesų įgyvendinamas metodas yra pajėgus nustatyti pakitimus plaučiuose. Tam buvo pasirinkti duomenys iš Jungtinių Amerikos Valstijų Nacionalinio sveikatos instituto parengtos duomenų bazės, kuri buvo sukurta 2018 metais paskelbiant pneumonijos nustatymo iššūkį. Detalesnė informacija apie duomenų bazę galima rasti šioje nuorodoje (<https://www.kaggle.com/c/rsna-pneumonia-detection-challenge>). Šioje duomenų bazėje pateikiamos dviejų rūšių plaučių rentgeno nuotraukos. Vienose jų vaizduojami sveiko žmogaus plaučiai (žr. 2 pav.), kitose pneumonijos pažeisti pacientų plaučiai (žr. 3 pav.). Atsižvelgiant į tai galima patikrinti metodo patikimumą, veiksmingumą.



2 pav. Sveikų plaučių rentgeno nuotrauka



3 pav. Pneumonijos pažeistų plaučių rentgeno nuotrauka

Kuriant programą buvo naudojama *Python* programavimo kalba (3 versija). Kiek senesnė versija 2.7 buvo naudota pačių metodo autorių. Toks šios programavimo kalbos pasirinkimas atliktas, nes ji buvo naudota autorių ir dėl to, kad ji palaiko didelį spektrą operacijų skirtų paveikslėlių analizei ir keitimui. Ši kalba palaiko „*OpenCV*“ biblioteką, kuri yra lengvai prieinama ir gerai palaikoma darbui su kompiuteriniais vaizdais. Taip pat ši programavimo kalba palaiko optimizuotą „*Numpy*“ funkcijų biblioteką, skirtą darbui su skaitinėmis operacijomis [How13].

Įvedant pasirinktą plaučių rentgeno vaizdą į kuriamą programą buvo nuspręsta nemažinti vaizdo dydžio, kuris pasirinktoje duomenų bazėje svyravo nuo 1582x1333 pikselių iki 728x368. Toks sprendimas priimtas dėl to, kad nagrinėjamu atveju algoritmo vykdymo laikas nėra labai aktualus ir yra svarbesnė jo kokybė, kuri koreliuoja su vaizdo kokybe. Kadangi pasirinktoje duomenų bazėje esančių rentgeno nuotraukų kokybė ir kontrastingumas skyrėsi, buvo atlikta autoriaus rekomenduojama histogramos suvienodinimo metodika. Buvo pasirinkta „*equalizeHist*“ funkcija „*OpenCV*“ bibliotekoje. Šis metodas skirtas padidinti kontrastą paveikslėlyje tam, kad būtų praplėstas spalvų intensyvumas, t. y. nustačius spalvų intensyvumo režius paveikslėlyje ir matant, kad nėra išnaudoti patys žemiausi arba aukščiausi spalvų intensyvumai, tamsūs atspalviai atitinkamai pašviesinami, o šviesesni atspalviai yra dar labiau pašviesinami [SRR17].

Toliau, norint nustatyti plaučius visoje rentgeno nuotraukoje, buvo pasirinktas ne autoriaus pateiktas algoritmas. Toks sprendimas atliktas todėl, kad autoriaus siūlomame metode gaunamas tik vienas, išorinis plaučio ribos kontūras kiekvienam plaučiui. Todėl tam buvo pasirinkti trys populiarūs objektų atpažinimo vaizduose metodai – HOG, Haar ir LBP. Toliau plačiau apie kiekvieną iš jų.

HOG (angl. *Histogram of Oriented Gradients*) – tai objektų detalių kontūrų išskyrimo metodika, kuri pagrįsta ne tik detalių struktūra ir forma randant kraštinius pikselius, bet ir krašto pikselių kryptimi [AS19].

Haar – tai vienas iš pirmųjų objektų nustatymo vaizduose metodų, kurie buvo panaudoti realaus laiko veidų nustatyme. Jis pagrįstas paprastų taisyklingų formų nustatymu ir radimu kituose vaizduose [VJ01].

LBP (angl. *Local binary patterns*) – tai tekstūros nustatymo ir atpažinimo paveikslėliuose metodas, kuris paremtas kaimyninių pikselių palyginimu [DMM+17].

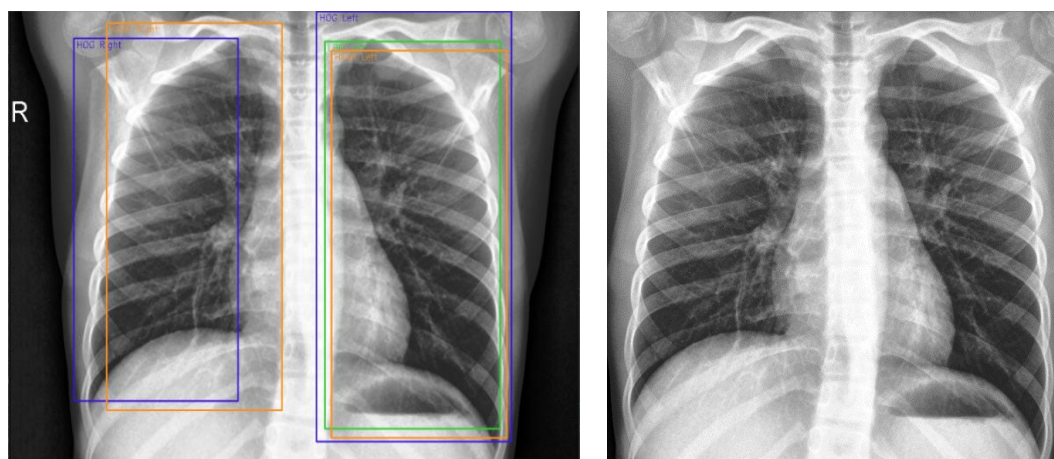
Norint pritaikyti šiuos metodus, visų pirma reikia juos apmokyti. Reikia sukurti atpažinimo klasifikatorius pateikiant teisingas bei klaidingas plaučių nuotraukas. Gavus tokius klasifikatorius ir pritaikius juos realiems plaučių vaizdams yra randamas plautis rentgeno nuotraukoje [CSG15].

Pritaikius „*OpenCV*“ bibliotekos funkcijas, kiekvienu objektų atpažinimo vaizduose metodu (HOG, Haar ir LBP) buvo bandoma apibrėžti plaučius. Žemiau pateikiamos kelios skaitmeninės plaučių rentgeno nuotraukos (žr. 4-6 pav. nuotrauka kairėje), gautos pritaikius tris

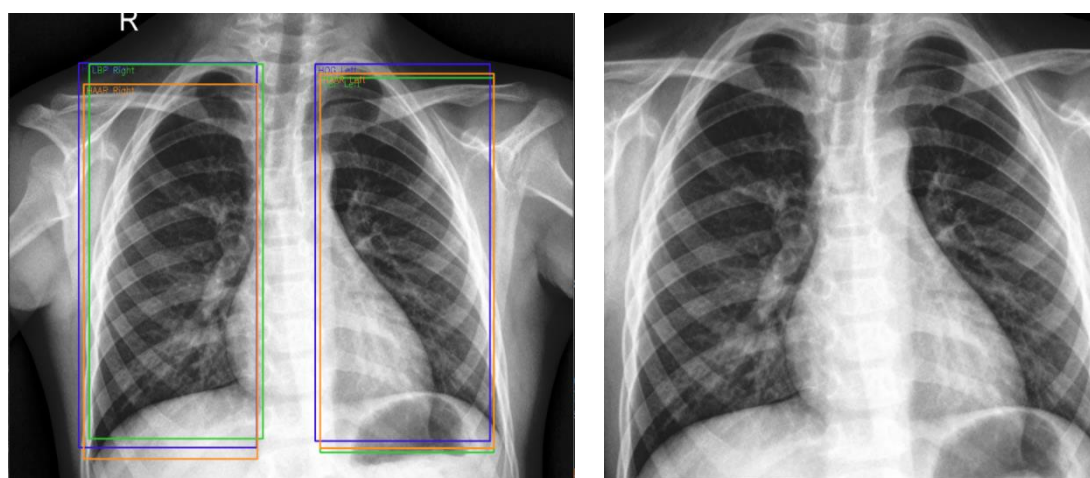
objektų atpažinimo vaizduose metodus. Oranžinė spalva – nurodo Haar metodą, mėlyna – HOG ir žalia – LBP. Pritaikius šiuos metodus, nuotrauka apkarpyta (žr. 4-6 pav. nuotrauka dešinėje).



4 pav. Plaučių rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 1 pavyzdys



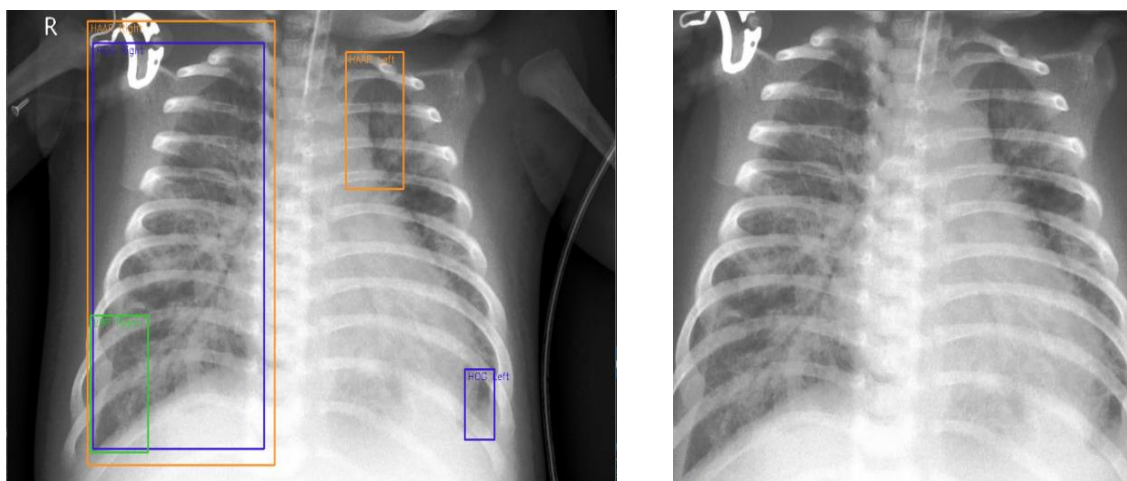
5 pav. Plaučių rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 2 pavyzdys



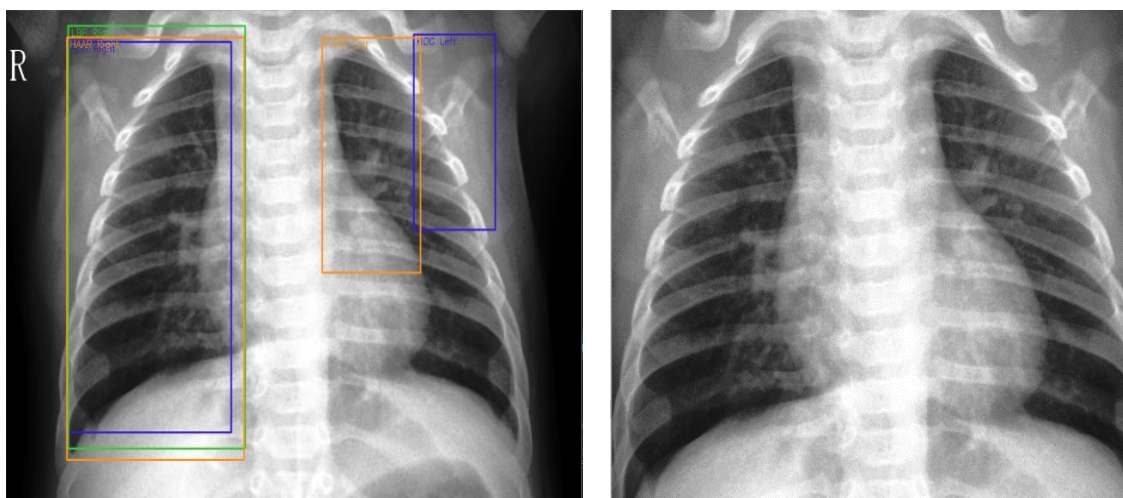
6 pav. Plaučių rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 3 pavyzdys

Norint rasti minimalų paveikslėlį, kuriame būtų visas plaučių plotas, visų pirma bandoma pritaikyti HOG metodą. Jei juo nepavyksta rasti plaučių naudojamas Haar metodas. Galiausiai, jei ir šis metodas neranda plaučių, panaudojamas LPB paieškos metodas. Pagal taip rastus plaučių režius, plaučių rentgeno nuotrauka yra apkerpama iki minimalaus dydžio kol dar matomas visas plaučių masyvas. Taigi 4, 5 ir 6 paveikslėliuose matoma, kokia skaitmeninės rentgeno nuotraukos dalis nustatoma kiekvieno skirtingo paieškos algoritmo metu ir kokia iš to gaunama apkarpyta nuotrauka.

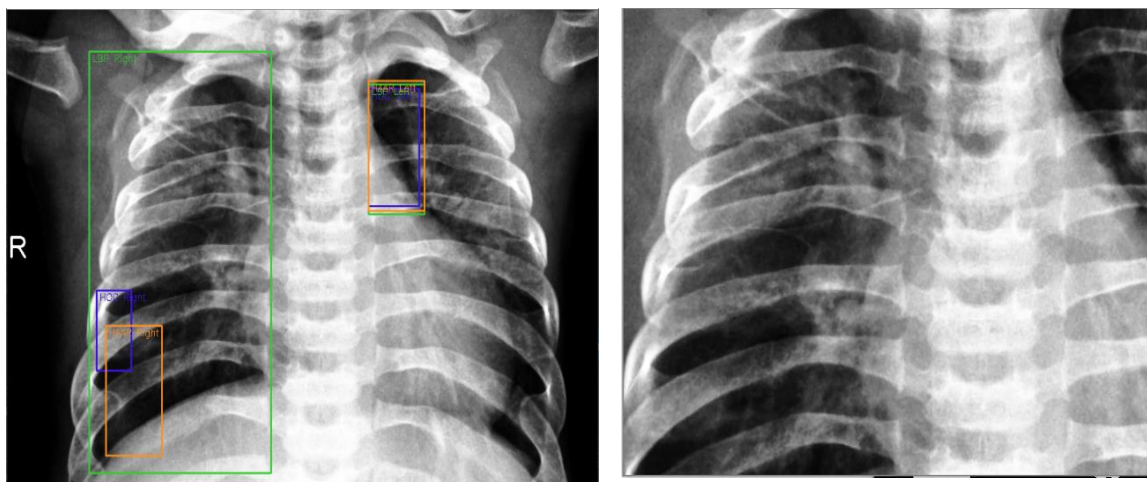
Naudojant šį algoritmą su plaučiais, kurie yra paveikti pneumonijos jų radimas nėra iki galo patikimas. Tuo galime įsitikinti pažvelgus į 7, 8 ir 9 paveikslėlius. Plika akimi matoma, kad ne iki galo aptinkama pneumonija sergančio asmens plaučių dalis. Tai gali privesti prie netikslaus nuotraukos apkirpimo, kas toliau sutrikdo *Otsu* plaučių slenksčio radimo metodo pritaikymą visam plaučių masyvui ir rezultatai tampa mažiau patikimi. Atsižvelgiant į tai būtų verta, kuriant alternatyvią programą paieškoti kitų metodų.



7 pav. Plaučių su pneumonija rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 1 pavyzdys

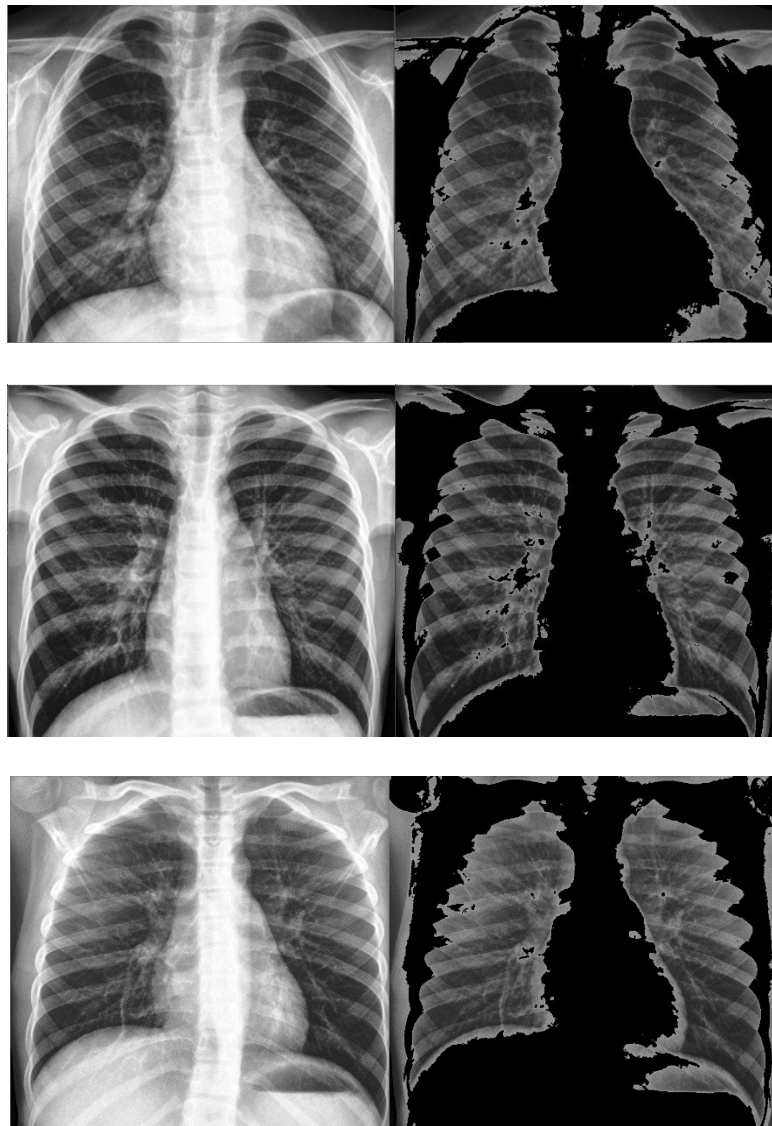


8 pav. Plaučių su pneumonija rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 2 pavyzdys



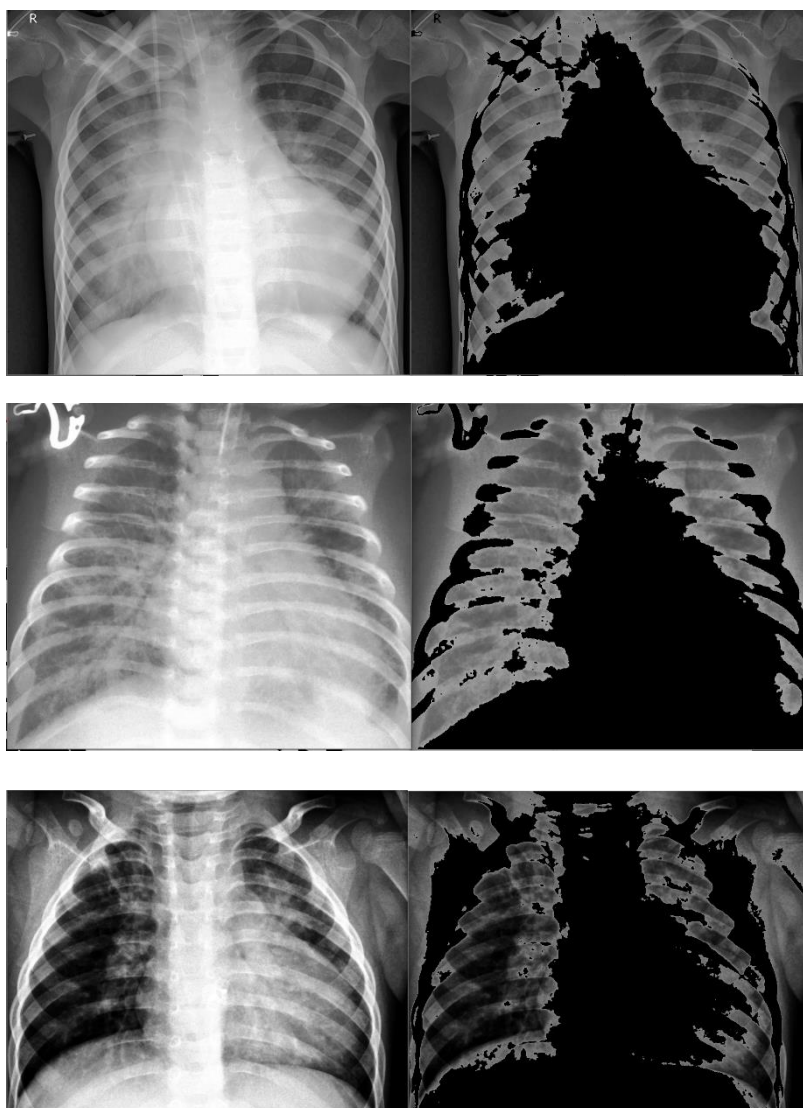
9 pav. Plaučių su pneumonija rentgeno nuotraukose radimas ir apkarpymas 3 pavyzdys

Kitu žingsniu bandoma įgyvendinti *Otsu* plaučių slenksčio radimo metodą. *Otsu* metodas – tai metodas pavadintas Nobuyuki Otsu vardu, kuris gražina paveikslėlį, kuriame pradinis paveikslėlis yra suskaidytas į dvi klases, priekinę ir antrinę, dar kitaip vadinamą – foninę. [YOU11]. Šiuo metodu ieškoma slenkstinės reikšmės iš pilkų atspalvių histogramos, kuri yra optimali, kai abiejų klasių vidinis neatitikimas (angl. *intra class variance*) yra minimaliausias [Ots79]. Kitaip sakant, ieškoma reikšmės kai atskiruose planuose esančių taškų intensyvumas yra kuo panašesnis tarpusavyje bendrai reikšmei. Tuomet pritaikius binarizaciją, priekinis ir antrinis fonai yra išskaidomi į atskirus segmentus ir gaunama plaučių kaukė (angl. *Mask*). Gauta kaukė ir yra sveikos plaučių dalies plaučiuose forma, kuri turi būti toliau nagrinėjama. Sveikų plaučių rentgeno nuotraukų kaukės užpildymas bei kontūras gautas šiuo metodu turėtų būti vientisas. Atlikus bandymus galime matyti, kad užpildymas yra pakankamai vientisas, tačiau jose galima rasti nedidelių dėmių (žr. 10 pav.).



10 pav. Pneumonijos nepaveiktų plaučių vaizdo kaukė gauta *Otsu* metodu

Tuo tarpu plaučių, kurie yra paveikti pneumonijos, rentgeno nuotraukų kaukės turėtų būti iškarpytos, neturėtų turėti aiškaus kontūro. Atlikus bandymą su pneumonijos pažeistų plaučių nuotraukomis gautos kaukės yra ne tokios vientisos, t.y. užpildas nėra vientisas (žr. 11 pav.). Tai rodo, kad asmens plaučiai yra pakitę.



11 pav. Pneumonijos paveiktų plaučių vaizdo kaukė gauta *Otsu* metodu

Taigi viską apibendrinat, buvo pasiūlytas ir įgyvendintas pneumonijos atpažinimo plaučių rentgeno nuotraukose algoritmas, kuris paremtas A. Sharma ir kolegų pasiūlytu algoritmu. Naujai pasiūlytame algoritme buvo pakeistas plaučių radimo ir nuotraukos apkarpymo algoritmas, panaudojant tris objektų atpažinimo vaizduose metodus – HOG, Haar ir LBP. Atlikus badymus su realiomis pneumonijos paveiktomis ir sveikomis plaučių rentgeno nuotraukomis buvo galima pastebėti, kad sveikų plaučių ir pažeistų pneumonijos atpažinimas, tampa paprastesnis pritaikius įgyvendintą metodą. Tačiau svarbu paminėti, kad vienareikšmiškai patvirtinti ar jis paveiktas pneumonijos ar ne visgi iki galo negalima, nes net ir sveikų plaučių vaizdų kaukės turi tam tikrų plyšių, o kraštai nėra vientisi.

REZULTATAI IR IŠVADOS

Šiame darbe buvo siekiama atlikti literatūros analizę ir rasti pneumonijos atpažinimo rentgeno nuotraukose metodikas. Buvo rastos ir teoriškai pristatytos dvi metodikos grįstos tik konvoliuciniais neuroniniais tinklais bei jų apmokymu, vienas metodas grįstas tik klasikiniu skaitmeninių vaizdų apdorojimo metodikomis ir vienas, kuris panaudoja abi šias metodikas. Tuomet buvo pasiūlytas ir įgyvendintas pneumonijos radimo plaučių rentgeno nuotraukose algoritmas, kuris buvo paremtas rasta klasikinės skaitmeninių vaizdų apdorojimo metodika (A. Sharma ir kolegų). Buvo rasti patikimi testiniai duomenys, kurie būtų naudojami kaip įvesties duomenys į įgyvendintą programą. Pastebėjus, kad įgyvendiname metode pateiktas algoritmas skirtas rasti plaučio kraštus ir taip sumažinti nagrinėjamo paveikslėlio plotą nėra trivialus ir neatsižvelgia į visas plaučio kraštines, buvo nuspręsta panaudoti detalių kontūrų išskyrimo ir radimo metodikas, tokias kaip Haar, HOG ir LBP. Atlikus likusius veiksmus nurodytus originaliame metode, buvo atliekamas testavimas su realiais duomenimis. Pastebėta, kad plaučių atpažinimas Haar, HOG ir LBP nevisiškai tiksliai kaip norėtusi randa plaučius, kai jie yra pažeisti pneumonijos, tačiau pakankamai gerai randa sveikus plaučius rentgeno nuotraukoje. Taip pat pastebėta, kad Otsu slenksčio radimo algoritmas nėra vienareikšmiškai patikimas siekiant atpažinti pneumoniją plaučių rentgeno nuotraukose. Nepaisant to, gauti šio metodo rezultatai gali būti naudojami kaip įvesties duomenys tikslesniems pneumonijos nustatymo metodams, nes plaučių kontūro neradimas bei labai mažas plaučių plotas dažniausiai pasireiškia kai plaučiai yra paveikti pneumonijos.

Siekiant tikslesnių rezultatų būtų galima pagerinti vaizdo kokybę. Tam būtų galima panaudoti M. Gupta, D. Konar bei kolegų pateikto algoritmo išankstinės skaitmeninio vaizdo pagerinimo technikas. Šios technikos tai „Bilateral“ filtravimas ir „CLAHE“ vaizdo kokybės gerinimo mechanizmas, tačiau tam reikėtų rasti optimalias „Bilateral“ filtro parametrų reikšmes, bei nustatyti „CLAHE“ vaizdo kokybės gerinimo mechanizmo optimalių parametrų reikšmes, kurių deja autoriai nepateikia [GKB+19]. Taip pat būtų galima pagerinti plaučių kontūro radimo technologiją, nes ji nėra tiksli darbui su pneumonija pažeistais, neryškiais skaitmeniniais plaučių vaizdais.

ŠALTINIAI

- [BDL+06] W. G. Boersma, J. M. Daniels, A. Löwenberg, W. J. Boeve, E. J. van de Jagt. Reliability of radiographic findings and the relation to etiologic agents in community-acquired pneumonia. *Respiratory medicine*, 100(05), 2006, p.926-932.
- [CSG15] J. Cruz, E. Shiguemori, L. Guimaraes. A comparison of Haar-like, LBP and HOG approaches to concrete and asphalt runway detection in high resolution imagery. *Journal of Computational Interdisciplinary Science*. 2015, 121-136.
- [DAS08] O. Demirkaya, M. H. Asyali, P. K. Sahoo. *Image processing with MATLAB: applications in medicine and biology*. CRC Press, 2008.
- [DMM+17] F. Dornaika, A. Moujahid, Y. El Merabet, Y. Ruichek. A comparative study of image segmentation algorithms and descriptors for building detection. *Handbook of Neural Computation*. Academic Press, 2017, p. 591-606
- [GBC16] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [GKB+19] M. Gupta, D. Konar, S. Bhattacharyya, S. Biswas. *Computer Vision and Machine Intelligence in Medical Image Analysis: International Symposium*. Springer Nature, 2019.
- [GL00] H. Gray, W. H. Lewis. *Anatomy of the Human Body 20th*. Philadelphia and New York, Lea & Febiger, Online edition, 2000.
- [GTF+14] K. A. F. O’Grady, P. J. Torzillo, K. Frawley, A. B. Chang. The radiological diagnosis of pneumonia in children. *Pneumonia* 5.1, 2014, p.38.
- [How13] J. Howse. *OpenCV computer vision with python*. Packt Publishing Ltd, 2013.
- [You11] J. Yousefi. *Image Binarization using Otsu Thresholding Algorithm*. University of Guelph, Ontario, Canada. 2011

- [KJV+20] A. Khatri, R. Jain, H. Vashista, N. Mittal, P. Ranjan, R. Janardhanan. Pneumonia Identification in Chest X-Ray Images Using EMD. Trends in Communication, Cloud, and Big Data. Springer. 2020, pp. 87-98.

- [LEP+12] F. Li, R. Engelmann, L. Pesce, S. G. Armato, H. MacMahon. Improved detection of focal pneumonia by chest radiography with bone suppression imaging. European radiology, 22(12), 2012, p.2729-2735.

- [OSB+08] L.L.G. Oliveira, S.A.e. Silva, L.H.V. Ribeiro, R.M. de Oliveira, C.J. Coelho, A.L.S. Andrade. Computer-aided diagnosis in chest radiography for detection of childhood pneumonia. International Journal of Medical Informatics, 2008, 77(8), p.555-564.

- [Ots79] N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 9(1), 1979, p.62-66.

- [RCK+20] T. Rahman, M. E. Chowdhury, A. Khandakar, K. R. Islam, K. F. Islam, Z. B. Mahub, ... & S. Kashem. Transfer Learning with Deep Convolutional Neural Network (CNN) for Pneumonia Detection using Chest X-ray. Applied Sciences, 2020.

- [RIZ+17] P. Rajpurkar, J. Irvin, K. Zhu, B. Yang, H. Mehta, T. Duan, M. P. Lungren et al. Chexnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning. arXiv preprint. 2017.

- [SBB+03] R. Sakalauskas, A. Bagdonas, J. Bojarskas, S. Dumčius, J. Kudzytė, K. Malakauskas, et al. Suaugusiųjų ir vaikų pneumonijos diagnostika ir gydymas (Lietuvos pulmonologų sutarimas). Medicina, 2003.

- [SDM+16] R. Sakalauskas, E. Danil, K. Malakauskas, R. Zablockis, A. Vitkauskienė, et al. Suaugusiųjų pneumonijos diagnostika ir gydymas (Lietuvos pulmonologų sutarimas). Medicinos spaudos namai. 2016.

- [Sin19] A. Singh. Feature Engineering for Images: A Valuable Introduction to the HOG Feature Descriptor. 2019.

[žiūrėta 2020-05-15]. Priega per internetą:

<<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/09/feature-engineering-images-introduction-hog-feature-descriptor/>>

- [SRR17] A.Sharma, D. Raju, S. Ranjan. Detection of pneumonia clouds in chest X-ray using image processing approach. Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE). 2017. p. 1-4.
- [TNV+20] A.Tilve, S. Nayak, S. Vernekar, D. Turi, P. R. Shetgaonkar, S. Aswale, et. al. Pneumonia Detection Using Deep Learning Approaches. International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering. 2020, pp. 1-8.
- [Tya18] V. Tyagi. Understanding Digital Image Processing. CRC Press, 2018, p.1-29.
- [VJ01] P.Viola, M. Jones. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. 2001. p. I-I.
- [ZBL+18] J. R. Zech, M. A. Badgeley, M. Liu, A. B. Costa, J. J. Titano, E. K. Oermann. Variable generalization performance of a deep learning model to detect pneumonia in chest radiographs: a cross-sectional study. PLoS medicine, 15(11), 2018.

SĄVOKŲ IR SANTRUMPŲ APIBRĖŽIMAI

AUC (angl. *Area Under the Curve*) patikimumo rodiklis – tai rodiklis, kuris parodo, kiek efektyvus klasifikuojant vaizdą yra nagrinėjamas modelis.

RŽM (angl. *RGB = red, green, blue*) – raudonos, žalios, mėlynos adityvus spalvų modelis.