

FMT 多载波技术及其 SystemView 仿真实现

侯昌磊

(中国电子科技集团公司第十研究所, 四川 成都 610036)

摘要: 在无线通信中, 高速数据传输常常受限于 ISI 的影响, 而 FMT 多载波技术采用并行处理方法能有效地突破这种限制。介绍了 FMT 多载波的理论推导, 设计了 FMT+QPSK 的应用实例, 结合 SystemView 软件给出了仿真结果。

关键词: ISI; FMT; QPSK; SystemView; 高速数据传输

中图分类号: TN92

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)19-0076-03

Filtered multitone modulation technique and simulative realization by SystemView

HOU Chang Lei

(The No.10th Institute of CETC, Chengdu 610036, China)

Abstract: High data rate communication techniques has the limit of intersymbol interference (ISI) in wireless communication, however the FMT multi-carrier techniques, which make use of parallel processing were seem to be the most effective methods to resolve the problem. In this paper, some theoretical of FMT were introduced, and based the idea of FMT, the example of FMT + QPSK were designed. Some results of simulation by SystemView were also illustrated.

Key words: ISI; FMT; QPSK; SystemView; high data rate communication

在典型的无线信道中, 由于发送信号的多次反射导致多径传播、信道时间色散特性、信道群延时等诸多物理因素, 高速率通信常常受限于码间串扰 (ISI) 的影响。FMT 多载波技术是一种突破信道物理限制的较好解决办法, 其基本思想是将一个高速率的数据流分成许多低的子数据流, 以并行的方式调制在多个子载波上, 这样可以降低每子信道传输速率, 使符号持续时间比信道的最大延迟小, 从而减小符号间串扰的影响。Cherubini 于 1999 年在 JSAC 中首次提出 FMT 多载波调制技术, 并将其应用于有线 VDSL 高速信息传输^[1], 同时, 基于 FMT 的调制方案被 ITU-T 接纳为 VDSL 的备选方案^[2]。本文重点探讨 FMT 技术在无线高速数据传输中的应用。

1 FMT 多载波技术

FMT 多载波调制技术通过非临界采样处理和滤波实现对频谱控制, 使各子信道互不重叠, 以达子信道正交, 从而能够避免因

此而产生的信道间干扰 (ICI), 保证了系统的性能。FMT 系统实现框图如图 1 所示, 左边部分为 FMT 调制, 多路 (M 路) 并行数据流经过上采样 (K 倍) 后进入多路低通滤波器, 然后对各路分别进行不同的载波调制, 调制后的数据合成一路; 右边部分为 FMT 解调, 进入的数据与不同的载波相乘完成下变频后形成基带信号, 基带信号完成低通滤波后, 进行 K 倍下采样, 恢复出原始数据。由于要进行正交调制处理, 直接采取多路信号分别复数相乘无法保证各子载波的正交性, 并且直接实现多路滤波也会占用较多资源, 因此需采用等效并行方法才能实现 FMT 技术。

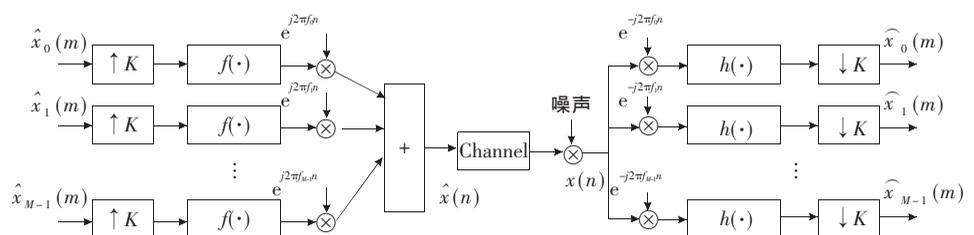


图 1 FMT 多载波系统框图

技术与方法 Technique and Method

FMT 多载波调制合成信号为各子载波调制信号之和^[3],即:

$$x(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \hat{x}_m(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x_m(r) f(n-rk) \cdot \omega_M^{mr} \quad (1)$$

令 $n=sM+\rho, \rho=0, 1, \dots, M-1, s=0, 1 \dots$ 则:

$$\begin{aligned} \hat{x}(sM+\rho) &= \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x_m(r) f(sM+\rho-rk) \cdot \omega_M^{msM+\rho r} = \\ &= \sum_{r=-\infty}^{+\infty} f(sM+\rho-rk) \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x_m(r) \cdot \omega_M^{mp} = \\ &= \sum_{r=-\infty}^{+\infty} f(sM+\rho-rk) \cdot x_\rho(r) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $x_\rho(r) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x_m(r) \cdot \omega_M^{mp}$, 为 $x_m(r)$ 的傅里叶变换。

进一步,写成多相结构形式,有:

$$\hat{x}_\rho(sM) = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} f(sM+\rho-rk) \cdot x_\rho(r) \quad (3)$$

令: $q = \lfloor \frac{sM+\rho}{K} \rfloor - r$

$$\eta = \lfloor \frac{sM+\rho}{K} \rfloor \quad (4)$$

$$v = (sM+\rho) \otimes K \quad (5)$$

则 $v=0, 1, \dots, k-1$ 。

其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取其基整数点。

将式(4)~式(6)带入式(3)有:

$$\hat{x}_\rho(sM) = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} f(qk+v) \cdot x_\rho(\eta-q) = \sum_{q=-\infty}^{+\infty} f_v(q) \cdot x_\rho(\eta-q) \quad (6)$$

由上述推导可以看出, FMT 的调制可以采用 IDFT 和多相滤波结构实现,等价的高效实现如图 2 所示。

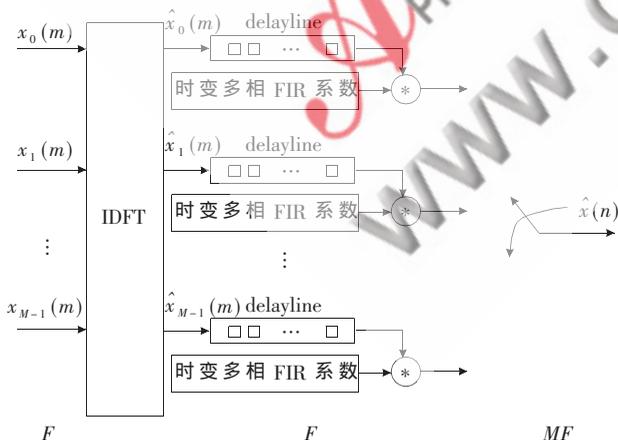


图 2 FMT 调制高效实现结构

参考图 1, FMT 多载波解调, 基带信号可表示为^[4]:

$$x_m(n) = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x(r) \cdot \omega_M^{mr} \cdot h(Kn-r) \quad m=0, 1, \dots, M-1 \quad (8)$$

令: $r=sM+\rho, \rho=0, 1, \dots, M-1, s=0, 1 \dots$ 则:

$$\begin{aligned} \hat{x}_m(n) &= \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x(rm+\rho) \cdot \omega_M^{m(rM+\rho)} \cdot h(Kn-rM-\rho) = \\ &= \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x(rm+\rho) h(Kn-rM-\rho) \cdot \omega_M^{mp} = \\ &= \sum_{\rho=0}^{M-1} u_\rho(n) \cdot \omega_M^{mp} \end{aligned} \quad (9)$$

其中:

$$u_\rho(n) = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x(rM+\rho) \cdot h(Kn-\rho-rM) \quad (10)$$

显然有 $\hat{x}_m(n)$ 为 $u_\rho(n)$ 的傅里叶变换。

同理, 令:

$$q = \lfloor \frac{Kn-\rho}{M} \rfloor - r \quad (11)$$

$$\eta = \lfloor \frac{Kn-\rho}{M} \rfloor \quad (12)$$

$$v = (Kn-\rho) \otimes M \quad (13)$$

则 $v=0, 1, \dots, M-1$, 其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取其基整数点。则:

$$\begin{aligned} u_\rho(n) &= \sum_{r=-\infty}^{+\infty} x(rM+\rho) \cdot h(Kn-\rho-rM) = \\ &= \sum_{r=-\infty}^{+\infty} h((\eta-r)M+v) \cdot x(rM+\rho) = \\ &= \sum_{q=-\infty}^{+\infty} h(qM+v) \cdot x((\eta-q)M+\rho) = \\ &= \sum_{q=-\infty}^{+\infty} h_v(q) \cdot x_\rho(\eta-q) \end{aligned} \quad (14)$$

由上述推导可以看出, FMT 的解调可以采用多相滤波和 DFT 结构实现, 等价的高效实现如图 3 所示。

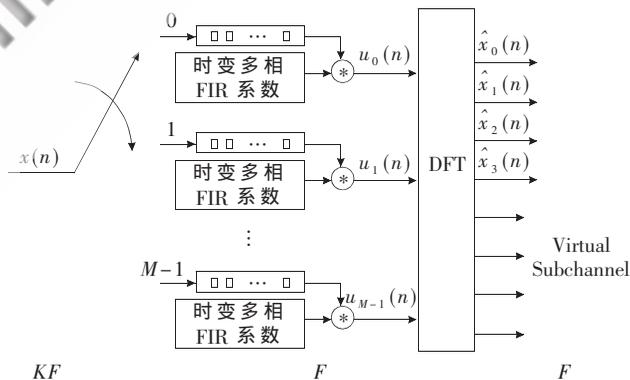


图 3 FMT 解调高效实现结构

2 SystemView 仿真

SystemView 是一种能对各种通信、控制或其他系统进行分析、设计、仿真和综合试验的理想平台。SystemView 软件不仅为用户提供了丰富的库资源, 而且具备灵活的扩展接口, 可以与 Matlab 和 VC++ 配合使用, 对于复杂的专用算法允许用户插入自己编写的 Matlab 和 VC++ 用户代码库。

FMT 只是多载波处理技术, 该技术本身不具备星座

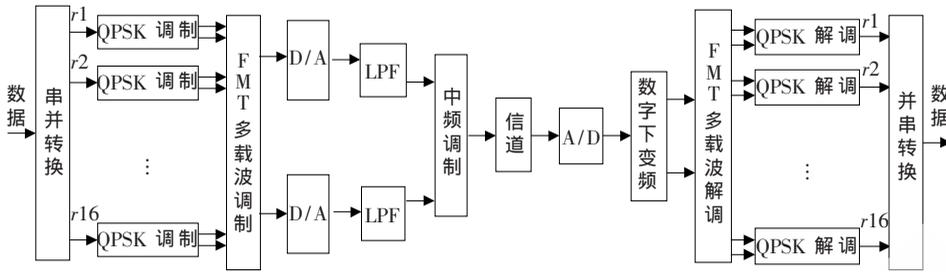


图4 FMT数传系统框图

调的星座图可以看出该技术具备良好的调制解调性能,为FMT技术的实际应用提供了很好的支撑。

FMT多载波技术是解决高速无线数据传输的一种有效途径,该技术具有频谱利用率高、频谱易于控制、适合无线信道传输的优点。FMT多载波技术与QPSK

映射以及同步能力,只有与QPSK或其他具备同步能力的技术结合才能有效地应用到无线数传中。图4描述了采用FMT+QPSK技术实现135 Mb/s数传的系统框图,采用16路多载波处理方式,每路传输8.4375 Mb/s。

采用SystemView软件平台实现图4所示FMT数传方案,其中FMT以及QPSK解调算法采用C语言实现^[5]。系统仿真参数设置如下:数传速率为135 Mb/s,每路8.4375 Mb/s,多相滤波器采用成型系数为0.5的根升余弦滤波器,中频频率为720 MHz,AD采样设为202.5 MHz。图5为中频调制波形,该波形与QPSK调制波形基本相同,但由于多路叠加导致峰均比较大,这也是多载波处理的缺点之一。图6为中频频谱,可以看出由于采用了成型滤波16路载波都具备较好的滚降特性,并且频谱约束良好互相之间无重叠,具备很强的抗信道间干扰(I-ICI)特性。图7为多载波解调后,某一路的基带频谱,可以看出经多载波解调后能完好地恢复出单路的基带信号。图8为经QPSK同步解调后,某一路的星座图,可以看出QPSK的4个星座点分离的很清楚,具备良好的解调性能。

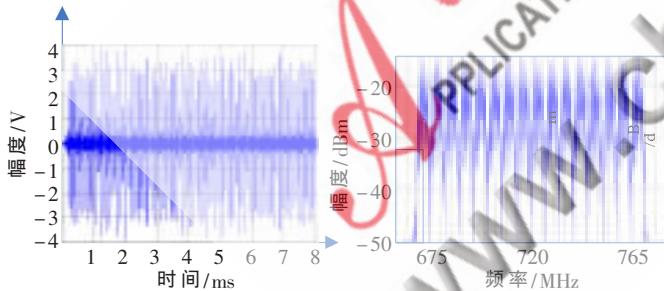


图5 中频调制波形

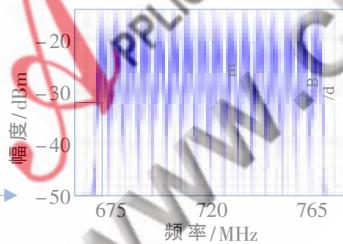


图6 中频调制频谱

根据以上仿真结果,FMT+QPSK多载波调制仿真输出中频实信号频谱与设想的频谱结构完全一致,并由解

调的星座图可以看出该技术具备良好的调制解调性能,为FMT技术的实际应用提供了很好的支撑。

FMT多载波技术是解决高速无线数据传输的一种有效途径,该技术具有频谱利用率高、频谱易于控制、适合无线信道传输的优点。FMT多载波技术与QPSK

结合可以在高速数传中得到很好地应用。值得提出的是目前该系统的仿真只是基于高斯信道,对于FMT在多径信道的性能还需要进一步的研究。

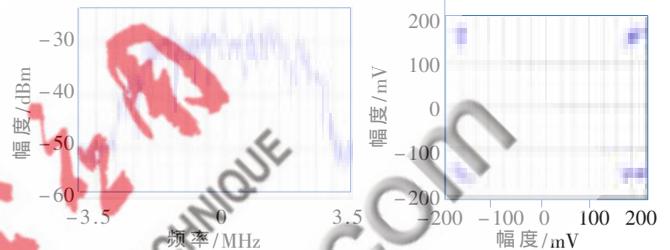


图7 单路基带频谱

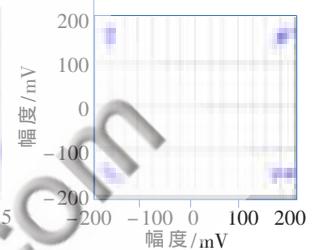


图8 单路解调星座图

参考文献

- [1] CHERUBINI G, ELEFTHERIOU E, OLCER S. Filtered multitone modulation for VDSL [C]. in Proc. IEEE Globecom'99, Rio de Janeiro, Brazil, 1999.
- [2] CHERUBINI G, ELEFTHERIOU E, OLCER S, et al. Filter bank modulation techniques for very high speed digital subscriber lines [J]. IEEE Communications Magazine, 2000,38:98-104.
- [3] CHERUBINI G. Filtered multitone modulation for very high-speed digital subscriber lines [J]. IEEE Communications Magazine, 2002,20(6):1016-1028.
- [4] 胡晓曦.高码速率QPSK解调器的实现方法[J].空间电子技术,2001(3):8-11.
- [5] 侯昌磊.Systemview与VC++动态接口的实现[J].电讯技术,2005(4):169-171.

(收稿日期:2010-03-13)

作者简介:

侯昌磊,男,1977年生,硕士,工程师,主要研究方向:航空航天领域通信信号处理。