第1章 引言

## 1.1 概述，背景（VR,无人机）

## 1.2 无线视频传输国内外研究现状

### 1.2.1 无线视频传输系统（自动请求重传机制，MCS，Softcast，数模混合，信源信道联合编码），存在的问题（阶梯效应，信道资源浪费，对信道条件适应不灵活）

### 1.2.2信道编码发展、现状

信道编码即在信息源中增加冗余来检测或纠正传输过程中的衰减、噪声造成的错误，是无线通信中保证通信质量的不可或缺的环节。1948年Shannon发表论文【2】，给出了信道容量的表达式。至此以后，构造尽可能逼近香农极限的信道编码方案就成了研究的热点。

1950年，Hamming基于计算机纠错应用发明了汉明码【3】，通过码字的线性组合生成校验比特实现1比特纠错；1954年，M.Golay提出了二元和三元Golay码【4】，可以实现2到3比特纠错；同年，Muller和Reed发明了Reed-Muller（RM）码【5】；1955年，Elias彻底抛弃了分组码的设计思想，提出了卷积码【6】，各码块不再是独立编码，而是依靠寄存器使当前编码码字与其前后时刻编码码字取得联系。1959年Hocquenghem、Bose和Ray-Chandhuri设计了BCH码【7】，Reed和Solomon将BCH扩展到多元领域提出了RS码【8】；1966年，Forney设计了串行级联卷积码【9】，此码采用内码和外码的形式取得了与Shannon极限3dB内的差距。经典编码设计一般以代数式构造为出发点，其性能与Shannon极限存在较大差异。

1993年，C.Berrou等人于提出了一种接近Shannon极限的新型编码方案——Turbo码【10】。受Turbo码思想影响，1962年R.Gallager提出LDPC码【11】被MacKay等人重新发觉具有近Shannon极限的优秀译码性能。2008年，Arikan基于信道极化理论提出了极化码【12】，其可以在编译码复杂度较低的情况下达到任意小的误帧率。

### 1.2.3 无速率码发展、研究现状

无速率码（Rateless Codes）又称为喷泉码（Digital Fountain， DF），由John.Byer和Michael.Luby于1998年在SIGGCOM上提出【1】。喷泉码是一种线性分组码。传统的分组码通过重传直到接收端正确接收，接收端需要告诉发送端哪个包需要重传。而喷泉码可以在发送端像喷泉一样产生无数比特持续发送，接收端收到一定数量的编码信息后开始译码，当译出所有的信息后通知发送端停止发送。发送端的码率是不确定的，发送的编码符号数量随信道条件灵活变化，所以是一种无速率码。

## 1.3 课题研究的目的和意义，创新点，研究进展和贡献，论文结构安排

无速率码在传输过程中不需要信道反馈且可以自适应地根据信道调制码率。本文针对传统视频通信过程使用有限码率造成的带宽浪费的问题，提出了在视频通信系统中使用无速率码来解决，并设计了一个基于RCM使得信道资源使用率最大化的系统COQRC，并研究了AWGN信道中系统的带宽资源。

第2章 无线视频传输系统的信道编码

这一章首先介绍Turbo码的发展和现状；接着介绍Turbo码译码的原理并推导了MAP算法，Log-Map算法在硬件上的实现；最后列举了硬件实现的Turbo码在相关领域的应用。

## 2.1 信道编码概述，发展，现状（第一章讲过，注意不要重复、这里主要讲Turbo码）

### 2.1.1 Turbo码发展、现状

Turbo码巧妙运用交织器，打乱原比特的序列，体现了随机编码的思想。在译码端，使用了软输出迭代判决的译码思想。

Turbo码的译码算法主要分为两种：软输出维特比算法（SOVA）【13】【14】和MAP算法【10】。随后出现的算法多以降低译码复杂度和改善译码延迟为目标对MAP算法进行改进。1994年Pietrobon提出对数域的Log-Map算法【15】；P.Robertson提出改进的最简Max-Log-Map算法【16】及基于查找表实现矫正项的Log-Map算法【17】；S.Talakoub等人提出了线性Log-Map算法【18】【19】；T.Ottosson等人提出折线Log-Map算法【20】；B.classon等人提出Constant-Log-Map【21】；此外，还有采用非线性函数拟合矫正项的Non-linear Log-Map算法【22】。

在应用方面，Turbo码也获得了长远的发展。1994年，S.L.Goff将Turbo码与网络调制技术结合【23】进行研究；Turbo码可广泛应用于多用户检测【24】；美国空间数据系统顾问委员会（CCSDS）组织将Turbo码作为深空通信标准【25】；DVB-SH标准物理层协议【26】也采用Turbo码作为信道编码方案；3G、4G乃至4.5G移动通信系统均采用Turbo码作为物理信道编码方案【27】。Turbo码在众多应用场合中发挥作用。

### 2.1.2 可编程逻辑器件

可编程逻辑器件通过编程实现既定的功能。至今，可编程逻辑器件已由最初的SPLD（Simple programmable logic device）发展到大规模的ASIC（Application Specific Integrated Circuit）和FPGA（Field programmable gate array）。FPGA具有高速数据处理、并行化运算以及完全可重新配置的能力。本章以Xinlinx公司的Vertix系列产品为载体，给出了Turbo码编译码器的详细设计方案。

## 2.2 turbo信道编译码算法

### 2.2.1 Turbo编码

本文采用的Turbo编码器使用两个递归系统卷积码（Parallelly concatenated convolutional code, PCCC）【10】同时进行编码，输出同步的两路校验比特。图为该编码器的整体结构示意图：



递归系统卷积码简称为RSC（Recursive systematic convolutional code）,编码结构中有反馈回路，并且输出中包含系统位信息。C.Berrou等人于1993年提出的Turbo码表明只有采用递归系统卷积码，Turbo码的译码性能才能达到最优【10】。用（n,k,m）描述卷积编码器的基本参数，m为寄存器的个数，k为某一时刻输入编码器的信息个数，n为输出信息个数，码率为k/n。图中为（2,1，3）RSC分量编码器，其内部结构以生成多项式表示：G=[gb(D),gf(D)]，其中gb(D)为反馈生成多项式，gf(D)为前馈生成多项式。gb(D)=1+D2+D3；gf(D)=1+D+D3.其中D表示移位寄存器。m=3对应的状态数为2m=8个。其编码过程可以用8状态有限状态机来进行描述。编码之前将寄存器的状态初始化为0.

交织器按照一定规则对输入序列顺序进行打乱。交织器一方面可以减少RSC输出的低重码字的数量，增大其自由距离【28】，避免错误平层的影响；另一方面通过交织器组成更长的码块并且增大了输出输出序列的不相关性【29】，使译码性能更好。本文使用QPP交织器。交织输出信息序列和输出信息序列的关系为：ui=uп(i);п(i)=(f1i+f2i2)modK K代表帧长。

### 2.2.2 Turbo迭代译码算法

Turbo码的译码是一个不断迭代的过程，通过两个软输入软输出SISO（Soft input soft output）译码器循环交替译码，来改善互相传递的外信息。译码器的顶层模块如图所示。



（这个图要重新画一下，这个图放在2.3节更合适）

其迭代译码过程如下：

第一次迭代时假设先验信息为0，与系统信息流和一路校验信息流一起送入第一个译码器，输出一路外信息。外信息经过交织重排后和经过交织的系统信息流、顺序输入的另一类校验信息输入第二个译码器。至此完成第一轮迭代。第一轮迭代输出的外信息经过解交织后作为第一个译码器的先验信息输入第一个译码器。当迭代达到一定次数后的对数似然比可以足够精确地判断原始信息序列。

译码器采用Log-Map译码算法。Log-Map译码算法基于Map译码，以最大似然估计为理论依据，以接收到的序列值来计算发送端不同的符号概率。定义后验概率对数似然比L（uk|y），其中，y是接收到序列值，uk是k时刻发送的符号。如图所示是Turbo编码端的8状态网格图。Sk-1和Sk分别代表k-1和k时刻的状态。边上的数字为输入的信息比特uk，输出的系统信息位xks和校验信息xkp。对于每一条边，一旦输入uk以及sk-1确定，那么该条边对应的输出信息以及sk也就确定了。

根据贝叶斯概率公式有：

从而：

由图可知，发送信息比特为0或1的概率等于网格图中所有的由0或1引起的sk-1->sk的状态转变概率之和。记前一时刻的状态为s’，当前状态为s，那么对数似然比LLR可推导为：

将接收序列y根据接收时间分为3个部分，k时刻的yk，k时刻之前y<k和k时刻之后y>k，

对于无记忆信道来说，

上式中最后得到的称为前向递推概率，为分支度量概率，为后向递推概率。LLR可重写为：

无记忆信道传输系统中前向递推概率的递推公式如下：

编码端各分量编码器均由状态0开始，故而的初始值如式：

同理可求得后向递推公式：

若编码段采取了归零处理，那么其初值：

下面进行分支度量的推导：

对应于编码图中从前一状态到现态的转移概率，等价于输入信息序列uk=0或者uk=1的先验概率，即p(s|s’)=p(uk)，定义先验信息计算公式：

则：

其中，。中的第一项等价于，可由基于AWGN信道传输下的联合概率密度函数求得：

==

其中，，与，的无关项可略去。故而：

，，，为信噪比参数，

将中与校验项有关的项提取写成下式：

代入：

代入：

即为外信息的表达式。译码器在译码过程中产生的为LLR减去由另一分量译码器传来的先验信息和系统位信息所得。

MAP译码算法中所含的大量幂运算以及取对数操作难以用硬件电路实现。通过对、以及取对数将其转换到对数域来进行计算可降低译码复杂度。

记：

则对数似然：

其中，.max\*为jacobian算法，

对数域、相应的递推起始值如下：

以上即对数域的MAP译码算法。

## 2.3 turbo信道编译码硬件设计与实现、吞吐率、资源占用、参数

公式中称为矫正项，可见其依然含有幂及对数运算，通过对矫正项的不同简化处理，得到对数域不同的译码算法【23】【30】【31】【32】【33】【34】。

仿真分析了几种经典的对数域MAP译码算法（图），仿真条件为：。结果表明线性log-map算法性能优良且易于硬件实现。译码算法log-map涉及对数运算。定点运算精度比浮点运算低，但是就硬件来说，定点运算消耗的资源少，可实现性更强，效率更高。因此译码器的数据均采用定点数，包含4位整数和4位小数。与浮点数MAP算法和LOG-MAP算法进行对比分析，仿真结果表明，其ber性能损失小于0.5db。（贴图）



Turbo译码框图如图所示。采用部分并行结构，使用两个log-map译码器迭代译码。

对于码长为216bit，码率为1/3的turbo码进行译码，迭代次数为6次，在FPGA工作时钟为200Mhz，吞吐率能达到xxMbps。

## 2.4伪模拟视频传输系统简介（Softcast,伪模拟，开发平台，框图，应用场景（VR,无人机））、turbo在伪模拟无线视频传输系统的应用

SoftCast【35】通过变换和能量分配实现了无线视频传输的无缝自适应，视频质量随着信道质量平滑变化。基于SoftCast的无线视频传输平台使用FPGA作为载体，视频源数据通过HDMI接口传到发送端，经过发送端的一系列处理后使用射频发送；接收端收到数据后进行同步，经过与发送端相反的变换后得到原始视频，再通过HDMI接口连到显示器。伪模拟无线视频传输系统的框图如图所示

发送端

接收端

## 2.5 turbo加速器在C-RAN中的应用

C-RAN将基站由专用设备迁移到通用云平台并实现虚拟化。其最大的挑战在于无线信号的实时处理问题。在LTE中，实时性要求最高的是协议栈的物理层（PHY/L1，Physical Layer）。物理层有一些运算复杂度较高的模块，占用了大部分处理时间和处理资源。它们在通用云平台上的性能低于专用设备。因此，引入硬件加速器实现计算密集型模块是提高处理能力的最佳选择。Turbo译码是物理层所有子模块中计算复杂度最高的模块，其通过多次复杂的迭代计算译码结果。本文将Turbo译码加速器可用于C-RAN。Turbo加速器通过PCIE接口与主机相连，确保加速器和主机之间数据交换的速率。

FPGA实现DMA(Direct Memory Access, 直接存储器存取)控制器和Turbo译码模块。DMA控制主机和加速器间的数据传输，以块为单位进行传输，块大小为4KB的整数倍。Turbo译码模块处理DMA传来的数据，根据电路设计实现译码加速操作。

第3章 基于无速率编码的视频传输系统

## 3.1无速率编码概述，背景，turbo码存在的问题（ARQ,HARQ,阶梯效应）

## 3.2 无速率码编译码研究现状（RCM，CCM）、算法（BP算法 ）

## 3.3 信源压缩编码H.264概述，应用

## 3.4 无速率码率自适应视频传输系统COQRC的设计与实现（框图+实验仿真+性能对比分析）

## 3.5 本章小结

第4章 降低无速率编码峰均比的研究

## 4.1 引言

## 4.2 无速率码存在的问题：编码调制映射星座点，峰均比高

## 4.3 介绍Nested Lattice在无线视频传输系统中的使用

## 4.4 研究进展和成果

## 4.5 本章小结

第5章 总结与展望

参考文献

【1】MacKay D J C. Fountain codes[J]. IEE Proceedings-Communications, 2005, 152(6): 1062-1068.

【2】Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2001, 5(1): 3-55.

【3】Hamming R W. Error detecting and error correcting codes[J]. Bell Labs Technical Journal, 1950, 29(2): 147-160.

【4】Golay M J E. Notes on digital coding[J]. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 1949, 37(6): 657-657.

【5】Reed I S. A class of multiple-error-correcting codes and the decoding scheme[R]. MASSACHUSETTS INST OF TECH LEXINGTON LINCOLN LAB, 1953.

【6】Elias P. Coding for two noisy channels[C]//Information Theory, Third London Symposium. 1955, 67.

【7】Bose R C, Ray-Chaudhuri D K. On a class of error correcting binary group codes[J]. Information and control, 1960, 3(1): 68-79.

【8】Reed I S, Solomon G. Polynomial codes over certain finite fields[J]. Journal of the society for industrial and applied mathematics, 1960, 8(2): 300-304.

【9】Forney G D. Concatenated codes[J]. 1965.

【10】Berrou C, Glavieux A, Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. 1[C]//Communications, 1993. ICC'93 Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on. IEEE, 1993, 2: 1064-1070.

【11】Gallager R. Low-density parity-check codes[J]. IRE Transactions on information theory, 1962, 8(1): 21-28.

【12】Arikan E. Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2009, 55(7): 3051-3073.

【13】Hagenauer J, Hoeher P. A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications[C]//Global Telecommunications Conference and Exhibition'Communications Technology for the 1990s and Beyond'(GLOBECOM), 1989. IEEE. IEEE, 1989: 1680-1686.

【14】Berrou C, Adde P, Angui E, et al. A low complexity soft-output Viterbi decoder architecture[C]//Communications, 1993. ICC'93 Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on. IEEE, 1993, 2: 737-740.

【15】Pietrobon S S, Barbulescu A S. A simplification of the modified Bahl decoding algorithm for systematic convolutional codes[C]//ISITA'94: International Symposium on Information Theory & Its Applications 1994; Proceedings. Institution of Engineers, Australia, 1994: 1073.

【16】Robertson P, Hoeher P, Villebrun E. Optimal and sub‐optimal maximum a posteriori algorithms suitable for turbo decoding[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 1997, 8(2): 119-125.

【17】Robertson P, Villebrun E, Hoeher P. A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain[C]//Communications, 1995. ICC'95 Seattle,'Gateway to Globalization', 1995 IEEE International Conference on. IEEE, 1995, 2: 1009-1013.

【18】Talakoub S, Sabeti L, Shahrrava B, et al. A linear Log-MAP algorithm for turbo decoding and turbo equalization[C]//Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005.(WiMob'2005), IEEE International Conference on. IEEE, 2005, 1: 182-186.

【19】Talakoub S, Sabeti L, Shahrrava B, et al. An improved Max-Log-MAP algorithm for turbo decoding and turbo equalization[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(3): 1058-1063.

【20】Cheng J F, Ottosson T. Linearly approximated log-MAP algorithms for turbo decoding[C]//Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st. IEEE, 2000, 3: 2252-2256.

【21】Classon B, Blankenship K, Desai V. Turbo decoding with the constant-log-MAP algorithm[C]//Proc. 2nd Int. Symp. on Turbo Codes & Related Topics. 2000: 467-470.

【22】Talakoub S, Shahrrava B. A linear Log-MAP algorithm for turbo decoding over AWGN channels[C]//Electro/Information Technology Conference, 2004. EIT 2004. IEEE. IEEE, 2004: 293-296.

【23】Le Goff S, Glavieux A, Berrou C. Turbo-codes and high spectral efficiency modulation[C]//Communications, 1994. ICC'94, SUPERCOMM/ICC'94, Conference Record,'Serving Humanity Through Communications.'IEEE International Conference on. IEEE, 1994: 645-649.

【24】向敬. 信号检测与估计[J]. 1994.

【25】Book B. Consultative Committee for Space Data Systems[J]. 2002.

【26】Shrestha R, Paily R. Performance and throughput analysis of turbo decoder for the physical layer of digital-video-broadcasting-satellite-services-to-handhelds standard[J]. IET Communications, 2013, 7(12): 1211-1220.

【27】Unknown A. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 10)[J]. Technical Specification, 2010, 36.

【28】Fragouli C, Wesel R D. Semi-random interleaver design criteria[C]//Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM'99. IEEE, 1999, 5: 2352-2356.

【29】湛击. 现代纠错编码与调制理论及应用[M]. 人民邮电出版社, 2008.

【30】Nguyen D H, Nguyen H. An improved Log-MAP algorithm based on polynomial regression function for LTE Turbo decoding[C]//Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015: 2163-2167.

【31】Robertson P, Villebrun E, Hoeher P. A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain[C]//Communications, 1995. ICC'95 Seattle,'Gateway to Globalization', 1995 IEEE International Conference on. IEEE, 1995, 2: 1009-1013.

【32】Newman D, Smyth P, Welling M, et al. Distributed inference for latent dirichlet allocation[C]//Advances in neural information processing systems. 2008: 1081-1088.

【33】Papaharalabos S, Sweeney P, Evans B G. Constant log-MAP decoding algorithm for duo-binary turbo codes[J]. Electronics Letters, 2006, 42(12): 709-710.

【34】Wang H, Yang H, Yang D. Improved Log-MAP decoding algorithm for turbo-like codes[J]. IEEE communications letters, 2006, 10(3): 186-188.

【35】Jakubczak S, Katabi D. A cross-layer design for scalable mobile video[C]//Proceedings of the 17th annual international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2011: 289-300.