

医疗保健行业的发展趋势是通过非置入手段来实现早期疾病预测，降低病人开支，这一趋势促使医疗成像设备在该领域扮演了越来越重要的角色。为满足这些行业目标需要的功能，设备开发人员转向采用 Altera FPGA 等可编程逻辑器件。

引言

早期预测和治疗推动了正电子放射断层扫描 (PET)/ 计算机辅助断层扫描 (CT) 和 X 射线 /CT 等诊疗手段的融合。要实现更高的图像分辨率，要求采用精细的几何微阵列探测器，并结合复杂的软件 / 硬件系统，对光电信号进行分析。这些系统必须能够对大量的图像数据进行非常精确和快速的处理 (高达 250 GMACS 和 1 Gbps)。而且，为减小病人开支，必须降低每一种设备的价格，并且要求设备有较长的使用寿命。这就要求系统更加灵活，在设备的生命周期中能够不断进行功能和算法更新。同时，灵活的算法实现以及诊疗手段的融合促进了可编程系统电子元件的应用，例如，高性能 CPU 和 FPGA 等。

在高效开发灵活的医疗成像设备时，需要考虑几个因素：

- 开发图像算法要求使用直观的高级建模工具，以不断改进数字信号处理 (DSP)。
- 实时分析的性能需求要求系统平台能够随软件 (CPU) 和硬件 (可配置逻辑) 而进行调整。这些处理平台必须能够满足各种性能价格要求，支持多种图像诊疗手段的融合。
- 系统规划人员和设计工程师使用最新的工具和知识产权 (IP) 库，在这些平台上迅速对算法进行划分和调试，加速设计实现，提高利润。

考虑到这些因素，Altera 提供了模块化视频和图像处理 (VIP) 包，这是一组关键 IP 构建模块，加速复杂成像算法的开发并在 FPGA 中实现。VIP 套装模块集以及其他的 Altera® 和合作伙伴 IP 模块和参考设计 (包括 IQ 调制解调器、JPEG2000 压缩、快速傅立叶变换 (FFT)/ 快速傅立叶反变换 (IFFT)、边沿探测等)，为设计人员提供了大量的工具来加速大计算量任务的 FPGA 实现。

医疗成像的算法开发

目前医疗开发环境中最重要的设备包括：

- X 射线、磁共振成像 (MRI)、CT 扫描、超声和 3D 成像系统等
- 测量和分析仪表
- 光信号处理和分析
- 外科显微镜
- 远距离医学系统 s

设计人员希望能够快速实现图像解决方案的应用包括：

- 图像分析和模式识别

- 图像增强和重建
- 图像和数据压缩
- 小波变换功能
- 颜色空间转换

下面几节介绍推动可编程逻辑集成到医疗成像设备中的发展趋势和关键开发技术。

图像引导治疗

外科引导手术图像处理使用手术前 (CT 或者 MR) 图像和实时 3D (超声和 X 射线) 图像的图像重合 (相关) 技术, 通过非置入治疗 (超声、MR 介入和 X 射线治疗) 对疾病进行外科手术。开发了各种算法以实现诊疗手段和治疗类型融合的最佳图像重合结果。

分子成像

分子成像是细胞和分子级对生物学过程进行特征描述和测量。其目的是探测、采集并监视导致疾病的异常状态。为加速症状和治疗评估的研究, 在分子成像应用中采用了小动物作实验。结果, 所有的医疗成像功能都可以缩小到微型设备中。

研究领域包括数据采集、图像重建、图像处理和分析等。例如, X 射线、PET 和单光子辐射计算机辅助断层扫描 (SPECT) 技术相结合, 将低分辨率的功能、细胞、分子图像映射到相应的高分辨率解剖图像, 最小 0.5 mm。小型化和算法开发推动了在这些紧凑系统平台上使用 FPGA, 在多核 CPU 基础上进一步提高了性能。

成像算法

一般采用卷积 (线性) 滤波来实现图像增强。高通滤波技术增强了图像细节, 但是也增大了噪声。低通滤波技术抑制了噪声, 但代价是模糊了图像细节。大部分图像的某些区域比较清晰, 而其他区域要模糊一些。线性组合滤波技术同时产生高通和低通滤波图像, 按照模板将其组合, 增强前者的图像细节, 降低后者的噪声。

该技术利用了人眼对图像清晰区域中噪声不敏感的原理。模板是 Sobel 边沿探测滤波器平滑后的输出。它处理清晰区域中接近 1 的数值, 以及模糊区域中接近 0 的数值。高通和低通滤波后的图像经过线性组合, 由模板进行加权, 产生的图像增强了细节, 同时降低了噪声。

视频图像稳定和重合 (VISAR) 是一种实时视频图像稳定算法。开发 VISAR 提高了视频图像的质量, 对视频数据序列进行旋转和缩放处理, 效果要优于仅采用简单的水平和垂直图像重合技术。它消除了平移、放大和旋转的影响, 从而校准了视频图像区。由于 VISAR 支持用户将多个视频图像组合起来, 因此, 帧之间的噪声能够被平均掉。VISAR 还平滑了从视频中提取的静止图像的锯齿边沿。VISAR 能够纠正大约 1/10 像素的图像抖动。

VISAR 算法可以用于:

- 清楚地显示通过显微镜看到的细胞图像
- 在视网膜研究中稳定眼睛图像
- 稳定热红外成像
- 稳定内窥镜手术时摄像和人体移动
- 稳定远距离医学技术所传输的图像
- 查看 MRI 视频时, 增强超声以校正人体移动。

小波变换是一种解析算法，克服了傅立叶分析中的某些限制。傅立叶分析将信号从时域变换到频域，丢失了时间信息。这就是为什么当查看信号的傅立叶变换时，无法知道某一事件何时发生的原因。很多图像信号都含有重要的不稳定或者瞬时特性：漂移、趋势、急剧变化以及事件的开始和结束等。

为能够获取信号中的事件信息，Dennis Gabor (1946) 采用了傅立叶变换来一次分析一小部分信号——该技术称为信号窗口。后来开发了小波分析，它使用大小可变的窗口技术。小波分析对精确的低频信息使用较长的时间间隔，对高频信息使用较短的间隔。小波应用包括探测不连续点以及断点、探测自相似、抑制信号、去除信号噪声、去除图像噪声、压缩图像以及大型矩阵快速乘法运算等。Altera 的 VIP 以及 DSP 库为小波处理提供关键构建模块，包括缩放、平移、高通 / 低通滤波、I/Q 分解和重构等。

分布式矢量处理是一种能够提高计算速度的算法。S 变换 (ST) 结合了 FFT 和小波变换，揭示出了空间和时间的频率变化。其应用包括纹理分析和噪声滤除等。但是，ST 的计算量较大，传统的 CPU 实现速度太慢。矢量和并行计算相结合解决了这一问题，处理时间缩短了 25 倍。使用矢量处理器结合 FPGA 并行计算可以显著加速这类大计算量的算法（请参考[开发工具](#)一节，了解 Altera 产品是怎样加速算法实现的）。

CT 扫描

PET/CT 融合技术是软件图像融合（重合）的一种替代方案，它一般用于大脑功能和解剖图像的分析。对于人体的其他部分，由于病人体位、扫描床的外形以及内脏器官的自然移动等导致很难进行图像重合处理。在 PET/CT 融合技术中，扫描器在一次成像过程中同时获得功能和解剖图像，而不是事后再合成图像。CT 图像为 PET 数据提供必要的无噪声衰减校正因子。

MRI

MRI 重建建立人体的截面图像。需要两个不同的步骤来重构 3D 人体：

1. 从频域数据中，FFT 2D 重构切片产生灰度级矩阵切片。
2. 3D 人体重构通过切片插值使得切片间距接近像素间距，这样，可以从任意 2D 平面来查看图像。

迭代分辨率锐化是基于迭代反向滤波程序的空间清晰技术，在降低噪声的同时对图像重构。这样，大大提高了横截面的视觉诊断分辨率。

超声

使用有损压缩技术可以实现无斑超声成像。各种无关的散射体相互作用产生了超声斑点（和无线领域的多路 RF 反射相似），在出现颗粒乘性噪声时会明显增大。通过对图像进行对数处理，斑点噪声相对于有用信号成为加性噪声，使用 JPEG2000 编码器进行有损小波压缩可以减小斑点噪声。Altera 为 JPEG2000 编码 / 解码提供合作伙伴 IP，以及 VIP 的中值滤波器和参考设计来消除斑点噪声。

心动估算技术是定量分析心脏肌肉弹性和收缩性的重要辅助手段。局部区域出现不正常的跳动说明血流不畅，可能出现心肌萎缩。开发的算法包括使用空时重合技术从一系列超声图像中对弹性进行定量分析，找到相对于参考帧的畸形区域。这里采用的关键视频和图像处理以及 DSP 构建模块功能包括 2D 滤波、去除斑点、相关和平滑等。

视频成像

在血管成像技术中，多年以来的黄金标准一直是血管 X 射线图像抗透射对比造影术，它采用了基于盐化合物的造影剂。今天，CT 血管造影术、飞行时间 / 相位对比 MR 血管造影术和双向 / 血管内超声扫描术得到了广泛应用。这些技术涉及到光声和超声图像的同时采集和重合，对血管和骨骼图像的划分，以及使用相关增强滤波器来减少对肺部疾病的错误诊断等。

利用病人的重新造血能力进行癌症早期诊断时，可以采用 BioScan System™。BioScan 系统基于名为量子阱红外光电探测器 (QWIP) 的传感器，它对温度变化的灵敏度优于 0.027° 华氏温度 (0.015° 摄氏温度)，处理速度达到每秒 200 帧以上。数字传感器探测人体辐射出的红外能量，从而“看到”由于癌症导致血流增加而出现的微小差异。其典型实现基于可编程心缩矩阵，采用了通用工作站以及 FPGA 专用硬件引擎来实现。和目前最好的工作站相比，该引擎将内核算法速度提高了近 1,000 倍。

X 射线成像

Digiray 公司为提高图像清晰度而开发了倒置式 X 射线透射成像 (RGL) 系统。与传统的 x 射线系统不同，RGL 系统将射线图像目标靠近 x 射线源放置。点探测器采集主射线，克服了标准 x 射线系统中存在的次级射线图像劣化问题。通过使用动态范围比胶片高出 10 倍以上的闪耀晶体成像探测器，可以采用多种标准图像处理工具来增强数字图像，例如平均、滤波、图像相减以及边缘探测 / 增强等。清晰的 RGL 为医疗应用提供了 x 射线成像技术，包括胸部肿瘤射线透视、心脏造影、大脑手术和整形外科等。

冠状 x 射线图像移动校正有助于锐化图像结果。例如，为减小成像期间呼吸和心脏跳动的影响 (心跳呼吸周期)，“3D 加时间”冠状模型的移动被投射到 2D 图像上，用于计算纠偏函数 (转换和放大)，对移动进行校正，得到清晰的图像。

关键构建模块功能

这些复杂成像算法的一些关键构建模块功能包括 CT 重建，它需要插值、FFT 和卷积函数。在超声中，重要的处理方法包括颜色流处理、卷积、聚束、混合和弹性估算等。普通成像算法包括颜色空间转换、图形覆盖、2D/ 中值 / 时间滤波、缩放、帧 / 域转换、去隔行和锐化等。

Altera 及其合作伙伴提供的 VIP 套装以及其他 IP 和参考设计，能够将这些算法加速集成到 FPGA 中，包括性能非常高以及引脚布局非常小的那些系统。在阐述 MegaCores® 功能的 VIP 套装之前，首先考虑算法开发方法和相应的工具。

开发工具

成像规划人员使用高级软件工具对各种算法和结果进行建模。交互式数据语言等图像建模工具可以从 RSI、BIR 和高级数字成像研究 (ADIR) 等公司获得。另一发展趋势是在图像重合、划分和图像引导外科中使用开放源代码工具包。这些工具通过软件针对成像应用和算法开发进行了优化，但不适合在 FPGA 中实现。

MATLAB 软件算法开发和 Simulink 软件系统级设计是常用的 DSP 设计方法。例如，ADIR 是数字成像软件和算法开发的专业研究和开发组织，它需要灵活的工具来建立快速而且精确的图像处理算法。这些算法定义并实现了各种方法，处理 3D 图像和统计数据，解方程组，显示 / 记录算法。ADIR 在其各种专业领域中，15 年以来一直采用 MATLAB 作为开发工具，包括数字图像处理、图像定量分析、模式识别、数字图像编码和压缩、自动显微成像、法医图像处理以及 2D 小波变换等。除了算法开发外，MATLAB 还可以仿真 FPGA 中常用的定点算法。

结合使用 MATLAB 以及 Altera 的工具——DSP Builder、SOPC Builder、Nios® II CPU 开发套件、Nios II C 语言至硬件 (C2H) 加速编译器和 Quartus® 开发包，设计人员可以加速其设计在 FPGA 中的实现。对于 ADIR 等公司，当 CPU 不够用时，这些工具包可以帮助他们加速算法在 FPGA 中的实现。

DSP Builder 高级模块集支持 MATLAB/Simulink 设计的高级 Simulink 综合以及时序驱动优化功能。采用 Simulink 等高级工具，满足用户设定的 f_{MAX} 或者延时来进行设计优化，这一功能在 Altera 和一些供应商工具中是独一无二的。基本上，这表明您可以设定一个“表盘”，为您的系统选择合适的 f_{MAX} 和延时，DSP Builder 工具会完成剩余的工作。它还会加入寄存器，提高 f_{MAX} ，或者对某些关键通路进行并行处理，以满足延时约束要求。这能节省您数星期手动编写 HDL 代码的时间，只要按下按钮，就可以为您进行调整。

请按照以下步骤使用自动设计流程（如图 1 所示）：

1. 使用 DSP Builder 高级模块集库中的构建模块在 Simulink 中开发设计。
2. 对设计进行仿真，以确定它符合算法要求。DSP Builder 模块是行为级的，支持快速仿真。这也可以和传统 Simulink 模块一起使用，开发完整的设计。
3. 在高 Simulink 设计描述中设置总系统 f_{MAX} 以及延时。DSP Builder 分析 Simulink 设计描述，为目标 FPGA 器件生成 HDL 代码和可选比特流。它采用时序约束—— f_{MAX} 以及延时，自动加入到流水线寄存器中，还采用所需的时分复用量，以满足设计规范。

图 1. DSP Builder 高级模块集



Altera 的视频设计工作台

视频处理向 1080p HD 分辨率发展，非常适合采用 FPGA 实现功能。Altera 在 4 年前便认识到这一发展趋势，投入开发了视频设计工作台，以帮助用户更迅速的完成设计。这一工程投入的结果是 1080p 视频设计工作台，它赢得了著名的 2010 年度 EDN 创新奖。

虽然其他 FPGA 供应商提供一些单独的视频功能，而 Altera 是唯一提供包括 18 个视频功能设计工作台的供应商（图 2），支持流视频接口标准，提供 6 个经过硬件验证的参考设计，以及多种视频开发套件。

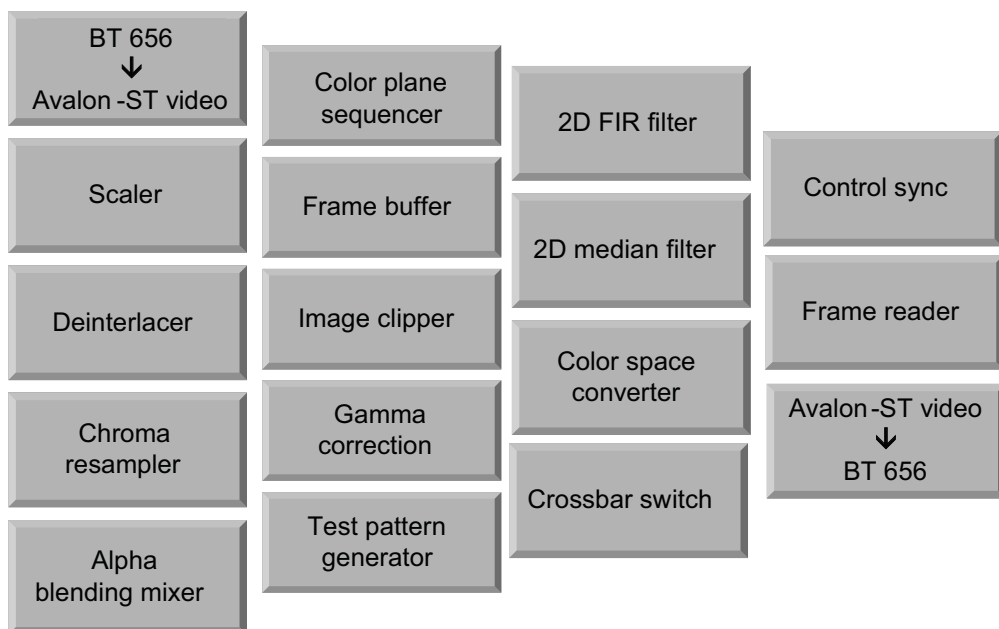
图 2. Altera 的视频设计工作台



采用 Altera 的视频设计工作台，设计人员开始已有的工作设计，在常见功能上重新使用经过预验证的 IP，例如，缩放、去隔行和合成，加入到定制功能中，与从头开发新设计相比，在更短的时间内完成设计。

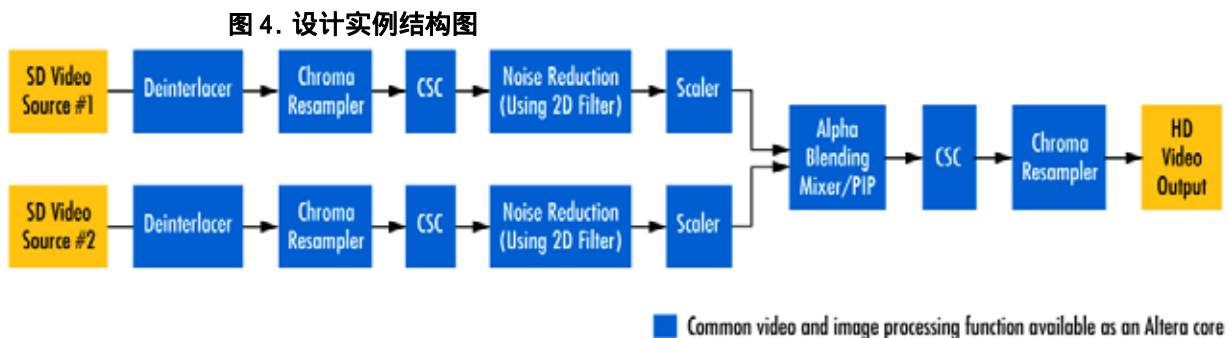
视频工作台的关键组成是 18 个常用的构建模块功能 VIP 套装，如图 3 所示，用在各种不同的图像数据通路上。VIP 套装包括从简单的颜色空间转换器到多相缩放和运动自适应去隔行等非常复杂的功能。

图 3. Altera 的 VIP 套装



视频设计实例

使用 VIP 套装的典型视频系统如图 4 所示。



在医疗成像应用中使用 FPGA

OEM 采用 Altera 器件和工具包的实例突出说明了在当今的算法和系统使用 FPGA 和图像 IP 的优势。

3D 计算公司开发了一种基于 Altera FPGA 的突破性的医疗技术，名为 3D 全身筛检 (3D-CBS)。3D-CBS 有可能带来 PET 技术应用革命，它提高了该技术的安全性，使其足以用于病人的日常预防性检查。3D 计算公司使用 Altera 器件来加速算法处理，需要的辐射剂量只有传统 PET 扫描的四分之一，使这一新技术能够更准确地检查病人的身体。

使用目前的 PET 技术对健康人进行预防性全身筛检还不可行，因为存在着过辐射的危险。目前的 PET 技术速度慢而且成本高，在医疗成本越来越高的时代，它还无法用于日常应用。Altera FPGA 以各种方式应用于 3D-CBS 系统中，最重要的应用是采用 FPGA 矩阵来完成高速处理，更精确有效地采集检查期间病人身体辐射出的大部分光子。结果，降低了对病人的辐射剂量，提高了图像质量。

关键第三方视频和图像合作伙伴

除了 VIP 套装以及 DSP 库之外，Altera 还与多家视频和图像 IP 供应商以及其他系统供应商合作，提供设计方案以满足医疗成像设备开发人员的需求。

- ATEME 提供 H.264 (MPEG-4 AVC) 主类 SD/HD 编码。
- Barco 提供 JPEG/JPEG2000 编码器 / 解码器和 MPEG-4 高级简单类 SD 编码。
- BroadMotion 提供高效的 JPEG2000 编码器 / 解码器。
- CAST 提供 JPEG/JPEG2000 编码器 / 解码器、MPEG-4 高级简单类以及 H.264 基本类 (SD/HD 编码)。
- Samplify 系统有限公司提供 32 通道小外形封装超声模拟前端接收器模块，在手持式和高性能超声系统中发挥其医疗参考设计的性能和低功耗优势，以加速产品及时面市。

结论

婴儿潮时期出生的人们寻求更可行的新治疗手段来治疗常见疾病（特别是与心脏相关的疾病和癌症），包括早期探测和非置入手术治疗等。诊断成像手段融合及其相关算法开发上的进步大大推动了新设备的发展，满足了病人的需求。高级算法需要可更新的系统平台，该平台大大提高了图像处理性能，而且体积更小，更容易携带。

集成到多核 CPU 平台中，Altera FPGA 为最灵活的高性能系统提供了 DSP 功能。为帮助在这些平台上加速实现复杂成像算法，需要采用高级开发工具和 IP 实现库。Altera 考虑到这些需求而开发了视频和图像处理包，它包括成像所需的关键构建模块功能，并集成到 Altera 完整的工具包中，以便进行快速开发。

致谢

- 1080p 视频设计工作台：
www.altera.com/video_imaging
- 视频和图像处理 (VIP) 套装 MegaCore 功能：
www.altera.com/products/ip/dsp/image_video_processing/m-alt-vipsuite.html
- 视频处理参考设计：
www.altera.com/end-markets/refdesigns/sys-sol/broadcast/ref-post-processing.html

文档修订历史

表 1 列出了文档修订历史。

表 1. 文档修订历史

日期	版本	进行的修改
2010 年 7 月	2.0	<ul style="list-style-type: none"> ■ 更新了关键构建模块功能，开发工具。 ■ 增加了图 1、图 2、图 3。 ■ 去掉了视频和图像处理套装。 ■ 对文本进行了一些编辑。
2006 年 4 月	1.0	初次发布。