**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](#_Toc193250580)

[1. Analītiskā daļa 7](#_Toc193250581)

[1.1 Pamatjēdzienu apraksts un definīcija 7](#_Toc193250582)

[1.2 Ādas melanomas diagnostikas metodes 8](#_Toc193250583)

[1.2.1 Neinvanzīvās metodes 9](#_Toc193250584)

[1.2.2 Invanzīvās metodes 11](#_Toc193250585)

[1.3 Ultravioletā starojuma fiziskie parametri 12](#_Toc193250586)

[1.4 Sistēmas prototipa izstrāde un aprēķini 15](#_Toc193250587)

[1.4.1 UV diožu strāvas ierobežošanas rezistoru aprēķins 17](#_Toc193250588)

[1.4.2 Rezistora jaudas aprēķins 17](#_Toc193250589)

[1.4.3 Termorezistoru pretestības aprēķins 17](#_Toc193250590)

[Otrā versija 1.4 (spare one) 18](#_Toc193250591)

[1.5 Stāvokļa analīze un risinājuma aktualitāte 20](#_Toc193250592)

[2. Rīsinājuma daļa 20](#_Toc193250593)

[2.1 Sistēmas arhitektūras izveide 20](#_Toc193250594)

[2.2 PID algoritma izveide un integrācija 20](#_Toc193250595)

[2.3 Sistēmas rezultāti un optimizācija 20](#_Toc193250596)

[2.4 Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi 20](#_Toc193250597)

[3. Rīsinājuma pārbaudes daļa 21](#_Toc193250598)

[3.1 Eksperimenta … 21](#_Toc193250599)

[3.2 Sistēmas testēšanas rezultāti 21](#_Toc193250600)

[3.3 Salīdzinājums ar tradicionālām metodēm 21](#_Toc193250601)

[3.4 Rezultātu ietekme uz turpmākiem pētījumiem 21](#_Toc193250602)

[Rezultāti un secinājumi 22](#_Toc193250603)

[Izmantotie informācijas avoti 23](#_Toc193250604)

[Pielikumi 25](#_Toc193250605)

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
   1. Pamatjēdzienu apraksts un definīcija

Lai turpmākais bakalaura darba teksts un tā sadaļas visiem rastu vienādu izpratni par darbā lietoto terminoloģiju, šajā daļā tiks definēti un skaidroti galvenie jēdzieni, kuri būs cieši saistīti ar darba izstrādi.

Melanoma – nelabvēlīgs ādas virsmas audzējs, kurš rodas no melanocītiem, pigmentu ražojošās šūnas. Viena no agresīvākām ādas vēža formām [4].

// Uzrakstīt par metodes jūtībām un specifiskuma nozīmi

// Breslova biezuma skaidrojums

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].

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. Ādas melanomas diagnostikas metodes

Ādas melanoma ir viena no agresīvākām ādas vēža formām, 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].

2.1. 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].

2.1. 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 |

// rediget

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

Ultravioletais starojums ir elektromagnētiskais starojums ar viļņa garumu no 100 līdz 400 nanometriem (nm). 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].

1.3. tabula

UV index

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| UV Index values | Color | Amount of risk |
| 1 - 2 | **Green** | **Low.**Low danger from unprotected sun exposure for the average person. But if you burn easily, cover up and use sunscreen with a sun protection factor (SPF) of at least 30. Wear sunglasses with UV protection on bright days. |
| 3 - 5 | **Yellow** | **Moderate.** A moderate risk of harm from unprotected sun exposure. Wear protective clothing, sunglasses, and a hat if you will be outside. Stay in shade around midday. Use sunscreen with at least SPF 30 and reapply every 2 hours, even on cloudy days. Wear sunglasses with UV protection. |
| 6-7 | **Orange** | **High.**A high risk of harm from unprotected sun exposure. Wear protective clothing, sunglasses, and a hat if you will be outside. Use sunscreen with at least SPF 30 and reapply every 2 hours, even on cloudy days. Reduce your time in the sun between 10 a.m. and 4 p.m. Wear sunglasses with UV protection. |
| 8-10 | **Red** | **Very High.**A very high risk of harm from unprotected sun exposure. Wear protective clothing, sunglasses, and a hat if you will be outside. Use sunscreen with at least SPF 30 and reapply every 2 hours, even on cloudy days. Seek shade outdoors. Try to avoid the sun between 10 a.m. and 4 p.m. Wear sunglasses with UV protection. |
| 11 + | **Blue** | **Extreme.**An extreme risk of harm from unprotected sun exposure. Follow all of the above suggestions to protect yourself from the sun. Wear protective clothing, sunglasses with UV protection, and a hat if you will be outside. Apply sunscreen with at least SPF 30 every 2 hours, even on cloudy days. Seek shade outdoors. Try to avoid the sun between 10 a.m. and 4 p.m. |

<https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content?contenttypeid=85&contentid=p01359> (rediģēt)

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 autofluorescencs 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. 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 cietiem 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 | 2 | 0.5W, 2R2, 5% | Strāvas ierobežošanai UV diodēm |
| Rezistors | 1 | 2W, 330R, 5% | Augstas jaudas kontrolei |
| NTC termorezistors | 2 | 10k, 10%, 450mW | UV temperatūras mērījumiem |
| 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 |

Detaļu tabula (noformēt + rediģēt)

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

1.4.1 UV diožu strāvas ierobežošanas rezistoru aprēķins

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

Strāvas aprēķina formula:

1.4.2 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.

1.4.3 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).

Otrā versija 1.4 (spare one)

**1.4. Sistēmas prototipa izstrāde un aprēķini**

Sistēmas prototipa izstrāde sākās ar komponentu izvēli un aprēķiniem, lai nodrošinātu optimālu UV diožu darbību un precīzu temperatūras kontroli. Prototipa pamatā ir Arduino Uno mikroprocesors, kas nodrošina sistēmas vadību un datu apstrādi reālajā laikā. Šāda platforma tika izvēlēta vieglās programmēšanas dēļ, kas ļauj ātri implementēt un testēt PID algoritma darbību.

Galvenais izaicinājums prototipa izstrādē ir nodrošināt precīzu UV diožu temperatūras mērīšanu un kontroli. UV diodes darbojoties ievērojami sakarst, kas ietekmē to starojuma intensitāti un viļņa garumu. Lai risinātu šo problēmu, tika izvēlēti NTC termorezistori ar nominālo pretestību 10kΩ un toleranci 10%. Šie termorezistori tika pielīmēti tieši pie UV diožu korpusa, izmantojot termiski vadošu līmi TERMOGLUE-10, kas nodrošina efektīvu siltuma pārnesi un precīzus mērījumus.

Temperatūras mērījumu precizitātes aprēķini parādīja, ka izvēlētie termorezistori spēj nodrošināt ± 0.5°C precizitāti temperatūras diapazonā no 20°C līdz 60°C, kas ir pietiekami, ņemot vērā, ka UV diožu darba temperatūra parasti svārstās 20-60°C robežās. Termorezistoru pretestības un temperatūras sakarība tika aprēķināta, izmantojot Steinhart-Hart vienādojumu:

3

kur:

* T ir temperatūra Kelvinos;
* R ir termorezistora pretestība omos;
* bet A, B un C ir Steinhart-Hart vienādojuma koeficienti, kuri ir specifiski izvēlētajam termorezistoram.

UV diožu barošanas ķēde tika aprēķināta, ņemot vērā to, ka katra 1W UV diode (405nm) darbojas ar nominālo strāvu 350mA un sprieguma kritumu aptuveni līdz 3.2V. Lai ierobežotu strāvu un nodrošinātu stabilu darbību, tika izmantoti 2.2Ω rezistori ar jaudu 0.5W.

Strāvas aprēķins:

Šāda strāva pārsniedz diodes nominālo strāvu, tāpēc tika ieviests PWM vadības mehānisms, kas ļauj precīzi kontrolēt vidējo strāvu caur diodi, mainot impulsa platumu. PWM frekvence tika noregulēta uz 490Hz, kas ir pietiekami augsts, lai izvairītos no redzamas mirgošanas, bet pietiekami zems, lai nodrošinātu efektīvu tranzistoru darbību.

UV starojuma intensitātes mērīšanai tika izmantots GY-8511 ML8511 UVB UV sensors, kas spēj detektēt UV starojumu diapazonā no 280nm līdz 390nm. Sensora izeja ir analogais spriegums, kurš ir proporcionāls UV intensitātei. Kalibrēšanas rezultātā tika iegūta lineāra sakarība starp sensora izejas spriegumu un UV intensitāti:

*UV intensitāte (mW/cm²) = 0.12 × (Vout - 1.0)*

Kur:

* *Vout* ir sensora izejas spriegums voltos.

Prototipa elektriskās ķēdes kopējā jauda tika aprēķināta, summējot visu komponentu jaudas patēriņu:

Arduino Uno: ~0.3W, UV diodes (2 gab.): ~2W, sensori un papildu komponentes: ~0.2W = kopējā jauda: ~2.5W

Šāds jaudas patēriņš ir pieņemams portatīvai ierīcei un ļauj sistēmai darboties ilgstoši bez pārkaršanas riska.

Prototipa testēšanas laikā tika veikti vairāki eksperimenti, lai novērtētu sistēmas stabilitāti un precizitāti. Temperatūras svārstību tests parādīja, ka sistēma spēj uzturēt UV diožu temperatūru … robežās. UV intensitātes stabilitātes tests apstiprināja, ka PID algoritms spēj kompensēt intensitātes svārstības, nodrošinot stabilu starojumu ±2% robežās.

Prototipa izstrādes un testēšanas rezultāti sniedza vērtīgu informāciju par sistēmas darbību un ļāva noteikt potenciālos uzlabojumus pirms darb ar PCB variantu.

* Termorezistoru novietojums ir svarīgs precīzai temperatūras mērīšanai.
* PID algoritma parametri (Kp, Ki, Kd) jāpielāgo katrai konkrētai UV diodei, lai nodrošinātu optimālu darbību.
* UV sensora novietojumam jābūt optimālam attiecībā pret UV diodēm, lai nodrošinātu precīzus mērījumus.
  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

1. Rīsinājuma daļa
   1. Sistēmas arhitektūras izveide
   2. PID algoritma izveide un integrācija
   3. Sistēmas rezultāti un optimizācija
   4. Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi
2. Rīsinājuma pārbaudes daļa
   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 noformet

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

// pareizi visu noformet

#define UV\_SENSOR\_PIN A0

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(UV\_SENSOR\_PIN, INPUT);

}

void loop() {

  int uvRaw = analogRead(UV\_SENSOR\_PIN);

  float voltage = uvRaw \* (5.0 / 1023.0);

  float uvIntensity = mapfloat(voltage, 0.99, 2.9, 0.0, 15.0);

  if (uvIntensity < 0) {

    uvIntensity = 0.0;

  }

  Serial.print("UV Intensity: ");

  Serial.print(uvIntensity);

  Serial.println(" mW/cm^2");

  delay(1000);

}

float mapfloat(float x, float in\_min, float in\_max, float out\_min, float out\_max) {

  return (x - in\_min) \* (out\_max - out\_min) / (in\_max - in\_min) + out\_min;

}

Kods 1.

#define TEMP\_SENSOR\_PIN A1

#define UV\_SENSOR\_PIN A0

#define LED\_PIN 9

float R0 = 10000;

float T0 = 0 + 273.15;

float beta = 3950;

float R\_series = 10000;

float UV\_VOLTAGE\_MIN = 0.99;

float UV\_VOLTAGE\_MAX = 3.3;

float UV\_INTENSITY\_MIN = 0.0;

float UV\_INTENSITY\_MAX = 15.0;

const int numReadings = 10;

float tempReadings[numReadings];

float uvReadings[numReadings];

int readIndex = 0;

float tempTotal = 0;

float uvTotal = 0;

int currentBrightness = 0;

int targetBrightness = 0;

unsigned long lastLEDUpdate = 0;

const int fadeStep = 5;

void setup() {

Serial.begin(9600);

pinMode(LED\_PIN, OUTPUT);

for (int i = 0; i < numReadings; i++) {

tempReadings[i] = 0.0;

uvReadings[i] = 0;

}

tempTotal = 0.0;

}

float mapfloat(float x, float in\_min, float in\_max, float out\_min, float out\_max) {

return (x - in\_min) \* (out\_max - out\_min) / (in\_max - in\_min) + out\_min;

}

void loop() {

float tempSum = 0;

for (int i = 0; i < 3; i++) {

float tempRaw = analogRead(TEMP\_SENSOR\_PIN);

if (tempRaw < 1) tempRaw = 1;

float voltage = tempRaw \* (3.3 / 1023.0);

float resistance = R\_series \* (5.0 / voltage - 1.0);

float temp = 1.0 / (1.0/T0 + (1.0/beta) \* log(resistance/R0));

temp = temp - 273.15;

tempSum += temp;

delay(5);

}

float temperature = tempSum / 3.0;

if (isnan(temperature) || temperature < -20 || temperature > 125) {

temperature = tempTotal / numReadings;

}

float uvSum = 0;

for (int i = 0; i < 3; i++) {

uvSum += analogRead(UV\_SENSOR\_PIN);

delay(5);

}

int uvRaw = uvSum / 3;

float uvVoltage = uvRaw \* (3.3 / 1023.0);

float uvIntensity = mapfloat(uvVoltage, UV\_VOLTAGE\_MIN, UV\_VOLTAGE\_MAX, UV\_INTENSITY\_MIN, UV\_INTENSITY\_MAX);

if (uvIntensity < 0) uvIntensity = 0;

tempTotal = tempTotal - tempReadings[readIndex];

uvTotal = uvTotal - uvReadings[readIndex];

tempReadings[readIndex] = temperature;

uvReadings[readIndex] = uvRaw;

tempTotal = tempTotal + temperature;

uvTotal = uvTotal + uvRaw;

readIndex = (readIndex + 1) % numReadings;

float avgTemperature = tempTotal / numReadings;

float avgUvRaw = uvTotal / numReadings;

if (avgTemperature >= 2.0 && avgTemperature <= 40.0) {

targetBrightness = map(avgUvRaw, 0, 1023, 50, 255);

} else {

targetBrightness = 0;

}

unsigned long currentMillis = millis();

if (currentMillis - lastLEDUpdate > 30) {

lastLEDUpdate = currentMillis;

if (currentBrightness < targetBrightness) {

  currentBrightness = min(currentBrightness + fadeStep, targetBrightness);

} else if (currentBrightness > targetBrightness) {

  currentBrightness = max(currentBrightness - fadeStep, targetBrightness);

}

analogWrite(LED\_PIN, currentBrightness);

}

Serial.print("Temperature:");

Serial.print(avgTemperature);

Serial.print(" UV:");

Serial.println(avgUvRaw);

delay(100);

}

Kods 2.