

The Unequal of Sending and Receiving Antenna Performance Comparison of Several Kinds of Coding Way under the MIMO System

Shihang Zhao

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu
Email: 854418908@qq.com

Received: Jul. 23rd, 2016; accepted: Aug. 8th, 2016; published: Aug. 11th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

MIMO system uses multiple antenna to get diversity gain and multiplexing gain, which can resist the channel fading rate and get more information. You can't have your cake and eat it. However, to better against channel fading and improve the signal-to-noise ratio, it has to sacrifice the transmission rate, *vice versa*. In [1] a 2×2 MIMO system is expounded advantages and disadvantages of several coding strategy. This article mainly explores the performance of the comparative analysis of several kinds of coding strategy, the receiving antenna and transmitting antenna number which are not equal.

Keywords

MIMO, Diversity Gain, Multiplexing Gain, Coding Strategy

收发天线不对等的MIMO系统下几种编码方式的性能比较

赵诗航

南京邮电大学, 江苏 南京

Email: 854418908@qq.com

收稿日期: 2016年7月23日; 录用日期: 2016年8月8日; 发布日期: 2016年8月11日

摘要

MIMO系统由于在收发端使用多根天线, 获得了分集增益和复用增益, 可以抵抗信道衰落和获得更大的信息速率。然而鱼和熊掌不可兼得, 要更好地对抗信道衰落, 提高信噪比, 就得牺牲传输速率; 反之亦然。在[1]中阐述了 2×2 MIMO系统中几种编码策略的优劣, 本文主要探究接收天线和发射天线数目不相等的情况下, 对比分析几种编码策略的性能。

关键词

MIMO, 分集增益, 复用增益, 编码策略

1. 引言

相比 SISO, 多入多出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)系统拥有两个优势: 1) 在发射端对发送信号进行预处理, 利用通信系统的多径衰落, 接收端对接收到的独立信号副本进行合并, 进而获取分集增益; 2) 在发射端将数据流分成多个子数据流从不同的天线发射出去, 这样可以提高传输速率, 进而获得复用增益。然而在实际运用中, 不总是需要满复用增益或者是满分集增益, 而且两者之间的某一折中点, 从而获得最理想的信道状态。

采用合适的空时编码可以同时获得分集增益和空分复用增益, 但两种增益要受到最佳折衷关系的限制。以往的文献对两种增益关系的研究不多, 各种空时编码方法往往是为了追求最大分集增益或者最大空间复用增益。文献[2]对两种增益之间的关系进行了研究, 给出了一种折衷关系。本文将几种常见的编码思路应用到收发天线数目不对等的 MIMO 系统中, 进行分析比较。

2. 系统分析

衡量分集的标准可用“分集增益”来表示, 这里研究空间分集。由文献[3]得知, 传输的符号可能经由不同的传输路径到达接收机, 这样可以提供分集增益, 降低误码率。分集增益的定义为式(2.1):

$$d = \lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{\log P(SNR)}{-\log SNR} \quad (2.1)$$

其中: $P(SNR)$ 为帧差错概率, 表示所有差错时间的成对差错概率之和。在一个通信系统中, 分集增益就可以用发送天线到接收天线间可辨识的传播路径来衡量[4]。由于 MIMO 系统可以在同一时刻同时传输多个符号, 这样就可以提供复用增益, 提高数据传输速率。将 MIMO 系统能够得到的传输速率与 SISO 系统最大的传输速率比值即为复用增益, 定义为式(2.2):

$$r = \lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{R(SNR)}{\log SNR} \quad (2.2)$$

在一个通信系统中, 衡量复用的标准可用“自由度”来表示, 即每时刻能发送不同数据的数量。首先考虑一根发射天线和两个接收天线的情况: 如图 1, 在某一时刻, 信号 X 从 A 天线发射出去, 由天线

B 和 C 接收，此时信号 X 有两条路径，因此分集增益为 2；而同一时刻只有信号 X 在系统中传输，复用增益为 1。再看两个发射天线一个接收天线的情况：如图 2，天线 A 发送信号 X，天线 B 发送信号 Y，那么天线 C 就会接收到 $h_1 \cdot X + h_2 \cdot Y$ ，考虑相干解调，在一个方程式上无法解两个未知数，所以此自由度仍然为 1。此时加一根发射天线，即 2×2 的 MIMO 系统，那么就会有两个方程式解两个未知数，是可行的。因此 2×2 的 MIMO 系统最大支持自由度为 2。

如果加一根接收天线，即 2×2 的 MIMO 系统，如图 3，那么天线 D 接收到的信号就是 $h_1 \cdot X + h_2 \cdot Y$ ，结合天线 C 所接受的信号，就会有两个方程式，有唯一解。因此 2×2 的 MIMO 系统最大支持自由度为 2。假如天线 A 和 B 发送一样的信息 X，那么 X 在此系统一共就有 4 条路径，也就是支持最大为 4 的分集增益。

接下来分析， 3×2 的 MIMO 系统，即 3 个发射天线和 2 个接收天线：如图 4，假设三根发射天线都发 x 信号，那么 x 信号就有 6 条路径，即分集增益为 6；考虑到天线 D 接收到的信号为 $h_1 X + h_3 Y + h_5 Z$ ，天线 E 接收到的信号为 $h_2 X + h_4 Y + h_6 Z$ ，和图 2 的情况一样，无法用两个方程得到三个未知数的唯一解，因此自由度为 2。

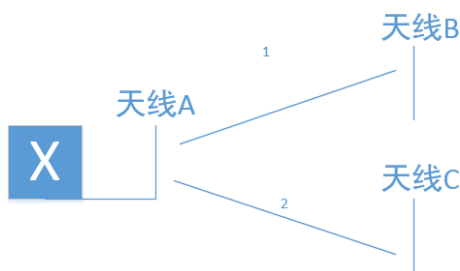


Figure 1. 1×2 SIMO system
图 1. 1×2 SIMO 系统

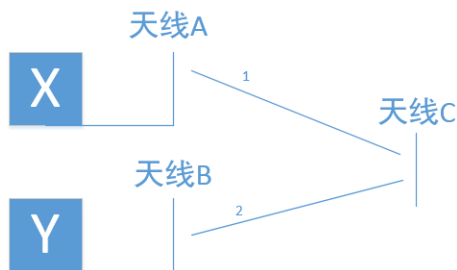


Figure 2. 2×1 MISO system
图 2. 2×1 MISO 系统

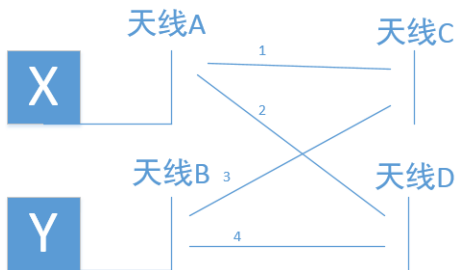


Figure 3. 2×2 MIMO system
图 3. 2×2 MIMO 系统

3. 在不同编码方式下所获得的分集与复用增益的研究

第二节分析得出，一个 3×2 MIMO 系统最大分集增益为 6，复用增益(自由度)为 2，且由[5]的结论在 m 根发射天线 n 根接收天线的 MIMO 系统中，若信道衰落在 l 个符号周期内保持不变，并且满足 $l = m + n - 1$ ，编码方案的编码长度等于信道衰落块长 l ，则，则最优编码方案获得的分集增益 d 和复用增益 r 的折衷关系如下公式

$$d^*(r) = (m-r)(n-r) \tag{3.1}$$

式(3.1)为一个 MIMO 系统中，通过编码可以获得的折衷性能上限。也就是说，一个编码的分集与复用增益值越接近这条曲线，说明该编码对信道资源的利用越充分。以 3×2 的 MIMO 系统来分析“重复编码”，“Alamouti”编码和“V-BLAST”3种编码策略进行分析，定量分析其分集增益和复用增益。

3.1. 重复编码策略

参考[6]：如图 5，在时刻 t_1 天线 A 上发送 X，天线 B, C 关闭； t_2 时刻，B 发送 X，天线 A, C 关闭； t_3 时刻，天线 C 发送 X，天线 A, B 关闭。综上描述，信号 X 经过了 1~6 六条路径，因此获得了满分集增益 6，但是三个时刻只发送了一个型号，自由度为 1/3，相比[1]中的 2×2 MIMO 系统的重复编码策略，同样是满增益，自由度更低，因此，对于更多的发射天线，重复编码策略只会导致传输效率更低，它的唯一作用就是满分集增益。

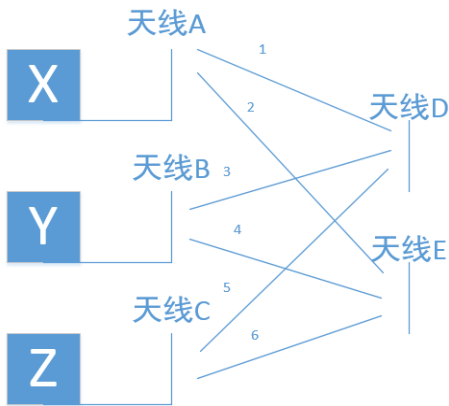


Figure 4. 3×2 MIMO system
图 4. 3×2 MIMO 系统

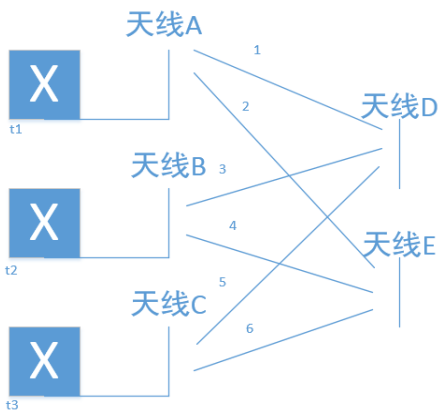


Figure 5. Repeated coding schemes
图 5. 重复编码示意图

3.2. Alamouti 编码策略[7]

如图 6, t_1 时刻, 天线 ABC 分别发送 XYZ 三个信号, t_2 时刻分别发送 YZX 信号, t_3 时刻分别发送 ZXY 三个信号, 经过三个时刻, 每个符号都能经历 6 条路径, 一共传了 3 种信号, 因此分集增益 6, 复用增益为 1, 与[1]中 2×2 的 MIMO 系统相比, 复用增益不变。

3.3. V-BLAST 策略

BLAST (Bell Labs Layered Space Time)系统将高速信源数据流按照发送天线数目串并变换为若干子数据流, 独立地进行编码、调制, 然后分别从各发射天线上发送出去, 充分利用了空间复用(Spatial Multiplexing)技术。这些发射的数据流在空间中占据同一频带, 因此经过无线信道的传输之后, 信号就发生了混合。在接收端, 系统利用估计的信道特征, 选择合适的译码检测算法来分离这些数据流, 得到发送信号的估计值[8]。

3.3.1. 最大似然(ML)检测算法

最大似然检测算法是最佳的矢量译码算法, 是在所有可能的发送信号矢量中进行遍历搜索, 以得到使似然函数最大的信号向量[8]。如图 7, 假如天线 A 发送 X 信号, 那么就会通过信道 1, 2 分别到达天线 D 和 E, 那么天线 D 和 E 只接受来自信道 1, 2 方向来的信号。那么对于一个 3×2 MIMO 系统, 此方法就分解成了 3 个 SIMO 子系统, 每个信号都经历两条路径, 分集增益为 2。

3.3.2. 迫零(ZF)检测算法

基于空间正交映射, 可以完全消除来自其它发送天线的干扰[8]。如图 8, 天线 D 要接受天线 A 发射来 X 信息, 那么天线 B 和 C 的干扰就要消除。天线 E 接受天线 B 的 Y 消息也是如此。天线 C 只能参与 A 或者 B 的分集发射, 因为没有天线去接受新的消息了。综上所述, 3×2 MIMO 系统采用迫零检测算法获得的分集增益为 1, 复用增益为 2。

3.4. 小结

1) 重复编码和 Alamouti 编码均是为了最大化分集增益而设计的编码方式, 而 Alamouti 编码方式在满足了最大化分集增益的情况下, 提供了更高的复用增益, 却需要保证发射天线的发射序列是正交的[9], 编码复杂度高于重复编码。

2) V-BLAST 即垂直分层空时编码, 是为了最大化频谱利用率(复用增益)而设计的, 与重复编码、Alamouti 编码是两个理念, 所提及两种接收方式: 最大似然检测算法和迫零(ZF)算法决定了整个 MIMO 系统的性能: 最大似然接收法不仅性能优于 ZF 算法, 而且是目前最优秀的信号检测算法, 但是其算法的复杂性十分高, 尤其是收发天线较多的情况下, 很难实现; 迫零(ZF)检测法拥有很简易的算法, 实现难度低, 但是会放大噪声[10], 因此不适合低信噪比的情况。

4. 分集增益与复用增益之间的取舍

由第三节分析可知, 在 3×2 MIMO 系统下重复编码与 Alamouti 编码具有满分集增益, 但是复用增益很低; 而 V-BLAST 编码的两种接收机制则有满复用增益, 但是分集增益很低, 具体性能见表 1。

表 2 是[1]中 2×2 MIMO 系统下, 以上编码技术所获得的增益。

因此可以看出以下几点:

相比较重复编码, Alamouti 编码在收发天线增加的情况下, 能保持复用增益不会减少。

单纯增加发送或者接受天线可以增加分集增益, 但是却增加不了复用增益, 在此可以给出如下解释:

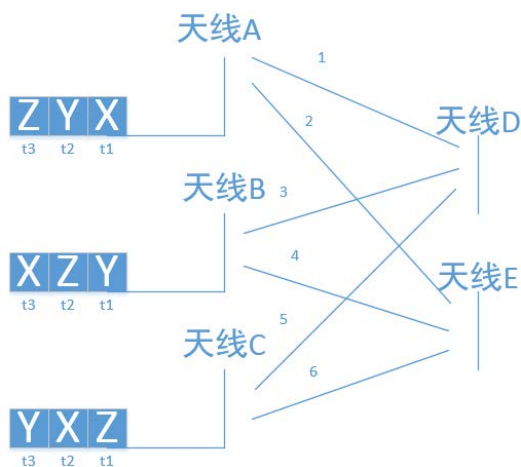


Figure 6. Alamouti coding schemes
图 6. Alamouti 编码示意图

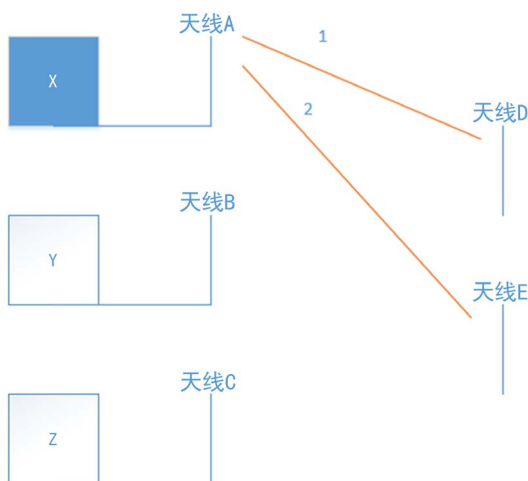


Figure 7. Maximum likelihood detection algorithm
图 7. 最大似然检测算法

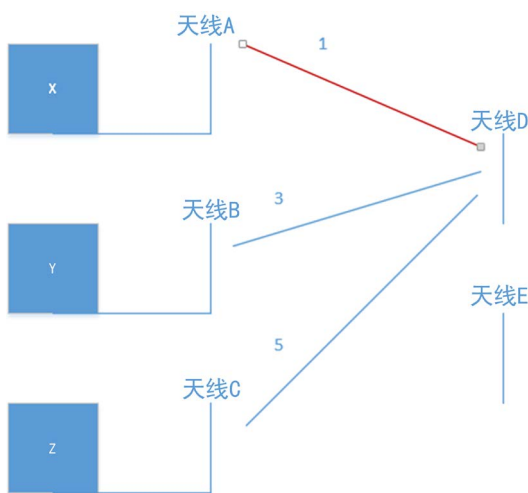


Figure 8. Zero forcing detection algorithm
图 8. 迫零检测算法

Table 1. 3×2 MIMO system coding gain
表 1. 3×2 MIMO 系统编码增益

发送策略	分集增益	复用增益
重复编码	6	1/3
Alamouti 编码	6	1
V-BLAST (最大似然接收)	2	2
V-BLAST (迫零检测)	1	2

Table 2. 2×2 MIMO system coding gain
表 2. 2×2 MIMO 系统编码增益

发送策略	分集增益	复用增益
重复编码	4	1/2
Alamouti 编码	4	1
V-BLAST (最大似然接收)	2	2
V-BLAST (迫零检测)	1	2

接收天线少于发送天线，那么就类似没足够的方程式去解未知数；发送天线少于接收天线，那么源头上就不能同时发相当于接收天线数目的并行信号。

5. 结束语

从分集增益角度来看，看似 Alamouti 编码的性能在复用性能上优于重复编码，但是目前所能查找到只有 2^n 根发射天线的编码方案，三根天线的编码带来的增益仅为理论上，未研究出具体的编码矩阵；而重复编码策略无论几根发射天线，始终能实现满分集增益；从复用角度来看，最大似然接收检测算法的分集增益更大，而随着收发天线增城，其复杂度呈指数上升，说明该算法不适合大规模收发天线的情况，相比较下来，迫零检测法很容易实现，但其算法会放大噪声，所以只适合高信噪比情况。本文在深入浅出地在 3×2 MIMO 系统上简明扼要地分析比较了几种常见的编码策略性能。而设计者在实际条件下，不仅需要考虑最大化信道容量以及稳定性，而且要权衡实现的代价。

参考文献 (References)

- [1] 张永, 吴清华, 徐亚光, 任重. MIMO 系统中空间分集增益与复用增益的权衡分析[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2013(3): 340-344.
- [2] Zheng, L.Z. and Tse, D.N.C. (2003) Diversity and Multiplexing: A Fundamental Tradeoff in Multiple-Antenna Channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, **49**, 1073-1096. <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.2003.810646>
- [3] 黄丘林, 史小卫. MIMO 系统中分集增益和空间复用增益的折衷关系[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(3): 681-685.
- [4] 许晓荣, 章坚武, 郑宝玉. 一种基于分布式空时码的协作 MIMO 分集复用折中新方案[J]. 电信科学, 2011(3): 71-77.
- [5] 徐娜, 孙怡. MIMO 系统分集复用折衷的研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [6] 孙艳华, 张延华. 几种 MIMO 最大似然检测算法性能与复杂度比较及改进[J]. 电路与系统学报, 2008(4): 65-68.
- [7] 陈强. 预编码 Alamouti 方案多天线系统性能研究[J]. 电波科学学报, 2010, 25(3): 445-452.
- [8] 吴婷婷, 葛利嘉. V-BLAST 系统检测算法的分析与改进[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [9] 伍文平, 陈琳, 刘艳清, 彭刚. Alamouti 方案编译码分析与性能仿真[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(19): 5878-5880.
- [10] 郭鸣霄, 徐鹏飞, 王瑞山. MIMO 系统的信号检测算法分析[J]. 电子科技, 2016, 29(3): 65-67.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>