

عرض كتاب

رياضيات جديدة مستوحاة من التحديّات الصناعية

Novel Mathematics Inspired by Industrial Challenges

تأليف: لفييف من الباحثين

تحت إشراف: مايكل غنتر Michael Günther وويل سشيلدرس Wil Schilders

عرض: أبو بكر خالد سعد الله

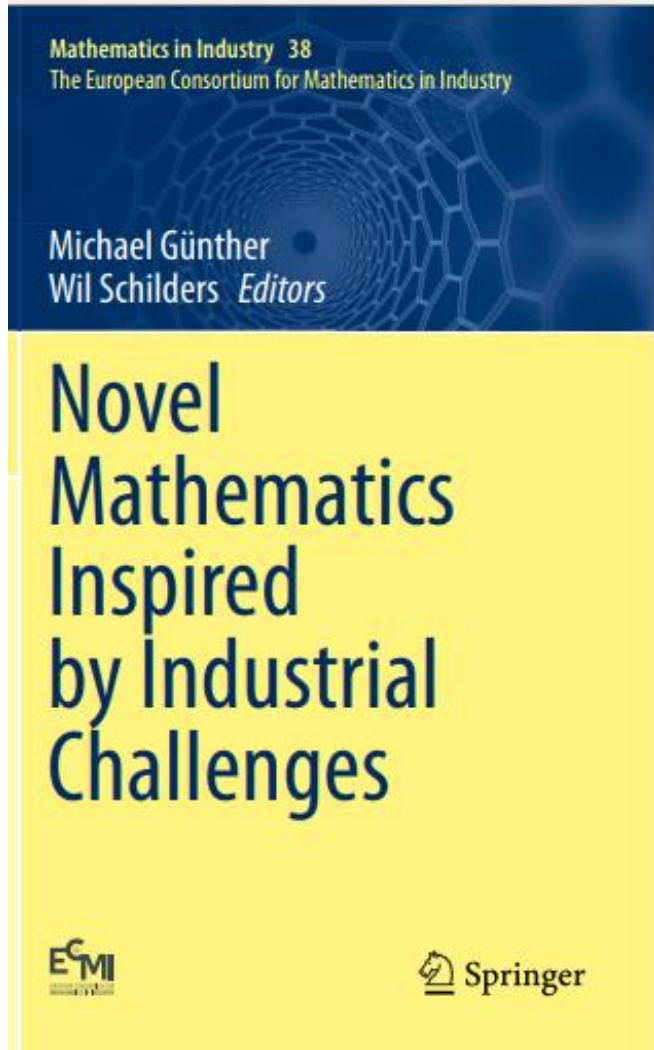
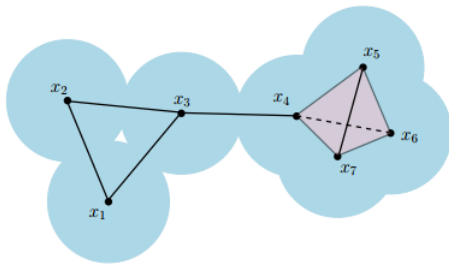
أستاذ بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

khaled.sadallah@g.ens-kouba.dz

Editors

Michael Günther
Applied Math. & Numerical Analysis
Bergische Universität Wuppertal
Wuppertal, Nordrhein-Westfalen
Germany

Wil Schilders
Mathematics
TU Eindhoven
Eindhoven, Noord-Brabant
The Netherlands



مقدمة

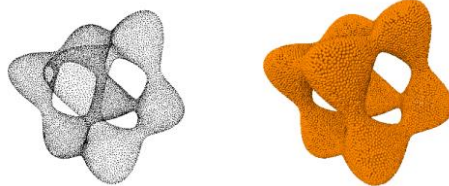
لا يختلف اثنان في أن الرياضيات ضرورية للابتكارات في المجال الصناعي وكذا في مختلف العلوم. ونلاحظ في كثير من البلدان المتقدمة وجود هذا الوعي؛ لتحفيز النشء على الاهتمام بالرياضيات يتم نشر كتب وقصص تشيد بدورها وتقام معارض تبرز مكانتها في التقدم العلمي. كما تنظم شتى البلدان بصفة دورية ملتقيات ومؤتمرات تدارس علاقة الرياضيات بمختلف فروع الصناعة. ومن تلك اللقاءات ما يعقد كل سنة، ومنها ما ينظم كل سنتين أو أربع سنوات فتظهر في كل مرة مجموعة متنوعة من تطبيقات الرياضيات في الصناعة والعلوم الأخرى.

ومع ذلك، يزعم البعض أن هذه النجاحات مبنية على الرياضيات المتداولة والمعروفة كلها قبل اليوم، وأنه لم يتم التوصل إلى رياضيات جديدة ترفع التحديات التي تطرحها الصناعة بشكل خاص. بل هناك اعتقاد بأن النظريات الرياضية الجديدة أنشأها علماء نظريون بارعون ولا فائدة ترجى منها في مجال التطبيق. وما يجعلنا نشكك في هذا الرأي هو أن عالم الرياضيات البريطاني الكبير غودفري هارولد هاردي Hardy (1877-1947) أتى بنتيجة باهرة في نظرية الأعداد البحتة خلال الأربعينيات من القرن الماضي، وقد أصبحت الآن أساس جميع خوارزميات التشفير المستخدمة في المعاملات المالية. والغريب أن هاردي نفسه لم يكن يحلم بهذا الإنجاز في الرياضيات التطبيقية، بل كان سيعتبر استخدام نتائجه في تطبيقات عملية كابوسًا، فهو مَيَّالًا إلى التنظير في الرياضيات وابتعد عن تطبيقاتها.

يقع الكتاب الذي بين أيدينا في 348 صفحة، وهو صادر عام 2022 عن دار شبرينجر Springer، ويُعدّ الكتاب الـ 38 من سلسلة الكتب التي تُعنى بالرياضيات في الصناعة، وهي سلسلة يقف عليها "التجمع الأوروبي للرياضيات في الصناعة". أما المشرفان على هذا الكتاب فهما مايكل غنتر (من ألمانيا) وويل سشيلدرس (من هولندا) وشارك في تحرير مضمون الكتاب ما لا يقل عن 29 باحثًا -من مختلف البلدان الأوروبية وقليل منهم من القارتين الأمريكية والإفريقية- كل أدلى بدلوه في مجال اختصاصه. ويذكر المشرفان أن الهدف من هذا الكتاب هو إثبات أن الرياضيات تمثل للصناعة تحديًا بالغ الأهمية من حيث الفائدة المرجوة، فاحتكاك الرياضيات بالصناعة يؤدي إلى ظهور طرق ورؤى رياضية جديدة، بل تؤدي إلى ظهور فروع علمية مبتكرة في هذا العلم.

يقدم الكتاب طرقًا ونماذج تندرج ضمن التحديات التي تطرحها الصناعة. وتصف فصوله كيف عالج الباحثون تلك المواضيع وطوّروا طرقًا جديدة للتعمق في دراستها. وقد تم تقسيم المؤلف إلى جزأين، أحدهما يتناول التطبيقات في مختلف العلوم الهندسية والآخر خاص بتحليل البيانات والمالية. وتوضح جميع الفصول الواردة في هذا الكتاب أن المواضيع الصناعية تؤدي إلى تطوير معالجات رياضية مبتكرة تفتح الباب أمام مجالات جديدة للرياضيات لم تكن موجودة قبل اليوم.

قد يجوز القول إن الرياضيات التطبيقية في الصناعة، هي أكثر من أن تكون مجرد تطبيق للطرق الرياضية الحالية على المشكلات الصناعية. ففي كثير من الحالات، لا يؤدي تطبيق تلك الطرق إلى الحلول المنشودة، وبالتالي ينبغي تطوير الطرق المتبعة في الوقت الراهن من أجل مواجهة التحدي الصناعي بشكل فعال. وهكذا، فإن التفاعل بين الرياضيات والصناعة مفيد لكليهما: تستفيد الصناعة جراء حل مشاكلها العالقة، كما تستفيد الرياضيات من خلال تطوير طرقها ونظرياتها. لتتعرف الآن على فحوى القسمين.



1. القسم الأول: التطبيقات في العلوم والهندسة الحاسوبية

أصبحت العلوم والهندسة الحاسوبية مجال بحث مزدهر للغاية. ويُعدّ المهندسون من أهم مستخدمي البرامج الرياضية ومختلف أساليبها. ذلك أنها تطرح العديد من التحديات وتطرح جملة من الفرص لعلماء الرياضيات الهادفة إلى تكييف أساليب عملهم في مجال البحث، وكذا بناء أساليب جديدة تمامًا. من الواضح أن هذا الموضوع مفيد جدًا لتطوير الطرق والنظريات الرياضية.

دعونا، على سبيل المثال، ننظر في المعادلات التفاضلية العادية. خلال العقود القليلة الماضية ظهرت نظرية الطرق العددية العامة، ووصلت دراسة هذا النوع من المعادلات إلى مستوى كبير من النضج. وهذا النضج دفع إلى تطوير خوارزميات تخدم مجالات البحث المختلفة في التحليل العددي وعلم الفلك والديناميكيات الجزيئية والميكانيكا والفيزياء النظرية فضلًا عن مجالات أخرى في الرياضيات البحثية.

لقد حدث تحوّل مهمّ في وجهة معالجة هذا الموضوع حيث قلّ التركيز على التقريب العددي لحل مسألة معينة، وبدلاً من ذلك اتجه البحث نحو اعتبار الطريقة العددية كجملة ديناميكية تقدم تقريبات لتدفقات المعادلات التفاضلية. نشير إلى أن مفهوم التدفق أساسي لدراسة المعادلات التفاضلية العادية. فهو يمثل بشكل عام حركة مستمرة لنقاط عبر الزمن. ويساعد على نمذجة التحرك في الموائع. أما تعريفه الدقيق فهو يستخدم مفهوم الزمر. ويتيح النظر للمسائل من هذه الزاوية فهماً أفضل لموضوع الحفاظ، مثلاً، على التناظر، وقابلية الانعكاس، كما يسمح بالمشي في تجميعات متنوعة. لقد كانت هذه النظرة الجديدة إضافةً ثرية جداً في مجال الأساليب الرياضية المستخدمة في معالجة المعادلات التفاضلية وتطبيقاتها في المجال الصناعي.

وتركز الفصول في هذا القسم الأول على تطبيقات العلوم الهندسية المستوحاة من مختلف فروع الصناعة. يقول المشرفان على الكتاب أنه بمحض الصدفة تناولت معظم تلك الفصول صناعة الإلكترونيات. لكن هذا ليس غريباً إذ إن المشرفين على الكتاب كان لهما نشاط مكثف في هذا المجال. ثم إنه ينبغي ألا ننسى بأن صناعة الإلكترونيات لا تزال ذات أهمية بالغة في مسيرة تقدم البشرية خلال العقود الأخيرة. وبالتالي، لا نستغرب في أن يشعر العديد من الباحثين بالانجذاب إلى هذا الفرع من الصناعة.

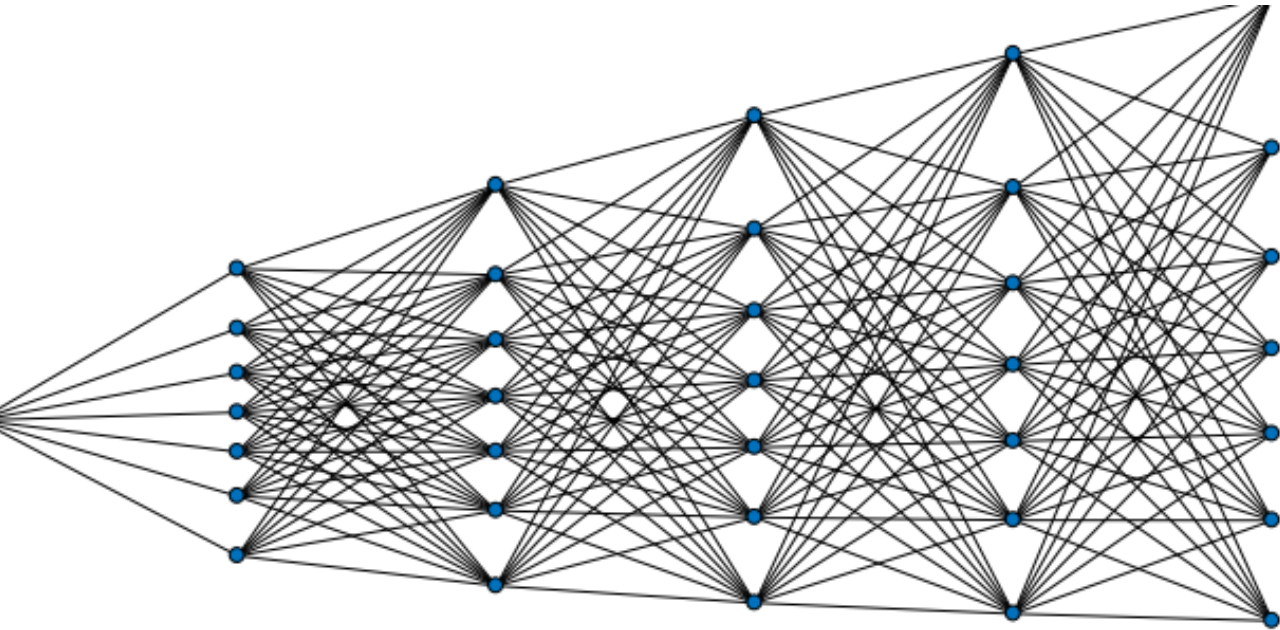
لاحظ الفصل الأول الحاجة في صناعة الإلكترونيات، لما يسمى بأساليب المتعددة المعدّلات multirate. وفي هذا السياق، اتضح مثلاً أن الدوائر الإلكترونية غالباً ما تحتوي على أجزاء غير عاملة (كامنة) وعلى أجزاء أخرى نشطة. ولذا فمن حيث المبدأ، يرى الباحثون أن استخدام نفس الفترات (الخطوات) الزمنية لكلا الجزأين سيكون فيه مضیعة للجهد الحسابي: يمكن أن يعمل الجزء الكامن بخطوات زمنية أطول، حتى يصبح هذا الجزء من الدائرة نشطاً مرة أخرى. هذه الملاحظة، أدت إلى ظهور طرق جديدة وإجراء الكثير من الأبحاث في هذا المجال. ومن الواضح أن الأساليب التي تم تطويرها في هذا السياق لا تنطبق فقط على الدوائر الإلكترونية. فالفصل يحتوي أيضاً على تطبيقات خارج مجال صناعة الإلكترونيات.

يتعرض الكتاب بعد ذلك إلى ما يسمى بطريقة تقليص رتب النماذج (model order reduction)، وهي تقنية للحد من التعقيدات الحسابية للنماذج الرياضية في المحاكاة العددية. ومن المعلوم أنها تقنية تؤدي دوراً بارزاً في التطبيقات، استفادت كثيراً من صناعة الإلكترونيات حيث رفع التصغير miniaturisation المستمر لأجهزة أشباه الموصلات العديد من التحديات في هذا المجال. كما يركز بحث آخر على ما يعرف في الرياضيات والفيزياء بمسائل الاستقرار التي كثيراً ما تواجه الباحثين عند حل جمل المعادلات الجبرية والتفاضلية. وقد أدى هذا الوضع إلى ظهور طرق جديدة لا تعاني من المشاكل المألوفة المرتبطة بالاستقرار.

وتولّى فريق رائد من الباحثين الإسبان الحديث حول النماذج الكهرومغناطيسية. والمسألة المطروحة هي تدقيق حل الحالة المستقرة لمشكلة كهرومغناطيسية: قد تستغرق هذه الحسابات عدة أيام. وكان لدى المهندسين الرغبة في أن يكونوا قادرين على الوصول إلى الحالة المستقرة بشكل أسرع. ولهذا الغرض تم تطوير الأساليب التي يمكنها بلوغ الهدف المنشود. يرسم الكتاب التطور التاريخي، وكذلك النتائج النهائية للبحث عن مثل هذه الأساليب الجديدة. في الوقت الراهن، تتم في كثير من الأحيان، مواجهة هذا النوع من التحديات الحسابية، ويمكن على الفور استخدام الأفكار التي يتضمنها هذا الفصل من الكتاب لتحقيق التسريع المطلوب.

وفي فصل آخر، نطلع على استعمال ما يعرف بالمعادلات التفاضلية الجزئية المتعددة المعدلات (MPDEs) ذات النمط الزائدي. وقد تم تحليل هذا النوع من المسائل لإثبات مدى تعدد تطبيقاتها في مجالات متنوعة، وتم أيضا تقديم عديد الأمثلة.

وفي آخر هذا القسم قام فريق من الباحثين الإيطاليين بمناقشة طرق حسابية تعتمد على البيانات لمواجهة التحديات الصناعية. وتناول باحثون آخرون كيفية حدوث التفاعل بين التطبيقات والتقدم في الرياضيات. ونقطة البداية كانت ظاهرة غريبة لوحظت في العلوم الطبيعية -وهي زعزعة الاستقرار عن طريق التبدد dissipation وليس العكس. وكان حلّ هذه المسألة، التي تضمن حساب القيم الذاتية لجملة من المصفوفات، مصدراً للنظرية الرياضية الخاصة بالاستقرار البنيوي للمصفوفات. وقد تمخض عن هذه النتائج المهمة أنه في عدد كبير من المجالات، يمكننا الآن التنبؤ بهذا النوع من عدم الاستقرار، وتحديد خصائصه بدقة.



2. القسم الثاني: تحليل البيانات والمالية

خلال السنوات الأخيرة، شهدت جميع المجالات العلمية، وبصفة خاصة الاقتصاد، وحتى الحياة اليومية، تدفقا كبيرا في كميات البيانات. ذلك ما شدّ أنظار العلماء والصناعيين والمواطنين وسعوا جميعهم إلى استخراج أفضل المعلومات والمعارف من تلك البيانات. وهكذا، صارت المشاكل الصناعية اليوم تواجه كميات هائلة من البيانات. وتمثل إحدى المهام الرئيسية للباحثين في استخلاص المعلومات المفيدة والتنقيب عنها. ذلك لأن من شأن تلك المعلومات أن تكشف عن الخصائص البنيوية لمثل هذه القضايا. ومن المعلوم أنه ينبغي تمثيل هذه البيانات ضمن نماذج تجمع بين

الحجج النظرية والمقاربات القائمة على البيانات. وعلى الرغم من أنه يُنظر لتحليل البيانات عادةً على أنه تخصص ناشئ في المعلوماتية، إلا أن الرياضيات الجديدة أدت دوراً كبيراً في تقدمه. نجد في هذا القسم أمثلة عن مساهمات التحليل الطوبولوجي للبيانات، والتحليل الدالي (functional analysis)، والتكسيم، مع تطبيقات في أسواق المال والطاقة.

يتناول الفصل الأول من هذا القسم تحليل نمط البيانات الطوبولوجية. ويهدف هذا التحليل إلى استنتاج واستغلال البنى الطوبولوجية والهندسية المثيرة للاهتمام في بيانات معينة. ويدرك الباحثون أن وصف هذه البنى واستغلالها يُعدّ مشكلة صعبة تتطلب رياضيات جديدة ضرورية للتطبيقات الصناعية. ونقطة الانطلاق هي ملاحظة أن المتغيرات المستخدمة في تطبيقات سوق الطاقة -مثل السعر والطلب على الطاقة- تستند إلى معلومات معقدة للغاية بسبب الكم الهائل والتكرار الكبير للبيانات. لم تكن هذه المقاربة ناجحة في التنبؤ بالطلب على الطاقة والسعر فحسب، بل أيضاً في المجالات الأخرى من داخل البيئة الصناعية: فمراقبة الجودة والمراقبة البيئية والصيانة التنبؤية تندرج ضمن هذا الإطار.

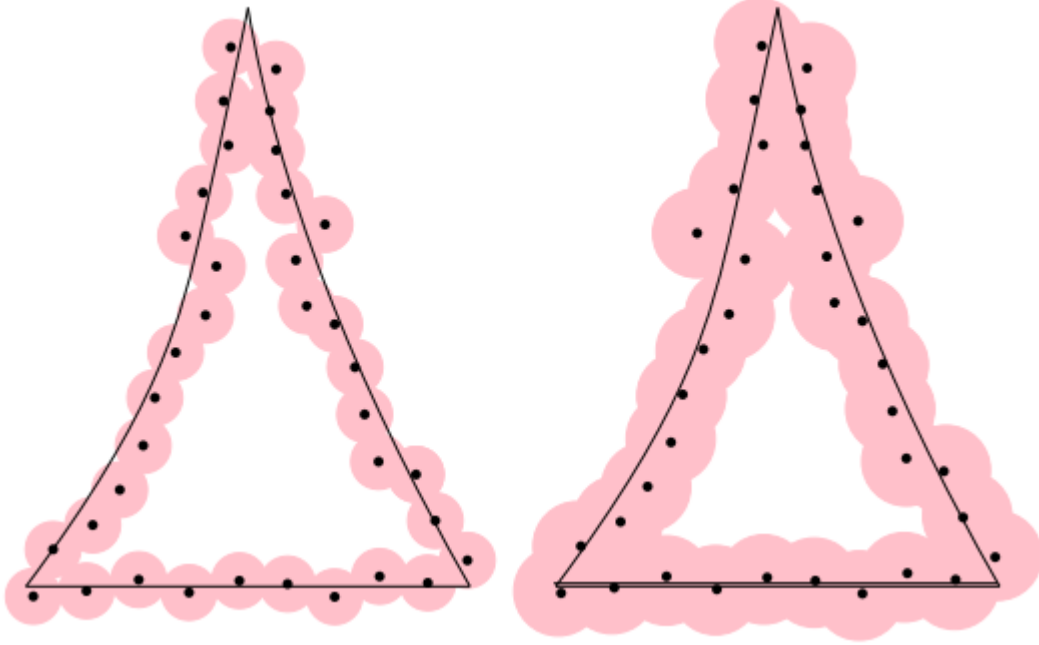
ويضرب المؤلفون مثلاً حول المسائل التي تعالجها الرياضيات في مجال الصناعة والطاقة: تُعدّ الطاقة، والكهرباء على وجه الخصوص، من أكثر الموارد التي تساهم في تنمية أي بلد وتساهم في راحة المواطن والمجتمع. لذا، فإن الوصول إلى مصادر الطاقة يمثل مشكلة كبيرة في جميع البلدان المتقدمة. ويرتبط هذا الوصول ارتباطاً وثيقاً بدراسة دقيقة لسعر الكهرباء. ومن الخصائص المهمة للكهرباء أنه لا يمكن تخزينها بسهولة بكميات كبيرة، وبالتالي، ففي كل لحظة يجب إنتاج ما هو مطلوب من المواطن!

يتحدد سعر الكهرباء، في معظم البلدان الغربية، بعد مفاوضات بين الموردين والموزعين ومختلف المتعاملين من خلال سوق منظم يضمن مبادئ معينة في التفاوض: يجب أن تكون العملية تنافسية وشفافة ويسهل الوصول إليها. ومن جهة أخرى، ينبغي أن تكون عملية تحديد سعر الكهرباء سريعة لتلبية متطلبات الوكلاء. وبطبيعة الحال، فإن المعلومات الرئيسية حول العرض والطلب وتلك المتعلقة بالتنبؤات الدقيقة لكميات الكهرباء الممكن توفيرها والتطور الأخير للأسعار كلها معلومات في بيانات ينبغي معالجتها بسرعة فائقة.

والواقع أن الكهرباء تُعتبر طاقة نظيفة فضلاً عن أنها تزيد من الكمية التي يمكن توليدها باستخدام الوسائل المتجددة (الشمس، والرياح، والمياه المتدفقة...) على الرغم من أن جزءاً مهماً من الطلب على الكهرباء يتم توفيره أيضاً باستخدام الوقود الأحفوري أو التفاعلات النووية. وفي هذا السياق، عندما تتعدد مصادر الطاقة ينخفض سعر الكهرباء لأن هذا النوع من التوليد له مزايا معينة. كما أن السعر قد يتأثر بمتغيرات الأرصاد الجوية. فعلى سبيل المثال، أسوأ سيناريو لتوفير الطاقة من خلال الرياح هو أن يكون اليوم هادئاً (دون هبوب رياح) خلال صيف حار. ومن ناحية أخرى، يتأثر الطلب على الكهرباء بشكل ملحوظ عند استخدام أجهزة التكييف والتبريد. لذا، فإن أحد الأهداف المهمة في صناعة الكهرباء هو التنبؤ بالكمية المطلوبة (والسعر) على المدى القصير. نلاحظ هنا أن مصطلح "المدى القصير" يشير في أغلب الأحيان إلى فترات تتراوح بين ساعة وسبعة أيام، بينما أصبح يشير مؤخراً إلى مدة 24 ساعة! ومن ثم ندرك المهام التي تقع على عاتق التطبيقات الرياضية لحل هذا النوع من المسائل والاستجابة السريعة لها.

ويوضح باحثون آخرون ضمن عمل مشترك أن بعض الأدوات الرياضية الكلاسيكية التي تم تطويرها بنجاح وتطبيقها على مجال معين من التطبيقات يمكن تعميمها وتطبيقها في مجالات مختلفة من خلال المزج، بشكل مبتكر، بين أدوات مادية وأفكار جديدة. مثال ذلك ما يعرف بالتكسيم الشعاعي vector quantization، وهي طريقة تسمح بضغط البيانات، وتصحيحها.

نشير إلى أن استيعاب مضمون الكتاب وما فيه من معلومات يتطلب مستوى في الرياضيات غير بسيط. ومع ذلك حتى إن كان زاد القارئ من هذا الاختصاص زادا يسيرا فإن هناك الكثير من المعلومات المفيدة التي يستطيع أي قارئ الإمام بها.



المشرفان على الكتاب



ويل سشيلدرس Wil Schilders



مايكل غنتر Michael Günther