

# 简讯

中国科学院国家数学与交叉科学中心

National Center for Mathematics and Interdisciplinary Sciences, CAS

<http://www.ncmis.cas.cn/>



# 科研进展

## 流密码的设计与分析

文：信息技术部

信息安全是信息社会的迫切需要。密码技术是信息安全的关键技术之一。流密码是一种依赖于时间变化的对称密码函数,它和分组密码一起构成对称密码中最重要的两种密码体制。同分组密码相比,流密码由于具有实现简单,效率高等特点,被广泛应用到现代网络通信中保护通信数据的安全。

新型流密码算法设计是流密码领域中的重要课题。我们关注到 3GPP(第三代合作伙伴计划,电信领域最具影响力的计划) LTE(长期演进,4G 通信标准之一)加密标准中预留了 16 个密码算法的接口,目前已经占用了 3 个。其中标识为 0000(二进制编码)的接口是空算法,表示明文传输,标识 0001 和 0010 分别代表美国高级加密标准 AES 和欧洲 SNOW 3G 算法。针对 LTE 加密标准,冯秀涛博士参与了祖冲之算法(ZUC)的研制和国际标准化推进工作。该算法已于 2011 年 9 月被 3GPP 选为 LTE 国际加密标准,于 2012 年 3 月被国家选为通信领域行业加密标准。祖冲之算法是我国第一个成为国际商业密码标准的密码算法。其标准化成功,是我国在国际商业密码领域的一次重大突破。冯秀涛博士在祖冲之算法国家标准化推进期间,作为 3GPP SAGE 组织祖冲之算法安全评估专家组成员之一,主要组织祖冲之算法的技术分析和安全评估工作,并负责祖冲之算法的修订工作,为祖冲之算法的国家标

准化成功作出突出贡献。

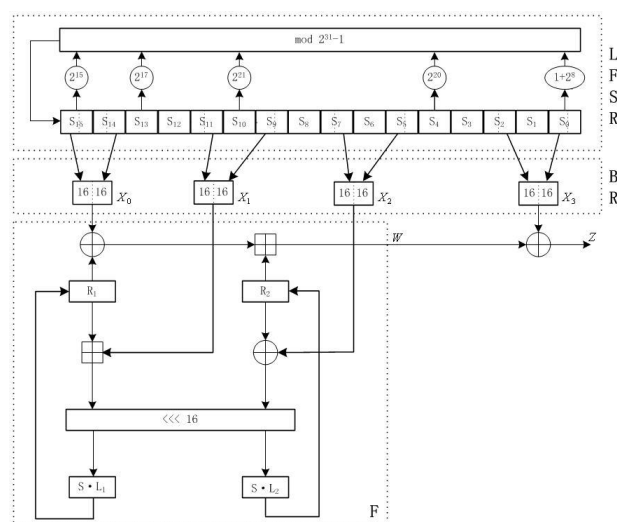


图 1 祖冲之算法结构图

在流密码典型分析方法方面,我们分析了轻量级流密码 A2U2 的安全性。A2U2 是由丹麦学者 D. Mathieu、C. Damith 和 L. Torben 等人提出的一个轻量级密码,拟用于 RFID 电子标签加密,该算法发表在 RFID 专业的国际顶级会议 IEEE RFID。针对 A2U2,我们给出了在已知明文攻击模型下的实时密钥恢复方法。我们的攻击方法至多需要 210 个比特的明密文数据,时间复杂度不超过 225,在个人 PC 上只需数秒钟便可恢复出全部密钥比特。我们的结果远优于丹麦学者 M. Abdelraheem 等人给出的复杂度为  $249 \cdot C$  的分析

结果。此外，我们攻击方法采用的已知明文攻击模型较加拿大 Q. Chai 和 G. Gong 等人提出的选择明文攻击模型更一般，此意味着 A2U2 算法已经被彻底破解。

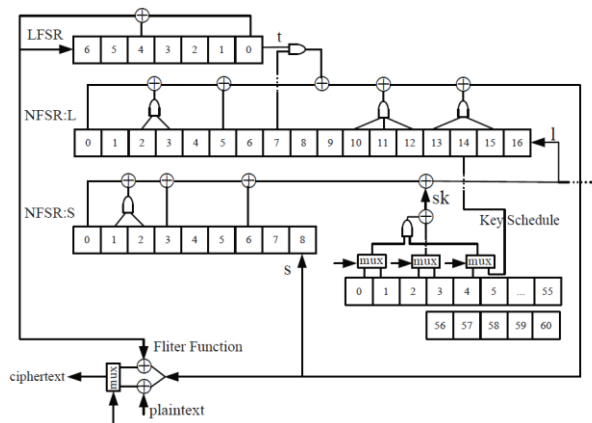


图 2 A2U2 算法结构图

## 防覆冰涂层冰风洞实验设计取得进展

文：先进制造部



图 1. 防覆冰涂层样件（上面为纯铝，下面为小分子涂层）

最近，数学与先进制造学部何煦、何元珍、李晓冬和于丹等人在防覆冰涂层冰风洞实验设计方面取得进展。

如何提高飞行器的防覆冰能力一直是航空界所关注的重要问题。防覆冰涂料具有简单有效、减重、价格低廉等特点，是飞行器防覆冰的关键技术之一。国家纳米科学中心相关学者提出在飞

行器复合材料表面涂覆一层含有烷烃小分子的高分子涂层，利用小分子和纳米技术相结合的方法进行防冰。该涂层的特点是：涂层中的烷烃在冰点附近发生相变并迁移到高分子涂层表面；由于烷烃薄膜与覆冰之间的低附着力，覆冰在自重、自然界风力、飞行振动等条件下很容易从高分子表面脱落，从而达到防覆冰的目的。烷烃分子在

高分子中的迁移是可逆的,即在温度高于其熔点时烷烃小分子重新渗透到高分子本体之中,从而能够减少烷烃的损耗并延长防覆冰涂层的寿命。另外,向高分子涂层中加入纳米颗粒,在补强高分子涂层的同时能够缓释烷烃小分子,以便进一步延长防覆冰涂层的寿命。

本项研究已经取得了一些前期进展,包括在实验室中利用离心及拉伸仪器对于不同种类和含量的小分子涂层与冰之间的附着力进行测量和比较,在中国空气动力学研究与发展中心小型结冰风洞中模拟飞行器实际飞行环境对涂层的覆冰量进行考察等。前期冰风洞试验已经确认了一种小分子配方(记为 B1)与纯铝(记为 B0)相比可以降低覆冰量 30%以上。进一步的研究旨在更加明确气象条件,飞机振动以及纳米粒子的添加对于涂层防覆冰效果以及寿命的影响。

冰风洞试验与实验室静态试验相比,可以更为真实地反映涂层的防覆冰能力并直接考察涂层的防覆冰效果。但是,冰风洞试验中影响因子众多,单次冰风洞试验又价格昂贵(约 1 万元/次),所以必须对于冰风洞试验进行科学的实验设计,以期以尽量少的时间和成本对于研究目标进行综合和有效地考察。

为了在可行的范围内尽量节省成本,冰风洞涂层样件上可以安排两个实验位置(如图 1 所示),因此单次实验,可以对两个目标的覆冰量进行比较。由于对于小分子种类和含量仍在通过实验室离心实验进行探索,冰风洞实验中还会考察另一种小分子配方(记为 B2)。由上面的讨论可知,在小分子析出并除冰的过程中,部分小分子可能随着冰脱落,从而造成涂层的防覆冰能力降低。为了考查这一因素对于涂层寿命的影响,本次冰风洞实验拟采取重复试验,即在首次试验

除冰后对于用过的涂层进行重复使用。除此之外,本次风洞试验还将考察冰风洞温度、风速这两个环境因子、是否振动以及是否加入纳米粒子对于涂层防覆冰效果和寿命的影响。具体因素及其水平如下:

- 材料种类(F1): B0, B1, B2
- 纳米粒子添加与否(F2): 是(+), 否(-)
- 温度(F3): 高温(+, 零下 7 度左右), 低温(-, 零下 11 度左右)
- 风速(F4): 30m/s(+), 20m/s(-)
- 振动与否(F5): 是(+), 否(-)
- 顺序(F6): 第一次实验(-), 第二次实验(+)

如此多的因子,完全实验需要 96 次试验,即使考虑到单次试验可以安排两种不同配方,也至少需要 48 次试验,这仍然不在研究成本范围内。另外,本项研究的实验设计还存在几个难点。第一,本次冰风洞试验由于加入了纳米粒子这一因子,使得材料选择与是否加入纳米粒子之间存在嵌套关系。由于纯铝中不需要添加纳米粒子,因此,纳米粒子添加与否只对 B1 和 B2 适用。第二,前期试验已经对于 B0B1-(B0 代表纯铝,因此涉及是否加入纳米粒子; B1-代表 B1 材料不加入纳米粒子)这种组合在不同环境条件下不加振动进行了首次和重复试验。但是本次冰风洞试验加入了纳米粒子以及振动这两个之前试验没有考查的因子。如何充分利用前期试验设计及其结果并巧妙地把前期试验安排进本次的实验设计是一个待研究的问题。第三,由于冰风洞实验样件上可以安排两个考查对象,因此单次试验可以视为一个区组。在两个位置中,可供选择的有 B0, B1-, B1+, B2-, B2+, 因此存在不完全区组设计的问题。

何煦从 F1 至 F5 的完全因析设计出发, 总结出在 8 种不同环境因子和振动条件组合下, 待考察的材料组合为 B0 两次, B1-, B1+, B2-, B2+各一次。接下来, 根据前期试验的嵌入情况以及关于纳米粒子效应和不同小分子种类效应的直接对比, 区组安排可以得以确定。再根据均衡准则以及前期试验的嵌入情况, 把不同样件分配给第一次或第二次实验, 具体实验方案如下:

F3 温度	F4 风速	F5 振动	重复=1, F6 -	重复=2, F6 +
-	-	-	B2-B2+	B0B1-, B0B1+
+	-	-	B0B1-, B0B2-	B1+B2+
-	+	-	B1+B2+	B0B1-, B0B2-
+	+	-	B0B1-, B0B1+	B2-B2+
-	-	+	B1-B1+	B0B2-, B0B2+
+	-	+	B0B1+, B0B2+	B1-B2-
-	+	+	B1-B2-	B0B1+, B0B2+
+	+	+	B0B2-, B0B2+	B1-B1+

上述实验设计方案满足高度的正交性, 为主效应以及感兴趣的交互效应的估计提供了方便。而且, 可以证明上述设计方案在随机区组效应存在时也兼有一定的平衡优良性, 从而为后续的分析打下了基础。目前, 正在准备按照此实验方案进行实际冰风洞试验。

## 跨尺度建模与算法研究取得进展

文:材料环境部

曹礼群及其合作者, 在复合材料与界面纳米结构热传导问题跨尺度建模与算法研究方面取得进展。相关工作已发表在多尺度领域国际权威刊物 SIAM J. Multiscale Modeling and Simulation 上, 并被该刊物推选为“Featured Article”, 得到国际同行的关注。

以碳纤维复合材料、陶瓷基复合材料为代表的先进结构性复合材料具有高强、耐腐蚀、耐高温等优异的物理力学性能, 是各类航空、航天飞行器的关键材料。开展相关材料的制备技术、

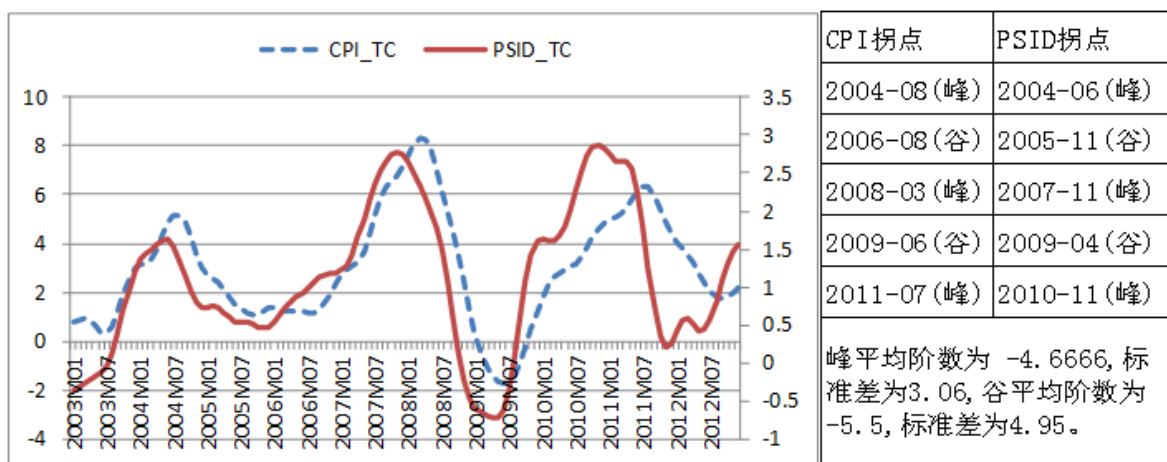
实验检测和性能预测等方面的研究, 其重要性是不言而喻的。大量的实验检测结果表明: 在宏观复合材料之间存在纳米尺度的界面相, 其厚度在几个纳米到几百个纳米不等, 而界面相对于复合材料的力、热、电、磁等物理、力学性能有十分重要的影响。例如, 由于纳米界面的热阻现象, 造成界面附近过高的残余热应力, 它是诱导界面处空位、位错、微裂纹等缺陷产生的主要根源之一, 这对于研究材料的损伤和破坏有十分重要的科学意义。

材料的物理尺度可粗略地划分为：微观尺度（电子、原子尺度）、介观尺度（分子、纳米器件尺度）、宏观尺度（微米以上结构尺寸）。针对宏观复合材料与界面纳米结构的热传输问题，若采用统一的连续模型（如抛物型方程、C-V 模型、双相延滞模型等），物理实验结果表明：已不能准确预测纳米界面处的实际温度；若宏观复合材料结构，均采用精细的分子动力学模型或量子力学第一性原理方法，因计算规模太大，而无法实现。因此，发展可靠的宏微观相耦合的跨尺度模型和高效能算法、突破算法实现中的关键技术，是解决上述问题的必然趋势和最佳选择。

曹礼群等人针对复合材料与界面纳米结构热传导问题，发展了一类分子动力学与连续模型跨尺度耦合模式、分子动力学(MD)与有限元(FEM)耦合算法，编写了相关的计算程序。主要进展有：(1) 实现了纳米结构导热系数等热学参数的分子动力学计算和量子校正；(2) 发展了复合材料和多孔材料周期和随机结构热传导问题连续模型的多尺度算法；(3) 提出了一类分子动力学与连续模型的跨尺度关联模式和 MD/FEM 的耦合算法；(4) 实现了三维复合材料和界面纳米结构的 MD/FEM 计算。

## 基于开源数据的宏观经济预警指数研究进展

文：经济金融部



随着信息技术的发展创新，互联网不仅成为迅速反映经济系统变动的一个媒介，同时也举足轻重地影响着政府、企业和消费者的经济行为。为解决从海量互联网信息中提取有用信息进行经济预测预警的问题，需要将一系列基于文本挖

掘的方法技术具体化，并与景气分析和经济计量方法相结合。首先针对互联网新闻及评论文本中的观点，采用改进的文本特征提取方法，得到针对生产、投资、消费、贸易等经济主题的态势与政策情感特征。以这些特征为基础，采用搜索引

引擎获取与特定经济监测预警主题相关的网页集合,构造互联网开源经济指数,用于更加及时全面地获取个体观点,从而对经济系统的动态变化进行预测预警。

本研究以通货膨胀预警为例,获取网络新闻数据构建通货膨胀预警指数。在文本特征提取方面,利用人工标识的新闻样本进行训练,得到 62 个物价涨跌观点的关键词特征模式。将这些关键词特征模式用于新闻样本的物价涨跌观点分类预测,正确率达到 85%。所得出物价观点特征在识别物价涨跌观点方面效果很好。得到物价涨跌观点特征后,以这些特征构造搜索引擎关键词搜索模式,从互联网新闻总体中得到 9 个从 2003 年 1 月开始的主要观点网页数量时序指标。将这 9 个指标根据各自对物价涨或跌的不同观点含义分为两类进行合成,构造互联网物价舆情指数。采用 X12 季节调整、BB 算法和峰谷分析将互联网舆情指数(PSID)与 CPI 进行对比分析,发现物价舆情指数(Price Sentiment Index, PSID)明显领先于 CPI。峰谷分析结果显示,PSID 对 CPI 的峰平均领先阶数为 4.6 个月,谷

平均领先阶数为 5.5 个月。基于开源数据构造的物价舆情指数能够对通货膨胀起到稳定准确的预警作用。

统计数据存在发布时间滞后和涉及范围局限的缺点,基于统计数据的传统宏观经济预警方法不能满足宏观经济预警对于时效性和广泛性的要求。网络开源数据具有数据量大、时效性强、覆盖领域广等特点,恰恰弥补了统计数据存在的上述不足。然而,互联网开源数据的强时变性、动态性、多样性、复杂性等特征需要具有高度概括和创造性的方法工具,才能有效提取对宏观经济决策有用的数据。本研究提出的一种基于网络新闻的通货膨胀预警方法能够从与物价相关的财经新闻中挖掘有用信息,将这些非结构的信息量化表示并构建了一个物价舆情指数来反映公众对物价水平的认知,从而做到对通货膨胀实时、及时而又准确的预警。此研究方法有望进一步拓展到投资、消费等其他宏观经济领域,以及各行业领域的预警,是大数据时代经济预测预警研究的新趋势。

## 综合新闻

### “大数据科学”座谈会召开

文/图：交叉中心办公室



4 月 17 日，交叉中心“大数据科学”座谈会召开。

中心主任郭雷院士在介绍会议背景时指出：近年来，随着信息技术的迅猛发展，应用行业大数据处理需求急剧增长，大数据成为目前全球学术界和产业界共同关注的研究领域，成为各国竞争的新热点。目前我国的相关科研管理部门正积极组织相关的研究计划，国内学术界也普遍通过学术会议及成立专门委员会推动这一领域的研究。大数据将极大影响未来发展，面对这一趋势，国家交叉中心应重视并参与到这项工作中去。

研讨会上，多位科研人员围绕大数据这一主题分别从经济金融、复杂网络、优化、统计生物、压缩传感、生物信息学的角度做了学术报告。杨

晓光研究员在报告《“大”数据以及“大”数据下人的行为》中，介绍了银行信贷数据、房地产数据和新浪微博数据下人的行为分析和预测以及存在的问题，戴彧虹研究员的报告《On the Barzilai-Bowein Gradient Method》讨论了 Barzilai-Bowein 梯度法在数据挖掘中的应用，吕金虎研究员在《云计算与大数据：机遇与挑战》中介绍了云计算与大数据技术之间的关系以及大数据技术与应用中遇到的问题等，许志强副研究员在《An Introduction to Compressive Sensing》介绍了压缩感知中的主要结果以及新的数学问题，李雷研究员的报告《生命科学领域的大数据》介绍了生命科学中大数据的特点、算法和评估，张世华副研究员在报告《Big Biological Data》中，讨论了生物信息学中的大数据研究进展。

报告后，与会人员就报告内容、体会与感受、以及如何推动大数据科学研究，进行了广泛热烈地讨论，并提出诸多设想与建议。这次研讨会的召开将对交叉中心部署和推动大数据科学研究具有重要意义。

交叉中心负责人、部分研究部主任及相关领域科研人员约 20 余人出席了座谈会。

## 交叉中心与中远网络科研项目合作研讨会召开

文/图：交叉中心办公室



2013 年 4 月 18 日, 中远网络有限公司副总经理于春来、北京分公司副总经理钟梅、刘思腾, 首席专家胡乐群博士等一行 10 人访问交叉中心, 并就双方科研项目合作进行交流与座谈。

中心副主任高小山、闫桂英, 信息技术部主任洪奕光, 中国科学院大学校长助理高随祥, 数学科学学院常务副院长郭田德及各研究部科研人员 20 余人出席了座谈会。会议由闫桂英主持。

闫桂英首先代表中心对中远的来访表示欢迎并简要介绍了中心的总体情况。

接着, 于春来介绍了中远集团和中远网络的

总体情况。他表示, 中远经过 51 年的发展, 已经成为以航运、物流码头、修造船及航运相关业为主的跨国企业集团, 稳居《财富》世界 500 强。中远网络有限公司承担了集团企业信息化建设以及信息科技产业化的使命。此行希望促成双方合作, 以科研项目和人才培养为载体, 在科技与实际应用相结合方面进行实质性合作, 搭建企业与科技合作的模式和平台。

随后, 中远网络技术部门负责人就拟合作的中远集团联网审计(风险控制)系统项目、基于 AIS 和北斗的船岸通信和数据挖掘项目的具体情况、战略意义及应用价值等方面进行了详细介绍。讨论阶段, 与会人员就各自关心的领域及具体问题进行了热烈而深入的交流。

高小山在总结发言中介绍了数学院及交叉中心的科研布局, 他指出双方应发挥各自优势, 强强联合, 在具体项目研发、实施, 高级人才培养等方面展开合作, 实现双赢, 为国家战略需求和长远发展做出贡献。

## 郭雷院士被香港中文大学授予荣誉教授称号

文：交叉中心办公室

近日, 中心主任郭雷院士被香港中文大学授予荣誉教授称号。据悉, 荣誉教授(Honorary Professor)是香港中文大学授予校外学者的最高学术称号, 正式受聘仪式将于今年下半年在香港中文大学举行。

郭雷长期从事系统与控制科学研究, 1998

年当选美国电子与电气工程师协会会士(IEEE Fellow), 2001 年当选中国科学院院士, 2002 年当选第三世界科学院院士, 2007 年当选国际自动控制联合会的会士(IFAC Fellow), 2007 年当选瑞典皇家工程科学院外籍院士。曾任中科院数学与系统科学研究院院长(2003-2012), 现任中

科院国家数学与交叉科学中心主任,中国工业与应用数学学会理事长, 国务院学位委员会委员,

国家重点基础研究发展计划(973)专家顾问组成员, 全国人大常委会委员等。

## ICIAM 2015 学术程序委员会工作会议圆满结束

文/图: 交叉中心办公室



2013 年 4 月 20-21 日, 第八届国际工业与应用数学大会学术程序委员会 (Scientific

Program Committee(SPC) 第二次工作会议在北京圆满结束。由马志明院士任组长的学术程序委员会的工作开始于 2011 年下半年。本次会议产生了邀请报告人的初步名单,并将于今年 5 月提交给在北京举行的国际工业与应用数学联合会 (ICIAM) 理事会审议通过。

ICIAM2015 秘书处—中科院国家数学与交叉科学中心负责了本次会议的会务组织工作。

## 材料环境部联合学术研讨会第三次会议召开

文: 材料环境部

2013 年 4 月 13 日, 由材料环境研究部主办的材料环境部联合学术研讨会第三次会议在北京召开。材料环境部崔俊芝院士等 30 余位成员参加了研讨会,此次会议由材料环境部主任陈志明研究员主持。

此次研讨会的主要议题为数学与环境领域的交叉研究。材料环境部环境专题袁礼研究员等 8 位成员做了精彩报告, 内容涉及对山体滑坡、

暴雨、泥石流等灾害的预测等。他们分别就环境与计算领域各自研究工作的最新进展作了介绍, 并就未来可能合作的问题做了深入的讨论。会上, 材料环境部成员讨论热烈并达成共识, 在今后的研究中, 发挥科研创新精神, 聚焦科研方向, 探寻新的科研突破点, 注重计算数学与相关学科的交叉研究, 更好的将基础性研究与前沿性、应用性研究相结合。

## 学术动态

### 工业与应用数学学术研讨会召开

文/图：交叉中心办公室



5月10日,由国家数学与交叉科学中心主办的“工业与应用数学学术研讨会”在思源楼一层报告厅举行。国际工业与应用数学联盟(ICIAM)理事会部分成员、交叉中心科研人员50余人出席了研讨会。会议由ICIAM2015执行委员会委员、北京大学张平文教授主持,数学院党委书记汪寿阳研究员代表数学院对各位嘉宾的到来表示欢迎。

巴黎9大教授、欧洲数学学会应用数学委员会主席 Maria J. Esteban,牛津大学教授、欧洲工业数学联盟执行主任 Hilary Ockendon,西班牙应用

数学学会代表 Luis Vega,巴西里约联邦大学教授 Helena N. Lopes,巴西科学计算国家实验室主任 Pedro Leite Da Silva Dias,数学院副院长、中心副主任高小山研究员分别介绍了欧洲、西班牙、巴西、中国的应用数学组织与本国或地区的工业与应用数学发展情况。

在下午的会议中,多位学者还分别就全局动力学的拓扑计算方法及其应用、基于剪切波变换的生物医学图像去噪、艾滋病毒感染者的年龄结构模型的优化控制等主题作了学术报告。



### 综合报告二十九：Irene Fonseca 教授谈 “Variational Methods in Materials and Image Processing”

文/图：交叉中心办公室

2013年5月13日上午,卡耐基梅隆大学数学科学系教授 Irene Fonseca 应中科院国家数学与交叉科学中心的邀请做了题为“Variational

Methods in Materials and Image Processing”的综合报告。中科院数学与系统科学研究院副院长、

国家数学交叉中心副主任高小山研究员主持报告会并为其颁发了讲座证书。

在计算机图像学、物理学、材料科学以及其他工程领域的一些重要问题中,经常会遇到函数空间上以某种能量为目标的优化问题。这类问题的解决,一方面需要新的分析技术和研究方法,同时也需要引入偏微分方程、几何测度以及变分法等数学工具。在报告中, Irene Fonseca 教授展示了如何将涉及高阶微分项的复杂问题简化成已经研究的较为透彻的一阶问题加以解决,并重点讨论了变分法在相变、表面活性剂作用下的泡沫平衡、图像处理、薄膜以及量子点等问题中的应用。

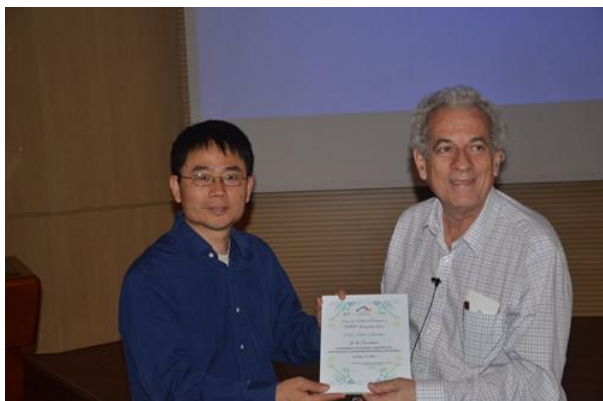
Irene Fonseca 教授是 SIAM 会士、现任 SIAM 主席、美国数学会会士,卡耐基梅隆大学非线性



分析中心主任,并曾获得圣詹姆斯宝剑骑士勋章,是变分学、几何测度论、偏微分方程,以及连续介质力学领域的专家。在材料科学和计算机视觉方面,她围绕大尺度时间和空间现象进行数学研究,特别是针对人造材料,如形状记忆合金、磁性材料、复合材料、液态晶体、薄结构、相变和成像等,进行了系统深入研究。

## 综合报告二十八：Nelson Maculan 教授谈“Formulations and Solution Algorithms for the Minimum 2-Connected Dominating Set Problem”

文/图：交叉中心办公室



2013 年 5 月 13 日上午,现任 IFORS 主席、里约联邦大学 Nelson Maculan 教授应中科院国家数学与交叉科学中心的邀请做了题为“Formulations and Solution Algorithms for the

Minimum 2-Connected Dominating Set Problem”的综合报告。袁亚湘院士主持了报告会,中心副主任高小山研究员为 Nelson Maculan 教授颁发了讲座证书。

Nelson Maculan 教授在报告中首先介绍了在雷达定位、网络通信、传染病扩散、电网系统、技术传播等多个方面中重要应用的网络支配集合的概念。之后他引进了 2-连通支配集的定义,而且对最小 2 顶点连通支配集、最小 2 边连通支配集两类问题进行了深入的分析,给出了相关理论性质和判别不等式。最后他还对此类问题给出了启发式算法,报告了相应的数值结果。

Nelso Maculan 教授是国际著名的组合优化专家, 现任国际运筹学联合会理事长, 他曾任里

约热内卢大学校长、巴西高等教育部部长等职, 是巴西科学院院士和第三世界科学院院士。

## 综合报告二十七：聂长海教授谈软件测试的关键问题与方法

文/图：交叉中心办公室

2013 年 5 月 9 日下午, 信息技术部邀请了南京大学计算机科学与技术系聂长海教授在思源楼作了题为“软件测试的关键问题与方法”的学术报告。在报告中, 聂长海教授回顾了计算机软件的发展过程, 就如何提高软件质量这一世界范围的热点问题展开讨论, 特别是针对提高软件质量的重要方法—组合测试做了详尽的介绍。

报告会之后, 对报告中提及的一些思路和想法, 与会者进行了充分讨论, 并探讨了如何开展进一步研究的合作机制。



## 综合报告二十六：Peter Deuflhard 谈作为关键技术的科学计算

文/图：交叉中心办公室



2013 年 4 月 12 日下午, 欧洲科学院院士、柏林-勃兰登堡科学与人文科学院院士、柏林自由大学 Peter Deuflhard 教授应中科院国家数学与交叉科学中心的邀请做了题为“Scientific Computing - the Hidden Key Technology”的综合报告。中科院数学与系统科学研究院副院长、国家数学交叉中心副主任高小山研究员主持报告会, 国家数学与交叉科学中心主任郭雷院士出

席报告会并为 Peter Deufllhard 院士颁发了讲座证书。

在报告中, Peter Deufllhard 教授首先介绍了计算生物技术、计算医学、计算纳米光子学三个方面的若干关键技术,接着引出其中的数学问题,包括反问题、大规模优化问题与图像处理问题,最后介绍了他的研究团队在这些数学问题上的贡献及其在工业界的应用效果。他指出,很多关键技术的解决,需要数学理论与算法方面的实质性创新。

Peter Deufllhard 教授是科学计算领域的知名专家,是柏林祖斯研究院(ZIB)的创院院长以及柏林关键技术数学研究中心(MATHEON)创始人之一。此外,他对医药、生物技术、神经生物学等领域的一些重要问题也做出了重要贡献。

背景链接:

柏林祖斯研究院(ZIB): 成立于 1986 年,有 140 余名科研人员。以应用数学和科学计算为主要研究方向,以“快速算法、快速计算机”为原则推动研究和开展,即通过创新的方法,为科学、工程、环境、社会中的复杂问题提供解决

之道。通过与科学、经济、社会等领域的紧密合作,研究出数学模型和有效算法。为高性能计算机用户提供个性化咨询服务。自 1986 年成立以来先后孵化出 15 个独立高技术公司。

德国研究基金会柏林关键技术数学研究中心(MATHEON): 由德自然科学基金会资助,柏林自由大学、柏林洪堡大学、柏林工业大学、柏林祖斯研究院共同运行管理的国际知名研究机构。在国际领先的知名专家领衔下,约 200 名科研人员通过与工业、经济、科学界的紧密合作,积极开展以应用驱动的科学的研究,合作对象还包括学校与一般大众。



## 综合报告会二十五: Michael Waterman 教授讲授“Reading DNA Sequences Along Eulerian Pathways”

文/图: 交叉中心办公室

4 月 12 日上午,美国南加州大学 Michael Waterman 教授受国家数学与交叉科学中心邀请,作题为“Reading DNA Sequences Along Eulerian Pathways”的报告。中心主要领导及 100 余位科研人员及学生出席报告会。报告会由李雷研究员

主持,中心主任郭雷院士出席报告会并为 Michael Waterman 院士颁发了讲座证书。

DNA 测序是基因组学、分子生物学和的基础,随着测序技术发展,人类等基因组项目依次完成,更大的基因组项目正在开展。如何从

DNA 测序仪产生的大量的一百到几百个碱基长的短序列来组装未知的基因组是计算生物学的一个基本问题。在报告中, Waterman 教授回顾了测序技术的发展, 对生命科学的推动, 以及序列组装的计算方法。在人类基因组项目中, 序列组装采用了 overlap-layout-consensus 的三步法, 这一算法的复杂性是二次的。1995 年, Idury and Waterman 创造性地将序列组装转换成了一个 Euler 路径的问题, 从而减少了计算复杂度。随着测序成本的下降和数据量的增加, Euler 路径算法逐渐被广泛应用。

Michael Waterman 教授是南加州大学讲座教授, 计算生物学的先驱。他 1969 年于密歇根州立大学获得博士学位, 此后开创性地将数学、计算和统计方法引入分子生物学和基因组学的研究。他的学术贡献包括一些标准的计算生物方法如 Smith-Waterman 算法、Lander-Waterman 公式、和序列组装的 Euler 路径方法。Michael Waterman 教授获得很多荣誉, 他是美国科学院士, 工程院院士, 法国科学院士, 他和其他学者创办的学术杂志 Journal of Computational Biology



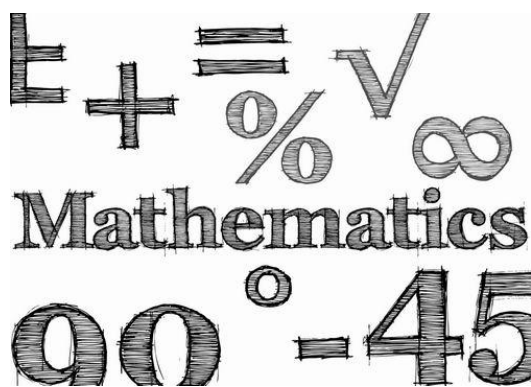
和学术年会 RECOMB, 他的专著 Introduction to Computational Biology: Sequences, Maps and Genomes, Chapman & Hall – CRC Press (1995) 在生物信息领域影响深远。特别地, Michael Waterman 教授培养扶植了多位计算生物学领域的中国学生和学者。

Waterman 教授从受数学训练的博士生, 到做基础研究的数学教授, 到创立计算生物学, 并对基因组学和计算分子生物学做出开创性工作的经历既富有传奇色彩, 也有法可循。是我们有志于在生物医学方面做交叉研究的年轻的数学家可以参考的典范。

## 数学文摘

### 数学的交叉研究与应用：大势所趋 国家所需

来源于：中国科学报 发布时间：2013-5-9 作者：张章



图片来源：[www.educationrates.com](http://www.educationrates.com)

21世纪的大部分科学与工程将建立在数学科学的基础上。

“音乐能激发或抚慰情怀，绘画使人赏心悦目，诗歌能动人心弦，哲学使人获得智慧，科学可改善物质生活，但数学能给予以上的一切。”

这是19世纪德国数学家克莱因赞美数学的一句话，尽管充满诗意、深情款款，但对数学的推崇气势凌人，不容置疑。

如果说克莱因的判断是一种历史经验，那在美国国家研究委员会（NRC）数学科学委员会眼中，数学则攸关一国经济社会乃至国家安全的现实利益。

日前，在美国国家科学基金会的资助下，该委员会发布了一份题为《2025年的数学科学》的报告。该委员会由美国国家研究委员会任命，而报告撰写历时5年。

报告涉及三方面内容：一、数学科学研究的活力，数学科学发展的统一性和连贯性、最近发

展的意义、前沿发展速度和新趋势；二、数学科学研究和教育对工程科学、工业和技术、创新和经济竞争力、国家安全、与国家利益相关的其他领域的影响；三、为美国国家科学基金会数学科学部提供建议，如何通过调整其工作组合，提高本学科的活力和影响力。

2025年远在四分之一世纪结束之时，美国数学界最高智囊团前瞻到了什么？

#### 情有独钟

这不是该委员会第一次发布专门针对数学的研究报告。

上个世纪最后10年，该委员会就曾针对数学先后发布两份重要报告：一份叫做《人人关心数学教育的未来》，一份叫做《振兴美国数学——90年代的计划》。

对数学情有独钟，绝非美国国家研究委员会心血来潮。在以致美国国民的名义发表的《人人关心数学教育的未来》中，该委员会认定，为充

分参与未来世界,美国必须开发数学的力量。这个结论的逻辑前提是:数学是科学和技术的基础;没有强有力的数学就不可能有强有力的科学。

对于数学正在发生的改变,该委员会给出这样的描述:

第一,数学的惊人应用已在自然科学、行为科学和社会科学的全部领域出现。现代民航客机的设计、控制和效率方面的一切进展,都依赖于在制造样机前就能模拟其性能的先进数学模型。从医学技术到经济规划,从遗传学到地质学,在现代科学的任何部分都已带上了抹不掉的数学印记,就像科学本身也推动了许多数学分支的发展一样。

第二,数学的一部分应用到另一部分——几何用于分析,概率论用于数论——提供了数学基本统一性的新证据。

报告最后谈到,科学和数学在问题、理论和概念方面的互相交叉,几乎从未达到最近四分之一世纪这样大的规模;且将数学教育的发展与改革上升到国家战略高度。

而在《振兴美国数学——90年代的计划》中,该委员会强调了对于数学的投入和许多现代科学技术对数学科学带来的挑战,以及对于数学交叉研究带来的新机遇,和数学应更多更有价值地应用于其他科学和技术。

### 数学的张力

遵循大多数学科发展的一般规律,数学的发展和进步通常是由内部因素(跨越学科和分支之间的界限)和外部因素(在学科之外出现的解决问题的需求)共同驱动的。数学内部各分支的相互交叉与融合曾带来意想不到的成就,数学和应用领域之间的大量相互影响也为科学工程、经济发展、国防安全等发挥了重要作用。

事实上,西方发达国家历来重视数学教育、研究以及与其他领域的交叉研究与应用,并从中

受益。而科学技术近些年的进步与巨大发展,从未像现在这样让人们认识到数学对交叉科学研究与应用带来的深刻影响。

实践已经证明,数学科学正日益成为生物学、医学、社会科学、商业、先进设计、气候、金融、先进材料等许多研究领域不可或缺的重要组成部分,几乎渗透到日常生活的各个方面,如互联网搜索、医疗成像、电脑动画、数值天气预报和其他计算机模拟、各类数字通信、商业、军事的优化以及金融风险分析等等。毫无疑问,数学科学是以上这些功能的基础。

在《2025年的数学科学》报告发布之前,美国国家科学院亦曾完成一份有关数学的独立报告:《推动创新和发现:21世纪的数学科学》。报告以十余个数学主题为例,说明数学如何推动其他领域获得发展的创新性成就。如压缩传感带来的变革,特征向量法从大量噪声数据中提取信息的显著能力,数学模拟在各个领域的影响,海啸中的数学科学,贝叶斯推断在经济、天体物理、战争等方面的作用,扩散张量成像与脑的新视角,快速多极方法在军队、商业领域中的应用等等。

这些例子从一个侧面佐证了美国国家研究委员会数学科学委员会在《2025年的数学科学》报告中得出的结论:数学科学在21世纪的发展机会令人兴奋,巩固其作为研究和技术的键作用,保持核心力量,是数学科学生态系统的一个关键元素,对于其未来发展至关重要。

毫无疑问,经济与产业发展构成对数学科学的另一个巨大需求。2010年欧洲科学基金会发布的一份题为《数学与产业》的报告认为:学术界和产业界的许多领域都依赖数学科学开拓新领域和推动发展,如今,学术界和产业界所面临的挑战是如此严峻,以至于只有在数学科学的帮助和参与下才能得以解决。

该项报告源于这样一个强大的理念:欧洲数

学有潜力成为欧洲产业的重要经济资源;其目的是探索激励和强化数学与产业之间的合作方式,以期加强数学家与致力于技术进步的大中型企业之间的合作战略。

为证明数学在作为产业创新推动力方面的作用,《数学与产业》报告还引用了谷歌联合创始人拉里·佩奇的话:“主要挑战是确保具备数学技能的人才供应,因为他们是企业发展的关键。这项专长是谷歌所特有的,因为企业永远不能确定下一次创新或下一件产品将来自哪里,它需要拥有新想法和新概念的高校毕业生的充足供应。”

2012年,一份来自英国工程与物质科学研究理事会(EPSRC)委托研究的报告《数学科学研究:促进英国经济增长》甚至对数学的经济和产业贡献给出了量化评价:2010年,数学科学研究对英国经济的量化贡献估计约为280万个就业岗位(约占英国所有工作岗位的10%)和2080亿英镑的增加值总额(约占英国增加值总额的16%)。

### 泛在的数学

经过了学科的细分之后,交叉研究与应用正

逐渐打破数学各领域之间的界限。

《2025年的数学科学》报告的参与者认为,将数学科学作为一个统一的整体进行考虑是关键。“核心”数学和“应用”数学之间的区别越来越模糊,今天很难找到有哪个数学领域与应用不相关。在美国学术界,许多研究数学科学的人都对此表示认同。

欧洲科学基金会的报告也特别强调,与产业界的互动有助于学术界从中受益,激励其对新方向开展研究;报告同时警示数学家要转变心态,在现代技术发展的过程中,对纯数学和应用数学问题的区分已经没有任何意义。

大数据时代的到来,更是史无前例地将数学交叉的重要性以及与各学科融合的统一性上升到一个重要位置。

所有的分析似乎同时指向同一个结论:21世纪的大部分科学与工程将建立在数学科学的基础上。数学的交叉研究与应用势不可挡,乃国家所需。

(相关链接:

<http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2013/5/272721.shtm>)

## 2013 国际统计年活动

近日,美国统计协会,数理统计学会,国际生物计量学学会,国际生物统计学会,伯努利学会和皇家统计学会联合宣布2013年为国际统计年(“2013国际统计年”)。国际统计年得到了全世界1700多个组织的支持。

此次活动的目的是:增加公众对统计在社会各方面影响力的认识;将统计培养成为一个职业,尤其鼓励年轻人从事统计学工作;推动概率与统计科学的创新和发展。

为什么选择2013年?至少有两个主要的原因:在300年前,也就是1713年,在Jakob Bernoulli去世8年后,他的成果“猜测术”(“Ars Conjectandi”)在巴塞尔发表,这项工作被认为是概率论组合依据的基础。此外,在250年前,也就是1763年,Thomas Bayes的成果“论机会学说中一个问题的求解”在他去世2年后发表,被视为Bayesian统计学的基础。

统计学经历了惊人的发展,已经越来越多地

应用到其他科学, 技术, 医学, 生物科学和工业生产中, 是我们社会必不可少的一门学科。然而, 即使它对社会上每个公民都很重要, 在很多大学课程中必不可少, 统计学在很多国家的学校课程中所占的内容仍然很少。为了强调它在教育中的地位, ICMI 和国际统计教育协会(IASE)组织了 ICMI 教学产品: 教学和教师教育的挑战, 由 Carmen Batanero, Gail Burrill 和 Chris Reading 编辑, 斯普林格出版社 2011 年出版发行 (第 18 届 ICMI 教学系列: 新 ICMI 教学系列, 第 14 卷)。

为此, 在国际数学家大会的科学计划中也包

含一章 (第 12 章) 专门讨论概率与统计, 同时邀请专家做 10-13 场特邀报告。

考虑到统计学的重要性, 国际数学联盟 (IMU) 也将支持国际统计年, 并计划在 2014 首尔国际数学家大会上举行一些活动来宣传“2013 国际统计年”。

“2013 国际统计年”的庆祝活动毫无疑问将会加深国际数学联盟和世界主要统计组织之间的联系。

(译: 刘刚)

## 推动创新与发现: 21 世纪的数学科学

美国国家科学院的研究——2025 年的数学科学 (MathSci 2025) 于 2010 年启动, 由美国国家科学基金会资助, 是一项对美国数学科学当前状态的前瞻性评估。MathSci 2025 项目的最终报告将在 2012 年晚些时候发布。

《推动创新和发现: 21 世纪的数学科学》是在最终报告发布之前的一份独立报告。它是基于委员会对数学科学最新进展或数学科学研究推动的进展的确认, 根据委员会对该学科的活力的评估得出。

在选择本报告的主题时, 委员会旨在覆盖具有影响的一系列数学科学子领域和范围, 选题中的信息可访问, 并且可通过几页说明发展。

在 2010 年年底和 2011 年间, 对相应的主题进行了确认、专家咨询、起草编写和修订等环节, 并编辑了附带图像。

数学科学是日常生活的一部分。现代通信、交通运输、科学、工程、技术、医药、制造、安

全和金融都依赖于数学学科。数学科学包括数学、统计学、运筹学和理论计算机科学。此外, 还有许多工作在其他科学和工程理论领域的数学工作者, 他们也促进了数学科学的发展。数学科学各领域研究之间具有统一性, 研究过程中可能考虑或不考虑应用, 并且不考虑数学科学的发展可能促进的一系列应用。要在科技发达的社会中发挥良好作用, 每一个受过教育的人都应该熟悉数学科学的多个方面。

虽然数学科学是普遍的, 但它们却往往不能得到明确的认识。数学科学推动了现代生活, 通过分析数据或使用计算机建模和仿真来设计和分析处于“如果-那么”情况的系统或探索。随着科学与工程大多数领域、企业、政府、国家安全等方面真正海量数据集的出现, 提高了对数学科学新工具的需要。因为数学科学具有独立的科学背景, 它们可以方便地从一门学科转换到另一学科。

数学科学提供了一门包括数字、符号、图表和图表的语言,可以表达日常生活中,以及科学、工程、医学、商业、艺术等领域的思想。数学符号比汉语、英语或阿拉伯语更加普遍,使得具有完全不同语言和文字的团体之间实现沟通。

《推动创新和发现: 21世纪的数学科学》报告选择了以下主题介绍数学科学各领域的最新进展或数学科学研究推动的进展。

### 1. 压缩传感

在过去的20年间,两场独立的变革使得数字媒体产生于前互联网时代。两场变革都深深植根于数学科学。现在,其中一场变革已经成熟,每当你去观看计算机动画电影时便会从中受益。另一场变革才刚刚开始,但已经重新定义了生物成像、通信、遥感和其他科学领域的可行性的限制。

第一场变革可称为“小波变革”。小波是一种数学方法,用于分离图像或任何种类的信号(声,地震,红外线等)中最相关的信息。

2004年,一些简单的问题开启了小波变革的中心前提:既然我们要通过压缩算法放弃90%或99%的信息,那么为什么我们甚至会烦心于获得1000万像素的信息?为什么我们不能从仅获得1%的最相关信息开始呢?这一点促使我们开始了被称为压缩传感的第二次变革。

当然,数学科学中充满神奇。就小波而言,即为眼见为实。压缩传感能够通过核磁共振成像使成像时间从2分钟减小到40秒。其他研究人员已将压缩传感用于无线传感器网络,在不使用心电图仪的情况下监测病人的心跳。

压缩传感已经改变了科学家和工程师考虑从模数转换到数字光学和地震信号的采集方式。例如,美国的情报部门一直在努力解决窃听敌人从一个频率跳到另一个频率的传输问题。当频率范围太大时,没有足够快的模拟-数字转换器能够扫描合理时间内的整个范围。然而,压缩传感

的思想表明,这样的信号可以足够快地获取,以允许这样的扫描,从而导致新的模拟-数字转换器架构。

具有讽刺意味的是,不论现在还是过去你可能不会发现压缩传感应用的地方正是数码摄影。原因是,光学传感器是这么便宜,它们可以数以百万计地集成于计算机芯片上。虽然这可能浪费传感器,但其成本基本上为零。不过,只要你获取其他波长(如无线电或红外)或其他形式(如核磁共振成像扫描)的数据,压缩传感所节省的成本和时间将显示出更大的重要性。因此,压缩传感有可能继续作为数学家和各类科学家和工程师之间对话的肥沃土壤。

### 2. 特征向量/从数学科学到首次公开发布

1997年,当谢尔盖·布林(Sergey Brin)和拉里·佩奇还是斯坦福大学的研究生时,他们撰写了一篇简短的论文,论文是关于他们称为谷歌的实验性搜索引擎。布林和佩奇的想法的基础是许多数学家的研究,他们给每个网页进行排名,即网页级别(PageRank),用来表明它的权威性有多大。如果有很多其他网站链接到你的网站,那么你的网页级别就会提高。直观地说,那些其他网页正在为你的网页投下一票。此外,布林和佩奇假定本身具有相当权威的网页所投的一票应该算作多张票。因此,你的网页级别是链接到你的所有网页的网页级别的一个函数。

网页级别算法似乎构成了一个鸡和蛋的悖论:为了计算一个网页级别,你需要知道所有其他网页的网页级别值。然而,布林和佩奇认识到这项挑战是一种众所周知类型的数学问题,即特征向量问题。这种情况下,一个向量仅仅是数字的一个列表,如网络上所有网页的网页级别值的列表。如果将网页级别算法应用到向量集中,大多数向量将发生改变,但真正的网页级别向量仍然存在:它没有被算法改变。

这种“持续”向量就是数学领域所熟知的特征向量。数百年间,特征向量已经在许多场合出现过。18世纪,这一概念最早由数学家欧拉在旋转固体的研究中提出。

大约一个世纪之后,你会发现特征向量在量子物理学中再次使用。到现在,你仍然可以发现特征向量概念在基因组学研究中的使用。

鉴于特征向量方法的普遍适用性,也许不太令人吃惊,谷歌的网页级别算法不涉及你对所搜索查询内容的实际了解,优于试图分析网页语义内容的算法,能够更好地为网页排名。但是,对于随机的或包含很大不确定性的真实数据使用特征向量方法的能力,是网页级别的关键。在短短几年内,每个人都在使用谷歌,“谷歌”已经成为一个动词。2004年,当布林和佩奇的公司上市时,其首次公开发行股票筹得270亿美元。

上面的例子证明了特征向量法从大量噪声数据中提取信息的显著能力。然而,还有很多工作有待完成。一个充满机会的领域是加快特征向量的计算。最近,数学家们发现,“随机投影”可以将大矩阵中的信息压缩到较小的矩阵,同时基本上保持相同的特征向量。可以使用压缩矩阵作为原始矩阵的替代,然后奇异值分解(SVD)就可以较小的计算成本继续进行。

谷歌面临的最大挑战之一是,防范网页级别的完整性,抵御垃圾邮件发送者。通过建立人工网络链接,垃圾邮件发送者削弱了基本假设,即一个网络链接表示一个人对网页价值的判断。虽然谷歌已经多次改进了网页级别算法,以便搜出假链接,领先于垃圾邮件发送者是一个持续的数学科学挑战。

### 3. 数学模拟

计算机模拟建立在数学建模的基础上,已经在所有类型的科研中得到日常应用,提供包括国防在内的企业和政府决策,设计和控制复杂的系

统,如交通运输、公用事业和供应链等。模拟用于获得对这些系统的预期质量和操作的深入了解,并对那些可能尚未存在或不符合实验的系统开展如果-那么类型的评估。

从物理学到生物学,再到化学工程等许多应用方面,科学家们利用计算机模型研究那些对实验室研究来说体积太大、体积太小、速度太快、速度太慢、太稀有和太危险的现象。建立这些模型,需要用公式表示数学和统计模型,开发算法,并创造软件。

数学模拟面临重大的挑战,这将是未来20年持续研究的焦点。

首先,现实世界的过程需要很宽时空尺度范围内的模拟。例如,超新星的核心崩溃发生在几毫秒内,关键对流步骤需要几秒钟时间,而爆炸的后果持续几个世纪。在空间分布上,爆炸过程中超新星高热原子核反应火焰从毫米到几百米不等。

在生物学中,各种尺度范围令人生畏。亚细胞过程,例如离子通道的打开和关闭,与细胞尺度的各种事件发生联系。这些效应级联上升,最初影响心脏组织,然后影响心脏,并最终(在心脏攻击的情况下)影响整个身体的健康。同样地,时间尺度也跨越了巨大的范围:蛋白质折叠需要几微秒,单次心跳需要若干分之一秒,心脏病发作需要几分钟,身体恢复需要数周或数个月的时间。将所有这些尺度引入单个数学模型中,是非常困难的事情。

涉及多尺度的问题是多物理场问题。通常用于不同尺度的模型的类型彼此不兼容。亚细胞水平的事件往往是化学和随机事件,受到几个分子的存在或不存在的影 响。在心脏中,这些事件转化成电流和机械运动,它们均服从微分方程,微分方程通常是确定性的。

多物理场也可以表征单一的规模:心脏是一

个电路,同时也是一个液压泵。同时以协调的方式模拟这两种特性是不容易的。在这种情况下,进展往往取决于各领域科学和数学科学思想见解的组合。

由于模拟的复杂性,模型验证也成为一项重大挑战。首先,建模人员必须确保程序的各个部分按预期工作,对于一个复杂的模拟,这是非常困难的。然后,建模人员将对其进行测试,看它能否再现简单真实世界系统的行为,是否匹配现有的数据。最后,该模型将用于预测真正的新现象。但并没有普遍的方法确定模型是否足够好,且可以应用,所以在一定程度上模型验证仍然更像一门艺术,而不是科学。

在不久的将来,模拟的另一项重大挑战将在硬件和软件方面。不用说,任何开展模拟的科学家都想获得更强的计算能力。计算能力正是超新星和蛋白质折叠模拟当中的主要瓶颈。今天,虽然三维模拟才刚刚可行,但天体物理学家确想实现六维模拟!六维模拟可以更准确地模拟每个粒子的速度和位置。

但是,原始计算能力不是唯一的解决办法。在研究的最前沿,不能夸大新的和更好的算法的重要性。简单地说,你可以等待2年以验证计算机每年翻一番的摩尔定律,或者今天通过开发更好的算法,你也可以得到相同的加速。

原始运算速度的明显进步不直接或许甚至不间接地转化为速度更快或更准确的模拟。今天的预期是,未来的高端电脑将拥有大量非常快的“核”—处理单元,分别以极高的速度运行,但核心之间的通信速度相对较慢。因此,为单核(或较少核数量)计算机编写的软件效率将较低,而且标准计算,如线性代数计算,将需要数学和计算机科学家的认真重写。

#### 4. 海啸中的数学科学

数学科学有助于预测伴随于地震或其他海

洋事件(如大规模山体滑坡或火山喷发)的海啸的路径和强度。数学模型通过估计海啸登陆的地点、海浪的高度,以及海浪前进的速度,为海啸预警系统提供支持。更根本的是,数学科学有助于映射海底的地形,并根据不规则地布置在相隔数百英里的地方的独立海洋验潮仪的数据推断大尺度波浪的行为。这方面的知识是在紧急警告和疏散之后,有助于避免潜在的破坏性后果。

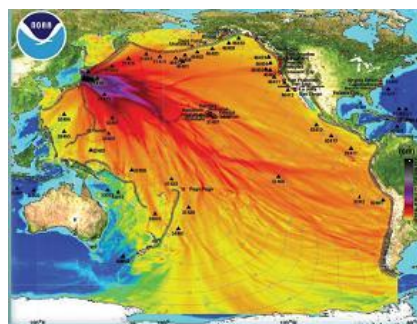


图1 数值模型用来模拟地震、越洋传播,以及干燥陆地的淹没。在紧急情况下,为了节省时间,这些模拟针对各种可能发生地震的大小和位置开展,然后当海潮数据可用时,将这些方案与海潮读数结合。

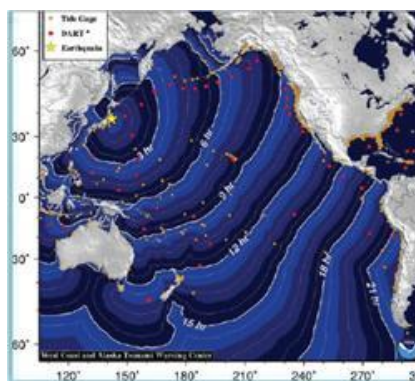


图2 基于海底映射和海洋验潮仪的读数,数学模型有助于预测海啸波浪的时间和轨迹。该信息用来预测海啸波浪将到达不同海岸的时间。

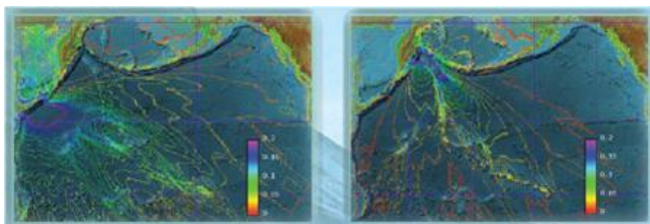


图3 高分辨率计算模型用于模拟处于前进中的海啸波浪的高度, 这里显示为两个不同地震的结果。这些估计有助于确定疏散区域和路线。由于当地的地形、长期海平面上升、年度气候变化、每月潮汐周期和短期气象事件, 海啸的影响存在很大不同。

### 5. 贝叶斯推断

在第二次世界大战期间, 德国陆军、海军和空军使用被称为谜的加密机器发送了数以千计条消息。令他们几乎没有意识到的是, 英国数学家对他们进行了窃听(事实上, 直到20世纪70年代秘密才被完全揭开)。就其本质而言, 关于谜的战争与任何军事接触一样重要。它的成功部分在于称为贝叶斯推断的统计方法, 该方法使密码破译者能够以一定的概率确定密码机的某些设置(每天更换)比其他设置的可能性更大。

战争结束后的多年间, 贝叶斯分析继续取得了显著成功。从1960年到1978年, 美国全国广播公司使用类似的技术预测了选举结果。美国海军使用贝叶斯分析, 寻找丢失的氢弹和被击毁的美军潜艇。然而, 由于安全性或所有权的原因, 这些成功并不能共享。在学术界, 由于历史和哲学上的原因, 贝叶斯推断很少得到支持。

在过去的30年里, 贝叶斯分析已成为统计学和科学的核心工具。它的主要优点是, 回答了科学家们很可能以直接和直观方式问到的问题。它可能是从巨大异构数据库中提取信息最好技术。

贝叶斯和经典统计数据开始用来为哲学问题“什么是概率?”提供不同的答案。对于经典统计学家而言, 概率就是频率。我们说一元硬币落地是头像一面向上的概率是50%, 就意味着多次投掷硬币时, 其头像朝上的次数大约占一半。

与此相反, 贝叶斯认为概率是一定程度的信

仰。因此, 如果你说足球队A有75%的机会击败足球队B, 就表示了对这种结果的信念程度。足球比赛肯定不会进行很多次, 所以从频率的角度来看, 你的表达没有任何意义。但对于贝叶斯而言, 这非常有意义, 它意味着你愿意以3-1的赔率赌球队A获胜。

贝叶斯推断的应用得到了迅速增长, 并将在未来20年可能会继续如此。例如, 现在贝叶斯推断已经广泛应用于天体物理学。宇宙学的某些理论包含受制于实验的基本参数, 如空间的曲率、可见物质的密度、暗物质的密度和暗能量。贝叶斯推断可以以几种不同的方式限制这些量。如果你认同一个特定的模型, 你就可以计算出事先给你信念的最有可能的参数值。如果你不知道应该相信哪个模型, 贝叶斯规则可以让你计算哪个更可能的让步比。最后, 如果你认为证据不能确认任何一个模型, 你可以平均所有候选模型的概率分布, 并估计可行的参数。

贝叶斯推断也开始在生物学领域流行起来。例如, 在称为途径的复杂网络中交互的细胞基因。利用微阵列, 生物学家可以看到乳腺癌细胞中的活跃途径。许多途径都已经知道了, 但数据库还远远不够完善。贝叶斯推理为生物学家提供了一种方式, 从先前的假设(该基因组可能一起工作)前进到后面的假设(即该基因组可能涉及乳腺癌组织)。

在经济学中, 对消费者调查的贝叶斯分析, 使企业能够更好地预测对一款新产品的反应。贝叶斯方法可以挖掘调查数据, 并找出是什么使客户存在不同(例如, 有的人喜欢比萨上的凤尾鱼, 而其他人却讨厌)。

已经证明, 贝叶斯推断能够有效地进行机器学习, 例如, 训练垃圾邮件过滤器认识垃圾邮件。所有电子邮件的概率分布是相当大, 是不可知的, 但贝叶斯推断会自动使过滤器从先前不知道垃

圾邮件任何情况的状态, 转换到之后它认识到“V1agra”很可能是垃圾邮件的状态。

虽然贝叶斯推断有各种现实世界的应用, 但贝叶斯统计中的许多进步都依赖于或将依赖于并非针对特定应用的研究。例如, 马尔可夫链蒙特卡罗出现于一个完全不同的科学领域。其中一个重要的研究领域是先验分布的古老问题。在许多情况下, 有一个唯一的先验分布, 使实验者避免对进入一个统计模型的参数值进行初始估计, 同时, 充分利用他或她的参数空间几何的知识。例如, 实验者可能在不了解参数具体值情况的时候知道参数是负值。

在这些领域的基础研究将补充针对特定应用的问题, 如发现乳腺癌基因或建筑机器人等问题, 因此将确保贝叶斯推断继续寻找新应用。

#### 6. 扩散张量成像/大脑的新视角

如果没有数学科学, 扩散张量成像是绝对不可能出现的。数学是隐藏在众目睽睽下: 隐藏在扩散张量成像中的那个神秘的“张量”中。张量是一个数学概念, 在19世纪提出, 它推广了向量的概念。已经证明, 张量可以应用于许多物理学领域。

在2000年之后的十年间, 扩散张量成像的研究快速发展, 研究论文的数量大约每2年就翻一番。也许存在的最根本问题是, 区分图像的单一立方体(或“体素”, 即一个像素的三维类似物)内的两个纤维交叉在一起。据估计, 扩散张量成像扫描中多达30%的体素具有一个以上的纤维穿过它们。不幸的是, 标准的扩散张量无法检测到这一事实。一个椭球只有一个长轴, 它不能具有两个不同的“拐点”。如果实际上有两个纤维, 扩散张量成像却不会产生两个椭球, 而是一个、更圆的椭球。因此, 它会低估体素内的局部各向异性, 它也可能错误地绘制的纤维途径。

解决交叉纤维问题的一种方法是, 提高扫描

的分辨率, 使得每个体素更小。因此, 将需要具有更强磁场的核磁共振成像扫描仪, 这在过去十年一直是一个趋势。但更便宜的替代方案是发展数学方法, 取代具有更复杂扩散面的椭球。例如, 一种称为高角分辨率扩散成像(如第28页的图10所示)的方法结合具有层析成像原理的磁共振数据, 并产生交叉纤维的可观详细图像, 它们会混淆普通扩散张量成像扫描。但是, 它会产生大量的数据, 需要数据挖掘和分析方面的进步。可靠地说, 实验和分析两方面仍有许多工作要做。

#### 7. 快速多极方法

20世纪90年代初, 美国耶鲁大学的Vladimir Rokhlin和纽约大学的Leslie Greengard设计了一种称为快速多极方法的算法, 以加快某些类型积分方程的求解。后来, 美国物理研究所和IEEE计算机学会将快速多极方法命名为20世纪的十大算法之一。

作为美国国防部高级研究计划局的应用数学计划经理, Louis Auslander的工作是将国防相关的问题分配给能够解决它们的人。当他听说快速多极方法后, 对其可能解决长期困扰空军的问题(自动目标识别问题)表示了怀疑。

现在的问题是: 当你在雷达屏幕上看到飞机时, 你怎么能知道飞机的类型?

快速多极方法的基础是敏锐的洞察力, 即如果源点和目标点彼此相隔甚远时, 问题就变得更易于管理的。在这种情况下, 由源产生的雷达波可以由单个“多极”域近似。虽然第一次它仍然需要 $N$ 次计算, 得到多极磁场, 但之后你就可以重复使用相同的多极函数。因此, 你通过单次进行100万计算, 然后100万次进行单次计算(共200万次计算), 代替100万次进行100万计算(1万亿次计算)。因此, 快速多极方法使更有效的格林函数方法计算上变得可行。

快速多极方法的应用已不仅限于军队。在商

业领域,它的最重要应用是用于制造计算机芯片和电子元件。现在,集成电路在几平方厘米的面积上封装了100亿个晶体管,这使得它们的电磁行为很难预测。电子不像在正常尺寸的电路一样只是通过它们应该通过的导线。一根导线中的电荷可诱导其他仅几微米相隔的导线中产生寄生电荷。

预测芯片的实际行为意味着求解麦克斯韦方程组,快速多极方法已被证明是这方面一个完美的工具。例如,现在大多数手机包含采用快速多极方法在制造之前测试的元件。

目前,半导体公司都使用一种比原来为国防高级研究计划局开发的算法稍微简单的快速多极方法的版本。较简单的快速多极方法版本适用于静电场或低频率的电磁波。不管你相信与否,从快速多极方法的角度来看,甚至是每秒运行1亿次的1千兆赫的芯片也是运行在低频率!这是因为1GHz电磁波的波长仍然比芯片宽度长很多。

快速多极方法的变种适用于与电磁没有任何关系的问题。该方法适用于存在大量相互作用的目标的任何情况,如星系中的恒星或动脉中的红血细胞。每个红细胞影响它附近的许多红血细胞,因为它们被相当密集地密封在粘性流体(血浆)内部。另外,血细胞是容易被压扁的:它们绕曲线或绕着彼此发生弯曲。要考虑这一点,一个好的计算机模拟需要跟踪每个血细胞表面上的几十个点,以及彼此相互强烈作用的点,因为细胞要保持其结构的完整性。

2010年,一项基于快速多极方法的血流量模拟以其在真正(即不是一个玩具)超级计算问题中的极佳表现,赢得了著名的戈登·贝尔奖。佐治亚技术学院和纽约大学的研究人员使用橡树岭国家实验室的Jaguar超级计算机模拟了2.6亿个可变形红血细胞的流量(大约为一只刺破的手指所流的个数)。这打破了此前只有14000个细胞

的纪录,并允许模拟近似真实的血液流体性质。虽然媒体关注于超级计算机,但如果没有快速多极方法,计算也不可能实现,其中快速多极方法以一种适应并行计算的新方式执行。最终,这种模拟将有助于医生更好地认识血液凝固,可能会促进对心脏病患者的抗凝治疗方法。

## 8. 数学科学在国防中的应用

数学科学巩固了国防许多项支撑技术。最先进的数学和统计学处于智能传感器和先进控制和通信的背后,它们贯穿于研究、开发、工程、测试和评估整个过程,深入于计划和作战人员的培训仿真系统中。第二次世界大战以来,数学科学为国防做出了关键的贡献,并将继续扩大其效用。下面列举数学科学中国防中的重要应用。



图4 数学科学用于规划后勤、部署,以及复杂军事行动。



图5 数学模拟可以预测烟雾、化学和生物战剂在城市的蔓延。



图6 数学与统计学为战术行动中的控制和通信提供工具。



图10 信号处理为通信能力提供便利。



图7 数学是用来设计先进的装甲。



图11移动翻译系统采用语音识别软件，以减少没有人类语言学家语言障碍。



图8 信号分析和控制理论对于无人驾驶飞机是必不可少的。



图12 卫星制导武器利用GPS实现高精度定位



图9 大型的计算程序用于设计飞机、模拟飞行路径和人员培训等。



图13 车辆设计中，建模与仿真有利于权衡分析，统计学支持了测试和评估。

## 9. 数学在生物信息学的应用

2000年6月,人类基因组计划HGP中DNA全系列草图完成,2001年已经基本完成了精确的全系列图。DNA中由四个字母A、T、C、G按一定的顺序排成的长约30亿的序列。除了这四个符号表示四种碱基以外,人们对它包含的“内容”知道的很少。研究DNA全序列有什么结构,由这是个符号排成的看似随机的序列中隐藏着什么规律,是生物信息学最重要的研究课题之一。

生物信息学是一门综合学科,它与物理、化学、计算技术的关系密切。生物信息学对数学带来了巨大的挑战,同时生物信息学也为数学提供了一个应用的领域。

正确的数学已经存在,并随时可以使用,但它并不为生物学家所熟知。数学家的想法是,创建一个网络,其中的节点表示基因组的子链,边缘表示相互重叠的子链。第一代方法找到通过一个网络的路径,网络只一次通过每个节点。已经知道该问题需要令人绝望的极长的时间来解决。然而,更好的办法是找到一条精确通过网络每个环节仅一次的路径。该问题称为欧拉路径问题,具有计算高效的解,使新一代测序变得实用。

数学科学在基因组中的应用对社会产生了很大的影响。2011年,美国巴特尔纪念研究所的一项研究得出的结论是,人类基因组计划的经济影响已经接近8000亿美元,这是对美国政府30亿美元投资的巨大回报。并且,这甚至并未考虑到对人类的影响。人类基因组计划对人类的影响才刚刚开始。

## 10. 几何与物理/无休止地纠缠

“哲学书写于宇宙这部巨著中,宇宙一直为我们的凝视开放,但它并不能被理解,除非第一次学会理解书写它的语言。它用数学语言书写,符号是三角形、圆和其他几何图形。”1623年,伽利略在科学时代的曙光到来时如是写道。宇宙

的秘密仍然从几何方面来书写,虽然伽利略描绘的图形现在已经被替换为更奇特和更抽象的图形:流形、纤维丛和Calabi-Yau空间。

19世纪初期,欧几里德几何只是无限多种可能几何形状中的一种。欧氏几何是平的,是一个桌面的几何形状,可以无限延伸。与此相反,非欧几里德几何是弯曲的。它们可以具有球体的正曲率,或者它们可以具有负曲率,具有负曲率的几何难以进行可视化,但可以比作一些叶菜类蔬菜表面的褶边。

19世纪50年代,黎曼迈出了大胆的另一步,描述了空间各点曲率都可以改变的空间。黎曼几何也允许空间采取任何维数——二维、三维,甚至更高维度。他将这些弯曲空间称为“流形”。

一段时间内,这些新的几何形状仍然只是数学好奇心。但在20世纪初,爱因斯坦采用黎曼的数学作为一门语言,表达他的广义相对论,广义相对论中重力是四维空间弯曲的结果。1915年爱因斯坦写下了相对论的方程,随后产生一系列意义深远的发现:黑洞、宇宙膨胀、宇宙大爆炸和暗能量。要完全了解这些想法,你必须学习黎曼几何。

爱因斯坦的广义相对论仅仅是个开始。类似的几何结构是描述粒子物理学的场论的基础。1932年反物质的发现,直接源于调和相对论与量子力学对电子描述的尝试。方程预测了额外的解,它们似乎是带正电的电子,我们现在称它们为正电子。它们是正电子发射断层(PET)扫描的关键因素。正电子发射断层扫描用来研究人类大脑的运作方式。

20世纪30年代末和40年代,物理学家和数学家彼此之间失去了联系。物理学家开始思考有关渗透到所有空间的场,他们称之为“规范场”。(例子包括电磁场、强和弱的核力)。同时出于不同的原因,数学家对一种称为纤维丛的新几何空间

产生了浓厚的兴趣,该空间大致类似弯曲空间,空间中的每一点都具有箭图。但直到20世纪70年代,数学家和物理学家才意识到他们在做同样的事情。物理学家的规范场类似于数学家箭图中的单个箭头。数学科学和理论物理学之间的相互思想交流一直持续到今天。

20世纪末和21世纪初,弦论被表示为一种方法,以便将重力物理学和量子物理学理论统一万物的一种理论。类似于所有其他的物理学理论,弦论具有高度的数学性,但必要的数学还未发明。目前还没有弦论家所开展计算的严格背景,而且数学科学家们也不知道这些技术有效的程度。

然而,弦论的研究已经导致数学科学的一些重要应用。由于弦论假定,宇宙具有6个额外的、看不见的维度,它们实际上形成了一个流形,流形是数学科学家发现的一类空间。

几何学和物理学之间的一系列相互作用会继续下去。难以猜测它将在未来导致什么发生,但几乎可以肯定的是两个学科中意想不到的思想将继续从相互作用中产生。伽利略的话仍然是正确的:几何仍是宇宙的语言。

#### 11. 概率论与统计物理学

2000年,人们发现一个普遍的机制,它显示微观无序可导致二维系统的宏观有序。现在,这一发现被称为Schramm-Loewner演化,它可以精确计算那时可能以非严谨方式预测的宏观现象。不仅如此,该机制还适用于上面提到的随机过程,以及其他过程。

Schramm-Loewner演化是对所有这些不同现象的一个奇妙的统一描述,阐明了无序如何创造有序。

Schramm-Loewner演化的最本质特征是称为共形不变性的对称性。共形不变性包括两部分:尺度不变性和旋转不变性。

虽然Schramm-Loewner演化是理解这些二

维随机过程的关键,但它还有两个警告。首先,它绝不是通过例程来证明,一个给定的随机过程对应于一个特定的 $k$ 值。有一些过程,如聚合物的增长(类似于自回避随机游动),适当的 $k$ 值很值得怀疑,还没有严格的建立。

不幸的是Schramm-Loewner演化局限于二维。这似乎很可能无法通过单个参数如 $k$ 来对三维随机过程进行分类,也可能描述附近分子相关性的临界指数,并不如二维情况下那么简单。因此,21世纪当数学家们试图解释我们三维世界中的相变时,他们仍然有自己的工作要做。

Schramm-Loewner演化提供了一个模型描述相变如何发生的理论。基于Schramm-Loewner演化的研究曾两次荣获数学科学的最高荣誉之一——菲尔兹奖。此类奖项表明,数学科学家的发现几乎不到十年时间,就赢得了不平凡的尊重。

#### 12. 专利发明中的数学科学

还记得CD播放机开始出现在汽车上时似乎多么令人称奇吗?对于要检测跨度小于1微米凹坑的精密仪器,如何在经常摇晃比凹坑尺寸大数万倍的距离的环境下正常工作?神奇的地方不在于减震器,而是在于数学科学。一种称为最大似然序列估计的方法,基于最大似然的统计技术,它可以计算出在1s和0s记录在磁盘上的最可能序列,并对颠簸车程导致的噪声和误差进行补偿。

许多我们现在已经习以为常的其他技术,都是基于数学思想。其他在今天看来似乎富有远见的、但在20年后可能变得司空见惯的发明,同样取决于数学。为了说明这点,下面的表格列出了10项发明,它们的专利发明运用数学方法。

##### (1) 快速傅立叶变换 (FFT)

快速傅立叶变换是将电信号分解成其组成频率的行业标准方式,它基于以规则的时间间隔进行的采样。

这项专利用于“单块集成电路”的硅芯片。该

芯片可以计算快速傅立叶变换,用于数字图像处理、语音识别和类似手机中的语音传输。

#### (2) 相关系数

相关系数是一种用于确定两对数据集密切相关程度基本统计方法。

一种光学扫描仪通过计算靶心横截面的扫描像素序列和预计序列质检的相关性定位标签上的“靶心”。

#### (3) 维特比算法

维特比算法用于手机、CD和DVD播放器,对噪声信号进行解码。其核心理念是用“软”的、概率决策程序。

这项专利是数百项基于原始专利版本微调的专利中的一项,它加快了算法的“回溯”部分。

#### (4) 椭圆曲线

椭圆曲线是一种用于公钥的代数结构。例如,验证智能卡的用户身份。

在这项专利中,用户可以选择自己的椭圆曲线,而不是从一个集中管理的注册表中选择一个椭圆曲线。

#### (5) B-样条曲线

B-样条曲线是表示光滑表面的行业标准方法,用于计算机辅助设计和制造。近年来,B样条曲线已经在视频游戏制造商中流行起来。在专利号为 No. 5982389 (1999)的专利中,B样条曲线用来在用户控制下生成三维图形的平滑运动。

#### (6) 共轭梯度法

共轭梯度法是一种迭代方法,用于求解线性方程 ( $Ax = b$ ) 或涉及许多变量的能量最小化问题。

在专利号为6106562 (2000)的专利中,共轭梯度法用于计算结构简单的分子电子结构,如玻璃。能量取决于成千上万个变量,每个变量代表一个可能的电子轨道。

#### (7) 复数

复数的数字形式为  $a + bi$ 。在专利号为 No. 4858164 (1989) United Technologies的专利中,快速傅立叶变换等应用需要能够进行复数相加和相乘运算的集成电路。

#### (8) 极小曲面

极小曲面是具有跨越给定边界的面积最小的表面,如肥皂膜。

该项专利提出施瓦茨三重周期极小表面,作为再生人体骨骼和器官组织的支架。

#### (9) 支持向量机 (SVM)

支持向量机是最近(1995年)发现的一种方法,用于将数据分类。

在专利号为 12/694035 (applied 2010) Medtronic, Inc.的专利中,支持向量机用于帕金森氏症患者的移植“脑起搏器”中,以确定病人何时出现抽搐或运动障碍。

#### (10) 四元数

四元数是超复数,主要用于组成空间旋转。

此项专利是一种牙刷,它能够自动跟踪其相对于用户牙齿的位置。四元数用于补偿用户的头部运动。

(刘小平编译自:

<http://www.nap.edu/topics.php?topic=290>。

原文题目: Fueling Innovation and Discovery: The Mathematical Sciences in the 21st Century)

## 2013 地球数学年

2013年3月5日, 地球数学年(MPE2013)的欧洲部分在联合国教科文组织位于巴黎的总部启动, 启动活动由国际数学联盟和联合国教科文组织共同举办。欧洲数学学会副会长Marta Sanz-Solé说: 地球数学年项目的发起会通过展示数学的用处、激发科学研究, 让整个世界了解和接触数学。今后, 数学不再是与人类的重大问题无关的纯粹智力活动。同一天启动的还有以地球数学为主题的开放资源展览。部分展览已于2013年3月5日至8日在联合国教科文组织展出, 日后展览将不断扩大。展览由实物和虚拟模型组成, 其中的虚拟部分主要包括一些视频和在触屏上的互动展示。这部分内容来自在地球数学年组织的竞赛中获奖的模型。这场竞赛在网上提供开放资料, 供世界各地的博物馆和学校使用, 为地球数学展览奠定了基础。地球数学日当天的活动还包含多个非洲元素, 来自博茨瓦纳的Edward Lungu做了题为“利用环境控制HIV病毒/艾滋病”的演讲。另外, 马达加斯加数学学会会长Fanja Rakotondrajao参加了“数学能为地球做什么”的专题讨论, 讨论由科学记者Sophie B écherel主持。3月5日的活动最终在拉普拉斯学院院长、气候学家Herv éLe Treut的公众演讲后结束。

地球数学2013(MPE2013)由超过130个学术团体、大学、研究机构组成, 它们共同致力于将2013年打造成地球数学研究史上不平凡的一年。这项地球数学工程旨在鼓励有关界定和解决地球基本问题的研究, 支持各层次的教育工作者交流关于地球的议题, 并使大众了解在地球所面对的各种挑战中数学所起到的关键作用。

地球是各种动态过程发生的地方, 包括地幔、大陆、海洋里的地球物理过程; 决定着天气和气

候的大气过程; 涉及到生命物种及其互动的生物过程; 以及金融、农业、水利、交通、能源等人类进程。我们的地球和人类所面临的挑战涉及多个学科、多个方面, 而在这众多学科的努力中, 数学在理解和应对这些挑战上起着核心作用。

2013地球数学年的想法来自于国际数学界想要更多地了解地球所面临的挑战及潜在的数学问题, 并希望加强在这些领域的研究。事实上, 近来的趋势让了解地球及其环境越来越紧迫: 不断增长的人口竞争着不变的地球资源, 突发气象灾害的频率和强度越来越高, 有迹象反映一般性的天气变化周期增长。数学家在建模和解决问题上学有所长, 而地球数学年为数学界内部及数学与其他相关学科的长期合作创造了难得的机会。它将会培养出研究气候变化及可持续发展等相关问题的新一代学者。

联合国教科文组织的赞助, 使得这项工程在国际上广受关注。联合国教科文组织总干事Irina Bokova表示联合国教科文组织将大力支持这项难得的合作, 让全世界的数学家推动与地球有关的基本问题的研究; 鼓励加深对全球性问题的理解; 帮助大众熟悉这些问题; 在学校里丰富相关课程, 让学生们了解数学在应对地球面临的挑战中发挥了关键作用。2013地球数学年还得到了国际科学理事会、国际数学联盟、国际工业与应用数学协会的支持。

2013地球数学年由其合作者负责运行, 它们大多是科研机构、学术团体、国际组织和教师联盟, 致力于围绕这一工程的主题组织科学宣传活动。近年来, 各种活动计划已经紧锣密鼓地在全世界范围内有序开展。2013年, 很多研究机构都将举办长期的学术项目、研讨会和暑期学校。学

术团体和教师联盟将在他们的大会中通过全体会议、特别会议、公众演讲等方式引入地球数学的元素。与这一工程的科学组成部分平行，2013地球数学年还将就地球数学的主题开展外展活动，向公众和学生阐明在帮助处理一些亟待解决的世界性难题中数学所发挥的作用。这使得在回答学校里“数学是用来做什么的”这种问题时，人们能够通过给出启发思考的答案来激发孩子们的积极性。

地球数学这一主题可以被尽可能广泛地解读。除了气候变化和可持续发展，它还包括地球物理学、生态学、流行病学、生物多样性，还有人类在地球上建立的全球性组织。不同的论题在地球数学年被分成了四个主题：

——探索地球：海洋；气象与气候；地幔进程、自然资源、太阳系；

——支持生命的星球：生态，生物多样性，进化

——人类组织起来的星球：政治、经济、社会和金融体系；交通和通讯网络；资源管理；能源

——危机四伏的星球：气候变化，可持续发展，流行病；入侵物种，自然灾害

地球数学的研究吸引了广泛领域的专业研究者。他们日益增强的合作以及不断的科研努力必将延续下去：地球数学的研究在2013年后仍会继续。

(译:蔡晓宇)