بسم الله الرحمن الرحيم

معالجة إشارات القلب الصوتية

تأليف

عباس عباس **رشا بسام**

ترجمة

د.م. محمد آمون شرابي

قسم علوم الحاسب – كلية المجتمع

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٣٦هـ (٢٠١٥م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

عباس، عباس

معالجة إشارات القلب الصوتية./ عباس عباس؛ رشا بسام؛ محمد آمون شرابي.- الرياض، ١٤٣٦هـ

٢٨٦ص؛ ١٧×٢٤سم

ردمك: ٥-٣٥٨-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- القلب- تخطيط ٢- تشخيص الأمراض أ. بسام، رشا (مؤلف مشارك) ب. شرابي، محمد آمون (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦١٦,١٢ ١٤٣٦/٣١٦٧

رقم الإيداع: ١٤٣٦/٣١٦٧

ردمك: ٥-٣٥٨-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Phonocardiography Signal Processing
By: Abbas K. Abbas & Rasha Bassam
© Morgan & Claypool, 2009
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثاني والعشرين للعام الدراسي ١٤٣٤/ ١٤٣٥هـ المعقود بتاريخ ١١/ ٠٨/ ١٤٣٥هـ الموافق ٠٩/ ٠٦/ ٢٠١٤م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مقدمة المترجمين

بالرغم من التغير الدائم للأجهزة الطبية الذى يطرأ مع مرور الوقت، ومع الزيادة الهائلة في استخدام تلك الأجهزة في المنشآت الصحية وفي ضوء اعتماد الطب الحديث اعتماداً شبه كامل على هذه الأجهزة، فإنه لا يوجد الكثير من الكتب باللغة العربية التى تحدد الأسس والمبادئ الهندسية التي يستند إليها عمل التجهيزات الطبية وخاصة في مجال معالجة إشارات القلب الصوتية والتي عن طريقها يتم تقييم دقيق لأصوات القلب، وذلك بغية الوصول إلى تشخيص دقيق، طالما أن المكتبة العربية تفتقر إلى مراجع من هذا النوع بشكل خاص وإلى مراجع في الهندسة الطبية والإكلينيكية عموماً.

ومساهَمةً منا في إثراء المكتبة العربية في هذا النوع من الكتب فقد قمنا بعون الله وتوفيقه بترجمة هذا الكتاب من أجل خدمة دارسي الطب والمهندسيين الطبيين والأطباء السريريون في عملهم.

إن ترجمة الكتب العلمية إلى اللغة العربية محفوفة بالمصاعب. إذ يجب الالتزام بالنص الأصلي على أن تكون الترجمة بلغة عربية سلسة وسليمة تعكس المفهوم العلمي والمعنى الصحيح بصورة دقيقة ومفهومة. ومن أجل ذلك فقد قام المترجم ببذل

كل جهد ممكن لتحقيق جميع العناصر المذكور أعلاه ونرجو من الله أن نكون قد وفّقنا في ذلك لخير وفائدة القراء والمهتمّين بموضوعات هذا الكتاب.

وعرفاناً بالجميل نتقدم بالشكر جامعة الملك سعود ومركز الترجمة على تشجيعها لمنسوبي الجامعة على التمّيز والريادة. ولا ننسى في هذا المجال أن أشكر المحكمّين والمراجعين وكل من ساهم بشكل أو بآخر في إنجاز هذا العمل.

والله ولي التوفيق

المترجم

الإهداء

إلى أرضنا العظيمة ، بلاد ما بين النهريين

إلى عراقنا العظيم

إلى نورنا في الظلامات: والدينا

الملخص

تعتبر طريقة التسمع علامة تشخيصية مهمة لمشاكل الديناميكا الدموية، كما أن تصنيفات الصوت القلبي وتحليلاته تلعب دورا هاماً في التشخيص التسمعي. يقصد بمصطلح المخطط الصوتي للقلب على أنه طريقة تتبع الأصوات والاهتزازات القلبية السمعية عن طريق مبدل ميكروفوني. لذلك، فإن فهم طبيعة هذه الإشارات ومصدرها مهما ليعطينا اتجاهاً لتطوير أدوات متخصصة لمعالجات وتحليلات أخرى، من أجل تحسين ونمذجة الطرق التشخيصية السريرية أو الإكلينيكية وأمثلتها. يوفر هذا الكتاب للقارئ نظرة شاملة على الموضوعات الأساسية في معالجة إشارات القلب الصوتية.

الكلمات المفتاحية

المخطط الصوتي للقلب، الطريقة التسمعية، معالجة الإشارات، ترشيح الإشارات، أصوات القلب، ميكروفون سماعة الطبيب، نمذجة الصوتيات القلبية السمعية، التحليل المويجي، تصنيف البيانات، التقدير الطيفي وتحليله، تصنيف المخطط الصوتي للقلب، معايرة المخطط الصوتي للقلب، المخطط الصوتي للقلب من داخل القلب، التصوير الصوتي السمعي القلبي.

توطئة

في أنظمة الرعاية الصحية الحديثة، وجدت وسائل التسمع دورها الأساسي في الرعاية الصحية الشخصية وفي دعم عمليات اتخاذ القرار في الحالات الإكلينيكية الخاصة والمكثفة. وتعتبر عملية اتخاذ القرار المعتمدة على التسمع سلاحاً ذو حدين: فهو أداة مبسطة قادرة على تصنيف وتقييم الأصوات الخافتة للقلب يعتبر غير دقيق، لكنه في نفس الوقت يوفر الوقت والتكلفة ويخفف الكثير من تخوفات المرضي. وتوفر التعليمات الموجودة في هذا الكتاب الخلفية البناءة والداعمة للطلاب ولمهندسي النظم الحيوية الطبية، لأنها لا توفر الحقائق عن إشارات التخطيط الصوتي للقلب PCG فحسب، بل توفر أيضا معلومات عن التفاعل بين الأصوات القلبية ووسائل تحليل المخطط الصوتي للقلب PCG، من خلال طرق متقدمة لمعالجة هذه الإشارات. وستساعد هذه الطريقة في تحديد معلومات سريرية وفسيولوجية مفيدة وطرق الحصول عليها. على الرغم من أن طرق الحصول على المخطط الصوتي للقلب سهلة ومباشرة، وغير تدخلية، ومنخفضة التكلفة، ودقيقة في تقييم مدى واسع من أمراض القلب، فإن التشخيص عن طريق التسمع يتطلب خبرة جيدة وقدرة فائقة على الملاحظة.

وفي العادة يتم تحليل إشارات المخطط الصوتي للقلب وتوصيفها عن طريق الخواص الشكلية في النطاق الزمنى، أوعن طريق الخواص الطيفية في النطاق الترددي، أو عن طريق خواص غير ثابتة في النطاق الزمنى والترددي المركب. وإلى جانب مراجعة هذه التقنيات، سيغطي هذا الكتاب التطورات الحديثة فى التحليل غير الخطى للمخطط الصوتي للقلب، والذى تم استخدامه في إنشاء النموذج الصوتي للقلب المفترض.

وتوفر هذه الخطوة المعالجية تفسيرا هندسيا لديناميكيات الإشارات التي يمكن استخدام بنياتها في توصيف وتصنيف النظام، وأيضا من أجل أهداف معالجة الإشارات الأخرى مثل أهداف الكشف والتوقع. بالإضافة لذلك، فإنها ستوفر جوهرا مهما للمعلومات والمفاهيم الضرورية لتطوير الجوانب الحديثة لنظام تسمع قلبي ذكى محوسب، مثل وحدة سماعة الطبيب الذكية.

وسيركز هذا الكتاب على وجه الخصوص على تصنيف وتحليل النماذج الناتجة من إشارات المخطط الصوتي للقلب عن طريق استخدام طرق تكيفية لمعالجة الإشارات. وتعتمد وسائل تحديد ونمذجة الديناميكيات الصوتية الأساسية للنظام القلبي على طرق مختلفة، مثل الانحدار الذاتي للمتوسط المتحرك autoregressive moving average, ARMA، وتقريب باد Pade، والتقريب التراجعي، وسيتم تناول جميع هذه الطرق. يعتمد الكشف المتباين للمخطط الصوتي للقلب الخاص بالعديد من أمراض القلب، مثل عدم كفاءة الصمام المترالي والارتجاع الأورطي، على إحصائيات الزمن التكراري بالترابط مع التقدير غير الخطى للتخلص من أصوات القلب المشوشة الناتجة عن أصوات التنفس في كل من الأشخاص الأصحاء والمرضى.

ويلقى هذا الكتاب الضوء على الجوانب المتقدمة في مجال تصنيف نماذج المخطط الصوتي للقلب خوارزميات تجميع البيانات عالية الدرجة. ولقد تم شرح تطبيقات الذكاء الاصطناعي والبحث عن البيانات على تصنيف المخططات الصوتية للقلب من خلال الشبكات العصبية الاصطناعية (مثل مصنف المستقبل perceptron classifier، وعمليات مسح التنظيم الذاتي self-organizing mapping, SOM وطرق التجميع المعتمدة على المنطق الضبابي مثل خوارزم المتوسط C الضبابي fuzzy c-mean algorithm.

لقد تم تقديم مواضيع خاصة في التطبيقات المتعلقة بالمخطط الصوتي للقلب مثل تجميع إشارات المخطط الصوتي لقلب الجنين fPCG وتحليلها، واستجابة منظم ضربات القلب المدفوعة بمعدل المخطط الصوتي للقلب، ومفاهيم المعالجة والتجهيزات للمخطط الصوتي من داخل القلب، بالإضافة إلى موضوعات مختارة في الإشارات الفسيولوجية بالتزامن مع إشارة المخطط الصوتي للقلب.

وفى النهاية فقد تم فى هذا الكتاب تقديم طرق معالجة المخطط الصوتي للقلب غير الخطية وشرحها، بالإضافة إلى طرق التحديد الموضعي الدقيق لصوت القلب الأول والثاني عن طريق بوابة المخطط الكهربي للقلب ECG.وستوفر الأهداف التعليمية المحددة في كل فصل من هذا الكتاب المعرفة الجيدة للطلاب، والأطباء، ومهندسي الأجهزة الطبية عن طريق تقديم تقنيات التحليل غير الخطية المعتمدة على نظرية الأنظمة الديناميكية لاستخلاص المعلومات الإكلينيكية الدقيقة من إشارات المخطط الصوتي للقلب.

المؤلفون

قائمة الاختصارات

الوصف	Abbreviation
الصمام الأورطي.	AV
العقدة الأذينية البطينية	AVN
التحليل المويجي التكيفي	AWD
مرض ضيق الشريان الأورطي	ASD
جمعية القلب الأميركية	AHA
المتوسط المتحرك المتناقص تلقائياً	ARMA
الترميز الصوتي	ACOD
معامل الإرتباط التلقائي	ACF
المحول التناظري أو التماثلى الرقمي	ADC
خوارزمية تجميع المتوسط K التكيفية	AKM
الشبكة العصبية الاصطناعية	ANN
مرض بطء ضربات القلب الشرياني	BAD

النطاق الترددي (للموجة)	BW
مرشح تمرير محدد النطاق	BPF
مرض إحتقان الشريان الأورطي	CAD
الميكروفون القلبي	CM
نظام التشخيص السريري	CDS
مرض إحتقان القلب	CHD
التحليل المويجي المستمر	CWT
نظام اكتساب البيانات	DAQ
مويجات ديبوتشي	DbW
تحويل دالة الجيب المقطعة	DCT
تحويلة فورير المتقطع	DFT
سماعة طبية رقمية	DS
وضعية منظم ضربات القلب (التحسس المزدوج- تنظيم البطين- وضعية المنع)	DVI
وضعية منظم ضربات القلب (التحسس المزدوج - تنظيم البطين- وضعية الحّث)	DVT
التحليل المويجي المتقطع	DWT
مخطط القلب الكهربائي	ECG
مخطط أصوات القلب البلعومي	ePCG
مرض ضغط الدم الانقباضي المبكر	ESD
توقع خصائص الإشارة عبر التقنيات الثابتة الدوارة	ESPRIT
تحويل فورير السريع	FFT

الرموز	
الإستجابة النبضية المحدودة	FIR
نظام تصنيف ضبابى معتمد علي المتوسط C	FCM
معدل ضربات قلب الجنين	FHR
مخطط أصوات قلب الجنين	fPCG
مرشح تمرير الترددات العالية	HPF
نموذج ماركوف الخفي	HMM
إحصاءات عالية الدرجة	HOS
تحويل هيلبرت	HT
إشارات مخطط أصوات القلب الداخلي	ICP
إشارات صوت ضغط القلب الداخلي	ICSP
جهاز إزالة رجفان القلب الداخلي	ICD
التحليل المستقل للمكون	ICA
معهد الهندسة الكهربائية والالكترونية	IEEE
مرشح الإستجابة النبضيةغير المحدودة	IIR
مضخة البالون داخل الشريان الأورطي	IABP
نظام إعادة بناء الصور	IRS
نموذج كالمان الخطي	KLM
شاشة العرض بنظام الكريستال السائل	LCD
حجم ضغط البطين الأيسر	LVPV
ضغط البطين الأيسر	LVP
حجم البطين الأيسر	LVV
مرشح تمرير الترددات المنخفضة	LPF

الرموز	
LTI	نظام خطي لايتغير مع الزمن
LSE	توقع المربعات الصغري
MSM	مرض ضيق الشريان المترالي
MC	وحدة متحكم دقيق
MI	ذبحة قلبية
MV	الصمام المترالي
OP	نقطة التشغيل (منحنى ضغط الدم)
ODE	معادلة تفاضلية عادية
PCA	تحليل المكون الرئيسي
PCG	مخطط أصوات القلب
PDE	معادلة تفاضلية جزئية
PET	التصوير المقطعي بالإنبعاث البوزيتروني.
PSG	إشارات مخطط أصوات التنفس
PATI	التصويرالمقطعي الصوتي السمعى باستخدام مخطط أصوات القلب
PSD	كثافة الطاقة الطيفية.
P-wave	جزء من دورة مخطط القلب الكهربائي تمثل مرحلةالاستقطابالأذيني.
QRS-complex	جزء من دورةمخطط القلب الكهربائي تمثلمرحلةالاستقطابالبطيني.
RBANN	الشبكة العصبيةالاصطناعية النصف قطرية الأساس.

التحويل النصف القطري.	RTF
المسح المنظم ذاتياً	SOM
تحويل فورير قصير الوقت	STFT
التصويرالمقطعي المحوسب باستخدام انبعاث فوتون فردي	SPECT
نسبة الإشارة إلى الضوضاء	SNR
العقدة الأذينية.	SAN
الصوت الأول للقلب	S_1
الصوت الثاني للقلب	S_2
الصوت الثالث للقلب	S_3
الصوت الرابع للقلب	S_4
جزء من دورةتخطيط القلب تمثل مرحلةعودة الاستقطاب البطيني	T-wave
مرض الشريان ثلاثي الشرفات.	TAD
وضعية منظم ضربات القلب (التحسس البطيني - تنظيم البطين- وضعية الحث)	VVT
سماعة طبية الكترونية مرئية	VES
نسق ملف بيانات الموجة السمعية	WAV
توقع كثافة المويجات (الموجات الصغيرة)	WDE

قائمة الرموز

Symbol	Description	الوصف
α	Angle of fourier transformation	فورير زاوية تحويل
S_1	First heart sound	الصوت الأول للقلب
S_2	Second heart sound	الصوت الثاني للقلب
S_3	Third heart sound	الصوت الثالث للقلب
S_4	Fourth heart sound	الصوت الرابع للقلب
θ_{PCG}	PCG pattern vector	نموذج متجه مخطط أصوات القلب
V_s	microphone voltage source	مصدر جهد الميكروفون
R_s	microphone source impedance	معاوقة المصدر للميكروفون
ω	angular frequency	التردد الزاوي
C_0	microphone output capacitance	سعة خرج الميكروفون
V_0	microphone voltage output	جهد خرج الميكروفون
Z_{ch}	acoustic impedance	معاوقة سمعية
A_2	Atrial component of PCG signal	المكون الأذيني لإشارات مخطط

أصوات القلب.		
المكون الرئوي لإشارات مخطط أصوات القلب	Pulmonary component of PCG signal	P_2
تحويل فوريير لإشارات مخطط أصوات القلب	Fourier transform of PCG signal	$f(t)$
طاقة إشارات مخطط أصوات القلب	PCG signal Energy	E_t
دالة هار لتحويل المويجات	Haar Wavelet transform function	$\Phi(t)$
معامل هار لتحجيم إشارات مخطط أصوات القلب	Haar scaling factor of PCG signal	$\Psi(t)$
لمويجات إشارات مخطط Db تحويلة أصوات القلب	Db-wavelet transformation of PCG signal	Φ_2^D
نطاق يتردد المويجات ثنائية الحجم	two scale frequency-wavelet domain	p_{2k}
القيمة غير المؤكدة لإشارات مخطط أصوات القلب	Entropy value of PCG signal	Φ_{PCG}
تحويل المويجات المستمرلإشارات مخطط أصوات القلب	continuous-wavelet transformation (CWT) of PCG signal	$\gamma(s, \tau)$
تحويل المويجات المستمر معامل تحجيم لإشارات مخطط أصوات القلب	Scaling factor of (CWT) PCG signal	$\Psi(s, \tau)$
متجه تحليل المويجات لإشارات مخطط أصوات القلب	Wavelet decomposition vector of PCG signal	$S(t, w)$
الطيفي لإشارات توقع الوسيط	Spectral mean estimate of PCG signal	$Mj-PCG(t)$

x_{PCG}	PCG signal data array	مخطط أصوات القلب مصفوفة بيانات إشارات مخطط أصوات القلب
$\hat{R}_{PCG}(s)$	Power spectral density of PCG signal	لإشارات مخطط الطيفية كثافة القدرة أصوات القلب.
$\hat{R}_B(w)$	PCG signal periodigram estimator	متوقع الرسم الدوري لإشارة مخطط أصوات القلب
$H(z)$	Density transfer function of PCG signal	نقل كثافة إشارة مخطط أصوات دالة القلب
$A(z)$	Density transfer function zeros of PCG signal	كثافة إشارات مخطط نقل أصفار دالة أصوات القلب
$B(z)$	Density transfer function poles of PCG signal	نقل كثافة إشارات مخطط أقطاب دالة أصوات القلب
X_{PCG}^{T}	PCG transfer matrix signal	مصفوفة نقل إشارات مخطط أصوات القلب
f_{LO}	Microphone center frequency	التردد الأوسط للميكروفون
w_f	Fundamental frequency	الأساسي التردد

المحتويات

مقدمة المترجمين ..... **هـ**

الإهداء ..... **ز**

الملخص ..... **ط**

توطئة ..... **ك**

قائمة الاختصارات ..... **س**

قائمة الرموز ..... **ش**

الفصل الأول: مقدمة عن معالجة إشارات مخطط أصوات القلب ١

(١,١) مقدمة ١

(١,٢) معالجة الإشارات ٣

(١,٣) تطبيقات معالجة الإشارات في الهندسة الحيوية الطبية ٦

(١,٤) فسيولوجيا القلب والأوعية الدموية ٧

(١,٥) الدورة القلبية ١١

(١,٦) شكل الضغط القلبي ١٤

(١,٧) حلقات الضغط – الحجمي البطيني ١٧
(١,٨) نظام التوصيل الكهربي القلبي ١٩
(١,٩) فسيولوجية أصوات القلب..... ٢٠
(١,١٠) نمط أصوات القلب غير الطبيعية ٢٤
(١,١١) تقنية التسّمع ٣٣
(١,١٢) الملخص ٤٢
الفصل الثاني: القياسات الصوتية السمعية للمخطط الصوتي للقلب ٤٣
(٢,١) ديناميكا المخطط الصوتي للقلب ٤٣
(٢,٢) طيف اهتزاز إشارة المخطط الصوتي للقلب ٥٠
(٢,٣) مرشحات تمرير النطاقات الترددية البينية مقابل مرشحات تمرير النطاقات الترددية العالية ٥٣
(٢,٤) نمذجة حسّاس سّماعة الطبيب ٧٤
(٢,٥) الملخص ٨٢
الفصل الثالث: إطار لمعالجة إشارات المخطط الصوتي للقلب ٨٣
(٣,١) عرض إشارات المخطط الصوتي للقلب PCG ٨٣
(٣,٢) تقنيات تقليل الضوضاء وترشيح الإشارات..... ٨٧
(٣,٣) عرض إشارات المخطط الصوتي للقلب..... ٨٨
(٣,٤) نمذجة الصوت القلبي وتحديده..... ٩٠
(٣,٥) معالجة إشارات المخطط الصوتي للقلب المعتمد على النموذج..... ٩٧
(٣,٦) الرؤي المستقبلية ٩٧
(٣,٧) الملخص ١٠٥

الفصل الرابع: تحليل المويجات لمخطط القلب الصوتي ١٠٧
(٤,١) المويجات ١٠٧
(٤,٢) تحليل فورير ١١٠
(٤,٣) تحليل المويجات ١٢٣
(٤,٤) الكشف عن النماذج بالاعتماد على التحليل المويجي المتكيف ١٢٦
(٤,٥) الملخص ١٣١
الفصل الخامس: التحليل الطيفي للمخطط الصوتي للقلب ١٣٣
(٥,١) التحليل الطيفي لإشارات المخطط الصوتي للقلب ١٣٣
(٥,٢) طريقة غير بارامترية للتقدير الطيفي للمخطط الصوتي للقلب ١٤١
(٥,٣) الطرق البارامترية للتقدير الطيفي الخاص بالمخطط الصوتي للقلب ١٥٠
(٥,٤) طريقة النافذة الطيفية لمعالجة إشارات الـPCG ١٥٨
(٥,٥) أنظمة سماعة الطبيب الرقمية DS ١٦٠
(٥,٦) الملخص ١٦٤
الفصل السادس: تصنيف أنماط مخطط القلب الصوتي ١٦٥
(٦,١) مقدمة ١٦٥
(٦,٢) طرق تصنيف أنماط المخطط الصوتي للقلب ١٦٧
(٦,٣) طريقة التجميع بالمتوسطات K ١٦٨
(٦,٤) خوارزم التصنيف بالمتوسطات الضبابيةC ١٧٠
(٦,٥) التحليل بالمكونات الأساسية PCA ١٧٤
(٦,٦) تصنيف الـPCG بالطرق الإحصائية العالية الدرجة PCG-HOS ١٧٨
(٦,٧) طريقة المكونات المستقلة ICA ١٨٠

(٦,٨) تصنيف الـPCG المعتمد على الشبكات العصبية الصناعية ANN ١٨٧
(٦,٩) مصنف باي Bayes classifier ١٩٧
(٦,١٠) المخطط الصوتي للقلب لتحديد ديناميكية الدم ٢٠٠
(٦,١١) أمثلة تطبيقية على تصنيف نماذج الـPCG ٢٠٥
(٦,١٢) الاتجاهات المستقبلية في تصنيف نماذج المخطط الصوتي للقلب ٢٠٩
(٦,١٣) الملخص ٢١٢
الفصل السابع: تطبيقات خاصة للمخطط الصوتي للقلب ٢١٣
(٧,١) مقدمة ٢١٣
(٧,٢) معالجة إشارات المخطط الصوتي لقلب الجنين ٢١٤
(٧,٣) معالجة إشارات المخطط الصوتي من داخل القلب ICP ٢٢٠
(٧,٤) الفصل بين إشارات المخطط الصوتي السمعي للمخطط الصوتي من داخل القلب ICP ٢٢٨
(٧,٥) نظام المخطط الصوتي للقلب من خلال بالمنظم القلبي ٢٣٥
(٧,٦) أساسيات أجهزة الدعم القلبية ٢٣٨
(٧,٧) الملخص ٢٤١
الفصل الثامن: تسجيل البيانات ودمجها ٢٤٣
(٨,١) مقدمة ٢٤٣
(٨,٢) الدوافع وتحديد المشكلة ٢٤٧
(٨,٣) التجهيز التجريبي ونظام النماذج الأولية لـPATL ٢٥٠
(٨,٤) معالجة إشارات المصفوفات الصوتية السمعية ٢٥٤
(٨,٥) الملخص ٢٦٣

المراجع ٢٦٧
ثبت المصطلحات..... ٢٧٩
أولاً: عربي – إنجليزي..... ٢٧٩
ثانياً: إنجليزي – عربي ٢٨٦
كشاف الموضوعات ٢٩٣