



**Universitatea Politehnica București  
Facultatea de Automatică și Calculatoare  
Departamentul de Calculatoare**

## **Contribuții la dezvoltarea aplicațiilor mobile pentru persoanele cu autism**

*- Teză de doctorat rezumat -*

Autor: **Popescu Aura-Loredana**  
Conducător științific: **Prof. Dr. Ing. Nirvana Popescu**

București  
2023

## ABSTRACT

Autismul reprezintă o tulburare de neurodezvoltare ce se caracterizează prin dificultăți în exprimarea sentimentelor, în integrarea în societate și comportament repetitiv. Un raport recent al Centrului de Control al Bolii, afirmă că 1 din 44 de copii au fost diagnosticați cu autism. Studiile au arătat ca băieții au de patru ori mai multe șanse să fie diagnosticați cu autism decât fetele. Deși autismul poate fi diagnosticat începând cu vârsta de doi ani, majoritatea copiilor sunt diagnosticați mai târziu, începând cu vârsta de patru ani.

Desenele reprezintă o parte importantă din viața copilului, iar interpretarea acestora este foarte utilă în a descoperi ceea ce simte copilul. În acest context, teza propune o aplicație pentru telefoanele Android numită *PandaSays* care a fost dezvoltată pe baza interpretării desenului, sistemul aducând considerabile beneficii față de sistemele de sănătate digitală pentru autism deja existente. Scopul său este de a ajuta părinții și tutorii să comunice mai bine cu copiii lor și să înțeleagă starea lor emoțională. Algoritmii folosiți în aplicația mobilă interpretează desenele copiilor pe baza tehnicilor de învățare automată și identifică starea lor emoțională. Studiile recente au încercat să evalueze starea afectivă a copilului, folosind roboți umanoizi sau folosind imagini ale expresiilor faciale. Nu există aplicație care folosește desenele pentru evaluarea stării afective a copilului. Prin mijloacele acestei soluții, desenele vor deveni o poartă către starea afectivă a copilului și către comportamentul său.

Un alt aspect important al aplicației este faptul că părintele nu mai trebuie să meargă la un psiholog specializat pentru a interpreta desenele copilului său, deoarece aplicația face acest lucru, întrucât baza de date de desene este validată de un psiholog certificat. Soluția încorporează un algoritm de învățare automată care detectează starea afectivă a copilului (“fericire”, “nervozitate”, “tristețe”, “nesiguranță” și “frică”) pornind de la elementele desenului său. Baza de date a aplicației conține 1453 de desene. Rezultatul este trimis apoi către unul din roboți: Marty, Alpha1P sau Alpha1E. Roboții vor executa o acțiune specifică, în funcție de starea primită anterior de la algoritmul de învățare automată. Rolul roboților amuzanți și prietenoși integrați în soluții complexe s-a dovedit a fi deosebit de util în îmbunătățirea interacțiunii cu copiii.

De asemenea, un modul de muzică a fost introdus în aplicație, luând în considerare că numeroase studii au demonstrat că terapia prin muzică este utilă pentru copiii diagnosticați cu autism. Bazată pe eficacitatea terapiei prin muzică, aplicația pentru mobil conține cinci piese clasice, care vor fi redată în funcție de starea emoțională a copilului. Având integrat un modul de comunicare cu roboții umanoizi, soluția a devenit o unealtă folosită în școli sau în centrele de autism. Pentru a alege cel mai bun model pentru a fi încorporat în aplicație, a fost realizată o comparație între rețelele neuronale MobileNet, VGG16 (Visual Geometry Group from Oxford), ResNet (Residual Neural Network) și Feedforward Neural Network. În paralel, a fost folosit AutoML Vision Edge de la Google. Codul a fost scris în Python 3 și au fost folosite următoarele librării: sklearn, tensorflow și matplotlib (pentru randarea graficelor). Pentru a amplifica baza de date, s-a utilizat transferul de învățare și ImageNet.

Mai mult, aplicația pentru mobil PandaSays aplică regulile de accesibilitate și poate fi folosită și pentru copiii diagnosticați cu afazie sau pentru copiii care au dificultăți în vorbire. Aplicația conține un modul Text-To-Speech, unde copilul poate scrie ceva, iar ceea ce scrie va fi redat cu voce. Acest modul are integrat și limbajul prin semne, pentru a ajuta copiii care au afecțiuni auditive sau de vorbire.

Un set robust de experimente a fost realizat pentru a valida soluția inovativă propusă. Teza se încheie cu prezentarea concluziilor personale, a listei de publicații și a viitoarelor dezvoltări.

## Cuprins

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE.....	8
<b>1.1. Motivația cercetării și Contextul.....</b>	8
<b>1.2. Obiectivele principale ale tezei .....</b>	8
<b>1.3. Structura tezei.....</b>	9
CHAPTER 2. O analiză critică a tehnologiilor și metodelor folosite pentru dezvoltarea aplicațiilor dedicate pentru persoanele cu autism .....	11
<b>2.1. Soluții bazate pe teste pentru autism .....</b>	11
<b>2.2. Dispozitive portabile dedicate diagnosticării autismului și comunicării .....</b>	11
<b>2.3. Algoritmi folosiți pentru analiza autismului .....</b>	13
<b>2.4. Soluții pentru autism bazate pe analiza mișcării ochiului.....</b>	13
<b>2.5. Soluții pentru diagnosticarea autismului .....</b>	14
<b>2.6. Soluții bazate pe jocuri pentru pacienții cu autism .....</b>	14
<b>2.7. Concluzii.....</b>	15
CHAPTER 3. PandaSays – o soluție inovativă de învățare automată pentru evaluarea stării afective a copiilor cu autism.....	16
<b>3.1. Analiză bazată pe desen – o fereastră către înțelegerea copiilor.....</b>	16
<b>3.2. Detaliile aplicației pentru mobil .....</b>	16
<b>3.3. Funcționalitățile aplicației pentru mobil PandaSays.....</b>	16
<b>3.4. Discuție comparativă între VGG16 și MobileNet, ca Rețele Neuronale Convoluționale.....</b>	17
<b>3.5. Rețeaua Neuronală Feedforward .....</b>	18
<b>3.6. Considerații de siguranță.....</b>	18
<b>3.7. Date și metode folosite in aplicația pentru mobil.....</b>	19
<b>3.8. Concluzii.....</b>	20
CHAPTER 4. Detectarea stării afective a copiilor cu autism, folosind aplicația pentru mobil si interacțiunea cu un robot.....	21
<b>4.1. Introducere.....</b>	21
<b>4.2. Soluții bazate pe roboți pentru suportul comportamental și pentru înțelegere.....</b>	21
<b>4.3. Detaliile soluției și teste de performanță folosind Rețelele Neuronale Convoluționale Profunde și Rețelele Neuronale Reziduale .....</b>	22
<b>4.4. Aplicația PandaSays – Modelul actualizat de învățare automată.....</b>	24
<b>4.5. Seriile Alpha 1 Protocolul de Comunicare Bluetooth .....</b>	25
4.5.1. Stabilirea comunicării prin Bluetooth folosind Python .....	26
4.5.2. Stabilirea comunicării seriale prin Bluetooth între Rapsberry Pi și robotul Alpha 1P, folosind o aplicație SPP.....	27
<b>4.6. Comparație între timpii de comunicare ai dispozitivelor candidate.....</b>	27

<b>4.7. PandaSays Mobile Application and Accessibility Integration</b> .....	28
<b>4.8. Concluzii</b> .....	29
CHAPTER 5. Sistem îmbunătățit pentru persoanele cu autism .....	31
<b>5.1. Terapia bazată pe muzică</b> .....	31
<b>5.2. Aplicația mobilă PandaSays – funcționalitatea muzicală</b> .....	32
5.2.1.    Prezentarea modulului de muzică al aplicației PandaSays .....	32
5.2.2.    Accesibilitatea modulului de muzică al aplicației PandaSays .....	33
<b>5.3. Studii de caz folosind aplicația PandaSays și roboții Alpha 1P și Marty</b> .....	33
<b>5.4. Fluxul aplicației cu Alpha 1E/Alpha 1P</b> .....	34
<b>5.5. Concluzii</b> .....	35
CHAPTER 6. Concluzii .....	36
<b>6.1. Remarci finale</b> .....	36
<b>6.2. Contribuțiile tezei</b> .....	37
<b>6.3. Acțiuni viitoare</b> .....	37

## LISTA DE FIGURI

Fig.1.	Rezultatul desenului, reprezentând starea de “nesiguranță” .....	17
Fig.2.	Pierderea modelului rețelei Feedforward .....	18
Fig.3.	Fluxul de încărcare .....	19
Fig.4.	Rezultatele predicției cu Firebase AutoML pentru starea de nervozitate .....	19
Fig.5.	Acuratețea modelului VGG16.....	23
Fig.6.	Acuratețea modelului MobileNet. ....	23
Fig.7.	Interpretarea desenului cu PandaSays.....	24
Fig.8.	Acuratețea modelului MobileNet. ....	25
Fig.9.	Fluxul aplicației android PandaSays .....	26
Fig.10.	Obținerea de informație despre robotul Alpha 1P .....	26
Fig.11.	Comunicarea client-server.....	27
Fig.12.	Fluxul aplicației PandaSays cu modulul de Muzică integrat .....	32
Fig.13.	(a) prezicerea stării afective de “nesiguranță” atunci când copilul desena; (b) prezicerea stării afective de “fericire” a desenului copilului.....	33
Fig.14.	Predicția stării din desen.....	34
Fig.15.	Fluxul cu roboții Alpha 1E/Alpha 1P .....	35

## LISTA DE TABELE

Table 2.1	Avantaje și dezavantaje ale dispozitivelor portabile .....	11
Table 2.2	Avantaje și dezavantaje ale dispozitivelor de urmărire a mișcării ochiului .....	13
Table 2.3	Soluții bazate pe jocuri – avantaje și dezavantaje .....	14
Table 4.1	Rezultatele timpilor de realizare a conexiunii pentru dispozitivele Raspberry Pi, Alpha 1 și aplicația android BlueSPP .....	27
Table 4.2	Comparație între aplicația android PandaSays și alte aplicații pentru autism .....	28

## LISTA DE ABREVIERI

<b>Abreviere</b>	<b>Semnificație</b>
ASD	Tulburare de Spectru Autist
ADOS	Program de Observare a Diagnosticului Autismului
ACSA	Senzor și sistem asistent pentru copii cu autism
SMOTE	Tehnică de supraeșantionare minoritară sintetică
RISTA	Arhitectură de formare a abilităților de imitație mediată de robot
ROI	Regiune de Interes
ReLU	Unitate Liniară Rectificată
MVVM	Model-View-ViewModel
AR	Realitate Augumentată
SMO	Algoritm minimalist de optimizare secvențial
BLE	Energie Joasă Bluetooth
EDR	Rată de Date Îmbunătățită
LE	Energie Joasă
MAC	Controlul Accesului Media
OS	Sistem de Operare
PRP	Ipostază, Înregistrare și Redare
RFCOMM	Comunicare prin Radiofrecvență
RS-232	Standard Recomandat 232
TCP	Protocol de Control al Transmisiei
IP	Protocol de Internet
VGG	Grupul de Geometrie a Vederii
ResNet	Rețele Neuronale Reziduale
sp	pixeli scalabili
API	Interfața de Programare a Aplicației
ADHD	Tulburare de Hiperactivitate cu Deficit de Atenție
CARS	Scala de Evaluare a Autismului în Copilărie
FFT	Transformarea Rapidă Fourier
LED	Diode Emițătoare de Lumină

## CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

### 1.1. Motivația cercetării și Contextul

Autismul reprezintă o tulburare de neurodezvoltare ce se caracterizează prin dificultăți în exprimarea sentimentelor, în integrarea în societate și comportament repetitiv. Nu există o soluție care poate vindeca în întregime autismul, dar detectarea sa din timp (de la șase luni până la trei ani) ajută copiii să își dezvolte diferite aptitudini cum ar fi aptitudinile sociale și de comunicare și îi ajută la controlarea comportamentului repetitiv [1].

*Desenele sunt o parte importantă din viața copilului, iar interpretarea lor este foarte utilă pentru a afla ceea ce copilul simte.* Un aspect important legat de acțiunea de a desena, este aceea că un copil poate desena de la o vârstă foarte mică. Pentru a interpreta desenul, părintele sau toatarele trebuie să viziteze un psiholog certificat care este specializat în Interpretarea Desenelor. În acest context, teza va descrie în capitolele sale o aplicație android numită *PandaSays* [2], ce a fost dezvoltată pentru a interpreta desenele, fiind gândit ca un sistem de sănătate digitală îmbunătățit dedicat autismului, pentru a ajuta părinții și tutorii să comunice mai bine cu copiii lor și să le înțeleagă starea lor emoțională fără a fi necesar un interpret specializat. Algoritmul folosit în aplicația android interpretează desenele copiilor și identifică starea lor afectivă, așa cum va fi detaliat în următoarele capitole.

Nu există aplicație care folosește desenele pentru evaluarea stării afective a copilului. Așa cum vom descrie în această teză, desenele vor deveni o poartă către starea emoțională a copilului și către comportamentul său. Un alt aspect important al aplicației este acela că părintele nu trebuie să meargă la un psiholog pentru a interpreta desenele copilului său, deoarece aplicația face acest lucru pentru el, având o bază de date deja validate de către un psiholog certificat.

Baza de date de desene a aplicației conține 1453 de desene. Rezultatul este trimis apoi la unul din roboți: Marty, Alpha1P și Alpha1E. Roboții vor executa o acțiune specifică, în funcție de starea obținută anterior de la algoritmul de învățare automată. Totodată, în aplicație a fost integrat un Modul de Muzică, întrucât numeroase studii au demonstrat că terapia prin muzică ajută copiii diagnosticați cu autism. Având în vedere că aplicația are integrat un modul de comunicare cu roboții umanoizi, poate fi folosită ca o unealtă de învățare în școli sau în centrele de autism. Mai mult, aplicația pentru mobil *PandaSays*, respect regulile de accesibilitate și poate fi folosită și de copiii diagnosticați cu afazie sau care au afecțiuni de vorbire.

### 1.2. Obiectivele principale ale tezei

Principalul obiectiv al tezei este dezvoltarea unei aplicații android care să ajute părinții și tutorii să comunice mai bine cu copiii lor diagnosticați cu autism, afazie sau cu afecțiuni de vorbire. Pentru a elabora aplicația și pentru a valida cercetarea doctorală, următoarele obiective secundare au fost realizate:

1. Cercetarea unui set consistent de aplicații existente și dispozitive folosite pentru ajutarea copiilor diagnosticați cu autism.
2. Realizarea unei analize critice a soluțiilor care sunt folosite pentru diagnosticarea, interacțiunea, ajutarea și evaluarea copiilor cu autism, găsind punctele sensibile și neajunsurile care să fie adresate de o nouă soluție inovativă descrisă în această teză.
3. Înțelegerea conceptelor și a strategiilor din spatele evaluării stărilor emoționale ale copiilor cu autism.
4. Investigarea unui set amplu de articole publicate recent referitoare la roboții umanoizi folosiți ca soluție în interacțiunea cu copiii diagnosticați cu autism.



5. Considerarea desenelor ca o poartă către înțelegerea copiilor și dezvoltarea unei aplicații android bazată pe tehnici de învățare automată care să ajute părinții și tutorii să descopere starea emoțională a copilului.
6. Crearea arhitecturii și fluxului aplicației.
7. Crearea unei baze de date de desene și împărțirea acestora în 5 clase, reprezentând următoarele stări: “fericire”, “tristețe”, “nervozitate”, “nesiguranță” și “frică”.
8. Validarea bazei de date de către un psiholog certificat, având ca specializare principală interpretarea desenelor.
9. Alegerea celei mai bune soluții bazate pe roboți care să fie integrată în aplicație.
10. Găsirea celui mai bun model pentru evaluarea stării afective a copilului din ceea ce desenează, cu cea mai mare acuratețe, realizând o comparație între rețelele neuronale VGG16, MobileNet, ResNet și Feedforward.
11. Stabilirea unei conexiuni între aplicație și un robot, prin protocoalele de Bluetooth.
12. Găsirea celui mai bun dispozitiv care să realizeze conexiunea cu robotul. Roboții vor avea scopul de a îmbunătăți starea emoțională a copilului, mișcându-se corespunzător.
13. Testarea și validarea algoritmilor și a interacțiunii robotului cu copii diagnosticați cu autism, iar apoi în centre de autism.

### 1.3. Structura tezei

Teza este structurată în șase capitole, începând cu Introducerea.

**Chapter 2:** Acest capitol prezintă o analiză a algoritmilor folosiți pentru diagnosticarea autismului și continue cu soluțiile existente pentru detectarea autismului. Capitolul începe cu prezentarea soluțiilor bazate pe teste pentru autism și continuă cu prezentarea dispozitivelor portabile dedicate diagnosticării autismului. A treia secțiune prezintă algoritmi folosiți pentru precizarea autismului și continua cu soluțiile pentru autism bazate pe analiza mișcării ochiului și pe jocuri.

Mai mult, este realizată o comparație între soluțiile existente și sunt prezentate avantajele și dezavantajele acestora.

**Chapter 3:** În acest capitol este prezentată aplicația android PandaSays. Prima secțiune realizează o introducere despre interpretarea desenelor și despre importanța acestora pentru ajutarea prezicerii stării afective a copilului. Următoarea secțiune ilustrează aplicația PandaSays și funcționalitățile sale: *Modulul de Desenare* (unde copiii pot desena în mod liber), *Modulul de Interpretare a desenului* (unde este interpretat desenul de către algoritmul de învățare automată), *Modulul de recunoaștere a obiectelor* (se face o analiză pe baza unei poze), *Modulul Text-în-Voce* (unde copilul poate scrie ceva și este redat cu voce ceea ce scrie), and *Modulul de Comunicare cu Robotul* (unde este prezentată comunicarea aplicației cu robotul).

În a patra secțiune este prezentată o comparație între rețelele neuronale VGG16 și MobileNet. Algoritmii sunt aplicații pe baze de date diferite. O nouă bază de date este îmbunătățită gradual și au fost adăugate mai multe desene. A cincea secțiune introduce analiza rețelei Feedforward pentru integrarea în aplicația PandaSays. Următoarea secțiune vorbește despre considerații de siguranță privind folosirea aplicației. În continuare sunt discutate datele și metodele folosite în aplicația pentru mobil și este inclusă comparația actualizată între VGG16 și MobileNet, întrucât baza de date a fost îmbunătățită.

**Chapter 4:** Acest capitol începe cu o robustă analiză a soluțiilor bazate pe roboți pentru suportul comportamental și pentru înțelegerea copiilor diagnosticați cu autism, cu focusul pe detaliile aplicațiilor și a articolelor care au fost realizate folosind roboți umanoizi. Următoarea secțiune a acestui capitol prezintă aplicația PandaSays în contextual testelor sale de performanță folosind Rețele Neuronale Profunde și Rețele Neuronale Residuale. În continuare este prezentat modelul de învățare automată actualizat, cu noua bază de date de desene. Capitolul continuă cu introducerea robotului

umanoid folosit – Alpha 1P și a funcționalităților sale. Mai departe este explicată comunicarea între robot și aplicație și este realizată o comparație între timpii de pe diferite dispozitive. O altă secțiune a acestui capitol este reprezentată de modulul de accesibilitate, arătând importanța acesteia pentru copiii diagnosticați cu autism și aplicabilitatea în aplicația android PandaSays.

**Chapter 5:** Acest capitol introduce o nouă funcționalitate prin intermediul muzicii. Este prezentată o analiză asupra soluțiilor realizate pe acest subiect și este detaliat modulul de Muzică al aplicației PandaSays și conexiunea sa cu Modulul de Interpretare a Desenului. Capitolul continuă cu analiza accesibilității pe noua funcționalitate muzicală. Sunt prezentate două studii de caz în care copiii interacționează cu roboții Marty și Alpha 1P. Mai departe sunt discutate fluxurile aplicației cu roboții Alpha 1E și Alpha 1P și comparația între timpii de conexiune dintre roboți și aplicație.

**Chapter 6:** Acest capitol prezintă concluziile tezei, toate contribuțiile rezultate din această cercetare și propuneri pentru dezvoltări viitoare.

## CHAPTER 2. O analiză critică a tehnologiilor și metodelor folosite pentru dezvoltarea aplicațiilor dedicate pentru persoanele cu autism

### 2.1. Soluții bazate pe teste pentru autism

În acest capitol sunt prezentate instrumentele necesare pentru monitorizarea autismului. Această parte are 7 secțiuni. După introducere, Secțiunile 2-6 prezintă instrumentele actuale folosite pentru prezicerea și ajutorarea copiilor diagnosticați cu autism, făcând o comparație între acestea și aplicația PandaSays, expunând avantajele și dezavantajele acestor soluții și comparându-le cu funcționalitățile aplicației.

Nu există o soluție specifică pentru vindecarea autismului, dar detectarea sa din timp (de la șase luni până la trei ani) ajută copiii să deprindă diferite aptitudini cum ar fi comunicarea și aptitudinile sociale și îi ajută să își controleze comportamentul lor repetitiv. În prezent, sunt câteva teste de verificare, care sunt administrate de către persoane pregătite în acest domeniu, prestatori de servicii și părinți [1]:

- Instrument de Observare – Program de Observare a Diagnosticului Autismului (ADOS-2)
- Listă de verificare pentru autism pentru copiii (M-CHAT)
- Chestionare în funcție de vârste și etape (ASQ)
- Scala de evaluare a autismului în copilărie (CARS)
- Instrument de Verificare pentru autism pentru copii mici și copii mai mari (STAT)

Avantajele aplicației PandaSays constau în interpretarea rapidă a desenelor, ce elimină nevoia de a merge în fiecare zi la psiholog și ajutorarea parintelui sau a tutorului să înțeleagă emoțiile copilului.

### 2.2. Dispozitive portabile dedicate diagnosticării autismului și comunicării

Persoanele diagnosticate cu autism prezintă dificultăți în exprimarea sentimentelor și în arătarea de empatie față de alți oameni; aceștia nu pot înțelege cu ușurință sterile emoționale ale altor persoane [3]. În prezent, nu există senzori de bază care să măsoare starea afectivă. Lamoratorul Media MIT a dezvoltat sisteme pentru a comunica informații despre starea afectivă și sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Table 2.1 Avantaje și dezavantaje ale dispozitivelor portabile

Dispozitive portabile	Avantaje	Dezavantaje
Galvactivatorul [4]	<ul style="list-style-type: none"><li>• Observă energia pielii unei persoane (persoana care poartă dispozitivul) și face legătura între valorile acesteia și un ecran LED.</li><li>• Poate măsura emoțiile.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Copilul diagnosticat cu autism poate răspunde diferit la fiecare dispozitiv, unii pot chiar deveni agresivi sau se pot speria.</li><li>• Costul mare de achiziție.</li><li>• Accesul limitat la dispozitiv.</li><li>• Consum de timp – datele trebuie adunate după ce copilul a fost monitorizat, iar apoi trimise către o analiză mai riguroasă.</li></ul>
Ochelarii de expresie [4]	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dispozitiv creat pentru recunoașterea facială ce</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Date puține obținute referitoare la expresii.</li></ul>

	folosește recunoașterea prin model pentru a evidenția expresii precum interesul sau confuzia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copilul diagnosticat cu autism poate răspunde diferit la fiecare dispozitiv, unii pot chiar deveni agresivi sau se pot speria.</li> <li>• Costul mare de achiziție.</li> <li>• Părinții sau persoanele care îi îngrijesc pot avea acces la aceste dispozitive numai în anumite incinte care le au, iar multe dintre aceste dispozitive nu sunt de vânzare.</li> <li>• Consum de timp – datele trebuie adunate după ce copilul a fost monitorizat, iar apoi trimise către o analiză mai riguroasă.</li> </ul>
Perspectiva Emotivă [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizează stări precum nivelul de atenție, focusul, interesul, relaxarea, entuziasmul, afinitatea, angajamentul și stresul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copilul diagnosticat cu autism poate răspunde diferit la fiecare dispozitiv, unii pot chiar deveni agresivi sau se pot speria.</li> <li>• Costul mare de achiziție.</li> <li>• Accesul limitat al dispozitivului.</li> <li>• Consum de timp – datele trebuie adunate după ce copilul a fost monitorizat, iar apoi trimise către o analiză mai riguroasă.</li> </ul>
Empatica [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creat pentru a surprinde entuziasmul, nivelul de stres sau emoțiile.</li> <li>• Monitorizează ritmul cardiac și mișcările.</li> <li>• Poate fi purtat de către copii.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costul mare de achiziție.</li> <li>• Accesul limitat al dispozitivului.</li> <li>• Consum de timp</li> <li>• Necesită evaluarea unei persoane avizate în domeniu.</li> </ul>

Un avantaj al aplicației PandaSays este acela că sunt necesare doar un telefon cu sistemul de operare Android și conexiune la internet pentru a se putea descărca pentru prima oară modelul de învățare automată, pentru ca interpretatorul de desene să înceapă să analizeze desenele. Roboții umanoizi sunt opționali, dar în prezent sunt trei opțiuni în aplicație, cu diferite game de prețuri.

### 2.3. Algoritmi folosiți pentru analiza autismului

Algoritmii de învățare automată au fost folosiți pentru analiza complete a rezultatelor din primul modul ADOS, disponibil la depozitul “Autism Genetic Resource Exchange” (AGRE) pentru 15 persoane care nu au autism și 612 persoane cu autism [6]. Analiza a afirmat că opt din 29 de structure prezente în primul modul ADOS au fost suficiente pentru diagnosticarea autismului cu 100% acuratețe. Un grup de familii care au unul sau mai mulți copii diagnosticați cu autism, a reprezentat datele de intrare pentru algoritmul de învățare automată pentru clasificare. Au fost 16 algoritmi de clasificare și pentru fiecare algoritm a fost aplicată o validare încrucișată de 10 ori. Validarea a constat în testarea algoritmului de clasificare pe datele colectate din modulul ADOS de la persoane diagnosticate cu autism.

Dintre cei 16 algoritmi de clasificare, a fost ales algoritmul ADTree (Arbore decizional alternant), deoarece a reușit să clasifice corect pe toți cei 612 de participanți din AGRE, care fuseseră deja diagnosticați cu autism de către primul modul ADOS și pe cei 15 care nu aveau autism, diagnosticați de către AGRE și Boston AC.

Evaluarea grupărilor se referă la găsirea configurației grupului care se potrivește cel mai bine cu datele. Pentru evaluarea rezultatelor, următoarele metode au fost aplicate: analiza univariată și analiza multivariată. Au fost 27 de caracteristici ale fenotipului ca și date de intrare; Scala-Revizuită de Comportament Repetitiv (RBS-R) a avut cei mai buni indicatori de validare. Algoritmii pot fi folosiți pentru a determina alte afecțiuni cum ar fi cele caracterizate prin dificultăți în integrarea în societate, în comunicare, afazie, comportament anormal.

Majoritatea algoritmilor prezentați în această secțiune sunt mai potriviți pentru a realiza o analiză pe datele strânse de la testele de verificare. Având în vedere ca aplicația android PandaSays are o bază de date de desene, a fost mult mai utilă folosirea rețelelor neuronale convoluționale pentru a antrena modelul.

### 2.4. Soluții pentru autism bazate pe analiza mișcării ochiului

Persoanele diagnosticate cu autism au dificultăți în crearea unui contact vizual și în menținerea acestuia. Dispozitivele de urmărire a ochilor sunt utile în diagnosticarea autismului, întrucât observă mișcarea privirii atipice, fiind și unul din biomarkeri, necesari pentru diagnosticarea autismului. Ca și alte dispozitive, ele prezintă câteva limitări atunci când vine vorba despre diagnosticarea autismului (Table 2.2):

Table 2.2 Avantaje și dezavantaje ale dispozitivelor de urmărire a mișcării ochiului

Dipozitive de urmărire a mișcării ochiului	Avantaje	Dezavantaje
Sistemul arab de verificare [7]	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ajută la strângerea datelor referitoare la mișcarea privirii, prin utilizarea urmăririi la distanță a ochiului.</li><li>• Ajută la diagnosticarea autismului, întrucât mișcarea privirii reprezintă un biomarker pentru autism.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Datele sunt aplicate doar în țările arabe.</li><li>• Costul de achiziție mare.</li><li>• Se găsesc doar în clinici speciale sau în instituții medicale.</li><li>• Detectează autismul după vârsta de 8 ani, dar cerința de a ajuta copiii cu autism este de a diagnostica autismul cât mai devreme.</li></ul>

Tobii X120 Urmăritor al Ochiului [7]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajută la diagnosticarea autismului folosind Regiunea de Interes.</li> <li>• Separă indivizii cu autism de cei care nu au autism.</li> <li>• Acuratețe mare in predicția autismului – 88,6%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costul de achiziție mare.</li> <li>• Se găsesc doar in clinici speciale sau în instituții medicale.</li> <li>• Detectează autismul după vârsta de 8 ani, dar cerința de a ajuta copiii cu autism este de a diagnostica autismul cât mai devreme.</li> </ul>
--------------------------------------	---	--

## 2.5. Soluții pentru diagnosticarea autismului

Părinții nu sunt capabili să surprindă toate acțiunile, comportamentul și simptomele copiilor lor diagnosticați cu autism. Un sistem a fost dezvoltat pentru a găsi posibile simptome, folosind date ale vechilor pacienți [8]. În acest studiu sunt aplicați algoritmi de învățare automată, iar autorii au dezvoltat un instrument de diagnosticare ce folosește *Teoria Confabulației*.

Alți algoritmi folosiți pentru a găsi cele mai relevante simptome ale autismului sunt: CARMRMR (CARMRMR ia  $\min(k+1, m)$  scanări din totalul simptomelor din baza de date, unde  $k$  reprezintă cel mai frecvent set de simptome și  $m$  este numărul de simptome din director), SMOTE – Tehnică de supraeșantionare minoritară sintetică – reprezentând o tehnică care generează exemple sintetice, pentru că operează mai degrabă în “caracteristica de spațiu”, decât în “spațiul de date”, iar astfel se evită supraadaptarea.

## 2.6. Soluții bazate pe jocuri pentru pacienții cu autism

Soluțiile bazate pe diagnosticarea autismului au avantajele de a fi interactive și de a dezvolta aptitudinile sociale ale copiilor, dar aceste soluții prezintă totuși următoarele neajunsuri prezentate în tabelul de mai jos:

Table 2.3 Soluții bazate pe jocuri – avantaje și dezavantaje

Soluții bazate pe jocuri	Avantaje	Dezavantaje
Joc cu cercuri bazat pe nivelul de precizie [9]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surprinde nivelul de autism.</li> <li>• Disponibil pe telefon și pe tabletă.</li> <li>• Poate fi monitorizat de către părinți.</li> <li>• Cost redus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copilul se poate plictisi sau își poate pierde interesul în joc.</li> <li>• Jocul are doar trei culori, care pot fi de neinteres pentru copil sau care pot chiar să îl enerveze.</li> </ul>
Sistem de condus bazat pe Realitatea Virtuală [10]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel ridicat de interacțiune.</li> <li>• Învață condusul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu este potrivit pentru copii.</li> <li>• Este create pentru persoane care au cel puțin 18 ani.</li> <li>• Costul mare de achiziție.</li> </ul>
Modele de gesturi din timpul jocului cu tableta inteligentă [11]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strânge informații complexe despre modelele motorii ale copiilor.</li> <li>• Disponibil pe tabletă.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu detectează stările afective.</li> </ul>

Autism Barta [12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creat pentru verificarea autismului la copii.</li> <li>• Verifică starea copilului și urcă datele în baza de date.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chestionarul este bazat pe instrumental de verificare M-CHAT, ce necesită personal medical pentru evaluare.</li> <li>• Costul mare de achiziție.</li> </ul>
-------------------	--	--

Aplicația PandaSays poate ajuta la diagnosticarea autismului, prin strângerea datelor despre starea emoțională a copilului și nu necesită instruire specială. Aplicația pune la dispoziție un modul de Manual de Utilizare, unde este explicat cum funcționează aplicația.

## 2.7. Concluzii

Autismul este o tulburare de neurodezvoltare și nu poate fi vindecată definitiv. Cea mai mare provocare în comunicarea cu persoanele ce suferă de autism, este învățarea acestora să își exprime sentimentele față de alții și să comunice cu alți oameni. Astfel, autismul ar trebui diagnosticat cât de repede posibil. Autismul diagnosticat la o vârstă fragedă (<2-5 ani), poate ajuta acești copii să se dezvolte normal și să se integreze mai rapid în societate atunci când cresc. Algoritmii de învățare automată contribuie la stabilirea unui sistem de detectare a autismului de la o vârstă fragedă. Cei mai folosiți algoritmi au fost SVM (Mașini cu Vectori de Suport), decision trees as ADTree (Arbore de decizie alternant).

Dispozitivele portabile sunt folosite ca sisteme de comunicare a informațiilor referitoare la starea afectivă.

Roboții au un rol semnificativ în ghidarea copiilor cu autism în exprimarea sentimentelor lor sau a intențiilor și interacțiunii cu ceilalți.

Desenele sunt utile în obținerea de informații despre starea emoțională a copilului și poate ajuta în diagnosticarea autismului de la vârstă fragedă, începând cu șase luni. Interpretarea desenelor este o parte importantă a aplicației PandaSays. Aplicația nu necesită instruire specială, așa cum necesită instrumentele de verificare, sau costuri mari, ca alte dispozitive prezentate în acest capitol, iar aplicația poate fi folosită nu numai de copiii diagnosticați cu autism, dar și de copiii care au dificultăți de vorbire sau afazie.

Următorul articol a fost publicat, pe baza acestui capitol:

*“L. Popescu and N. Popescu, "A critical analysis of the technologies used for development of applications dedicated to persons with autism spectrum disorder," 2020 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet), Bucharest, Romania, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/RoEduNet51892.2020.9324880., WOS:000654265900029.”*

## CHAPTER 3. PandaSays – o soluție inovativă de învățare automată pentru evaluarea stării afective a copiilor cu autism

### 3.1. Analiză bazată pe desen – o fereastră către înțelegerea copiilor

Diagnosticarea din timp a autismului (începând cu șase luni până la trei ani) poate ajuta copiii să acumuleze diferite aptitudini sociale și de comunicare și poate ajuta la monitorizarea comportamentului lor repetitiv. Această lucrare este focusată pe copiii cu vârste cuprinse între 2 și 8 ani. Studiile existente au concluzionat că, acești copii își pot exprima sentimentele prin desene. Părinții încearcă să își înțeleagă copiii și ceea ce au ei nevoie și încearcă să înțeleagă de ce uneori sunt supărați. Unii părinți aleg să meargă la psihologi certificați, dar majoritatea nu au pregătirea necesară pentru a interpreta singuri desenele copiilor lor.

Desenele pot deține informații despre cum un copil interpretează lumea din jurul său. Un simplu desen, care la prima vedere poate părea doar un set de linii ne semnificative, poate exprima comportamentul social al copilului, relația dintre copil și rudele sale, nivelul de inteligență și percepție, ariile de interes, și dacă un copil este trist, nesigur, speriat sau introvertit.

### 3.2. Detaliile aplicației pentru mobil

“PandaSays” este o aplicație pentru mobil creată pentru copiii cu autism și pentru părinții acestora, pentru rudele sau pentru tutorii lor, pentru a-i ajuta să-și îmbunătățească nivelul de comunicare. Aplicația folosește învățarea automată pentru evaluarea stării afective a copilului din ceea ce acesta desenează.

Aplicația nu diagnostichează autismul, dar ajută copiii care deja au fost diagnosticați cu autism să învețe să comunice mai eficient și să își îmbunătățească aptitudinile sociale. Desenele au fost obținute de la copii cu vârste cuprinse între 3 și 8 ani, din următoarele țări: România, Regatul Unit, Germania și Spania. În acest fel, poate fi dovedit că problema tratată este universală și că toți copiii din toată lumea pot fi evaluați emoțional, pe baza a ceea ce exprimă atunci când se joacă cu linii, figure și culori.

Aplicația a avut inițial 4 module, dar a fost extinsă mai târziu, așa cum va fi descris în capitolele 5 și 6: *Modulul de Desenare*, *Modulul de Recunoaștere de Obiecte*, *Modulul de Text-în-Voce* (o funcționalitate creată totodată pentru copiii care sunt susceptibili de afazie sau de alte afecțiuni de vorbire) și *Modulul de Comunicare cu Robotul*. Aplicația este dezvoltată folosind limbajele de programare Java și Kotlin și urmărește arhitectura MVP (Model-Vedere-Prezentator). Limbajul de programare Python a fost adăugat în aplicație ulterior pentru realizarea conexiunii cu modulul de Robot. Arhitectura este acum MVVM (Model-View-ViewModel), separând logica de view-uri și adăugând-o în ViewModele. Comunicarea cu Alpha 1P/1E este realizată prin Protocoalele de Comunicare și Bluetooth și Raspberry Pi, iar codul este scris în Python (versiunea 3.9).

### 3.3. Funcționalitățile aplicației pentru mobil PandaSays

“PandaSays” [2] este o aplicație pentru mobil construită pentru copiii cu autism și pentru părinții și tutorii acestora, pentru a-i ajuta să comunice mai bine și să își exprime ceea ce simt. Aplicația cuprinde 4 module: Modulul de Desenare, Modulul de Recunoaștere de Obiecte, Modulul de Text-în-Voce și Modulul de Comunicare cu Robotul. Baza de date are cinci clase, reprezentând starea emoțională a copiilor. Clasele sunt “fericire”, “tristețe”, “nesiguranță”, “frică” și “nervozitate”. Aplicație pentru mobil detectează starea afectivă a copilului din ceea ce desenează.

În prezent, aplicația PandaSays are încorporat un model TensorFlow customizat, construit cu rețeaua neuronală MobileNet. În Figura 1, este arătat rezultatul predicției, desenul având rezultatul de stare de “nesiguranță”, cu 75% acuratețe.



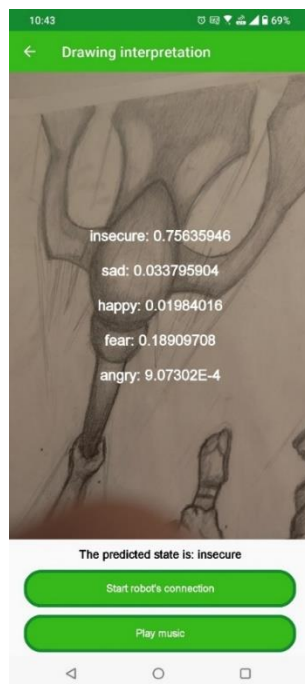


Fig.1. Rezultatul desenului, reprezentând starea de “nesiguranță”

Pentru baza de date de desene a fost folosit “Firebase Storage”. Problema este una de multiclasă.

### 3.4. Discuție comparativă între VGG16 și MobileNet, ca Rețele Neuronale Convoluționale

VGG are două arhitecturi: VGG16 (cu 16 straturi) și VGG19 (cu 19 straturi). VGG16 înlocuiește filtrele de dimensiunea nucleului (11 și 5 în primul strat și al doilea strat convolutional) cu 3x3 filtre de dimensiunea nucleului, cu un pas de 1 și folosește aceeași umplură și un strat MaxPool cu filtre de 2x2 și cu un pas egal cu 2. Pentru antrenarea modelului, pentru a prezice starea copilului din desenele sale, a fost folosit VGG16. Baza de date a fost împărțită în 25% pentru testare și 75% pentru validare. A fost folosit poolingul mediu și un “input\_shape” = (224, 224, 3). Este inclus un singur bloc convoluțional preantrenat, pentru a reduce timpul computațional și pentru a îmbunătăți acuratețea predicției cu date puține. Numărul de epoci a fost 30, iar dimensiunea lotului a fost 16. Augmentarea datelor cu Keras [13] a fost aplicată, adăugând următorii parametri: “zoom\_range”, “height\_shift\_range”, “width\_shift\_range”, “shearange”, “horizontal\_flip” și “fill\_mode”. Modelul antrenat cu VGG16 este subadaptat, deoarece pierderea pe setul de antrenare este în scădere, iar performanța sa este mai bună pe acest set față de cel de validare.

MobileNet, cu o arhitectură lejeră, are 30 de straturi și este bazată pe convoluții separabile în funcție de adâncime – execută o singură convoluție pe fiecare canal de culoare (Roșu, Verde, Albastru), și nu face o combinația a acestora ca apoi să aplice aplatizarea. Rețelele sunt de 32 de ori mai mici și mai rapide ca VGG16, desi returnează aceleași rezultate.

Acuratețea modelului antrenat cu MobileNet a fost 58%. Figura 5 arată că pierderea pe setul de antrenare continuă să descrească până la sfârșitul antrenării, astfel că performanța este bună, iar pierderea pe setul de test descrește până la un punct și începe să crească iar, ceea ce înseamnă că modelul începe să fie supraadaptat.

### 3.5. Rețeaua Neuronală Feedforward

Pentru a aplica propagarea feedforward, noi am menținut aceeași augumentare Keras pe imagini și am creat un nou model secvențial cu patru straturi. O funcție de activare liniară rectificată (ReLU) a fost aplicată primelor trei straturi. Pe stratul de ieșire, care conține cinci clase, a fost aplicată o funcție de activare Softmax.

Modelul a fost antrenat folosind funcțiile librăriei Keras (`model.fit()`). Dimensiunea lotului a fost 32, iar numărul de epoci a fost 20. Metricele obținute au fost pierderea = 1.5597 (Figura 2) și acuratețea = 28.3333%. Acuratețea a suferit o scădere semnificativă în comparație cu Rețelele Neuronale Convoluționale, unde aceasta a fost 58%.

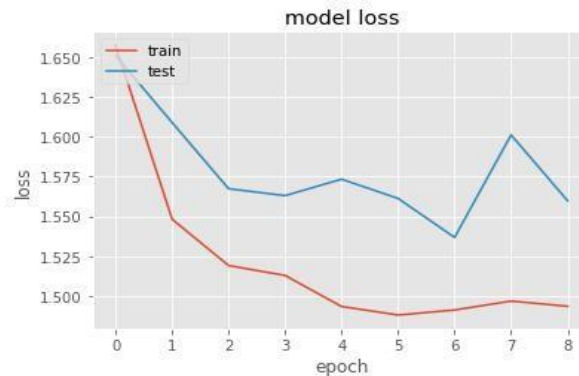


Fig.2. Pierderea modelului rețelei Feedforward

### 3.6. Considerații de siguranță

Aplicația pentru mobil PandaSays oferă posibilitatea de a încărca un desen, înainte de a accesa modulul de Interpretare a Desenelor. Mai întâi va fi afișată o alertă, întrebând utilizatorul dacă dorește să încarce o poză. Apăsând pe “Nu”, utilizatorul este trimis direct către modulul de Interpretare a Desenului și apăsând “Da”, utilizatorul rămâne pe același ecran - Meniul, unde se poate încărca un desen.

În Figura 3 este arătat fluxul de încărcare. Utilizatorul apasă pe butonul “Fă o poză desenului tău”, iar apoi iconița de “încărcare” va fi apăsată. După ce iconița de “încărcare” a fost apăsată, algoritmul de învățare automată va începe să detecteze dacă desenul conține părți ale feței sau ale corpului, iar dacă nu conține nicio parte dintre acestea, desenul va fi încărcat în baza de date de desene.

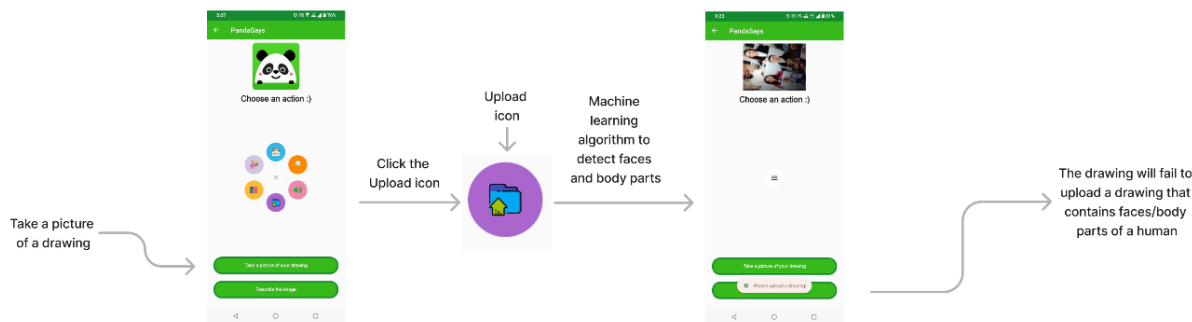


Fig.3. Fluxul de încărcare

### 3.7. Date și metode folosite in aplicația pentru mobil

Ca și bază de date pentru aplicația PandaSays, a fost aleasă Firebase, folosită pentru stocarea unui set mare de desene și, de asemenea, pentru a da posibilitatea utilizatorilor să își încarce propriile lor desene. Baza de date a fost formată la început doar din 597 de desene. Clasele împreună cu numărul lor de imagini, sunt: fericire (167 imagini), tristețe (152), nesiguranță (81), frică (102) și nervozitate (95). Baza de date a fost mărită de aproape trei ori, de la începutul dezvoltării aplicației.

Pentru antrenarea modelului, a fost utilizat inițial AutoML Vision Edge [14], care este un produs Google ce ajută la construirea modelului de învățare automată. Modelul a fost antrenat în Cloud-ul Google.

Așa cum era de așteptat, clasa “fericire”, a fost etichetată corect cu 80.6% acuratețe, iar clasa “nesiguranță” a avut cea mai mică acuratețe – 21.4%. Modelul a fost testat cu o imagine, reprezentând starea de “nervozitate” cu 60.8% acuratețe, așa cum este prezentat în Figura 4.



Fig.4. Rezultatele predicției cu Firebase AutoML pentru starea de nervozitate

Totodată, a fost construit un model de rețea neuronală convoluțională, care are în total 426,340,605 parametrii și 426,340,605 parametrii antrenabili. Cinci straturi convoluționale a fost folosite pentru crearea modelului. Apoi a fost aplicată augmentarea Keras pe date cu următorii parametri: "rescale", "shear\_range", "zoom\_range", "brightness\_range", "height\_shift\_range", "width\_shift\_range" și "horizontal\_flip". Setul de validare a reprezentat 20% din setul total de imagini din datele etichetate. Cea mai mare acuratețe a fost aproximativ 50% pentru setul de test cu un număr

de 10 epoci. Acuratețea va fi îmbunătățită, așa cum se va arată în următoarele capitole. În continuare s-a aplicat Transferul de Învățare pentru prezicerea modelului: rețelele neuronale convoluționale VGG16 și MobileNet.

### 3.8. Concluzii

Desenele sunt un instrument dominant pentru strângerea datelor despre starea emoțională a copiilor, și, știind starea afectivă a copilului, pot juca un rol semnificativ în ajutarea copiilor diagnosticați cu autism să se integreze mai ușor în societate și să înceapă să construiască conexiuni cu ceilalți încă din copilărie.

Așa cum a fost prezentat în secțiunile anterioare, "PandaSays" a fost dezvoltată ca o aplicație pentru mobil, pentru copiii cu autism și pentru părinții lor, ca și un prieten virtual pentru îmbunătățirea comunicării. Aplicația este în progres și va fi îmbunătățită pe parcurs, așa cum este arătat în următoarea secțiune. Baza de date de desene nu este foarte mare, în acest moment, iar acest lucru este reflectat în acuratețea modelului de predicție. Baza de date de desene va fi mărită până la 3000 de imagini, pentru o mai bună acuratețe în predicție, iar alți algoritmi de învățare automată vor fi aplicați.

Modelul de învățare automată este supraadaptat, iar următorul pas va fi folosirea unei tehnici de reeșantionare, cum este validarea încrucișată de  $k$  ori, pentru a estima acuratețea pe date noi.

Studiile au demonstrat că roboții ajută copiii să socializeze mai bine și să exprime mai ușor ce simt. Aplicația curentă pentru mobil va prezice starea emoțională a copilului diagnosticat cu autism. După ce această stare este prezisă, rezultatul se va trimite la robot (Marty, NAO sau roboții Ubtech ALPHA 1P, 1E), iar apoi roboții vor executa anumite acțiuni pentru a face copilul să se simtă mai bine. De exemplu, dacă acel copil este trist sau nervos, robotul va începe să danseze.

Pentru a programa robotul Alpha 1P, va fi stabilită o comunicare client-server, folosind Protocolul de Comunicare Bluetooth și Raspberry Pi 4.

Un alt modul care va fi introdus este cel de realitate augmentată. Pentru implementarea acestui modul, vor fi folosite ARCore și OpenGL, pentru randarea vectorilor grafici 2d și 3d. ARCore a fost creat de către Google pentru dezvoltarea aplicațiilor cu realitate augmentată [15].

Rezultatele acestei cercetări, prezentate în acest capitol, au fost publicate în:

- "L. Popescu and N. Popescu, "Machine Learning based Solution for Predicting the Affective State of Children with Autism," 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iasi, Romania, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/EHB50910.2020.9280194. WOS:000646194100068"
- "A-L. Popescu and N. Popescu, "Neural networks - based solutions for predicting the affective state of children with autism," 2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), Bucharest, Romania, 2021, pp. 93-97, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00023."

## **CHAPTER 4. Detectarea stării afective a copiilor cu autism, folosind aplicația pentru mobil și interacțiunea cu un robot**

### **4.1. Introducere**

Capitolul 4 este structurat astfel:

- Secțiunea cu lucrări conexe, unde sunt prezentate studiile relevante care au ajutat cercetarea.
- A treia secțiune: “Detaliile soluției și Teste de performanță folosind Rețelele Neuronale Convoluționale Profunde și Rețelele Neuronale Reziduale”, în care este descrisă aplicația “PandaSays”, inclusiv testele de performanță, folosind rețele neuronale convoluționale profunde și rețele neuronale reziduale.
- A patra secțiune “Aplicația PandaSays – Modelul actualizat de învățare automată”, prezintă modelul actualizat de învățare automată.
- A cincea secțiune: “Seriile Alpha 1 Protocolul de Comunicare Bluetooth” prezintă protocolul de comunicare Bluetooth al seriilor Alpha 1, punând în evidență toată strategia pentru realizarea comunicării seriale Bluetooth între Raspberry Pi și robotul Alpha 1P, folosind o aplicație SPP (Profil Port Serial).
- A șasea secțiune “Comparație între timpii de comunicare ai dispozitivelor candidate”, expune comparația între Raspberry Pi 4, aplicația nativă android Alpha 1P, și aplicația android BlueSPP, subliniind evaluarea rezultatelor în funcție de timpul lor de conexiune.
- A șaptea secțiune: “Aplicația pentru mobil PandaSays și integrarea accesibilității”, prezintă funcționalitățile legate de accesibilitate ale aplicației.
- Ultima secțiune: “Concluzii”.

### **4.2. Soluții bazate pe roboți pentru suportul comportamental și pentru înțelegere**

Roboții umanoizi sunt folosiți ca un instrument pentru ajutarea copiilor diagnosticați cu autism să comunice mai bine și să învețe lucruri noi, cum ar fi cititul, matematica, limbile străine și altele. În lucrarea “Robotul umanoid NAO ca un instrument de învățare pentru recunoașterea emoției copiilor cu autism, folosind o aplicație Android” [16], Mohd Azjar Miskam și colegii săi, descriu cum au folosit interacțiunea robotului NAO cu copiii ce au fost diagnosticați cu autism, jucând un joc. Robotul NAO execută câteva ipostaze emoționale, dezvoltate cu Choregraphe și le arată copiilor. Robotul este controlat de o aplicație Android, prin conexiune WIFI. “Administrează Comportamentele” este un buton care atunci când este apăsat, utilizatorul poate iniția o ipostază pe care o dorește de la robot. De asemenea, are un buton de “Reîmprospătare”, pentru a reseta conexiunea cu robotul.

Scopul acestor comportamente este să învețe copilul să interpreteze emoțiile și să înceapă să învețe să le folosească. Robotul NAO execută următoarele emoții: supărat, fericit, fricos, timid, dezgustat, trist și iubitor. Un pre-test a demonstrat că un copil a recunoscut emoțiile arătate de robot. Studiile [17] și [18] au expus faptul că anumite emoții cum ar fi nervozitatea, fericirea, frica, tristețea, atunci când se ascultă muzică, apar la cel care o ascultă. J. M. Beer, în lucrarea [19] expune importanța muzicii ca o terapie pentru ajutarea copiilor cu autism. Scopul acestei lucrări a fost folosirea roboților (au folosit robotul NAO) în terapia prin muzică pentru a ajuta copiii cu autism, luând în considerare de câte ori terapeutul intervine în ajutarea copilului pentru a interacționa cu robotul și de câte ori copilul imită micările de dans ale robotului [19].

Lucrarea [20] ilustrează modul cum folosirea roboților umanoizi îmbunătățește aptitudinile sociale ale copiilor diagnosticați cu autism. Studiul a concluzionat că teoriile de învățare prin consolidare încorporate și scaffolding-ul, au dovedit că roboții sunt eficienți în motivarea copiilor să își îmbunătățească modul de învățare și aptitudinile de comunicare.

Lucrarea “Dezvoltând un robot terapeutic pentru copiii cu autism: Un studiu pe explorarea părerii despre culoare” [21] propune să investigheze opinia obținută, în urma terapiei cu copiii diagnosticați cu autism, prin interacțiunea curobotul care folosește culori în diferite condiții.

Patru culori au fost folosite pentru obținerea opiniei: galben, roșu, verde și albastru. Culoarea preferată a copilului a fost păstrată ca un scop pentru această sarcină, iar cea care a fost displăcută de copil, a fost eliminată. Pentru experiment, un dispozitiv “Atinge mingea” a fost folosit, care încorporează un senzor care calculează cele trei forțe axiale. Lucrarea a concluzionat că rezultatul primit din atingerea dispozitivului este mult mai eficient față de rezultatul obținut din atingerea îngrijitorului.

Avantajele soluțiilor bazate pe roboți sunt acelea că folosesc roboți umanoizi care ajută copiii diagnosticați cu autism să comunice mai bine și de asemenea să fie integrate în școli ca un instrument de învățare. Dezavantajul major al acestor soluții este acela privind costurile de achiziție care sunt foarte mari.

#### **4.3. Detaliile soluției și teste de performanță folosind Rețelele Neuronale Convoluționale Profunde și Rețelele Neuronale Reziduale**

Aplicația pentru telefon PandaSays oferă posibilitatea să deseneze și să încarce un desen. Imaginea este interpretată de un algoritm de învățare automată.

Studiile au arătat că desenele pot dezvălui emoții și sentimente [22]. Scopul aplicației este să interpreteze starea afectivă a copilului în funcție de ceea ce desenează, fără nevoia unui psiholog care să facă acest lucru.

Baza de date de desene a fost formată, în acest moment, din 1279 de desene, fiind împărțită în cinci clase, reprezentând 5 stări emoționale: “fericire”, “frică”, “tristețe”, “nervozitate” și “nesiguranță”. Întreaga bază de date a fost validată de un psiholog certificat, specializat în interpretarea desenelor copiilor.

În lucrările anterioare [23], noi am realizat o analiză a rețelelor neuronale convoluționale și a rețelei neuronale Feedforward, pentru a găsi cel mai bun model pentru prezicerea stării afective a copilului din desenele acestuia cu cea mai mare acuratețe.

În acest capitol, am concluzionat că rețeaua neuronală MobileNet [24] a avut o performanță mai bună față de celelalte rețele neuronale. Noile rezultate vor fi prezentate în continuare în acest capitol. Setul de date a fost împărțit în 80% pentru training și 20% pentru testare. Pentru procesarea imaginilor, s-a folosit ImageDataGenerator [25] din Keras.

VGG16 (“Grupul de Geometrie al Vederii”) a fost folosită pentru antrenarea modelului la început. Pentru antrenare, straturile de ieșire complet conectate ale modelului nu sunt adăugate și pentru greutatea, a fost selectat setul “ImageNet”. Pentru compilarea modelului, a fost folosit optimizatorul “Adam” (estimare adaptivă a momentului), ce reprezintă unul din algoritmi de optimizare care operează gradienti rari pe zgomot, cu o rată de învățare de 0.001; pentru pierdere, s-a folosit parametrul “categorical\_crossentropy”.

Pierderea a fost 1.8508, folosind VGG16, iar acuratețea a avut valoarea de 50.9375% (Figura 5). Numărul de epoci a fost 40, iar dimensiunea lotului a fost 16.

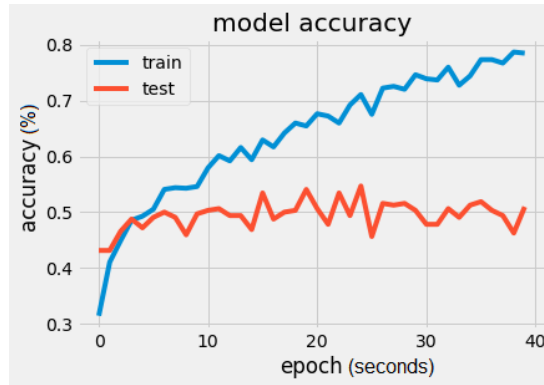


Fig.5. Acuratețea modelului VGG16.

Setul de date “imagenet” a fost folosit ca și greutate pentru construirea modelului MobileNet;

The “imagenet” dataset was utilized as weights for building up MobileNet model; numărul de epoci a fost 40, iar dimensiunea lotului a fost 16.

Este o diferență semnificativă în ceea ce privește parametrii antrenabili între modelul VGG16 și modelul MobileNet. MobileNet are 5005 parametrii antrenabili, iar VGG16 are 2,102,277. Valorile metricilor au fost pierderea = 1.5260 și acuratețea = 56.2500% (Figura 6).

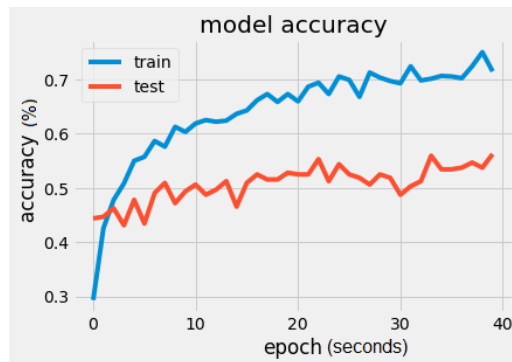


Fig.6. Acuratețea modelului MobileNet.

Așa cum este arătat in Figura 7, principalul rezultat poate fi observat, ce prezintă faptul că desenul a reflectat starea de “nervozitate”, cu o acuratețe de 92%, atunci când a fost folosită aplicația PandaSays cu modelul MobileNet.

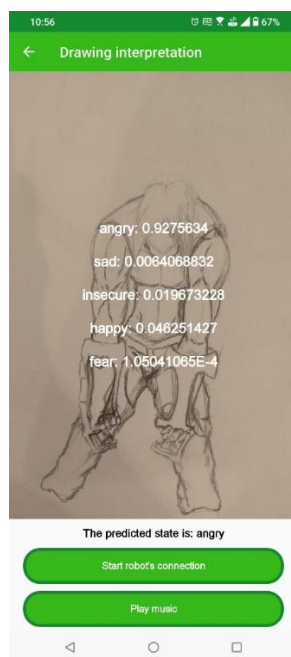


Fig.7. Interpretarea desenului cu PandaSays.

De asemenea, ResNet50 (Rețele Neuronale Reziduale) din Keras, au fost folosite pentru antrenarea modelului. Pentru parametrul greutate, a fost utilizat setul de date “imagenet”, ca tensor de intrare a fost folosită forma de intrare de (224,224,3), semnificând lățimea (224), înălțimea (224) și numărul de canale (3 – canale de culori), și a fost inclus un singur bloc convoluțional preantrenat (include\_top = False).

Pierderea modelului ResNet50 a fost 1.5041 și acuratețea obținută a fost 47.6562%. Cea mai mare acuratețe este obținută de rețeaua neuronală MobileNet cu 56.25%, urmată de VGG16 cu 50.93%. Deși cea mai mică acuratețe este obținută de către rețeaua neuronală ResNet50, pierderea sa este cea mai mică, urmată de cea a rețelei MobileNet cu 1.5260%. Pentru aplicația android PandaSays, a fost ales modelul construit cu rețeaua neuronală MobileNet, deoarece a obținut cea mai bună acuratețe.

#### 4.4. Aplicația PandaSays – Modelul actualizat de învățare automată

În articolele [23] și [26], am introdus aplicația android PandaSays, care are un model de învățare automată care prezice starea afectivă a copilului din ceea ce desenează. Pentru obținerea unei acurateți mai mari, s-a folosit transferul de învățare folosind librăriile Tensorflow [27] și Keras [28]. A fost ales modelul construit cu rețeaua neuronală MobileNet [29] pentru a fi încorporat în aplicație.

Baza de date curentă conține 1453 de desene ( pornind de la 597 de desene). Setul de date a fost împărțit în 25% pentru test și 75% pentru setul de antrenare. Numărul de epoci a fost 30, iar dimensiunea lotului a fost 16. Acuratețea modelului antrenat cu VGG16 a fost 35% și a fost subantrenat. Acuratețea obținută prin antrenarea cu modelul MobileNet, a fost 58%, care a fost mai mică decât modelul actualizat - 84.583%. Acuratețea obținută folosind rețeaua neuronală Feedforward, a fost 28.3333%. Modelul anterior din aplicație a fost înlocuit cu cel actualizat, dar construit tot cu MobileNet. Ca și greutate, a fost folosit setul de date “imagenet” [30].

Pentru evaluarea modelului, a fost aplicată validarea încrucișată de K-ori, unde K este egal cu 10.



Dimensiunea lotului a fost 32 și modelul a fost antrenat pentru 50 de epoci. Metricile obținute au fost acuratețea și pierderea. Acuratețea pentru antrenarea de 10 ori este prezentată în Figura 8. Acuratețea și pierderea pentru setul de antrenare sunt ilustrate cu culoarea albastră, iar cele pentru setul de test sunt ilustrate cu culoarea magenta.

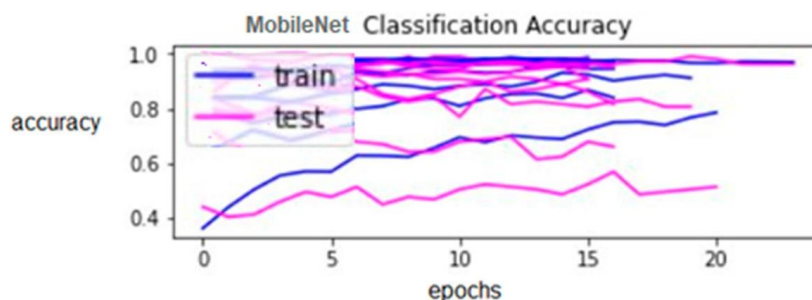


Fig.8. Acuratețea modelului MobileNet.

Deviația standard a modelului ResNet-50 a fost de 0.030, mai mică față de deviația standard a rețelei MobileNet (0.14). Acuratețea medie a modelului ResNet-50 a fost reprezentată de valoare de 28.463%, care este mai mică decât cea a rețelei MobileNet - 84.583%. Pierderea medie a rețelei MobileNet - 0.3756 este mai mare decât cea a rețelei ResNet-50, care are valoarea de 1.555.

VGG16 a obținut o deviație standard de 0.085 și o acuratețe medie de 59.867%. Această deviație standard este mai mică decât cea a rețelei MobileNet (0.14) și totodată și acuratețea. Pierderea medie a rețelei VGG16 a fost 1.006, care este mai mare față de cea obținută cu rețeaua MobileNet și mai mică față de cea a rețelei ResNet-50.

#### 4.5.Seriile Alpha 1 Protocolul de Comunicare Bluetooth

În această secțiune va fi introdus protocolul de comunicare Bluetooth. Alpha 1 Pro poate fi programat prin Bluetooth folosind Protocolul de Comunicare Bluetooth [31].

Alpha 1 Pro (1P) este un robot umanoid, programat folosind PRP (Ipostază, Înregistrare și Redare), care este folosit pentru amuzament și pentru educație. Robotul conține 16 articulații servo de înaltă precizie, un soft vizual 3D și funcții PRP (Ipostază, Înregistrare și Redare), ce sunt controlate de către aplicațiile Android sau iOS.

În Figura 9, este prezentat modul cum imaginea este procesată de către algoritmul de învățare automată din aplicația PandaSays, cum este încărcată în baza de date Firebase, și cum rezultatul, reprezentând una din stările: tristețe, fericire, nervozitate, nesiguranță și frică, este trimis către robot pentru a executa o acțiune specifică.

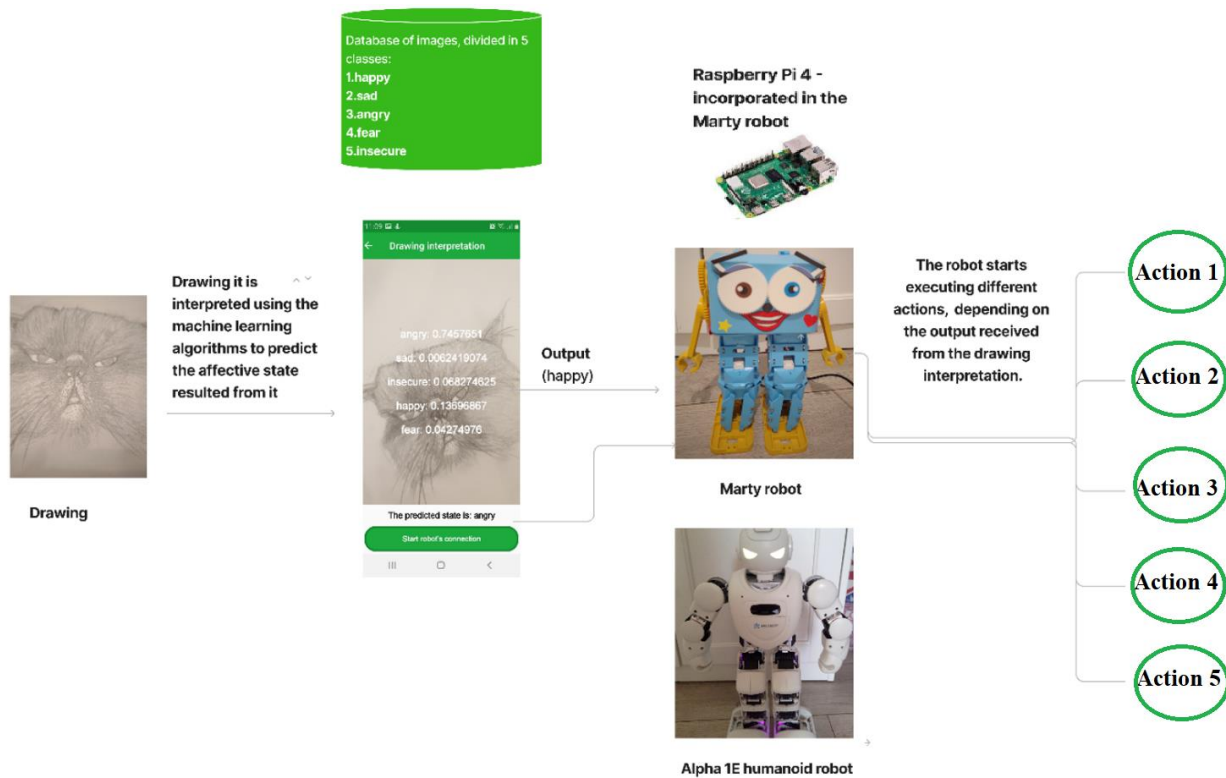


Fig.9. Fluxul aplicației android PandaSays

#### 4.5.1. Stabilirea comunicării prin Bluetooth folosind Python

Pentru a permite accesul către resursele sistemului prin Bluetooth pe calculatoarele GNU/Linux va fi folosită extensia Python – PyBluez [32].

Modulul PyBluez pune la dispoziție o interfață socket de nivel înalt pentru stabilirea conexiunii între două dispozitive cu Bluetooth. Unul acționează ca și un client, iar celălalt ca și server. În cazul nostru, Raspberry Pi reprezintă serverul, iar Alpha 1P este clientul. Pentru a obține informația despre robotul Alpha 1P, comanda “info” va fi folosită (Figura 10). Această informație este necesară pentru realizarea conexiunii client-server.

```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
[bluetooth]# info 88:1B:99:0C:23:0F
Device 88:1B:99:0C:23:0F (public)
  Name: Alpha1_230F
  Alias: Alpha1_230F
  Class: 0x00240404
  Icon: audio-card
  Paired: yes
  Trusted: yes
  Blocked: no
  Connected: no
  LegacyPairing: no
  UUID: Serial Port (00001101-0000-1000-8000-00805f9b34fb)
  UUID: PnP Information (00001200-0000-1000-8000-00805f9b34fb)
  Modalias: bluetooth:v0039p5050d0120
  ManufacturerData Key: 0x4d42
  ManufacturerData Value:
37 37 77

```

Fig.10. Obținerea de informație despre robotul Alpha 1P

#### 4.5.2. Stabilirea comunicării seriale prin Bluetooth între Rapsberry Pi și robotul Alpha 1P, folosind o aplicație SPP

Pentru stabilirea conexiunii prin Bluetooth și pentru trimiterea mesajelor către robotul Alpha 1Pro, a fost folosit telefonul android Samsung Note 9 și aplicația pentru telefon BlueSPP [33]. Figura 11 prezintă comunicarea dintre server și client.

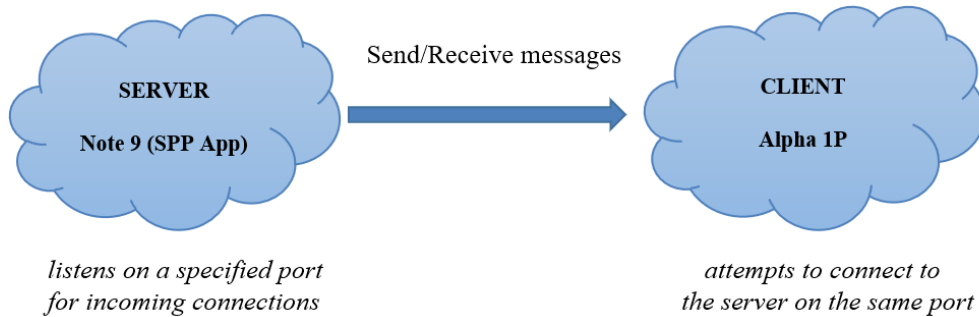


Fig.11. Comunicarea client-server

Potrivit Protocolului de Comunicare prin Bluetooth, robotul poate executa numeroase acțiuni cum ar fi mișcarea piciorului, a brațului, mișcare înainte, înapoi și alte mișcări.

#### 4.6. Comparație între timpii de comunicare ai dispozitivelor candidate

Aplicația android BlueSPP este o aplicație de comunicare Profil Port Serial. Dispozitivul folosit a fost Samsung S10+. Un ceas digital a fost ales pentru măsurarea timpului. Conexiunea dintre robotul Alpha 1P, folosind aplicația BlueSPP, a fost realizată în 3.8 secunde. Tabelul 4.1 arată timpii de realizare a conectivității cu robotul pe fiecare dispozitiv prezentat. Cel mai bun timp a fost atins folosind dispozitivul Raspberry Pi (3.23 secunde), urmat de aplicația BlueSPP cu 3.8 secunde. Timpul cel mai mare de conectivitate prin Bluetooth, a fost reprezentat de aplicația nativă a robotului Alpha 1P.

The lower time was represented by the Alpha 1 robot mobile application.

Table 4.1 Rezultatele timpilor de realizare a conexiunii pentru dispozitivele Raspberry Pi, Alpha 1 și aplicația android BlueSPP.

Dispozitiv/Aplicație	Raspberry Pi/Librăria PyBluez	Aplicația Android Alpha 1	Aplicația Android BlueSPP
Timpul de conexiune cu robotul Alpha 1P (secunde)	3.23	28.18	3.8
Versiunea Bluetooth	Bluetooth 2.0	Bluetooth 5.0	Bluetooth 5.0
Versiunea Bluetooth a robotului Alpha 1P	Bluetooth 3.0/4.0 BLE + EDR		

Abreviații: BLE = Bluetooth energie scăzută; EDR = rata de date îmbunătățită.

#### 4.7. PandaSays Mobile Application and Accessibility Integration

Un procent de 15% din populația lumii este reprezentată de persoane cu dizabilități, potrivit raportului dat de Organizația Mondială a Sănătății [34]. Pentru a ajuta oamenii cu dizabilități să aibe o viață normală și să aibe acces la serviciile digitale, ca o persoană sănătoasă, este foarte important ca orice aplicație software să fie accesibilă. Sunt două aplicații de accesibilitate pentru citirea ecranelor: “VoiceOver”, ce reprezintă cititorul de ecrane pentru aplicațiile cu sistem de operare iOS și “TalkBack” – cititor de ecrane pentru dispozitivele pe android.

În Tabelul 4.2 este prezentată o comparație între aplicația pentru mobil PandaSays și alte aplicații create pentru copiii cu autism. Așa cum se poate observa din acest tabel, fiecare aplicație este focusată fie pe terapia prin muzică, fie pe îmbunătățirea comunicării folosind Text-în-Voce. PandaSays încorporează toate aceste funcționalități într-o singură aplicație și alte funcționalități, cum ar fi prezicerea stării afective a copilului și modulul de robot. Mai mult, unele aplicații, create pentru copiii cu autism sau care au afecțiuni de vorbire, nu sunt accesibile, ceea ce le face a fi nepotrivite pentru copiii care au afecțiuni vizuale, de vorbire sau de auz.

Table 4.2 Comparație între aplicația android PandaSays și alte aplicații pentru autism

Aplicații Android	Avantaje	Integrarea Accesibilității	Ghiduri de accesibilitate	Dezavantaje
PandaSays	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulul de desenare</li> <li>• Prezicerea stării afective a copilului din ceea ce desenează.</li> <li>• Integrarea terapiei prin muzică.</li> <li>• Modul de Realitate Augmentată.</li> <li>• Modulul Text-În-Voce</li> <li>• Modulul de limbaj prin semne</li> <li>• Validarea desenului prin folosirea algoritmilor de învățare automată.</li> <li>• Modulul de robot.</li> <li>• Nu conține reclame sau un plan cu subscripție.</li> </ul>	Da	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urmărește ghidul de accesibilitate privind rolul titlului, rolul butoanelor, font, mesaje de eroare și imagini.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesită o bază de date mare de desene pentru a îmbunătăți algoritmul de învățare automată pentru prezicerea stării afective.</li> </ul>
Terapie prin muzică pentru autism [35]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conține funcționalitate de muzică.</li> <li>• Creată pentru a îmbunătăți comunicarea.</li> </ul>	Da	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Are imagini care nu au descriere în aplicație.</li> <li>• Butoanele nu sunt anunțate ca și butoane.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu urmărește ghidul de accesibilitate.</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu este susținută de un psiholog sau de cercetare.</li> <li>• Conține reclame.</li> </ul>
Speech Blubs: Terapia Limbajului [36]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Text-În-Voce</li> <li>• Creată pentru copiii cu autism pentru a ajuta copiii cu autism să vorbească și să învețe cuvinte noi.</li> <li>• A primit premiul de “Impact Social”.</li> </ul>	Da	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titlul nu este anunțat ca și “titlu”</li> <li>• Conține imagini fără descriere.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesită un plan de subscripție.</li> <li>• Trebuie îmbunătățită funcționalitatea de accesibilitate.</li> </ul>

#### 4.8. Concluzii

Roboții umanoizi joacă un rol important în ajutarea copiilor diagnosticați cu autism. Așa cum unele studii au demonstrat că unii copii sunt mai predispuși să interacționeze cu un robot decât cu o părinții lor, doctorii sau cu tutorii. Roboții pot învăța copiii cum să își exprime sentimentele, cum să comunice mai bine și să relaționeze cu alți copii. Comunicarea cu robotul este una dintre părțile importante ale aplicației PandaSays.

Contribuțiile aduse acestui capitol sunt:

- În acest capitol a fost prezentat faptul că cel mai bun model antrenat a fost cu MobileNet, obținând o acuratețe de 84.583%.
- Stabilirea unei metode de a conecta robotul Alpha 1 Pro cu aplicația android PandaSays, utilizând protocolul de comunicare prin Bluetooth.
- Dezvoltarea unui modul de robot care folosește protocoalele de comunicare ale robotului pentru stabilirea conexiunii cu aplicația PandaSays, ce va fi folosită ulterior pentru a controla robotul și pentru a trimite răspunsul algoritmului de învățare automată, pentru a executa o anumită acțiune.
- Crearea modului de Python pentru stabilirea comunicării client-server.
- Executarea configurației dintre Raspberry Pi protocolul de comunicare prin Bluetooth al robotului, utilizat pentru măsurarea latenței și a timpului de conectivitate.
- Eficacitatea utilizării dispozitivului Raspberry Pi cu PyBluez pentru crearea unei conexiuni client-server, care a avut cea mai joasă latență (3.66 secunde) și cel mai mic timp de conexiune de 3.23 de secunde, ce fost mai rapidă față de conexiunea prin Bluetooth cu alte dispozitive cum ar fi aplicație BlueSPP.
- Evidențierea importanței roboților umanoizi pentru ajutarea copiilor diagnosticați cu autism.
- Importanța accesibilității în aplicație.
- Comparatie între aplicația PandaSays și alte aplicații pentru Android.

Rezultatele aceste cercetări prezentate în acest capitol au fost publicate în următoarele lucrări:

- *“Popescu, A.-L.; Popescu, N.; Dobre, C.; Apostol, E.-S.; Popescu, D. IoT and AI-Based Application for Automatic Interpretation of the Affective State of Children Diagnosed with Autism. Sensors 2022, 22, 2528. <https://doi.org/10.3390/s22072528>. WOS:000781611200001”*

- “Popescu, A.-L.; Popescu, N. *Drawing Interpretation Using Neural Networks and Accessibility Implementation in Mobile Application*. *Computation* 2022, 10, 202, WOS:000894595500001. <https://doi.org/10.3390/computation10110202>.

## CHAPTER 5. Sistem îmbunătățit pentru persoanele cu autism

### 5.1. Terapia bazată pe muzică

În acest capitol este prezentat fluxul îmbunătățit cu actualizări al aplicației PandaSays și experimentele care validează această soluție. Capitolul curent este împărțit în 4 secțiuni: Introducere, Aplicație PandaSays – funcționalitatea de muzică, Studiu de caz folosind aplicația PandaSays și roboții Marty și Alpha 1P și Concluziile.

De lungul anilor, numeroase studii au demonstrat faptul că roboții umanoizi pot ajuta copiii diagnosticați cu autism și pot îmbunătăți aptitudinile lor sociale și de comunicare. Mai mult, școlile au adoptat roboții umanoizi ca și instrument de învățare. Un alt punct important este folosirea Terapiei prin Muzică pentru ajutarea oamenilor să-și îmbunătățească aptitudinile de comunicare și să depășească provocările emoționale. Prin muzică, terapeuții ajută copiii diagnosticați cu autism să-și îmbunătățească aptitudinile lor sociale și să își scadă nivelul de anxietate [37]. De asemenea, studiile clinice au arătat că muzica poate fi folosită ca o alternativă de tratament pentru demență, depresie, autism, așa cum va fi arătat ulterior în această secțiune.

Studiul “Identificarea îmbunătățită prin muzică a emoțiilor faciale la copiii cu tulburări de spectru autist: un studiu pilot EEG”, prezintă un studiu pilot care expune utilizarea muzicii ca o tehnică de îmbunătățire a recunoașterii emoțiilor pentru copiii cu autism. Sesiunile au durat 15 minute. În acest studiu au participat 25 de copii, cu vârsta medie de 8.8 ani [38]. Participanții au fost împărțiți astfel: 14 în grupul pentru experiment, iar 11 în grupul de control. Au fost prezentate copiilor imagini ale expresiilor faciale, reprezentând patru emoții: fericire, tristețe, nervozitate și frică. Imaginile au fostacompaniate de muzică. Ca rezultat, acuratețea răspunsurilor privind indentificarea emoțiilor a crescut la 26% pentru grupul experimental. Mai mult, răspunsurile emoționale ale grupului experimental au demonstrat o legătură mai mare cu stimulii emoționali. Studiul a concluzionat faptul că muzica poate fi folosită pentru detectarea emoției în expresiile faciale și pentru inducerea emoției.

Articolul [39] prezintă o aplicație desktop și o aplicație pentru telefon inteligent care are ca și funcționalități: redarea cântecelor și schimbarea lor în funcție de dispoziție. Aplicația se focusează pe analizarea expresiilor faciale și monitorizarea acestora. Scopul acestei aplicații este să ajute pacienții cu tulburări de dispoziție sau cu forme de boli neurologice, folosind terapia prin muzică. Cu ajutorul unei camere, aplicația surprinde expresiile faciale, interpretează starea, iar apoi comunică cu modulul de muzică. Modelul de învățare automată a fost antrenat folosind SVM. Proiectarea sistemului aplicației conține trei pași: detectarea feței, interpretarea stării și predicția emoției. A fost adusă o îmbunătățire a modelului, folosind modele de formă Activă (ASM). Modulul de muzică conține 6 melodii ce corespund stărilor. Acuratețea obținută a fost 60%. Cel mai greu a fost de prezis modul “dezgustat”.

Lucrarea “Efectele terapiei prin muzică asupra semnelor vitale ale copiilor cu boli cronice”, a investigat implicațiile terapiei prin muzică asupra semnelor vitale ale copiilor din spitale [40]. Au fost 377 de sesiuni muzicale, reprezentând 177 terapii active și 200 terapii receptive. În departamentul de ICU, s-a observat o îmbunătățire a ritmului cardiac – a fost redus cu 17.9 bătăi pe minut. Pentru a investiga efectele muzicii asupra saturației de oxigen, ritmului cardiac și presiunii arteriale, au fost investigate protocoalele de terapie prin muzică. Au fost între două și patru sesiuni pe săptămână. Saturația de oxigen a fost mai mare înainte de susținerea terapierilor prin muzică. La SCU, presiunile distolice ale sângelui au fost mai mici înainte de sesiunea de terapie prin muzică, iar după sesiune au început să crească. Rezultatele au concluzionat faptul că sesiunile de terapie prin muzică au dus la creșterea saturației de oxigen și la scăderea ritmului cardiac, ajutând copiii să fie mai relaxați și să scape de anxietate.

Terapia prin muzică reprezintă un subiect important pentru ajutarea copiilor diagnosticați cu autism și pentru ajutarea lor să își exprime sentimentele. În acest context, în aplicația PandaSays, a

fost introdus modulul de muzică, pentru a crea o soluție mai complexă pentru copiii diagnosticați cu autism.

## 5.2. Aplicația mobilă PandaSays – funcționalitatea muzicală

În articolele noastre anterioare [41] și [42], am vorbit despre comunicarea între aplicația pentru mobil PandaSays și următorii roboți: robotul umanoid Alpha 1P, de la compania Ubtech și robotul Marty. Starea rezultată folosind algoritmul de învățare pe desen, este trimisă mai departe la robot, unde câteva acțiuni preconfigurate vor fi executate, în funcție de starea afectivă a copilului. Numeroase studii au demonstrat faptul că terapia prin muzică poate ajuta copiii diagnosticați cu autism să comunice mai bine și să-și îmbunătățească aptitudinile sociale. Datorită importanței terapiei prin muzică, a fost introdusă muzica clasică în aplicația pentru telefon PandaSays, și, în acest context, un nouă funcționalitate a fost dezvoltată.

### 5.2.1. Prezentarea modulului de muzică al aplicației PandaSays

În Figura 12, este prezentat fluxul aplicației PandaSays cu modulul de muzică. Desenul este trimis la modulul de Interpretare a Desenului, unde este obținută starea afectivă. În continuare utilizatorul are două opțiuni: să acceseze direct modulul de Muzică, unde va fi redat automat un cântec de muzică clasică sau să selecteze modulul de Robot. Atunci când starea este trimisă la modulul de Robot, robotul va începe să execute diferite acțiuni, în funcție de rezultatul primit de la algoritmul de învățare automată și va începe să redea un cântec.

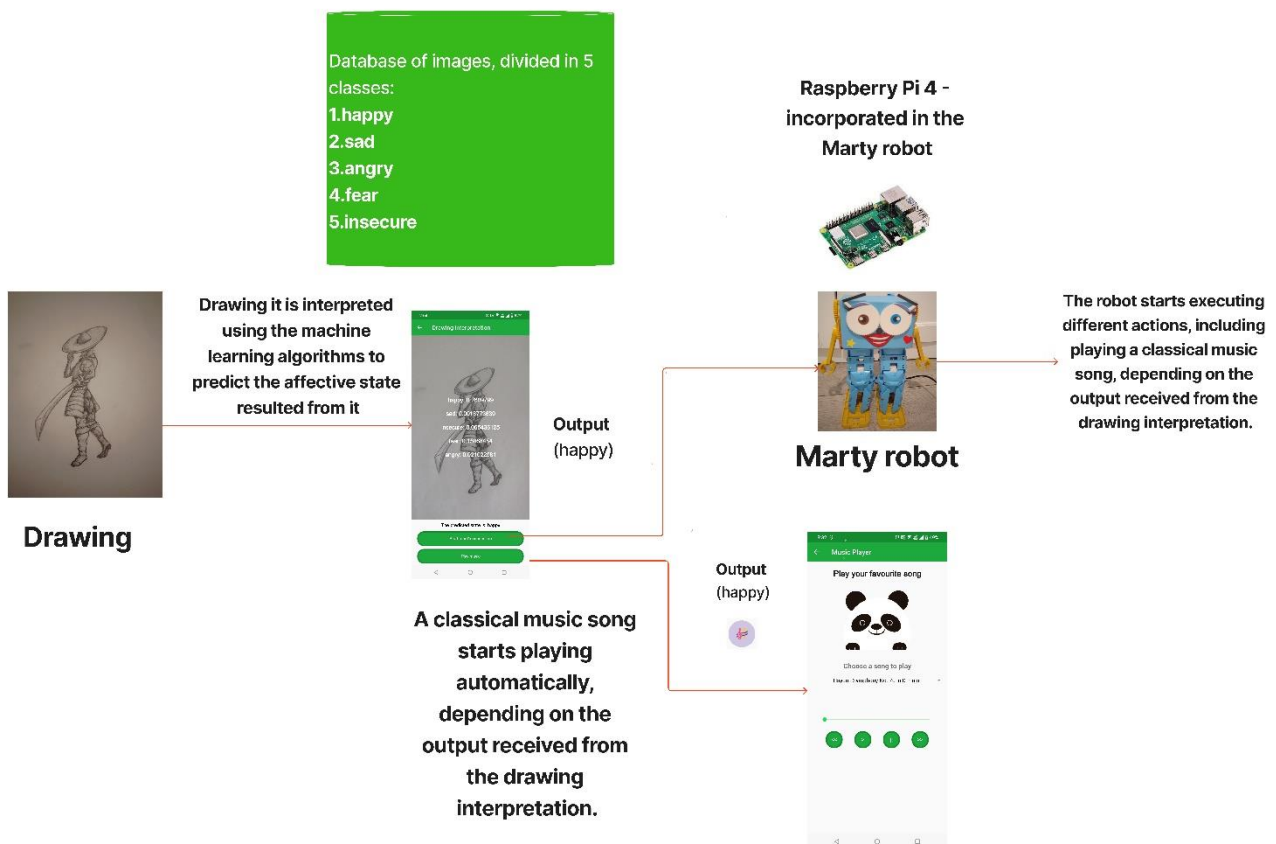


Fig.12. Fluxul aplicației PandaSays cu modulul de Muzică integrat



Pentru a reda un cântec specific, a fost folosit modulul “pygame”. A fost implementată o metodă numită “play\_song”, care caută dispozitivele audio, care au Bluetooth-ul activat, iar atunci când găsește unul, va începe să redea cântecul, în funcție de starea obținută de la modulul de Desen.

### 5.2.2. Accesibilitatea modulului de muzică al aplicației PandaSays

Aplicația continuă să urmeze regulile și ghidurile de accesibilitate. Titlul “Redă cântecul tău favorit”, are rolul de “titlu”, fiind primul element care este citit atunci când se ajunge pe ecran. Celelalte elemente de pe ecran sunt focusabile și toate au descriere pentru a ajuta utilizatorul să navigheze ușor în aplicație. Mesajele de eroare sunt, de asemenea, arătate utilizatorului în cazul în care o eroare este returnată de la server, iar mesajul este citit clar de către serviciul de accesibilitate, iar culoarea este potrivită, urmând ghidurile de accesibilitate.

### 5.3. Studii de caz folosind aplicația PandaSays și roboții Alpha 1P și Marty

Mihnea a fost diagnosticat cu autism la vârsta de 3 ani, iar acum a împlinit 8 ani. Merge la terapie, la un centru special pentru copiii cu autism. Copilul, în mare, realizează doar mâzgălituri, și nu o figură specifică sau un element ca și o casă, copaci și altele asemenea. Algoritmii de predicție al aplicației PandaSays a fost testat pe numeroase desene ale copilului. Un punct important de menționat aici este acela că, nu orice copil diagnosticat cu autism poate desena, această cauză putând fi legată de problemele motirii și de comportamentul repetitiv specifice autismului.

După ce copilul a terminat desenul, acesta este trimis spre interpretare de către Modulul de Interpretare a Desenului din aplicație, așa cum se poate observa în Figura 13. Algoritmii prezis primul desen ca reprezentând starea de “nesiguranță”, cum se observă în poza (a), cu 88% acuratețe.

În secțiunea (b) a Figurii 13, rezultatul algoritmului de învățare automată este reprezentat de starea de “fericire” cu 54% acuratețe, având pe a doua poziție starea de “frieB”, cu 40% acuratețe.

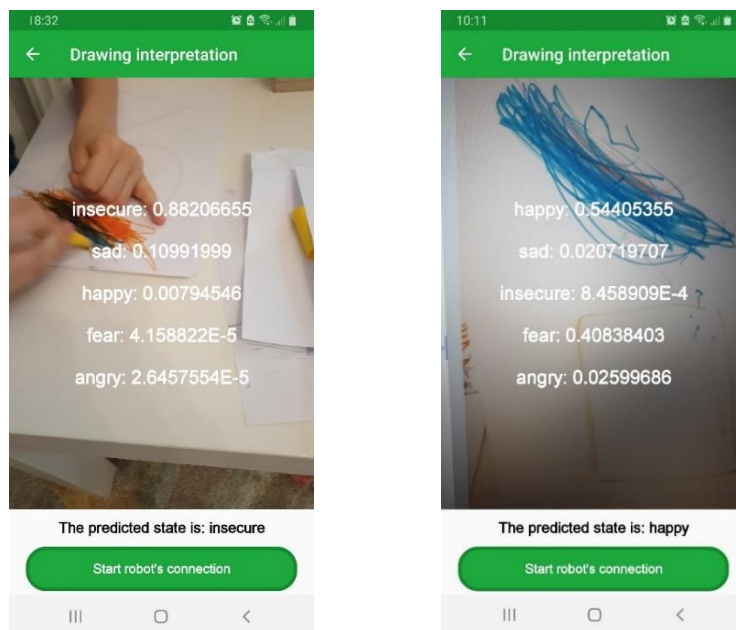


Fig.13. (a) prezicerea stării afective de “nesiguranță” atunci când copilul desena; (b) prezicerea stării afective de “fericire” a desenului copilului

După ce algoritmul a interpretat desenul, utilizatorul are posibilitatea de a stabili o conexiune cu unul dintre roboții încorporați în aplicație: Marty sau Alpha 1P.

Andrei are șase ani și de doi ani a început să meargă la terapie în Germania. Copilul vorbește limba germană și foarte puțin limba română. Am realizat o ședință la distanță cu Andrei, pentru a observa interacțiunea sa cu robotul umanoid Alpha 1P și cu robotul Marty. A fost foarte entuziasmat și fericit, văzând robotul Alpha 1P dansând. Lui Andrei îi place să deseneze, iar interpretarea desenului său este arătată în Figura 14, unde se poate observa starea sa afectivă de “fericire” cu 70% acuratețe.



Fig.14. Predicția stării din desen

#### 5.4. Fluxul aplicației cu Alpha 1E/Alpha 1P

În capitolul 4 am vorbit despre stabilirea comunicării prin Bluetooth între Raspberry Pi și robotul Alpha 1P. În Figura 15, este prezentat fluxul aplicației folosind robotul umanoid Alpha 1E și Alpha 1P. Atunci când se apasă pe butonul “Conectează robotul”, o altă aplicație va fi lansată printr-un Intent și conexiunea cu robotul se va face prin Bluetooth. Roboții vor începe să execute acțiuni specifice, depinzând de rezultatul primit de la Modulul de Interpretare a Desenului. Pentru realizarea unei noi aplicații, a fost folosită librăria “kivy” [43] și versiunea 3.9 a limbajului Python. Aplicația nu conține niciun esport. Scopul său principal este de a realiza conexiunea cu robotul prin Bluetooth și începerea realizării unor acțiuni.

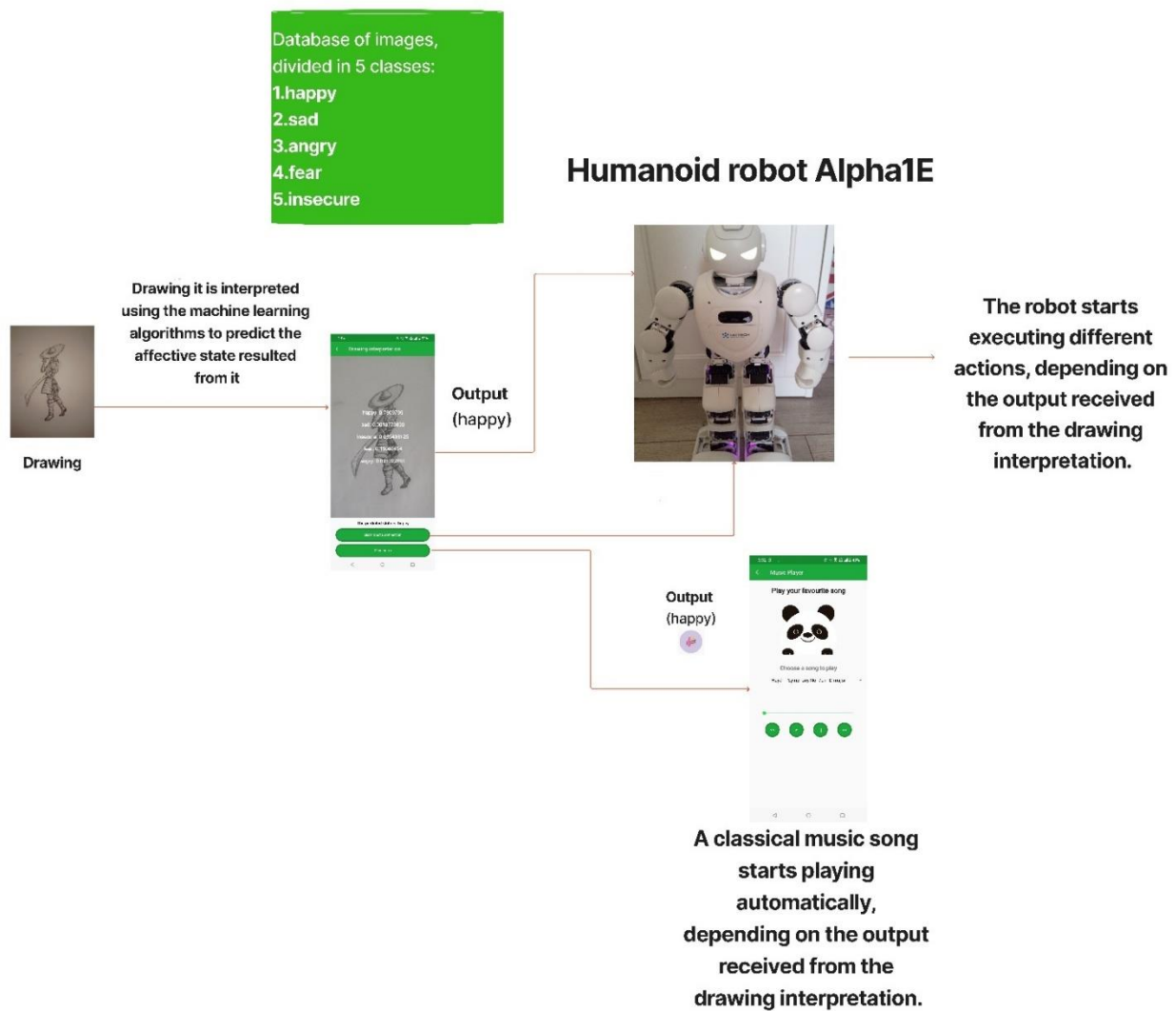


Fig.15. Fluxul cu roboții Alpha 1E/Alpha 1P

Conexiunea a fost realizată în 3.24 de secunde. Pentru Alpha 1P, timpul de realizare al conexiunii a fost 3.23 de secunde, așa cum a fost descris în Capitolul 4.

## 5.5. Concluzii

Terapia prin muzică este un factor important în ajutarea copiilor diagnosticați cu autism. Numeroase articole au demonstrat utilitatea sa.

În această secțiune am încercat să arătăm de ce am ales integrarea modului de Muzică în aplicația PandaSays. Utilizatorul poate alege să realizeze direct conexiunea la robot sau să asculte o melodie de muzică clasică sau să acceseze direct modulul de Muzică, pe baza stării afective rezultate din algoritmul de învățare automată.

## CHAPTER 6. Concluzii

### 6.1. Remarci finale

Autismul este o tulburare de neurodezvoltare care nu poate fi vindecată în întregime. Diagnosticarea autismului de la o vârstă fragedă poate ajuta copiii să se integreze mai bine în societate și să își dezvolte aptitudini sociale.

Așa cum a fost prezentat în această teză, numeroase lucrări aferente au demonstrat că un copil interacționează mai bine cu un dispozitiv, fie că este o tabletă, telefon sau un robot. În acest context, a fost dezvoltată aplicația PandaSays. Aplicația funcționează pe telefoanele și tabletele cu android, iar conexiunea cu robotul Marty este disponibilă doar în cadrul aplicației android, în timp ce conexiunea cu roboții umanoizi Alpha 1E și Alpha 1P poate fi lansată separat pe alte sisteme de operare cum ar fi iOS sau Web. Pentru a crea un sistem integrat, am ales să prezentăm fluxul aplicației pe un dispozitiv pe android.

În capitoulul al doilea am prezentat dispozitivele conexe relevante, împreună cu instrumentele pentru predicția stării afective a copilului care a fost diagnosticat cu autism și pentru îmbunătățirea comunicării cu părinții și cu tutorii.

Instrumentele de verificare sunt folosite pentru diagnosticarea autismului, pentru depistarea comportamentelor și a aptitudinilor sociale, dar ele pot diagnostica greșit autismul, întrucât aceste teste sunt afectate de datele obținute de la oameni care au alte boli neurologice.

Dispozitivele portabile sunt caracterizate prin costul mare de achiziție, accesul limitat la acestea și timpul mare de consum, întrucât informațiile trebuie strânse după ce copilul a fost monitorizat și trimise mai departe la o analiză mai riguroasă. Mai mult, unele dintre aceste dispozitive nu sunt potrivite pentru a fi folosite de către copii, sau, prin încercarea de a face copilul să le poarte, îl poate face pe acesta să devină nervos sau anxios.

Dispozitivele de urmărire a privirii, ca și cele portabile, au un cost mare de achiziție și sunt disponibile în facilități medicale sau în clinici speciale. Aceste dispozitive pot detecta autismul după vârsta de opt ani, iar principalul scop este detectarea autismului cât mai repede. Soluțiile bazate pe jocuri pentru diagnosticarea autismului au avantajul de a fi interactive și de a dezvolta aptitudinile sociale ale copiilor. Soluțiile bazate pe roboți au demonstrat faptul că folosirea roboților umanoizi poate ajuta copilul să învețe noi limbi străine, matematică, limbajul prin semne sau vocabular.

Considerând toate aceste soluții descrise în această teză, în urma investigării, putem să afirmăm cu convingere și să demonstrăm experimental că soluția propusă nu există în prezent și aduce eficiență și rezolvare unei probleme stringente în lucrul cu copiii suferind de autism.

În capitolul al treilea, am început să facem experimente legate de cel mai bun model pentru a fi introdus în aplicație. Am concluzionat faptul că modelul MobileNet a fost cel mai bun, întrucât are mai puțini parametri decât VGG16 și ResNet și este mai mic față de celelalte menționate. Mai mult, acuratețea obținută în urma antrenării modelului construit cu MobileNet, a fost 58%, mai mare decât cea a modelului construit cu VGG16 – 35%. De menționat faptul că baza de date a fost crescută constant.

În al patrulea capitol, am continuat să actualizăm modelul de învățare automată, întrucât baza de date a atins 1453 de desene. Noua acuratețe obținută cu rețeaua MobileNet a fost 84.583 %, iar pentru VGG16 – 56.25%. După ce am avut un model stabil de învățare automată, am început să realizăm conexiunea prin Bluetooth cu roboții Alpha 1E și Alpha 1P și prin adresa IP pentru robotul Marty. Aplicația a fost folosită de unul din copiii diagnosticați cu autism, așa cum este descris în capitolul al cincilea, iar rezultatele au fost: desenul copilului a reflectat starea de “fericire” și i-a plăcut să se joace cu robotul.

Al cincilea capitol a propus să facă o introducere despre terapia prin muzică și să prezinte avantajele utilizării acesteia pentru copiii diagnosticați cu autism. În acest context am integrat modulul de Muzică, cuprinzând 5 melodii din muzica clasică care sunt cunoscute ca fiind utile pentru copiii cu autism.

## 6.2. Contribuțiile tezei

Așa cum au arătat experimentele, contribuțiile prezentate de către această teză pot fi considerate relevante pentru soluțiile de eHealth dedicate evaluării automate a stării afective și pentru suportul copiilor diagnosticați cu autism. Acestea sunt prezentate mai jos:

- A fost realizată o analiză critică a tehnologiilor folosite pentru dezvoltarea aplicațiilor create pentru persoanele diagnosticate cu autism. În acest scop, au fost prezentate cele mai relevante tehnologii pentru comunicare și pentru evaluarea stării afective a copilului diagnosticat cu autism.
- A fost dezvoltată o aplicație de evaluare a stării emoționale a copiilor pe baza desenelor realizate de ei. Soluția este bazată pe tehnici de învățare automată. Algoritmul folosește rețelele neuronale MobileNet pentru evaluarea stării afective a copilului în funcție de desenul său, fără a fi nevoie de un psiholog certificat, întrucât baza de date este deja validată de către unul.
- A fost dezvoltată o soluție completă și cuprinzătoare ce conține șapte module: Modulul de Desenare, Modulul de Interpretare a Desenului, Modulul de terapie prin Muzică, Modulul de Realitate Augmentată, Modulul Text-În-Voce, Modulul Limbajului prin semne și modulul de Robot.
- A fost realizată o comparație între rețelele neuronale MobileNet, VGG16, ResNet și Feedforward, pentru a găsi cel mai potrivit model pentru aplicația PandaSays. Am analizat scorul F1, recall-ul, precizia și acuratețea.
- A fost realizată integrarea robotului umanoid în aplicație prin comunicarea prin Bluetooth, pentru a face aplicația mai interactivă și mai antrenantă pentru copil.
- A fost realizată evaluarea importanței accesibilității pentru copiii diagnosticați cu autism sau cu afecțiuni vizuale, de vorbire sau de auz și integrarea acesteia în aplicație, respectând regulile de accesibilitate.
- S-a efectuat o analiză a studiilor referitoare la terapia prin muzică; în acest context, au fost selectate piese clasice relevante pentru a fi integrate în aplicația PandaSays.
- Au fost dezvoltate o funcționalități diversificate pentru persoanele cu autism, bazate pe aspecte care pot îmbunătăți comportamentul și pot determina o evaluare mai bună a stării emoționale aducând, totodată, bune beneficii terapeutice.

## 6.3. Acțiuni viitoare

Dezvoltarea aplicației PandaSays a deschis o cale promițătoare pentru cercetare. Ca și îmbunătățiri pentru viitor, următoarele aspecte pot fi menționate:

- Îmbunătățirea modelului de învățare automată.
- Creșterea bazei de date de desene și validarea acesteia.
- Aplicarea soluției în mai multe centre de autism pentru a o îmbunătăți, în funcție de analiza rezultatelor în diferite cazuri.
- Testarea aplicației cu roboții în școli și la numeroase evenimente unde sunt prezenți copii.
- Dezvoltarea aplicației pentru alte sisteme de operare cum ar fi iOS și Web.
- Mai multe teste vor fi realizate în cazul folosirii robotului, creând o legătură mai puternică cu modulul de Muzică.
- Continuarea modulului de Realitate Augmentată, prin crearea unui joc.
- Randarea unui spațiu specific în realitatea virtuală, în funcție de algoritmul de învățare automată pentru interpretarea desenului.
- Traducerea aplicației în limba germană, întrucât s-a cerut acest lucru de către comunitatea din Germania, implicată în dezvoltarea terapiilor pentru autism.

## Lista de Publicații

### Lucrări publicate la conferințe științifice:

1. L. Popescu and N. Popescu, "Machine Learning based Solution for Predicting the Affective State of Children with Autism," 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iasi, Romania, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/EHB50910.2020.9280194, WOS:000646194100068.
2. A. L. Popescu and N. Popescu, "A critical analysis of the technologies used for development of applications dedicated to persons with autism spectrum disorder," 2020 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet), Bucharest, Romania, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/RoEduNet51892.2020.9324880. WOS:000654265900029
3. A. -L. Popescu and N. Popescu, "Neural networks - based solutions for predicting the affective state of children with autism," 2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), Bucharest, Romania, 2021, pp. 93-97, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00023.

### Lucrări publicate în jurnale științifice:

1. Popescu, A.-L.; Popescu, N.; Dobre, C.; Apostol, E.-S.; Popescu, D. IoT and AI-Based Application for Automatic Interpretation of the Affective State of Children Diagnosed with Autism. *Sensors* 2022, 22, 2528. <https://doi.org/10.3390/s22072528>. [WOS:000781611200001](https://www.scopus.com/search/form.do?rankedQ2=1&rankedQ1=1&rankedQ3=1&rankedQ4=1&rankedQ5=1&rankedQ6=1&rankedQ7=1&rankedQ8=1&rankedQ9=1&rankedQ10=1&rankedQ11=1&rankedQ12=1&rankedQ13=1&rankedQ14=1&rankedQ15=1&rankedQ16=1&rankedQ17=1&rankedQ18=1&rankedQ19=1&rankedQ20=1&rankedQ21=1&rankedQ22=1&rankedQ23=1&rankedQ24=1&rankedQ25=1&rankedQ26=1&rankedQ27=1&rankedQ28=1&rankedQ29=1&rankedQ30=1&rankedQ31=1&rankedQ32=1&rankedQ33=1&rankedQ34=1&rankedQ35=1&rankedQ36=1&rankedQ37=1&rankedQ38=1&rankedQ39=1&rankedQ40=1&rankedQ41=1&rankedQ42=1&rankedQ43=1&rankedQ44=1&rankedQ45=1&rankedQ46=1&rankedQ47=1&rankedQ48=1&rankedQ49=1&rankedQ50=1&rankedQ51=1&rankedQ52=1&rankedQ53=1&rankedQ54=1&rankedQ55=1&rankedQ56=1&rankedQ57=1&rankedQ58=1&rankedQ59=1&rankedQ60=1&rankedQ61=1&rankedQ62=1&rankedQ63=1&rankedQ64=1&rankedQ65=1&rankedQ66=1&rankedQ67=1&rankedQ68=1&rankedQ69=1&rankedQ70=1&rankedQ71=1&rankedQ72=1&rankedQ73=1&rankedQ74=1&rankedQ75=1&rankedQ76=1&rankedQ77=1&rankedQ78=1&rankedQ79=1&rankedQ80=1&rankedQ81=1&rankedQ82=1&rankedQ83=1&rankedQ84=1&rankedQ85=1&rankedQ86=1&rankedQ87=1&rankedQ88=1&rankedQ89=1&rankedQ90=1&rankedQ91=1&rankedQ92=1&rankedQ93=1&rankedQ94=1&rankedQ95=1&rankedQ96=1&rankedQ97=1&rankedQ98=1&rankedQ99=1&rankedQ100=1) (ranked Q2, IF = 3.847)
2. Popescu, A.-L.; Popescu, N. Drawing Interpretation Using Neural Networks and Accessibility Implementation in Mobile Application. *Computation Journal* 2022, 10, 202. <https://doi.org/10.3390/computation10110202>. WOS:000894595500001(ranked Q2)

## Bibliografie

1. "Autism and Health: A Special Report by Autism Speaks", <https://www.autismspeaks.org/science-news/autism-and-health-special-report-autism-speaks>, accessed on 20.03.2020.
2. PandaSays android application, [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.popesc.aura\\_loredana.pandasaysnew](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.popesc.aura_loredana.pandasaysnew) (accessed on 25 March 2023).
3. Rana El Kaliouby, "Affective Computing and Autism", *Annals of the New York Academy of Sciences* 1093(1): 10.1196/annals.1382.0162006, pp. 228-248, 2007
4. MIT Media Laboratory, "Wearable Computer Systems for Affective Computing", 1997.
5. "6 WEARABLES TO TRACK YOUR EMOTIONS", <https://www.aplanforliving.com/6-wearables-to-track-your-emotions/>, accessed on 5.04.2023.
6. D P Wall, J Kosmicki, T F DeLuca, E Harstad, V A Fusaro, "Use of machine learning to shorten observation-based screening and diagnosis of autism", *Transl Psychiatry* (2012) 2, e100, doi:10.1038/tp.2012.10, pp. 1-8, 2012.
7. Ahmad Hassan, "Arab Views on Autism", ResearchGate, 10.1007/978-1-4614-6435-8\_102309-1, 2019.
8. Sushama Rani Dutta, Sujoy Datta, Monideepa Roy, "Using Cogency and Machine Learning for Autism Detection from a Preliminary Symptom", published in: 2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), pp. 331-336, 2019.
9. Sridari Iyer, Rupesh S. Mishra, Snehal P. Kulkarni, Dhananjay Kalbande, "Assess autism level while playing games", published in: 2017 2nd International Conference on Communication Systems, Computing and IT Applications (CSCITA), pp. 42-46, 2017.
10. Lian Zhang, Joshua Wade, "Cognitive Load Measurement in a Virtual Reality-Based Driving System for Autism Intervention", published in: *IEEE Transactions on Affective Computing* ( Vol. 8 , Issue: 2 , April-June 2017 ), pp. 1-14, 2017.
11. Anna Anzulewicz, Krzysztof Sobota, Jonathan T. Delafeld-Butt, "Toward the Autism Motor Signature: Gesture patterns during smart tablet gameplay identify children with autism", *Scientific Reports* vol. 6, Article number: 31107 (2016), pp. 1-13, 2016.
12. Yan Shi, Saptarshi Das, "An experimental wearable IoT for data-driven management of autism", published in: 2017 9th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), pp. 468-471, 2017.
13. Keras.io, <https://keras.io/>, accessed on 20.01.2020.
14. AutoML Vision Edge, <https://firebase.google.com/docs/ml/automl-image-labeling>, accessed on 3.06.2020.
15. ARCore, <https://developers.google.com/ar>, accessed on 8.06.2020.
16. M. A. Miskam, S. Shamsuddin, M. R. A. Samat, H. Yussof, H. A. Ainudin and A. R. Omar, "Umanoid robot NAO as a teaching tool of emotion recognition for children with autism using the Android app," 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Uman Science (MHS), 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/MHS.2014.7006084.
17. Juslin, P. N., "Cue utilization in communication of emotion in music performance: relating performance to perception", *Journal of Experimental Psychology*, 2000, 26(6), 1797-1813.
18. Rigg, M. G., "The mood effects of music: A comparison of data from four investigators". *The Journal of Psychology*, 1964, 57, 427-438.
19. J. M. Beer, M. Boren and K. R. Liles, "Robot assisted music therapy a case study with children diagnosed with autism," 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Uman-Robot Interaction (HRI), 2016, pp. 419-420, doi: 10.1109/HRI.2016.7451785.

20. A. Othman and M. Mohsin, "How could robots improve social skills in children with Autism?", 2017 6th International Conference on Information and Communication Technology and Accessibility (ICTA), Muscat, Oman, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICTA.2017.8336050.
21. J. Lee and G. Obinata, "Developing therapeutic robot for children with autism: A study on exploring colour feedback," 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Uman-Robot Interaction (HRI), 2013, pp. 173-174, doi: 10.1109/HRI.2013.6483557.
22. Kearney, Kerri & Hyle, Adrienne. (2004). Drawing out emotions: The use of participant-produced drawings in qualitative inquiry. *Qualitative Research*. 4. 361-382. 10.1177/1468794104047234.
23. A. -L. Popescu and N. Popescu, "Neural networks - based solutions for predicting the affective state of children with autism," 2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), Bucharest, Romania, 2021, pp. 93-97, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00023.
24. TensorFlow MobileNet, [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf/keras/applications/mobilenet/MobileNet](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/applications/mobilenet/MobileNet) (accessed on 27 March 2023).
25. Image Data Processing. Available online: <https://keras.io/api/preprocessing/image/> (accessed on 10 February 2023).
26. A. L. Popescu and N. Popescu, "Machine Learning based Solution for Predicting the Affective State of Children with Autism," 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iasi, Romania, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/EHB50910.2020.9280194.
27. Transfer learning with tensorflow, [https://www.tensorflow.org/tutorials/images/transfer\\_learning\\_with\\_hub](https://www.tensorflow.org/tutorials/images/transfer_learning_with_hub) (accessed on 25 March 2023).
28. Transfer learning & fine-tuning. Available online: [https://keras.io/guides/transfer\\_learning/](https://keras.io/guides/transfer_learning/) (accessed on 25 March 2023).
29. MobileNet, MobileNetV2, and MobileNetV3. Available online: <https://keras.io/api/applications/mobilenet/> (accessed on 12 February 2023).
30. Sklearn Metrics. Available online: [https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision\\_recall\\_fscore\\_support.html](https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision_recall_fscore_support.html) (accessed on 5 January 2023).
31. Alpha robot specifications, <https://downloads.ubtrobot.com/>, accessed 20.09.2021.
32. Albert Huang, Larry Rudolph, "Bluetooth for Programmers", 2005, pp. 1-30.
33. BlueSPP application, [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.shenyaoen.android.BlueSPP&hl=en\\_US&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.shenyaoen.android.BlueSPP&hl=en_US&gl=US)
34. Disability Information. Available online: [https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1) (accessed on 16 July 2022).
35. Music Therapy for Autism, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.musictherapy.forautism> (accessed on 11 April 2023).
36. Speech Blubs: Language Therapy, <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.blubblub.app.speechblubs> (accessed on 11 April 2023).
37. Lisa Jo Rudy, Music Therapy for Autistic Children, <https://www.verywellhealth.com/music-therapy-for-autism-260057>, accessed on 20.06.2022.
38. Ramirez-Melendez, R.; Matamoros, E.; Hernandez, D.; Mirabel, J.; Sanchez, E.; Escude, N., Music-Enhanced Emotion Identification of Facial Emotions in Autistic Spectrum Disorder Children: A Pilot EEG Study. *Brain Sci.* 2022, 12, 704. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060704>.
39. Y. Seanglidet, B. S. Lee and C. K. Yeo, "Mood prediction from facial video with music "therapy" on a smartphone," 2016 Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2016, pp. 1-5, doi:



10.1109/WTS.2016.7482034.

<https://people.csail.mit.edu/rudolph/Teaching/Articles/PartOfBTBook.pdf>, accessed on 15.07.2021.

40. Kobus, S.; Buehne, A.M.; Kathemann, S.; Buescher, A.K.; Lainka, E. Effects of Music Therapy on Vital Signs in Children with Chronic Disease. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 6544. <https://doi.org/10.3390/ijerph1911654>.
41. Popescu, A.-L.; Popescu, N.; Dobre, C.; Apostol, E.-S.; Popescu, D. IoT and AI-Based Application for Automatic Interpretation of the Affective State of Children Diagnosed with Autism. *Sensors* 2022, 22, 2528. <https://doi.org/10.3390/s22072528>.
42. Popescu, A.-L.; Popescu, N. Drawing Interpretation Using Neural Networks and Accessibility Implementation in Mobile Application. *Computation* 2022, 10, 202. <https://doi.org/10.3390/computation10110202>.
43. Kivy documentation, <https://kivy.org/doc/stable/guide/android.html> (accessed on 20 March 2023).