

文章编号 1004-924X(2002)05-0487-06

光 CDMA 技术及其应用

李晓滨^{1,2}, 解成俊³, 郭玉彬², 宋建中¹, 姚剑敏¹, 许廷发¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;

2. 吉林大学通信工程学院, 吉林 长春 130012;

3. 北华大学理学院, 吉林 长春 132033)

摘要:文章综述了光码分多址产生的历史背景,阐述了光码分多址技术原理,比较了光波分多址、光时分多址、光码分多址技术,得出光码分多址技术和其他多址技术相比具有能充分利用光纤带宽;在时间和频率上是异步的,不需要信号同步;使用同一中心波长,不需要控制波长;接入灵活,系统软容量;保密性好等优点。通过对光码分多址技术应用的研究,得出光码分多址技术在多媒体通信中可以真正作到实时和随机接入;在高速计算机局域网中,可以使介质访问协议简单,克服电子的瓶颈效应,数据传输速率可达 Tb/s 数量级;在电信网中,可以扩大通信容量;在光纤接入网中,可以克服传统光接入网需要同步的问题;在 HFC 网中可以解决上行信道带宽窄的问题,实现双向通信;在 CATV 计费及 VOD 业务中可以实现记费和双向业务。因此,具有广阔的应用前景。

关键词:码分多址;光纤通信;波分复用

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A

1 引言

随着社会和经济的发展,人类社会已进入信息时代并向深层次发展^[1]。人们对通信业务种类的要求越来越多。除了一般电话、传真、数据业务以外,还要有会议电视、电子邮政、录音邮件、高清晰度电视以及医疗通信、旅游通信等新业务。低速、窄带、单一形式的通信已不能满足人们对通信的要求,人们迫切期望高速通信、多媒体通信及综合业务数字网的实现。但由于在目前的通信系统中,信号处理大都采用电子器件,而电子器件的信号处理速度只能工作在 10 Gb/s 以下,目前的通信码速已接近这个极限。因此,为进一步提高通信速率,通信方式亟待变革,宽带传输媒介及高速信号处理方式急需解决。

光纤的出现,使通信手段发生了巨大变革。尤其是随着光纤制造工艺的提高,光纤的特性更为卓越。光纤提供了一种优秀的抗串话和抗对地环路性,损耗低,能够携带宽带信息;它体积小,重

量轻,可挠性好,不存在电磁干扰;且耐高温,串音小,保密性强,取材方便,无疑是目前及未来通信的最为理想的传输媒介之一。它使多媒体通信及未来信息社会的理想通信方式 - 综合业务数字网的实现成为可能。光纤的使用,使光通信成为可能。光纤公用网、光纤局域网、光纤用户网应运而生并以其特有的优点而倍受重视。然而,目前的光通信大都是采用“电处理,光传输”的通信方式,尽管单模光纤的理论带宽在低损耗窗口可达到 30 THz,但由于在该种形式的通信系统中存在着大量的电节点,光电转换,电光转换繁多,仍存在着电子的“瓶颈效应”,限制了光纤的潜在传输能力。光纤的传输能力大部分尚未开发,如何充分利用光纤的带宽资源,目前已成为人们研究的热点,也是本文的研究目的。

2 光多址技术

光纤多路传输技术是充分挖掘光纤带宽潜力、扩大通信容量的技术。已开发出来的复用技

收稿日期:2002-03-15;修订日期:2002-05-10

基金项目:省科委基金项目(No. 20010587)

术有许多种类,较有发展前途的有光波分多址(WDMA)复用(主要指密集波分多址复用)、光时分多址(TDMA)复用和光码分多址(CDMA)复用技术^[2]。

2.1 光波分多址技术

光波分多址复用技术是为了克服每一光载波能够载荷数字速率的限制,充分利用光纤低损耗窗口的波长宽度,在一根光纤上同时传送多路光载波,这些波长的划分有一定间隔,不致发生互相干扰。波分多址复用可使一根光纤的传输容量,即同时传输的数字速率相应地增加很多倍。利用这样的技术,原来埋设在地下的光纤光缆可以提供更大的传输容量,但是,波分多址复用和光纤放大器在运用上密切相关,波分多址复用只能限于光纤放大器提供增益的带宽以内排列各个波长,使多路光载波合用同一光纤放大器,每路得到同样的功率增益。按照目前的国际水平,每路光载波的数字速率大多为 2.5 Gbit/s,波分复用和光纤放大器可以提供 4 路至 8 路系统复用。如使用 4 路,则一根光纤总的数字速率可以达到 $4 \times 2.5 = 10$ Gbit/s;如果使用 8 路,则为 $8 \times 2.5 = 20$ Gbit/s。如果进一步缩短邻近波长间的间隔,光纤放大器能够提供更大的增益带宽,则光纤总的传输容量可进一步提高^[2]。

2.2 光时分多址技术

光时分多址技术是当比特率超过 10 Gbit/s 时,为了克服高速电子器件和半导体激光器直接调制能力的限制所采用的扩大传输容量的复用方式。在时分复用网络中,通过把所有光源发送的信息在时间上分割,并在接收机上进行时间选通以获得来自所期望光源的数据,从而实现多路存取。发送机和接收机上所需的定时必须通过一个涉及所有节点的主时钟进行精确控制。因此,时分多址复用在本质上是一个时间同步系统。光时分多址复用是一种构成高比特率传输的有效办法,它在系统发送端光学复用几个低比特率数据流,在接收端用光学办法把它解出来。这种办法避开使用高速电子器件而改用宽带光器件。光时分多址复用系统和目前已存在的全光数字网可以兼容,在高速光通信系统中可望发挥重要作用,也可能在未来的宽带 ISDN 光纤用户环路中得到广泛的应用。但光时分多址复用的技术相当复杂,实现起来较为困难,目前正在研究开发之中^[2]。

2.3 光码分多址技术

码分多址(CDMA)复用是一种扩频技术,它将输入信号的码元用扩频码来填充,并且不同用户的信号使用互为正交的不同码序列。用不同的码序列来填充信息码元形成了不同的码分信道。由于其抗干扰性强,保密性好,接入灵活,在卫星通信和移动通信中得到广泛应用。然而,卫星通信和移动通信中的有限带宽却使 CDMA 的优点无法充分显示出来。光纤通信的丰富带宽资源正好可以弥补这个缺陷。CDMA 技术与光纤通信的结合不仅可以充分发挥 CDMA 的优点,也可以充分发挥光纤通信的优点。

2.4 光码分多址技术的优点

光 CDMA 技术和其它光多址技术 TDMA、WDMA 相比,具有很多优点:

(1) 光 CDMA 不受电设备或光电设备的限制,能充分利用光纤的带宽;

(2) 光 CDMA 在时间上和频率上是异步的,不需要信号同步,无论在时间上还是频率上无需使不同用户信号协调一致,而 TDMA 则要求同步;

(3) 光 CDMA 中所有用户使用同一中心波长,而 WDMA 使用多波长且要求严格控制波长;

(4) CDMA 用户容量大,对系统容量无严格限制。如果用户数增加,则信噪比逐渐减少,系统性能变差,但不会造成系统突然阻塞不通。而 TDMA 系统一旦所有时间槽被占用,系统容量便达到其极限,对于 WDMA,由于光纤的非线性会引起不同信号的互扰,使一些网络中大容量信道与长距离的要求受到严重限制,因此允许的用户数受限;

(5) 光 CDMA 具有很好的保密性,若不知道某用户的地址码,解码是很困难的。

3 光 CDMA 的基本原理

3.1 系统框图

一个典型的光 CDMA 系统由数据源、光编码器、光解码器、数据恢复、光耦合器、光分路器及单模光纤组成。数据源可以是电信号或光信号。当数据源是电信号时,后面需接入一个激光器,将电信号变为光信号。光编码器将接收的光信号的每 1bit 映射为一个非常高速的光序列,即地址码或

称扩频序列、署名序列。N 个用户可以同时发

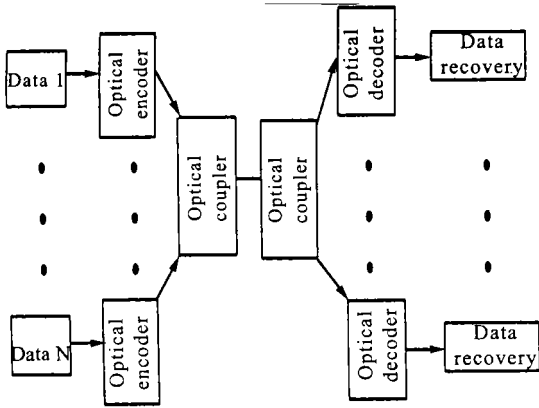


图 1 全光 CDMA 原理图

Fig. 1 Block of the all optical CDMA.

送数据,它们的数据同时被映射为高速的光序列。N 个用户的光序列间两两满足互相关峰值很小,自相关峰值很大的条件。这些光序列被送到光耦合器,耦合进同一光纤信道。在接收端,每个光编码器都接收到同样的 N 个用户的和信号,它将接收到的地址码与本地地址码进行相关运算,然后送到数据恢复器,通过门限判决,恢复出原发给自己的信号,并将它送到接收端。

3.2 地址码

在光 CDMA 通信系统中,许多异步用户同时占用同一信道。一个预定用户的接收机必须能够在所有其它用户的光脉冲也同时出现的情况下,提取该用户接收机的光脉冲(地址码)。因此,地址码应满足:(a) 它自己的循环移位形式是不同的,即:地址码的周期自相关函数的旁瓣小于 1,该序列正交于它的移位变形;(b) 任何两个地址码序列很容易彼此区分,即:码中任何两个序列的周期互相关函数峰值小于 1,两个序列是相互正交的。上面的(a)点有利于同步,(b)点有利于减少多用户干扰。

若令 x(t), y(t) 分别表示两个不同用户的地址码,则 x(t), y(t) 可分别表示为:

$$x(t) = \frac{1}{T_c} \cdot \sum_{n=-} x_n \cdot p_{T_c}(t - n \cdot T_c), \quad (1)$$

$$y(t) = \frac{1}{T_c} \cdot \sum_{n=-} y_n \cdot p_{T_c}(t - n \cdot T_c). \quad (2)$$

这里, p_{T_c}(t) 为持续时间,是 T_c 的矩形脉冲。若令一个码元的持续时间为 T,则可把 x(t)

和 y(t) 作为周期信号来考虑,即 x(t) = x(t + T), y(t) = y(t + T)。序列{x_n}和{y_n}为周期,是 F = T/ T_c 的高速率脉冲序列。T_c 为地址码中每个脉冲的持续时间, F 为一个地址码的长度。令

为序列间的延迟或一个序列与它本身的移位, 0 T, = lT_c。这里, l 可以取 0 到 F - 1 间的任何整数。则满足上述自相关、互相关条件的序列设计问题变为满足下列两个条件的序列设计问题:

(1) 对于任何序列 x(t) = {x_n}

$$Z_{x,x(t)} = \sum_{n=0}^{F-1} x_n \cdot x_{n+} \\ = K \quad \text{当 } = 0 \text{ 时} \\ = a \quad \text{当 } 0 < < F \text{ 时} \quad (3)$$

(2) 对于任何两个序列 x(t) = {x_n}, y(t) = {y_n}

$$|Z_{x,y(t)}| = \left| \sum_{n=0}^{F-1} x_n \cdot y_{n+} \right| \leq c \\ \text{当 } 0 < < F \text{ 时}, \quad (4)$$

这里, K, a, c 为常数。K 表示一个地址码 F 个间隔中,有脉冲的间隔个数,即标志脉冲个数,我们称它为码重。a 表示一个地址码与由它的周

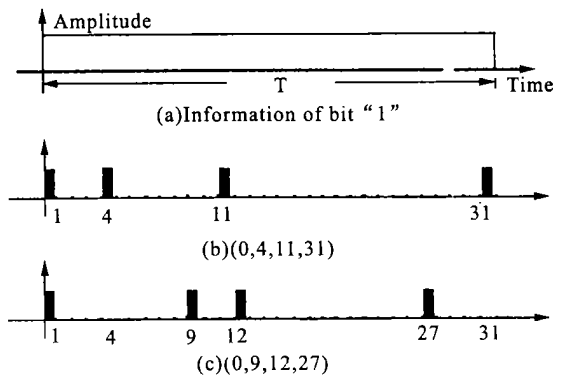


图 2 两个地址码序列表示的信息

Fig. 2 Information represented by two optical orthogonal codes.

期循环移位所产生的脉冲序列重叠的脉冲个数。

c 是一个地址码与另一个地址码的周期循环移位所产生的脉冲序列在一个周期内重叠的脉冲个数。严格的正交性应满足: a = c = 0。在光 CDMA 通信系统中,设计满足严格正交性的地址码是很困难的。因此,若 a 取最小值,则认为一个序列与其移位变形是正交的;若 c 取最小值,则

认为两个序列是正交的。通常将一个地址码称为一个码字,一个码字可用码字区组来表示 $\{i_1, i_2, \dots, i_K\}$, i_1, \dots, i_K 分别表示地址码中非零脉冲的位置。图 2 所示 1bit 信息被编为用码字表示的两个地址码,图(a)表示 1bit 信息,该比特信息被编为地址码如图(b),图(c)所示,其中(0,4,11,31)和(0,9,12,27)分别表示用码字区组来表示的两个地址码。

3.3 编码器和解码器

3.3.1 编码器原理

若采用长为 F ,码重为 K , $a = c = 1$ 的地址码族,其中共有 N 个码字,即该全光 CDMA 系统的容量为 N 个用户。每个发送器从中被分配一个地址码集合,即 K -集合。在发送端,每个信息 bit 被光编码器编码进一个由 F 个光 chip 组成的帧里(一个光 chip 对应一个光时间槽,对应于光开关的“合上”和“断开”,呈现“1”和“0”值)。对于某个发送器,令被分配的 K -集合为 $\{i_1, i_2, \dots, i_K\}$ 。假定发送端发送的信息 bit 为“1”,则在由 N 个光 chip 组成的帧里,光脉冲(对应于光开关“合上”)严格地被发送在第 i_1 chip、第 i_2 chip, ..., 第 i_K chip 上,其它的 $F-K$ 个光 chip,没有光脉冲被发送(对应于光开关的“断开”)。若发送的信息 bit 为“0”,则在相应的帧里没有光脉冲被发送(即所有的光开关都“断开”)。在这种系统中, N 个用户可以同时发送信息,且网络不需要同步。

3.3.2 解码器原理

在接收端,许多解码器(相关器)用于分开发送的信号。解码器可由一组光纤延迟线组成,每个码字一个,某个码字的解码器的延迟线的个数取决于码重 K ,某个延迟线上的延迟与其地址码序列严格匹配,然后将这些延迟线上的延迟信号相加,对于强度调制、直接检测的光 CDMA 通信系统,几个延迟线上被延迟的信号的和是强度的迭加,迭加后的值即为接收端的信号强度。以目前的光技术,用光纤延迟线完全能实现上述的编、解码过程。

4 应用前景

4.1 多媒体通信

光 CDMA 复用通信技术,采用不同的光码字作为用户地址,可实现并行通信和多址连接,支持

实时分布计算或计算机并行处理系统。这些光码字具有低的互相关值,对应的编、解码器可在光域中实现。克服了电子信号处理器的带宽瓶颈,可支持超高速数据传输和组网。因为光 CDMA 允许多个用户同时访问公共信道,所以用户接入延时为零。由于光 CDMA 不需网络同步,使网络具有高度灵活性,新用户可很容易入网,只要采用一个给定的光正交码即可入网。这些特点使光 CDMA 适用于数据流量具有高度突发性的宽带多媒体通信。

4.2 高速计算机局域网

光 CDMA 不需要精确的全网同步、精密调谐和稳频的激光器及光滤波器。而且,由于不需要保护带和多用户共用同一频带,可以更充分地利用光纤的带宽。更由于 CDMA 特有的异步接入,保密性好和网管简单等特点,在光纤局域网(LAN)尤其是高速局域网的应用上显示出很好的应用前景^[3]。

在设计高速局域网时,介质访问协议的选择是关键。传统采用以太或令牌环或光纤分布数据接口(FDDI)的计算机局域网通信协议与全光 CDMA 通信相比,都显得复杂。不管是 CSMA/CD 和令牌环协议,任何时间在信道上只允许一个用户传输它的数据分组,而其它激活用户不允许访问 LAN,直到没有信息碰撞(即信道空闲)或这个用户得到令牌以后,因此,对于 CSMA/CD 和令牌方式,在任何给定的时间里要支持实时并行数据通信和多址联接是不可能的。并且这些传统的 LAN,为了在每个节点进行访问控制/处理和数据缓冲,需采用电子信号处理器来处理进、出的 bit 流,所以引入了电子瓶颈,无论是否采用光纤线路,它都最终限制了网络吞吐量。当访问协议需要复杂的数据缓冲和逻辑操作时,在发射机和接收机中,由协议所附加的数据处理延时可能比传输延时还大。相反,全光 CDMA 通信系统可使两端(发、收)的数据处理延时、网络中的分组延时和系统重构时间最小化,它能保证并行通信和多路连接,可使计算机通信实现分组延时和端处理延时接近于零,使数据的传输速率高达 Tb/s 的数量级^[3]。

4.3 电信网

在电信网的干线上,由于电子器件的速度是有限的,而且速率越高的设备其设计与制作就越

困难。不增加电子器件的复杂度而扩大通信容量的方法之一是密集波分复用 (DWDM)。但 DWDM 要求接收端与发送端必须精确地调谐到一个频率,而且接收端要求有窄带滤波器,这无疑增加了技术的复杂性。如果在电信网的干线上,采用光 CDMA 方式则可以避免这些问题。选定一组光正交码后,同样可以将一对光纤的传输容量扩大数十倍。所须做的就是信道两端接上一些光 CDMA 编解码器。光 CDMA 方式在扩容上具有比 DWDM 更方便、更灵活的形式。若须加上或去掉一组 STM-16(2.5 Gb/s),只须在收发端分别加上或去掉一组光编解码器即可。而在 DWDM 方式设计时若没有在复用波长上留下余量,就只能更换设备,但留下余量又会增加系统成本^[4]。

4.4 光纤接入网

在宽带光纤接入网中,下行方向各业务的发送都由 OLT(光线路终端)集中控制,可以方便地实现各业务之间的同步发送。而负责发送上行业务的 ONU(光网络单元)分布在各地区,若要求它们之间实现同步,则需要复杂的网络同步控制,尤其在高速率的网络中,实现各 ONU 之间的同步是很困难的。若采用光 CDMA 接入网,可以在下行方向采用同步方案,上行方向采用异步方案,ONU 一方面随时将自己的上行业务信息用自己的地址码编码后发送出去,另一方面对 OLT 发来的扩频信息进行相关运算,恢复出发给本 ONU 的信息。由于各 ONU 使用不同的地址码,其编码后的信息可在任意时刻接入上行信道,不需要对媒质接入进行控制,各 ONU 之间也不需要保持同步关系,因此不需要解决同步的问题。这种网络的拓扑结构如图 3 所示。

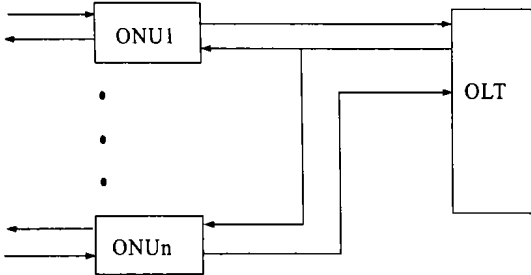


图 3 光接入网拓扑结构

Fig. 3 Topology of the optical access network.

4.5 光纤同轴电缆混合网(HFC)

HFC 网的使用频带如图 4 所示。从图 4 可见,其上行信道大约只有 37MHz 的带宽,按照目前一个小区 500 户计算,话音信号占去了 15MHz 的带宽,上行数据信号将只有 22MHz 的带宽,因此如何充分利用上行信道的传输能力将是实现 HFC 网络双向通信的关键^[6]。

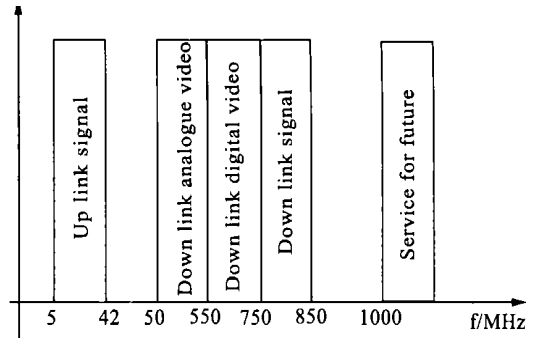


图 4 HFC 频率配置图

Fig. 4 Block of HFC frequency distribution.

若在 HFC 中采用光 CDMA 技术,一方面可以解决 HFC 上行信道较窄的问题,另一方面又可以有效地抑制 HFC 网络中由于多点汇集而产生的噪声汇集现象,提高容量,用户可以实时接入。同时光 CDMA 采用光处理,可以克服光电转换的电子瓶颈,可实现 Gb/s 的高速信号传输。HFC 拓扑结构如图 5 所示。若采用光 CDMA,可以在图 5 中的 HDT 加入光 CDMA 编解码器及 CM 及 PC 机间加入光 CDMA 编解码器来实现。

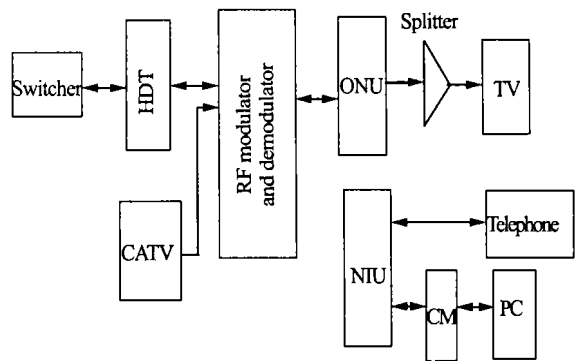


图 5 HFC 接入网拓扑结构及原理示意图

Fig. 5 Topology and block of HFC.

在这种采用光 CDMA 的 HFC 网方案中,用户上行信号通过 CM 及光电信号转换器之后,进

行光 CDMA 编码调制后送入 NIU,然后不同用户的信号在 ONU 中复用后进行发送。这里上行信道采用 CDMA 复用方式,用户可以共享同一频带,因而可以有效地提高光缆上的信息利用率。

4.6 CATV 计费和 VOD 业务等交互式业务网

近年以来,多媒体服务逐渐兴起,这其中包括了 VOD(有线电视点播业务)、新闻点播交互式业务网以及其它的收费电视等业务。在这些业务中,如果采用 OCDMA 方式作为多址方式,那么不但用户可以拥有巨大的上行带宽,电视公司的计费也将变得极为方便。因为公司可以通过对扩频码的控制来实现对收看用户的控制。此外,光 CDMA 技术具有的良好保密性功能又使其在

军事通信及个人保密通信方面拥有着巨大的潜力。

5 结 论

光 CDMA 无须交换、抗干扰性强、保密性好、可任意选址、充分利用光纤带宽、容量极大、用户接入灵活、不需等待、无须同步,非常适合通信数据量大、速率高、业务突发性强、对信息传输时延要求高的通信及通信网。它在多媒体通信、计算机局域网、电信网、光纤接入网、HFC 网及 CATV 计费、VOD 业务中都具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 张旭. 光纤通信最新动向[J]. 光通信研究, 1998, (1): 1-4.
- [2] 蒋立娟. 多信道光通信讲座-光时分复用技术[J]. 光通信技术, 1998, 22(1): 61-69.
- [3] 殷洪玺, 张光昭. 采用光码分多址技术的高速计算机局域网[J]. 通信学报, 1997, 18(12): 89-94.
- [4] 孙震强. 码分多址技术在光纤用户网中的应用[J]. 现代通信科技, 1996, (5): 29-32.
- [5] 万谦, 张宝富. CDMA 技术在光纤通信中的应用研究[J]. 光纤与光缆及其应用技术, 1997(4): 7-11.
- [6] 任长虹, 范戈. 同步码分多址技术在光纤同轴混合网中的应用[J]. 光纤与光缆及其应用技术, 1998, (5): 21-24.

Optical code division multiple access technology and its applications

LI Xiao-bin^{1,2}, SONG Jian-zhong¹, GUO Yu-bin², YAO Jiang-min¹, XU Ting-fa¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

2. Institute of Telecommunication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: This paper gives the background of the optical code division multiple access(OCDMA) technology, compares its techniques with each other and sets forth the advantages. OCDMA features that it is asynchronous in time and frequency field, and does not need signal synchronization; it uses the same one central wave, and does not need wave-controlling; it has soft capacity and good security; it also can use optical fiber bandwidth sufficiently. The key techniques are depicted in detail on the basis of the fundament of optical code division multiple access. Finally, its applications are examined. DCDMA can realize real-time operation and free access when used in multi-media communications. Its protocol of media access is simple, overcoming "electron bottle-neck effect", therefore data-transmitting rate can reach the order of Tb/s when used in high-speed computer local area networks. In communication network, it is another option for multiplexing. In optical fiber access network, it can overcome conventional synchronization problem. When used in HFC network, it can also solve up-link bandwidth problem and release dual-direction communication. In CATV and VOD service, it can realize changing and dual-direction service. Therefore, the technique of optical code division multiple access can find wide applications in the future.

Key words: code division multiple access; optical fiber communication; wave division multiplex

作者简介: 李晓滨(1966-),女,山东省青岛人,中国科学院长春光学精密仪器与物理研究所在读博士,主要从事移动通信、光纤通信、扩频通信理论以及技术等方面的研究。