

图像容错技术研究

崔春惠,张桂玲,张大坤

(天津工业大学 计算机科学与软件学院,天津 300387)

摘要:近年来,随着互联网及通信技术的飞速发展,数字图像等各种数据在网络中的传输更加广泛,人们对图像数据在网络中传输的鲁棒性的要求也越来越高,图像容错技术正是提高这一鲁棒性的重要手段之一。对容错相关技术进行了介绍,对现有图像容错方法进行了研究,分析了各种方法的优缺点。JPEG2000是一种新颖的图像压缩标准,分析了JP2文件及JPEG2000码流的结构特点,重点对各种基于JPEG2000标准的图像在网络传输中的容错算法进行了分析和比较,阐明各种算法的优缺点。

关键词:网络传输;图像;容错;JPEG2000

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)03-0015-05

A Survey on Image Fault Tolerance Technology

CUI Chun-hui, ZHANG Gui-ling, ZHANG Da-kun

(School of Computer Science & Software Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In recent years, network and communication technology have developed rapidly, and transfer robustness of image data on the network is becoming more and more important. Image fault tolerance technology is one of key measures for improving the robustness. Advantages and deficiencies of currently existing image fault tolerance algorithms are analyzed and compared, and the development trend of image fault tolerance technology is discussed. Then JPEG2000 based fault resilience algorithms for image transmission on network are investigated particularly. Advantages and deficiencies of each algorithm are presented after analyzing and comparing the performance of these methods.

Key words: network transfer; image; fault tolerance; JPEG2000

0 引言

随着网络技术和普及,图像、视频等多媒体信息在网络中的传输非常广泛。受带宽限制,网络中传输的图像大都采用压缩技术来减小数据量。但是由于网络传输环境复杂,无论有线网络还是无线网络^[1,2]都存在着各种不稳定因素,而经典图像压缩技术对于网络中出现的传输不稳定情况缺乏有效的容错能力。尤其是预测编码等技术的广泛应用,大大增加了数据之间的相关性,若某些数据在传输过程中损坏,可能会导致与它相关的一系列数据不能被正确解码。因此需要在既能保持图像高压缩比的同时,还能提高图像容错性能,使压缩效率与容错性能之间达到很好地平衡,来提高图像在网络传输中的可靠性。图像容

错的主要思想就是当图像数据部分发生了错误或丢失(如在网络传输中)时,也能被正常接收和解码,并获得较好的视觉效果。为此,近年来图像容错方法已经成为图像处理,特别是网络传输图像处理的重要研究内容。

1 图像传输容错技术分类

图像传输容错技术有多种划分依据,可根据编码位置不同分为信源编码、信道编码和信源信道联合编码,也可根据功能的不同分为保护方案和补救方案。

信源编码指传输前对图像进行处理,在保证能不失真地恢复原来数据的前提下减少数据中的冗余,压缩数据;信道编码的思想与之相反,在数据中增加冗余信息以提高数据的抗干扰性,实现检错和纠错的功能;将这两种方法结合起来即信源信道联合编码。保护方案是指在传输前,通过对数据进行处理,如分层编码、变换等,来提高数据的容错能力;补救方案指在接收到受损图像之后,采用某种恢复算法对受损图像进行复原的方法。

收稿日期:2010-07-13;修回日期:2010-10-19

基金项目:天津市“十一五”重点投资人才引进计划(029416)

作者简介:崔春惠(1986-),女,硕士研究生,研究方向为图像处理;张桂玲,教授,博士,CCF会员,研究方向为图像处理等;张大坤,教授,博士,研究方向为图像处理、组合算法设计等。

经典的网络传输容错技术,如检错重发、前向纠错、混合纠错、反馈校验等均属于信道编码,以无损传输为目的,但缺乏对图像数据特点的针对性,是通用的容错方法。以这些方法为基础,人们提出了多种针对图像的容错方法。

2 图像传输容错关键技术

数字图像具有数据量大、冗余信息多的特点,因此图像容错方法需要与图像压缩技术相结合。一些压缩算法能够在一定程度上提高图像传输的鲁棒性,但为了获得更高的安全性,还可与容错编码技术相结合,目前使用较广泛的容错编码有 Reed-Solomon (RS) 码等。同时为获得较好的视觉效果,还需将图像恢复技术与视觉特性相结合。

2.1 图像质量评价参数

评价图像恢复效果的参数主要有均方误差 (MSE, Mean Square Error) 和峰值信噪比 (PSNR, Peak Signal to Noise Ratio)^[3]。PSNR 的计算公式为:

$$\text{PSNR} = 10 * \log\left(\frac{\text{Max}^2}{\text{MSE}}\right) \quad (1)$$

其中,Max 为图像中每个点颜色的最大值,例如每个点用 8 位表示,则 Max 为 255。设图像大小为 $M \times N$,原图像为 I ,恢复图像为 K ,则 MSE 的计算公式为:

$$\text{MSE} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I(i,j) - K(i,j))^2 \quad (2)$$

PSNR 是目前使用最普遍、最广泛的图像质量评价参数,从定义可以看出源图像与恢复图像之间的差别越大,PSNR 值越大。但一些实验证明 PSNR 的评价结果与视觉效果并不完全符合,即 PSNR 值高的图像在视觉上不如 PSNR 值低的图像。

2.2 预处理技术

预处理技术即在传送前对图像数据进行处理的技术,包括小波变换、卷积编码、交叉预处理等。其中使用最广泛的技术是小波变换。

1974 年 J. Morlet 首次提出小波变换理论,1986 年 Y. Meyer 构造出第一个真正的小波基,并与 S. Mallat 合作提出了多尺度分析之后,小波变换开始发展起来,并广泛应用于信号处理领域,同时结合小波变换的图像信源编码方法也随之发展起来。EZW 编码、SPIHT 算法和 JPEG2000 算法^[4]都是结合小波变换的信源编码方法。

卷积码是 1955 年由 Elias 等人提出的一种具有容错能力的信道编码方法。随着卷积码的应用与发展,出现了多种基于卷积码的新型编码技术。如 C. Berrou 等在 1993 年首先提出的由两个递归循环卷积码 (RSC) 通过交织器以并行级联的方式结合而成的 Tur-

bo 码,以及速率兼容删除卷积码 (RCPC) 都是在其基础上发展而来的。

文献[2]针对不同的信道通过不同的预处理方案来优化信道算法。首先对于经过小波变换之后的各子带系数分别进行变系数定长编码和 RS 编码^[5,6],然后用 RCPC 编码提供不等级别差错控制,最后将数据进行交织处理之后再发送到网络上。该方法通过各种优化算法来控制编码时的参数,使图像在传输过程中的总体失真最小。

文献[7]中提出了一种高效稳定的信源信道联合编码框架 J2SC (Joint Source-Sink Coding)。该方法在 JPEG2000 标准的基础上进行改进,在编码过程中对小波分解图像进行再采样,解码时用双向金字塔恢复算法取代小波逆变换对图像进行恢复,而且还增加了反馈过程,可根据信道情况自动调整采样比例。

2.3 保护方案和补救方案

保护方案指在图像传输前,增强图像容错能力的一系列措施,包括鲁棒编码、分层编码和传输级优先、多描述编码等。补救方案指,一旦传输过程中发生错误之后,为尽量减少损失而进行的处理,如错误隐藏技术等。下面将对这些方法分别进行介绍。

鲁棒编码 (Robust Coding),即在图像编码过程中有意保留部分冗余信息,以降低图像码流对错误的敏感度。图像的编码过程目的在于去除数据中的冗余,一旦数据在传输过程中出现误码或丢包,就会导致图像质量明显下降,甚至不能正确解码。因此在传输信道环境不理想时可采用鲁棒编码,适当保留一些冗余信息。陈海林在文献[8]中提出了一种 ROBUST-SPIHT 编码算法。该方法将进行了小波变换的图像分成独立的小波树,然后再对小波树进行 SPIHT 编码。这种方法降低了数据包之间的相关性,且只是在码流中增加了一些小波树标记信息,冗余量很小。

分层编码和传输优先级,根据包交换网络中可以将包分成不同优先级进行传输的特点,为图像数据分层编码,重要的信息按高优先级传输,其他信息按低优先级传输。当遇到网络环境不理想时,丢弃低优先级的包对图像的整体质量影响较小。SPIHT 编码和 JPEG2000 编码都是分层编码的。SPIHT 编码通过层次树进行划分,将重要信息放在码流前面。JPEG2000 标准提出了质量层的概念^[4],对码流按照质量层分别打包发送。

多描述编码,如图 1 所示,对同一图像进行多种描述,分成多个码流。将多种描述通过相互独立的通道分别传输,则同时发生错误的概率会大大降低。每个通道单独传输的图像的质量都是可接受的,多通道相结合则可进一步提高图像的质量。陈海林^[8]将 Wang

等^[9]提出的配对相关变换多描述方法用于 JPEG2000 编码过程中的小波变换域。在 JPEG2000 编码过程中,小波变换系数量化之后增加了一步多描述编码,使小波系数编码成为一对对称的多描述编码。该方法首次将对称多描述方法应用于小波变换域,实验证明该方法在保证图像质量上获得了很好的效果。

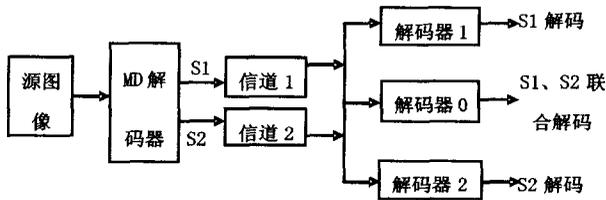


图1 多描述编码框图

错误隐藏技术,是发生错误后的一种补救方案,以其他数据代替丢失或错误的数据,以使图像在整体视觉上不受太大影响。错误隐藏分为时域、空域和频域的错误隐藏。时域错误隐藏就是用前一个时间的同一场景的图像替代丢失数据;空域错误隐藏是用丢失的数据附近的图像通过插值等方法,近似估计丢失的图像数据;频域错误隐藏是利用变换系数的方法进行处理,恢复数据。

2.4 容错编码技术

容错编码是一类利用附加冗余信息来确保数据安全的技术,主要用来为存储系统容错^[5]。由于容错编码强大的容错性,其应用范围越来越广。在图像容错领域中涉及到的编码有 RS 编码、LDPC 编码^[10]等,其中 RS 编码应用最为广泛。RS 编码的特点是编码方案灵活、容错能力强^[11],属于 MDS 码。目前国内外许多图像容错方案中都采用了 RS 编码对图像的全部或者较重要的部分进行编码,以确保其安全地在网络中传输。另外,容错编码也经常和其他的图像容错机制一起使用,可以更好地对图像进行保护。RS 编码的计算量大,其编解码方案可采用 Cauchy^[6,12]矩阵来优化计算。

3 JPEG2000 标准及其容错机制

3.1 JPEG2000 标准

JPEG2000 是 2000 年由国际标准化组织 (ISO) 提出的一种新型的静态图像编码方案^[13]。JPEG2000 与 JPEG 的最大区别在于它使用了小波变换来代替 JPEG 的离散余弦变换^[11,14],在提高图像的压缩比的同时,又避免了块失真现象。JPEG2000 标准采用了复杂的编码过程和码流结构,其文件格式后缀名为 .jp2,图 2 所示为 jp2 的文件格式和码流结构。这种编码方法除了具有高压缩比和感兴趣区域编码特点外,还带有多种容错工具,因此特别适合于各种有线网络,甚至无线

网络这种不稳定的传输环境。

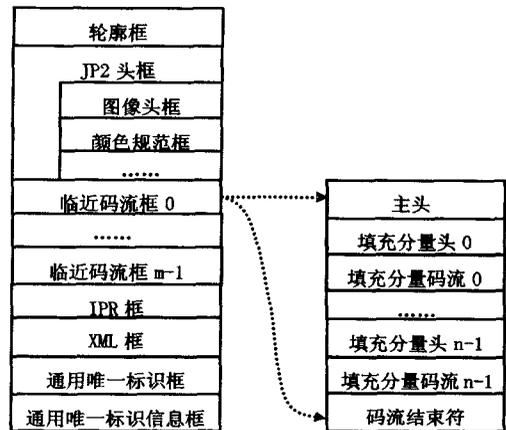


图2 jp2 文件格式及码流结构

3.2 JPEG2000 容错机制

JPEG2000 标准包括一些容错工具,主要有再同步、数据恢复和错误隐藏等^[15]。这些工具不但可以检错,还可以定位错误的位置。JPEG2000 编码方案的容错能力要大于 JPEG 编码方案^[16]。

再同步工具可以有效地定位错误的位置,去除发生错误的位置之后以及再同步建立起来之前的数据,防止整个码流受到影响,并为之后的数据恢复和错误隐藏做准备。数据恢复工具致力于将出错的数据尽可能地恢复回来。恢复能力取决于后面的编码方法,使用变长编码方案的数据是不能被恢复的,而使用可逆变长编码方案就可以恢复一些数据。数据恢复的目的是对数据完全无损的保护,即使出错也要完全恢复,但是对于出现了不能恢复的错误的时候,通过错误隐藏工具,可以使接收方在视觉上受到尽量小的影响。JPEG2000 使用的是小波变换技术,因此使用频域的错误隐藏方法。

Iole Moccagatta 等在文献 [17] 中详细地介绍了 JPEG2000 标准中的容错工具。JPEG2000 图像相对于 JPEG 图像在各种干扰信道中传输时能有更好的鲁棒性。

4 几种 JPEG2000 图像容错方案的分析

下面分析几种典型的基于 JPEG2000 图像的容错方案,将它们分为只使用容错编码的方案,容错编码和信源编码相结合的方案,容错编码与反馈重传技术相结合的方案以及结合视觉要求的容错方案等四种。

4.1 单独使用容错编码进行保护

首先,根据 JPEG2000 标准的规定,码流中的数据是由最重要的向次要的到细节信息的顺序排列的,可将这一特点作为划分码流重要性的标准。Ambarish Natu^[18]等人在这种思想下提出了一种对 JPEG2000 码

流的不同层进行不同参数的 RS 编码的保护方法。并对各种 RS 编码方案采用了大量的实验来证明其安全性。

图像无论经过怎样的处理,最终都需要解码显示出来,因此一些研究者从保证图像正确解码的角度,对图像的安全性进行保护。Didier Nicholson^[19]等人提出的使用 RS 编码的向后兼容 JPEG2000 错误保护方法,将码流中的头信息提出来进行保护。对第一个填充区头使用 RS(45,25)编码,对主头和其他填充区头使用 RS(25,13)编码。将这些纠错码单独打包作为纠错段包放在主头的后面,一般解码器由于不能识别这个纠错段包的标记段,会直接跳过这个包^[20],不影响整个图像的解码;出现错误时,用专用的解码器进行解码,然后根据纠错码对受损图像进行恢复。文献[21]提出了一种全新的联合解码方案,为图像的解码带来了更好的安全机制。对于发送前采用 RS 编码的图像,由于信道干扰可能造成 RS 码在接收端不能正确解码,利用 JPEG2000 编码中的容错机制来恢复正确的数据以便 RS 码能够正确的解码。该解码方案能够和任何采用 RS 码的编码方案配合使用,更好地提升图像的健壮性。

4.2 容错编码和信源编码相结合

陈海林^[8]提出了一种用于 JPEG2000 图像的非对等信道编码保护措施。其创新之处在于,提出了一种可以调整速率的自适应卷积码(RCPC),根据数据的不同重要性和信道的不同误码率,自动调节编码速率,提供不同级别的保护。而在文献[22]中使用了基于块级别的 Turbo 和 RS 的混合编码技术来加强图像在无线信道传输中的安全性,实验证明利用两种容错编码的结合能够有效地防止图像传输中的爆发错。文献[23]对这种方法进行了优化,将 Turbo 编码和 RS 编码的联合改进形式命名为 Product 码。Product 码是一种二维编码,横向的编码方式为先进行 CRC 校验后进行 Turbo 码,而纵向的编码为 RS 编码,根据不同的层次选取不同的编码参数以求拥有不同的容错能力。

Li Xiang Jun^[24]等对 JPEG2000 的分层方法进行了一些改进,对分层数据进行交叉处理来推迟第一次发生不可恢复错误的位置。该方法不但考虑到了图像的最低质量要求,比其他混合级别丢包保护方法更有针对性,而且复杂度低。实验证明该方法能有效降低编码复杂度,且峰值信噪比(PSNR)也有很好的提高。

Tianli Chuu^[25]等提出了一种联合信源信道编码框架,该框架使用分层的信源编码和 RS 编码来实现码流层的不等级别的容错机制。在 JSCC 技术模拟的二进制对称信道中传输图像以验证本技术的效果,证明该机制能有更好的容错效果和更低的复杂性。

文献[26]提出了一种基于 RS 编码带有隐秘机制的多描述编码系统。所谓隐秘机制就是利用两个域来存储信息,一个域存储源信息另一个域存储冗余信息,使冗余信息和源信息互不干涉。在对图像信息进行 RS 编码之后再用 SPIHT 算法进行处理,以便在信道干扰很大的情况下更好地保证图像信息的安全性。

4.3 容错编码与反馈重传技术相结合

Lijun Zhang^[27]提出了 RS 编码和反馈重传机制相结合的方法来确保图像在传输信道很差的情况下的传输安全。将 RS 编码和反馈重传机制相结合既可以利用 RS 编码的容错能力又可以在传输信道非常差以至于 RS 编码容错能力达不到要求的情况下重传一些损坏或者丢失的数据,来确保图像的安全性。并不是所有丢失或者损坏的数据都需要重传,例如源信息为 n 个,RS 编码的冗余信息为 m 个,若丢失或者损坏的信息大于 m 个,设其为 t ,则只需重传 $t - m$ 个信息就可以保证 RS 解码的顺利进行。实验证明,将 RS 编码和反馈重传机制相结合可以比单纯的利用 RS 编码能更好地保护图像信息的安全传输。

4.4 结合视觉要求的容错方法

这类方法主要是用于在出现了不可恢复的错误的时候,对图像质量的恢复。Tammam Tillo^[28]等人提出了一种基于多描述技术的灵活 JPEG2000 容错方法。在小波变换之后要对数据进行量化截断,将码流按照两个不同比特率截断之后视为是图像的两种不同的表示,将这两种不同表示的差用来对图像进行错误保护。若错误很少,则可以忽略错误,反之则不能忽略,考虑用两种描述的差进行数据恢复,或用 JPEG2000 的错误隐藏工具进行隐藏。

5 结束语

文中对图像的容错方法进行了分析。首先对图像容错技术进行了分类并分析了一些通用的容错方法,这些方法在一定程度上能够提高图像传输的可靠性,但是没有针对图像数据的特点。在第二节中介绍了图像容错的关键技术。这些技术是在结合图像自身特点的基础上发展而来的。JPEG2000 图像是一种新型的图像标准,目前关于 JPEG2000 的研究也很多,如何安全地传输 JPEG2000 图像也成为个研究热点。在文章的第三节中简单描述了 JPEG2000 标准以及其自带的容错机制。最后专门介绍了一些 JPEG2000 图像的容错方案,并对每种方案进行了详细的分析,并总结了各种算法的特点与优势。

参考文献:

- [1] 刘锦杨,戚飞虎.一种基于 JPEG2000 的无线图像传输方法

- [J]. 计算机工程, 2004, 30(13): 140-142.
- [2] 顾炜, 胡波, 凌雯亭. 一种抗误码能力强无线信道图像传输方案[J]. 通信学报, 2002, 23(6): 97-104.
- [3] 罗常青, 安建平, 卜祥元. 用RS编码实现JPEG2000图像的稳健传输[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(5): 454-457.
- [4] Skodras A, Christopoulos C, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system: An overview[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(4): 1103-1127.
- [5] Plank J. A Tutorial on Reed-Solomon coding for fault-tolerance in RAID-like systems[R]. Knoxville: Department of Computer Science, University of Tennessee, 1996.
- [6] Plank J. Enumeration of optimal and good cauchy matrices for Reed-Solomon coding[R]. Knoxville: Department of Computer Science, University of Tennessee, 2005.
- [7] 杨柳. 面向Internet传输的图像容错编码研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004.
- [8] 陈海林. 基于小波变换的图像容错编码研究和网络传输性能分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2003.
- [9] Wang Yao, Orchard M, Reibman A. Multiple description image coding for noisy channels by pairing transform coefficients[C] // IEEE Workshop Multimedia Signal Processing. Princeton, NJ: [s. n.], 1997: 419-424.
- [10] Karim I, Salleh M. Performance evaluation of high capacity channel coding schemes using image transmission system[C] // 2008 International Conference on Electronic Design. Malaysia: IEEE, 2008.
- [11] Terzija N, Repges M, Luck K, et al. Impact of different Reed-Solomon codes on digital watermarks based on DWT[C] // Multimedia and Security Workshop at ACM Multimedia. France: [s. n.], 2002.
- [12] Plank J. Optimizing Cauchy Reed-Solomon Codes for Fault-Tolerant Storage Applications[R]. Knoxville: Department of Computer Science, University of Tennessee, 2005.
- [13] 李树晓, 林鑫. JasPer软件: JPEG2000标准的实现[J]. 微计算机应用, 2006, 27(6): 754-756.
- [14] Uehara T, Safavi-Naini R, Ogunbona P. A secure and flexible authentication system for digital images[J]. Multimedia Systems, 2004(9): 444-456.
- [15] Nguyen C, Redinbo G. Fault Tolerance Design in JPEG 2000 Image Compression System[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2005, 2(1): 57-75.
- [16] Wei X, Clemence A, Leis J, et al. Error Resilience Analysis of Wireless Image Transmission Using JPEG, JPEG 2000 and JPWL[C] // 2009 7th International Conference on Information, Communications & Signal Processing (ICIS). USA: [s. n.], 2009.
- [17] Moccagatta I, Soudagar S, Liang J, et al. Error-Resilient Coding in JPEG-2000 and MPEG-4[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(6): 899-914.
- [18] Natu A, Taubman D. Unequal Protection of JPEG2000 Code-Streams in Wireless Channels[C] // IEEE Global Telecommunications Conference. New Jersey: [s. n.], 2002.
- [19] Nicholson D, Lamy-Bergot C, Naturel X, et al. JPEG 2000 Backward Compatible Error Protection with Reed-Solomon Codes[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 855-860.
- [20] Houchin J S, Singer D W. File format technology in JPEG2000 enables flexible use of still and motion sequences[J]. Signal Processing: Image Communication, 2002, 17(1): 131-144.
- [21] Bahmani S, Bajic I V, HajShirMohammadi A. Joint Source-Channel Decoding of JPEG2000 Images With Unequal Loss Protection[C] // 33rd IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Canada: [s. n.], 2008: 1365-1368.
- [22] Thomos N, Boulgouris N V, Strintzis M G. Wireless Transmission of Images using JPEG2000[C] // 2004 International Conference on Image Processing. Singapore: [s. n.], 2004: 2523-2526.
- [23] Thomos N, Boulgouris N V, Strintzis M G. Optimized Transmission of JPEG2000 Streams over Wireless Channels[C] // International Conference on Image Processing. [s. l.]: [s. n.], 2006: 54-67.
- [24] Li Xiangjun, Cai Jianfei. Robust Transmission of JPEG2000 Encoding Images over Packetloss Channels[C] // 2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Beijing: [s. n.], 2007: 947-950.
- [25] Chuu Tianli, Liu Zhongmin, Xiong Zixiang, et al. Joint UEP and Layered Source Coding with Application to Transmission of JPEG-2000 Coded Images[C] // GLOBECOM '01. IEEE Global Telecommunications Conference. San Antonio: [s. n.], 2001: 2036-2039.
- [26] Lin Chuang, Pan Jeng-Shyang. Double-Domains-Based Covert Communication Scheme for A RS-Code-Based Multiple Description Image Coding System[C] // International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Harbin, China: [s. n.], 2008: 687-690.
- [27] Zhang Lijun, Wang Yongqian, Ma Zhengxin, et al. Syndrome-Based Hybrid ARQ with Reed-Solomon Codes and the Practice in Image Transmission over Rayleigh Fading Channel[C] // IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference. Rhodes, Greece: [s. n.], 2001: 1382-1385.
- [28] Tillo T, Grangetto M, Olmo G. A flexible error resilient scheme for JPEG2000[C] // IEEE 6th Workshop on Multimedia Signal Processing. Siena, Italy: [s. n.], 2004: 295-298.