

不同编码分组调制的 VEP 脑机接口研究

黄 引, 魏庆国, 李茂全, 卢宗武

(南昌大学 信息工程学院, 江西 南昌 330031)

摘 要: 在现有的各种脑机接口实现范例中, 基于 c-VEP 的脑机接口取得了最高的信息传输率, 但这种脑机接口系统必须在刺激目标数与检测精度和检测速度之间进行折衷。要增加刺激目标数并保证识别率高, 必须增加码长, 然而, 增加码长会导致识别一个目标所需的时间增加, 降低信息传输率。针对这个问题, 提出了使用不同编码分组调制刺激目标的方法。基于该方法, 采用 Golay 码和近完美码各调制 16 个刺激目标, 目标识别的方法是先获取两组目标的参考模板, 分别对两个模板做移位得到所有目标的模板, 再运用模板匹配法对目标进行识别。7 位受试者在一个刺激周期的平均分类准确率高达 92.34%, 研究结果表明该方法增加了刺激目标数, 同时提高了识别率, 缩短了检测时间。

关键词: 脑机接口; 调制; Golay 码; 模板匹配法

中图分类号: TN911.22-34; TP301

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2016)09-0061-05

Study on VEP brain-computer interface with different coding grouping modulation

HUANG Yin, WEI Qingguo, LI Maoquan, LU Zongwu

(College of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: In current various implementation paradigms of brain-computer interface (BCI), the c-VEP based BCI achieved the highest information transfer rate, but this BCI system must have a compromise among the stimulation target quantity, detection accuracy and detection speed. To increase the stimulation target quantity and ensure the high recognition rate, the code length must be increased, but it will lead to time increasing to recognize a target, and information transfer rate reducing. To solve this problem, a stimulation target method applied with different coding grouping modulations is proposed. Based on this method, the Golay code and nearly perfect code are used to modulate 16 stimulation targets respectively. The target identification method is used to obtain the reference templates of two target groups. The two templates are shifted to obtain all target templates, and then the template matching method is used to recognize the target. The average classification accuracy of a stimulation period for 7 subjects can reach up to 92.34%. The research results show that the method can increase the stimulation target quantity, improve the recognition rate, and shorten the detection time.

Keywords: BCI; modulation; Golay code; template matching method

0 引 言

脑机接口(Brain-Computer Interface, BCI)监测用户的脑活动, 解读用户的意图, 并将用户的意图转换为外部命令^[1]。作为一种新的、非肌肉的通信通道, BCI能够使人直接通过大脑来表达思想或操作设备, 而不需要借助语言或肢体动作。在过去几十年中, 基于 EEG 的 BCI 已经吸引了脑科学、神经工程和临床康复领域的研究人员的极大关注。尽管 BCI 系统的性能得到了很大的改进, 但它们还不能支持广泛的应用。在各种 BCI 实现模

式中, 基于视觉诱发电位(Visual Evoked Potentials, VEP)的 BCI, 具有系统配置简单、几乎不需要训练以及低的用户变化率等优点, 因而在 BCI 研究中变得更加流行。根据刺激信号的调制方法, 基于 VEP 的 BCI 可分为基于时间调制的 VEP(t-VEP)BCI、基于频率调制的 VEP(f-VEP)BCI 和基于伪随机码调制的 VEP(c-VEP)BCI 三种类型^[2]。基于 c-VEP 的 BCI 取得了最高的通信速度, 是最有可能率先实现产品化的 BCI。

基于 c-VEP 的 BCI 早在 1984 年就由 Sutter 提出, 并在 8 年后由一个 ALS 病人进行了测试, 测试结果表明这种 BCI 系统每分钟能写 10~20 个字^[3]。在长达 20 多年的时间里, 没有任何有关这种 BCI 的研究报告。直到最近, 才由 Bin 等人证明了基于编码调制的 VEP BCI 的性

收稿日期: 2015-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(61365013); 江西省自然科学基金项目(2009GZS0073)

能超过其他视觉刺激类型的BCI。在Bin等人的研究中,当刺激目标数为32时,平均的ITR高达108 b/min。但这种BCI系统必须在刺激目标数与检测精度和检测速度之间进行折衷。要提高目标检测识别率,应采用较长的调制编码,这样相邻目标之间具有足够的延时,注视目标的响应信号与其模板具有较大的相似性,而与其他模板具有较大的差异性。然而,调制编码太长,严重影响检测速度,因为增加码长就增加了一个刺激周期的长度,而一次检测最少需要1~2个刺激周期。

为了确保高的检测精度和检测速度,同时提高BCI系统的刺激目标数,本文提出了一种新的目标调制方法,即不同编码分组调制,研究使用Golay码和几乎完美码分别调制两组目标,每组包含16个目标。在这种BCI系统中,码长不变,但是刺激目标增加了一倍,同时又保证了高的目标识别率和目标检测速度。

1 c-VEP BCI的系统结构

c-VEP BCI的基本系统结构包括LCD刺激器、脑电放大器、空域滤波和模板匹配,如图1所示。视觉刺激器在VC++ 6.0的环境下编程实现并在计算机LCD显示屏上显示,计算机通过并口发送同步信号给脑电放大器实现脑电数据和刺激同步,视觉刺激器用来诱发VEP。脑电放大器采集并记录头皮脑电信号。空域滤波将多通道EEG信号融合为单导联信号。模板匹配为目标识别算法,实现方法是将实验数据片段与各目标的模板做相关运算,与之相关系数最大的模板所对应的目标即为识别目标。

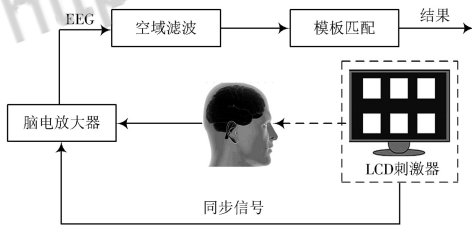


图1 c-VEP BCI的结构

2 刺激器的设计

2.1 调制码的选择

为了表达不同的意图,需要用一定的方法对EEG信号进行调制,以便嵌入在EEG信号中的意图能被解调成为原始的信息。同时,为了避免相互干扰,对不同意图调制的EEG信号相互之间应该是正交或接近正交的,这要求调制编码应具有尖锐的自相关函数,而Golay互补序列和近完美序列具备这种特性。

一对由两种元素构成的等长有限序列,且在任何给定间隔下,一个序列中相同元素的个数等于另一个序列

中相异元素的个数,则这样的序列是一个Golay互补序列对^[4]。Golay互补序列的基本性质如下所述:设长度为 N 、元素为 $+1$ 和 -1 互补序列对 $A(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-1})$ 与 $B(b_0, b_1, b_2, \dots, b_{N-1})$,序列 A 的自相关函数为 c_j ,序列 B 的自相关函数为 d_j ;则当 $j=0$ 时, $c_j + d_j = 2N$,当 $j \neq 0$ 时, $c_j + d_j = 0$,即两个序列的自相关函数之和,当位移 j 为0时等于 $2N$,而当位移 j 不为0时等于0。长度为2、元素为 $+1$ 和 -1 的Golay互补序列自相关函数之和如图2所示。由于Golay互补序列需要两次发射编码激励,且为双极性码,在脑机接口系统中很难实现,所以在本文的脑机接口系统中,将32位A码和32位B码前后组合成为64位的AB码,且采用单极性码0和1,其中0代表“暗”,1代表“亮”,采用的Golay AB序列为:0100011101001000010001111011011100010010000111010001001011100010。

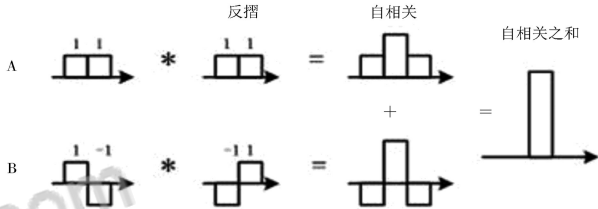


图2 Golay互补序列对的自相关特性

理想伪随机序列的异相自相关函数都为零,并被称为完美序列^[5]。然而在周期(4, 12 100)内不存在完美序列,因此,异相自相关系数中除中间的一点外全为零的伪随机序列称为近完美码。周期为 n 的近完美序列的自相关表达式如下:

$$R(\tau) = \begin{cases} n, & \tau = 0 \\ 4 - n, & \tau = n/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

近完美序列采用计算机技术进行搜索而获得,本文采用的64位近完美序列为1000011001000000101011100110100001111001101111110101000110010110。图3为64位近完美序列的自相关函数波形。

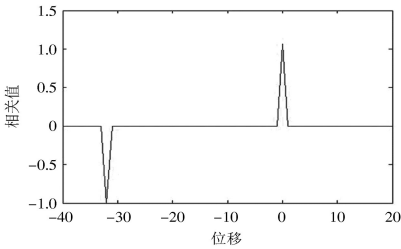


图3 64位近完美序列自相关函数波形

2.2 刺激目标的布局

刺激器在刷新率为60 Hz的LCD显示器上闪烁,显

示器的分辨率为 $1\,024 \times 768$ 像素。目标排列方式是 $4 \times 4 \times 2$ 矩阵。32个目标分为两组,每一组包含16个目标,一组目标用64位Golay AB码调制,另一组用64位近完美码调制。如图4(a)所示,中央的灰色方块为刺激目标,方块上的数字表示目标的序号。

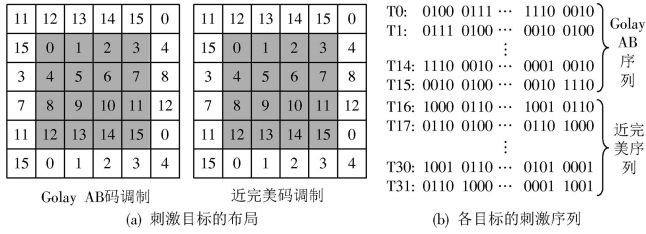


图4 刺激器的设计

在每组16个目标中,各目标的调制编码的时间移位不同。其中标号为0的目标采用的调制码为Golay AB码或近完美码,其余目标所采用的调制码是根据该调制码的不同延时产生的,各个目标的时间延时由式(2)获得:

$$\tau(k) = 4 \times k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 15 \quad (2)$$

依据视觉中心放大原理,当受试者注意到某个目标时,所注视的目标对诱发电位的产生起主要作用。但是它周围的其他目标也会对诱发电位产生一定的贡献^[6]。因此,每组16个刺激目标的周围增加了20个额外的非刺激目标,这样中间刺激目标与边缘刺激目标所产生的视觉电位几乎一致。外围刺激模块的安排是按照等邻域原理^[7]。图4(b)所示为各个目标的刺激序列,其中序列中的“1”代表白色帧,“0”代表黑色帧。每个刺激序列的长度为64位,即64帧,所以一个刺激周期为 $64/60 = 1.066$ s,且刺激不断重复。为了保证刺激器与显示器的刷新率同步,刺激器采用DirectX技术。

3 目标识别

3.1 空域滤波器优化算法

在模板匹配法中,相关运算只能用于一维信号。然而通常情况下需要在头皮上覆盖更多的电极来获取更全面的脑电信息,从而提高脑机接口的性能。为了采用多电极导联信号,可以运用空域滤波器把多导联信号线性融合为单通道数据,通过多个导联数据的线性组合来提高脑电信号的信噪比。对于给定从多个电极导联上记录到的脑电数据 X ,源信号 $x = w^T X$, w 是根据优化算法获得的,通常优化思路有两种:一种是最大化差异,另一种是最大化相似度。本文研究了两种求解 w 的方法:最大对比融合(Maximum Contrast Combination, MCC)和典型相关分析(Canonical Correlation Analysis, CCA)。

3.1.1 MCC

脑电放大器记录的脑电数据 X 由一系列源信号和叠加的噪声组成,即 $X = S + N$ 。MCC是一种最大化差异的方法,它的目的是寻找一组线性加权系数,使信噪比最大^[8]:

$$\max_{w \neq 0} \frac{\|Sw\|_2}{\|Nw\|_2} \quad (3)$$

当信号和噪声互不相关时,式(3)等价于:

$$\max_{w \neq 0} \frac{w^T S S^T w}{w^T N N^T w} \quad (4)$$

式(4)是一个瑞利商问题,可以通过 SS^T 和 NN^T 的广义特征值分解来求解。

3.1.2 CCA

CCA是研究两组多维变量之间的线性关系的一种统计方法,是一种最大化相似度的方法^[9-10]。CCA的目的是分别寻找向量 W_x 和 W_s ,使得 X 和 S 在向量 W_x 和 W_s 上的投影 $x = X^T W_x$ 和 $y = Y^T W_s$ 间的相关值最大,即:

$$\max_{W_x, W_s} \frac{W_x^T X S^T W_s}{\sqrt{W_x^T X X^T W_x \cdot W_s^T S S^T W_s}} \quad (5)$$

式中 W_x 即为空域滤波器。

3.2 模板匹配

在c-VEP的脑机接口中一般采用模板匹配法进行目标识别。在每位受试者实验之前,都必须在训练阶段获取实验模板。由于各目标之间的诱发电位都是时间位移的关系,所以只需要在训练阶段对某一个特定刺激目标的诱发电位进行采集,然后通过时间移位得到其他的刺激目标模板。模板匹配法的流程如下:

(1) 在训练阶段受试者需要注视某一个特定的刺激目标,训练阶段所持续的时间为3~4 min,这样可以获得约为200个周期的数据,在此间期,受试者可以按下空格键开始或者暂停,避免受试者的精神疲劳。

(2) 假设在训练阶段注视目标 k_0 ,共获得了 N 个刺激周期的脑电数据 $x_n(t)$, $n = 1, 2, \dots, N$,那么通过平均训练阶段获得的脑电数据 $x_n(t)$ 可以获得目标 k_0 的参考信号,即模板,记为 $M_{k_0}(t)$:

$$M_{k_0}(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n(t) \quad (6)$$

(3) 通过上述分析知道各个刺激目标模板之间是时间位移关系,所以依据式(7)即可获得其他的刺激模板 $M_k(t)$, $k = 0, 1, 2, \dots, 15$ 。

$$M_k(t) = M_{k_0}(t - (\tau_k - \tau_{k_0})), \quad k = 0, 1, 2, \dots, 15 \quad (7)$$

式中 $\tau_k - \tau_{k_0}$ 表示目标 k 与参考目标 k_0 的时间间隔。

(4) 对于某一个周期脑电信号 $x(t)$,计算 $x(t)$ 与每个模板 $M_k(t)$ 的相关值 ρ_k :

$$\rho_k = \frac{\langle M_k(t), x(t) \rangle}{\sqrt{\langle M_k(t), M_k(t) \rangle \langle x(t), x(t) \rangle}} \quad (8)$$

式中 $\langle x, y \rangle$ 表示 x 与 y 的乘积。

(5) 最后识别目标 C 为最大相关值对应的目标:

$$C = \max_i(\rho_k, i = 0, 1, 2, \dots, 15) \quad (9)$$

本系统包含两组分别由 Golay AB 码和近完美码调制的刺激目标,因此在训练阶段分别记录每一组目标“10”的训练数据,根据训练数据获取每组参考目标的初始模板,每组内的其他目标初始模板根据移位获得,同时在训练阶段,根据训练数据采用 MCC 和 CCA 两种方法获得空域滤波器 w 或 W_s 。利用空域滤波器分别对初始模板和实验数据滤波,再将滤波后的数据与 32 个滤波后的模板进行匹配,最大相关值所对应的目标则为识别目标,目标识别的流程如图 5 所示。

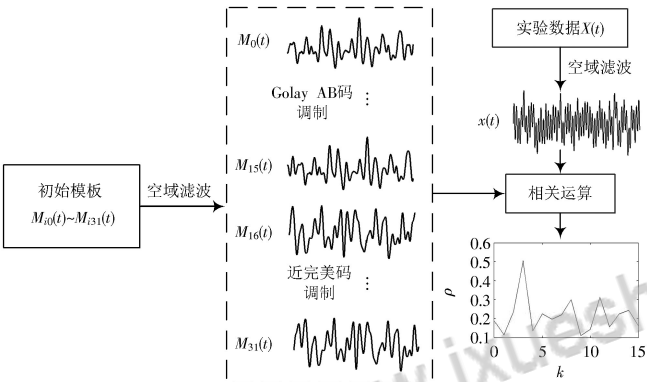


图5 目标识别的流程

4 实验设计及实验结果

4.1 实验设计

有 7 名身体健康的受试者参与了本实验,年龄在 20~28 岁之间,视力正常或轻度近视,熟悉实验内容。本实验在安静、无电磁屏蔽的室内进行,试验者眼睛距离刺激目标正前方 60 cm 左右。实验分为训练阶段和实验阶段:在训练阶段,受试者依次注视两组目标的参考目标,每个参考目标持续的时间为 3~4 min,该数据用

来制作模板和获取空域滤波器;在实验阶段,受试者依次注视 32 个刺激目标,一个目标持续 20 个刺激周期,一个周期是 1.066 s,这样就获得了 20 次实验的数据。

脑电放大器为清华大学自主研制的 Mipower16,采样率为 1 000 Hz。脑电信号采集使用 32 导 10~20 电极帽,实验过程中采用了 7 个电极,分别是 O1,O2,Pz,P3,P4,T5,T6。参考电极和地电极分别位于 FPz、耳垂。

4.2 实验结果

7 位受试者的离线实验结果如表 1 所示,其中 acc1 表示当受试者注视 Golay AB 码调制目标时,实验数据和 Golay AB 码调制的 16 个目标的模板匹配的结果,acc2 指在近完美码调制下,相应的实验数据和近完美码调制的 16 个目标的模板匹配的结果,accTwo 是指实验数据与所有目标模板匹配的结果。从表中可以发现,除了受试者 xfa 的 acc1 用 CCA 和 MCC 两种方法滤波的结果有点差别外,CCA 和 MCC 的准确率完全一样,也就是说这两种方法可能在该问题中是等价的,MCC 的原理是使源信号和噪声差异最大化,即最大化信噪比,CCA 的原理是使观测信号与源信号相似度最大化。所有受试者的 accTwo 介于 acc1 和 acc2 之间,7 位受试者 acc1, acc2, accTwo 的均值在 CCA 方法下分别为 93.20%, 92.74%, 92.34%, accTwo 与 acc1 或 acc2 相差甚微,证明了用不同编码分组调制的可行性。除此之外,除了个别受试者在 Golay AB 码或近完美码调制下的结果低于 90%,大部分受试者的实验结果超过 90%,且在两种码调制下的实验结果很相近,因此这两种码诱发的 c-VEP 信号都很强。

5 讨论

为了验证刺激目标的排列方式是否对实验结果有影响,本文设计了 $2 \times 8 \times 2$ 矩阵的上下排列方式,表 1 中 7 位受试者中的 4 位受试者参与了该实验,除了目标排列方式不一样之外,实验过程、调制码等都与上述实验一致,获取空域滤波器的方法基于 CCA。4 位受试者在两种目标排列方式下的实验结果如图 6 所示。

表1 七位受试者的离线实验结果 (accuracy) %

| subject | CCA | | | MCC | | |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | acc1 | acc2 | accTwo | acc1 | acc2 | accTwo |
| hy | 97.81 | 100.00 | 97.42 | 97.81 | 100.00 | 97.42 |
| lmq | 98.75 | 98.75 | 97.82 | 98.75 | 98.75 | 97.82 |
| wy | 94.67 | 92.50 | 92.20 | 94.67 | 92.50 | 92.20 |
| dsf | 91.36 | 96.00 | 90.18 | 91.36 | 96.00 | 90.18 |
| xfa | 90.00 | 97.78 | 94.54 | 87.86 | 97.78 | 94.55 |
| yrong | 88.57 | 84.17 | 88.13 | 88.57 | 84.17 | 88.13 |
| yzr | 91.25 | 80.00 | 86.11 | 91.25 | 80.00 | 86.11 |
| mean | (93.20±3.94) | (92.74±7.75) | (92.34±4.51) | (92.90±4.30) | (92.74±7.75) | (92.34±4.51) |

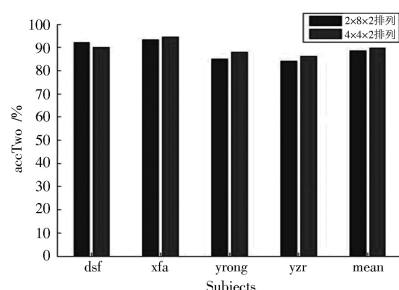


图6 受试者在两种目标排列下的实验结果

由图6可知,4位受试者在两种目标排列方式下的实验结果相近,且实验结果都较好,由此可以得出这两种刺激目标排列方式对实验结果几乎没有影响,并且都适合于该系统。因此,在实际应用当中,可以根据显示器的大小选择刺激目标的排列方式。

6 结 语

本文研究了不同编码分组调制的c-VEP的BCI系统。该系统一个目标的检测时间只要1.066 s,识别率也超过90%,更重要的是刺激目标比传统的c-VEP BCI多了1倍,既确保了高的目标识别率和检测速度,同时增加了刺激目标的个数,这对于使BCI走向实际应用有非常重要的意义。同时本文研究了两种刺激目标的排列方式,这两种排列方式都很有效。最后研究了两种获取空域滤波器的方法CCA和MCC,这两种方法都有利于提高BCI的性能。

参 考 文 献

[1] WOLPAW J R, BIRBAUMER N, MCFARLAND D J, et al.

Brain-computer interfaces for communication and control [J]. Clinical neurophysiology, 2002, 113(6): 767-791.

[2] BIN G, GAO X, WANG Y, et al. Research Frontier: VEP-based brain-computer interfaces: time, frequency, and code modulations [J]. IEEE computational intelligence magazine, 2009, 4(4): 22-26.

[3] SUTTER E E. The brain response interface: communication through visually-induced electrical brain responses [J]. Journal of microcomputer applications, 1992, 15(1): 31-45.

[4] 刘凯,高上凯.编码激励超声成像系统中二进制最优编码序列的研究[J].中国生物医学工程学报,2007,26(1):42-47.

[5] 陈罡,赵正予,杨国斌.近完美序列与m序列的分析和比较[J].电波科学学报,2008,23(1):68-73.

[6] BIN G, GAO X, WANG Y, et al. A high-speed BCI based on code modulation VEP [J]. Journal of neural engineering, 2011, 8(2): 587-589.

[7] SHEN J, EBBINI E S. A new coded-excitation ultrasound imaging system. I. basic principles [J]. IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, 1996, 43(1): 131-140.

[8] KNIGHT J N. Signal fraction analysis and artifact removal in EEG [D]. Colorado State: Colorado State University, 2003.

[9] CHERRY S. Singular value decomposition analysis and canonical correlation analysis [J]. Journal of climate, 1996, 9(9): 2003-2009.

[10] LIN Z, ZHANG C, WU W, et al. Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-based BCIs [J]. IEEE transactions on biomedical engineering, 2006, 53(12): 2610-2614.

作者简介:黄 引(1990—),女,江西抚州人,硕士研究生。研究方向为信号与信息处理。

魏庆国(1963—),男,江西南昌人,教授,博士。研究方向为信号处理、模式识别、机器学习、脑机接口等。

李茂全(1988—),男,江西上饶人,硕士研究生。研究方向为图像处理与模式识别。

(上接第60页)

测试得到了总监控服务器共可以支持的下级服务器数目,每个下级服务器可以支持监控节点的数目以及监控系统对机器性能的影响。本文提出了一种多级监控服务器结构,解决了主机之间不能相互访问的问题。

参 考 文 献

[1] 陈康,郑伟民.云计算:系统实例与研究现状[J].软件学报,2009,20(5):1337-1348.

[2] 许丞,刘洪,谭良,等.Hadoop云平台的一种新的任务调度和监控机制[J].计算机科学,2013,40(1):112-117.

[3] 方薇,崔超远,王儒敬,等.Eucalyptus开源框架下云平台的构建与性能分析[J].计算机系统应用,2012,21(6):1-5.

[4] 成静静.基于Hadoop的分布式云计算/云存储方案的研究与设计[J].数据通信,2012(5):14-18.

[5] 张尧学,周悦芝.一种云计算操作系统TransOS:基于透明计算的设计与实现[J].电子学报,2011,39(5):985-990.

[6] 冯登国,张敏,张妍,等.云计算安全研究[J].软件学报,2011,22(1):71-83.

[7] 罗军舟,金嘉晖,宋爱波,等.云计算:体系架构与关键技术[J].通信学报,2011,32(7):3-21.

[8] 穆俊.基于云平台的并行关联规则挖掘算法分析[J].现代电子技术,2015,38(11):123-125.

作者简介:陈 燕(1979—),女,江苏苏州人,硕士,讲师。主要研究方向为软件技术、移动互联。



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 浅析数字电视](#)
- [2. 单片机中文输入法研究系统设计](#)
- [3. 基于CPLD的引信感应装定器设计](#)
- [4. 基于无抖动编码的非正弦波调制](#)
- [5. 现代数字电视理论的思考与应用](#)
- [6. 中短波数字声音广播发展的新亮点](#)
- [7. 抵抗脉冲噪声影响的网格编码调制方案的性能估计](#)
- [8. Turbo空时分组编码的研究](#)
- [9. 二维QAM旋转不变TCM设计方法的研究](#)
- [10. 4ATZ-200型牧草调制收获机的研究与试验](#)
- [11. 高速短波数传中编码调制合一技术的应用](#)
- [12. 空时分组编码的研究](#)
- [13. 体育课分组教学模式理论研究](#)
- [14. 遥控开关系统的理论设计与应用](#)
- [15. 单片机脉冲编码调制发送器](#)
- [16. CCK技术在无线局域网中应用的研究](#)

17. PHILIPS数字视音频编码压缩系统的工作原理

18. 我国普遍高校“速滑课分组、分层、递进教学模式”的研究与实践

19. 滨州数字整转中关于DVB-C系统的若干思考

20. 无源RFID卡器件MCRF355/360

21. 基于机械式读数电度表硬件改造的远距离抄读

22. 数字电视技术的发展与标准

23. 天津广电数字电视前端的前期方案及设计思路

24. 超声扩频测距系统数学建模

25. 一种POCSAG码发射器的设计

26. 数字化战场的视频传输初探

27. 格码调制(TCM)的原理和性能

28. Σ - Δ 调制器分组量化编码

29. 遥控开关系统的理论设计与应用

30. 数字卫星传输系统

31. 电力线信道模型下OFDM通信系统的Simulink仿真研究

32. M进制N维信号集的信道容量分析及其计算

33. 声频/视频压缩技术在CATV系统的应用

34. CCK编码调制性能分析与仿真

35. 加氢油调制压缩机油的研究

36. 视频数字信号的信道编码和调制

37. 成都有线数字电视系统的实践

38. 浅析如何进行中考数学复习

39. 一种POCSAG码发射器的设计

40. 非线性脉码调制技术及应用

41. 格状编码调制级联空时分组码的OFDM系统

42. 电源线通信系统的可能发展

43. 数字电视接收系统

44. 基于2FSK无线载波通信系统的研究与仿真

45. 图像传送及控制联络系统

46. 分组编码调制新进展

47. 小议数字电视的基本理论及开放性平台标准的基本要求

48. 基于嵌入式的模数转换及数据分组传输研究

49. 调制编码技术分析与应用

50. PHILIPS视音频编解码设备的网管性能及故障分析