

# 基于 TMS320C6701 EVM 的 MIMO 2x2 系统

陈绪君, 刘守印

(华中师范大学电子与信息工程系, 武汉 430079)

**摘要:** 多输入多输出(MIMO)技术是未来无线通信系统的关键技术之一。该文阐述 MIMO 系统的特点, 设计基于 TMS320C6701 EVM 的 MIMO 2x2 系统, 对整个系统进行 Matlab 仿真和评价, 并测试了实际 DSP 系统的性能。

**关键词:** 多输入多输出; 同步; 信道估计

## MIMO 2x2 System Based on TMS320C6701 EVM

CHEN Xu-jun, LIU Shou-yin

(Department of Electronic and Information Engineering, Central China Normal University, Wuhan 430079)

**【Abstract】** Multi-Input Multi-Output(MIMO) is one of the most potential key technology applying to future wireless communication system. Characteristic of MIMO system is introduced in the paper. MIMO 2x2 system is implemented based on TMS320C6701 EVM. The whole system simulink on matlab is demonstrated and evaluated, and DSP system's performance is tested.

**【Key words】** Multi-Input Multi-Output(MIMO); synchronization; channel estimation

### 1 概述

在无线信道中实现对多媒体业务的支持是通信系统发展的必然趋势, 高速无线数据接入业务与用户数量的迅速增长, 要求更高速率、更大容量的无线链路支持。决定无线链路传输效能最根本的因素是信道容量。多输入多输出(Multi-Input Multi-Output, MIMO)系统在无线通信链路的发射端和接收端都使用多个天线, 在发送端将用户的数据信息分成多路并行信号并采用空时编码技术分别由多个天线同时、同频段发送; 接收方依靠空时解码与信号处理算法来恢复发送信息, 理论上可极大提高系统容量和数据传输速率, 并能增强通信系统的抗干扰、抗衰落能力。MIMO技术被认为是最有可能应用到未来无线通信的关键技术之一<sup>[1-2]</sup>。

自 1996 年 J.Foschini 等人构建了分层空时编码<sup>[3]</sup>的技术框架 MIMO 系统以来, MIMO 关键技术的理论研究正日趋成熟, 国内 FuTURE、中兴、华为等研究机构相继建立了自己的 MIMO 实验系统, 但系统复杂、价格昂贵。本文设计的基于 TMS320C6701 EVM 的 MIMO 2x2 实验系统和方案, 可以为普通 MIMO 理论研究人员提供参考。

### 2 MIMO 2x2 系统结构

MIMO 2x2 系统从结构上分为发送部分和接收部分。发送部分如图 1 所示。

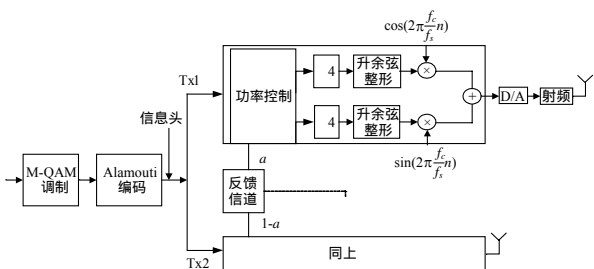


图 1 MIMO 2x2 发射结构

二进制位流首先映射为复 QAM 符号, 编码后的输出为复基带信号, 随后进行 Alamouti<sup>[4]</sup> 空时编码; 在数据封装成帧之前, 加入信息头, 其作用是接收部分的同步检测和信道估计; 为抑制信道衰落的影响, 根据接收端的反馈信息加入功率控制; 为减小码间干扰, 将基带信号进行 4 倍插值, 并进行升余弦整形; 最后复基带信号上变频到高频窄带信号, 并通过 Tx1 和 Tx2 射频模块发送出去。

接收部分如图 2 所示。Rx1 和 Rx2 接收的信号经过下变频为复基带信号, 再经过低通和匹配滤波, 根据导频音提取同步信号, 进行信号 1/4 抽取; 估计信道获取信道特性(用于 Alamouti 解码和发送端功率控制); 随后进行 Alamouti 解码和 QAM 解码。

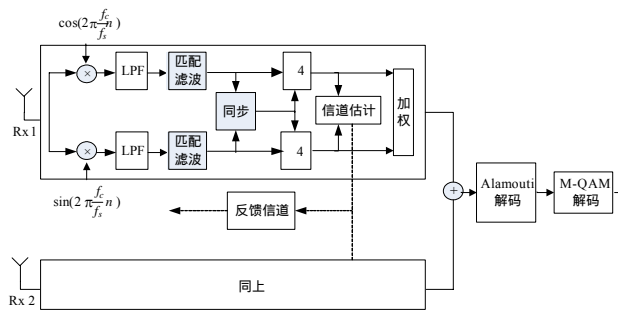


图 2 MIMO 2x2 接收结构

### 3 MIMO 2x2 系统的 Matlab 仿真及性能分析

#### 3.1 发送端

(1) 发送帧结构设计

**基金项目:** 湖北省自然科学基金资助项目(2005ABA244)

**作者简介:** 陈绪君(1975 - ), 男, 讲师, 主研方向: 无线通信, 盲信号处理; 刘守印, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2008-02-10 **E-mail:** cxj@phy.ccn.edu.cn

帧结构设计如图 3 所示，每个数据帧由 128 码元的同步序列和 20 个数据块组成；每个数据块由 8 码元的导频序列、56 码元数据、8 码元的导频序列、54 码元数据、2 监督码元组成；Tx1 和 Tx2 天线的 128 码元两同步序列各不相同，近似白噪声序列，且具有很好的自相关特性，为了在接收端有效地同步，左右天线两同步序列正交，互相关为白噪声。自相关特性如图 4 所示。

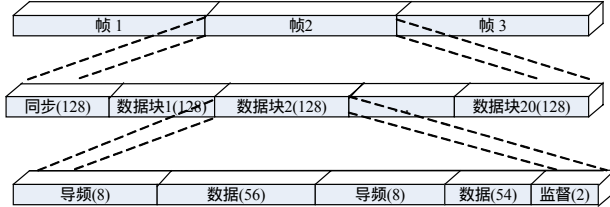
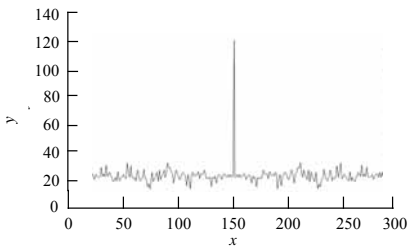
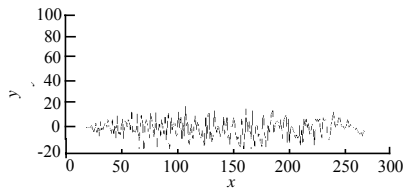


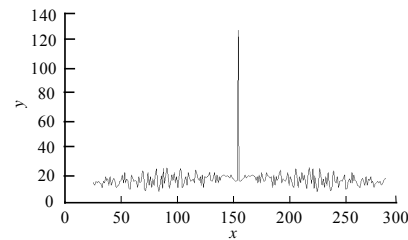
图 3 帧结构



(a)左同步序列自相关



(b)左右同步序列互相关



(c)右同步序列自相关

图 4 同步序列的自相关特性

#### (2) 4 插值 (upsampling)

为抑制码间干扰的影响并便于接收端检测，在发送的码元之间插入 3 个 0，再经过升余弦整形，为发送做准备。

### 3.2 接收端

#### (1) 频偏估计

由于实际系统的发送时钟和接收时钟可能不一致，因此须估计频偏。实际系统采用过零估计算法，对正弦信号进行整形，输出近似方波，计算过零个数和持续时间  $Time$ ，则频率  $f_c \approx N/(2 \times Time)$ 。

#### (2) 同步检测

接收数据帧和本地存储的同步训练序列进行自相关运算，峰值出现的位置即同步数据的位置，仿真如图 4 所示。

#### (3) 信道估计

帧同步后，接收 8 码元的导频序列用于信道估计。假设接收天线 Rx1 和 Rx2 上接收导频为  $r_1$  和  $r_2$ ，发送天线 Tx1 和 Tx2 的发送导频为  $p_1$  和  $p_2$  ( $p_1, p_2$  存储在接收端存储器中) 则有

$$r_1 = h_{11} \cdot p_1 + h_{21} \cdot p_2 + n_1 \quad (1)$$

$$r_2 = h_{12} \cdot p_1 + h_{22} \cdot p_2 + n_2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \hat{h}_{11} &= \frac{\int r_1 \cdot p_1 dt}{\int p_1 \cdot p_1 dt} = \frac{\int (h_{11} \cdot p_1 + h_{21} \cdot p_2 + n_1) \cdot p_1 dt}{\int p_1 \cdot p_1 dt} = \{p_1 \perp p_2\} \\ &\approx \frac{\sum_{i=1}^8 r_{1i} \cdot p_{1i}}{\sum_{i=1}^8 p_{1i} \cdot p_{1i}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\hat{h}_{21} = \frac{\int r_1 \cdot p_2 dt}{\int p_2 \cdot p_2 dt} \approx \frac{\sum_{i=1}^8 r_{1i} \cdot p_{2i}}{\sum_{i=1}^8 p_{2i} \cdot p_{2i}} \quad (4)$$

$$\hat{h}_{12} = \frac{\int r_2 \cdot p_1 dt}{\int p_1 \cdot p_1 dt} \approx \frac{\sum_{i=1}^8 r_{2i} \cdot p_{1i}}{\sum_{i=1}^8 p_{1i} \cdot p_{1i}} \quad (5)$$

$$\hat{h}_{22} = \frac{\int r_2 \cdot p_2 dt}{\int p_2 \cdot p_2 dt} \approx \frac{\sum_{i=1}^8 r_{2i} \cdot p_{2i}}{\sum_{i=1}^8 p_{2i} \cdot p_{2i}} \quad (6)$$

其中， $h$  的第 1 下标为发送天线， $h$  的第 2 下标为接收天线。

其他模块还包括发送端的 Qam 编码，整形和上变频，alamouti 编码，接收端的匹配滤波、下变频、alamouti 解码和 Qam 解码。

### 3.3 系统性能分析

本文测试了单元模块，并对 MIMO2x2 全系统的性能进行了仿真分析。在瑞利信道模型下，分析系统的 BER 性能，结果如图 5 所示。由于信道估计算法对系统的性能和 alamouti 解码起决定性影响，而本系统的信道估计算法较简单，且导频只有 8 码元，因此估计的精度不够，性能有一定的损失。由仿真结果可知，本文系统虽然性能较理想模型有一定偏差，但比未编码系统的性能仍有较大改善。

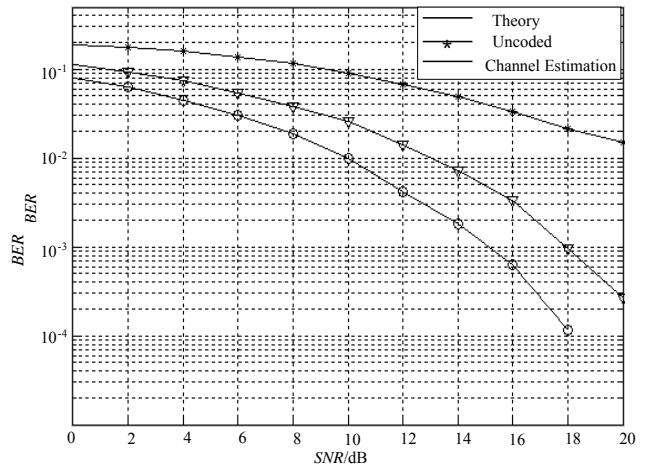


图 5 BER 性能分析

### 4 DSP 实现

本文对 MIMO 2x2 系统进行了理论仿真，设计并实现了实际系统的硬件和软件。整个系统由发送端和接收端组成，发送端和接收端都由 1 个 PC，TMS320C6701 EVM 和 465.85 MHz 的射频模块组成，其中，TMS320C6701 EVM<sup>[5]</sup> 有 2 个 A/D 模块和 2 个 D/A 模块，采样率为 44 100 kHz；接收端 PC 和发送端 PC 各运行一个 GUI 程序，发送端可以配置系统参数，如 QAM 调制格式、发送天线个数 (可选择 1x1, 2x1, 2x2) 和选择发送的图片，并且可以绘制发送图片的星座图和显示图片；

接收端可以显示接收图片和星座图。

(1)发送端流程

1)主机加载 DSP 程序,通过 HPI 向 DSP 内存写入 128 B 同步训练序列,并启动 DSP 程序。

2)DSP 初始化 Buffer, Codec 和 DMA, 并将训练序列封装入帧。

3)DSP 首先发送只包含 128 B 训练序列的空帧。

4)DMA 发送完成, 将向 DSP 发送中断信号, 为发送新帧做准备。

5)DSP 等待接收主机经 HPI 发送过来的图像数据。

6)DSP 将图像数据影射为码元, 进行空时编码和加权。将 8 码元的导频序列、56 码元图像数据、8 码元的导频序列、54 码元图像数据、2 监督码元合并为数据块, 并将训练序列和连续 20 个数据块封装成帧, 送数据帧到发送缓冲区, 启动 DMA 发送。

7)DSP 向主机发发送请求信号并等待新图像数据。

8)重新回到 5), 直到最后一帧。

9)结束程序。

(2)接收端流程

1)主机加载 DSP 程序。

2)DSP 初始化 Buffers, Codec 和 DMA, 并启动 DMA 进行接收。

3)通过相关运算搜索同步序列。

4)同步完成后, 解包数据帧, 提取导频, 进行信道估计。

5)进行空时解码和加权, 将码元重新合并图像数据。

6)向主机发送中断, 请求读取图像数据。

7)等待 DMA 的接收中断。

8)重新回到 3), 直到所有图像数据都被接收。

9)终止运行。

(上接第 239 页)

ptCenter 数组存储该局部点集的重心坐标, 而成员 m\_bMerge 用来标志单元的点集 m\_p3DPtSet 是否合并了其他点, 该标志主要用在点集的局部法向量拟合后进行点集合并的时候使用。成员 m\_bInvalidate 用来指示点集是否被合并, 成员 m\_iPlaneCenterIndex 用来指示一个点集的标志索引, 成员变量 m\_pPlaneIndex 用于记录每个点集的索引值。

对于无效点集 C<sub>NULL</sub>, 设置了一个指向点集对象 C3DPointSet 的指针 pNullPtSet, 该指针就代表了点集 C<sub>NULL</sub>。图 2 为对预处理后的点云进行分类组织的结果, 其中, 浅色部分为有效点集, 深色部分为无效点集。



图 2 点云深度数据的加载和组织

#### 4 结束语

本文以激光扫描获取的城市建筑物点云数据为研究对象, 根据其在二维投影平面上的图像特征, 探讨了利用深度图像进行三维点云数据加载和组织的计算机算法实现过程, 该方法不仅能有效地简化原始点云数据, 还便于功能的扩展和维护。由于未考虑不同细节层次点云数据的表达, 本文中采用的算法尚不完善, 还需进一步改进和优化。

本文实际运行的 MIMO 系统, 发送端在 4 楼, 接收端在 2 楼, 临公路。测试结果如表 1 所示。

表 1 测试结果

	BER		
	1×1 个天线	2×1 个天线	2×2 个天线
40 (Kb·s <sup>-1</sup> )	2.2×10 <sup>-3</sup>	5.9×10 <sup>-4</sup>	0
120 (Kb·s <sup>-1</sup> )	1.9×10 <sup>-2</sup>	9.6×10 <sup>-3</sup>	3.3×10 <sup>-3</sup>

#### 5 结束语

理论仿真和实际测试结果表明本文设计的 MIMO 2x2 系统可作为教学或应用研究中的设计参考。完整的系统还应包括信道编码和交织部分, 它们对系统性能的提高有重要作用, 由于信道估计算法对空时解码的影响较大, 而本系统只采用 8 码元的训练序列, 因此精度不够, 这将在以后的工作中逐步完善。

#### 参考文献

[1] 苏 昕. MIMO 无线通信系统中若干问题的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.

[2] 原 玲, 赵广金. MIMO 技术及其在未来无线通信中应用[J]. 通信技术, 2004, (3): 31-33.

[3] Foschini G J. Layered Space-time Architecture for Wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi-element Antennas[J]. Bell Labs Technical Journal, 1996, 1(2): 41-59.

[4] Alamouti S M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications[J]. Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 1451-1458.

[5] TMS320C6000 Peripherals Reference Guide[Z]. (SPRU190C), Texas Instruments, 2001.

#### 参考文献

[1] 李清泉, 杨必胜, 史文中, 等. 三维空间数据的实时获取、建模与可视化[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.

[2] 宋晓鹏. 基于 VTK 的室外场景三维重建[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.

[3] 何文峰. 大型场景三维重建中的深度图像配准[D]. 北京: 北京大学, 2004.

[4] 孟 放. 大型三维点云数据的交互绘制研究[D]. 北京: 北京大学, 2005.

[5] Hoppe H. Progressive Meshes[C]//Proc. of SIGGRAPH'96. New Orleans, LA, USA: [s. n.], 1996: 99-108.

[6] Floriani L D, Magillo P, Puppo E. Building and Traversing a Surface at Variable Resolution[C]//Proc. of IEEE Visualization. Phoenix, AZ, USA: [s. n.], 1997: 103-110

[7] Puppo E. Variable Resolution Triangulations[J]. Computational Geometry: Theory and Applications, 1998, 11(3): 219-238.

[8] 严小天. 基于局部分段线性拟合的点云数据绘制方法研究[D]. 北京: 北京大学, 2003.

[9] RIEGL Inc. RIEGL User's Guide (Version 1.2.0sp1)[EB/OL]. (2005-07-14). [http://utd.edu/~aiken/leicadata/riscan\\_pro.pdf](http://utd.edu/~aiken/leicadata/riscan_pro.pdf).

[10] Stamos I, Allen P K. 3-D Model Construction Using Range and Image Data[C]//Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. Hilton Head Island, USA: [s. n.], 2000: 531-536.

