

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Batna
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Electronique

Thèse
**Reconnaissance de Forme
de Signaux Biologiques**

En vue de l'obtention du diplôme de
Docteur d'état en électronique
Option: contrôle et traitement de signal

Par
SALAMA MEGHRICHE

Jury

Président	N.E. Bougachel	Professeur (Université de Batna)
Rapporteur	M. Boulemden	Professeur (Université de Batna)
Examineur	D. Benatia	Professeur (Université de Batna)
Examineur	K. Mansour	Professeur (Université de Constantine)
Examineur	A. Benia	Professeur (Université de Constantine)
Examineur	Z. Dibi	Maitre de conférence (Université de Batna)

Année 2008

Abstract

Heart failure is the most common cause of death nowadays, but if medical help is provided directly, the patient's life may be saved in many cases. Numerous heart diseases can be detected by means of analyzing electrocardiograms (ECG).

Automatic pattern recognizers can help cardiologists in detecting heart problems. What is required at the present time is the development of autonomous processor-based systems with sufficient processing capabilities so as to detect potential abnormalities and make accurate diagnosis in order to provide early treatments. Today, we tend to rely a great deal on the application of pattern recognition techniques to help us meet such a goal.

The inclusion of artificial neural networks in the complex investigating algorithms seems to yield very interesting recognition and classification capabilities across a broad spectrum of biomedical domains. Most of the researchers used current neural network methodologies, almost invariably the multi-layer perceptron (MLP) with 'early stopping' to prevent overfitting.

In our work, we develop a method based on a compound neural network (CNN), to classify ECGs as normal or carrying an AtrioVentricular heart Block (AVB). It uses three different feed forward multilayer neural networks. Two of these networks, (NN1) and (NN2), were set in a parallel configuration in series with the third one (NN3). A single output unit encodes the probability of AVB occurrences. A value between 0 and 0.1 is the desired output for a normal ECG; a value between 0.1 and 1 would infer an occurrence of an AVB. This network was fed with measurements from one lead of the ECG.

This work has been organized into three parts. The first part is the population study. The second one is related to the preparation of digitized signal for input to the compound neural networks (CNN). Finally, the third part concerns the training and recall procedures used by the CNN in the classifying process of the presented patterns.

The performance of the CNN classifier was measured as the area under the receiver operating characteristic curves (ROC). The results show that the CNN has a good performance in detecting AVBs. The sensitivity and specificity were 92.30% and 98.39% respectively.

Résumé

Face au développement récent de la biologie moderne et de la médecine, la recherche ne peut rester indifférente aux multiples retombées que ces développements ont engendrées. En effet, plusieurs domaines ont connu l'éclosion de nouveaux concepts, qui en sont directement issus. L'une des évolutions les plus marquées, qui a été engendrée, est celle de l'introduction des réseaux de neurones dans le domaine biomédical.

Actuellement, les réseaux de neurones bénéficient de fondements théoriques solides. Avec leurs aptitudes en classification, mémorisation, filtrage et approximation, ils sont devenus un moyen très efficace. L'opération de reconnaissance de formes constitue l'une des applications les plus connues en réseaux de neurones. L'application des réseaux de neurones est donc bien destinée à assurer la reconnaissance et la classification des ondes et des anomalies dans un signal électrocardiographique ECG.

Notre travail a été organisé en trois parties. La première est l'étude de la population. La seconde est liée à la préparation du signal numérique pour son apport aux CNN (Compound Neural Network). Finalement, la troisième partie concerne le traitement et les procédures utilisées par le CNN dans le processus de classification des modèles présentés.

L'étude a été basée sur une seule dérivation notée à partir de patients pris en charge avec le diagnostic BAV, et des sujets sains sont choisis arbitrairement à partir d'une population urbaine. Des paramètres ont été choisis à partir de l'ECG et ont été mis en application comme entrées aux CNN.

Le modèle neuronal étudié est un réseau hybride formé à partir de trois réseaux de neurones de type statique multicouche. Deux de ces réseaux de neurones RN1 et RN2 sont placés dans une configuration parallèle en série avec le troisième réseau RN3. Un seul résultat de sortie code la probabilité d'occurrence de la présence d'un BAV dans le tracé ECG.

La sensibilité et la spécificité pour différents seuils ont été étudiées afin d'obtenir une courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) de caractéristiques d'efficacité du réseau. L'aire présente la performance du réseau dans l'ensemble.

Les résultats montrent que le CNN apporte une haute performance dans la détection de présence de BAV dans un ECG. Sa sensibilité et sa spécificité approchent respectivement 92,31 % et 98,39%. La valeur de sa précision est de 95,81%.

Table de matières

TABLE DE MATIERES.....	1
INTRODUCTION.....	12
CHAPITRE 1: L'ÉLECTROCARDIOGRAMME.....	6
1. SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE.....	14
1.1. Circulation artérielle et veineuse.....	14
1.2. Le cœur.....	16
1.2.1. Anatomie.....	16
1.2.2. Cellules myocardiques.....	17
1.2.3. Electrophysiologie cellulaire.....	17
1.2.4. Fonctionnement électrique.....	18
2. ELECTROCARDIOGRAPHIE.....	19
2.1. Principe de l'électrocardiographie.....	19
2.2. Bref aperçu historique.....	20
3. ELECTROCARDIOGRAMME.....	20
3.1. Définition de l'électrocardiogramme.....	20
3.2. Dérivations.....	20
3.2.1. Dérivations dans le plan frontal.....	21
3.2.2. Dérivations dans le plan horizontal.....	22
4. ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE D'UN BATTEMENT CARDIAQUE NORMAL.....	23
5. ELECTROCARDIOGRAMME NORMAL.....	24
5.1. Ondes.....	24
5.1.1. Onde P.....	24
5.1.2. Complexe QRS.....	24
5.1.3. Onde T.....	25
5.1.4. Onde U.....	25
5.2. Intervalles et Segments.....	25
5.2.1. Segments PR ou PQ-R.....	25
5.2.2. Segments ST, RST ou ST-T.....	25
5.2.3. Intervalle PR.....	25
5.2.4. Intervalle QT.....	26
5.2.5. Déflexion Intrinsicœide DI.....	26
6. DIAGNOSTIC À PARTIR DE L'ECG.....	26
6.1. Diagnostic à partir du rythme.....	26
6.1.1. Bradycardie.....	26
a) Bradycardie sinusale.....	26
b) Bradycardie d'origine jonctionnelle.....	27
6.1.2 Tachycardie.....	27
a) Tachycardie sinusale.....	27
b) Tachycardie auriculaire et nodale.....	28
c) Tachycardie ventriculaire (TV).....	28
6.1.3. Arythmies, ou troubles de la régularité.....	28
a) Fibrillation auriculaire (FA).....	28
b) Fibrillation ventriculaire.....	29
6.1.4. Les Blocs.....	29
a) Bloc sino-auriculaire (SA).....	30
b) Bloc auriculo-ventriculaire (BAV).....	30

6.2. Diagnostic à partir des ondes	31
6.2.1. Forme de l'onde P	31
6.2.2. Intervalle PR	32
6.2.3. Forme du complexe.....	32
6.2.4. Intervalle QT	32
6.2.5. Forme de l'onde T.....	32
6.2.6. Intervalle ST.....	33

CHAPITRE 2: ACQUISITION ET TRAITEMENT DES SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES 34

1. CIRCUIT BIOMÉDICAL	34
1.1. Signal électrique	34
1.2. Tissus biologiques	34
1.3. Signal biologique	35
1.4. Adaptation des divers éléments de la chaîne de mesure	35
2. CAPTEURS BIOMÉDICAUX.....	37
2.1. Définition	37
2.2. Capteurs et signaux électrophysiologiques.....	37
2.3. Problématiques des capteurs électrophysiologiques	30
2.4. Choix des électrodes	31
2.5. Exemple électrode active conçue à partir d'un AOP.	31
2.6. Exemple de capteur numérique utilisé.	32
3. AMPLIFICATION ET FILTRAGE.....	33
3.1. Traitement du signal	33
4. CONVERSION EN SIGNAL NUMÉRIQUE.....	34
4.1. Principes de la numérisation	34
4.2. Techniques de base	34
4.3. Applications médicales.....	34
5. ELECTROCARDIOGRAPHE NUMÉRIQUE	34
5.1. Système d'acquisition de données	35
5.2. Echantillonnage	35
5.2.1. Echantillonneur-Bloqueur.....	35
5.2.2. Conversion analogique numérique:.....	36
5.3. Convertisseur Analogique/Numérique.....	37
6. LA NON LINÉARITÉ DES SIGNAUX CARDIAQUES	37

CHAPITRE 3: QUELQUES MODÈLES DE RÉSEAUX DE NEURONES 38

1. INTRODUCTION	38
2. HISTORIQUE.....	38
3. NEURONE FORMEL DE MCCULLOCH ET PITTS	40
3.1. Le neurone formel	40
4. RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS	41
4.1. Définition	41
4.2. Architectures neuronales	42
4.2.1. Réseaux de neurones bouclés ou récurrents.....	42
4.2.2. Réseaux de neurones en couches (Perceptrons Multi-Couches).....	43
4.3. Perceptron Multi-Couches (PMC) et approximation de fonctions	44
4.4. Apprentissage.....	44
4.4.1. Apprentissage non supervisé.....	45
4.4.2. Apprentissage supervisé.....	45
4.4.3. Algorithme d'apprentissage supervisé pour les RNA : la rétropropagation.....	46
4.5. Généralisation.....	47
4.5.1. Facteurs indispensables pour une bonne généralisation	48

4.5.2. Optimisation de la généralisation.....	48
4.5.2.1. Algorithme d'apprentissage	48
4.5.2.2. Compromis Apprentissage Généralisation ou « early stopping ».....	50
5. MISE EN OEUVRE DU MODÈLE NEURONAL.....	50
5.1. <i>Choix de l'algorithme d'apprentissage</i>	50
5.2. <i>Choix des fonctions de transfert</i>	51
5.3. <i>Choix de l'architecture neuronale</i>	51
5.4. <i>Ensemble d'apprentissage, de validation et de test</i>	52
5.5. <i>Avantage des RNA sur les méthodes statistiques</i>	52
CHAPITRE 4: LES RÉSEAUX DE NEURONES APPLIQUÉS AU DIAGNOSTIC	
CARDIOVASCULAIRE	54
1. INTRODUCTION	54
1.1. <i>Contexte des méthodologies de soutien à la prise de diagnostic médicale</i>	54
1.2. <i>Aperçus précédents des applications médicales impliquant les réseaux de neurones</i> ...	55
1.3. <i>Etendue des publications</i>	57
2. APERÇU SUR LES APPLICATIONS CARDIOVASCULAIRES.....	58
2.1. <i>Application dans la détection du complexe QRS</i>	58
2.2. <i>Application dans la détection de l'infarctus du myocarde aigu (IDM)</i>	59
2.3. <i>Application utilisant le système de surveillance Holter</i>	62
2.3. <i>Application en détectant d'autres pathologies</i>	62
3. ROBUSTESSE DANS L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES	63
4. CONCLUSION.....	64
CHAPITRE 5: ALGORITHME DE DÉTECTION DU BLOC AURICULO	
VENTRICULAIRE	66
1. INTRODUCTION	66
2. ÉTUDE DE LA POPULATION	66
3. EXTRACTION ET ACQUISITION DES PARAMÈTRES D'ANALYSE DES ECG.....	68
4. DÉTECTION DU COMPLEXE QRS.....	68
4.1. <i>Architecture du réseau de neurones</i>	68
4.2. <i>Déroulement de l'apprentissage</i>	69
4.3. <i>Performance</i>	71
4.4. <i>Mesure du complexe QRS</i>	72
5. DÉTECTION DE L'ONDE P	72
6. RÉSEAU DE NEURONES CNN	72
7. CONCEPTION DE LA MÉTHODE.....	74
7.1. <i>Apprentissage</i>	75
7.2. <i>Usage de la mémoire</i>	77
7.3. <i>Performance et Évaluation d'exécution du CNN</i>	78
7.3.1. <i>Estimation de la sensibilité et de la spécificité</i>	78
7.3.2. <i>Courbes ROC</i>	79
8. RÉSULTATS ET DISCUSSION	80
9. Conclusion.....	85
CONCLUSION.....	86
REFERENCES.....	87