

# 低成本实现软件定义无线电和认知无线电的自适应特性

FPGA 设计：从灵活性到自适应性

作者：Manuel Uhm  
DSP部高级市场经理  
Xilinx公司  
manuel.uhm@xilinx.com

软件定义无线电（SDR）和认知无线电（CR）的灵活性，为实现互操作、可升级性和未来适宜性带来了很大的价值。这种灵活性同时也为实现 SDR 和 CR 的自适应性（一种呼声很高的属性）创造了条件。这种自适应性既包括认知无线电对频谱环境的适应能力，也包括软件定义无线电改变波形以补偿信道衰落的能力。像灵活性一样，自适应性也是通过可编程和配置的处理器的实现的，这些处理器用在 SDR、CR、FPGA、DSP 和通用处理器（GPP）中。

然而，这种自适应是有代价的，这体现在功耗和系统成本上。但是，目前的技术进步，使这种自适应性的实现更加经济。例如，在平台上嵌入通用处理器和数字信号处理器（DSP）的部分可配置 FPGA，能够提供针对各类 SDR 和 CR 应用的自适应能力，同时降低功耗和成本。

## SDR 和 CR 的自适应

作为 SDR 和 CR 的一个关键能力（尤其是用于军事或者国土安全目的），自适应在具体应用中表现为多种形式，具备这种能力，可以做到：

- 改变波形从而和其他兼容通信设备进行互通
- 为传输选择最适合的通信信道或者网络
- 利用对等组网技术建立网状网
- 通过使用频谱识别来适应射频环境从而在频谱的开放区域进行传输
- 改变波形以补偿信道衰落
- 通过和多种无线电装置进行协作来接收无法被单个无线电装置探测到的微弱信号
- 阻塞干扰信号或者使其无效
- 重新配置剩余资源，补偿无线电装置中一些处理资源受到的损害，以支持最关键的业务

就 SDR 和 CR 的用途而言，自适应性被分为四个大类，正如图 1 所示。最低的功能级别包括滤波器和变换器，比如 Kahlman 滤波器，有限冲击响应（FIR）和快速傅立叶变换（FFT）等。这些低级别的功能单元是大多数 SDR 和 CR 基本构件。因此，设计人员可能需要改变一个功能单元（比如 FIR）的参数，从而支持可变数据速率信道。

组件级的适应性主要用在数字下变频转换器（DDC）和数字上变频转换器（DUC）上。这些组件必须经常调整以适应支持不同数据速率和采样速率的波形。

在 SDR 和 CR 中，功能级或者组件级的自适应性，只要对终端用户是透明的，就是在“底层实现的”。在这些层级上，为支持所需服务进行哪些必要的调整这一点并不重要。另一方面，在接下来的两个层级—应用和服务级—这种自适应性是可见的，并且正因为可见，人们期望对这种自适应性进行某种形式的控制。

在应用层级上的自适应性，支持针对特

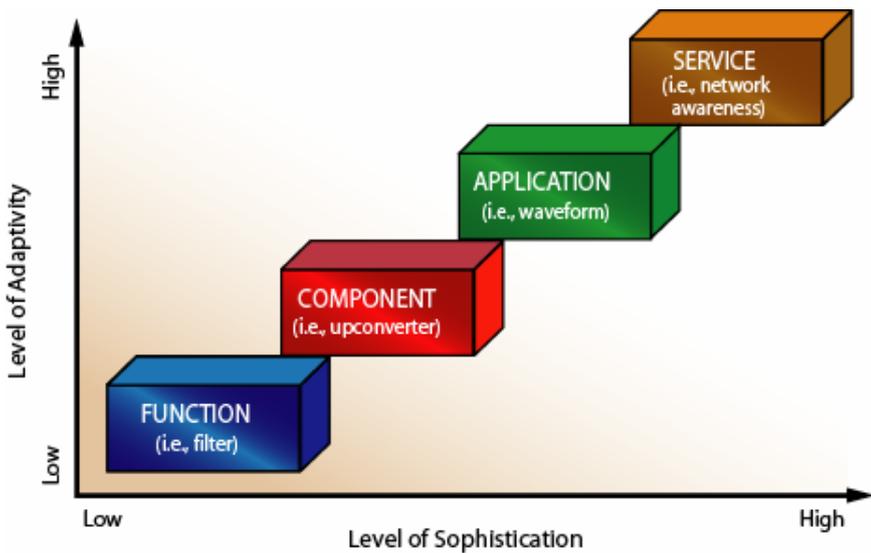


图1 SDR和CR中自适应性的层级

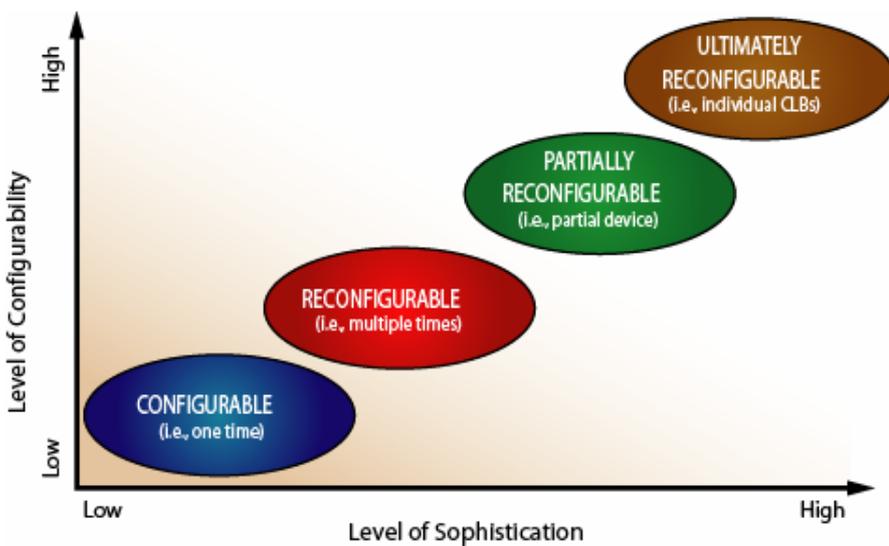


图2 FPGA中可配置性的层级

定应用进行的修改。SDR和CR最常见的应用就是波形，比如宽带网络波形（WNW）。这些波形由各种波形成分构成，并且根据任务特征，设计人员需要根据需要接入不同的波形。

自适应性最高的功能级是服务层。像无线服务、网络识别服务、对等组网甚至抗阻塞服务这些类型的服务，都必须能够根据需要调用可用的应用，从而适应不断变化的条件。

这些自适应性级别在很多时候是互相依赖的，因为每一层级的自适应性的实现，都依赖于较低层级。

举例来说，你可能需要调用无线服务来传输数据。这个服务包括通过扫描射频来适应可以利用的频谱，然后选择发送数据的最佳信道。如果这个波形是自适应的，对于特定信道特征（例如信道衰落）来说，就需要对波形成分和函数进行改动，从而达到补偿目的。

### FPGA 对自适应性的支持

得益于 FPGA 的处理能力，作为今天 SDR 和 CR 的处理平台，FPGA 具备很大的价值。它们为该应用环境提供了多个自适应层级，如图 2 所示。

在最低层级，FPGA 可以被一次性配置（因此不能够被重新配置）。很明显，这种器件不适合 SDR 和 CR 应用，因为它们第一次被编程以后，不能够被改变从而支持新的功能。

FPGA固有的可重复配置性，更确切的说，在工作中可以被不断地重复配置的能力，使它们成为SDR和CR的理想选择。但是在很多情况下，FPGA需要被完全重新配置，这限制了它们支持组件或者功能级自适应性的能力。这是因为这些层级涉及更细的粒度。因此，对自适应的支持被限制在应用层。今天大多数可重复配置的FPGA，包括Xilinx® Spartan™系列，都属于此类。

PR FPGA支持下一层次的适应性。类似于可重复配置的FPGA，PR FPGA可以被重复配置很多次。但是，该器件仅有一部分是在任何时候被配置的。这提供了适合于组件级甚至是功能级自适应的精细度。Xilinx Virtex™-II和Virtex-4系列，就是PR FPGA的例子。

最后，可重复配置的“终极”层次，是基于单个应用来配置FPGA最小的原子级别的可编程单元—可配置逻辑块（CLB）。这为功能级自适应性提供了更精细的粒度。然而，这种更精细的方法带来的好处，是否可以在价值上抵消和高复杂度相关联的实现成本，至今还不是很清楚。

### 应用实例

PR FPGA 的自适应性，为 SDR 和 CR 带来很多好处，涵盖范围从功能级到服务级。这里提供了两个例子。第一个是 SDR 支持自适应波形，证明了 PR FPGA 的应用级自适应性。第二个是提供多重情报相关应用的多源情报平台，证明了 PR FPGA 的服务级自适应性。

在第一个应用实例中，需要通过自适应信道，将数据或语音业务从 SDR 传送到

另一个无线电装置。某些情况下，可能由于环境条件的原因，信道开始衰落。对SDR来说，这种衰落表现为超过一定阈值的误码率。为了保持信道，无线电装置决定改变波形以适应新的环境条件。

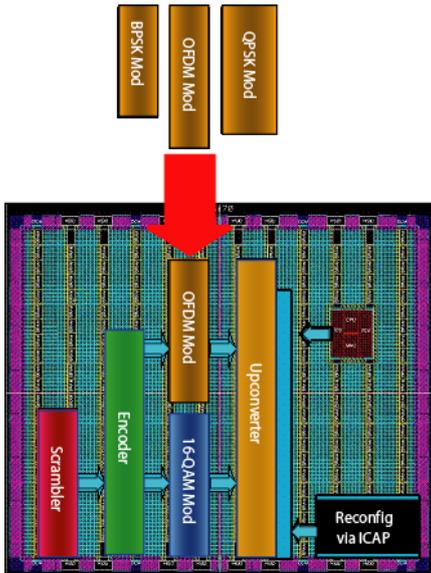


图3 PR FPGA 中的应用级自适应性

这个例子中的自适应可以采取多种形式，包括改变调制技术，前向纠错，或者改变数据率。对图3所示的例子来说，首先假定无线电装置判决出最优的方案是改变调制技术。图3表示的调制组件是16-QAM 调制器。因此，它需要转换至另一个可以使用的调制组件（该例子中使用的是BPSK、QPSK或者OFDM调制器）。由于OFDM调制器可抗受多路径串扰，所以在这里选用OFDM调制器。

为了支持该种类型的组件级自适应，正常可重复配置的 FPGA 应该足够大，以便能够加载所有可能的组件，即使它们中的很多在任何单独的时间点都不会被使用。而且，重新配置整个器件可能导致丢失通信信道，这是一个无法接受的结果。

相比之下，PR FPGA仅仅需要在器件的可用部分加载OFDM调制器组件，然后在16-QAM 调制器和OFDM调制器之间进行转换。因此可以卸载16-QAM 调制器，以便为下一个应用或者组件释放更多的资源。虽然结果和上面的例子一样，但是PR FPGA可以面积很小—从而显著降低系统功耗和成本。

图4所示的第二个应用实例，涉及到多源情报平台，它可以使用平台服务功能激活很多可能的应用，包括无线传输、频谱分析、监视，阻塞和抗阻塞等。尽管多源情报平台目前还没有被广泛应用，但是CR的出现势必带来了通信技术的下一次革命。

在本应用实例中，你可能正在接收数据。你使用无线电服务来启动两个应用——一个是频谱分析应用，用来整定频谱，识别潜在威胁或者感兴趣的信号；另一个是无线应用，用来接收数据。某种情况下，干扰信号试图阻塞接收器，从而严重损害接收关键情报的能力。

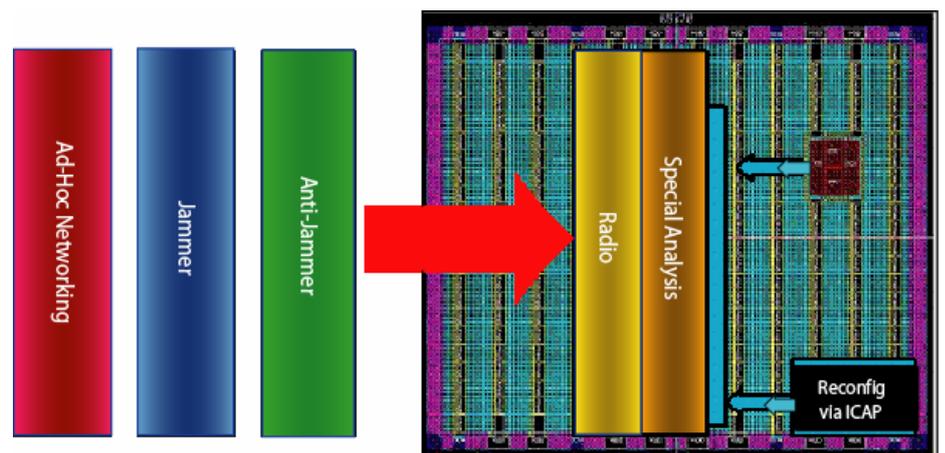


图4 多源情报平台上的服务级自适应性

在这种情况下，可以启用抗阻塞服务使干扰信号变得无效。该服务首先使用频谱分析来判定干扰信号的特征，然后下载抗阻塞应用使干扰变得无效。一旦阻塞信号消失，抗阻塞应用就被抗阻塞服务卸载。其它服务就可以根据需要加载相关的应用，比如加载对等组网应用以组建网状网。

### 结论

显然，从功能级到服务级的所有层级上的自适应性，是SDR/CR极富吸引力的特性之一。尽管人们接触的主要是服务级和应用级自适应，但是对应用实现而言，组件级和功能级自适应是必需的。

随着 CR 和多源情报平台的普及，人们对动态适应不断变化的环境的能力提出了更多的需求，这种需求最终可能演变成某些厂商的竞争优势，因为这些厂商能够在不同层级上实现自适应性。PR FPGA 是驱动各级自适应性的最佳选择。它有足够的精细度，允许设计人员对 SDR/CR 中小到典型功能组件的器件元素进行重新配置。它们还可以支持整个应用。