

• 学术论文与技术报告 •

波分复用/光码分多址网络性能研究

张崇富¹, 邱 昆¹, 陈华容²

(1. 电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054; 2. 西南科技大学计算机学院 四川 绵阳 621000)

【摘要】基于波分复用/光码分复用混合网络模型,研究了光码分多址和波分复用/光码分复用网络性能,导出网络误码率公式;针对加性白色高斯噪声信道模型,将信息论应用到网络系统性能的分析上,得到网络的吞吐量公式。仿真结果表明:波分复用/光码分复用混合网络较单纯光码分多址网络具有容量大,网络扩展容易、方便等优点。

关键词 波分复用/光码分复用; 信息量; 误码率; 吞吐量

中图分类号 TN929.11 文献标识码 A

Study on Performance of WDM/OCDMA Networks

ZHANG Chong-fu¹, QIU Kun¹, CHEN Hua-rong²

(1. School of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054;

2. College of Computer Science and Engineering, SWUST Sichuan Mianyang 621000)

Abstract Wavelength division multiplexing/Optical code division multiplexing access (WDM/OCDMA) networks scheme has been achieved in the paper. The performance of OCDMA and WDM/OCDMA networks are investigated in detail, the formulation of bit error rate (BER) and throughput of the networks has been deduced taking into account system chip synchronization and Additive White Gaussian Noise (AWGN). The simulation result demonstrate that the capacity of WDM/OCDMA achieve better than that of the OCDMA, and construct networks more facility and agility.

Key words wave division multiple/optical code division multiple access; information capacity; bit error rate; throughput

未来通信网的发展目标是高速、宽带、异步和可靠。随着网络用户数急剧增加,网络进一步升级,而接入网发展一直很缓慢,成为制约网络发展的障碍。为克服电子瓶颈问题,须实现通信网的全光化。上世纪90年代,光网络方案层出不穷,一定程度上缓解了对通信网的高要求,但要完全实现接入网业务的数字化、宽带化和高速化,无源全光网络是必然发展趋势。提供高速共享媒质网络的复用方式有时分复用(Time Division Multiplex, TDM)、波分复用(Wave Division Multiple, WDM)、码分复用(Code Division Multiple, CDM)和副载波复用(Sub Carrier Modulation, SCM)等。其中CDM在无线通信领域得到了成功的应用,理论上,CDM应用到光域有很大的优势,如用户上下网络方便,不需全网同步、时延小,动态分配网络带宽,扩展网络容易,传输速率透明度很高,可以承载多业务,网络拓扑灵活,方便组网,适合实时、高突发、大流量和高速的通信业务等。光码分多址技术(Optical Code Division Multiple Access, OCDMA)的研究初期主要集中在基础理论和实施方案上,随着研究的深入,人们把目光转移到了OCDMA组网技术^[1-4]。与其他接入网技术

收稿日期: 2003-09-16

基金项目: 国家863计划资助项目(2001AA122071)

作者简介: 张崇富(1976-),男,硕士,讲师,主要从事光纤通信、光码分多址和宽带网络技术方面的研究。

结合的OCDMA具有更好的运用前景。

1 WDM/OCDMA光网络

WMD/OCDMA混合光网络中采用了无源星型和环型结构,如图1所示。首先进行“粗”的波分复用,因此基于WDM全光网的拓扑结构和MAC协议仍适应。在任一波段上进行了“细”的码分复用,同时也保留了OCDMA系统的拓扑灵活性和入网简单性,适合广播性的信息发送。网络中码字转换终端(Code Converter Terminal, CCT)只实现接点用户的码字转换(解频与扩频),恢复用户信息^[1];码分插复用接点(Code Add Drop Multiple, CADM)和光分插复用(Optical Add Drop Multiple, OADM)处存在用户信息在网络中的上传与下载。码光交叉连接(Code Optical Cross Connection, COXC)是完成WDM环上光波与OCDMA环上码字的转换。

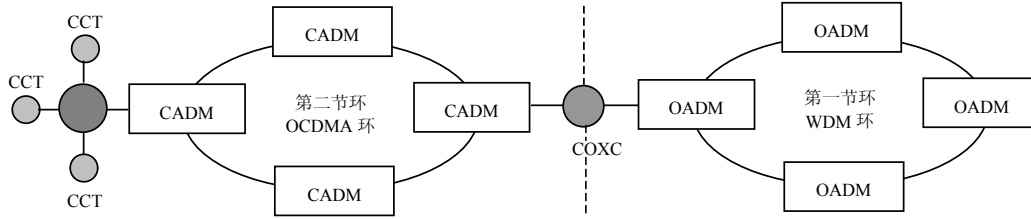


图1 WDM/OCDMA网络结构

2 OCDMA网络与WDM/OCDMA网络的性能分析

2.1 网络的误码率

OCDMA网络与WDM/OCDMA混合网络中均采用光正交码(Optical Orthogonal Code, OOC),光正交码 $(v, k, 1)$, v 为码长, k 为码重,考虑系统切普同步,网络中传输信息相互独立,当网络中用户数比较大,且第 i 个用户受到 $(i-1)$ 个用户的干扰(服从高斯分布)。

1) OCDMA网络的互相关均值和方差:

$$\mu_{i-1} = (i-1)\mu = (i-1)k/2v \quad (1)$$

$$\delta_{i-1}^2 = (i-1)\delta^2 = (i-1)k^2(2v-k^2)/4v^2 \quad (2)$$

2) 文献[3]得到了WDM/OCDMA混合网络的互相关均值和方差:

$$\mu_{i-1} = \left(\frac{i}{N_w} - 1\right)\mu = \left(\frac{i}{N_w} - 1\right)k^2/2v \quad (3)$$

$$\delta_{i-1}^2 = \left(\frac{i}{N_w} - 1\right)\delta^2 = \left(\frac{i}{N_w} - 1\right)k^2(2v-k^2)/4v^2 \quad (4)$$

网络的误码率:

$$p_{\text{ber}} = \frac{1}{2} \left[p_{r0}(Y^1 > \theta | b_j^1 = 0) + p_{r1}(Y^1 \leq \theta | b_j^1 = 1) \right] \quad (5)$$

$$p_{\text{ber}} = \frac{1}{2\delta_{i-1}\sqrt{2\pi}} \int_k^{+\infty} \exp\left(-\left(\frac{x - \mu_{i-1}}{2\delta_{i-1}}\right)^2\right) dx \quad (6)$$

将式(1)、(2)代入式(6)得到OCDMA网络的误码率公式:

$$dp_{\text{ber}} = \frac{v}{k\sqrt{2\pi(i-1)(2v-k^2)}} \int_k^{+\infty} \exp\left(-\left(\frac{2vx - (i-1)k^2}{2k\sqrt{(i-1)(2v-k^2)}}\right)^2\right) dx \quad (7)$$

将式(3)、(4)代入式(6)得到WDM/OCDMA网络的误码率公式:

$$P_{\text{ber}} = \frac{v}{k \sqrt{2\pi \left(\frac{i}{N_w} - 1\right) (2v - k^2)}} \int_k^{+\infty} \exp \left[- \frac{\left(2vx - \left(\frac{i}{N_w} - 1\right) k^2 \right)^2}{2k \sqrt{\left(\frac{i}{N_w} - 1\right) (2v - k^2)}} \right] dx \quad (8)$$

2.2 网络信道的信息量

OCDMA网络采用(Off-On Key, OOK)调制, 在信道中考虑加性白色高斯噪声(Additive White Gaussian Noise, AWGN)。分析有三个用户的情况, 假定传输切普“0”和“1”的概率分别为 q 和 $1-q$, 信道传输模型的传递概率矩阵 \mathbf{Q} 为:

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} q^2 & 2q(1-q) & (1-q)^2 \\ (1-q)^2 & 2q(1-q) & q^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

当多个用户时, $\mathbf{Q}_i \in \mathbf{Q}$, \mathbf{Q}_i 为:

$$\mathbf{Q}_i = \binom{i-1}{y-x} q^{y-x} (1-q)^{i-1-y+x} \quad (10)$$

式中 $x \in \{0, 1\}$, OCDMA网络, $y \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$; WDM/OCDMA网络, $y \in \{0, 1, 2, \dots, n, N_w\}$ 。定义 $\binom{n-1}{-1} = \binom{n-1}{n} = \binom{nN_w-1}{-1} = \binom{nN_w-1}{nN_w} = 0$ 。

显然, 作为传输的信道, 总希望信道的信息量尽可能大, 所以信息量定义为:

$$\begin{aligned} \text{object:} \quad & C \equiv \max \{I(\mathbf{p}, \mathbf{Q})\} \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^n p_i = 1 & 0 \leq p_i \leq 1 \\ p_{\text{ber}} \leq e \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

式中 $I(\mathbf{p}, \mathbf{Q})$ 为互信息; \mathbf{p} 为输入信号概率矩阵; e 为网络要求的误码率, 在光网络中一般为 10^{-9} 。

$$\begin{aligned} I(\mathbf{p}, \mathbf{Q}) = & \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\sum_{i=0}^{n-1} \binom{n-1}{i} q^i (1-q)^{n-1-i} \right) \ln \left(\sum_{i=0}^{n-1} \binom{n-1}{i} q^i (1-q)^{n-1-i} \right) dy N(\mu, \sigma^2) - \\ & \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} q^i (1-q)^{n-i} \right) \ln \left(\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} q^i (1-q)^{n-i} \right) dy N(\mu, \sigma^2) \end{aligned} \quad (12)$$

3 网络仿真与讨论

假定码长 v 为101, 码重 k 为5, 波长信道数 N_w 为10。仿真得到了网络误码率如图2所示。从图中可以看出在给定参数时, WDM/OCDMA网络的性能明显好于OCDMA网络, 如当用户数为20, 在OCDMA网络中误码率约为 $10^{-7.5}$, 在WDM/OCDMA网络中误码率仅为 10^{-10} , 在相同的情况下网络性能提高了2.5个数量级; 实现光通信系统正常工作, 一般要求系统误码率要低于 10^{-9} , 在本网络中, 当误码率在 10^{-9} , 则OCDMA网络仅能容纳用户数为15, 而在WDM/OCDMA网络中用户数可得到30。从图2中也可以看出, 当网络中用户比较少时, 系统随用户增加而较快的变化趋势, 用户数达到一定时, 网络性能变化趋于平缓, 因此当用户数增大时, WDM/OCDMA网络与OCDMA网络性能接近, 网络的性能趋于饱和状态。

仿真中假定单位信息上传输的光子数为500/nat, 系统误码率为 10^{-9} , 得到了图3所示的网络吞吐量与用户数的关系曲线, 从图中明显看出WDM/OCDMA网络的吞吐量大于OCDMA网络, 如在用户数为20, WDM/OCDMA网络吞吐量为0.32 nats/chip, 而OCDMA网络吞吐量仅为0.12 nats/chip, 网络吞吐量提高了近两倍。从图中可以看到当用户比较少时, OCDMA和WDM/OCDMA网络吞吐量呈较快的变化。当用户数增加到一定时, 网络吞吐量变化呈现稳定状态, 分析结果基本与图2吻合, 仿真证实了采用信息论分析网络性能的可行性。当网络用户数较大时出现性能趋于饱和状态, 有待进一步的研究。

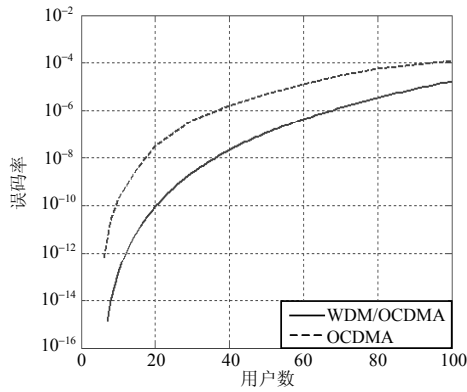


图2 误码率与用户数关系曲线

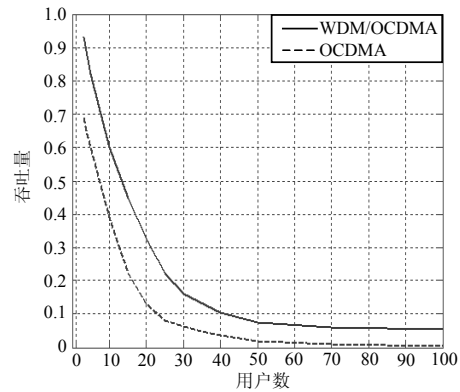


图3 吞吐量与用户数关系曲线

4 结束语

推导OCDMA和WDM/OCDMA网络的误码率公式;采用信息论推导出WDM/OCDMA混合网络信息量数学表达式,为混合网络性能研究提供了新的思路,对研究WDM/OCDMA网络性能提供了参考。从本文仿真结果可以看出WDM/OCDMA网络较单纯的OCDMA网络有明显网络容量大的优势,证实了采用信息论研究网络性能的可行性。但混合网络技术目前大多处于实验室研究阶段,混合网络中网络方案设计、拓扑结构选择和网络MAC协议等方面的研究刚刚开始,很不完善,有待进一步的研究。

参考文献

- [1] Ken-ichi K. Code division multiplexing lightwave networks based upon optical code conversion[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(7): 1 309-1 319
- [2] Wei H, Nizam M, Andonvic H M I, et al. Coherent optical CDMA(OCDMA) system used for high-capacity optical fiber networks-system description, OTDMA comparison, and OCDMA/WDMA networking[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2000, 18(6): 765-778
- [3] Chang G Y, Kwong W C. Performance comparison of multiwavelength CDMA and WDMA/OCDMA for fiber optical networks[J]. IEEE Trans. Commun, 1997, 45(11): 1 426-1 433
- [4] Sotobayashi H, Chunjo W, Kitayama K. 1.52 Tbits/s OCDMA/WDM(4OCDM × 19WDM × 20 Gbit/s) transmission experiment[J]. IEE Electronics Letters, 2001, 37(11): 700-701
- [5] Chung F R K, Salehi J A, Wei V K. Optical orthogonal code: Design, analysis, and application[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1989, 35(3): 595-604
- [6] Shalaby H M. Maximum achievable throughputs for uncoded OPPM and MPPM in optical direct-detection channels[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1995, 13(11): 2 121-2 128
- [7] 朱雪龙. 应用信息论基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000

编辑 孙晓丹