**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](#_Toc195174008)

[1. Analītiskā daļa 7](#_Toc195174009)

[1.1 Ādas melanomas diagnostikas metodes 7](#_Toc195174010)

[1.1.1 Neinvanzīvās metodes 8](#_Toc195174011)

[1.1.2 Invanzīvās metodes 10](#_Toc195174012)

[1.2 Ultravioletā starojuma fiziskie parametri 11](#_Toc195174013)

[1.3 Stāvokļa analīze un risinājuma aktualitāte 14](#_Toc195174014)

[2. Rīsinājuma daļa 15](#_Toc195174015)

[2.1 Sistēmas prototipa izstrāde un aprēķini 15](#_Toc195174016)

[2.1.1 UV diožu strāvas ierobežošanas rezistoru aprēķins 17](#_Toc195174017)

[2.1.2 Rezistora jaudas aprēķins 17](#_Toc195174018)

[2.1.3 Termorezistoru pretestības aprēķins 17](#_Toc195174019)

[2.2 Sistēmas arhitektūras izveide 18](#_Toc195174020)

[2.3 Lineārā UV diodes temperatūras kontrole 21](#_Toc195174021)

[2.4 Lineārā UV diodes starojuma intensitātes kontrole 23](#_Toc195174022)

[2.5 PID algoritma izveide un integrācija 25](#_Toc195174023)

[2.6 Sistēmas prototipa rezultāti un optimizācija 29](#_Toc195174024)

[2.6.1 UV temperatūras kontrole 29](#_Toc195174025)

[2.6.2 UV starojuma parametru kontrole 33](#_Toc195174026)

[2.6.3 Sistēmas kontrole ar PID algoritmu 35](#_Toc195174027)

[2.7 Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi 38](#_Toc195174028)

[3. Rīsinājuma pārbaudes daļa 39](#_Toc195174029)

[3.1 Eksperimenta … 39](#_Toc195174030)

[3.2 Sistēmas testēšanas rezultāti 39](#_Toc195174031)

[3.3 Salīdzinājums ar tradicionālām metodēm 39](#_Toc195174032)

[3.4 Rezultātu ietekme uz turpmākiem pētījumiem 39](#_Toc195174033)

[Rezultāti un secinājumi 40](#_Toc195174034)

[Izmantotie informācijas avoti 41](#_Toc195174035)

[Pielikumi 43](#_Toc195174036)

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 |

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

// aprakstīt ar ko mana metode ir labāka par citām

1. Rīsinājuma daļa

// Pabeigt un pilnveidot nodaļas

// Uzrakstīt par metodes jūtībām un specifiskuma nozīmi

// Salikt nodaļu labākā secībā

// Pārskatīt un pārlabot matemātiskās formulas un aprēķinus

// Aprakstīt ar ko mana metode ir labāka par citām

* 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

Sistēmas prototipa izstrādes laikā tika veidota lineāra un stabila temperatūras kontroles sistēma, kas darbojās ar NTC termorezistora un Arduino mikrokontroliera mijiedarbību. Sistēmas mērķis ir nodrošināt precīzu un stabilu temperatūras novērošanas vidi, kas ļauj analizēt temperatūras izmaiņas un uzturēt stabilu darba vidi turpmāko PID algoritmu implementācijai un būt pārliecinātam datu precizitātē.. Šajā sadaļā tiek apskatīta temperatūras kontroles sistēmas darbība.

Eksperimenta mērķis ir novērtēt termorezistora darbības un reakcijas ātrumu uz straujām temperatūras izmaiņām. Sistēmas spēju uzturēt stabilu temperatūru ilgstošas darbības laikā, ka arī novērtēt temperatūras mērījumu precizitāti un stabilitāti.

Sistēma sastāv no NTC termorezistora, 10kΩ pie 25°C, kas veido sprieguma dalītāju ar sērijas rezistoru 10kΩ. Termorezistors ir pievienots Arduino analogajai ieejai A1, kur tiek nolasītas sprieguma izmaiņas, kas veido temperatūras izmaiņas. Arduino mikrokontrolieris apstrādā šos datus, izmantojot beta koeficienta metodi, lai aprēķinātu precīzu temperatūru grādos pēc Celsija.

Temperatūras aprēķins tiek veikts ar šādu formulu:

kur:

T ir temperatūra grādos pēc Celsija,

*Rntc* ir termorezistora pretestība,

Ro ir nominālā pretestība pie 25°C (10kΩ),

To ir nominālā temperatūra Kelvinos (298.15K),

β ir termorezistora beta koeficients (4300).

Kods sākas ar nepieciešamo parametru definēšanu - termorezistora un sprieguma dalītāja vērtībām. Funkcija readTemperature() nolasa analogās ieejas signālu no termorezistora, aprēķina tā pretestību un pārvērš to temperatūrā. Šī funkcija darbojas sekojoši:

1. Nolasa ADC vērtību no TEMP\_SENSOR\_PIN (A1);
2. ADC vērtība tiek pārvērsta spriegumā:
3. Izmantojot sprieguma dalītāja formulu, tiek aprēķināta termorezistora pretestība:
4. Temperatūra tiek aprēķināta, izmantojot beta koeficienta metodi.

Koda daļa:

float readTemperature() {

int raw = analogRead(TEMP\_SENSOR\_PIN); // Nolasa ADC vērtību

float Vout = raw \* (5.0 / 1023.0); // Pārveido ADC vērtību uz voltiem

float Rntc = R\_series \* (5.0 / Vout - 1.0); // Aprēķina termistora pretestību

return (1.0 / (1.0 / T0 + log(Rntc / R0) / beta)) - 273.15; // Pārveido uz °C

}

Pēc tam funkcija loop() nodrošina nepārtrauktu temperatūras novērošanu reālajā laikā. Katru sekundi tiek nolasīti jauni dati par temperatūru un nosūtīti seriālajam portam (serial port) CSV formātā.

Eksperimenta laikā tiek veikta LED temperatūras dinamikas analīze, kas ietver gan uzsilšanas, gan atdzesēšanas procesu novērojumus. Sākotnēji LED tiek uzsildīts līdz maksimālajai ambient darba temperatūrai izmantojot potenciometru slēgtā pozīcijā, pēc eksperimenta veikšanas ar atvērto potenciometra pozīciju LED pakāpeniski tiek atdzesēts atpakaļ līdz ambient optimālajai darba temperatūrai aiztaisot potenciometra slēdzi. Šāda pieeja ļāva novērtēt termorezistora darbības ātrumu un temperatūras mērījumu precizitāti dažādos režīmos.

Eksperimenta laikā tika uzturēta konstanta apkārtējās vides istabas temperatūra 26°C, kas tika izmantota kā atskaites punkts temperatūras izmaiņu novērtēšanai.

Svarīgi atzīmēt, ka LED nekad netika pilnībā izslēgts, potenciometrs pilda reostata funkciju, kas nozīmē ka - pat pie minimālā potenciometra iestatījuma caur LED plūda 3.05V, bet pie maksimālā iestatījuma - 2.93V. Šī sprieguma starpība (0.12V) bija pietiekama, lai nodrošinātu temperatūras izmaiņas diapazonā no 25°C līdz 60°C.

Uzsilšanas fāzē LED temperatūra pieauga no istabas temperatūras līdz remdeni siltai 32°C pāris sekunžu laikā, uzrādot lineāru uzkaršanas līkni ar straujāku pieaugumu pirmajās pāris sekundēs. Atdzišanas fāzē, samazinot strāvu, temperatūra pakāpeniski samazinās atpakaļ līdz optimālajai ambient darba temperatūrai (26-27°C)

Šāda temperatūras cikla analīze ir būtiska, lai izprastu LED uzvedību un optimizētu temperatūras kontroles parametrus ilgstošai un stabilai sistēmas un turpmāko algoritmu darbībai.

Pēc eksperimenta veikšanas tiks analizēti iegūtie dati, lai noteiktu temperatūras svārstību amplitūdu, vidējās temperatūras novirzi no mērķa vērtības un sistēmas reakcijas ātrumu uz straujām ārējās temperatūras vides izmaiņām.

Šie rezultāti sniegs ieskatu par termorezistora efektivitāti un sistēmas stabilitāti dažādos apstākļos, ka arī nodrošinās stabilu un precīzu sistēmu turpmākajiem pētījumiem.

* 1. Lineārā UV diodes starojuma intensitātes kontrole

Šajā sadaļā tiks apskatīta UV starojuma intensitātes mērīšanas un kontroles sistēma, kas ir balstīta uz ML8511 sensoru un Arduino mikrokontrolieri.

Sistēmas izstrādē tika izmantota Arduino ML8511 bibliotēka, kas nodrošina ērtu un precīzu UV sensora datu nolasīšanu. Bibliotēka ļauj veikt precīzus UV intensitātes mērījumus diapazonā no 0 līdz 15 mW/cm², kas ir pietiekams diapazons melanomas diagnostikai. Sensora datu nolasīšana tiek uzlabota, izmantojot vairāku mērījumu atsauces sprieguma kompensāciju, kas nodrošina stabilus rezultātus.

Sensora datu nolasīšana un apstrāde notiek divos posmos.

Neapstrādāto sensora datu nolasīšana:

cpp

float readRawUV() {

float sum = 0;

const int samples = 10;

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

int uvReading = analogRead(UV\_OUT\_PIN);

int refReading = analogRead(UV\_3V3\_PIN);

sum += 3.3 / (refReading \* (5.0 / 1023.0)) \* (uvReading \* (5.0 / 1023.0));

delay(1);

}

return sum / samples;

}

Šī funkcija veic 10 secīgus mērījumus un aprēķina vidējo vērtību, izmantojot gan UV sensora izejas signālu, gan atsauces spriegumu, lai kompensētu sprieguma svārstības.

Kalibrēto UV intensitātes vērtību aprēķināšana:

cpp

float readCalibratedUV() {

float rawVoltage = readRawUV();

return constrain((rawVoltage - darkVoltage) \* calibrationFactor, 0.0, 15.0);

}

Kalibrācijas process ir būtisks, jo ML8511 sensors dod analogu spriegumu, kas lineāri mainās atkarībā no UV intensitātes, bet šī attiecība ir jākalibrē katram sensoram individuāli.

Kalibrācijas process balstās uz šādiem parametriem:

1. darkVoltage (1.005V) - sensora izejas spriegums pilnīgā tumsā;
2. brightVoltage (1.246V) - sensora izejas spriegums istabas gaismā;
3. calibrationFactor (41.4638) - kalibrācijas koeficients.

Šī pieeja ļauj pārvērst sensora izejas spriegumu UV intensitātes vērtībās diapazonā no 0 līdz 15 mW/cm².

Kalibrācijas parametri (darkVoltage = 1.005V, brightVoltage = 1.246V un calibrationFactor = 41.4638) tika iegūti no iepriekš veiktās manuālās kalibrācijas.

UV diode tiek kontrolēta, izmantojot PWM signālu:

cpp

analogWrite(UV\_LED\_PIN, MAX\_LED\_POWER);

Eksperiments ļaus novērtēt UV diodes starojuma intensitātes stabilitāti, analizēt UV sensora precizitāti, noteikt optimālos UV starojuma parametrus melanomas diagnostikai.

Iegūtie dati ir būtiski turpmākai efektīvas un uzticamas UV starojuma sistēmas izstrādei.

* 1. PID algoritma izveide un integrācija

// šo apakšnodaļu vajag vēl pabeigt

// PID algoritms ir gandrīz pabeigts, bet nenoregulēts, izdarīšu to tuvākajā laikā

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.

Projektā tiek izmantota Arduino PID\_v1 bibliotēka, kas nodrošina efektīvu PID kontroliera implementāciju:

cpp

#include <PID\_v1.h>

PID kontroles parametri:

const float TARGET\_TEMP = 27.0; *// Mērķa temperatūra °C*

const double Kp = 45.5, Ki = 0.0, Kd = 0.0; *// PID regulēšanas parametri*

const int MIN\_LED\_POWER = 0; *// Minimālā jauda (0-255)*

const int MAX\_LED\_POWER = 255; *// Maksimālā jauda (0-255)*

PID mainīgie:

double Setpoint, Input, Output;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

Esperimentā tika izmantoti parametri Kp=45.5, Ki=0.0, Kd=0.0, kas nozīmē, ka tika izmantota tikai proporcionālā komponente. Šāda pieeja ļauj novērtēt proporcionālās komponentes ietekmi uz sistēmas stabilitāti, pirms tiek pievienotas integrālā un atvasinājuma komponentes.

PID kontrolieris tiek inicializēts setup() funkcijā:

cpp

void setup() {

*// PID inicializācija*

Setpoint = TARGET\_TEMP;

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

myPID.SetOutputLimits(MIN\_LED\_POWER, MAX\_LED\_POWER);

}

kur:

1. Setpoint = TARGET\_TEMP uzliek mērķa temperatūru (27.0°C);
2. myPID.SetMode(AUTOMATIC) ieslēdz automātisko PID kontroli;
3. myPID.SetOutputLimits(MIN\_LED\_POWER, MAX\_LED\_POWER) ierobežo izejas signālu diapazonā no 0 līdz 255.

Katrā loop() cikla iterācijā PID kontrolieris:

1. Nolasa pašreizējo temperatūru;
2. Aprēķina PID;
3. Piemēro aprēķināto jaudu UV LED;
4. Reģistrē datus analīzei;

cpp

**void** loop() {

Input = readTemperature();

*// Aprēķina PID izeju*

myPID.Compute();

*// Piemēro kontroli LED*

analogWrite(UV\_LED\_PIN, Output);

*// Aprēķina kļūdu*

**float** error = Setpoint - Input;

PID parametru (Kp, Ki, Kd) optimizācija ir svarīga, lai nodrošinātu stabilu un precīzu temperatūras kontroli. Parametru optimizācija tiek veikta eksperimentāli, izmantojot šādus soļus: // šo daļu vajag vēl pabeigt

1. Sākotnēji tiek izmantota tikai proporcionālā komponente (Kp=7.5, Ki=0, Kd=0);
2. Pakāpeniski tiek palielināta integrālā komponente (Ki), lai samazinātu pastāvīgo kļūdu;
3. Atvasinājuma komponente (Kd) tiek pievienota, lai samazinātu ķļūmes intensitāti (swings).

Optimālie parametri tiek noteikti, analizējot temperatūras stabilizācijas ātrumu, kļūmju intensitāti (swings) un pastāvīgo kļūdu dažādiem parametriem.

Sistēma novēro sekojošos datus:

1. Laiks(ms);
2. Pašreizējā temperatūra (°C);
3. Kļūda (°C);
4. PID (0-255);
5. LED jauda (%);
6. UV intensitāte (mW/cm²);
7. Darbības laiks (s).

Šie dati ļauj analizēt PID kontroliera veiktspēju un optimizēt tā parametrus.

PID kontroliera pielietojums šajā projektā nodrošina precīzu, attīstītu, adaptīvu un stabilu UV LED temperatūras un starojuma kontroli, kas ir būtiski, lai nodrošinātu vienāda līmeņa UV starojuma intensitāti melanomas diagnostikā.

* 1. Sistēmas prototipa rezultāti un optimizācija

// pārskatīt tekstu, jo pāris lietas atkārtojas

* + 1. UV temperatūras kontrole

// uzrakstīt apakšnodaļas ievadu un ja vajag tad pilnveidot datu kopas ar labākiem datiem (procesā)

// varbūt grafikus vajag kaut kā sadalīt lai tie būtu vairāk saprotami?

// uzrakstīt par to ka eksperimentu rezultāti var būt mainīgi ārējo apstākļu dēļ

1.grafiks – Temperatūras grafiks // pareizi noformēt

Eksperimenta laikā tika veikta UV diodes temperatūras kontroles algoritma testēšana, izmantojot lineāro kontroles metodi. 1. grafiks atspoguļo UV diodes temperatūras izmaiņas laika gaitā, kas tiek mērītas Celsija grādos.

Eksperiments tika uzsākts ar iepriekš iesildītu UV diodi, kuras sākotnējā temperatūra bija aptuveni 28°C. Pirmajās 30 sekundēs novērojams straujš temperatūras kāpums līdz aptuveni 32°C, kas norāda uz diodes ātru uzkaršanu pēc ieslēgšanas. Turpmākajās 10 sekundēs temperatūra saglabājās relatīvi stabila, līdz aptuveni 40. sekundē tā strauji pieauga, sasniedzot 35°C.

Laika posmā no 40. līdz 190. sekundei temperatūra saglabājās ļoti stabila, svārstoties minimāli ap 35°C. Šis periods demonstrē kontroles algoritma efektivitāti, uzturot konstantu temperatūru ilgākā laika periodā. Temperatūras stabilitāte šajā posmā ir ±0.2°C robežās, kas liecina par augstu kontroles precizitāti.

Aptuveni 190. sekundē eksperimenta gaitā tika palielināta reostata (potenciometra) pretestība, kas izraisīja straujas izmaiņas diodes temperatūrā. Rezultātā temperatūra pakāpeniski samazinājās, 10 sekunžu laikā nokrītot līdz aptuveni 33°C. Pēc šīs darbības temperatūra stabilizējās jaunā līmenī – aptuveni 33.5°C, un saglabājās šajā diapazonā līdz eksperimenta beigām.

Kopumā eksperimenta rezultāti parāda, ka lineārās temperatūras kontroles algoritms spēj efektīvi uzturēt stabilu UV diodes temperatūru gan pirms, gan pēc manuālas iejaukšanās. Temperatūras stabilitāte pēc reostata pretestības palielināšanas liecina par sistēmas spēju pielāgoties jauniem apstākļiem un ātri sasniegt jaunu līdzsvara stāvokli.

Īpaši nozīmīga ir sistēmas spēja uzturēt temperatūru ar augstu precizitāti ilgstošā laika periodā, kas ir būtisks faktors UV diodes izmantošanai medicīniskajā diagnostikā, kur starojuma stabilitāte ir kritiski svarīga precīzu rezultātu iegūšanai.

Eksperiments apliecina, ka izstrādātais lineārās kontroles algoritms nodrošina pietiekamu temperatūras stabilitāti, lai to varētu izmantot melanomas diagnostikas ierīcē.

2.grafiks – Temperatūras grafiks // pareizi noformēt

2. grafikā redzamie rezultāti atspoguļo UV diodes temperatūras izmaiņas laika gaitā, kas tiek mērītas Celsija grādos. Eksperiments demonstrē UV diodes temperatūras uzvedību dažādos reostata iestatījumos.

Eksperimenta pirmajās 50 sekundēs UV diode darbojās apkārtējās vides (ambient) temperatūrā, kas svārstījās ap 22-23°C. Šajā posmā diode darbojās ar minimālu jaudu, un tās temperatūra bija tuvu telpas temperatūrai, ar nelielām svārstībām, kas redzamas grafikā.

Aptuveni 50. sekundē tika veikta pirmā manipulācija - reostata pretestība tika samazināta līdz minimumam, būtiski palielinot strāvu caur UV diodi. Šī darbība izraisīja strauju temperatūras kāpumu, kas grafikā redzams kā gandrīz vertikāla līnija. Dažu sekunžu laikā temperatūra pieauga no aptuveni 23°C līdz 27°C, un turpmākajās 100 sekundēs turpināja pakāpeniski pieaugt, sasniedzot aptuveni 29°C.

Laika posmā no 150. līdz 450. sekundei UV diodes temperatūra saglabājās relatīvi stabila, pakāpeniski pieaugot no 29°C līdz 30°C. Šis periods demonstrē, ka pēc sākotnējā straujā kāpuma diode sasniedza termodinamisko līdzsvaru, kur siltuma izdalīšanās un izkliedēšanās ātrumi izlīdzinājās. Temperatūras stabilitāte šajā posmā bija aptuveni +/- 0.5°C, kas norāda uz optimālu sistēmas stabilitāti.

Aptuveni 450. sekundē tika veikta otrā manipulācija - reostata pretestība tika palielināta līdz maksimumam, būtiski samazinot strāvu caur UV diodi. Rezultātā temperatūra sāka pakāpeniski samazināties, 100 sekunžu laikā nokrītot no 30°C līdz aptuveni 27°C. Turpmākajās 100 sekundēs temperatūra turpināja lēnām samazināties, līdz aptuveni 650. sekundē stabilizējās ap 26.5°C, kas ir nedaudz virs sākotnējās apkārtējās vides temperatūras.

Šis eksperiments uzskatāmi parāda UV diodes termisko uzvedību dažādos strāvas režīmos. Novērojama gan strauja uzkaršana, samazinot reostata pretestību, gan pakāpeniska atdzišana, palielinot pretestību. Īpaši interesanta ir temperatūras stabilizācija gan augstākajā, gan zemākajā līmenī, kas liecina par sistēmas spēju sasniegt termodinamisko līdzsvaru dažādos darbības režīmos.

Eksperimenta rezultāti ir nozīmīgi UV diodes temperatūras kontroles algoritma izstrādei, jo tie parāda diodes termiskās uzvedības dinamiku un ļauj prognozēt temperatūras izmaiņas atkarībā no pievadītās strāvas.

Šie dati būs noderīgi, izstrādājot PID kontroles algoritmu, kas nodrošinās precīzu UV diodes temperatūras uzturēšanu melanomas diagnostikas ierīcē.

Salīdzinot abus temperatūras grafikus, var novērot, ka tie ir gandrīz identiski un atspoguļo divus ļoti līdzīgus eksperimentus ar UV diodi.

Abos grafikos UV diode sākotnēji darbojas apkārtējās vides temperatūrā, kas ir aptuveni 22-23°C. Šajā periodā novērojamas nelielas temperatūras svārstības, kuras ir saistītas ar apkārtējās vides ietekmi vai mērījumu precizitāti.

Abos grafikos redzams identisks straujš temperatūras kāpums no aptuveni 23°C līdz 27°C dažu sekunžu laikā. Šis kāpums ir saistīts ar reostata pretestības samazināšanu līdz minimumam, kas būtiski palielināja strāvu caur UV diodi.

Pēc sākotnējā straujā kāpuma abos grafikos temperatūra turpina pakāpeniski pieaugt, sasniedzot aptuveni 29-30°C. Šis process aizņem aptuveni 150 sekundes, un pieauguma līkne abos grafikos ir praktiski identiska.

Abos grafikos temperatūra sasniedz relatīvi stabilu stāvokli, svārstoties ap 30°C ar nelielām fluktuācijām. Šis stabilais periods ilgst aptuveni 250 sekundes un demonstrē sistēmas spēju uzturēt konstantu temperatūru ilgstošā laika periodā.

Ap 450. sekundi abos grafikos novērojams temperatūras kritums, kas ir saistīts ar reostata pretestības palielināšanu līdz maksimumam. Temperatūra pakāpeniski samazinās no 30°C līdz aptuveni 26.5°C eksperimenta beigās. Atdzišanas līkne abos grafikos ir gandrīz identiska.

Abos grafikos temperatūra stabilizējas ap 26.5°C, kas ir augstāka nekā sākotnējā apkārtējās vides temperatūra, bet zemāka nekā maksimālā sasniegta temperatūra.

Šī gandrīz pilnīgā abu grafiku sakritība liecina par sistēmas stabilu uzvedību. Nelielas atšķirības, ir saistītas ar variācijām eksperimenta apstākļos vai mērījumu precizitātē, bet tās neietekmē kopējo tendenci un secinājumus par UV diodes termisko uzvedību dažādos darbības režīmos.

Eksperiments uzskatāmi parāda, ka UV diodes temperatūra ir tieši atkarīga no caur to plūstošās strāvas, ko kontrolē ar reostata palīdzību. Šie dati ir vērtīgi, izstrādājot temperatūras kontroles algoritmu melanomas diagnostikas ierīcei, jo tie parāda, cik ātri un kādā mērā mainās diodes temperatūra, mainot strāvas stiprumu.

* + 1. UV starojuma parametru kontrole

// uzrakstīt apakšvirsraksta sākuma daļu

3.grafiks – Temperatūras grafiks // pareizi noformēt

3. grafiks atspoguļo divu savstarpēji saistītu parametru - temperatūras (zilā līnija) un UV starojuma intensitātes (oranžā līnija) - izmaiņas laika gaitā. Eksperiments demonstrē, kā šie parametri mijiedarbojas un mainās atkarībā no reostata pretestības izmaiņām.

Eksperimenta sākumā UV LED diode darbojās apkārtējās vides temperatūrā, kas svārstījās ap 26-27°C. Pirmajās 25 sekundēs UV starojuma intensitāte bija zema un nestabila, svārstoties starp 0 un 5 vienībām. Šīs svārstības ir saistītas ar sākotnējo reostata regulēšanu un mērījumu stabilizāciju.

Laika posmā no 25. līdz 60. sekundei novērojamas ievērojamas UV intensitātes svārstības, kas, kā minēts, ir saistītas ar apkārtējās vides traucējumiem un reostata manuālu regulēšanu. Šajā periodā UV intensitāte pakāpeniski pieauga no aptuveni 2-3 vienībām līdz 8-9 vienībām, taču ar ievērojamām svārstībām. Vienlaikus temperatūra saglabājās relatīvi stabila, ap 26°C.

Aptuveni 60. sekundē notika būtisks lēciens gan UV intensitātē, gan temperatūrā. UV intensitāte strauji pieauga līdz aptuveni 15 vienībām, savukārt, temperatūra sāka pakāpeniski pieaugt, sasniedzot aptuveni 28°C. Šis straujais kāpums ir saistīts ar reostata pretestības samazināšanu, kas palielināja strāvu caur UV LED diodi.

No 60. līdz 160. sekundei UV intensitāte saglabājās stabila, aptuveni 15 vienību līmenī, ar dažiem īslaicīgiem kritumiem (piemēram, ap 70. sekundi), kas ir saistīti ar cilvēciskām kļūmēm mērījumu veikšanā. Šajā periodā temperatūra turpināja pakāpeniski pieaugt, sasniedzot maksimālo vērtību aptuveni 32°C ap 150. sekundi. Šis periods demonstrē tiešo sakarību starp UV intensitāti un temperatūru - stabilai, augstai UV intensitātei atbilst pakāpenisks temperatūras pieaugums.

Ap 160. sekundi tika veikta būtiska reostata pretestības palielināšana, kas izraisīja strauju kritumu gan UV intensitātē (no 15 līdz aptuveni 10 vienībām), gan temperatūrā (no 32°C uz aptuveni 30°C). Šis kritums uzskatāmi parāda, kā reostata pretestības izmaiņas tieši ietekmē abus parametrus.

Eksperimenta atlikušajā daļā (no 160. sekundes līdz beigām) UV intensitāte saglabājās relatīvi stabila, aptuveni 10 vienību līmenī, ar dažiem īslaicīgiem kritumiem (piemēram, ap 220. sekundi), kas ir saistīts ar mērījumu kļūdām. Temperatūra šajā periodā pakāpeniski samazinājās, sasniedzot aptuveni 28°C eksperimenta beigās.

Šis eksperiments uzskatāmi demonstrē - palielinot strāvu caur diodi (samazinot reostata pretestību), pieaug gan UV intensitāte, gan temperatūra. Savukārt, samazinot strāvu (palielinot reostata pretestību), abi parametri samazinās. Tomēr jāatzīmē, ka temperatūras izmaiņas notiek lēnāk nekā UV intensitātes izmaiņas, kas saistīts ar diodes termiskām īpašībām.

Eksperimenta rezultāti ir nozīmīgi UV starojuma parametru kontroles algoritma izstrādei, jo tie parāda, kā reostata pretestības izmaiņas ietekmē gan UV intensitāti, gan temperatūru, un kā šie parametri mijiedarbojas.

* + 1. Sistēmas kontrole ar PID algoritmu

// pagaidām rezultāti tikai ar P (Kp) komponenti no PID, līdz pirmsaizstāvēšanai pilnveidošu datus

4 grafiks // noformēt

Grafiks Nr. 4. atspoguļo temperatūras izmaiņas laika gaitā, izmantojot PID kontrolieri.

Temperatūras līkne uzrāda regulāras, asas svārstības, kur temperatūra strauji pieaug no 26°C līdz aptuveni 29°C, un pēc tam tikpat strauji krītas atpakaļ uz 26°C. Šīs svārstības atkārtojas visā mērījumu periodā (151 sekundes), ar dažiem garākiem stabiliem periodiem, piemēram, no aptuveni 60. līdz 90. sekundei, kad temperatūra saglabājas tuvu 26°C.

Grafikā var novērot, ka temperatūras kāpumi ir ļoti strauji un asi, veidojot šaurus “robus”, kas liecina par strauju sildīšanas jaudas palielināšanu. Pēc maksimuma sasniegšanas temperatūra tikpat strauji krītas atpakaļ uz bāzes līmeni. Šāda uzvedība ir raksturīga PID kontrolierim ar neoptimāli noregulētiem parametriem, šajā gadījumā, ar pārāk lielu proporcionālo (P) komponenti un neizmantotu integrālo (I) un diferenciālo (D) komponenšu ietekmi.

Grafiks liecina, ka PID kontrolieris cenšas uzturēt temperatūru ap noteiktu mērķa vērtību, taču parametru konfigurācija nav optimāla, izraisot pārāk lielas un biežas svārstības.

* 1. grafiks // noformēt

Attēlā redzamais grafiks atspoguļo UV spilgtuma (%) izmaiņas laika gaitā 151 sekundes ilgā mērījumu periodā.

UV spilgtums lielāko daļu laika saglabājas relatīvi konstantā līmenī - aptuveni 25-27% no maksimālās intensitātes. Šis stabilais līmenis liecina par sistēmas spēju uzturēt konstantu UV starojumu ilgstošā laika periodā.

Grafikā redzami vairāki pēkšņi, īslaicīgi kritumi, kur UV spilgtums strauji nokrītas līdz 0%, un tikpat strauji atgriežas iepriekšējā līmenī.

Kritumu regularitāte liecina, ka tie, ir saistīti ar PID kontroliera darbību, kas periodiski pilnībā izslēdz UV diodi, lai novērstu pārkaršanu vai lai pielāgotu starojuma intensitāti.

Mazākās svārstības ir saistītas ar temperatūras izmaiņām vai kontroles sistēmas reakciju uz tām.

Laika posmā no aptuveni 70. līdz 90. sekundei UV spilgtums uzrāda nedaudz augstāku un stabilāku vērtību, bez kritumiem. Šis periods varētu atbilst optimālai sistēmas darbībai vai stabilizētai temperatūrai.

Kopumā grafiks liecina, ka sistēma cenšas uzturēt konstantu UV spilgtumu, taču ar regulāriem, īslaicīgiem pārtraukumiem. Šāda uzvedība ir saistīta ar PID algoritma nepilnību, izmantojot tikai P komponenti.

6 grafiks // noformēt

Grafiks Nr. 6 atspoguļo UV intensitātes izmaiņas 151 sekundes ilgā mērījumu periodā. Grafiks demonstrē UV starojuma intensitāti, kas svārstās galvenokārt diapazonā no 1.5 līdz 3.5 vienībām, ar vairākiem periodiskiem kritumiem līdz 0.

Šīs relatīvi zemās UV intensitātes vērtības ir tieši saistītas ar iepriekšējā grafikā novēroto LED darbības jaudu, kas bija tikai aptuveni 25-30% no maksimālās iespējamās jaudas. Šis zemais jaudas līmenis izskaidro, kāpēc UV intensitāte nepārsniedz 3.5 vienības, kas ir ievērojami mazāk nekā būtu sagaidāms pie pilnas jaudas darbības.

UV intensitāte sasniedz augstākās vērtības, svārstoties ap 2.5-3.5 vienībām.

UV intensitāte pakāpeniski samazinās un stabilizējas zemākā līmenī - aptuveni 1.8-2.2 vienību diapazonā.

Visā mērījumu periodā novērojami regulāri, īslaicīgi intensitātes kritumi līdz 0, kas parādās aptuveni ik pēc 10-15 sekundēm. Šie kritumi sakrīt ar iepriekšējā grafikā novērotajiem UV spilgtuma kritumiem un, ir saistīti ar nepilna PID kontroliera darbību, kas periodiski pilnībā izslēdz UV diodi.

Posmā no aptuveni 70. līdz 90. sekundei UV intensitāte uzrāda nedaudz stabilāku vērtību, ar mazāk izteiktām svārstībām.

Kopumā, grafiks apstiprina, ka sistēma darbojas ar samazinātu jaudu (25-30%), kas rezultējas zemās UV intensitātes vērtībās.

* 1. Ilgtermiņa stabilizācijas mehānismi

// šī nodaļa zem jautājuma vēl

1. Rīsinājuma pārbaudes daļa

// Šeit vēlāk samainīt virsrakstus un pievienot datus…

// Šajā nodaļā plānoju veikt sistēmas prototipa algoritma integrāciju uz PCB RTU plates un tad veikt salīdzinājumus, optimizāciju un secinājumus.

// bet viss var mainīties, konsultēšos ar darba vadītāju par nodaļām un struktūru + recenzenta viedoklis.

* 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

// vēlāk salikšu visus kodus Github repozitorijā laikam?

// pareizi noformēt kodu ja viņš šeit paliks

1. pielikums – lineārās UV diodes temperatūras kontroles kods

// Pins

#define TEMP\_SENSOR\_PIN A1  // Temperatūras sensora pin

#define UV\_3V3\_PIN A2       // UV sensora atsauces sprieguma pin

#define UV\_OUT\_PIN A3       // UV sensora izejas sprieguma pin

#define UV\_LED\_PIN 3        // UV LED control pin

// termo rezistora parametri no datasheet

const float R0 = 10000.0;    // Nominālā pretestība 25°C

const float T0 = 298.15;     // Nominālā temperatūra Kelvinos

const float beta = 4300.0;   // Beta koeficients

const float R\_series = 10000.0;  // Sērijas pretestība

// UV sensora parametri

const float UV\_VOLTAGE\_MIN = 0.99;     // Minimālais izejas spriegums

const float UV\_VOLTAGE\_MAX = 2.8;      // Maksimālais izejas spriegums

const float UV\_INTENSITY\_MAX = 15.0;   // Maksimālā UV intensitāte (mW/cm²)

// LED kontrole (PWM)

#define MAX\_LED\_POWER 255  // Maksimālā PWM vērtība

// Laika mērīšana

unsigned long startTime;  // Mērījumu sākuma laiks

// Nolasa temperatūru no termorezistora un aprēķina

float readTemperature() {

    int raw = analogRead(TEMP\_SENSOR\_PIN);          // Nolasa ADC vērtību

    float Vout = raw \* (5.0 / 1023.0);              // Pārveido ADC vērtību uz voltiem

    float Rntc = R\_series \* (5.0 / Vout - 1.0);     // Aprēķina termorezistora pretestību

    return (1.0 / (1.0 / T0 + log(Rntc / R0) / beta)) - 273.15;  // Pārveido uz °C

}

// Nolasa UV intensitāti ar precīzu aprēķinu

float readUVIntensity() {

    float refVoltage = analogRead(UV\_3V3\_PIN) \* (5.0 / 1023.0);  // Atsauces spriegums

    float outVoltage = analogRead(UV\_OUT\_PIN) \* (5.0 / 1023.0);  // Izejas spriegums

    float uvVoltage = outVoltage \* (3.3 / refVoltage);           // Normalizēts spriegums

    return (uvVoltage - UV\_VOLTAGE\_MIN) \* UV\_INTENSITY\_MAX / (UV\_VOLTAGE\_MAX - UV\_VOLTAGE\_MIN);  // Intensitātes aprēķins

}

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    pinMode(UV\_LED\_PIN, OUTPUT);

    startTime = millis();  // Fiksē sākuma laiku

    // Datu izvadei

    Serial.println("data,temp,uv,time");

}

void loop() {

    // Nolasa sensoru vērtības reāllaikā

    float temp = readTemperature();   // Precīza temperatūras nolasīšana

    float uv = readUVIntensity();     // Precīza UV intensitātes nolasīšana

    // Uztur LED maksimālo jaudu

    analogWrite(UV\_LED\_PIN, MAX\_LED\_POWER);

    // Datu izvade CSV formātā reāllaikā

    unsigned long secondsElapsed = (millis() - startTime) / 1000;

    Serial.print("data,");

    Serial.print(temp, 2);

    Serial.print(",");

    Serial.print(uv, 2);

    Serial.print(",");

    Serial.println(secondsElapsed);

    delay(1000);

}

1. pielikums – lineārās UV intensitātes kontroles kods

#include "ML8511.h"

// Pins

#define TEMP\_SENSOR\_PIN A1    // NTC Termistora pin

#define UV\_OUT\_PIN A3         // ML8511 pin

#define UV\_3V3\_PIN A2         // ML8511 3.3V pin

#define UV\_LED\_PIN 3          // UV LED kontrole

// UV sensora kalibrēšanai

const float darkVoltage = 1.005;    // Izmērītais spriegums tumsā

const float rightVoltage = 1.246;     // Izmērītais spriegums gaismā

const float calibrationFactor = 41.4638;  // Iepriekš aprēķinātais kalibrācijas faktors

// termorezistora datasheet parametri

const float R0 = 10000.0;        // Pretestība pie 25°C

const float T0 = 298.15;         // 25°C Kelvinos

const float beta = 4300.0;       // Beta vērtība

const float R\_series = 10000.0;  // Sērijas rezistors

// LED kontrole

const int MAX\_LED\_POWER = 255;

// Laika mērīšana

unsigned long startTime;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    pinMode(UV\_LED\_PIN, OUTPUT);

    digitalWrite(UV\_LED\_PIN, LOW);

    startTime = millis();

    analogWrite(UV\_LED\_PIN, MAX\_LED\_POWER);

}

float readRawUV() {

    float sum = 0;

    const int samples = 10;

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

        int uvReading = analogRead(UV\_OUT\_PIN);

        int refReading = analogRead(UV\_3V3\_PIN);

        sum += 3.3 / (refReading \* (5.0 / 1023.0)) \* (uvReading \* (5.0 / 1023.0));

        delay(1);

    }

    return sum / samples;

}

float readCalibratedUV() {

    float rawVoltage = readRawUV();

    return constrain((rawVoltage - darkVoltage) \* calibrationFactor, 0.0, 15.0);

}

float readTemperature() {

    int raw = analogRead(TEMP\_SENSOR\_PIN);

    float Vout = raw \* (5.0 / 1023.0);

    float Rntc = R\_series \* (5.0 / Vout - 1.0);

    return (1.0 / (1.0 / T0 + log(Rntc / R0) / beta)) - 273.15;

}

void loop() {

    unsigned long currentTime = millis();

    float temp = readTemperature();

    float uv = readCalibratedUV();

    // CSV izvade Excel

    Serial.print(currentTime);          // Laiks

    Serial.print(",");

    Serial.print(temp, 2);              // Temperatūra °C

    Serial.print(",");

    Serial.print(uv, 4);                // UV intensitāte mW/cm²

    Serial.print(",");

    Serial.print(100.0);                // LED jauda (%)

    Serial.print(",");

    Serial.println((currentTime - startTime) / 1000);  // Darbības laiks

    delay(1000);

}

1. pielikums – PID algoritms (nenoregulēts)

#include <PID\_v1.h>

#include "ML8511.h"

// Pins

#define TEMP\_SENSOR\_PIN A1 // NTC Termoresistora pin

#define UV\_OUT\_PIN A3 // ML8511 pin

#define UV\_3V3\_PIN A2 // ML8511 3.3V pin

#define UV\_LED\_PIN 3 // UV LED kontrole

// UV Sensors

ML8511 uvSensor(UV\_OUT\_PIN);

// UV kalibrācija

const float darkVoltage = 1.005; // Izmērītais spriegums tumsā

const float brightVoltage = 1.246; // Izmērītais spriegums gaismā

const float calibrationFactor = 41.4638; // Kalibrācijas faktors

// termorezistora parametri

const float R0 = 10000.0; // Pretestība pie 25°C

const float T0 = 298.15; // 25°C Kelvinos

const float beta = 4300.0; // Beta vērtība

const float R\_series = 10000.0; // Sērijas rezistors

// PID kontroles parametri

const float TARGET\_TEMP = 27.0; // Mērķa temperatūra °C

const double Kp = 45.5, Ki = 0.0, Kd = 0.0; // PID regulēšanas parametri

const int MIN\_LED\_POWER = 0; // Minimālā jauda (0-255)

const int MAX\_LED\_POWER = 255; // Maksimālā jauda (0-255)

// PID mainīgie

double Setpoint, Input, Output;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

// Laika mērīšana

unsigned long startTime;

void setup() {

Serial.begin(9600);

pinMode(UV\_LED\_PIN, OUTPUT);

digitalWrite(UV\_LED\_PIN, LOW);

// PID inicializācija

Setpoint = TARGET\_TEMP;

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

myPID.SetOutputLimits(MIN\_LED\_POWER, MAX\_LED\_POWER);

startTime = millis();

}

float readRawUV() {

float sum = 0;

const int samples = 10;

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

int uvReading = analogRead(UV\_OUT\_PIN);

int refReading = analogRead(UV\_3V3\_PIN);

sum += 3.3 / (refReading \* (5.0 / 1023.0)) \* (uvReading \* (5.0 / 1023.0));

delay(1);

}

return sum / samples;

}

float readCalibratedUV() {

float rawVoltage = readRawUV();

return constrain((rawVoltage - darkVoltage) \* calibrationFactor, 0.0, 15.0);

}

float readTemperature() {

int raw = analogRead(TEMP\_SENSOR\_PIN);

float Vout = raw \* (5.0 / 1023.0);

float Rntc = R\_series \* (5.0 / Vout - 1.0);

return (1.0 / (1.0 / T0 + log(Rntc / R0) / beta)) - 273.15;

}

void loop() {

unsigned long currentTime = millis();

Input = readTemperature();

float uv = readCalibratedUV();

// Aprēķina PID izeju

myPID.Compute();

// write LED

analogWrite(UV\_LED\_PIN, Output);

// Aprēķina kļūdu

float error = Setpoint - Input;

// CSV izvade Excel

Serial.print(currentTime);

Serial.print(",");

Serial.print(Input, 2);

Serial.print(",");

Serial.print(error, 2);

Serial.print(",");

Serial.print(Output);

Serial.print(",");

Serial.print((Output \* 100.0) / 255.0, 1);

Serial.print(",");

Serial.print(uv, 4);

Serial.print(",");

Serial.println((currentTime - startTime) / 1000);

delay(1000);

}