

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII  
AL REPUBLICII MOLDOVA**  
**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică**  
**Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală**

**Admis la susținere**  
**Șef departament:**  
**Lupan Oleg, prof.univ., dr.hab.**

”\_” \_\_\_\_\_ 2020

# **METODE ȘI TEHNICI DE PROCESARE A SEMNALELOR ECG**

**Teză de master**

**Student:** Staci Daria, IBM-191M

**Conducător:** Iavorschi Anatolie,  
lect. univ.

**Chișinău, 2020**

## REZUMAT

la teza de masterat cu tema „Metode și tehnici de procesare a semnalelor ECG” elaborat de către masteranda Staci Daria.

Lucrarea cuprinde **3** capitole, **46** figuri, **1** tabel, **48** surse bibliografice și **3** anexe.

**Cuvintele-cheie:** procesare digitală, zgomote, biosemnal, semnale ECG.

**Problematica lucrării** constă în exemplifierea importanței procesării digitale a semnalului de electrocardiografie. Semnalul biomedical ECG descrie activitatea electrică a inimii, care la etapa de culegere este afectat de o serie de semnale parazitare specifice. Fiecare zgomot necesită o filtrare individuală, încât semnalul rezultat să prezinte toate caracteristicile morfologice particulare ECG a fiecărui pacient.

**Realizarea lucrării** s-a bazat pe studiul cercetărilor din domeniul procesării semnalului ECG, metodele moderne aplicate și tehnicile de perspectivă. S-au studiat zgomotele ce afectează semnalul, proveniența fiecăruia, modul în care se manifestă și metodele recomandate spre eliminarea acestora. De asemenea s-a studiat semnalul ECG din prisma unui semnal tehnic, care ar putea fi elaborat pe baza funcției seriilor Fourier.

Pe marginea concluziilor în urma studierii s-au identificat zgomotele și metodele de remediere care vor fi aplicate în practică, pe un semnal static ECG. Elaborarea filtrelor precum și inducerea zgomotelor s-au realizat în baza documentației și specificațiilor tehnice a Matlab.

**În cadrul proiectului s-a realizat** elaborarea unui semnal ECG static idealizat, pe baza seriilor Fourier. Acesta prezintă toate undele și complexul caracteristice unui semnal de referință. În scopul de a demonstra importanța procesării unui semnal biomedical, s-a optat pentru generarea a trei semnale diferite.

Pe fiecare din acele trei semnale s-au indus zgomotele: de interferență, drift bazal și Gaussian. În fiecare caz s-a observat gravitatea distorsionării semnalului, prin absența undelor ce caracterizează activitatea electrică a inimii potențialului pacient.

Filtrarea s-a realizat prin metode particulare fiecărui zgomot, și anume: zgomotul de interferență a fost eliminat prin filtrul Notch IIR de ordinul II, driftul bazal de filtrul Forward – Backward iar zgomotul Gaussian de către filtrul Gaussian.

Semnalele filtrate prezintă toate undele caracteristice, semnalele parazitare lipsesc, ce confirmă faptul că metodele de filtrare au fost selectate și aplicate în conformitate cerințelor.

## ANNOTATION

of master's thesis „Methods and techniques of ECG signals processing” elaborated by graduate student Staci Daria.

Master's thesis contains **3** chapters, **46** figures, **1** table, **48** bibliographic sources and **3** annexes.

**Keywords:** digital processing, noise, bio signal, ECG signals.

**The main aim of the project** is to exemplify the importance of digital processing of the ECG signals. The biomedical signal describes an electrical activity of heart, which at collecting step is noised by a series of specific parasitic signals. Each type of noise requires particular filtration, in order to keep morphological individuality of signals characteristics of every patient's ECG.

**Achievement of the project** was based on studying researches about ECG signal processing, modern methods applied, and perspective techniques. The noises that affect the signal, origin of each one, specific behavior, also were studied denoising recommended methods. ECG signal was studied in terms of a technical signal, which could be developed based on the function of the Fourier series.

Based on the conclusions of the study, were selected noises and denoising methods that will be applied in practice on a static ECG signal. Filters implementation as well as the application of the noises were made based on the documentation and the technical specifications of Matlab.

**Inside of project developing** was implemented a static ECG signal, based on the Fourier series. It presents all the waves and the complex characteristics of a basic ECG signal. In order to show the importance of digital bio-signal processing, was decided to lead to three different signals.

On each of those three signals were applied: power-line interference, baseline wander, and Gaussian noise. In each case, was observed the severity of the signal distortion, from absence of specific waves that characterize electrical activity of the heart, of a potential patient.

The filtering was performed by specific methods for each noise, namely: the interference noise was filtered by IIR second order Notch, baseline wander was removed by Forward - Backward filter, the last Gaussian noise was reduced by the Gaussian filter.

Denoised signals present all the ECG characteristic waves, noise signals are completely absent, this confirms that filtering methods have been selected and applied appropriately to requirements.

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	7
<b>1. ACHIZIȚIA SEMNALELOR ECG ȘI METODELE DE PROCESARE ALE ACESTORA</b> .....	9
<b>1.1. Electrocardiografia</b> .....	9
<b>1.2. Geneza semnalului ECG</b> .....	17
<b>1.3. Metode moderne de procesare a biosemnalului ECG</b> .....	21
<b>2. ANALIZA ZGOMOTELOR ȘI A TEHNICILOR ADECVATE DE PROCESARE</b> .....	32
<b>2.1. Familia de Zgomote ce afectează semnalul ECG</b> .....	33
<b>2.1.1. Driftul Bazal (Baseline Wander)</b> .....	33
<b>2.1.2. Zgomotul de Interferență (Powerline Interference)</b> .....	34
<b>2.1.3. Zgomotul de EMG</b> .....	37
<b>2.1.4. Artefacte de Electrode</b> .....	38
<b>2.2. Procesarea biosemnalului ECG</b> .....	40
<b>2.2.1. Convoluția</b> .....	41
<b>2.2.2. Filtrul Digital Notch</b> .....	44
<b>2.2.3. Filtrul Gaussian</b> .....	47
<b>2.2.4. Transformarea Wavelet</b> .....	50
<b>2.2.5. Filtrul Forward-Backward (Înainte - Înapoi)</b> .....	54
<b>3. PROCESAREA SEMNALELOR ECG STATICE</b> .....	59
<b>3.1. Generarea semnalelor ECG</b> .....	59
<b>3.2. Aplicarea zgomotelor pe mostrele ECG</b> .....	65
<b>3.3. Aplicarea metodelor de procesare a semnalelor ECG</b> .....	71
<b>CONCLUZIE</b> .....	79
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	82
<b>ANEXE</b> .....	87
<b>ANEXA 1</b> .....	87
<b>ANEXA 2</b> .....	88
<b>ANEXA 3</b> .....	90

## INTRODUCERE

În timpul îndeplinirii funcțiilor sale vitale, organismul uman furnizează o multitudine de informații care descriu starea noastră de sănătate. Aceste informații pot fi obținute prin diferite dispozitive predestinate măsurării ritmului cardiac, tensiunii arteriale, a nivelului de saturație a oxigenului sau glicemiei, activitatea neuronilor ori a creierului în ansamblu. Toate aceste date sunt importante în diagnosticul pacientului, însă primar, insuficiente pentru o diagnoză de amploare.

Electrocardiografia cunoscută și ca ECG sau EKG, descrie activitatea electrică a inimii și dezvăluie informații importante despre activitatea și starea inimii în general. Celulele miocardului sunt capabile de-a conduce impulsuri și de a răspunde la stimulii externi prin realizarea unei contracții și relaxări ulterioare a inimii conlucrind în paralel cu supapele camerelor de dreapta și stînga. Ca urmare, impulsurile electrice sunt înregistrate de electrozii de culegere pe o hirtie milimetrică, rezultatul final descrie activitatea miocardului în momentul dat de timp – rezultatul fiind denumit electrocardiogramă.

Metoda de electrocardiografie este utilizată pentru a înregistra impulsurile electrice care preced imediat contracțiile mușchiului cardiac. ECG nu cauzează disconfort pacientului în timpul înregistrării semnalului și este adesea utilizat în diagnosticarea tulburărilor cardiace, cum ar fi: bolile coronariene, pericardita sau inflamația membranei din jurul inimii, cardiomiopatia, aritmia, ischemia sau tromboza coronariană. Electrocardiograma permite de a vizualiza cum se manifestă o afecțiune ori alta prin diferențierea semnalului obținut de cel de referință.

Procesarea semnalului ECG este o provocare uriașă, deoarece valoarea reală a semnalului este în jur de 0.5mV într-un mediu offset de 300mV. Alți factori, cum ar fi interferența de alimentare de curent alternativ, interferența RF de la echipamentele chirurgicale, dispozitivele implantate, factorii de ritm și sistemele de monitorizare fiziologică, pot avea, de asemenea, un impact asupra preciziei. Din motivele relatate anterior, în ultimii ani există o cercetare constantă și intensă în dezvoltarea metodelor eficiente de procesare și analiză a semnalelor ECG, cu accent pe furnizarea informațiilor cât mai detaliate în diagnosticare.

Inginerii descoperă noi modalități de a procesa semnalele biomedicale folosind diverși algoritmi bazați pe calcule matematice avansate. Provocarea în procesarea unui semnal biomedical sunt valorile mici ai frecvențelor și tensiunile la care funcționează echipamentele ECG în special cele portabile. Se optează pentru implementarea procesării front-end a semnalului analogic, într-un singur controler de semnal mixt și folosind un sistem hardware și

software integrat, spre a spori precizia sistemului și reduce consumul total de energie. Semnalele sunt calculate și procesate prin intermediul software, oferind medicilor date în timp real. Informații calitative aduc beneficiu în evaluările clinice.

Progresele tehnologice în domeniul comunicațiilor și proiectării circuitelor de putere redusă au permis dezvoltarea dispozitivelor ECG mai performante, mai sigure pentru pacient, portabile prin utilizarea componentelor generației nano, funcționarea în consum redus de energie, exactitate sporită, o capacitatea detecției bolii cardiace aparente a pacientului în momentul investigației. Toate aceste descrise sunt datorate avansării tehnologice în achiziția și prelucrarea digitală a semnalului. Semnalul ECG fiind un semnal compus dintr-o serie de unde complexe și dinamice în timp, necesită o atenție sporită în procesare.

Prelucrarea semnalului biomedical implică analiza acestor măsurători pentru a furniza informații utile asupra cărora clinicienii pot lua decizii. Analiza semnalului ECG presupune determinarea elementelor esențiale ale semnalelor ECG, trăsăturile sale caracteristice și însăși natura informațiilor de diagnostic asociate. Faza de analiză este precedată de etapa de procesare a semnalului ECG și reconstrucția elementelor ce alcătuiesc semnalul în sine, păstrând morfologia inițială.

Cert este faptul că progresul tehnologic avansează cu pași accelerați în toate domeniile, medicina nu este o excepție. Semnalele colectate de la organismul uman sunt de valori mici comparativ cu altele, ce presupune o dedicație mult mai complexă în vederea procesării acestora. La faza de achiziție sistemul hardware furnizează semnale suficient de informative, atât în cardiografe / monitoare holter / smart watch-uri, procesarea semnalului ECG este în continuă evoluție.

Procesarea analogică nu mai este actuală, deoarece biosemnalele necesită o atenție sporită și multitudine de factori luați în considerație la etapa restabilirii semnalului. De aici clar rezultă necesitatea procesării digitale a semnalului, începând cu filtrarea semnalului și finisînd cu restabilirea și comprimarea lui. Procesarea digitală a prezentat o nouă etapă în evoluția dispozitivelor medicale, ce vine cu avantajul de precizie înaltă, lipsa zgomotelor de la blocul de filtrare, restabilire exactă, păstrarea elementelor cu frecvențe de ordinul microvolți, rapiditate sporită, costuri mai mici la etapa de implementare.

Per general în era digitalizării și automatizării, procesarea digitală a semnalului prezintă o componentă indispensabilă și importantă în elaborarea dispozitivelor medicale de înaltă precizie.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Electrocardiogram (ECG) Electrocardiography, [online], <https://www.cardiosecur.com/magazine/specialist-articles-on-the-heart/electrocardiogram-ecg> [Accesat la 10.09.2020]
- [2] A.GACEK, W.PEDRYCZ , *ECG Signal Processing, Classification and Interpretation*
- [3] R.KHER , Signal Processing Techniques for Removing Noise from ECG Signals, [online] <http://www.jscholaronline.org/articles/JBER/Signal-Processing.pdf> [ Accesat la 10.09.2020]
- [4] M.ALGHATRIF, J.LINDSAY, History to understand fundamentals of electrocardiography, [online] , <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3714093/#:~:text=Dr.,-Willem%20Einthoven%2C%20a&text=The%20term%20'electrocardiogram'%20used%20to,he%20used%20in%20his%20electrocardiograph> [Accesat la 14.09.2020]
- [5] C. SIMU (2002) , *Electronica Medicală Volumul I* [online], [https://www.researchgate.net/publication/318494615\\_Electronica\\_medicala\\_-\\_vol\\_I](https://www.researchgate.net/publication/318494615_Electronica_medicala_-_vol_I) [Accesat la 14.09.2020]
- [6] Adaptive Filter [online], <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/adaptive-filter> [Accesat la 18.09.2020]
- [7] P Wave Characteristics [ online], <https://ekg.md/content/p-wave-adult/> [Accesat la 18.09.2020]
- [8] C.M.WANG, W.C. XIAO, Second-order IIR Notch Filter Design and implementation of digital signal processing system [online], [https://www.researchgate.net/publication/266650280\\_Second-Order\\_IIR\\_Notch\\_Filter\\_Design\\_and\\_Implementation\\_of\\_Digital\\_Signal\\_Processing\\_System](https://www.researchgate.net/publication/266650280_Second-Order_IIR_Notch_Filter_Design_and_Implementation_of_Digital_Signal_Processing_System) [Accesat la 23.09.2020]
- [9] .P.CHANDRA, S.YADAV, B. A. KRISHNA , Study of Different Adaptive Filter Algorithms for Noise Cancellation in Real-Time Environment [online], [https://www.researchgate.net/publication/330902011\\_Study\\_of\\_different\\_adaptive\\_filter\\_algorithms\\_for\\_noise\\_cancellation\\_in\\_real-Time\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/330902011_Study_of_different_adaptive_filter_algorithms_for_noise_cancellation_in_real-Time_environment) [Accesat la 23.09.2020]
- [10] A. VERMA, S. VINITHA, Algorithm for Design of Digital Notch Filter Using Simulation [online],



[https://www.researchgate.net/publication/275605697\\_Algorithm\\_for\\_Design\\_of\\_Digital\\_Notch\\_Filter\\_Using\\_Simulation](https://www.researchgate.net/publication/275605697_Algorithm_for_Design_of_Digital_Notch_Filter_Using_Simulation) [Accesat la 25.09.2020]

[11] C. LASTRE-DOMÍNGUEZ, Y.S. SHMALIY, O. IBARRA-MANZANO, J. MUNOZ-MINJARES, L.J. MORALES-MENDOZA, ECG Signal Denoising and Features Extraction Using Unbiased FIR Smoothing [online],

<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2019/2608547/> [Accesat la 30.09.2020]

[12] O. SINGH, R.K. SUNKARIA, Medical Engineering & Technology [online]

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/03091902.2014.979954?src=recsys&journalCode=ijmt20> [Accesat la 05.10.2020]

[13] D.D. ȚARĂLUNGĂ, M. NEAGU UNGUREANU, Cancelling Harmonic Power Line Interference in Biopotentials [online], <https://www.intechopen.com/books/compendium-of-new-techniques-in-harmonic-analysis/cancelling-harmonic-power-line-interference-in-biopotentials> [Accesat la 05.10.2020]

[14] S.-H. LIU, C.-H. HSIEH, W. CHEN, T.-H. TAN, ECG Noise Cancellation Based on Grey Spectral [online],

[https://www.researchgate.net/publication/331165955\\_ECG\\_Noise\\_Cancellation\\_Based\\_on\\_Grey\\_Spectral\\_Noise\\_Estimation](https://www.researchgate.net/publication/331165955_ECG_Noise_Cancellation_Based_on_Grey_Spectral_Noise_Estimation) [Accesat la 05.10.2020]

[15] S. THALKAR, D. UPASANI, Various Techniques for Removal of Power Line

Interference From ECG Signal [online], <https://www.ijser.org/researchpaper/Various-Techniques-for-Removal-of-Power-Line-Interference-From-ECG-Signal.pdf> [Accesat la 05.10.2020]

[16] E. CASTILLO, D. P. MORALES, A. GARCÍA, Noise Suppression in ECG Signals through Efficient One-Step Wavelet Processing Techniques [online],

<https://www.hindawi.com/journals/jam/2013/763903/> [Accesat la 05.10.2020]

[17] A. ABBASPOUR, A. FALLAH, Removing ECG Artifact from the Surface EMG Signal Using Adaptive Subtraction Technique [online],

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4258854/> [Accesat la 09.10.2020]

[18] J. PAN, W. J. TOMPKINS, A Real-Time QRS Detection Algorithm [online],

<https://www.robots.ox.ac.uk/~gari/teaching/cdt/A3/readings/ECG/Pan+Tompkins.pdf> [Accesat la 16.10.2020]

- [19] X.K. WAN, H.WU, F.QIAO, Electrocardiogram Baseline Wander Suppression Based on the Combination of Morphological and Wavelet Transformation Based Filtering [online] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6421786/> [Accesat la 16.10.2020]
- [20] S. NAGAI, D. ANZAI, J. WANG, Motion artefact removals for wearable ECG using stationary wavelet transform [online], <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5569871/> [Accesat la 16.10.2020]
- [21] X. AN, G.K. STYLIOS, Comparison of Motion Artefact Reduction Methods and the Implementation of Adaptive Motion Artefact Reduction in Wearable Electrocardiogram Monitoring
- [22] S.W. SMITH, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing [online], <https://www.dspguide.com/ch6.htm> [Accesat la 20.10.2020]
- [23] Forward-Backward Filtering [online], [https://www.dsprelated.com/freebooks/filters/Forward\\_Backward\\_Filtering.html](https://www.dsprelated.com/freebooks/filters/Forward_Backward_Filtering.html) [Accesat la 20.10.2020]
- [24] IIR Filters [online], [http://www.eas.uccs.edu/~mwickert/ece2610/lecture\\_notes/ece2610\\_chap8.pdf](http://www.eas.uccs.edu/~mwickert/ece2610/lecture_notes/ece2610_chap8.pdf) [Accesat la 20.10.2020]
- [25] A. KARAGIANNIS, Processing Of White Gaussian Noise Biomedical Signals With The Empirical Mode Decomposition [online] [https://www.researchgate.net/publication/215603019\\_On\\_the\\_Processing\\_Of\\_White\\_Gaussian\\_Noise\\_Biomedical\\_Signals\\_With\\_The\\_Empirical\\_Mode\\_Decomposition](https://www.researchgate.net/publication/215603019_On_the_Processing_Of_White_Gaussian_Noise_Biomedical_Signals_With_The_Empirical_Mode_Decomposition) [Accesat la 20.10.2020]
- [26] IIR Filter Design [online], <https://www.mathworks.com/help/signal/ug/iir-filter-design.html> [Accesat la 23.10.2020]
- [27] B. MISHRA, R. MEHRA, Design and Simulation of Low Pass IIR Filter for ECG Interference Reduction [online], <https://www.ijert.org/research/design-and-simulation-of-low-pass-iir-filter-for-ecg-interference-reduction-IJERTV3IS030689.pdf> [Accesat la 23.10.2020]
- [28] A.K. ROONIZI, C. JUTTEN, Forward-backward filtering and penalized least-Squares optimization: A Unified framework [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168420303406?via%3Dihub> [Accesat la 26.10.2020]

- [29] Gaussian Filtering [online]  
<https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci373s1c/PatricesLectures/Gaussian%20Filtering1up.pdf> [Accesat la 28.10.2020]
- [30] Understanding the Convolution function and CNN [online],  
<https://medium.com/@parikhkadam/article-1-understanding-the-convolution-function-and-cnn-21dca53e2c27> [Accesat la 28.10.2020]
- [31] R.M. SHARON, P. KANNAN, Analysis Of Different Types Of Iir And Fir Filters In Ecg Signal Using Various Transforms For Different Orders And Time Consumption [online],  
<https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I4337.pdf> [Accesat la 02.11.2020]
- [32] E. Jerhotová, J. Švihlík, A. Procházka, Biomedical Image Volumes Denoising via the Wavelet Transform [online], <https://www.intechopen.com/books/applied-biomedical-engineering/biomedical-image-volumes-denoising-via-the-wavelet-transform> [Accesat la 02.11.2020]
- [33] G. JURKO, The standard ECG paper with time intervals and segments [online],  
[https://www.researchgate.net/figure/The-standard-ECG-paper-with-time-intervals-and-segments\\_fig3\\_26511681](https://www.researchgate.net/figure/The-standard-ECG-paper-with-time-intervals-and-segments_fig3_26511681) [Accesat la 04.11.2020]
- [34] J. Kubíček, M. Penhaker, Design of a synthetic ECG signal based on the Fourier series [online],  
[https://www.researchgate.net/publication/286584223\\_Design\\_of\\_a\\_synthetic\\_ECG\\_signal\\_based\\_on\\_the\\_Fourier\\_series](https://www.researchgate.net/publication/286584223_Design_of_a_synthetic_ECG_signal_based_on_the_Fourier_series) [Accesat la 04.11.2020]
- [35] Adding powerline noise [online], <https://dsp.stackexchange.com/questions/6103/adding-noise-to-an-ecg-signal> [Accesat la 11.11.2020]
- [36] Create Uniform and Nonuniform Time Vectors [online]  
<https://www.mathworks.com/help/signal/ug/create-uniform-and-nonuniform-time-vectors.html>  
[Accesat la 11.11.2020]
- [37] Design digital filters [online],  
<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/designfilt.html#namevaluepairarguments> [Accesat la 16.11.2020]
- [38] Zero-phase digital filtering [online], <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/filtfilt.html>  
[Accesat la 16.11.2020]

- [39] Magnitude and phase spectra [online], <https://pages.jh.edu/~signals/spectra/spectra.html> [Accesat la 18.11.2020]
- [40] Q. WANG, D. KUNDUR, A generalized design framework for IIR digital multiple notch filters [online] <https://link.springer.com/article/10.1186/s13634-015-0210-5> [Accesat la 20.11.2020]
- [41] Adding baseline wander [online], <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/419601-which-filter-to-use-to-remove-baseline-wander-on-ecg> [Accesat la 23.11.2020]
- [42] Generating baseline wandering noise [online], <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/127778-generating-baseline-wandering-noise> [Accesat la 23.11.2020]
- [43] S. LESKE, S.S. DALAL, Reducing power line noise in EEG and MEG data via spectrum interpolation [online], <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6456018/> [Accesat la 23.11.2020]
- [44] Add white Gaussian noise to signal [online], <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/awgn.html> [Accesat la 25.11.2020]
- [45] Powerline interference in ECG [online], <https://kr.mathworks.com/matlabcentral/answers/285314-powerline-interference-in-ecg> [Accesat la 27.11.2020]
- [46] Second-order IIR notch filter [online], <https://www.mathworks.com/help/dsp/ref/iirnotch.html> [Accesat la 29.11.2020]
- [47] Forward-Backward Filtering [online], [https://ccrma.stanford.edu/~jos/fp/Forward\\_Backward\\_Filtering.html](https://ccrma.stanford.edu/~jos/fp/Forward_Backward_Filtering.html) [Accesat la 29.11.2020]
- [48] 2-D Gaussian filtering of images [online], <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imgaussfilt.html> [Accesat la 01.12.2020]