**项目情况简介（省科技进步奖）**

**1、项目名称**

动态可重构图形处理器体系结构开发与应用

**2、主要完成人**

邓军勇；谢晓燕；刘有耀；焦继业；杨博文；山蕊；朱筠；刘镇弢；吴进

**3、提名单位**

陕西省教育厅

**4、提名意见**

图形处理器技术开发难度大，一直被NVIDIA、Intel、ARM等国外公司垄断。该成果涵盖了算法研究、指令集定义与可重构计算体系结构，形成了具有自主知识产权的可重构计算相关的重构机制、处理元结构、算法并行化映射及图形渲染加速关键技术，取得了如下主要创新点：

（1）提出了层次化重构机制HRM，能够高效灵活的实现单播、多播、广播以及数据反馈；（2）提出了支持可编程与可重构的处理元结构，同时满足控制密集性与计算密集型应用的需要；（3）通过对图形渲染算法的特性化分析建立性能评价模型，指导图形渲染的自适应加速，兼顾了图形处理的高效性与灵活性

主要知识产权包括：授权发明专利12项、软件著作权1项，发表论文SCI/EI检索论文20余篇。

该成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步提名条件。

**5、项目简介**

本成果面向高性能图形处理，采用可重构计算架构解决图形流水线性能瓶颈。当前面向不同应用的图形处理器正朝着高性能、多种API兼容的方向迅速发展，众多效率不一的图形渲染算法使图形处理具有高度灵活性。本成果研究以性能优化为驱动实现图形处理器功能自主重构的新型体系结构，采用轻核同构阵列结构，将效率不一的图形渲染算法并行的映射到阵列处理器上，以指令调用方式灵活分配和重构计算资源，以阵列计算方式高效处理图形绘制任务，包括：1）基于图形渲染算法的特性化分析建立性能评价模型，为图形硬件的实时重构提供依据；2）建立基于H-Tree的重构机制，通过层次化配置网络以调用指令的形式发送重构信息，实现重构过程的高效完成；3）将性能评价模型与重构过程相结合，建立基于轻核处理元邻接互连的图形阵列处理器，采用分布式指令存储与指令邻接寻址方式实现计算资源的可编程与自重构，支持数据粗粒度与操作粗粒度的高效阵列计算。本成果提出的可编程自重构阵列结构，具有GPP的灵活性与ASIC的高效性；层次化重构机制HRM能够高效灵活的实现单播、多播、广播以及数据反馈，丰富了可重构社区技术积累。

**6、客观评价**

本成果研究的可重构图形处理器支持数据粗粒度与操作粗粒度的高效阵列计算，可以实现高性能图形渲染；阵列扩展性强，可支持32、64、128、256、512、1024个PE，采用FPGA芯片XC6VLX550T FF1759-2实现时，单个PE仅占用1242个LUT，工作频率超过150MHz；其中层次化重构机制HRM的工作频率可达530MHz，可以充分发挥可重构阵列结构的优势。本成果获国家发明专利授权12项，实质审查中6项，软件著作权1项。发表学术论文40余篇，其中SCI/EI检索论文20余篇。完成科技成果登记；并于2019年10月，经陕西省科学技术情报研究院对项目创新点进行查新，《科技查新报告》中综合分析了检索到的国内外密切相关文献，并与项目的查新点进行对比分析，认为“在公开发表的中英文文献中，未见与查新点相同的报道”。

**7、应用情况**

本成果所提出的可重构结构兼顾灵活性和高效性等特点，可实现高效的图形渲染与计算任务加速。动态可重构图形渲染技术与阵列结构等成果在西安恩狄集成电路有限公司、重庆兰空无人机技术有限公司、西安深亚电子有限公司、西安芯瞳半导体技术有限公司、上海卓旭电子科技有限公司、西安九捷软件科技有责任公司和陕西沃联智能科技有限公司等得到了实际应用，形成了相应产品，近三年新增销售额约3000万元。

**主要应用单位情况如下表：**

|  |
| --- |
| 主要应用单位情况表 |
| 序号 | 单位名称 | 应用的技术 | 应用对象及规模(MW) | 应用起止时间 | 单位联系人/电话 |
| 1 | 西安恩狄集成电路有限公司 | 实现自然对数和自然指数函数的可重构阵列结构 | 显示控制相关的产品 | 2016年至2018年 | 焦继业13201587918 |
| 2 | 重庆兰空无人机技术有限公司 | 可重构机制与结构 | 无人机控制 | 2017年至2019年 | 董文博15591823368 |
| 3 | 西安深亚电子有限公司 | 动态可重构电路 | 控制芯片 | 2019年至2018年 | 徐东明029-85383418 |
| 4 | 西安芯瞳半导体技术有限公司 | 可重构图形渲染加速 | 图形加速IP | 2018年至2019年 | 武林林18591927787 |
| 5 | 上海卓旭电子科技有限公司 | 三角函数求值器与超越函数求值器等专利 | 车载通信相关的产品 | 2016年至2018年 | 巨学亮021-67106998 |
| 6 | 西安九捷软件科技有限责任公司 | 实现自然对数和自然指数函数的可重构阵列结构 | CIR30系统管理维护平台软件相关产品 | 2016年至2018年 | 谢建斌‭029-89284235‬ |
| 7 | 陕西沃联智能科技有限公司 | 可重构机制与处理元 | 系统控制加速 | 2017年至2019年 | 刘小龙15319728800 |

**8、主要知识产权和标准规范**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 基于查找表采用三次Bezier函数的基本三角函数求值器 | 中国 | ZL201110046743.9 | 2016-06-15 | 2112379 | 西安邮电大学 | 邓军勇，任刚刚，蒋林，韩俊刚，张彦芳 |
| 2 | 发明专利 | 一种用于整数运动估计的参考块像素更新并行实现方法 | 中国 | ZL201610062398.0 | 2019-02-05 | 3247070 | 西安邮电大学 | 邓军勇，崔继兴，谢晓燕，张新，芦守鹏 |
| 3 | 发明专利 | 基于不对称划分模式的高效视频编码加法树并行实现方法 | 中国 | ZL201510991839.0 | 2018-05-25 | 2936817 | 西安邮电大学 | 谢晓燕，崔继兴，蒋林，吴进，芦守鹏 |
| 4 | 发明专利 | 一种大规模并行计算系统互联网络构造方法 | 中国 | ZL201310743767.9 | 2017-05-10 | 2477363 | 西安邮电大学 | 刘有耀，杜慧敏，韩俊刚 |
| 5 | 发明专利 | 一种高效视频编码中判定滤波强弱的可重构阵列结构 | 中国 | ZL201510789121.3 | 2019-03-15 | 3293304 | 西安邮电大学 | 刘有耀，杨倩，吴进，山蕊 |
| 6 | 发明专利 | 一种用于阵列结构的多视点视频编码强滤波实现方法 | 中国 | ZL201510789499.3 | 2018-11-16 | 3151929 | 西安邮电大学 | 石鹏飞，谢晓燕，邓军勇，徐卫芳 |
| 7 | 发明专利 | 一种用于并行结构的多视点视频编码强滤波实现方法 | 中国 | ZL201510731596.7 | 2018-11-16 | 3149915 | 西安邮电大学 | 蒋林，谢晓燕，邓军勇，徐卫芳，石鹏飞 |
| 8 | 发明专利 | 一种实现自然对数和自然指数函数的可重构阵列结构 | 中国 | ZL201510872663.7 | 2018-12-28 | 3195475 | 西安邮电大学 | 山蕊，吕青，邓军勇，张新 |
| 9 | 发明专利 | 一种高效视频编码加法树并行实现方法 | 中国 | ZL201610062397.6 | 2018-08-21 | 3042123 | 西安邮电大学 | 崔继兴，谢晓燕，张阿宁 |
| 10 | 发明专利 | 阵列处理器中簇内存储并行访问局部优先交换电路 | 中国 | ZL201610837727.4 | 2019-03-05 | 3279442 | 西安邮电大学 | 山蕊，蒋林，邓军勇，刘有耀，李雪婷，吴进，杨博文 |
| 11 | 发明专利 | 阵列处理器中簇内存储访问行列两级交换电路 | 中国 | ZL201610866337.X | 2018-08-24 | 3045397 | 西安邮电大学 | 蒋林，郭佳乐，山蕊，朱筠，谢晓燕，刘镇弢，张新 |
| 12 | 发明专利 | 一种用于高效视频编码反变换运算的并行结构构造方法 | 中国 | ZL201510795422.7 | 2018-12-07 | 3174933 | 西安邮电大学 | 刘镇弢，王杏军，蒋林，刘有耀 |
| 13 | 软件著作权 | 面向移动gpu的用户态驱动系统[简称：UMDSFMG]V1.0 | 中国 | 2019SR0161746 | 2018-08-02 |  | 西安邮电大学 | 谢晓燕，邓军勇，郑飞，杨博文，芦守鹏 |
| 14 | 发明专利 | 一种并行的图计算加速器结构 | 中国 | 201910107937.1 |  |  | 西安邮电大学 | 邓军勇，莉兹•K•约翰，宋爽，邬沁哲，杨博文，田璞，赵一迪 |
| 15 | 发明专利 | 一种用于图计算加速的图数据压缩方法及图计算加速器 | 中国 | 201910107925.9 |  |  | 西安邮电大学 | 邓军勇，莉兹•K•约翰，宋爽，邬沁哲，杨博文，田璞，赵一迪 |
| 16 | 发明专利 | 一种基于图计算加速器的稀疏矩阵列向量比较装置 | 中国 | 201910877555.7 |  |  | 西安邮电大学 | 邓军勇，田璞，杨博文，赵一迪 |
| 17 | 发明专利 | 双缓冲数据驱动邻接互连接口电路 | 中国 | 201810093398.6 |  |  | 西安邮电大学 | 山蕊，邓军勇，朱筠，谢晓燕，杨博文 |
| 18 | 发明专利 | 一种基于双发射VLIW 的统一架构渲染着色器 | 中国 | 201810725246.3 |  |  | 西安邮电大学 | 蒋林，刘鹏，山蕊，田汝佳，杨博文，韩梦桥，耿玉荣 |
| 19 | 发明专利 | 一种基于Tile 的三角形多向并行扫描方法及结构 | 中国 | 201910014883.4 |  |  | 西安邮电大学 | 蒋林，樊萌，杨博文 |

**9、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 排序 | 完成人 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目的贡献 |
| 1 | 邓军勇 |  | 副教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 总体负责可重构阵列处理器体系结构的设计与优化，制定了图形渲染性能模型的建立方法，包括渲染算法的特性化分析、性能计数器的定义等；提出了基于H-Tree的层次化重构机制HRM；设计了支持可编程与可重构两种模式的PE 微体系结构。 |
| 2 | 谢晓燕 |  | 教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责图形渲染算法的优化、应用向阵列结构的映射等。 |
| 3 | 刘有耀 | 副院长 | 教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责性能模型的建立与重构机制的优化。 |
| 4 | 焦继业 | 总经理 | 高工 | 西安恩狄集成电路有限公司 | 西安恩狄集成电路有限公司 | 负责可重构结构及图形加速的产业化 |
| 5 | 杨博文 |  | 助工 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责原型系统的搭建与测试。 |
| 6 | 山蕊 |  | 副教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责PE间互连结构与访存模式的设计与优化。 |
| 7 | 朱筠 |  | 讲师 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责图形渲染算法的优化与映射。 |
| 8 | 刘镇弢 |  | 讲师 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责阵列结构的设计与优化。 |
| 9 | 吴进 |  | 教授 | 西安邮电大学 | 西安邮电大学 | 负责存储架构的设计与优化。 |

**10、主要完成单位及创新推广贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排序 | 完成单位 | 对本项目的贡献 |
| 1 | 西安邮电大学 | 负责整个项目的总体设计、实施方案、设计方案与原型开发及测试。 |
| 2 | 西安恩狄集成电路有限公司 | 负责可重构机制、结构及图形加速技术的产业化。 |

**11、完成人合作关系说明**

本成果共九位完成人，均直接参与第一完成人主持的国家自然科学基金项目“性能驱动可编程自重构图形处理器体系结构研究”、陕西省自然科学基金项目“动态可重构图形处理器体系结构与性能优化的关键技术研究”、陕西省国际科技合作项目“高能效可重构嵌入式深度学习加速器体系结构研究”等，由第一完成人总体负责，协同完成可重构图形处理器体系结构的研究与开发。