**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Datorzinātnes, informācijas tehnoloģijas un enerģētikas fakultāte

Lietišķo datorsistēmu institūts

**Dmitrijs Balutins**

bakalaura studiju programmas “Intelektuālās robotizētās sistēmas”

students, stud. apl. nr. 221RDB336

**Adaptīva sistēma starojuma parametru kontrolei**

**BAKALAURA DARBS**

Zinātniskais vadītājs Dr.sc.ing., akadēmiskais amats>

Dmitrijs Bļizņuks

RĪGA, 2025.

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Datorzinātnes, informācijas tehnoloģijas un enerģētikas FAKULTĀTE**

Lietišķo datorsistēmu institūts

**bakalaura darba izpildes lapa**

Noslēguma darba autors:

students(-e) Dmitrijs Balutins \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(paraksts, datums)

Noslēguma darbs ieteikts aizstāvēšanai:

Zinātniskais vadītājs:

<Dr.sc.ing., amats, Dmitrijs, Bļizņuks> \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(paraksts, datums)

Anotācija

3–5 atslēgvārdi, kas raksturo pētījuma jomu.

Īss noslēguma darba satura apraksts, kas iekļauj ievadu par pētījuma jomu, darba mērķi un iegūtos rezultātus. Lasītājam pēc šī apraksta ir jāsaprot, par ko ir darbs, kas ir pētīts/risināts un kādi rezultāti ir sasniegti. Anotācija nesatur norādes uz konkrētām darba nodaļām un informācijas avotiem. Anotācijas apjoms nepārsniedz 1 lappusi.

Dati par darba apjomu – lappušu, attēlu, tabulu, pielikumu un izmantoto informācijas avotu skaits.

Dmitrijs Balutina darbs……..

Abstract

Anotācijas tulkojums angļu valodā.

Dmitry Balutin’s (Dmitrija Balutina) work…..

Satura rādītājs

[Ievads 5](#_Toc195102438)

[1. Analītiskā daļa 7](#_Toc195102439)

[1.1 Ādas melanomas diagnostikas metodes 7](#_Toc195102440)

[1.1.1 Neinvanzīvās metodes 8](#_Toc195102441)

[1.1.2 Invanzīvās metodes 10](#_Toc195102442)

[1.2 Ultravioletā starojuma fiziskie parametri 11](#_Toc195102443)

[1.3 Stāvokļa analīze un risinājuma aktualitāte 14](#_Toc195102444)

[2. Rīsinājuma daļa 15](#_Toc195102445)

[2.1 Sistēmas prototipa izstrāde un aprēķini 15](#_Toc195102446)

[2.1.1 UV diožu strāvas ierobežošanas rezistoru aprēķins 17](#_Toc195102447)

[2.1.2 Rezistora jaudas aprēķins 17](#_Toc195102448)

[2.1.3 Termorezistoru pretestības aprēķins 18](#_Toc195102449)

[2.2 Sistēmas arhitektūras izveide 18](#_Toc195102450)

[2.3 Lineārā UV diodes temperatūras kontrole 21](#_Toc195102451)

[2.4 Lineārā UV diodes starojuma intensitātes kontrole 21](#_Toc195102452)

[2.5 PID algoritma izveide un integrācija 21](#_Toc195102453)

[2.6 Sistēmas prototipa rezultāti un optimizācija 22](#_Toc195102454)

[2.7 Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi 22](#_Toc195102455)

[3. Rīsinājuma pārbaudes daļa 23](#_Toc195102456)

[3.1 Eksperimenta … 23](#_Toc195102457)

[3.2 Sistēmas testēšanas rezultāti 23](#_Toc195102458)

[3.3 Salīdzinājums ar tradicionālām metodēm 23](#_Toc195102459)

[3.4 Rezultātu ietekme uz turpmākiem pētījumiem 23](#_Toc195102460)

[Rezultāti un secinājumi 24](#_Toc195102461)

[Izmantotie informācijas avoti 25](#_Toc195102462)

[Pielikumi 27](#_Toc195102463)

Ievads

Ādas melanoma un citi nelabvelīgie ādas audzēji ir viena no visbiežāk sastopamām onkoloģiskām slimībām Latvijā un tās izplatība turpina pieaugt. Katru gadu Latvijā vidēji tiek reģistrēti 215 jauni melanomas gadījumi un 1410 citu veidu ļaundabīgie ādas audzēji [1]. 2022. gadā no ādas melanomas nomira 69 cilvēki, bet no citiem audzējiem – 53 [1]., turklāt saslimstība ar šāda veida onkoloģiskām slimībām tiek diagnosticēta arvien jaunākiem cilvēkiem vecumā no 20 līdz 54 gadiem [1]. Šie dati norāda uz nopietnu veselības problēmu sabiedrībā, kas prasa efektīvu risinājumu nelabvēlīgo ādās audzēju agrīnai diagnostikai.

Ultravioletais (turpmāk UV) starojums ir viens no vairākiem galvenajiem faktoriem kas ietekmē audzēju attīstību cilvēkiem. Savukārt, UV starojums vienlaikus spēlē nozīmīgu lomu ādas melanomas diagnostikā, jo UV starojuma dēļ tiek iegūtas augstas kvalitātes attēli, kuri ir svarīgi ādas melanomas agrīnā diagnostikā.

Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) un Latvijas Universitātes (LU) izstrādātā melanomas diagnostikas ierīce piedāvā inovatīvu un neinvanzīvu risinājumu agrīnās diagnostikas veikšanai [2], kuras efektivitāti var uzlabot optimizējot UV diožu starojuma parametrus, piemēram, kā to temperatūra, spilgtums un dzīves cikls.

Bakalaura darba un tā pētījuma motivācija ir balstīta uz nepieciešamību uzlabot ādas melanomas diagnostikas ierīces spēju veikt kvalitatīvus attēlus, kas, savukārt uzlabos pašas diagnostikas precizitāti izstrādājot adaptīvo sistēmu, kura tiek balstīta uz PID algoritma. Šāda pieeja ļaus kompensēt ādas dabiski vājo starojumu un nodrošinās vienmērīgu apgaismojumu diagnostikas procesā.

Bakalaura darba **mērķis** - izstrādāt un izpētīt adaptīvu sistēmu starojuma parametru kontrolei ādas melanomas agrīnai diagnostikai.

Izstrādātā sistēma optimizēs un pielāgos UV starojuma intensitāti, starojuma viļņa garumu un tā laiku, pielāgojoties mainīgiem vides apstākļiem un pašu pacientu individuālajām ādas īpašībām, piemēram, kā ādas krāsa, ādas pigmentācija, u.c. ar ādu saistītie parametri un tās īpašības.

Lai sasniegtu darba izvirzīto mērķi tiek izvirzīti sekojošie uzdevumi:

* Izpētīt ādas vēža diagnostikas metodes un risinājumus;
* Izpētīt un analizēt UV starojuma fizikālās īpašības un to ietekmi uz ādas melanomas attēlu kvalitāti;
* Izstrādāt uz UV diožu balstīto sistēmu īstermiņa parametru pētīšanai;
* Izveidot un optimizēt reāllaikam uz PID balstītu kompensācijas algoritmu, kas spēs koriģēt UV diožu spilgtuma intensitātes un temperatūras svārstības, nodrošinot stabilu starojumu diagnostikas procesā;
* Izstrādāt ilgtermiņa mehānismu, kas spēs pielāgoties UV diožu novecošanai un spēs uzturēt vienmērīgu starojuma intensitāti ierīces ekspluatācijas laikā;
* Salīdzināt rezultātus ar tradicionālajām metodēm un veikt secinājumus par izstrādātās sistēmas efektivitāti ādas melanomas ierīces ieviešanai.

Uzdevumu izpildīšana ļauj sasniegt izvirzīto mērķi – uzlabot ādas melanomas diagnostikas precizitāti, izmantojot adaptīvu UV starojuma parametru kontroles sistēmu. Darbs sniedz ieskatu UV starojuma fizikālās īpašībās, PID algoritma pielietojumā un izstrādātās sistēmas efektivitātes novērtēšanā. Mērķa sasniegšanai tika izmantota zinātniskā literatūra un vispārējie informācijas avoti latviešu un angļu valodā – zinātniskie raksti un pētījumi, interneta resursi un darba autora ieguldījums darba eksperimentālajā daļā.

Darbs ir sadalīts … daļās ….

Darbs satur … lapas…

1. Analītiskā daļa

// Uzrakstīt par metodes jūtībām un specifiskuma nozīmi

// Breslova biezuma skaidrojums

* 1. Ādas melanomas diagnostikas metodes

Melanoma – nelabvēlīgs ādas virsmas audzējs, kurš rodas no melanocītiem, pigmentu ražojošās šūnas. Viena no agresīvākām ādas vēža formām [4], kuras izplatība pieaug gan Latvijā, gan pasaulē. Latvijā melanomas gadījumu skaits ir palielinājies pēdējo desmit gadu laikā. Pētījums liecina, ka laika no 1998. līdz 2008. gadam – melanomas saslimstības gadījumi pieauga no 5.1 līdz 7.8 jauniem gadījumiem uz 100 000 iedzīvotāju [3]. Mezglveida melanoma ir visbiežāk sastopamais melanomas paveids Latvijā, kurš veido aptuveni 39% no visiem atklātiem melanomas gadījumiem [3]. Lielākā daļa melanomu tiek diagnosticēta vēlīnās stadijās, kad ārstēšanas iespēja kļūst ierobežota un nāves iespēja palielinās [3].

Pasaulē melanoma veido aptuveni 1% no visiem ādas vēža gadījumiem. Tomēr, tās nāves gadījumu skaits ir augstākais starp visām citiem ādas vēža veidiem. ASV tiek prognozēts, ka 2025. gadā būs vairāk nekā 104 960 tūkstoši jaunu melanomas gadījumu. Mirstības rādītāji – tiek prognozēts, ka šajā pašā gadā no melanomas mirs vairāk nekā 8,430 tūkstoši cilvēku [10].

Melanomas agrīnā diagnostika ir būtiska, jo pacienta izdzīvošanas iespējas agrīnās melanomas stadijās ir gandrīz 99%, savukārt vēlīnās stadijās tie ievērojami samazinās [11].

Diagnostikas metodes saskarās ar būtiskiem izaicinājumiem. Tradicionālas diagnostikas metodes, piemēram, dermaskopija un vizuālā pārbaude, bieži ir atkarīga no pašu speciālistu pieredzes, kas palielina ķļūmju iespējas riskus, turklāt, daudzos gadījumus melanoma tiek diagnosticēta vēlīnās stadijās [12], [3].

Mūsdienu medicīna izmanto divu veidu diagnostikas metodes melanomas noteikšanai ādas audos – invanzīvās un neinvanzīvās, kuras atšķiras savstarpēji pēc to precizitātes un pielietojuma konteksta.

* + 1. Neinvanzīvās metodes

// aprakstīt to darbību vairāk (princips utt)

Neinvanzīvās metodes ļauj novērtēt ādas šūnu bojājumus bez audu izņemšanas vai arī miesas bojājumiem, tādejādi, tas der agrīnai diagnostikai - melanomas atklāšanai.

Dermaskopija – ir visplašāk izmantotā neinvanzīvā metode, kurā ārsts ar dermaskopu analizē ādas bojājumus laba apgaismojuma ietvaros. Metodes jūtība sasniedz 40 - 63%, bet specifiskums no 42 – 85%. Ja dermaskopiju papildina mākslīgais intelekts, nevajadzīgo biopsiju skaits samazinās līdz pat 60%, tādēļ ka algoritmi spēj palīdzēt speciālistiem atšķirt labdabīgus no ļaundabīgiem audzējiem [13]. Šī metode skaitās kā primārais veids melanomas skrīningam un diagnostikai agrīnās stadijās.

Atstarojoša konfokālā mikroskopija (RCM) – konkrētā metode izmanto lāzera gaismu, kura izveido augstas izšķirtspējas attēlus no ādas līdz dziļākiem ādas slāņiem. Metodes jūtība ir 88 – 98%, bet to specifiskums sasniedz no 65 līdz 92%. Šī metode efektīvi identificē melanomu agrīnās stadijās, samazinot nevajadzīgo biopsiju skaitu, tomēr tās pielietošanai ir nepieciešama dārga aparatūra un pašu speciālistu apmācība [14]. Šo metodi plaši izmanto pacientiem, kuriem ir jau augsts risks melanomas attīstībai.

Optiskās koherences tomogrāfija – izmanto infrasarkano starojumu, kurš vizualizē audu struktūras 2mm dziļumā. Šīs metodes jūtība sastāda 93 – 99%, bet specifiskums no 96 – 100%. Metode tiek uzskatīta kā efektīva agrīnas stadijas un jau mazo  (<1 mm) audzēju noteikšanai un likvidēšanai, tomēr tās ierobežotā dziļuma dēļ nav piemērota dziļākiem audzējiem, piemēram metastāzēm [15].

Spektroskopija – ir neinvanzīvā tehnoloģija, kas ļauj sekmīgi analizēt ādas audu bioķīmiskās izmaiņas, kas sekmē iespēju identificēt melanomu tās agrīnās stadijās. Šīs metodes pamatā ir gaismas mijiedarbība ar audas šūnu molekulām, kas rada unikālus spektrus un atspoguļu audu morfoloģiskās un molekulārās izmaiņas. Tās darbības princips ir atkarīgs no tās apakšveida:

* Raman spektroskopija – reģistrē gaismas izkliedi, kura rodas gaismai mijiedarbojoties ar audu molekulām. Katrai molekulai ir savs unikāls spektrālais nospiedums, kas ļauj atšķirt veselus audus un labvēlīgos no ļaundabīgajiem. Piemēram, melanomai raksturīgs ir paaugstināts lipīdu un samazināts olbaltumvielu saturs [17]. Diagnostikas metodes jūtība ir 93 – 100% un specifiskums ir no 43 – 99% [18]. Pateicoties šai metodei, agrīnās melanomas, kuru Breslow biezums ir mazāks par 0.8 mm, var atšķirt no labdabīgiem pigmentētiem ādas bojājumiem ar 100% jūtību [18], ka arī neironu tīkla analīzes implementācija kopā ar Raman spektriem sniedz 85% jūtību un 99% specifiskumu melanomas noteikšanai [17].
* Fluorescences spektroskopija – analizē autofluorescenci, gaismas emisiju, kura rodās, kad UV vai zilā spektra gaisma iedarbojās uz audu fluoroforiem (kologēns, u.c.).. Melanomas audos fluorescences intensitāte atšķiras no fluorescences intensitātes veselos audos [19]. Šī metode tiek izmantota tādās ierīcēs kā MelaFind, SIAscope, ka arī RTU/LU ierīces kopproduktā. Metodes jūtība sastāda 95%, salīdzinot ar 70% tradicionālai vizuālai pārbaudei [20], un tās specifiskums ir 77 – 85% [21].

1.1. tabula

Tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parametrs | Raman spektroskopija | Fluorescences spektroskopija | Dermoskopija |
| **Jutība** | 93–100% | 80-95% | 81-90% |
| **Specifiskums** | 43.8–99% | 71-85% | 42-85% |
| **Invazivitāte** | Neinvazīva | Neinvazīva | Neinvazīva |
| **Laiks** | 1-30 sekundes | 2-5 minūtes | 1-2 minūtes |
| **Galvenā loma** | Molekulārā diagnostika | Strukturālā analīze | Vizuālā analīze |

// rediget

Mākslīgais intelekts – šī tipa jaunā diagnostikas metode tiek pielietota kopā ar citām jau esošām medicīniskām metodēm. AI algoritmi analizē ar dermoskopijas vai OCT palīdzību veiktos attēlus autonomi identificējot aizdomīgus audzējus un ādas bojājuma pazīmes. To vidējā precizitāte testos pārsniedz 80%. AI integrācija paātrina diagnostiku, ļaujot pacientiem bieži vien veikt pašpārbaudes ar mobilo lietotņu un interneta resursu palīdzību [16].

* + 1. Invanzīvās metodes

Ekscīzijas biopsija – ir procedūra, kurā ar skalpeli pilnībā izgriež aizdomīgo ādas daļu kop.…ā ar nelielu veselās ādas daudzumu apkārt tai. Šī metode nodrošina pilnu audzēja un tā apakšējo slāņu izgriešanu, kuras ir nepieciešamas turpmākai analīzei. Dotā metode ir visprecīzākā metode melanomas diagnostikai un novēršanai (tās jūtība un specifiskums ir tuvu 100%). Tā ļauj precīzi noteikt audzēja Breslow biezumu, kura dēļ var konkrētāk noteikt prognozi un ārstēšanas gaitu, plānu. Metode nodrošina pilnu informāciju par audzēja invanzivitāti un tā iespējamo metastāžu risku, tomēr, tā izraisa pacienta miesas bojājumus, un tā var biopsijas procesā tikt nepilnīgi izņemta, kas savukārt novedīs pie papildu plašākas izgriešanas [22], [23].

Punch biopsija – izmanto apaļu, asu instrumentu (3 – 6mm diametrā), lai izgrieztu cilidriska veida ādas audu paraugu, ieskaitot epidermu, dermu un pārējos zemākos slāņus. Metode ir piemērota, ka ekscīzijas biopsijas metode nav iespējama pacienta gadījumā, piemēram – lieli audu bojājumi. Procedūra piemīt risks nepilnīgi novērtēt audzēja Breslow biezuma indeksu un tā izmaiņas [22], [23].

1.2. tabula

Tabula

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parametrs | Ekscīzijas biopsija | Punch biopsija |
| Diagnostikas precizitāte | 100% jūtība un specifiskums | Nepilnīga |
| Breslow biezums | Precīzi izmērāms | Daļēja |
| Invazivitāte | Augsta (neatgriezeniski bojājumi) | Vidēja (mazāk traumējoša) |
| Pielietojums | Standarta metode melanomai | Alternatīva lieliem/grūti pieejamiem audzējiem |
| Iespējamās komplikācijas | Šuves, infekcijas, estētiskas sekas | Paraugu nepilnīgums |

Ekscīzijas biopsija irprecīza melanomas diagnostikai un ir svarīga, lai prezīci noteiktu audzēja Breslow indeksu.

Punch biopsija ir pieņemama tikai gadījumus, kad ekscīzijas biopsija nav iespējama, ka arī ir jārēķinās ar tās augstas kļūmes risku un neprecizitāti.

// varbūt minēt vēl par multispektrāliem attēliem, elektrisko impedenci EIS, HFUS, DermTech PLA, NDetect, 3D-TBP

Veicot secinājumus var saprast to, ka neinvazīvās metodes ir optimālas agrīnai melanomas diagnostikai, ka arī sekmīga nevajadzīgo biopsiju samazināšanā.

Dermoskopijas un AI ir efektīvas primārajā skrīninga posmā, kamēr RCM + OCT metožu kombinācijas samazina melanomas gadījumus līdz 1.5 īpaši augsta riska pacientiem [14].

Spektroskopijas metodei ir augsta jūtība, bet tai ir nepieciešama standartizācija efektīvai darbībai.

Invanzīvās metodes, joprojām, paliek obligātas diagnozes apstiprināšanai, jo tikai ar ekscīzijas biopsiju ir iespējams precīzi noteikt Breslow biezuma koeficientu turpmākai melanomas anlīzei.

Nākotnes virzieni melanomas noteikšanā varētu būt lielāka AI integrācija, kas automatizēs melanomas diagnostiku, ka arī portatīvas ierīces padarīs RCM un spektroskopijas balstītas metodes plašāk pieejamākas diagnosticēšanai [15].

* 1. Ultravioletā starojuma fiziskie parametri

Ultraviolets (UV) starojums – ir elektromagnētiskā starojuma viļņi ar garumu no 100 līdz +/- 400 nanometru (nm) diapazonā. Darbā tiek izmantotas UVA klases (315-400 nm) diapazona UV diodes [5].

UV starojums ir īsāks par redzamo gaismu (380 – 700 nm), bet garāks par rentgenstarojuma (0,01 – 10 nm) gaismas viļņiem. UV starojums tiek iedalīts trijās kategorijās:

UVA (315 – 400 nm): UV starojums, kas sasniedz ādas dziļākos slāņus un izraisa ādas pigmentāciju;

UVB (280 – 315 nm): UV starojums, kurš izraisa epidermas bojājumus un saules apdegumus, kas, savukārt veicina ādas vēža attīstību;

UVC (100 – 280 nm): UV starojums, kuru absorbē Zemes atmosfēra.

UV viļņu intensitāti ietekmē vairāki faktori – saules leņķis, atmosfēras slāņa biezums, mākoņu un nokrišņu daudzums, UV intensitāte tiek mērīta ar UV indeksa palīdzību, kura nosaka Saules apdeguma risku konkrētā vietā un laikā ievērojot iepriekš minētos faktorus [7].

UV index **1.3. tabula**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| UV indeksa vērtības | Krāsa | Riska pakāpe un ieteikumi |
| 1 - 2 | **Zaļa** | **Zema.**Zems risks no sauļošanās bez aizsardzības. Tomēr, ja ātri apdedzini, valkā aizsardzības apģērbu un lieto saules aizsardzības līdzekli ar SPF vismaz 30. Velc saulesbrilles ar UV aizsardzību spožās dienās. |
| 3 - 5 | **Dzeltena** | **Mērena.**Vidējs risks no sauļošanās bez aizsardzības. Valkā aizsargapģērbu, saulesbrilles un cepuri, ja esi ārā. Uzturies ēnā pusdienlaikā. Lieto saules aizsardzības līdzekli ar SPF 30+ un atkārtoti izmanto to ik pēc 2 stundām (pat mākoņainās dienās). Velc saulesbrilles ar UV aizsardzību. |
| 6-7 | **Oranža** | **Augsta.**Liels risks no sauļošanās bez aizsardzības. Valkā aizsargapģērbu, saulesbrilles un cepuri. Lieto SPF 30+ un atkārtoti izmanto to ik pēc 2 stundām. Samazini uzturēšanās laiku saulē no 10:00 līdz 16:00. Velc saulesbrilles ar UV aizsardzību. |
| 8-10 | **Sarkana** | **Ļoti augsta.**Ļoti liels risks. Valkā aizsargapģērbu, saulesbrilles un cepuri. Lieto SPF 30+ un atkārtoti izmanto to ik pēc 2 stundām. Meklē ēnu un izvairies no saules no 10:00 līdz 16:00. Velc saulesbrilles ar UV aizsardzību. |
| 11 + | **Zila** | **Ekstrēma.** Ievēro visus iepriekšējos ieteikumus. Valkā aizsargapģērbu, saulesbrilles un cepuri. Lieto SPF 30+ saules krēmus ik pēc 2 stundām. Paliec ēnā un izvairies no saules no 10:00 līdz 16:00. |

Tabula mantota no [8] informācijas avota. Tabula pārtulkota no angļu uz latviešu valodu.

UV starojuma ietekme var būt gan pozitīva, gan negatīva, jo UVB kategorijas starojums stimulē D vitamīna sintēzi ādā, kas ir būtisks kaulu veselībai un cilvēka imūnsistēmas darbībai. Tomēr, UVA un UVB kategorijas starojumi izraisa cilvēku DNS bojājumus ādas melanocītos, kas var izraisīt ādas šūnu mutācijas un veicināt melanomas attīstību, ka arī ilgtermiņa spektrā UV iedarbība uz cilvēka ādas izraida ne tikai pigmentācijas izmaiņas, bet arī ādas elastības zudumu un paātrinātu novecošanu.

Auto fluorescence ir process, kura laikā bioloģiskie audi izstaro gaismu pēc UV starojuma absorbēšanas. Ādā tā galvenokārt tā rodas no kolagēna un elastīna. Izmaiņas auto fluorescencs intensitātē var norādīt uz sekojošām pazīmēm, piemēram – strukturālās izmaiņas audos. Šo īpašību pielieto diagnostikā, lai noteiktu ļaundabīgas izmaiņas pacienta ādā, jo vēža šūna bieži uzrāda atšķirīga līmeņa fluorescences spektru salīdzinājumā ar veseliem ādas audiem [8].

UV LED diodes ir nozīmīga sastāvdaļa tehnoloģiskās šāda tipa medicīnas ierīcēs, pateicoties to spējai nodrošināt nepieciešamo, precīzo viļņa garuma kontroli, energoefektivitāti un pietiekami ilgu darbības laiku. UV diode spēj nodrošināt šauru viļņa garuma diapazonu, kas sekmē auto fluorescences mērījumu precizitāti. To zemais enerģijas patēriņš padara tās piemērotas portatīvām diagnostikas ierīcēm, ka arī salīdzinot ar tradicionāliem gaismas avotiem, UV LED diodes darbojās ilgāk un rada mazāk siltuma, kas ir svarīgs faktors melanomas attēla reģistrēšanas brīdī izmantojot melanomas portatīvo diagnostikas ierīci [9].

Sekojoši var secināt to, ka UV starojumam ir būtiska loma medicīnas tehnoloģijās un cilvēka bioloģiskajos procesos. To fiziskās īpašības ļauj to izmantot gan diagnostikā ar auto fluorescenci, gan arī foto terapijas procesos. Pašas UV LED diodes piedāvā precīzu parametru kontroli un veicina ilgtspējīgu risinājumu medicīnisko ierīču attīstībā.

* 1. Stāvokļa analīze un risinājuma aktualitāte

// rakstīt par aktualitāti kāpēc prototips / RTU ierīce, UV diožu kontrole / algoritms / metode ir labāka nekā ir labāka nekā piem. MelaFind un SIAscope iekārtas

// pievienot vairāk teorijas kad/ja vajadzēs

1. Rīsinājuma daļa

// Uzrakstīt par metodes jūtībām un specifiskuma nozīmi

// Salikt nodaļu labākā secībā

// Pārskatīt un pārlabot matemātiskās formulas un aprēķinus

* 1. Sistēmas prototipa izstrāde un aprēķini

Sistēmas prototipa izstrāde tiek uzsākta ar specifisku detaļu izvēli un sistēmas parametru aprēķinu, lai nodrošinātu UV diožu darbību un precīzu temperatūras kontroli. Prototipa pamata mikro kontrolieris tika izvēlēts izvēlēts Arduino Uno vairāku iemeslu dēļ. Pirmkārt, Arduino saimes risinājumi ir plaši pieejami un ekonomiski izdevīgi prototipa modeļu izstrādei, ka arī Arduino mikro kontrolieri ir viegli apgūstami, kas atvieglo un ļauj uzsākt darbu pie izstrādes bez lieliem sākotnējiem ieguldījumiem. Otrkārt, Arduino Uno piedāvā pietiekamu 16HHz skaitļošanas jaudu, ar kuras palīdzību var efektīvi realizēt PID algoritmu reālajā laikā, vienlaikus nodrošinot analogās ieejas termorezistoram un UV sensora datu nolasīšanai.

Arduino Uno nodrošina impulsa platuma modulācijas (IPM; angliski: PWM) izejas ar frekvenci 490Hz, kas ir pietiekams UV diožu intensitātes kontrolei. Platforma atbalsta I2C un SPI komunikācijas protokolus, kas ļauj viegli pievienot papildus sensorus vai arī displeju, ja tas ir nepieciešams prototipa testēšanas laikā.

Arduino plašā lietotāju kopiena un pieejamā dokumentācijas un gatavās izstrādes bibliotēkas, kas ievērojami atvieglo PID algoritma implementāciju sistēmā. Konkrēti, tika izmantota “PID\_v1” bibliotēka, kura piedāvā gatavu PID kontroliera implementāciju ar tai pielāgojamiem parametriem.

No tehniskā viedokļa, Arduino Uno piedāvā stabilu 5V barošanas avotu ar iebūvēto sprieguma regulatoru, kurš var nodrošināt līdz pat 500mA strāvas, kas ir pietiekams, lai darbinātu viss sistēmas sensorus un tās vadības loģiku.

Salīdzinot ar citām platformām, piemēram, Raspberry Pi vai citiem specializētiem mikro kontrolieriem, Arduino Uno piedāvā līdzsvaru starp funkcionalitāti, cenu un implementācijas vienkāršību, kas bija būtisks prototipa izstrādes fāzei.

2.1. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Komponente | Daudzums | Specifikācija | Funkcija |
| Rezistors | 1 | 0.5W, 10k, 5% | Sprieguma dalītājam |
| Rezistors | 1 | 2W, 330R, 5% | Augstas jaudas kontrolei |
| Potenciometrs | 1 | 4W, 100R | Strāvas stipruma kontrolei |
| NTC termorezistors | 2 | 10k, 10%, 450mW | UV temperatūras mērījumiem |
| NPN tranzistors | 2 | 80V, 1.5A, 8W | Signāla pastiprināšanai |
| UV sensors | 1 | GY-8511 ML8511UVB UV Rays Sensor | UV starojuma intensitātes mērījumiem |
| UV diode | 2 | 1W, 405nm | UV avots |
| MIkrokontrolieris | 1 | Arduino Uno | Sistēmas vadībai un datu apstrādei |
| Maketēšanas un vara plate | 1 | - | Detaļu savienošanai un testēšanai |
| “Jumper” vadi | Komplekts | - | Savienojumiem |
| Temperatūru vadošā līme | 1 | Termoglue - 10 | Termorezistora piestiprināāšanai pie UV diodes |

Komponentu izvēle balstījās uz šādiem apsvērumiem:

1. Arduino Uno tika izvēlēts plašo iespēju, vieglas programmēšanas un atbalstīto bibliotēku dēļ. Tas piedāvā pietiekamu skaitu analogo ieeju (A0-A5) temperatūras un UV sensoru nolasīšanai, kā arī PWM (impulsa platuma modulācijas) izejas (D0-D13) UV diožu vadībai.
2. UV diodes ar parametriem 405nm, 1W tika izvēlētas, jo:
   1. 405nm viļņa garums ir optimāls ādas autofluorescences procesam;
   2. 1W jauda nodrošina pietiekamu intensitāti diagnostiskas procedūrām;
   3. Tā vistuvāk atbilst UV diodēm uz pašas gatavās ierīces.
3. NTC termorezistori 10kΩ nodrošina augstu temperatūras mērīšanas precizitāti diapazonā no 20°C līdz 80°C. Termorezistoru nominālā pretestība mainās, kas nodrošina augstu temperatūras maiņas jutību visā UV diožu darba temperatūras diapazonā (25-60°C).
4. ML - 8511 UV sensors spēj detektēt UV starojumu, nodrošinot lineāru sakarību starp izejošo spriegumu un UV intensitāti.
5. NPN tranzistori 80V, 1.5A, 8W, tika izvēlēti to augsto strāvas un jaudas parametru dēļ, kas ļauj droši vadīt UV diodes bez to pārkaršanas riska.

Sistēmas prototipa izstrādē būtiska nozīme bija precīziem aprēķiniem, kas nodrošināja doto komponentu izvēli.

2.1.1 UV diožu strāvas ierobežošanas rezistoru aprēķins

UV diožu barošanas ķēdē tika izmantoti 2.2 Ω rezistori, lai ierobežotu strāvu.

Strāvas aprēķina formula:

2.1.2 Rezistora jaudas aprēķins

Lai pārliecinātos, ka izzelēties rezistori spēj izturēt konkrēto 0.82A strāvu, tika aprēķināta nepieciešamā jauda:

Tā kā aprēķinātā jauda ir 1.47W, tika izvēlēti rezistori ar jaudu 5W, lai nodrošinātu pietiekamu drošības rezervi un izvairītos no pārkaršanas.

2.1.3 Termorezistoru pretestības aprēķins

// nedaudz nepareiz aprēķins (melnrakstu aprēķini (jāparveido))

Termorezistoru pretestības un temperatūras sakarība tika aprēķināta, izmantojot Steinhart-Hart vienādojumu:

3

kur:

* T ir temperatūra Kelvinos;
* R ir termorezistora pretestība omos;
* A=1.009×10−3, B=2.378×10−4 C=2.019×10−7 ir Steinhart-Hart koeficienti.

Aprēķini parādīja, ka izvēlētā termorezistora (NTC, 10kΩ) pretestība mainās no aptuveni 24.4kΩ pie 20°C līdz 2.1kΩ pie 80°C, kas nodrošina labu jutību visā UV diožu darba temperatūras diapazonā (20-40°C).

Šie aprēķini palīdzēja izvēlēties optimālus komponentus prototipam un nodrošināja sistēmas stabilu darbību. PWM vadības mehānisms tika ieviests, lai precīzi kontrolētu vidējo strāvu caur diodēm, jo aprēķinātā strāva (0.82A) pārsniedz diožu nominālo strāvu (0.35A).

* 1. Sistēmas arhitektūras izveide

Adaptīvās sistēmas izstrādē liela nozīme ir optimālā komponentu izvēlē, ka arī pareizā elektriskās shēmas savienojumam. Sistēmas pamatā ir UV diožu vadības mehānisms, kas balstās uz reāllaika temperatūras un UV intensitātes mērījumiem, nodrošinot stabilu UV starojumu diagnostikas procesā.

Sistēma sastāv no trim galvenām daļām:

1. Vadības bloks, mikrokontrolieris;
2. Mērīšanas sensori;
3. Izpildmehānismi, UV diodes ar tās vadības elementiem.

Mikrokontrolieris Arduino Uno darbojās kā centrālais vadības bloks, kas apstrādā sensoru datus, izmantojot gan lineārās mērījumu metodes, gan vēlāk arī PID algoritmu, pielāgo UV diožu intensitāti, nodrošinot stabilu temperatūru un to starojumu.

Mērīšanas sensoru daļa sastāv no NTC (Negative Temperature Coefficient) termorezistoriem, kas mēra UV diožu temperatūru samazinot savu pretestību, kad palielinās diodes temperatūra. Pats termorezistors ir pieslēgts pie Arduino mikrokontroliera analogā ieejas portam (A1), kurš nolasa sprieguma kritumu, kas ir proporcionāls termorezistora pretestībai. Papildus sensors irarī pats UV sensors ML-8511, kurš mēra faktisko starojuma intensitāti.

Izpildmehānismu daļa sastāv no UV 1W diodes un tai vadības nepieciešamajam NPN tranzistoram.

A diagram of a circuit board

AI-generated content may be incorrect.

1. **att. –** Sistēmas slēgums KiCad programmatūrā

Augstāk redzamā 1. attēlā ir redzama pati elektriskās shēma attēlojums. Shēma ietver vairākus galvenos komponentus, kas savienoti atbilstoši UV diodes kontroles vajadzībām.

Shēmas galvenā daļa sākas ar rezistoru R1 (5W, 15 Ω), kas ir pieslēgts strāvas avotam un kalpo kā strāvas ierobežotājs. R1 savienojas ar potenciometru RV1 (4W, 100Ω), kura malas ieeja ir pievienota R1, bet vidējā izeja ir savienota ar ultravioleto diodi UV1 (1W, 405nm). Potenciometrs RV1 veic reostata funkciju un ļauj manuāli regulēt UV diodes intensitāti.

UV diode UV1 ir pievienota NPN tranzistora NPN1 (80V, 1.5A, 8W) kolektora (collector) ieejai, emiteris (emmiter) ir savienots ar GND, bet bāze ir pieslēgta caur rezistoru R2 (1W, 330Ω, 5%) pie Arduino kontrollera digitālā izvada D10. Šāds savienojums veido pamata vadību, kur Arduino ar PWM signālu caur tranzistoru var kontrolēt UV diodes ieslēgšanu un izslēgšanu.

Lai nodrošinātu temperatūras kontroli, uz UV diodes korpusa ar termolīmi ir piestiprināts NTC termorezistors TH2 (10kΩ, 10%, 450mW). Termorezistors TH2 veido sprieguma dalītāju kopā ar rezistoru R4 (0.5W, 10kΩ, 5%). TH2 ir pievienots pie barošanas sprieguma 5V, bet R4 - pie GND. Sprieguma dalītāja vidus starp šiem rezistoriem ir pieslēgts pie Arduino analogās ieejas A0, kas ļauj mērīt un novērot UV diodes temperatūru.

Papildus shēmā ir iekļauts UV sensors ML8511, kura ieejas/izejas ir savienotas šādi:

1. VIN ir pieslēgts pie Arduino VIN;
2. GND ir savienots ar Arduino GND;
3. OUT ir pievienots Arduino analoga ieejai A3;
4. EN ir savienots ar Arduino 3V3.

Shēmā ir attēlots, ka Arduino D10 digitālā izeja tiek izmantota PWM signāla ģenerēšanai, kas caur rezistoru R2 vada NPN tranzistoru, tādējādi regulējot UV diodes intensitāti. Savukārt Arduino analogās ieejas tiek izmantotas, lai nolasītu temperatūras datus no termorezistora TH2 un UV intensitātes datus no ML8511 sensora.

Kopumā, šī shēma ir izstrādāta, lai precīzi kontrolētu UV diodes starojuma intensitāti un temperatūru, kuri ir būtiski parametri melanomas diagnostikas ierīcē, nodrošinot stabilu UV starojumu diagnozes procesā.

* 1. Lineārā UV diodes temperatūras kontrole
  2. Lineārā UV diodes starojuma intensitātes kontrole
  3. PID algoritma izveide un integrācija

PID kontrolieris – PID jeb Proporcionalitāte-Integrālis-Atvasinājums ir vadības algoritms ar kura palīdzību var stabilizēt veicamos procesus un uzlabot to precizitāti. Pats algoritms sastāv no trijām komponentēm [6]:

* Proporcionalitātes komponente (P): reaģē uz kļūdu starp mērķa un faktisko vērtību;
* Integrāļa komponente (I): uzglabā visu kļūmju datus un novērš ilgtermiņa nobīdes algoritmā;
* Atvasinājuma komponente (D): Novēro kļūmju izmaiņu ātrumu.

PID algoritma formula:

pid

kur,

* ir vadības signāls;
* Kp ir proporcionalitātes koeficients;
* Ki ir integrāļa koeficients;
* Kd ir atvasinājuma koeficients;
* e(t) ir kļūdas signāla starpība starp mērķa un faktisko vērtību;
* ir kļūmes integrālis laika gaitā;
* d apzīmē kļūmes atvasinājumu attiecībā pret laiku.
  1. Sistēmas prototipa rezultāti un optimizācija
  2. Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi

// šī nodaļa zem jautājuma vēl

1. Rīsinājuma pārbaudes daļa

// Šeit vēlāk samainīt virsrakstus un pievienot datus…

* 1. Eksperimenta …
  2. Sistēmas testēšanas rezultāti
  3. Salīdzinājums ar tradicionālām metodēm
  4. Rezultātu ietekme uz turpmākiem pētījumiem

Rezultāti un secinājumi

Šī noslēguma darba daļa:

* satur kopsavilkumu par noslēguma darbā paveikto un sasniegtajiem rezultātiem (atbilstoši izvirzītajam mērķim un uzdevumiem);
* atspoguļo autora izdarītos secinājumus un gūtās atziņas, nevis vispārzināmas, triviālas un literatūrā atrodamas frāzes;
* uzskaita turpmākos pētījuma virzienus (ja tādi ir saskatāmi);
* sniedz informāciju par noslēguma darba autora publikācijām, uzstāšanos konferencēs un/vai dalību zinātniski pētnieciskos projektos, kas ir saistīti ar noslēguma darbu.

Secinājumu apjoms ir 1–3 lappuses.

Izmantotie informācijas avoti

// Pareizi noformēt līdz galam.

https://www.spkc.gov.lv/lv/necepies-izvelies-dzivot [1]

https://www.rtu.lv/lv/universitate/masu-medijiem/zinas/atvert/par-latvijas-zinatnieku-raditu-tehnologiju-agrinai-adas-veza-diagnostikai-zino-euronews [2]

Azarjana K, Ozola A, Ruklisa D, Cema I, Rivosh A, Azaryan A, Pjanova D. Melanoma epidemiology, prognosis and trends in Latvia. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2013 Nov;27(11):1352-9. doi: 10.1111/jdv.12007. Epub 2012 Oct 27. PMID: 23106225. [3]

https://www.msdmanuals.com/professional/dermatologic-disorders/cancers-of-the-skin/melanoma [4]

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5760354/ [5]

https://www.crystalinstruments.com/blog/2020/8/23/pid-control-theory [6]

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4516105/ [7]

https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content?contenttypeid=85&contentid=p01359 [8]

https://tech-led.com/led-medical-and-therapy-applications/ [9]

https://www.cancer.org/cancer/types/melanoma-skin-cancer/about/key-statistics.html#:~:text=The%20American%20Cancer%20Society's%20estimates,5%2C470%20men%20and%202%2C960%20women). [10]

https://www.aimatmelanoma.org/melanoma-101/early-detection-of-melanoma/#:~:text=Luckily%2C%20melanoma%20can%20often%20be,distant%20sites%20is%2099%20percent. [11]

https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.09.25.559240v1.full.pdf [12]

https://canadiandermatologytoday.com/article/view/2-4-Copley [13] (LĒNS, jānomaina)

https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2021.637069/full [14]

https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ra/c8ra04164d [15]

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10571810/#:~:text=In%20studies%20directly%20comparing%20algorithm,mean%20algorithm%20specificity%20was%2085.58%25. [16]

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15009728/ [17]

https://www.nature.com/articles/s41416-018-0257-9 [18]

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10707690/ [19]

https://dermnetnz.org/topics/spectrophotometric-analysis-of-skin-lesions [20]

https://www.mdpi.com/2077-0383/9/6/1662 [21]

https://www.cancer.org/cancer/types/melanoma-skin-cancer/detection-diagnosis-staging/how-diagnosed.html [22]

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26601859/ [23]

Pielikumi