

WDM 光网络模拟软件中复用器/解复用器的研究与实现

北京锦坤科技有限公司 www.jonkon.com.cn

北京邮电大学光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京(100876)李俊儒, 王远鸿

摘要: 本文在 WDM 光网络原子功能模型的基础上, 提出了一种光网络模拟软件中复用器/解复用器的实现方法, 并通过软件仿真对其性能进行了分析。仿真结果表明, 该方法能够充分模拟实际的物理设备, 各项指标均能够达到性能要求, 为 WDM 光网络仿真提供了必要条件。

关键词: WDM 光网络, 原子功能模型, 复用器/解复用器

中图分类号: TN929.18

1. 引言

90 年代中期以来, 光通信领域获得了长足的发展, 各种新兴技术、新型器件、新式系统不断涌现出来。随着数据业务的爆炸式增长, 对网络传输容量的需求也不断增大, WDM 光传送网络以其大容量、高速率日益成为人们关注的焦点。在研究过程中, 由于硬件网络试验平台存在着网络成本高、灵活性差、效率低、很难支持光信号的在线监测等问题, 从而使软件仿真平台日益成为光通信系统和光网络设计、规划的重要工具。另一方面, 由于目前的 WDM 光网络是架构在全光器件的基础上, 干线上信号的交换和分叉复用都是在光域内完成, 而光分叉复用与交叉连接设备都离不开对单波长的操作, 因此复用器/解复用器便成了这些设备中必不可少的关键器件。本文在文献[1]中提出的光网络原子功能模型的基础上, 详细研究了复用器/解复用器的设计原理, 在我们开发的模拟软件中提出了一种具体的实现方法, 并将仿真结果与实际的物理设备参数进行了分析比较。

2. 复用器/解复用器原子功能模型的建立

为了简化设计, 便于扩展, 我们在软件开发中采用了原子功能模型的建模方法。所谓的原子功能模型是指 WDM 光网元设备对光信号的响应模型。这种在功能上将光网络中各种复杂的网元设备进行细化和抽样得到的设备最小功能单位就称为原子功能。这样, 光网络中任何复杂的网元设备在功能上都可以看成原子功能的组合。基本的原子功能包括: 适配功能、连接功能和终端功能。在光网络中, 与之对应的原子器件分别是理想衰减器、光滤波器、信号复制器、理想合路器和理想光开关[2]。这样, 复用器的原子功能模型便可以表示为:

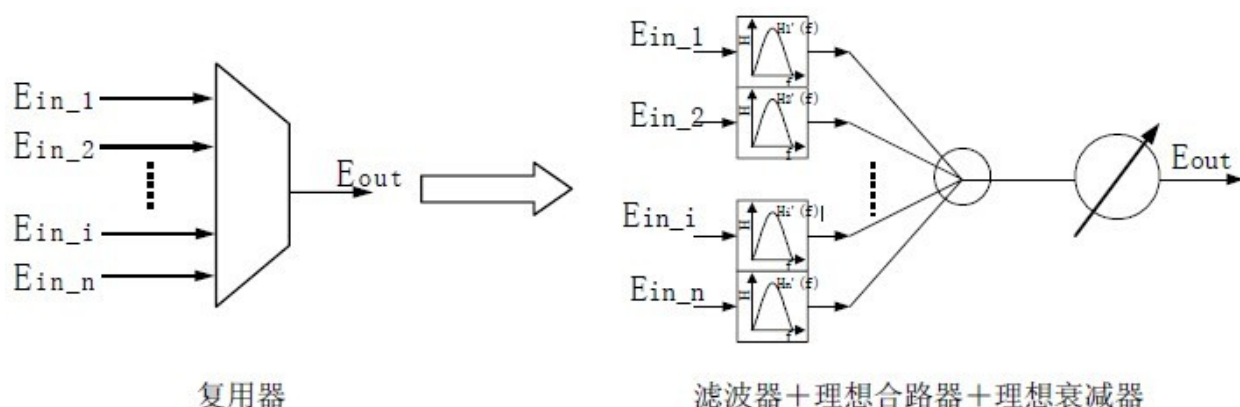


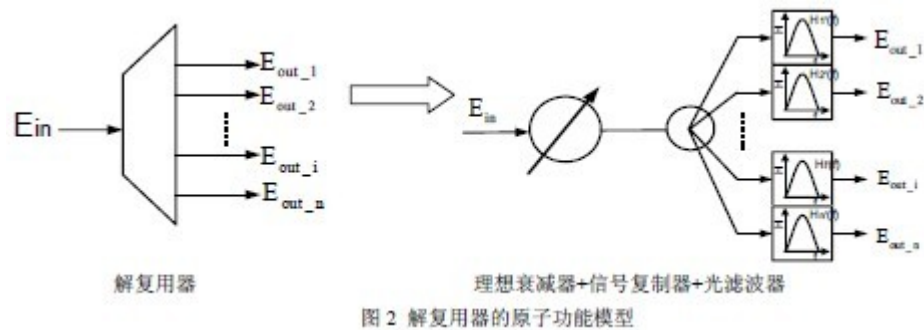
图 1 复用器的原子功能模型

图中, E_{in_i} ($i = 1, 2, \dots, n$) 表示输入的第 i 路复用信号复振幅, E_{out} 表示输出信号的复振幅。我们可以很容易地得到输出信号 E_{out} 为:

$$E_{out} = [E_{in_1} \otimes h_1' + E_{in_2} \otimes h_2' + \dots + E_{in_n} \otimes h_n'] \cdot 10^{-\frac{\beta}{20}} \quad (\text{式 2.1})$$

式中 h_i' 为复用器中滤波器的传递函数, β 为理想衰减器的衰减系数(单位 dB)。由此可以看出, 当输入信号 E_{in_i} 包含同、异频串扰时, 复用器通过滤波器后, 输入信号的异频串扰分量被大大削减, 但同频串扰量却无法去除, 因此在其后又增加了理想合路器和理想衰减器来抑制同频串扰的影响。

解复用器可以看作是复用器的逆过程, 因此其原子功能模型可以这样表示:



同样可以得到第 i 路信号输出为:

$$E_{out_i} = [E_{in} \otimes h_i'] \cdot 10^{-\frac{\beta}{20}} = [(E_{in_1} + E_{in_2} + \dots + E_{in_n}) \otimes h_i'] \cdot 10^{-\frac{\beta}{20}} \quad (\text{式 2.2})$$

其中产生的串扰为:

$$E'_{out_i} = [(\sum_{k=1, k \neq i}^n E_{in_k}) \otimes h_i'] \cdot 10^{-\frac{\beta}{20}} \quad (\text{式 2.3})$$

3. 复用器/解复用器在软件中的实现

3.1 复用器/解复用器的设计流程

根据复用器/解复用器的原子功能模型, 在软件设计中我们就可以把它考虑成一个宏器件, 其内部由各种基本的原子器件搭成[3][4]。例如 n 路复用器可以看作是由 n 个滤波器、一个理想合路器和一个理想衰减器搭成。考虑到大型 OADM, OXC 是由多个复用器/解复用器组成, 如果完全从基本的原子器件来搭, 则可能过于繁复。因此, 在软件中我们便把复用器/解复用器也做成了一个原子器件。由于解复用器可以看成是复用器的反向工作, 因此, 在下面的讨论中, 我们以复用器为例予以详细说明。根据上述的原子功能模型, 我们把复用器的仿真流程设计如下:



图3 复用器的设计流程

其中，理想合路器和理想衰减器可以分别用一个加法器和乘法器实现，下面我们重点讨论滤波器的实现过程。

3.2 滤波器的实现过程

滤波器是[复用器/解复用器](#)中的核心器件，它的设计好坏直接影响着复用器/解复用器的最终性能。[复用器/解复用器](#)中的滤波器要求输入信号波长必须精确地与 ITU-T 标准频率匹配，并且具有低损耗、低串扰和宽通带。实际使用的滤波器有多种，根据其传递函数的不同可分为高斯滤波器，贝塞尔滤波器，矩形滤波器等等。在软件中，我们采用了贝塞尔型滤波器，它的传递函数可表示为：

$$H(p) = \frac{1}{N_n \left(p - \frac{j2f_c}{\Delta f_{3dB}} \right)} \cdot \exp(j2\pi f_c t) \quad (\text{式 3.1})$$

其中，

$$N_n(p) = \frac{B_n(p)}{B_n(0)} \quad (\text{式 3.2})$$

$$B_n(p) = (2n-1)B_{n-1}(p) + p^2 B_{n-2}(p) \quad (\text{式 3.3})$$

$$p = \frac{j2f}{\Delta f_{3dB}} \quad (\text{式 3.4})$$

式中 f_c 是滤波器的中心波长， Δf_{3dB} 是 3dB 带宽， $N_n(p)$ 是分母多项式， $B_n(p)$ 是贝塞尔多项式。贝塞尔滤波器的频谱特性如下：

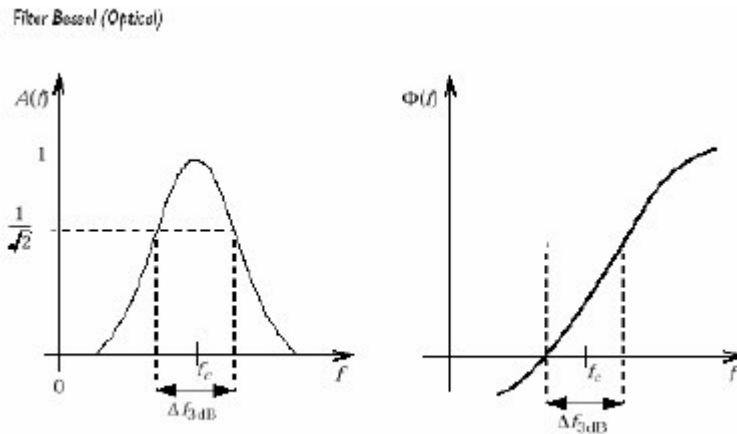


图4 Bessel 滤波器的频率特性

这样我们就可以根据滤波器的原子功能模型得出输出信号 E_{out}

表 1 复用器的仿真参数

参数名	描述	符号	单位	取值范围	默认值
带宽	滤波器的 3dB 带宽	Δf_{3dB}	Hz	$[0, +\infty)$	2.0×10^{10}
有效带宽	在这个带宽外用一个衰减代替	Δf_{act}	Hz	$[0, +\infty)$	6.0×10^{11}
滤波器阶数	贝塞尔滤波器的阶数	n	—	[1, 100]	3
串扰信道数	滤波器中的异频串扰的信道数	M	—	[0, 100]	0
插损	复用/解复用器的插入衰减	α	dB	$[0, +\infty)$	0
中心频率 i	第 i 路滤波器的中心频率	f_{ci}	Hz	$[0, +\infty)$	

4. [复用器/解复用器](#) 的模拟仿真

我们配置的仿真测试系统如图 6 所示，四个单信道光发射机的中心频率分别为 193 THz，193.1 THz，193.2 THz 和 193.3 THz，信号线宽为 50MHz，复用器的四个滤波器的中心频率分别与该路输入信号的中心频率相同，每路滤波器的 3dB 带宽为 20GHz，有效带宽为 500GHz，串扰信道数为 0。由光谱仪的观测结果如图 7 所示。

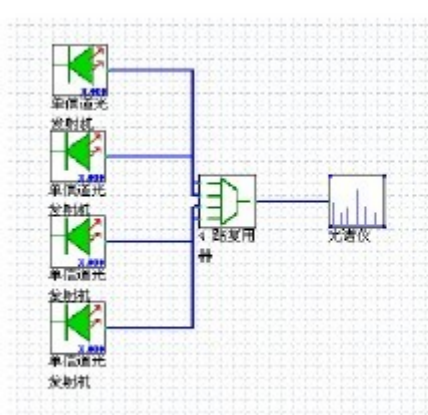


图 6 复用器测试系统

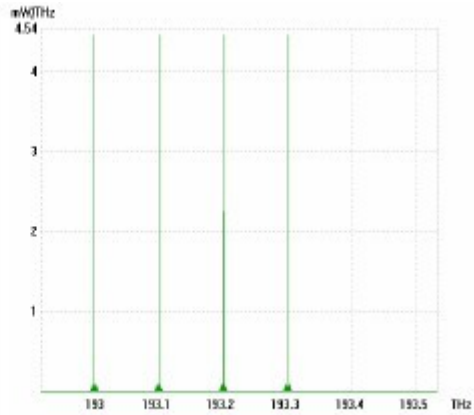


图 7 光谱仪观测结果

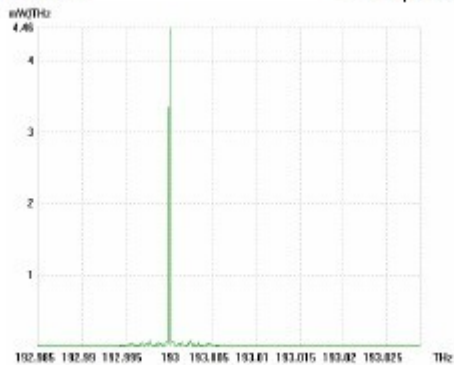


图 8 上图的局部放大

由于各路入射信号均在该路滤波器的通带范围内，从图中可以看到通过四路复用器后信号被全部复用在了一起。由图 8 可见，复用后的信号频谱特性较好，复用器的滤波性能也基本合乎要求。

5. 结论

本文在 WDM 光网络原子功能模型的基础上, 研究并提出了一种[复用器/解复用器](#)在模拟软件中的实现方法, 并给出了仿真结果, 为进一步进行 WDM 光网络仿真提供了必要条件。利用原子功能模型进行 WDM 模拟软件的设计, 实现简单, 便于扩展, 用户使用上也很方便、灵活, 因此具有重要的研究意义。

参考文献

- [1] 程晓飞, 林绵峰, 张杰, 顾旼仪. 波分复用光网络模拟软件中的原子器件[J]. 电子学报, 2001 年, 第 11 期: 1-3.
- [2] 顾旼仪, 张杰. 《全光通信网》[M] 北京: 北京邮电大学出版社, 1999 年.
- [3] 程晓飞, 许涛, 罗来荣, 顾旼仪. WDM 光传送网计算机辅助设计软件开发[J]. 光通信研究, 2001 年: 36-39.
- [4] Marco Tacca, Isabella Cerutti, Luca Valcarengi CAD tools in optical network design [J]. Optical NetworksMagazing, 2000, 1(2): 59-73.
- [5] 程佩清. 《数字信号处理教程》[M] 第二版北京: 清华大学出版社, 2001 年

The Study and Implementation of the Multiplexer/
Demultiplexer in the WDM Simulation Software

Li Junru, Wang Yuanhong

Advanced Optical Network Lab of Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing, China (100876) Abstract

In this paper, a method for the implementation of the multiplexer/demultiplexer in the WDM simulation software is presented, based on the atomic functional models of the optical network. It is analysed throuth a simulator and the result shows that it could fully simulate the real equipment and all the performance parameters are eligible. It provides a necessary qualification for the further simulation of the WDM network.

Keywords: WDM network, atomic functional model, [multiplexer/demultiplexer](#)

[北京锦坤科技有限公司](#) www.jonkon.com.cn