信道编译码中线性分组码的译码研究

Research on decoding of linear block codes in channel coding

班级： 信 息1505

学号： 1049721503157

姓名： 肖 遥

# 摘 要

随着科技经济的快速发展，无线通信技术越来越广泛的应用在各个领域之中。同时，我们对无线通信信道数据的可靠新传输要求也越来越高。信道编码，是通过增加序列冗余来增加系统的可靠性。信道译码是将接收到的符号消息根据某种规则判决为对应于信源符号消息集合中的某一个，译码时用到的规则称为译码准则。提高无线通信系统的稳定性和可靠新，信道编码和译码扮演着十分重要的角色。

在本文中，我主要对线性分组码的译码进行研究。首先简要介绍线性分组码的基本原理，然后介绍最大似然译码准则和一些软判决译码算法如GMD算法和chase算法等。

**关键词**：线性分组码；信道编码；最大似然准则； 软判决译码算法

# Abstract

With the rapid development of the new Technology, wireless communication systems are widely used in different areas. The requirement of higher capacity of transmitting data is increasing dramatically for wireless channels. But the wireless channel is complex in piratical application. Due to the properties of time-varying and damped bandwidth limited, disturbance and noises, there may exist large errors in received signals. In order to reduce bit error rate and improve the quality of communication, channel coding technology is one of the main methods.

In this paper, we mainly study the decoding of linear block codes. Firstly, the basic principle of linear block codes is introduced, and then the maximum likelihood decoding criterion and some soft decision decoding algorithms such as GMD algorithm and chase algorithm are introduced.

**Key words**: Linear block codes；channel coding；Maximum likelihood criterion；Soft decision decoding algorithm

目 录

[摘 要 I](#_Toc445629633)

[Abstract II](#_Toc445629634)

[第一章 信道编码概述 1](#_Toc445629635)

[1.1 数字通信系统简介 1](#_Toc445629636)

[1.2 线性分组码简述 2](#_Toc445629637)

[第二章 最大似然译码算法 4](#_Toc445629638)

[2.1 软判决译码 4](#_Toc445629639)

[2.2 可靠度及基于可靠度的译码方案 5](#_Toc445629640)

[2.3 基于LRP的最大似然译码算法 6](#_Toc445629641)

[2.3.1 GMD译码算法 6](#_Toc445629642)

[2.3.2 Chase译码算法 6](#_Toc445629643)

[2.3.3 通用最小距离算法和Chase译码算法 7](#_Toc445629644)

[第三章 线性分组码的级联译码算法 9](#_Toc445629645)

[3.1 OSD和Chase的并行级联译码算法 9](#_Toc445629646)

[参考文献 10](#_Toc445629647)

# 信道编码概述

## 数字通信系统简介

数字通信系统是利用数字信号传输信息的系统，是构成现代通信网络的基础。数字通信系统模型主要构成模块和功能性框图如图 1.1 所示。

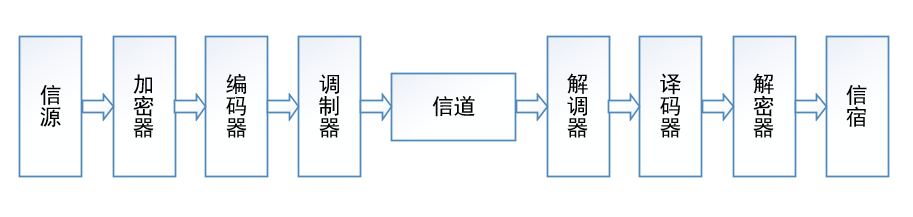


图1.1 数字通信系统模型

信源是信号的发射器，把原始信息变换为原始电信号。原始电信号经过编码器进行信源编码和信道编码，信源编码实现模拟信号的数字化即完成A/D转换，用尽可能少的数字脉冲来表示信源产生的信息；信道编码主要解决数字通信的可靠性问题，对输入的信息码元按一定的规则加入冗余码或称监督码，形成新的码字。然后使用数字调制技术，把数字基带信号的频谱搬移到高频处，提高信号在信道上的传输效率，达到远距离传输的目的。

信道是信号传输媒介的总称，传输信道的类型有无线信道和有线信道两种。信号通过信道后，在接收端进行与发送端相反的步骤：解调—译码—解密，最后发送到信宿。其中译码是编码的逆过程，按照一定的规则将接受的信号进行判决，同时去掉比特流在传播过程中混入的噪声。信道译码准则主要有最小错误概率准则和最大似然译码准则。

## 线性分组码简述

分组码的基本思想是以k个信息码元为一组，对每组的k个信息，通过一定的代数结构产生rd个校验码元,输出一个长为n=k + rd的码字。长度为n的二进制分组码中，有2n种可能的码字，从这2n种码字中,可以选择M = 2k个码字组成一种码。这样，一个k比特信息分组,可以映射到长度为n的一个码字。该码字是从由2k个码字构成的码集中选出来的。这样得到的分组码称为（n，k）码,定义为编码效率码率。

调制信道包括三部分，分别是发转换器装置、媒质和收转换器装置。调制信道主要用于研究和分析调制与解调的问题，例如调制器输入端的信号与噪声之间的特性以及输出的信号形式。

编码信道有三个部分，分别是调制器、调制信道以及解调器。编码与译码问题是编码信道的主要研究问题，在数字通信系统中，采用编码信道能够使分析问题相对变得简单。编码信道的主要作用是对输入信号序列按照一定规则，插入冗余代码，使其输出信号序列相对于输入信号序列发生改变。

码字重量是线性分组码的一个重要参数，即一个码字中的非零元素个数。两个码字间对应位置上不同元素的个数称为码字间的汉明距离。

可以证明，对于一个最小距离为d0的（n，k）线性分组码，有

1. 若d0 > e + 1，表示此码能检测e = d0 – 1个随机错误；
2. 若d0 > 2t + 1，表示此码能纠正t = （d0 – 1）/ 2个随机错误；
3. 若d0 > t + e + 1，表示此分组码能纠正个随机错误同时检e（>t）个错误。

所以最小距离d0反映了码字的纠检错恩能力。d0越大，码的纠错能力和检错能力就越强。

译码器的任务是从受损的信息序列中尽可能地恢复出原来的信息。作为译码器的输入，译码算法的已知条件是：(1)实际接收序列R；(2)发送的信息序列C；(3)信道模型及信道参数。其中(1)，(2)是必要条件，而(3)尽管为译码算法提供了分析、选择的依据，但并非所有译码过程都直接用到它。译码器译码时,根据接收序列R解得发送信息序列的估值。

# 最大似然译码算法

## 2.1 软判决译码

对于(n，k)线性分组码,假设最小汉明距离为dmin，使用BPSK调制,通过AWGN信道。假设信道噪声的双边功率谱为N0/2，发送信号是归一化功率。假设发送码字为v = ( v0，v1…vn-1 )，为了传输,这个二进制序列映射为一个BPSK星座序列,用向量表示为c = ( c0，c1…cn-1 )，对，有

（2-1）

使用这种可信度标准。找到使得式中最大的码字，即为最大似然译码码字。

信道编码方法的基本思路：在发送端，在被传输的信息码元里按照某种既定规则添加一些冗余码元；在接收端，根据该规则分析消息码元与冗余码元的相互制约关系。当传输中有错误存在的时候，消息码元与冗余码元之间原有的这种制约关系便被改变，接收端利用这一点能够进行检错、纠错。如果信道的传输速率一定，因为冗余码元的存在，势必会降低用户输入的信息速率，新加入的冗余码元越多，消息码元与冗余码元之间的联系就更紧密，信号的检错能力与纠错能力就会更强，但同时也导致信道传输消息时相同时间内传输承载有用信息的码元越少，也就导致了编码效率变小。所以，通信系统传输信息的可靠性与信道传输速率两者是相悖而行的。

信道编码的性能指标：

1. 编码效率：将传输的消息码元有k位，经过信道编码后添加了n – k = r位冗余码元，将η = k / n记为编码效率。
2. 编码增益：在误比特率一定的条件下，经过信道编码后传输的信噪比与未经信道编码的情况下传输的信噪比的差值Eb / N0称为编码增益。
3. 编码时延。
4. 编码器与译码器的复杂度。

## 2.2 可靠度及基于可靠度的译码方案

使用表示接收端匹配滤波器的输出软判决序列，对，假设每个接收符号ri都是相互独立地由下式所规定的硬判决准则进行判决获得：

由于对数似然比（LLR）：

与成正比，所以ri的幅度可以用来作为硬判决比特的可信度量。其中是传输的第i个比特。

基于上述给定的可信度度量方法,我们可以对接收符号序列按照可信度的降序进行排列。这种排列的一个结果,就是硬判决序列中,左侧符号的可信度要比右侧符号的可信度高。因此如果出现错误,则错误出现在低可信度判决序列中的概率要高于出现在高可信度序列中的概率。基于这种考虑,各种按照接收符号可信度的软判决译码算法被提出。

基于接收符号的可信度度量,接收符号可以按照一定准则分为两个部分：一个部分包含所有低可信度位置，称LRPs；一部分包含高可信部分，称作MRPs。译码算法也可以基于这种分类分为对LRPs进行处理的算法和对只进行处理的算法。

我们可以归纳一种通用译码方案如下：

1. 对r的LRPs部分构造错误模式集合E。
2. 对每个E中的错误模式，生成一个修改后的接收向量z + e。
3. 使用代数译码算法把z + e译作码字C（如果z + e中含有较多的错误，超过代数译码的纠错能力范围，则译码也有可能会失败）。
4. 步骤和产生一个候选码字序列。对这些候选码字计算其评估值如果使用相关代价作为评估值，则选择相关代价最小的作为龙亿码字，如果使用相关度作为评估值，则选择相关度最大的作为五孔码字。

## 2.3 基于LRP的最大似然译码算法

### 2.3.1 GMD译码算法

GMD算法非常简单，但是比较巧妙地使用了接收符号的软信息，从而提高了代数译码的性能。对一个（n，k）线性分组码，具有最小汉明距离dmin，这种算法使用纠错删除译码方法产生最多为[(dmin+1)/2]个的候选码字，然后选出最有可能的一种最为译码码字。纠错删除译码算法能够正确译码，只要：

GMD算法知识考虑个LRPs位置，进行可能的组合，作为删除符号。算法如下：

1. 对r进行硬判决为z，并形成z的可信度序列。
2. 对硬判决序列z的个LRPs产生一个长度为的修改序列。如是偶数，则删除LRPs中的1、3、...、个最不可靠符号。
3. 使用纠错删除译码算法对（2）中的每种删除进行译码获得一个候选码字。
4. 对每个候选码字，计算其相关代价，选择代价最小的一个作为译码码字。步骤（2）和（3）可以同步执行。在多数场合下，这种算法产生少于个候选码字。

### 2.3.2 Chase译码算法

根据对GMD算法进行的总结，Chase提出了三种算法，分别为Chase-1，Chase-2，Chase-3算法。对二进制线性分组码，Chase-3最简单，GMD与类似。但是Chase-3不同于GMD对某些位置的删除，而是对这些位置进行比特翻转，然后使用纠错译码算法进行译码。Chase-3译码步骤如下：

1. 对r进行硬判决为z，并形成z的可信度序列。
2. 对硬判决序列z的个LRPs产生一个长度为的修改序列。如是偶数，则翻转LRPs中的1、3、...、个最不可靠符号。如是奇数，则翻转LRPs中的0、2、4、...、个最不可靠符号。
3. 使用纠错删除译码算法对（2）中的每种翻转进行译码获得一个候选码字。
4. 对每个候选码字，计算其相关代价，选择代价最小的一个作为译码码字。

从步骤（2）中可以看出，如果为偶数，在中，奇数重量的错误模式被加到z中，然后进行译码。如果为奇数，在中，偶数重量的错误模式被加到z中，然后进行译码。在大多数场合下，这种算法产生少于个候选码字，因为（3）中有可能因不能译码而失败。对二进制分组码，Chase-3算法与GMD算法有相同的译码性能和译码复杂度。

Chase-2是Chase-3算法的改进。相对于Chase-3算法，Chase-2产生一个更大的候选码字集合。这种算法下，对z中个LRPs，进行所有可能的比特翻转。这种算法执行如下步骤：

1. 对r进行硬判决为z，并形成z的可信度序列。
2. 产生一个错误模式集合E，对每种模式e，对硬判决序列在z修改为z +e；
3. 使用纠错删除译码算法对（2）中的每种翻转进行译码获得一个候选码字。
4. 对每个候选码字，计算其相关代价，选择代价最小的一个作为译码码字。

其中E为错误模式集合，含有个测试错误模式。所以这种算法的复杂度与最小汉明距离dmin之间是指数关系，因此在dmin较大时，算法的复杂度要远远高于Chase-3算法，但是其译码性能要优于Chase-3算法。

### 2.3.3 通用最小距离算法和Chase译码算法

Chase-2和Chase-3可以归纳为一类通用算法，而Chase-2和Chase-3可以看作是这种算法的两个特例。对，这类通用算法中，算法A(a)产生一个最多为个候选码字。对给定的a,我们通过修改接收序列，形成一个错误模式集合E(a)。

对偶数，E(a)包含以下错误模式：

1. 错误模式限于a-1个LRPs，共有个错误模式；
2. 对每个已确定的错误模式之后的i个LRPs进行比特翻转，i=0，1，3…。

对奇数，E(a)包含以下错误模式：

1. 错误模式限于a-1个LRPs，共有个错误模式；
2. 对每个已确定的错误模式之后的i个LRPs进行比特翻转，i=0，2，4…。

# 线性分组码的级联译码算法

## 3.1 OSD和Chase的并行级联译码算法

LDPC码是一种具有稀疏校验矩阵的分组纠错码，几乎适用于所有的信道，因此成为编码界近年来的研究热点。它的性能逼近仙农限，且描述和实现简单,易于进行理论分析和研究，可以高度并行译码处理，非常适合高速数据应用场合，如宽带无线多媒体通信系统、磁存储系统等。

低密度奇偶校验码采用置信传播(BP)迭代译码算法。长码长的LDPC码在迭代译码算法下性能优异，但是由于硬件实现困难，因此研究中短码长LDPC码的译码算法成为当前国内外的研究热点。算法下的中短码长码LDPC要比长码长码性能下降很多。为解决这个问题，出现了各种级联算法，比如BP-BMA，BP-OSD等。

分阶统计译码算法(OSD)和Chase算法等都是一类最大似然译码算法。由于OSD算法和Chase算法复杂度较高，不宜直接应用于的译码，为此我们充分利用OSD算法和Chase算法的互补特性，并使用BP算法作为算法的前级，设计了一种并联级联译码算法。

OSD算法是针对接收序列的MRIPs部分的处理，而Chase是针对接收序列的部分的处理。对于OSD-i算法，如果在工部分中含有超过i+1个错误，但是在个LRPs之外含有少于t+1个错误，则此时OSD-i算法失败，但是Chase-2算法译码会成功。同样道理，如果在部分错误较多，但是在MRIPs部分错误较少，少于i+1，则Chase-2算法失败，而OSD-i算法会成功。

因此可以利用这些特点，设计一个一与一算法的并行译码结构，成分利用二者的优点，以达到译码性能的提高。由于算法和算法对较长码字的运算量太大，不能直接应用于LDPC码，因此我们采用算法作为一并行算法的前级算法，形成一种并行级联译码算法。

# 参考文献

[1] Fossorier M P C. Iterative reliability-based decoding of low-density parity check codes [C]. IEEE，2001

[2] 王新梅，肖国镇.纠错码—原理与方法. [M].第一版，西安西安电子科技大学出版社，2001。

[3] C.Berrou，A.Glavieux，P.Thitimasjshima. Near shanon limit error-correcting coding and decoding: turbo codes(1). [C]. ICC，Geneva,Switztland，1993.

[4] R.G.Gallager. Low-Denisty Parity-Check Code. [J]. IRE Transactions on Information Theory，1962，8[1]: 21-28

[5] 朱志亮.  [线性分组码的基本网格理论以及极小化构造方法](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1011194884.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2012&v=)[D]. 复旦大学 2011

[6] 王晖东.  [Chase型译码算法的相关研究](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2009193310.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2009&v=)[D]. 扬州大学 2009

[7] 黄炜.  [准循环LDPC码的构造及编解码方法研究](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2009017415.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2009&v=)[D]. 复旦大学 2008

[8] 刘菁.  [卷积码和循环码识别技术研究](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2010086952.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2010&v=)[D]. 西安电子科技大学 2010

[9] Fossorier M,Lin S.Soft decision decoding of linear block codes based on ordered statistics. IEEE Transactions on Information Theory . 1995

[10] 曹志刚,钱亚生编著.现代通信原理[M]. 清华大学出版社, 1992

[11] H. Tanaka,K. Kakigahara."Simplified Correlation Decoding by Selecting Codewords Using Erasure Information, ". IEEE Transactions on Information Theory . l983

[12] 陶慧琪.  [软判决译码在信道编码中的应用](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2008195960.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2009&v=)[D]. 哈尔滨工业大学 2007

[13] 郑瑞瑞.  [分组纠错编码盲识别的实现技术研究](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1013217806.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2013&v=)[D]. 杭州电子科技大学 2013

[14] 范平志,陈志,靳蕃.  [分组码的一种高效软判决译码算法](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=DZXU199004021&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD1990&v=)[J]. 电子学报. 1990(04)

[15] Y. S. Han,C. R. P. Hartmann,C.C.Chen."Efficient Priority-First Search Maximum-Likelihood Soft-Decision Decoding of Linear Block Codes,". IEEE Transactions on Information Theory . 1993

[16] Darabiha A,Carusone A C, et al.Block-interlaced LDPC decoders with reduced interconnect complexity. IEEE Transactions on Circuits and Systems II:Express Briefs . 2008

[17] 王新梅,马建峰,马啸.  [软判决译码研究进展](http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=DZXU199807002&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD1998&v=)[J]. 电子学报. 1998(07)

[18] Hao Z,Tong Z, et al.Quasi-cyclic LDPC codes for the magnetic recording channel:Code design and VLSI implementation. IEEE Transactions on Magnetics . 2007

[19] SY.Chung,GD.Forney,Jr TJ.Richardson,et al.On the design of low-density parity-check codes within 0.0045 dB of the Shannon limit. IEEE Communications Letters . 2001

[20] Hagenauer J,Offer E,Papke L.Iterative decoding of binary block and convolutional codes. IEEE Transactions on Information Theory . 1996