

## 序 言

当初我的学生们提出要出版一本论文选集时，我曾欣然同意，因为我想这是一个机会，把我们这个集体近 20 年来的工作作一汇总是有意义的。但是当一叠稿件交到我手上，开始翻阅这些已经有些记忆模糊的文字时，我开始懊悔当初不该草率同意作这一件事。原因是，当我重读这些早期文字时，我的脑海里出现的是“肤浅”，“幼稚”，“不深”，“不专”等感想，重印它们还有何意思！再次与学生们交换看法，是他们说服了我。他们说：“科技属具像范畴，就是一步一步发展、改进过来的，总是存在先进与落后。淘汰落后，才能产生先进。”；“科技与表达人类感情的艺术不一样，也与表达人类思想的哲学不一样，感情和思想是永恒的，没有先进和落后之分”；“这些经过评审的论文总有其自身亮点”；“汇编这本选集既是我们这个小小集体的一次集体亮相，也可以反映出计算机图形学在中国发展的一个侧面”。这些话说得多好啊！既有道理，又实事求是。我同意出这本集子了。

编入这一本选集的 66 篇论文是从 1987-2005 年网上查到的 350 篇中选出的。入选的第一原则是体现水平，也就是尽可能选用高级别期刊和会议的论文；第二是体现我们组的主要研究方向；第三是包含尽可能多的学生和合作者；第四注意刊物和会议多样性。在编排上为避免中英文混排，决定按国际期刊论文、国际会议论文和国内一级学报论文顺序编排。为体现时效性，也即重要性，每一部分的论文都按时间由近及远倒排。这样编排的缺点是无法将同方向的论文放在一起，好在每一篇论文在文集目录中都有一编号，便于介绍时引用。下面按主要研究方向顺序作一简要导引：

**计算机图形学硬件**[35,36,62,65] 计算机图形学硬件研究方向是我于 1982-1984 年在美国佛罗里达大学电气系做访问学者时的研究方向。这一方向是我遵循何志均先生的建议作出的选择。我的合作导师是 John Staudhammer 教授，我们俩从此成为终生好友。1985 年他被聘为世界银行专家到浙江大学讲学一个月，给我们带来了 David Rogers 的新著“Procedural Elements for Computer Graphics”，我们组织力量进行翻译。这本由科学出版社 1987 年出版的译著不知帮助过多少年青学子通过自学走上计算机图形学的生涯。1991 年我们实验室第一次组织国际学术会议 CAD/GRAPHICS'1991 时，请他担任大会程序委员会主席。他在那年自费来杭州两次，第一次是审稿，第二次出席大会。他的坚强的支

持，使我们办了一次成功的国际学术会议，我永远铭记 John 对我的支持。论文 [35][36] 是我们在 80 年代中研制 DGS-100, DGS-400, DGS-8000 等型号汉字图形终端（工作站）以及 [65] 图形算法硬化方向的工作。这一阶段的主要合作者是黄剑锋、刘炼材、施服光和胡靖一。他们都因这一方面的专长而定居美国。参加过实际工作的还有史烈、陆洪其等同学。论文 [62] 是 90 年代初的工作，我们独立设计并实现了 X-终端样机，在当时是一项代表性工作，遗憾的是 X-终端的生命周期太短。这项工作的最大收获是培养了几位精通 UNIX 操作系统的人才，如陈文智博士已成为浙大计算机系嵌入式操作系统的带头人之一；周恒和何文骁是当时浙大混合班本科生，现在美国 HP 公司工作。这里我要感谢无锡江南计算技术研究所专家的悉心指导。

计算机辅助设计[20,52,53] 论文 [20] 首先在 1987 年 4 月 IFIP 第一次在北京举办的 IFTP TC5 Seminar “Introducing Computer-Aided Techniques in Manufacturing, Engineering and Management” 上报告。当时我们已错过了截稿时间，何志均先生与会议中方主席孙强南教授联系，争取参加会议，同时组织完成了这篇论文。因此，我们的论文不是刊登在 Computers in Industry 会议专集 Vol.8 No.2-3 期上，而是刊登在 Vol.8 No.4 上。会议的外方主席是 Jose Encarnacao 教授。会议期间我与 Encarnacao 教授建立了联系，他在会后访问了浙江大学。我们也成为终生好友，至今互访不断。他推荐我出任 IFIP TC5 WG5.10 委员和 Computers & Graphics 的国际期刊编委至今。他是对我的学术生涯影响和帮助最大的一个人，在以后的介绍中还会提到他。论文 [52,53] 是我们在注塑模方向上的工作，我要感谢高曙明教授的帮助。

计算机图形学[1,2,3,5,6,7,10,22,23,25,55,66] [66] 是关于分子模型建模和绘制算法的工作，也是我承担的第一项国家自然科学基金面上项目的成果之一。近期工作 [1,5,6,7] 是我的学生在浙大 CAD&CG 国家重点实验室里完成的，[2,3,10] 是我的学生与微软亚洲研究院（MSRA）合作完成的。这两部分工作具有一定代表性。林生佑 [1] 把亮度和色度分开处理的抠图算法，速度比同类算法快一个数量级以上，已获一项国家发明专利。梅春晖 [5] 将预计算的遮挡和反射信息存储在 SRTM，使复杂光照环境中的动态对象的阴影和互反射的实时绘制成为可能。梅春晖 [6] 实现了基于采样方法生成光照相关的高度逼真的纹理。宋滢 [2]、周昆和杜鹏 [3] 以及吴福理 [7] 三篇都是纹理合成方向的代表作。成迟蕙 [10] 提出一种简明的物理模型，实时仿真布料下垂和飘动，效果逼真。这些学生在 MSRA 工作

期间得到了沈向洋院长、郭百宁主任研究员，童欣、王立峰、徐迎庆等研究员的悉心指导，使他们得以快速成长，在此对他们所付出的劳动表示深切的感谢。周永霞[22]提出一种控制烟雾形状的新算法。郁佳荣[23]提出了三层结构的基于骨架的肢体动画新算法。林锐[55]研究 OpenGL 的可复用软构件库技术。崔晨昉 [25]研究 3D 蛋白质分子结构自动检索算法。

**科学计算可视化**[12,16,18,29,33,41,42,47,54] 1991年3-7月我在 Encarnacao 教授的 IGD 作访问研究。期间我在 Martin Göbel 博士领导的可视化研究室，与 Wolfgan Fleger、Peter Astheimer 等博士生一起工作，使我有机会第一次接触科学计算可视化方向，并选定声象一体化仿真作为我的研究课题。回国后我在浙大 CAD&CG 国家重点实验室大力倡导，并组织年青教师和博士生开展可视化方向的研究工作，很快出现了一批较高水平的研究成果，影响并推动了可视化研究方向在国内的普及。这段时间，这一方向的主要合作者有蔡文立博士、董峰博士、林海博士、张爱东博士、杨旭波博士和王晓梅硕士等。主要工作有声像一体化仿真[18]，医学图像三维重建和体数据绘制[16,12,41,42,47]以及交互式和面向应用的可视化系统[29,33,54]。论文[16]是我组第一篇 Eurographics 论文（1995年），而重返 Eurographics 已是十年以后（2004）的事了[5]。

**虚拟现实（VR）** [11,14,26,32,48,49,57] 自 1991 年访问德国 IGD 以后，在 Encarnacao 教授帮助下与德国教育部国际合作局建立了良好的关系，得到了局长 Dr. Koepke 和秘书 Hongsernant 女士的资助，使我在 90 年代得以多次访问德国许多高校和研究所。我亲自感受到了虚拟现实研究热潮正在兴起的场面。我目睹了一个一个 CAVE 系统在 IGD、GMD 以及应用企业建立起来，各种应用演示系统和交互设备不断推出，VR 学术会议和刊物也显得十分热闹。我们实验室在当时 ACM SIGGRAPH 主席 Judy Brown 教授和德国 Martin Göbel 博士帮助下，于 1995 年春在杭州组织了国内第一个“虚拟现实和可视化国际研讨会”，同时并行组织了面向国内年青学者和学生的同名高级进修班，由参加国际研讨会的国内外学者讲课，收到了很好效果，从此推动了国内 VR 与可视化的研究工作。1999 年国内第一个四面 CAVE 系统在浙大 CAD&CG 国家重点实验室建成。在这一方面入选的论文有：[11,14]研究 VR 系统中真实感声音仿真，[26,32,48,57]研究分布式虚拟环境的系统框架、几何信息递进传输和实时预测技术。[49]研究刚体在软体对象环境中的碰撞检测技术。

**数字几何处理**[4,39,45,56,59,60,61] 3D 网格模型在计算机图形学中的应用

越来越广泛，模型的复杂度越来越高。90年代中期开始，以三维网格模型简化、细节层次模型（LOD）为代表的3D网格处理技术逐渐发展成为内容更为丰富的数字几何处理技术。随着网格参数化技术的成熟，3D网格模型的处理技术与传统2D图像处理技术已融为一体。周昆[4]应用球面调和函数分析处理网格参数化的技术，是数字几何处理技术的一个重要进展。论文[39]也是研究三角形网格全局参数化的。涉及三角网格简化工作的还有周昆在本科生时期的工作[59]，以及[60]。涉及多细节层次模型生成的工作有[45,56,61]。由以上论文可以看出，我们组是国内最早在这一方向开展研究工作的单位之一。

**多媒体数据处理与数字水印** [19,51,58] 谈起这一研究方向，我对向辉博士充满了美好的回忆。向辉本科毕业于中国科技大学，考入我校计算机专业攻读硕士，他具有敏锐的感知新动向的能力，及时提出开展多媒体信息隐藏方向的研究工作。我以他的建议成功申请到国家自然科学基金面上项目，使我们组成为国内开展多媒体信息隐藏与数字水印最早的单位之一。向辉论文[58]提出一种压缩域多媒体数据处理技术。尹康康论文[19]是我们在数字水印方向的代表作，在国际上开创了把数字水印成功加载到多分辨率网格模型上的先河。易开祥的论文[51]提出了一种基于混沌序列的图像加密新算法。

**分布并行图形处理技术** [17,21,24,31,37,40,63,64] 我们组这一方向的主要工作是在本世纪开展的，但早在上世纪90年代初潘志庚博士的学位论文就是研究这个方向。潘志庚在南京大学计算机系获硕士学位后，考取浙大何志均教授的博士研究生，何先生把潘志庚放在我们实验室培养，由我协助何先生指导工作。潘志庚得益于他在南京大学受到的系统扎实的基础教育，加上他的勤奋，他很快脱颖而出。论文[17,64]是潘志庚博士学位论文研究的图形分布处理支撑环境DGPSE和一种分布式图形语言DGLa。论文[63]是关于分布式图形处理技术进展的综述。进入本世纪初以后，先后有多名博士生从事这一方向的研究工作，后来又获得国家重点基础研究计划（973计划）资助（编号2002CB312105）。杨建[31]提出一种混合sort-first和sort-last结构的立即模式的分布并行图形处理系统结构。金哲凡[40]研究分布并行图形绘制系统中的几何指令流压缩技术。他还申请到一项有关并行绘制负载平衡的国家发明专利。彭浩宇[37]提出了一种基于保留模式的In-the-core并行图形绘制系统结构。论文[24,21]分别为两个基于OpenGL和基于D3D的分布并行图形绘制系统。

**基于图像建模和绘制**[8,28,34,38,46,50] 1996年我受国家自然科学基金会资

助参加了 SIGGRAPH' 96 大会，看到这一研究方向有三篇论文，并第一次成为一个专场的主题。我在会后给国家自然科学基金委的报告中提请注意这一新方向，并得到了基金委信息学部计算机学科肖连华研究员的支持，她委托我们实验室于 1997 年春节过后组织了在昆明由云南大学协办的“基于图像建模和绘制”学术研讨会。随后于 2000 年基金委批准了由我牵头的同名国家基金重点项目（60033010）。该项目集中了国内优势力量，四位学术带头人是中科院自动化所胡占义研究员、中科院软件所吴恩华研究员、浙江大学彭群生教授和我。项目历时四年（2001-2004），圆满完成。于 2005 年 5 月通过国家自然科学基金委组织的验收并被评为 A 等。毕业于基于图像建模方向的博士有周骥[8]，刘培珺 [38]；毕业于基于图像绘制方向的博士生有王立峰[34]、蒋纯[46]和徐丹[50]。

其它方向与综述论文[13,15,27,30,43,44] 这里“其它方向”是指非图形学方向的研究工作。我总是尊重博士生个人的研究兴趣和选择，同时也会告诉他们，由于他们的研究方向是非图形的，在我们这一图形学研究较强的环境中会遇到更多困难。事实上，这些学生都取得很好的结果，可见尊重个人兴趣是多么的重要。陈文智博士[27]和谢铨博士生[30]从事嵌入式系统软件架构研究，沈晶博士[43]从事通信系统 QOS 研究，宋广华博士[44]从事数据库管理系统研究。还有两篇综述论文[13, 15]入选，它们发表在 ACM Computer Graphics 上，主要目的是向国外同行介绍我国计算机图形学的科研、教学与应用。

由以上简介可以看出，我们这个小小集体近 20 年来的主要研究方向始终围绕计算机图形学展开。在上世纪 80 年代，偏向计算机图形硬件和 CAD 方向。进入 20 世纪 90 年代，开始从事科学计算可视化、虚拟现实、数字几何处理与多媒体信息处理等方向，但重点在前两个方向上。进入本世纪后，主要研究方向转向基于图像的建模和绘制，以及分布并行图形处理与多屏拼接显示。从以上介绍可以看出，我们研究方向的变迁受国际学术交流的影响很大。国际学术交流不仅使我们能瞄准学科的国际前沿开展科研工作，同时也能使国际同行了解我们的工作。我深深感到，每一次出国访问，即使是开一次会，我都会有新的收获。再讲一件事，2001 年我曾被提名为 ACM SIGGRAPH 常委会 Director at Large 两位候选人之一（见 Steve Cunningham “ACM SIGGRAPH2002 Elections Nominating Committee Report”，Computer Graphics, Vol.35, No.4 ,2001, p21）。2002 年 5 月作为对候选人的培训，我应邀列席了一次在 Half-Moon Bay 召开的常委会，会议还组织参观了 Stanford 大学 Pat Hanrahan 教授领导的图形学实验室。当我亲眼看到

他们研制的基于 PC-Cluster 的并行图形绘制系统 WireGL 的多屏拼接显示系统时，感觉到我们应该开展这一方向的研究工作，同时也感到我们有能力研制同类系统。当时的体会与 2001 年阅读 WireGL 论文时完全不一样。现在，在我们实验室领导鲍虎军教授支持下，在林海教授组织领导下，一套基于 PC-Cluster 的并行图形绘制与多屏拼接显示系统已经建成。我的学生李超、殷萍、彭浩宇、熊华、刘真作出了重要贡献。这里也要感谢时任香港科技大学副教授的 Michael Brown 博士给予的具体帮助。

这本论文集的成果，要归功于我的学生们的辛勤和创造性的劳动。由于篇幅限制，一定还有很多工作未能入选，因而这些作者的名字也被忽略了，我向他们表示歉意。作为一名老师，我深深地爱着我的每一位学生，爱他们各自的特长，各自的个性，爱听爱看他们的每一个成就。他们都是我国科技与经济建设事业的有用人才。我的博士生史烈，他从本科毕业设计开始参加中西文图形终端研发，到组织校办科技企业——浙江大学计算机系统工程公司，现在他已是浙大网新科技股份有限公司总裁，浙江浙大网新图灵信息科技有限公司董事长。我的博士生潘志庚和徐丹都已是教授、博导。徐丹还荣获全国三八红旗手光荣称号。她本科毕业于云南大学，90 年代初考入浙大跟我攻读硕士学位后，回到云南大学工作。再考入浙大跟我攻读博士学位，1999 年获得博士学位后到香港中文大学做博士后研究工作。在她的先生张学杰在香港中文大学获得博士学位以后，夫妻双双回到哺育他们成长的云南大地，成为最早在云南省工作的两位计算机博士。我对他们作出的正确选择表示敬佩。我的博士生王立峰、周昆已是微软亚洲研究院的研究员，他们都发表了多篇 SIGGRAPH 论文。特别值得一提的是，周昆研究员在 2005 年一人有 3 篇第一作者 SIGGRAPH 论文，创造了 SIGGRAPH 大会的一个新纪录。我与微软亚洲研究院的合作也十分愉快。2005 年 3-6 月，我应沈向洋院长邀请在微软亚洲研究院做访问研究时曾有一个想法：一批国内高校培养的博士到了微软亚洲研究院很快成长为一流的计算机图形学者，可以每年有 SIGGRAPH 论文发表，证明了我们国内顶级高校培养的博士生的质量是优秀的。那么能否反过来，国内顶级高校把这些校友再聘回去，来带动国内高校的研究水平，同时也可以看看他们换了一个环境后是否还能如此高产！我相信沈向洋院长是会支持这样做的。

这本论文集的工作绝大多数是在浙江大学计算机辅助设计与图形学 (CAD&CG) 国家重点实验室里完成的，这里归功于实验室良好的学术环境和

物质支持。实验室是一个真正意义上的学科交叉研究环境，在这里具有计算机、数学、机械工程不同学科背景的人在同一个环境里做同一个方向——计算机图形学与计算机辅助设计方向的研究工作。学科交叉产生互补效应，有助于人才快速成长。实验室致力于营造开放的、宽松的、活跃的、民主的学术环境，也使我的学生们热爱实验室，喜欢在实验室工作，并给所有在实验室工作过的人留下深刻的印象。最后实验室拥有的国内一流的设备，如国内第一个四面 CAVE 系统、国内第一个自制的基于 PC-Cluster 的并行图形绘制和多屏拼接显示系统，都为学生的研究工作提供了与国外先进实验室相同的硬件条件。我自己也为能成为 CAD&CG 国家重点实验室的一员而高兴，并衷心祝愿实验室有更快更好的发展。

70 年前我出生在宁波镇海鼓楼前，我父亲给我起的乳名是“祖培”，我上小学时父亲给我起的学名是“教英”。我高中毕业时受祖国培养到苏联列宁格勒大学物理系留学。1960 年起先后在西北工业大学、上海科技大学和浙江大学从事教书育人工作至今，教育了一批英才。在改革开放初期我再次受祖国培养到美国进修。真是不可思议，我的一生命运在我出生时就已决定，且是如此完美地吻合。我想这是我们时代造就的巧合！祖国培养使我受到了良好的教育。虽然我一生从事教育工作，对照做一个称职尽责教授的要求仍相距甚远！1992 年在我们实验室的年度报告中有一篇我写的题为“放眼世界，跻身于世界学术之林”的小文章，提出了做基础研究和应用基础研究这一目标。一眨眼 14 年过去了。此刻有一丝遗憾的是，我们只推开了计算机图形学这扇学科大门的一条缝。我想这条缝一定会越推越大，一直到完全跻身于内！

最后，感谢所有策划和参与这本选集工作的所有人，特别是史烈、潘志庚和姜晓红三位博士，没有他们的智慧和劳动就没有这本集子，再次谢谢！

石教英

于浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室

2006.1.8