

文章编号: 1672-2892(2010)02-0128-06

基于混沌扩频 CDMA 的伽利略卫星定位系统编码技术

陈 朝^{1,2}, 汤天浩¹

(1.上海海事大学 中法联合伽利略系统与海上安全智能交通研究所, 上海 200135;

2.中国地质大学 机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 在伽利略系统中编码技术日益重要。文章在将混沌扩频技术应用到伽利略系统中后, 对系统的信道特性进行了探讨, 特别是利用混沌扩频的优秀随机性和正交性对系统进行了信道仿真。仿真结果表明信道衰减小于-40 dB, 满足 CDMA2000 协议规范, 从而简化了传统 CDMA 系统 PN 码产生的复杂性, 统一了信号源和信道编码的混沌序列的使用。这种将混沌扩频 CDMA 技术代替传统 PN 序列的方法在伽利略系统中的应用具有实用性和可行性。

关键词: 伽利略系统; 混沌扩频; CDMA2000 技术

中图分类号: TN914.4

文献标识码: A

Coding technology in Galileo system based on chaotic spreading spectrum CDMA

CHEN Zhao^{1,2}, TANG Tian-hao¹

(1.Sino-French Joint Research Institute on Galileo-Maritime ITS for Safer Seas, Shanghai maritime university, Shanghai 200135, China;

2.Faculty of Mechanical & Technology, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The coding technology in Galileo system is more and more important. In this study, the spreading-spectrum technology was applied to Galileo system; the channel characteristics were discussed and simulated with the excellent stochastic and orthogonal performances. Simulation results indicated that the attenuation of channel was less than -40 dB, which had reached the specification of CDMA2000, thereby, it had simplified the complexity of Pseudo-Noise(PN) code generation, and had unified the usage of chaos sequence in the source signal and channel coding. The way of PN sequence replaced by chaos spreading-spectrum technology applied in Galileo system is feasible and practical.

Key words: Galileo system; chaotic spreading-spectrum; CDMA2000

伽利略卫星定位系统(简称伽利略系统), 是欧盟一个正在建造中的系统, 是在美国现有的“全球定位系统”(GPS)及俄罗斯的GLONASS系统外, 第 3 个可供民用的定位系统。GPS 信号是目前常用的 2 种卫星导航定位信号之一^[1-3], 该系统采用编码、调制方法相对简单, 使其容易受到干扰与欺骗。而随着社会进步, 人们对卫星定位系统的性能要求越来越高, 因此要对现有的卫星定位系统的相关技术进行改进来提高其性能。

近几年来, 混沌扩频 CDMA^[4]技术迅速发展, 运用该技术的系统具有频率利用率高、抗干扰性能好、抗多径衰落能力强、高度可靠的保密安全性等优良特性。并且该系统具有宽带低信噪比, 对波形采用高冗余度纠错编码和高效数字调制技术, 确保了超低误码率语音和数据传输。即使用户数增加较大时, 误码率也不会有很大提高, 从而保证了系统服务质量。如果能将其应用在伽利略系统中, 将能够克服 GPS 系统的相关缺点, 使之能够提供更高质量的服务, 这也是研究的目的所在^[5]。

1 混沌扩频 CDMA 编码原理

1.1 混沌

混沌作为一种非线性动态系统中出现的确定性的、类似随机的运动, 其对初始值和外部参数有极其敏感的依赖性, 初始条件的微小差异, 会在短时间内变成运动轨迹或特性完全不同的 2 条轨迹。Logistic 映射(Logistic-Map)

收稿日期: 2009-09-28; 修回日期: 2009-12-27

基金项目: 上海市教委科研资助项目(07ZZ102,08YZ109)

式表示较为简单,但其具有极其复杂的动力学行为,它的动态过程依参数 μ 值的变化而激烈变化,由 Lyapunov 指数的计算可知,当 $\mu=1.401\ 155\ 18\cdots$ 时, Logistic 映射的周期达到无穷长,进入混沌状态,见图 1。这时由迭代得到的序列为非周期、非收敛,对初值极为敏感。当 $\mu=[1.401\ 155\ 18\cdots 2]$, Logistic 映射都处于混沌状态,所以这个区间也称为 Logistic 映射的“混沌区”,在这个区间内任取一个 μ 初值进行迭代(x_0 一般取值为 0.618),将迭代的结果进行相应的二进制转换,即可得到混沌序列^[6-7]。

1.2 CDMA2000

在 CDMA 众多的技术中, CDMA2000 作为第 3 代蜂窝移动通信系统的首选技术,其应用很广泛,这里主要对 CDMA2000 1x 进行介绍,为简单起见,后面的 CDMA2000 1x 都用 CDMA2000 表示。CDMA2000 的信道划分为前向信道与反向信道两部分,其中反向信道由反向业务信道、反向接入信道、增强接入信道及反向公共控制信道组成。在无线配置方式中,反向业务信道又包括反向基本信道、反向补充信道等。

CDMA2000 反向业务信道数据帧在调制之前要经过语音编码器(CRC(Cyclical Redundancy Check)编码)、卷积编码器、符号重复、交织(信号抽取以及块交织)、正交调制等过程,如图 2 所示^[8]。

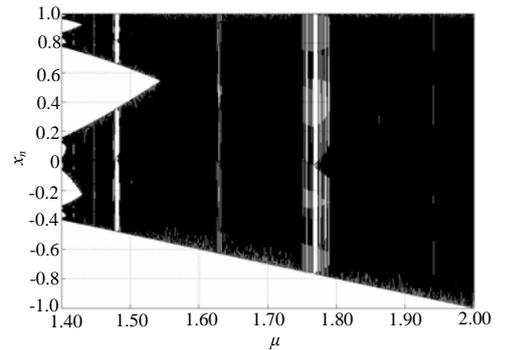


Fig.1 Bifurcation of Logistic map
图 1 Logistic 映射分岔图

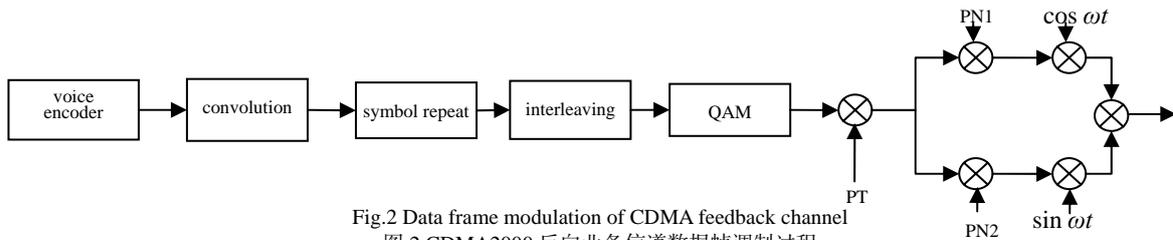


Fig.2 Data frame modulation of CDMA feedback channel
图 2 CDMA2000 反向业务信道数据帧调制过程

CDMA2000 系统信号设计采用了频分、伪随机码分和正交信号多址技术的组合。频分是把可用的蜂窝频谱划分成 1.25 MHz 的带宽信道,基站用经过特定时间偏置的 PN 序列作为识别的标志,使移动台借此区分不同基站发出的信号。PN 码用线性反馈移位寄存器产生,其周期为 32 768 个码片,速率为 1.228 8 Mchip/s,用 2 个 PN 序列(PN1,PN2)分别对 2 个正交载波进行调制^[3-4,8-9]。

1.3 混沌扩频 CDMA2000

将混沌序列作为 CDMA2000 系统的扩频序列和地址码,即混沌扩频 CDMA 技术,将使 CDMA2000 系统具有混沌的相关特性,从而大大增强系统的性能,使其能够给更多数量的用户提供更高质量的服务。反向链路由以下逻辑信道构成:导频信道、同步信道、寻呼信道和若干业务信道。这些逻辑信道利用不同的 Walsh 码实现码分多址,以向不同的移动台传送信息。移动台接收机则采用对应的 Walsh 码实现相关接收获取信息。Walsh 码码长为 64(码片),共有 64 个不同的 Walsh 码,相互正交,通过正交相关处理实现基站多路发射信号之间的理想分离。

CDMA2000 系统中包括了 1 个导频信道、1 个同步信道、7 个寻呼信道和 55 个业务信道。使用导频信号是正向链路的一个重要特点,导频信道使用零 Walsh 函数(64 个 0),它不被信息所调制^[10],只是由正交的 PN 码对构成,每个基站就由这 1 对经过时间偏置的 PN 序列来作为识别前向链路的标志。同步信道传送的是一个经过编码、交织、扩频和调制的扩频信号,被本小区移动台用来捕获初始时间同步。寻呼信道传送的也是一个经过编码、交织、扩频和调制的信号,用来传送系统开销信息和移动台特定消息。业务信道则用来传送用户信息和信令信息。

2 混沌扩频 CDMA 编码

2.1 混沌扩频序列的产生

理论上,纯随机序列是最理想的扩频序列。但实际应用中,为了实现解扩时的扩频序列同步,采用伪随机序列作为扩频码。伪随机序列具有类似噪声的性质,同时又是有规律的,既容易产生,又可以加工和复制。目前应用最广的扩频码是 M 序列,又称最大长度序列,其他还有 T 序列、Gold 序列和霍尔序列(孪生素数序列)等。扩频码的产生一般采用线性寄存器网络来产生。扩频序列的性能好坏直接影响到扩频系统的抗噪声等性能。在多用

户复用系统中，扩频序列更关系到用户复用的数目、用户间干扰等性能。M 序列及其他序列虽然有较好的相关特性，但其序列的数目不够多，而这对于通信的保密、抗干扰以及码分多址复用系统用户数目等方面都是一个明显的不足。因此，人们将视线投到混沌编码上来^[4,8-9]。

系统采用 Logistic 映射产生混沌序列，Logistic 映射是典型的一维混沌系统，其方程及参数区间为 $x_{n+1} = 1 - \mu x_n^2, \mu \in (0, 2], x \in [-1, 1]$ ，具体方法为：迭代得 x_n ，由上面迭代结果图可知 x_n 为小数，且取值区间为 $[-1, 1]$ 。

1) 判断 x_n 的正负，当 x_n 为正数时其二进制转换序列的第 1 位为 0；当 x_n 为负数时其二进制转换序列的第 1 位为 1，然后取 x_n 等于其绝对值；2) 对新的 x_n 进行乘 2 再向 0 取整，得到的整数即为混沌序列的第 n 个数；3) x_n 乘 2 的结果再减去取得的整数，差值再赋给 x_n ，重复上面第 2),3)步，直到得到要求的混沌序列长度。

将一非线性映射所产生的混沌序列作为载波，将有用信号作为调制信号对非线性映射的某一参数在其混沌区域内进行调制。在接收端，利用混沌序列的发生规则从接收信号中提取混沌载波，再经过简单的信号处理恢复出有用信号。算法详见文献[7]。

2.2 混沌扩频序列的相关特性

在混沌扩频 CDMA 系统中最主要的性能是自相关旁瓣或者是互相关值与相关间隔为零处的自相关值^[7]。

如果混沌序列 $x_{n+1} = 1 - \mu x_n^2, \mu \in (0, 2], x \in [-1, 1]$ ，则自相关和互相关函数的公式为：

$$R(x_n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k x_{k+m}$$

为了获得混沌序列的相关特性，取 $N=1\ 100, m=2\ 000$ ，相关性如图 4 所示，可以看到尖锐的自相关特性，这与 PN 序列的要求一致，也是我们所要求的。

2.3 基于混沌扩频 CDMA 的伽利略系统

系统框图如图 3 所示，为了突出系统中 PN 序列的重要性，用混沌序列替代所有的 PN 序列，用 Galileo 信源模块替换 CDMA2000 反向基本信道编码调制模块中的信源模块，然后将 CDMA2000 模块输出的结果作为 BOC 调制模块的输入，再将 CDMA2000 模块中 Walsh 序列生成模块和 PN 序列生成模块用相应长度的混沌序列产生模块更改或替换，这样总的系统模块便搭建完成。

2.4 混沌扩频 CDMA2000 系统的信道传输特性

CDMA2000 协议对基带滤波器的频率响应特性进行了严格的限制，如图 5 所示。根据这个协议，基带滤波器是一个低通滤波器，它的通频带范围是 $0 < f < f_{\text{pass}}$ ，其中 $f_{\text{pass}} = 590\ \text{kHz}$ 。在这个通频带范围内，滤波器的归一化频率响应局限在 $\pm \gamma_1, \gamma_1 = 1.5\ \text{dB}$ 。另外，滤波器的抑制频带范围是 $f = f_{\text{stop}}, f_{\text{stop}} = 740\ \text{kHz}$ 。基带滤波器在抑制频带内的频率衰减幅度达到 $\gamma_2 = -40\ \text{dB}$ 以上^[8]。

3 系统仿真分析

3.1 系统仿真框图

在 CDMA2000 系统中扩频序列为 PN 信号生成器模块产生 2 个输出信号序列，其中的长码生成器(Long Code Generator)模块产生一个长度为 $2^{42}-1$ 的长码序列，序列的码片速率等于 $1.228\ 8\ \text{Mchip/s}$ 。I 支路 PN 序列生成(I Branch PN)模块和 Q 支路 PN 序列生成(Q Branch PN)模块分别产生一个长度为 2^{15} 的段码序列，它们分别与长码

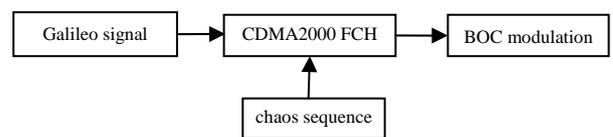


Fig.3 System framework
图3 系统总体框图

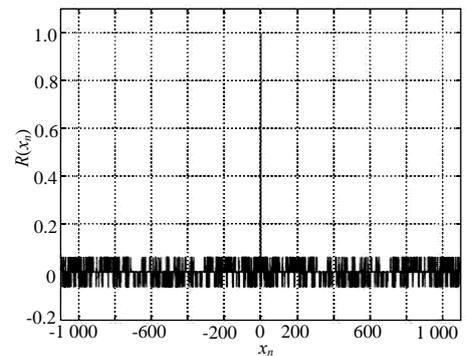


Fig.4 Auto-correlation function of Logistic-map
图4 Logistic 自相关函数图

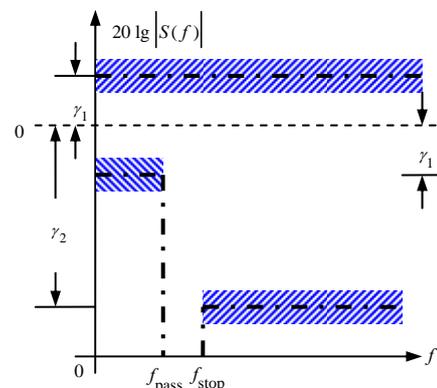


Fig.5 Frequency response characteristic about CDMA2000 protocol
图5 CDMA2000 协议对基带滤波器的频率响应特性

序列进行变换之后得到 2 个输出 PN 序列。用 Galileo 信源模块替换 CDMA2000 反向基本信道编码调制模块中的信源模块,然后将 CDMA2000 模块输出的结果作为 BOC(Binary Offset Carrier)调制模块的输入,再将 CDMA2000 模块中 Walsh 序列生成模块和 PN 序列生成模块用相应长度的混沌序列产生模块更改或替换,这样总的系统模块便搭建完成。

3.2 使用混沌序列前后经 CDMA2000 信道编码调制后的相应的 I,Q 支路信号特性比较

仿真中为了便于运行和对比结果,将混沌序列产生式的参数固定,而且所有的调制均为基带调制,对比图 6、图 7 可得,使用常规 PN 序列的信道编码输出的 I,Q 支路信号图形与使用混沌序列的输出的图形都具有非“周期”、“随机性”和类似白噪声的性质,而且 I,Q 支路信号具有很好的正交性,因而对这两路信号调制后相加的发送信号将具有优良的抗干扰和抗侦破特性。这说明使用混沌序列进行扩频,达到了 CDMA2000 系统对 I,Q 支路信号的要求。

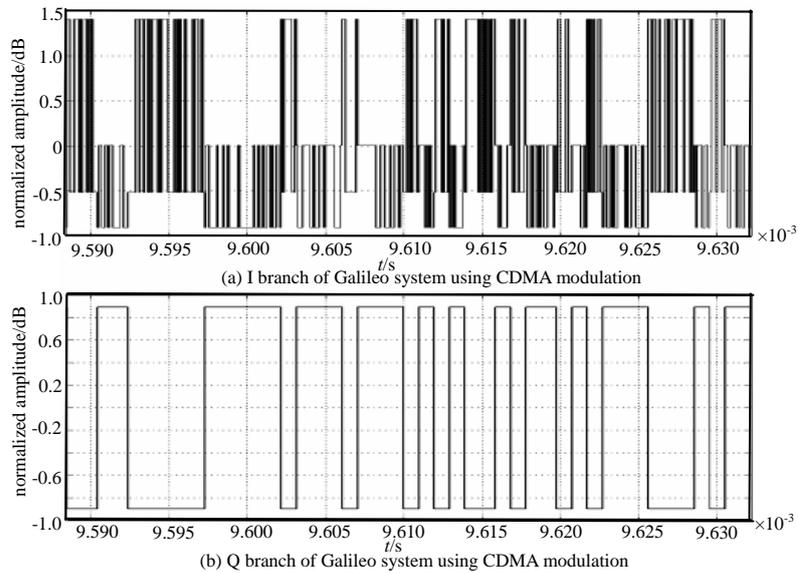


Fig.6 I and Q branches of Galileo system using CDMA modulation
图 6 使用混沌扩频 CDMA 前伽利略信号 I,Q 信号图形

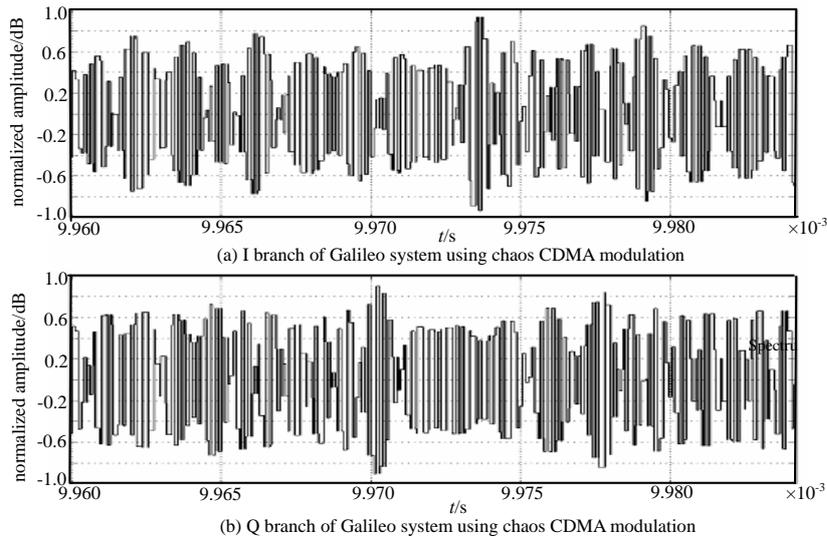


Fig.7 I and Q branches of Galileo system using chaos CDMA modulation
图 7 使用混沌扩频 CDMA 后伽利略信号 I,Q 信号图形

3.3 使用混沌序列的自相关特性

在系统仿真中为了检验系统的相关特性,在系统的输出端,即经过 BOC 调制后进行了相关特性(尤指自相关

特性)的输出特性观察,取帧信号 1 599 帧,发现经过混沌序列的调制和 BOC 调制后(见图 8),其自相关特性仍然为良好的尖锐特性,这对于接收 C/A 码非常有利。

3.4 使用 PN 序列和混沌序列进行信道特性模拟仿真对比

使用原始 PN 序列和混沌序列进行调制的信道频谱特性对比图形如图 9 所示。可以明显看出,使用混沌序列作为新的扩频序列后,信号经信道调制编码后的频谱衰减特性更为清晰和平稳,频谱边缘也更陡峭。又因为混沌扩频序列类似于一个随机过程,并且混沌序列的产生相对其他 PN 伪随机序列要容易得多,因此系统更易实现,有更好的保密性,更难以破译,信号的传输质量也更好。

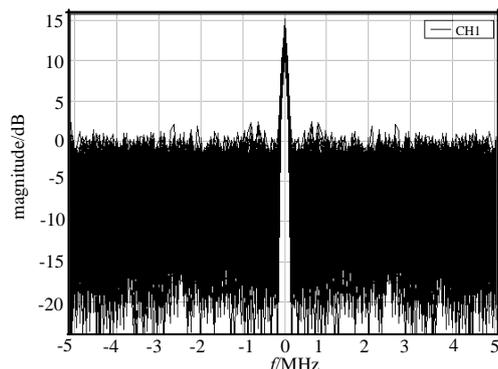


Fig.8 Real-time ACF about Simulink of Galileo system
图 8 伽利略信号的自相关特性实时仿真图

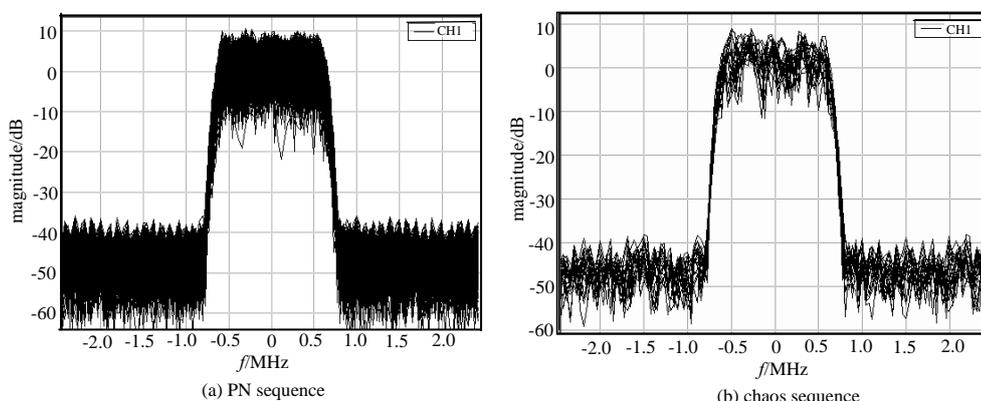


Fig.9 Comparison about channel characteristics between original PN sequence and chaos sequence
图 9 使用原始 PN 序列和混沌序列进行调制的信道特性对比

4 结论

通过 MATLAB 的仿真和对相关结果的分析,可以得出:

首先,使用混沌扩频序列作为 CDMA2000 的 PN 序列,其相关特性可达到常规的 PN 序列的效果,而且由于通过改变混沌系统的参数及初始值即可得到数目巨大的扩频序列,使混沌序列的产生和复制很方便。

其次,从 CDMA2000 信道编码调制后伽利略信号的输出波形可以看出,伽利略信号具有 CDMA2000 信号的相关特性,抗干扰性能好,抗多径衰落能力强,保密安全性高。CDMA2000 系统具有宽带低信噪比,波形采用高冗余度纠错编码和高效数字调制技术,确保了超低误码率语音和数据传输。这些特点可以确保运用 CDMA2000 技术的伽利略系统的性能大大超越误码率较高的 GPS 系统。最后可以得出在伽利略系统中使用混沌扩频 CDMA 技术是可行的。

参考文献:

- [1] Hein G, Godet J, Issler J, et al. Status of Galileo Frequency and Signal Design[C]// Proc. ION-GPS. 2002:266-277.
- [2] Lohan E S, Lakhzouri A, Renfors M. Spectral shaping of Galileo signals in the presence of frequency offsets and multipath channels[C]// Proceedings of 14th IST Mobile & Wireless Communications Summit. 2005.
- [3] 刘芳, 赵运韬. GPS 伪随机码仿真技术与研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2008, 27(2):27-30.
- [4] 杜月林, 陆婷. 混沌扩频序列在 CDMA 通信系统中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(7):69-73.
- [5] Sang T, Wang R, Yan Y. Constructing chaotic discrete sequences for digital communications based on correlation analysis[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 2000, 48(9):2557-2565.
- [6] 郝柏林. 从抛物线谈起—混沌动力学引论[M]. 上海:上海科技教育出版社, 1993.
- [7] 吕金虎, 陆君安. 混沌时间序列分析及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2002.
- [8] 邓华. MATLAB 通信仿真及应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.
- [9] 纪飏, 陆估人. 基于混沌参数调制的数字通信方式[J]. 通信学报, 1999(11):50-54.

[10] 陈朝,陈芳,周峰. 一种基于 MATLAB 的 Turbo 码编码仿真实现[J]. 信息与电子工程, 2005,3(3):179-181.

作者简介:



陈朝(1974-),女,湖北黄石人,副教授,在读博士研究生,主要从事信号编译码、无线通信研究.email:chenzhao217@126.com.

汤天浩(1955-),男,江苏宝应人,教授,博士生导师,目前主要研究方向为电力传动控制系统、智能信息处理与智能控制、船舶与航运自动化。

(上接第 127 页)

3. 参会论文需要提供用 word2003 或以下版本编辑的电子文档一份、核对后的原稿一份、保密审查表一份,由各单位联络员统一收齐后于 2010 年 7 月 30 日前送四川省电子学会曙光分会办公室。无联络员的或院外单位,可以把稿件直接送(寄)至曙光分会办公室程英处(凡邮寄的以当日邮戳为准)。

三、论文格式

1. 立论正确,论据充分,重点突出,逻辑严密,数据可靠,文字精炼,图表清晰。
2. 论文应控制在 5000 字以内(含图、表),A4 幅面,页边距:上—3.5cm,下—3 cm,左—2.5cm,右—2cm。
3. 论文题目应恰当反映文章的特定内容,一般不用副标题,避免用“……的研究”等非特定词,题目一般不超过 20 个字。

4. 论文摘要是一篇完整的短文,包括目的、方法、结果和结论 4 部分(不超过 300 汉字),应具有独立性和自含性。摘要采用第三人称写法,不必使用“本文”、“作者”等作为主语。正文(含摘要)的标点符号全部用全角。

5. 关键词应尽量从《汉语主题词表》中选取规范词(4~8个)。

第一个关键词列出该文主要工作或内容所属二级学科名称。学科体系采用国家技术监督局发布的学科分类与代码(GB/T13745-92);第二个关键词列出该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称;第三个关键词列出该文在得到上述成果或结论时采用的科学研究方法的具体名称。对于综述和评述性学术论文等,此位置分别写“综述”或“评论”等。对研究科学研究方法的学术论文,此处不写被研究的方法名称,而写所应用的方法名称。前者出现于第二个关键词的位置;第四个关键词列出在前三个关键词中没有出现的,单被该文作为主要研究对象的事或物质的名称,或者在题目中出现的作者认为重要的名词。如有需要,第五、第六个关键词等列出作者认为有利于检索和文献利用的其他关键词。

6. 论文章节编号采用三级标题顶格排序:一级标题为 1, 2, 3, ……;二级为 1.1, 1.2, ……;三级为 1.1.1, 1.1.2, ……。

7. 正文(含图表)中的物理量和计量单位必须符合国家标准和国际标准,外文字母的文种、字体的大小写、上下角标及易混的字母应书写清楚,必要时用铅笔补充标注。

8. 论文中图、表应具有自明性、且随文出现。图、表应附上图号(表号)、图题(表题)和图注(表注)。所用照片应采用黑白照。图中文字、符号要清晰无误,并且符合国家规定。图、表的表述切忌与文字内容重复。

9. 参考文献选用主要的、公开发表的文献。采用顺序编码制,按文中出现的先后顺序编号。几种常用文献的著录格式(包括标点符号—参考文献的标点符号全部用半角)如下:

专著:序号 著者.书名.出版地:出版者,出版年;译著:序号 著者.书名.译者译.出版地:出版者,出版年;期刊:序号 著者.篇名.刊名,出版年,卷(期):起止页码;论文集:序号 著者.篇名.见:编者.论文集名.出版年.起止页码;学位论文:序号 著者.篇名.保存地:保存者,授予年;标准文献:序号 标准代码及编号—发布年,标准名称;电子文献:序号 著者.篇名.文献出处或可获得的地址.发布日期;文献作者 3 名以内全部列出,4 名以上则只列 3 名,后加“等”,英文用“et al”。

10. 论文中引用他人作品时,请按《著作权法》有关规定指明原作者、文题及来源。若发生著作权纠纷,一切责任由作者自负。

11. 源于国家自然科学基金等基金项目资助课题或省部委重点课题、获奖课题的论文,请注明相关项目名称及批准号。来稿请附第一作者简介,格式为:姓名(出生年月-),性别,籍贯或出生地,职称和(或)学位,所从事科技工作领域研究方向,主要著作及获奖情况等。作者详细通讯地址,邮政编码,联系电话及 E-mail 地址。

四、承办会议的联系人:

程英: E-mail: chengying090900@sina.com; 联系电话: (0816) 2495779 13608129237

通信地址: 四川省绵阳市 919 信箱 532 分箱科协办公室 邮编: 621900

罗雪梅: 联系电话: (0816) 2495174 (《信息与电子工程》编辑部)

四川省电子学会曙光分会 《信息与电子工程》编辑部

二〇一〇年三月二十六日