

Université Technique "Gh. Asachi " IASI



**Contributions à l'usages des systèmes réalisés avec
des microsystèmes dédiés aux applications
médicales**

*Résumé de thèse de doctorat
(traduction de roumain)*

Ing. Hnatiuc (Aruxandei) Mihaela

Directeur de thèse:

*Prof. Dr. Dr.h.c. Horia-Nicolai Teodorescu
Membre Correspondant à l' Académie Romaine*

Iasi, 2006

AVANT_PROPOS

A Bogdan, à Diana et à tous ceux que j'aime

Motto

“Some people are in it for the money, others for pleasure, still others for power. Me I’m into ideas”

Otto Herbert Schmitt

Remerciements

Je tiens à remercier le Professeur Horia-Nicolai Teodorescu pour toutes ses connaissances en logique floue et réseaux de neurones et pour son aide à l'ouverture de ma curiosité sur le domaine de l'électronique biomédicale .

Je tiens à remercier le Professeur Jean-Guy Fontaine de m'avoir reçu dans le Laboratoire de Vision Robotique, fait confiance pour les travaux de recherche et d'avoir apporté sa vision remarquable concernant les thèmes abordés.

Je voudrais aussi remercier à ma famille pour son soutien et leur compréhension.

Je voudrais aussi remercier à mes collègues de L'Université Technique de Iasi et de l'ENSI de Bourges pour leur volonté et la bonne collaboration pendant la période de la thèse.

INTRODUCTION GENERALE

Depuis que les anciens outils en pierre ont commence d'être remplacés avec ceux en métal, la technologie pour la santé a beaucoup avancé. Avec ce changement de matériel, les outils médicaux sont devenu plus spécialisés, mais pourtant, pour longtemps, trop simples. Les composants employés par la technologie médicale sont des éléments principaux pour le procès du soin. Ils sont classifiés en : systèmes de diagnostique, systèmes de traitement et thérapie médicale et systèmes d'analyse des informations. Ils sont tous considérés des branches de la bio ingénierie.

Les premières principales technologies de soin au santé sont les suivantes: en 1612 le thermomètre médical de Sanctorius, en 1660 le stéthoscope de Laennec, en 1853 la seringue hypodermique de Pravaz et Scottish, en 1906 l'électrocardiographe de Einthoven, en 1950 la médecine nucléaire, en 1958 le pacemaker de Greatbatch, en 1960 l'imagerie avec ultrasons , en 1972 la tomographie sur l'ordinateur de Hounsfield et Cormak, en 1980 l'image sur la résonance magnétique.

Le sujet abordé par cet ouvrage est à la frontière de trois domaines : de la médecine, de l'électronique et de l'informatique.

Les plus modernes thèmes de recherche dans le domaine abordé concernent la surveillance des sujets dans les maisons des retraités, les hôpitaux ou chez les particuliers. Les appartements sont doués avec des systèmes médicaux qui fournissent en permanence les informations sur le patient. Les données sont envoyées chez le personnel médical, cette à dire sur leurs ordinateurs ou mobiles via Internet ou radiofréquences. Ce type de surveillance s'appelle télésurveillance. Le télésurveillance est très importante pour réduire le prix d'hospitalisation, dépister le plus tôt que possible les maladies, prévenir les accidents. L'état physique est combine avec celui psychologique et en fonction du résultat il est réalisé le diagnostique sur le patient. Le travail de thèse contient, parmi d'autres, l'étude des systèmes d'électronique médicale et l'analyse des données résultantes des systèmes.

Le sujet abordé dans ce mémoire est une vue générale sur la domotique et en particulier sur un des systèmes qui composent l'appartement « intelligent ».

Le but de la recherche a été de trouver des nouvelles méthodes de classification et de commande pour le comportement d'un sujet et pour le

suivi et l'assisté les personnes âgées et handicapées. On a essayé aussi de trouver des solutions permettant l'assistance et le maintien à domicile des personnes à capacité et mobilité réduite. Le système étudié a été testé dans le laboratoire pour sa validation technique et scientifique.

La structure de la thèse

Le premier chapitre commence avec une description des nouvelles pour la technologie de la santé. Les systèmes électroniques actuels de surveillance et la modalité de transmission des données sont révisé dans ce chapitre.

Le chapitre 2 présente une classe de microsystèmes dédiés aux réseaux de neurones et à la logique floue. Ils sont mentionnées les contributions de l'auteur pour la modalité d'implémentation des réseaux de neurones dans le circuits logiques programmables avec des fonctions d'approximation linéaire. Les simulations ont été réalisées en Visual Studio C++.

La définition des méthodes et les algorithmes utilisés pour l'analyse de données sont présentés dans le Chapitre 3. Ils sont montrées les méthodes de clusterisation/classification, d'analyse et de diagnostic utilisant la logique floue, les réseaux de neurones et la neuro-floue.

Les contributions de l'auteur au développement du système de surveillance et prévention précoce de la maladie sont illustrées dans le chapitre 4. Dans ce chapitre il est détaillé la réalisation, la communication et l'analyse de la matelas « intelligente » . On présente les méthodes d'analyse sur le comportement humaine pendant le repos sur le matelas et le contrôle du système en fonction de celui-ci.

Les suggestions des méthodes «diagnostic de patient» utilisant son comportement pendant 24 heures sont présentées dans le Chapitre 5. Ils sont montrées les méthodes de surveillance du patient utilisant le matelas « intelligent » et le réseau d'électricité.

Le dernier chapitre, 6 , contiennent les conclusions générales et les perspectives envisagées pour le projet de recherche.

Dans les annexes sont présentées les contributions propres au sujet de recherche et les moyens techniques employés pour sa mise en place.

Mots – Clés

- Appartement Intelligent, télémétrie, télémedecine, système d'assistance domotique, ingénieur de clinique;
- Comportement humain, confort, habitude de vie quotidienne, comportement pendant la nuit, trouble de sommeil chez les personnes âgées;

- Equipement biomédicale, signaux biologiques et digitaux, analyse des données, apprentissage, test, classification;
- Logique floue, réseaux neuronaux, algorithme de clusterisation;
- MatLab 6.5, LabView 7.0, C++, assembleur;

Chapitre 1 - Etat de l'art sur les systèmes médicaux de surveillance pour les patients

Les systèmes de surveillance contiennent des technologies médicaux pour le diagnostic, le traitement, la thérapie et l'analyse [5, 6]. Les systèmes utilisent l'intelligence artificielle, une base de données et un set de règles développé à l'aide d'un expert médical. La transmission des données par satellite peut faciliter la modalité de surveillance à distance. Cette modalité s'appelle télésurveillance, ce qui est un mode de contrôle très confortable. Un cas particulier de télésurveillance est décrit dans ce chapitre par l'appartement «intelligente » [7]. Celui-ci est un moyen de surveillance continue à domicile qui a des avantages comme les suivants : les patients peuvent être soignés à domicile, le travail de plusieurs personnes est remplacé par les systèmes de télésurveillance, les places disponibles dans les hôpitaux seront plus nombreux etc.

La domotique mets en œuvre différentes technologies de communication et de traitement de l'information. Celles-ci sont destinées à prendre en charge les multiples facilités offertes par un logement contemporain (telles que l'éclairage, le chauffage, l'alarme, la communication par satellites pour la télévision ou l'Internet, les autres confort etc.). Elle offre la possibilité de centraliser le contrôle de cette prise en charge de l'intérieur ou l'extérieur du logement. Par conséquent à partir d'un système de commande (ordinateur, télécommande etc.), on peut contrôler plusieurs appareils liés aux fonctionnalités de l'habitat.

L'idée générale est de réaliser des systèmes de diagnostic autonomes. L'appartement est appelé « intelligent » à cause des capteurs existants qui composent la domotique et l'autonomie totale ou partielle du système d'analyse des informations délivrées par les capteurs.

La même domotique offre d'autres possibilités, permettant une autonomie «complète » des personnes à capacité et mobilité réduite, tout en réduisant les risques domestiques (arrêts d'urgence ou déclenchement d'alarme lors d'un incendie, d'une intrusion, d'une inondation, etc.). La personne peut ainsi, sans déposer d'effort, d'utiliser et de contrôler les différents équipements et appareils de la maison (volets, cuisinière, télévision, baignoire, lampes, etc.).

L'état de l'art mis en évidence par les recherches bibliographiques effectuées sur les appartements « intelligents » a retrouvé plusieurs applications « concrètes » dans tout le monde. Les moyens employés pour mener à bien les expériences ont compris de systèmes matériels comme les cartes d'acquisition digitales et analogiques, les cartes à base de microcontrôleurs, les cartes électroniques dédiées à l'application, le réseau Internet, les capteurs de différents types etc.

Chapitre 2 - Les systèmes d'analyse de l'information (les microsystèmes)

La technologie médicale a évolué du niveau de chip jusqu'à l'algorithme pour l'analyse des données. En présent, un système médicale peut remplacer complètement le personnel médical.

Pour la plus part de cas, quand on parle de systèmes médicales on pensent à l'intelligence artificielle. Les circuits intégrés utilisés présentent une grande capacité d'acquisition des données et d'analyse en temps réel. En électronique médicale, parmi les circuits classiques sont utilisés les microcontrôleurs, les DSP (Divice Signal Processor) et les circuits logiques programmables, notamment les FPGA. Les derniers sont utilisé comme coprocesseur aux premiers deux grâce à leur structure interne – mémoire réinscriptible. Les opérations utilisées par l'algorithme sont d'une difficulté élevée et les calculs mathématiques demandent beaucoup de temps. Dans ce cas ils sont utilisés les DSP qui ont un bloc spécial de multiplication (MAC) et la possibilité de « pipeline ».

Les réseaux de neurones font parti du domaine d'intelligence artificielle, ce qui implique un hard spécial pour l'implémentation d'un neurone. Les structures internes des circuits intégrés sont construites en fonction de l'algorithme utilisé à l'application. Les applications demandent une réponse rapide en temps réel, avec un espace matériel réduit. Les avantages des circuits spécifiques pour les réseaux de neurones et la logique floue sont : la réponse plus rapide en temps réel, une bonne précision de calcul, une réduction des influences externes, des dimensions réduites. La vitesse de réponse est augmentée en utilisant le calcul en parallèle (ou pipeline).

Les contributions propres pour les implémentations de réseaux de neurones sur FPGA

La fonction d'activation peut être de type triangle, linéaire, sigmoïdale, gaussienne, trapézoïdale, etc. La représentation de cette

fonction sur les circuits intégrés digitaux est difficile. Une méthode d'implémentation du neurone est proposé dans cette section. Les entrées du neurones sont normalisé dans la gamme [-1,1]. Les valeurs des poids sont dans la même gamme. Une solution de représentation des fonctions d'activation et de multiplication sur les circuits FPGA digitale est d'utiliser des approximations linéaires et les fonctions non linéaires utilisant l'arithmétique de déplacement [47, 48, 49, 50, 51]. Bien évidemment, si l'approximation linéaire fourni des résultats imprécises, l'analyse de la précision et les tests sur différentes applications seront faites. La modalité d'implémentation soft en C++ de ces fonctions est présentée ci-dessous.

Les fonctions d'activation les plus utilisées à l'implémentation du neurone sont : 2^x (2), $\log x$ (3), $x*y$ (4), la fonction sigmoïdale pour le perceptron (5), la fonction Gaussienne pour le neurone RBF (6), x^2 (7). La fonction e^x a été remplacée par 2^x et $\ln(x)$ a été transformée en $\log_2(x)$.

Le tableau 2 présente les erreurs entre les fonctions classiques et celles d'approximation linéaire. Les erreurs calculés sont celle d'erreur carrée moyenne et d'erreur maxime.

Tableaux 2. Les différences de précision entre les fonctions classiques et les fonctions linéaires approximées.

Function	E(e)	e(max)
Exp(2)	0.0036	0.018
LOG(x)	0.6	0.86
$x*y$	0.025	0.096
Sigmoid(x)	0.011	0.061
Sqr(x)	0.0005	0.047

Avec les fonctions précédentes on a réalisé un neurone de type perceptrone qui a la fonction d'activation sigmoïdale. Les erreurs entre le neurone réalisé avec les fonctions classique et les fonctions d'approximation linéaire sont les suivantes :

square error=0.000231396

max error=0.00469528

Press any key to continue

Les applications aux réseaux de neurones réalisées avec les fonctions d'approximations linéaires sont présentées ensuite.

Le premier exemple est la simulation de la fonction XOR réalisée avec le réseau de neurones en trois niveaux. Les fonctions d'activation pour le premier et le dernier niveau sont linéaires et pour le niveau caché est de type sigmoïdal. Pour la phase d'apprentissage est utilisé l'algorithme back propagation.

La fonction XOR a été testé avec le réseau de neurones classique mais sans succès. Pourtant les résultats de la phase d'apprentissage du réseau obtenus avec les fonctions d'approximations linéaires montrent que la fonction XOR peut être réalisée, mais les sorties n'ont pas la précision demandée.

Les fonctions logiques ET et OU sont réalisées avec réseaux de neurones de type Hopfield. L'avantage dans ce cas est que chaque neurone peut être entrée ou sortie du réseau. Les circuits logiques réalisés avec le réseau de neurones Hopfield ont l'avantage d'avoir la possibilité d'utiliser l'entrée du neurone comme entrée ou sortie de la fonction logique.

Les fonctions présentées peuvent être utilisées, par exemple, à la construction du block d'addition binaire avec transport.

Dans ce cas les numéros des neurones utilisés pour plusieurs ET ou OU logique peuvent être supprimés. Le même neurone est utilisé comme entrée à la fonction ET et puis à la fonction OU.

Nous avons réalisé des applications simples avec les réseaux de neurones avec fonctions d'approximations linéaires pour tester les neurones réalisés avec ces fonctions.

Conclusions du chapitre 2

Les circuits intégrés utilisés en électronique médicale sont créés pour un certain type d'application. Les plus utilisés sont les circuits DSP avec coprocesseur FPGA, mais en ce moment sont réalisés des microcontrôleurs qui ont des structures très proches de circuits DSP. Les cartes d'acquisitions sont des mini-ordinateurs avec la possibilité de communiquer directement par l'intermédiaire du réseau Internet ou Ethernet avec le protocole TCP/IP. Pendant la phase d'apprentissage les algorithmes des réseaux de neurones ou logique floue utilisent un ordinateur pour calculer les valeurs des paramètres. Les valeurs finales sont enregistrées dans la mémoire de la carte. Le réglage et les modifications en utilisant l'intelligence artificiel sont simplifiées pour réussir une implémentation rapide et la vérification sur la carte.

Chapitre 3 - Les méthodes et les algorithmes d'analyse pour les systèmes de surveillance

Méthodes de classification

Les classes sont des groupes qui ont des éléments avec des propriétés similaires. L'identification de celles-ci est réalisé avec des algorithmes spécifiques [19, 20]. L'analyse de données pour les classer est réalisée

par l'identification du maximum de similarités pour les groupes internes et le minimum de similarités pour les groupe externes. Pour une identification précise des classes il est besoin : d'une base important de donné, des informations qui doivent couvrir toutes les possibilités, des entrés du système qui doivent avoir un nombre minimum de paramètres, etc.

La clusterisation est réalisée avec plusieurs types d'algorithmes. Les algorithmes sont choisis en fonction des résultats souhaités et des limites du système. Les catégories d'algorithmes sont partagées en méthodes de fragmentation et méthodes basées sur la densité et la distance.

L'analyse des données utilise plusieurs catégories d'algorithmes pour comparer les résultats, trouver le nombre de classes et choisir la meilleure méthode [21, 22].

La classification est la méthode d'identification de la classe d'appartenance à l'échantillon d'entrée. Dans cet chapitre sont présentés les algorithmes de classification avec réseaux de neurones, logique floue et la combinaison entre les deux.

Conclusions du chapitre 3

La qualité de groupes résultée dépende des méthodes de mesure des caractéristiques communes et de la modalité d'implémentation. La clusterisation doit avoir une base de données complète, y compris des échantillons qui appartient à tous les cas possibles.

Les méthodes de classification sont différentes par la modalité de définir leur classes et la forme de mesure l'appartenance à l'objet d'une classe.

Chapitre 4 – Contributions propres au système médical matelas „intelligent”

Un cas particulier de système matelas « intelligent » qui a été étudié par le projet de recherche de cette thèse est présenté dans ce chapitre. Le système a été crée dans le laboratoire ENSI Bourges et il a subi plusieurs améliorations jusqu'à la forme finale.

Dans ce chapitre sont présentés et détaillés les éléments composant le système matelas : les sacs d'air, les électrovannes, les capteurs de pressions, un mini - compresseur d'air, une carte électronique, un ordinateur. L'arrangement des composantes est le suivant : les sacs sont connectés à une électrovanne et aux capteurs de pression et le mini – compresseur introduit l'air dans le sac. Le protocole de communication est réalisé pour une communication de type maître – esclave, demi – duplex, sur deux niveaux de priorité. Le Maître est considéré le PC local ou distant et l'Esclave est la carte microcontrôleur. Les commandes sont envoyées du

Maître à l'Esclave. Celui-ci répond et en même temps exécute la commande reçue. L'Esclave ne peut pas être l'initiateur de la conversation entre les deux systèmes et la communication ne se fait pas entre deux Esclaves. Le protocole est prévu pour la conversation sur les niveaux de priorité en mode automatique [82]. Les commandes du Maître sont dans l'ordre définie par le programmeur sans l'intervention de l'utilisateur et elles sont identifiées à l'aide d'un numéro de code commande. L'Esclave a une partie des réponses enregistrées en mémoire externe qui sera complétée avec les données actuelles.

Cette version de protocole, BCCP v1.0, a été réalisée pour le contrôle manuel des pressions dans les sacs. La trame est composée de trois parties : les adresses, les données et le résultat de la vérification de trame (CRC sur 16 bits).

Ils sont présentées la conception et la modalité de implémentation du protocole de communication, entre le PC local ou distant, sur une carte microsystème, réalisée avec le microcontrôleur 8051 et le PC local ou distant, mais aussi les tests, les analyses et les projets réalisés et proposés pour le système étudié. Les tests ont été effectué avec plusieurs types de capteurs de pression : électret, jauge de contrainct etc.

Le comportement de la personne pendant la présence au lit

Le premier prototype de matelas a été réalisé avec 14 sacs. Pour certaines parties du corps (la tête et le dos) on a utilisé trois sacs indépendants pour bien marquer ces deux parties. Avec ce type d'arrangement sont identifiés les types de mouvements et la position du corps du patient sur le matelas. Dans cette étude sont analysées les valeurs maximum de la pression (les pics de pression), les intervalles de temps écoulés entre deux pics, le nombre de mouvements, les heures de présence sur le matelas (Figure 4.1).

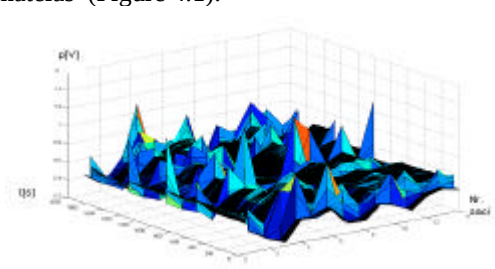


Figure 4.1. Les variations de pressions dans les sacs du matelas et le temps entre celles-ci

Les classes pour les types de mouvements sont identifiées avec l'analyse du paramètre silhouette sur 75 des valeurs corrélées variation de pression – temps. Les valeurs du paramètre silhouette moyen résultat sont de 0.9540 pour trois classes et de 0.6306 pour quatre classes.

L'identification du type de mouvement sur le matelas est réalisée avec un système de classification de type Sugeno. Ce système contient 16 entrés, 8 de pression et 8 de temps entre les deux variations de pression.

Les fonctions d'appartenances et gaussienne ont les noms linguistiques pour l'amplitude de la pression: “*Small*”, “*Medium*”, “*Big*”. Le paramètre temps a les fonctions d'appartenances définis comme “*Short*”, “*Average*”, “*Long*”. Les classes de sorties, singleton, sont: “*Convulsion*”, “*Agité*” «*Agité avec des tressaillir*» et “*Normal*”.

Les intervalles de mouvement ont été obtenus après la phase d'apprentissage ou ont été choisi de la littérature de spécialité. L'apprentissage a été fait avec l'algorithme back propagation.

Les règles proposés pour les systèmes de logique floue sont présenté dans le tableau I.

Tableau I. Les règles générales du système flou proposées pour l'identification du mouvement sur le matelas [41]

Le numéro du règle	La définition de la règle
R1:	If $\forall T_k$ is <i>Long</i> Then comportement is <i>Normal</i>
R2:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Average</i> and 4 P_k correspondent are <i>Small</i> Then comportement is <i>Agité avec des tressaillir</i>
R3:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Average</i> and 4 P_k correspondent are <i>Medium</i> Then comportement is <i>Agité</i>
R4:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Average</i> and 4 P_k correspondent are <i>Big</i> Then comportement is <i>Agité</i>
R5:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Short</i> and 4 P_k correspondent are <i>Small</i> Then comportement is <i>Convulsive</i>
R6:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Short</i> and 4 P_k correspondent are <i>Medium</i> Then comportement is <i>Agité</i>
R7:	If les plus peu 4 T_k successives are <i>Short</i> and 4 P_k correspondent are <i>Big</i> Then comportement is <i>Agité</i>
R8:	If une de 7 règle n'est pas activé le système attends le prochaine fenêtre des donnés pour les classifié.

Chaque règle générale présentée dans le tableau a inclus 8 règles simples. La fonction caractéristique simulée en Matélab avec FIS Editor est présentée dans la figure 4.2. Il est représenté la sortie en fonction des entrées 7 et 8 .

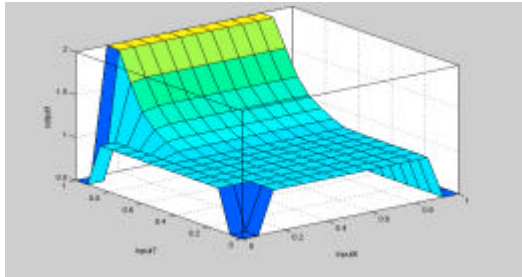


Figure 4.2. La fonction caractéristique pour le système floue Sugeno de type 0 pour l'identification du mouvement du corps sur le matelas

Les entrées du système de logique floue peut varier en fonction du patient, du son traitement, de la consommation de caféine ou d'alcool etc.

Les méthodes proposés pour l'identification de la position d'une personne sur le lit

La variation de la pression dans le sac du matelas dépend de la valeur de la pression initiale et de la capacité volumétrique du sac. Après une étude détaillée sur le comportement des sacs d'air dans ce chapitre, sont présentées les méthodes et les algorithmes élaborés pour l'identification de la position du corps sur le matelas.

Les tests et les analyses des données sont faites pour deux types des matelas qui diffèrent par l'arrangement des sacs. Toutes les valeurs de variations de pression dans les sacs sont groupées en utilisant plusieurs algorithmes de clusterisation : le paramètre silhouette, la méthode hiérarchique. Après la clusterisation avec le paramètre silhouette ils sont trouvées 2 classes. Pour plus de deux classes la valeur est négative (figure 4.3.).

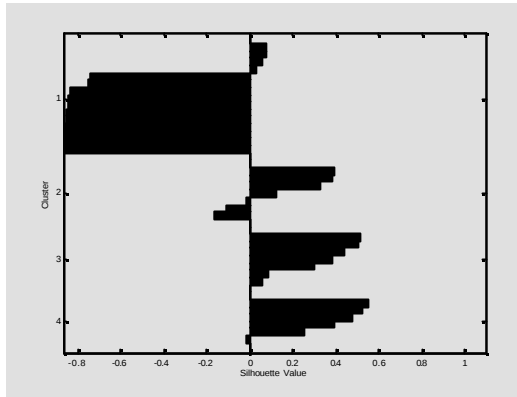


Figure 4.3. La représentation du paramètre silhouette pour grouper les données en vue d'identification de la position du corps sur le matelas

La solution pour identifier la position de la personne est de réaliser une pré - classification pour laquelle il est identifiée la position du patient (s'il est couché ou debout en lit, si les pieds sont serrés ou allongés) et après on regarde la position des épaules et du dos pour définir la position précise. En conclusion le matelas est analysé par zones: tête, épaule, bassin, pieds.

L'algorithme de pré - classification identifie la zone où se trouve la valeur maximum et ensuite, en fonction de cette zone, teste les sacs complémentaires des pieds qui donnent l'information sur leur position.

Les valeurs obtenues sont classifiées avec un système de classification neuro-floue simulé en Matlab 6.5 avec ANFIS Editor (Figure 4.4). Le système est de type Sugenoet les règles sont générées automatiquement avec "Grid partition". Les entrées ont les fonctions d'appartenance triangle et les sorties siglenton. L'algorithme d'apprentissage est de type hybride est l'erreur calculée est de 0,0120 [45, 46, 47, 48].

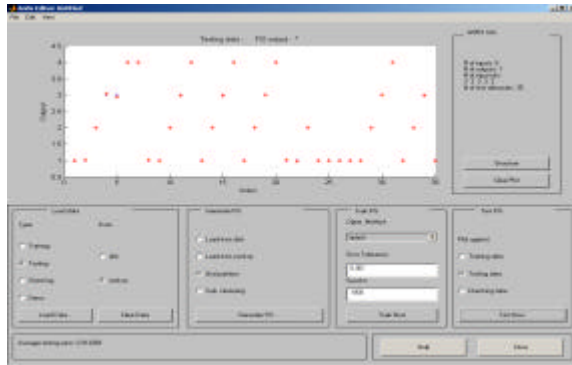


Figura 4.4. Le système neuro-flou de type Sugeno simulé en ANFIS Editor pour l'identification la position du corps sur le matelas [39]

Tous les algorithmes présentés sont valables à partir du moment qu'il est identifiée la présence du patient sur le matelas.

Conclusions du Chapitre 4

Ce chapitre contient les contributions de l'auteur concernant la réalisation, l'analyse et la conception du projet matelas « intelligent » pendant une période de stage de 18 mois dans le laboratoire d'ENSI, Bourges, France. Pendant cette période l'auteur a bénéficié d'une bourse NATO de 9 mois. Les résultats obtenus ont été publiés, comme articles de spécialité aux conférences nationales ou internationales et dans un brevet d'invention (co-auteur).

Toutes les étapes du projet sont présentées dans ce chapitre. Les résultats après l'analyse de données concernent l'identification du comportement humain pendant la période de repos sur le matelas.

Chapitre 5 - Le diagnostic du comportement de la personne pendant 24 heures à partir d'un matelas « intelligent »

Un système qui donne des informations sur le comportement de la personne pendant 24 heures contient plusieurs petits systèmes qui donnent des informations sur le comportement en lit, la pression dans les sacs et d'autres réponses ponctuelles.

A partir d'une diagramme circadienne ou sont indiquées l'heure quand la personne monte en lit, la période de temps de présence ici, la

période d'absence et les heures quand la personne quitte le lit, il est possible de réaliser un système à base de logique floue qui a en sortie les classes du comportement de la personne. Ce système est personnalisé à la personne qui utilise le matelas. Des nouveaux paramètres sont introduits pour la surveillance de la personne : la température, l'humidité externe (atmosphérique) et la généralité du système. Celui-ci sera appliqué pour plusieurs matelas et la surveillance est faite en parallèle. Si une situation anormale est produite pour tous les matelas, la situation anormale devient normale. Pendant le temps de présence en lit sont mis en fonction les systèmes de régulation de pression, de diagnostic du comportement, d'adaptation de pression en fonction du mouvement et de la détection de la respiration.

Un système de classification du comportement humain concernant les heures de présence, d'absence et la fréquence de présence sur le matelas est décrit dans la première partie du chapitre. Le système est de type floue avec des fonctions d'entrées de type triangles et trapézoïdales. La sortie est choisie en fonction de patient. Si pour un des patients le comportement peut être considéré normal, pour les autres, avec le même système et les mêmes intervalles de normalité, la sortie peut être obtenue comme anormale. Les intervalles aux fonctions d'appartenances sont établie après une importante période d'apprentissage sur une large base de données.

Le deuxième partie du chapitre indique une modalité de diagnostique après l'analyse de l'activité de jour et de nuit. Les données sont récupérées avec un capteur de présence, une carte microsystème qui contrôle les prises électriques de l'appartement et les capteurs du matelas. Après une surveillance de l'appareillage électrique de la maison, les heures d'usage, les heures de présence dans la maison et sur le lit etc. on peut établir l'activité du patient. En fonction de cette activité le comportement est considéré normale ou anormale.

Conclusions du Chapitre 5

Les modalités de surveillance de la personne dans la maison ou au dehors de celle-ci sont des applications très actuelles dans le domaine de la santé. A l'avenir toutes les maisons de retraite seront équipées avec des capteurs analogiques et digitales qui récupéreront les informations sur le corps humain et l'activité de la personne. Les signaux sont déjà captés avec PC, téléphone mobile, carte dédiée et transmis chez un personnel médical pour des analyses. Les résultats des analyses, éventuellement personnalisés, sont utiles pour prévenir les risques et pour un diagnostic très précis sur la personne. L'activité de la personne est périodique en fonction du jour de la

semaine avec une certaine marge du temps. Pour chaque activité il doit être imposé un seuil du temps. Pour le système qu'on a étudié le seuil a été fixé pour le temps passé au lit. Le système a besoin aussi de s'adapter à l'individu. Si la personne change de comportement, le système doit changer ses limites.

Chapitre 6 - Conclusions et perspectives générales pour l'avenir

Le projet matelas « intelligent » est une solution qui se situe au carrefour des domaines des sciences et de l'industrie, de l'électronique et de la médecine. L'objectif de ce projet a été de mettre au point un système d'information automatisé, capable d'assurer les conditions de confort, de sécurité et de remplacer le travail du personnel médical. Le but final de la recherche est l'industrialisation de ce produit mais se focalise plutôt sur les aspects de recherche théorique dans plusieurs domaines : électronique, mathématique, médecine.

Mes contribution dans le domaine de l' électronique

1. conception de la carte d'acquisition électrique avec microcontrôleur de la famille 8051 pour la commande du système matelas ;
2. implémentation du protocole de communication distance sur le microcontrôleur ;
3. élaboration d'un logiciel de control des pressions en sacs du matelas ;
4. le traitement de données récupérées ;
5. solutions de conception des microsystèmes du control les appareilles électriques dans la maison pour la surveillance de l'activité du patient ;

Les résultats sont présentés en : [14], [15], [24], [29], [30], [36], [52]

Mes contributions dans le domaine de l' informatique

1. conception et simulation de différents réseaux de neurones avec des fonctions d'approximations linéaires en Visual C++ pour leurs implémentations sur FPGA ;
2. créations d'une base de données pour les systèmes de surveillance (matelas « intelligent »)
3. analyse du comportement des sacs à l'air ;
4. élaboration d'algorithme de pré - analyse pour la classification du comportement humain pendant le repos sur le matelas ;

5. la conception des méthodes d'identification de la position et des mouvements du corps du patient sur le matelas ;

6. suggestions et solutions pour réaliser un système de classification et de diagnostic du comportement humain en utilisant : les heures de présence et d'absence sur le matelas, la fréquence de présence sur le matelas, le temps d'utilisation de l'appareillage électrique dans la maison et les résultats obtenus avec un capteur de présence ;

Les résultats sont publiés en : [17], [18], [54], [39], [40], [42], [43], [48].

Contributions techniques, méthodologiques et scientifiques au domaine biomédicale

1. l'élaboration de méthodes de classification, diagnostic et alarme autonome;

2. l'élaboration de méthodes de réalisation du confort et de la prévention des escarres;

3. la définition de rythme circadien pendant le repos sur le matelas ;

4. une méthode de mise en garde du personnel médical en cas de besoin;

Les résultats sont valorisés en : [41], [52].

Les systèmes étudiés sont utilisés à exploitation de la détection précoce des perturbations en ce qui concerne : le comportement humaine, le rythme de sommeil, l'équilibre travail - repos etc. Les systèmes de surveillance sont adaptés aux habitudes de chaque patient.

6.1. Avantages et désavantages du système matelas intelligent

Pour les personnes qui passent la majorité de leur temps en lit, un matelas intelligent est utile pour la prévention d'escarres et pour le confort. L'avantage de ce système est que les sacs sont gonflés et dégonflés indépendamment et cela peut donner un bon confort. La nouveauté de ce système consiste dans le fait que la pression dans les sacs doit être changée localement à partir d'une carte électronique spécifique ou à la distance à l'aide d'un PC et avec celui-ci peut être classifié le comportement de la personne. Le système tout seul ne donne pas beaucoup d'informations sur l'activité de la personne mais l'avantage est que le système est simple et peut être utilisé chez des particuliers. L'auto - adaptation de la pression en fonction de mouvement ou de position est une nouveauté aussi dans le

domaine. Le contrôle à distance a l'avantage que dans ce mode sont surveillés plusieurs matelas.

L'inconvénient de ce système est qu'il est plus cher que les matelas homogènes simples, parce que chaque sac doit être lié à une électrovanne et aux capteurs spécialisés. Les informations sur l'activité de la personne ne sont pas complètes. Le mouvement du corps humaine est très chaotique et il est très difficile de trouver des méthodes pour diagnostiquer le comportement humain à partir seulement des matelas équipés avec des capteurs de pression sans avoir plusieurs capteurs qui peuvent donner les informations complètes sur la signature de la personne (ECG, température, pulse etc.).

6.2. Les règles de validation du système

Ce travail n'a pas présenté de validation clinique et nous ne faisons qu'esquisser cet aspect.

La mise en place des sujets qui utilise le matelas sur une longue période de temps (qui n'a pas pu être réalisée à cause de la finalité du système) permettra de tester complètement l'ensemble.

Les expériences sur le système devront permettre :

- de contrôler les pressions dans les sacs pour un bon confort ;
- de « déboguer » le système et par la suite limiter le taux de fausses alertes ;
- valider cliniquement le système et les lois de diagnostic ;
- de mieux répondre aux exigences des médecins et des patients ;
- d'identifier plus précisément les classes de comportement ;
- de trouver la meilleure forme de matelas après plusieurs expérimentations, plusieurs tailles de personnes, etc. ;

6.3. Perspectives. Conclusions

Le travail envisagé par la suite, après la finalité du système, concerne la synchronisation de données des plusieurs systèmes. Le système matelas sera équipé avec plus des capteurs et ajouté au système ceinture thoracique et à un camera Web. Des méthodes de contrôle, commande et diagnostic plus complexes sont envisagées également. Les systèmes aideront la détection précoce de trouble du comportement pendant la journée ou la nuit. L'objectifs poursuivis par l'ENSI et ses partenaires impliqués dans ce projet sont l'évaluation clinique, de la technologique et d'usage de ces systèmes. Les problèmes des escarres, les problèmes

cardiaques, de confort et de sécurité seront résolus avec les systèmes décrits dans ce rapport.

Quelques-unes des perspectives technologiques sont les suivantes :

- Proposition de nouveaux choix technologiques, comme par exemple :

- équiper le matelas avec plusieurs types de capteurs, de température, d'humidité;
- une solution de connexion sans fil entre le microsystème et le PC ;
- remplacer la communication par le port série avec le port USB ;
- envisager une carte microsystème avec le protocole TCP/IP. Cette solution remplace le PC locale.
- remplacer le microcontrôleur avec un autre plus puissant pour augmenter la rate de transmission (32 - 64 bits) ;
- compléter l'interface à distance avec la possibilité d'adaptation utilisant un algorithme de control et diagnostic autonome qui peut se trouver sur le PC ou sur la carte électronique ;
- réaliser la liaison entre le système matelas «intelligent » et les autres systèmes qui se trouvent dans l'appartement ;
- analyser toutes les données ensemble ;
- réaliser un logiciel de surveillance avec plusieurs paramètres sur 24 heures dans lequel il est bien précisé la différence des jours de travaille de celles de week-end avec la possibilité de réadaptation.

Références bibliographiques

- [1] S. L. Grimes, "Clinical Enginners: Stewards of Healthcare Technologies", IEEE Engineering in Medicine and Biology, nr. 3 vol 23, pp. 56-58, 2004.
- [2] K. Jellonek, M. Kotulska, " Medical-measuring-diagnostic-system (MMDS) based on cellular telephone functions", IMEKO TC-4 Symposion, Trend in electrical measurement and instrumentation, pp.221-224, 2001.
- [3] T. Watanabe, K. Watanabe, „Noncontact Method for Sleep Stage Estimation”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol 51, nr. 10, pp.1735-1748, 2004.
- [4] C.T.Lin, S. H. Liu, J. J. Wang, Z. C. Wen, " Reduction of Interference in Oscillometric Arterial Blood Pressure Measurement Using Fuzzy Logic", IEEE Transaction on biomedical engineering, vol. 50, nr. 4, pp. 432-441, 2003.
- [5] S. Osowski, T. H. Linh, „ECG beat recognition using fuzzy hybrid neural network", IEEE Transaction on biomedical engineering, vol 48, nr. 11, pp. 1265-1271, 2001.
- [7] M. Chow, "Fuzzy Systems", "Expert Systems Methodology", " Intelligent Electronics and Emergining Technologies", J. David Irwin, "The Industrial Electronics Handbook", CRC Press, IEEE Press, pp.1096-1102, 1997.

- [8] M. Ogawa, T. Tamura, T. Togawa, „Automated aquisition systèm for routine, noninvasive monitoring of physiological data , „Telemedicine journal”, vol. 4, no. 2, 1998.
- [9] M. Ogawa, T. Togawa, “Monitoring Daily Activities and Behaviors at Home by Using Brief Sensor”, 1st Annual International IEEE - EMBS Special Topic Conference on Microtechnologie in Medicine&Biology, Lyon, France, 2000.
- [10] E. Ross, “Smart Home”, “Managing Care Through the Air”, IEEE Spectrum, decembrie, pp. 14-19, 2004.
- [11] E. Castelli, M. Vacher, D. Istrate, L. Besacier, J. F. Sérignat, “Habitat Telemonitoring System Based on the Sound Surveillance”, [http://www. Grenoble-univ-rech.org](http://www.Grenoble-univ-rech.org)
- [12] G. Virone, „Architecture et Simulation Locales du Systeme d’Information Domotique-Sante Intégré a Domicile (SID²) pour detection de situation a Risque et l’aide a la Decicion „, Teza de doctorat, 2003.
- [13] **M. Hnatiuc**, “Annexe”, “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, OTAN, pp.73-75, 2005.
- [14] **Mihaela Hnatiuc**, “ Classification of neuronal network hardware – An overview. Applications: Space Technology”, cap. “Space Technologies”Proceeding of European Mars and Planetary Science and Technology, EMC’04, Ed. Performantica Press, Iasi, pp.165-170, 2004, 4 pagini, ISBN 973-7994-83-3.
- [15] **Mihaela Hnatiuc**, “An algorithm for controlling the sound systems”, Proceedings of European Conference on Intelligent Technologies 2002, ECIT’2002, July 20-22, Iasi, Romania, 2002, ISBN 973-8075-20-3, 4 pages.
- [16] M. Skrbek, “Fast Neural Network Implementation” Neural Network World. 9, No. 5, pp. 375-391, 1999, ISSN 1210-0552.
- [17] **Mihaela Hnatiuc**, Guy Lamarque, “Implementation of neural network with approximations functions”, Proceeding on International Symposium on Signal, Circuits and Systems SCS2003, SCS IEEE, International Symposium on Volume 2, July 10-11, pp 553- 556, 2003,4 pages, ISBN: 0-7803-7979-9.
- [18] **Mihaela Hnatiuc**, “Simulation of logic gate with neural network” , Proceedings of National Simposyum on Intelligent Systems and Applications - SIA’2003, Ed. Performantica Press September 19-20, 2003, Iasi, Romania, 4 pages, ISBN 973-97737-2-9.
- [19] Osmar R. Zaiane, Andrew Foss, Chi-Hoon Lee, Weinan Wang, On Data Clustering Analysis: Scalability, Constraints and Validation”, Proc. of the Sixth Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD’02), Taipei, Taiwan, May, pp 28-39, 2002.
- [20] M. Bulea , “L’algorithmes de clusterisation ”, cap. 13, M. Bulea, “Prelucrarea imaginilor si recunoasterea formelor”, Editura Academiei Române, pp.161-177, 2004.
- [21] N. Neagoe, O. Stanasila, “Multimi vagi în recunoasterea formelor”, cap. 12, “Teoria recunoasterii formelor”, Editura Academiei Române, Bucuresti, 1992.
- [22] T. Fukuda, N. Kubota, ”Learning, adaptation, and evolution for fuzzy controller”, H. N. Teodorescu, “Fuzzy control methodology”, pp.17-31, 1996.

- [23] Christian Schmid, "Fuzzy Systems", Course on "Dynamics of multidisciplinary and controlled Systems", curs, 2005, <http://www.esr.ruhr-uni-bochum.de/rt1/syscontrol/node121.html>. Ultima accesare 01/06.2006.
- [24] Jean-Guy Fontaine, **Mihaela Hnatiuc**, "Matelas paramètre de confort", patent numar FR2873215, INPI, ianuarie, 2005, Paris, adresa site : <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=FR2873215&F=0>
- [25] <http://www.ascojoucomatic.fr>.
- [26] <http://www.vacuworld.com>.
- [27] <http://www.raisonance.com/products/XEVA.php>.
- [28] <http://www.advantech.com>.
- [29] **Mihaela Hnatiuc**, "Introduction", sectiunea 3.1., capitolul 3, "Contributions au développement du projet. Matelas paramètre de confort", "Développement de méthodes d'analyse et de techniques d'apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile ", Raport NATO, mai, ENSI, Bourges, pp.22-28, 2005.
- [30] **Mihaela Hnatiuc**, " La décomposition électrique du système ", sectiunea 3.3. capitolul 3, "Contributions au développement du projet. Matelas paramètre de confort", "Développement de méthodes d'analyse et de techniques d'apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile ", Raport OTAN, mai, ENSI, Bourges, pp. 28-32, 2005.
- [31] **M. Hnatiuc**, "Les nouvelles méthodes de détection précoce des troubles du comportement humain. Le contrôle de la pression dans les sacs", cap. 4 "Développement de méthodes d'analyse et de techniques d'apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile", rapport OTAN, pp. 56-60, 2005.
- [32] ASSTAS, Ministère de la Santé et des Services Sociaux, "Guide sur les matelas à réduction de pression ", Editat de "La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux", ISBN 2-550-36028-1, Quebec, Canada, 2000.
- [33] L. D. Larson, "Pressure control apparatus for air mattress", patent number 6,058,537, May, 2000.
- [34] P. Cuérel, "Mattress or Cushions", patent number 6,424,858 B1, July. 2002.
- [35] [113] P. Cuérel, "Mattress or Cushions", patent number 6,424,858 B1, July. 2002.
- [36] **M. Hnatiuc**, "Méthodes d'interfaçage pour l'utilisateur du système", sectiunea 3.4, cap. 3, "Contributions au développement du projet. Matelas paramètre de confort", "Développement de méthodes d'analyse et de techniques d'apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile ", Raport NATO, mai, ENSI, Bourges, pp. 34-42, 2005.
- [37] S.I.S. , "Protocol de comunicatii pentru saltea parametri de confort", Paris, Franta, 2004.
- [38] M. Sateia, K. Doghramji, J. P. Hauri, C. M. Morin, "Evaluation of chronic insomnia", Sleep , vol.23, nr. 2, 2000, pp.1-23.

- [39] **M. Hnatiuc**, J.G. Fontaine, “Impact of pressure parameters on sleeping conditions of a mattress”, CIMS A 2005 – IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 20-22 July 2005 Giardini Naxos, Taormina, Sicily, Italy, abstract de 6 pages accepté pour être publié, nombre de participation CIMS A5005 .
- [40] **M. Hnatiuc**, “The subjects behaviors identification on the medical mattress with the fuzzy and neuro-fuzzy systems”, Workshop Echipamente Electronice si Informatica Medicala aplicatii în medicina, Proceedings in University of Pitesti Scientific Buletin, Series: Electronics and Computer Science, No. 6, vol. 1, 2006 , Pitesti, ISSN-1453-1119, accepté pour être publié.
- [41] **M. Hnatiuc**, “ Les nouvelles méthodes de détection précoce des troubles du comportement humain. Le comportement de la personne pendant la présence en lit”, capitol 4, “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, OTAN, 2005, pp. 47-58.
- [42] **M. Hnatiuc**, J. G. Fontaine, “An algorithm for the human behaviour classification using an intelligent mattress ”, propusa si acceptata la Conferinta ECIT’06, Iasi, 21-23 septembrie, 2006, lucrarea va fi publicata in Revista de Inventica, no.53, vol X, an XVI, ISSN 1210-3084, 2006
- [43] **Mihaela Hnatiuc**, Jean-Guy Fontaine, “The Analysis Methods of the Pressing Force on the “Intelligent” Mattress”, Simpozionul Mathematics Applied in Biology&Biophysics, Proceeding in Scientific Papers, tom XLIX, vol. 2, Iasi, 2006, accepté pour être publié.
- [44] **M. Hnatiuc**, “ Les nouvelles méthodes de détection précoce des troubles du comportement humain. Le matelas et le sommeil.”, cap. 4, “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance: application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, OTAN, pp. 42-47, 2005.
- [45] www.cs.northwestern.edu/~pdinda/Talks/defense_talk.ppt,
- [46] B. Betten, “Prévention des escarres de décubitus”, “Des lits d'exception”, VOLKER, http://www.voelker.de/pdf_archiv/bro_apf_liegen_f.pdf.
- [47] <http://www.spine-health.com/Topics/cd/mattress/mattress01.html>.
- [48] Y. Yavets-Chen, “Pneumatic Mattress Systems “, patent nombre : 5873137, feb, France,1999.
- [49] **Mihaela Hnatiuc**, Jean-Guy Fontaine, “Human behavior analysis and classification using an intelligent mattress”, Memoriile Sectiilor Stiintifice ale Academiei Române, sectia IV, tomul XXVIII, Iasi, sub tipar, 2005.
- [50] **M. Hnatiuc**, “ Les nouvelles méthodes de détection précoce des troubles du comportement humain. Les diagnostics du comportement de la personne pendant 24 heures à partir d’un matelas « intelligent »”, cap. 4, “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, OTAN, pp. 64-72, 2005.
- [51] J. G. Fontaine, P. Moisson, A. Rosano, B. Terente, “ Intelligent seat for automotive vehicle, has control unit which inflates or deflates the seat cushions,

based upon the speed of the vehicle, vehicle route and the position of the driver or passenger” patent nr FR2813827, 2002.

[52] **M. Hnatiuc**, “Le projet Maintien à domicile des personnes âgées et handicapées ”, cap. 2, “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, OTAN, pp. 8-21, 2005.

[53] R. Dongmo, “Maintien à domicile des personnes âgées et handicapées ”, lucrare de diploma, Ecole d’Ingénieurs, Versailles, Paris, 2005.

[54] **M. Hnatiuc**, “Les nouvelles méthodes de détection précoce des troubles du comportement humain. Le contrôle de la pression dans les sacs”, cap. 4 “Développement de méthodes d’analyse et de techniques d’apprentissage du comportement à distance : application des conditions de vie de personnes âgées ou handicapées en milieu hospitalier ou à domicile”, raport OTAN, pp. 56-60, 2005.