# المعالجة الرقمية للإشارات

تأليـــف


**أ.د. محمد إبراهيم العدوي**

أستاذ قسم الإلكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة — جامعة حلوان-
جمهورية مصر العربية

**د. حسن فؤاد محمد السيد**

أستاذ مشارك قسم العلوم الطبية التطبيقية
كلية المجتمع — جامعة الملك سعود - الرياض



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٣٢هـ (٢٠١١م).

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

العدوي ، محمد إبراهيم

المعالجة الرقمية للإشارات. /محمد إبراهيم العدوي ؛ حسن فؤاد محمد السيد. — الرياض، ١٤٣٢هـ.

٤٢٤ص، ١٧ × ٢٤سم

ردمك : ٤-٧٢٧-٥٥ - ٩٩٦٠-٩٧٨

١- اللاسلكي ٢- الاتصالات السلكية واللاسلكية أ. محمد، حسن فؤاد (مؤلف مشارك) ب. العنوان

ديوي ٣٨٤١، ٦٢١ ١٤٣١/٩٥٤٧

رقم الإيداع ١٤٣١/٩٥٤٧

ردمك : ٤ – ٧٢٧ – ٥٥ – ٩٩٦٠-٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره – بعد اطلاعه على تقارير المحكمين – في اجتماعه العاشر للعام الدراسي ١٤٣٠/١٤٣١هـ المعقود بتاريخ ١٤٣١/١/٢٤هـ الموافق ٢٠١٠/١/١٠م.

**تعتذر إدارة النشر العلمي والمطابع عن عدم وضوح بعض أشكال الكتاب بسبب عدم وضوحها من المصدر.**

**النشر العلمي والمطابع ١٤٣٢هـ**

# الإهـداء

إلى كل غيور على اللغة العربية...

إلى كل من استخدم اللغة العربية كلغة تعبير عن علمه...

إلى كـل مـن بـذل مجهـوداً في تبـسيط علمـه باللغـة العربيـة ليـصبح في متنـاول الطالب والقارئ العربي.

# شكر وتقدير

يتقدم المؤلفان بالشكر الجزيل للدكتورة: نانسي مصطفى سالم المدرسة بقسم الهندسة الطبية على المجهود والمساهمة في مراجعة محتويات الكتاب.

# مقدمة الكتاب

إننا نعيش بل نسبح فى عالم من الإشارات التي نتعامل معها دائماً، فهناك إشارات لاسلكية مثل إشارات الراديو والتلفزيون ة والهاتف المحمول والشبكات اللاسلكية والإشارات المنبعثة من خطوط القدرة، وإشارات سلكية مثل إشارة التليفون وشبكة الحاسب السلكية، وأنواع أخرى وكثيرة من الإشارات مثل إشارة راسم القلب الإلكتروني وراسم المخ وراسم العضلات وأجهزة التصوير الطبية المختلفة، وإشارات التراسل مع الأقمار الصناعية خارج نطاق الأرض، وإشارات التحكم عن بعد في الكثير من الأجهزة، كل هذه إشارات تتولد ضعيفة مخلوطة بالكثير من الضوضاء والإشارات الأخرى غير المرغوب فيها، ولكي تتم الاستفادة من هذه الإشارات ونستطيع التعامل معها لابد من معالجتها وتهيأتها في صورة مناسبة، وهذا هو الدور الأساسي لعلم معالجة الإشارات، أي أن علم معالجة الإشارات هو العلم الذي يقدم لنا الطرق المختلفة لتهيئة أي إشارة وجعلها في الصورة المناسبة للتعامل معها. هذا العلم بدأ مع بدايات القرن الماضي وبالطبع لم تكن الحاسبات فى هذا الوقت قد عرفت ولا كانت في الحسبان ولذلك كانت الإشارات كلها من النوع التماثلي أو الانسيابي وكانت طرق المعالجة من النوع التماثلي أو الانسيابي أيضاً.

ظل الوضع كذلك إلى أن ظهرت الحاسبات في بداية سبعينيات القرن العشرين

وحدث ما يشبه الثورة في مجال الحاسبات والمعالجات الدقيقة وبالطبع فقد تركت هذه الثورة آثارها على شتى العلوم ومنها علم معالجة الإشارات حيث تحولت الإشارات التناظرية إلى إشارات رقمية وتحولت معها طرق المعالجة إلى طرق رقمية يتم إجراؤها إما باستخدام حاسب أو حتى شريحة إلكترونية وحدثت ثورة موازية في علم معالجة الإشارات الرقمية ظهرت معها طرقاً وخوارزميات جديدة كانت مجرد خيال أو حتى نظريات على الورق وكتب لها الظهور بفضل ثورة الحاسبات. هذه الثورة في علم المعالجة الرقمية للإشارات جعلته يدخل بل ويصبح أداة مهمة في شتى تطبيقات ومجالات التعامل مع الإشارات مهما كانت هذه الإشارات، فغالباً لن تجد جهازاً يستخدم الآن إلا وبداخله معالج للإشارة مما يعكس هذه الأهمية لهذا العلم أنه أصبح أساسياً في شتى التخصصات الهندسية سواء كانت تخصصات الإلكترونيات أو الاتصالات أو الآلات الكهربية أو حتى القوى الكهربية بل والتخصصات الميكانيكية والجيولوجية وغيرها، أصبحت كلها تهتم بدراسة هذا العلم لما له من أهمية في دراسة الضوضاء التي تسببها أي آلة، ودراسة توازن هذه الآلة واهتزازها عند ظروف التشغيل المختلفة مثلاً.

إن علم المعالجة الرقمية للإشارات بدأ تدريسه لطلاب الدراسات العليا فقط في تخصصات الإلكترونيات والاتصالات، وهو الآن من العلوم الأساسية لطلاب البكالوريوس في التخصصات الإلكترونية وطلاب الدراسات العليا بل وربما طلاب البكالوريوس أيضاً في باقي التخصصات الهندسية مثل تخصصات الكهرباء والميكانيكا والهندسة الطبية.

هذا المقرر يمكن تدريسه في فصل دراسي واحد ثلاث ساعات أسبوعياً للمحاضرة وساعتين للتمارين. ولا بد من دراسة مقرر في الرياضيات خاص بالتفاضل

والتكامل وحل المعادلات التفاضلية من الدرجات المختلفة والتعامل مع الكميات التخيلية قبل الدخول في دراسة هذا المقرر. من الضروري أيضاً أن يكون الطالب ملما أو تدرب على برنامج الماتلاب matlab كلغة برمجة ولغة تطبيقية في هذا المجال حيث يحتوي الماتلاب على صندوق أدوات tool box خاص بالمعالجة الرقمية للإشارات ويحتوي هذا الصندوق على الكثير من الدوال والأدوات التي تساعد في تصميم الكثير من الخوارزميات الضرورية في هذا المجال مما جعلنا نعتمد هذه اللغة كلغة البرمجة والتطبيق في هذا المقرر.

لقد بدأنا هذا الكتاب **بالفصل الأول** وهو مقدمة عن موضوع المعالجة الرقمية للإشارات حيث عرفنا فيه المقصود بالإشارة وما هي الإشارة الرقمية وما هي فائدة التعامل مع الإشارات الرقمية بالذات حتى إن الإشارة التناظرية يتم تحويلها إلى الصورة الرقمية، ثم معالجتها بطرق رقمية على حاسب أو شريحة، ثم إعادتها مرة ثانية إلى الصورة التناظرية.

يقدم **الفصل الثاني** الطرق المختلفة لتحويل الإشارة من الصورة التناظرية إلى الصورة الرقمية ويشرح نظرية العينة أو التقطيع sampling theory التي تعد من النظريات المهمة التي يجب تحقيقها عند تحويل أي إشارة من النطاق الزمني إلى النطاق الترددي وقد تم شرح هذه النظرية شرحاً مبسطاً يمكن القارئ من فهمها.

يقدم **الفصل الثالث** تعريف للإشارة الرقمية مع عرض أمثلة على بعض هذه الإشارات الشائعة الاستخدام مع عرض لتصنيفات كثيرة لهذه الإشارات من حيث الدورية والتشابه حول نقطة الأصل والطاقة لأي إشارة والعمليات الحسابية المختلفة التي يمكن إجراؤها على الإشارات الرقمية، بعد ذلك تم تعريف الأنظمة الرقمية وخواصها من حيث الخطية والاستقرار وغير ذلك من الخواص، كما تم شرح كيفية

الربط بين خرج النظام ودخله والعلاقة بينهما بأكثر من طريقة.

يشرح **الفصل الرابع** بالتفصيل تحويل Z كتحويل أساسي لنقل الإشارة إلى نطاق آخر يسهل معه التعامل مع الإشارات بطرق أسهل وهو يكافئ تحويل لابلاس في حالة التعامل مع الإشارات التماثلية أو التناظرية.

تحويل فورير كان هو موضوع **الفصل الخامس** وهذا التحويل أساسي في تحويل أي إشارة من النطاق الزمني إلى النطاق الترددي والعكس وذلك لدراسة الاستجابة الترددية لأي نظام، ولقد تم شرح كل ما يتعلق بهذا الموضوع من حيث تتابع فورير وتحويل فورير والفرق بينهما وذلك للإشارات التناظرية والرقمية، وختم الفصل بشرح مفصل لخوارزم تحويل فورير السريع.

**الفصل السادس** تم فيه شرح المرشحات التناظرية وكان ذلك بسبب أن بعض طرق تصميم المرشحات الرقمية تعتمد على المرشحات التناظرية، لذلك كان من الضروري مراجعة هذا النوع من المرشحات.

هناك صنفان من المرشحات الرقمية ، إما المرشحات ذات الاستجابة الاندفاعية اللانهائية IIR وإما المرشحات ذات الاستجابة الاندفاعية المحدودة FIR. النوع الأول من المرشحات كان هو موضوع **الفصل السابع** حيث تم فى هذا الفصل شرح أكثر من طريقة لتصميم هذا النوع من المرشحات.

تناول **الفصل الثامن** الطرق المختلفة لتصميم المرشحات من النوع الثاني FIR.

لبناء المرشحات التناظرية نستخدم المقاومات والمكثفات، ولبناء المرشحات الرقمية نستخدم دوائر الجمع والإزاحة والتأجيل أو التأخير.

يقدم **الفصل التاسع** بعض الطرق لبناء المرشحات الرقمية.

في النهاية كان لابد من ذكر بعض التطبيقات التي تستخدم فيها تقنيات المعالجة

الرقمية للإشارات وهذه التطبيقات لا حصر لها ولكننا اخترنا المعالجة الرقمية للصوت والذي كان موضوع **الفصل العاشر** حيث تم استعراض بعض التقنيات المستخدمة في ذلك حيث إن هذا الموضوع تفرد له الكتب والمراجع ولكننا استعرضناه هنا سريعا لنقدمه للقارىء فقط ونترك له حرية الاستزادة من هذا الموضوع إن أراد.

استعرض **الفصل الحادي عشر** أيضاً بطريقة سريعة موضوع المعالجة الرقمية للصور بنفس طريقة الفصل العاشر حيث إن هذا الموضوع أيضا تفرد له الكتب والمراجع العديدة لاستيعابه.

يعد هذا الكتاب مقدمة لموضوع المعالجة الرقمية للإشارات ويجب أن يلحقه كتاب آخر يتم فيه شرح بعض التقنيات المتقدمة مثل المرشحات المهايئة adaptive filters والدخول بعمق أكثر في التحليل الطيفي للإشارات spectrum analysis والإشارات العشوائية random signals وكذلك موضوع معالجة الإشارات الرقمية في الزمن الحقيقي real time digital signal processing .

في النهاية فإن هذه محاولة للكتابة أو التأليف باللغة العربية في موضوع تقنى يعد من الموضوعات التي تندر فيها المؤلفات باللغة العربية. لذلك نرجو أن تعم الفائدة من هذا المجهود وأن يحذوا جميع المتخصصين حذونا في ذلك وأن يخوضوا مثل هذه التجربة وحتى تمتلئ المكتبة العربية بالمؤلفات العلمية العربية وحتى لا تكون اللغة حاجزاً بين الناطقين باللغة العربية وبين العلوم الحديثة.

**المؤلفان**

# المختصرات

# Abbreviations

| | |
|---|---|
| ADC (A/D)Analog to Digital Converter | محول تناظري رقمي |
| BIBO Bounded Input Bounded Output | محكوم الدخل محكوم الخرج |
| BPF Band Pass Filter | مرشح منفذ لمجال من الترددات |
| BSF Band Stop Filter | مرشح مانع لمرور مجال من الترددات |
| BW Band Width | عرض المجال |
| DAC (D/A) Digital to Analog Converter | محول رقمي تناظري |
| DFT Discrete Fourier transform | تحويل فورير المتفاصل أو المقطع أو المعينن |
| DTFT Discrete Time Fourier Transform | تحويل فورير للإشارات المتفاصلة زمنياً |
| EOC End Of Conversion | نهاية التحويل |
| FIR Finite Impulse Response | الاستجابة الاندفاعية المحدودة |
| HPF High Pass Filter | مرشح منفذ للترددات المرتفعة |
| IDTFT Inverse Discrete Fourier Transform | تحويل فورير المتفاصل زمنياً العكسي |
| IIR Infinite Impulse Response | الاستجابة الاندفاعية غير المحدودة |
| LPC Linear Predictive coding | التنبؤ الخطي المشفر |
| LPF Low Pass Filter | مرشح منفذ للترددات المنخفضة |
| LSB Least Significant Bit | البت ذات القيمة الصغرى (آخر بت ناحية اليمين في الرقم الثنائي) |
| LTI Linear Time Invariant | خاصية الثبات الزمني الخطي |

| | |
|---|---|
| LSI Linear Shift Invariant | خاصية الثبات الإزاحي الخطي للتتابع |
| MRI Magnetic Resonance Imaging | التصوير بالرنين المغناطيسي |
| MSB Most Significant Bit | البت ذات القيمة العظمي (آخر بت ناحية اليسار في الرقم الثنائي) |
| PDF Probability Density Function | دالة كثافة الاحتمال |
| ROC Region Of Conversion | منطقة التقارب |
| TTL Transistor- transistor Logic | نظام منطقي لبناء البوابات المنطقية إلكترونياً |

# المحتويات

الصفحة

**إهداء** ..... هـ

**شكر وتقدير** ..... ز

**مقدمة الكتاب** ..... ط

**المختصرات** ..... س

**الفصل الأول: مقدمة عامة عن معالجة الإشارات الرقمية**

(١,١) مقدمة ..... ١

(١,٢) نظرة تاريخية على موضوع معالجة الإشارات الرقمية ..... ١٢

(١,٣) عرض الإشارات ..... ١٤

(١,٤) أمثلة على بعض الإشارات ..... ١٧

(١,٥) تمارين ..... ٢١

**الفصل الثاني: التحويل من رقمي إلى تناظري والعكس**

(٢,١) مقدمة ..... ٢٥

(٢,٢) عملية التحويل من الصورة التناظرية إلى الصورة الرقمية ..... ٢٧

(٢,٣) نظرية العيننة في النطاق الزمني ..... ٣١

(٢,٤) نظرية العيننة في النطاق الترددي ..... ٣٨
(٢,٥) التحويل من تناظري إلى رقمي AID أو ADC ..... ٤٣
(٢,٦) المحول الرقمي/التناظري AID أو ADC ..... ٥٢
(٢,٧) تمارين ..... ٥٦

**الفصل الثالث: الإشارات الرقمية والأنظمة الرقمية**

(٣,١) مقدمة ..... ٦١
(٣,٢) بعض الإشارات الرقمية المستخدمة كثيراً ..... ٦٤
(٣,٣) تصنيف الإشارات الرقمية ..... ٧١
(٣,٤) العمليات الأساسية على التتابعات ..... ٧٥
(٣,٥) التعبير عن التتابعات بدلالة تتابع العينة الوحيدة ..... ٨٠
(٣,٦) الأنظمة الرقمية ..... ٨١
(٣,٧) تصنيف الأنظمة الرقمية ..... ٨٣
(٣,٨) علاقة الخرج بالدخل للأنظمة الخطية الثابتة إزاحياً LTI ..... ٨٧
(٣,٩) تطبيقات على برنامج MATLAB ..... ١٠٠
(٣,١٠) تمارين ..... ١٠٥

**الفصل الرابع: تحويل Z**

(٤,١) مقدمة ..... ١٠٩
(٤,٢) تحويل Z ..... ١١٠
(٤,٣) خواص تحويل Z ..... ١١٦
(٤,٤) تحويل Z لبعض التتابعات المعروفة ..... ١١٨
(٤,٥) تحويل Z العكسي ..... ١١٨

(٤,٦) أقطاب وأصفار النظام في المستوى Z ..... ١٢٦
(٤,٧) تطبيقات على برنامج MATLAB ..... ١٣٨
(٤,٨) الطرق المختلفة للتعبير عن الأنظمة الرقمية ..... ١٤٦
(٤,٩) تمارين ..... ١٤٨

**الفصل الخامس: تحويل فوريير**

(٥,١) مقدمة ..... ١٥٣
(٥,٢) تتابع فوريير للإشارات التناظرية الدروية ..... ١٥٧
(٥,٣) تحويل فوريير للإشارات التناظرية غير الدورية ..... ١٦١
(٥,٤) تحويل فوريير للإشارات المعيننة أو المتفاضلة زمنياً (التتابعات)..... ١٦٤
(٥,٥) تحويل فوريير المعينن ..... ١٦٩
(٥,٦) خواريزم تحويل فوريير السريع ..... ١٧٧
(٥,٧) تمارين ..... ١٩٣

**الفصل السادس: المرشحات التناظرية (التماثلية)**

(٦,١) مقدمة..... ١٩٧
(٦,٢) مرشح بترورث ..... ٢٠١
(٦,٣) مرشحات شيبيشيف..... ٢١٢
(٦,٤) مرشحات القطع الناقص ..... ٢١٤
(٦,٥) استخدام برنامج ماتلاب في تصميم المرشحات التناظرية..... ٢١٧
(٦,٦) تمارين..... ٢٢١

## الفصل السابع: تصميم المرشحات الرقمية ذات الاستجابة الاندفاعية غير محددة الطول

(٧,١) مقدمة ..... ٢٢٣
(٧,٢) تصميم المرشحات الرقمية ..... ٢٣١
(٧,٣) مواصفات المرشحات من النوع HR ..... ٢٣٥
(٧,٤) مواصفات المرشحات من النوع FIR ..... ٢٣٨
(٧,٥) طرق تصميم المرشحات الرقمية من النوع IIR ..... ٢٤٠
(٧,٦) تصميم المرشحات الرقمية IIR في برنامج MATLAB ..... ٢٥٩
(٧,٧) التحويل الطيفي للمرشحات ..... ٢٦٦
(٧,٨) تمارين ..... ٢٧٠

## الفصل الثامن: تصميم المرشحات الرقمية الاستجابة الاندفاعية محددة الطول FIR

(٨,١) مقدمة ..... ٢٧٥
(٨,٢) تصميم المرشحات FIR الخطية الطور باستخدام استجابة الاندفاع المتماثلة . ٢٨٠
(٨,٣) تحديد أماكن الأصفار للمرشحات من النوع FIR ..... ٢٨٤
(٨,٤) تصميم المرشحات الرقمية من النوع FIR باستخدام النوافذ ..... ٢٨٧
(٨,٥) تصميم المرشحات الرقمية من النوع FIR عن طريق عيننة الاستجابة الترددية .... ٣٠٨
(٨,٦) تصميم المرشحات FIR مباشرة باستخدام MATLAB ..... ٣١٧
(٨,٧) تمارين ..... ٣٢٣

## الفصل التاسع: بناء المرشحات الرقمية

(٩,١) مقدمة ..... ٣٢٧
(٩,٢) بناء المرشحات الرقمية ذات الاستجابة الاندفاعية اللانهائية IIR ..... ٣٢٩

(٩,٣) بناء المرشحات الرقمية ذات الاستجابة الاندفاعية المحدودة FIR ..... ٣٣٧

**الفصل العاشر: معالجة الكلام**

(١٠,١) مقدمة ..... ٣٤١

(١٠,٢) نماذج إنتاج الصوت..... ٣٤٣

(١٠,٣) تشفير الصوت ..... ٣٤٨

(١٠,٤) تحويل النصوص إلى كلام ..... ٣٥٤

(١٠,٥) التعرف على الكلام ..... ٣٥٦

(١٠,٦) التعرف على الأشخاص والتحقق منهم ..... ٣٦٠

(١٠,٧) مرشحات لبعض التأثيرات الصوتية الخاصة ..... ٣٦١

**الفصل الحادي عشر: أساسيات المعالجة الرقمية للصور**

(١١,١) مقدمة ..... ٣٦٥

(١١,٢) تحسين الصور ..... ٣٧١

**المراجع** ..... ٣٩٥

**ثبت المصطلحات** ..... ٣٩٧

أولاً: عربي – إنجليزي ..... ٣٩٧

ثانياً: إنجليزي – عربي ..... ٤٠٩

**كشاف الموضوعات** ..... ٤٢١