

LDPC简介

zcl.space

目录

1 历史	1
2 和Turbo的对比	2
3	3

1963年，MIT的Gallager发明LDPC(Low-density-Parity-Check)码¹。然而，限于当时计算能力，直到30年后（1996），Mackay 和Neal等人对LDPC码进行了再发现和深入研究，LDPC码才逐渐进入人们视野。目前LDPC码在WIFI，WiMax等各种通信协议中都有广泛的使用。2016年，LDPC被3GPP选为5G数据信道编码方案，标志着LDPC在无线蜂窝网络中占得一席。

本文是关于LDPC码的一系列博文中的第一篇，简单介绍LDPC码的发展历史和基本原理。我将在另外的博文中阐述如何构造LDPC码，译码LDPC码以及LDPC码的其他重要特性。²

1 历史

LDPC (Low-density Parity-check, 低密度奇偶校验) 码是由 Gallager 在1963年提出的一类具有稀疏校验矩阵的线性分组码 (linear block codes)，然而在接下来的 30 年来由于计算能力的不足，它一直被人们忽视。1996年，D MacKay、M Neal 等人对它重新进行了研究，发现 LDPC 码具有逼近香农限的优异性能。

¹Gallager-Paper

²Hanzo, Woodard, Robertson Turbo Decoding and Detection for Wireless Applications 2007 Proceedings of the {IEEE} 95, 1178 –1200



并且具有译码复杂度低、可并行译码以及译码错误的可检测性等特点，从而成为了信道编码理论新的研究热点。

McKay, Luby 提出的非正则 LDPC 码将 LDPC 码的概念推广。非正则LDPC码的性能不仅优于正则 LDPC 码，甚至还优于 Turbo 码的性能，是目前已知的最接近香农限的码。

Richardson 和 Urbank 也为 LDPC 码的发展做出了巨大的贡献。首先，他们提出了一种新的编码算法，在很大程度上减轻了随机构造的 LDPC 码在编码上的巨大运算量需求和存储量需求。其次，他们发明了密度演进理论，能够有效分析出一大类 LDPC 译码算法的译码门限。仿真结果表明，这是一个紧致的译码门限。最后，密度演进理论还可以用于指导非正则 LDPC码的设计，以获得尽可能优秀的性能。现在Richardson就职于高通，显然是LDPC码进入3GPP eMBB信道的幕后推手之一。Richardson创立的 Flarion公司推出的基于 ASIC 的 Vector-LDPC 解决方案使用了约 260 万门，最高可以支持 50000的码长，0.9 的码率，最大迭代次数为 10，译码器可以达到 10Gbps 的吞吐量，其性能已经非常接近香农限，可以满足目前大多数通信业务的需求。

2 和Turbo的对比

提及LDPC码就不得不提另外一种趋近香农限的码：Turbo码。1993年Berrou等人发明了Turbo码。很快，Turbo的思想在通信系统的各个领域都有深入的应用，最典型的应用便是进入了3G和4G蜂窝网络。关于Turbo的简单介绍，可以参阅我的另外一篇博文。

与Turbo码相比，LDPC码的主要优势有：

1. LDPC码的译码算法，是一种基于稀疏矩阵的并行迭代译码算法，运算量要低于Turbo码译码算法，并且由于结构并行的特点，在硬件实现上比较容易。因此在大容量通信应用中，LDPC码更具有优势。在深度学习算法横行的今天，运算资源根本不是问题。另外，值得注意的是，基于消息传递算法的LDPC译码算法与机器学习中置信网络算法在本质上毫无二致。目前5G标准要求最高20Gbps的吞吐，对LDPC码来说毫无难度，但是对Turbo码来说却充满挑战。
2. LDPC码的码率可以任意构造，有更大的灵活性。而Turbo码只能通过打孔来达到高码率，这样打孔图案的选择就需要十分慎重的考虑，否则会造



成性能上较大的损失。这也是在5G的eMBB选码过程中，Turbo被诟病的一个方面。

3. LDPC码具有更低的错误平层，可以应用于有线通信、深空通信以及磁盘存储工业等对误码率要求更加苛刻的场合。而Turbo码的错误平层远高于LDPC码，并且目前没有针对Turbo码错误平层的有效应对方法。一种普遍的做法是与其他码级联，形成级联码，但是级联码的实用大大的提高了复杂度。
4. 基于Raptor-like的LDPC码在速率匹配和Harq传输方面有着天然的优势，不需要像Turbo码那样基于一个最低码率（在4G中是1/3，高码率必须通过1/3码率打孔实现。）

与Turbo相比，LDPC的劣势有：

1. 硬件资源需求比较大。全并行的译码结构对计算单元和存储单元的需求都很大。针对这一问题，已经有多重高效的译码算法提出，他们或者基于行并行，或者基于块并行。
2. 编码比较复杂，更好的编码算法还有待研究。同时，由于需要在码长比较长的情况才能充分体现性能上的优势，所以编码时延也比较大。针对这一问题，提出了准循环的LDPC码（QC-LDPC码），其编码过程仅仅需要使用寄存器移位即可实现，并且在实现上可以全并行。
3. 相对于Turbo，工业界支持不够。这一问题随着LDPC优良特性越来越被认可，采用LDPC编码的标准越来越多。5G就是一个典型的例子。有人说5G eMBB信道采用LDPC码标志着LDPC码的巅峰和Turbo码的退出。

3