|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章一** |
| **标题** | Classification of Hand Movements from EEG using a Deep Attention-based LSTM Network |
| **期刊/等级** | IEEE Sensors Journal |
| **种类** | EEG分类 |
| **方法** | 本文通过利用具有注意力机制的长短期记忆（LSTM）网络来学习脑电图（EEG）时间序列信息，提出了一种新颖的左/右手运动分类方法，LSTM网络是由单元组成的，其输出通过网络根据过去的记忆内容演变。单元有一个共同的单元状态，沿着整个LSTM的单元链保持长期的依赖关系，该网络在最终的LSTM层之后是注意机制层，与传统的LSTM网络将其最后一个隐藏状态作为输出不同，具有注意力机制的LSTM网络将输出的隐藏状态乘以可训练的权重，之后是具有sigmoid激活函数的全连接层，以预测每个类别的概率。 |
| **结果** | 实验表明，在广泛的时域和频域特征被利用，并被用作基于注意力的LSTM网络的输入。在研究了最佳的LSTM超参数设置后，利用脑电图运动数据库对大量的受试者进行了广泛的实验（103）。用主体内和跨主体验证方案进行的性能评估显示了非常有效的结果，具有很高的泛化能力，证明了与其他基准模型和以前最先进的方法相比，所提出的方法的优越性。 |
| **个人观点** | 在EEG信号的时间步长中获得的信息的重要性也是不同的，并且依赖于任务。本文引入的基于注意力的LSTM架构可以通过关注不同时间步长的基本任务相关特征来提高使用EEG信号的分类性能，此外该文最后通过刺激感知和手部运动的不同阶段对大脑活动进行了详细的分析，并证明通过传感器对的EEG信息流与已知和预期的大脑神经功能是一致的。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章二** |
| **标题** | Feature learning from incomplete EEG with denoising autoencoder |
| **期刊/等级** | Neurocomputing |
| **种类** | BCI性能 |
| **方法** | 本文提出一种将Lomb-Scargle周期图和SVM或DAE结合的方法，以区分不完整的EEG片段。首先利用Lomb-Scarger周期图从不完整的脑电信号中估计频带功率。然后，将提取的特征用于训练无监督DAE或具有径向基函数(RBF)核的有监督支持向量机。在DAE的情况下，使用DAE的映射权重来初始化神经网络。在微调权值后，训练好的神经网络被用来识别运动想象的类别。实验中用一个是模拟数据，另一个是两类运动图像数据来证明其可行性。 |
| **结果** | 结果表明，模拟数据：比较了完整信号和不完整信号中估计的频谱功率程度，结果表明，在不同去除程度下，3HZ、6HZ都能得到很好的估计。  真实运动数据：比较了数据点移除和数据块移除条件下的测试精度，总的来说，准确性并没有显着降低。此外还对DAE 和 SVM 在滑动时间窗口分类精度方面进行比较，块数据去除条件下的精度类似于数据点移除的情况，DAE的总体平均准确率高于SVM，但DAE相对于SVM的准确率提升小于数据点去除的情况。 |
| **个人观点** | 从比较结果来看，DAE 与 SVM 相当。但当使用更多层并且更好地调整参数时，DAE 可能会优于 SVM。因此在具有噪声污染的段在仅去除噪声部分后仍可用于输出命令，从而提升了BCI的性能。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章三** |
| **标题** | A novel deep learning approach for classification of EEG motor imagery signals |
| **期刊/等级** | Journal of Neural Engineering |
| **种类** | MI信息分类 |
| **方法** | 本文研究了卷积神经网络 (CNN) 和堆叠自动编码器 (SAE) 来对 EEG 运动图像信号进行分类，通过引入一种新的输入形式，结合了从MI脑电信号中提取的时间、频率和位置信息，提出了一种将CNN与SAE结合的深度神经网络。在这个网络中，首先在输入数据通过CNN结构，并且学习滤波器和网络参数。然后，CNN卷积层的输出被用作SAE网络的输入。SAE的输入层具有900个神经元，这是在CNN中训练的30个滤波器的每一个的卷积层中30个神经元的输出，就是在CNN 中提取的特征通过深度网络 SAE 进行分类，； |
| **结果** | 实验比较了多方法的分类准确性和卡帕值（kappa）的指标; 结果表明，，Nh×3过滤器产生了最好的性能，发现CNN训练历时大小的最佳值为300。  通过使用这个网络，平均卡帕值为0.547，FNCSP算法的卡帕值为0.502，因此使用该方法，卡帕值提高了约9%，因此该深度学习方法提供了更好的分类性能。 |
| **个人观点** | 所提出的方法通过使用Nc=3个电极的数据集进行了评估，因此可以扩展到使用更大数量的电极从而输入图像可以通过对齐任何数量的电极的数据来构建；另外该方法使用了只有一个卷积层和一个池化层的CNN，如果进一步使用卷积-池化层，网络的性能将会提高。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章四** |
| **标题** | Decoding asynchronous reaching in electroencephalography using stacked  autoencoders |
| **期刊/等级** | IEEE Access |
| **种类** | BCI应用 |
| **方法** | 本文提出了采用堆叠式自动编码器对头皮脑电进行了三向异步到达解码。虽自动编码器是一种具有多个隐藏层的特殊类型的神经网络，但SAE没有同时训练具有多层的神经网络，而是对每个所需的隐藏层用自动编码器一次训练一个层。隐蔽层在无监督模式下使用稀疏自动编码器单独训练，每层分别由100个神经元和20个神经元组成.然后在分类前将这两层堆叠在一起作为预训练的网络。网络的最后一部分没有利用输出层，而是在监督模式下利用目标标签用softmax算法进行训练，整个网络通过无监督的预训练得到了改善。 |
| **结果** | 在实验中，比较了使用卷积神经网络(CNN)和使用主成分分析(PCA)进行特征选择和使用线性判别分析(LDA)进行分类的传统线性解码。在使用堆叠自动编码器的离线分析中，所有受试者在宽频带(1-45Hz)上的平均分类精度达到79±5.5%，而使用PCA-LDA和CNN的平均分类精度分别达到68±9.1%和49±13.8%。堆叠式自动编码器的同时降维和特征提取能力在BCI应用中具有显著的优势。 |
| **个人观点** | 在其网络中，自动编码器起到了无监督预训练的作用，与没有预训练的网络相比，带有无监督自动编码器的预训练网络在分类误差和误差方差方面都很稳健。无监督自动编码器为后续的监督训练进行正则化、预处理和特征提取。此外，无监督预训练将初始化架构，使其成为一个有效的模型并使成本函数最小化。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章五** |
| **标题** | Combining Motor Imagery With Selective Sensation Toward a Hybrid-Modality BCI |
| **期刊/等级** | IEEE Transactions on Biomedical Engineering |
| **种类** | BCI应用 |
| **方法** | 本文提出了一种混合模态脑机接口（BCI），将皮质输出活动（MI）与传入输入（SS）相关的皮质活动相结合，其改善分类准确性和性能。在该混合范式中，通过指示执行不同的心理任务（右侧MI和左侧刺激感觉）来增加左右的分离，此外，该混合范式需要外界的振动触觉刺激来诱发皮质活动，通过传入神经通路来感知刺激，而不是传出神经通路。 |
| **结果** | 实验结果表明，双向方差统计分析以及Benferroni 校正多重比较检验，混合模式组平均比运动想象组高11.13%，比选择性感觉组高10.45%；此外，混合模式实验表现出潜在的更广泛的使用范围，在10个受试者中跨越了70%的准确性，总的来说，混合模态支持更广泛的用户范围和改进的分类精度，通常增强了表现不佳的BCI用户的性能。 |
| **个人观点** | 比较的的结果是决定性，此外，在运动想象和选择性感觉有困难的受试者中，混合模式将他们的表现提高到90%的准确性，因此该混合模式中的运动和感觉预测要求不仅提供了BCI通信和控制的基本功能，还具有加强运动恢复期间康复的潜力。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章六** |
| **标题** | Multiclass Brain–Computer Interface Classification by Riemannian Geometry |
| **期刊/等级** | IEEE Transactions on Biomedical Engineering |
| **种类** | MI-BCI分类 |
| **方法** | 本文提出了一种新的基于运动图像的脑机接口（BCI）分类框架，引入黎曼几何概念，提出两种方法，第一种方法，称为最小距离到黎曼均值 (MDRM)，其在脑电空间协方差矩阵的本空间中对它们进行操作，并利用它们之间在本空间中的黎曼距离，是使用黎曼距离和黎曼均值的最小距离到均值 (MDM) 分类算法的实现。。第二种方法称为切线空间 LDA (TSLDA)，将协方差矩阵映射到黎曼切线空间，其中矩阵可以被矢量化并视为欧几里得对象。然后，应用变量选择过程以降低维数，并执行 LDA 分类。本文在BCI 竞赛IV 的多类数据集 IIa 上进行性能对比，并以传统的多类公共空间模式 (CSP) 和线性判别分析 (LDA)为参考方法。 |
| **结果** | 结果表明，TSLDA算法优于参考方法，将平均分类准确率从 65.1% 提高到 70.2%。  此外，还比较了卡帕值方面的结果，MDRM方法的平均性能为0.52，TSLDA方法的平均性能为0.567，接近于BCI竞赛IV冠军的分数（0.57）。 |
| **个人观点** | 文章提出两种方法都不再需要空间过滤。在MDRM分类方法中，唯一必要的信号处理步骤是时间过滤、平均协方差矩阵的估计和黎曼距离的比较。不需要设置参数，获得的结果也可接受。此外，切线空间映射是一个无监督的操作，它提取的空间信息的质量与最先进的CSP相当。因此其可在BCI应用中高效无监督训练算法的发展。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章七** |
| **标题** | Enhancing the Hybrid BCI Performance With the Common Frequency Pattern in  Dual-Channel EEG |
| **期刊/等级** | IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering |
| **种类** | BCI性能 |
| **方法** | 本文提出了一种结合了两种的BCI技术（MI和SSVEP）的混合BCI系统，实现不同的认知任务, 该系统还仅利用来自中央区域的两个EEG通道（C3-C4）, 在数据处理中引入了一种有监督的特征提取优化算法（CFP），其寻找最优的谱滤波，使数据的分类可分性最大化。 |
| **结果** | 比较了MI、SSVEP和混合方法在两类任务中对17名受试者的分类准确率，两个测试的单模态脑机接口在以双C3-C4模式而不是完整通道操作时，表现出分类准确度的显著下降:MI从95.5%到67.3%，SSVEP从97.4%到85.2%。同时，混合任务中的性能下降是微妙的:分别从98.6%下降到97.3%。结果，混合任务与CFP的组合不仅优于O1O2中的SSVEP，而且优于全通道中的MI，并且显示出与全通道条件下的SSVEP相当的准确性。 |
| **个人观点** | 本研究为了补偿双通道设置中空间信息的缺乏，对收集的EEG数据进行CFP；实验也表明CFP确实在所有条件下提高了用户选择的识别精度，因此本文考虑到CFP算法应用于优化FFT输出的特征提取，在为寻找SSVEP反应的主导频率而从FFT功率谱密度值中进行评估，无需任何初步训练，而CFP需要在监督训练中对FFT输出进行加权，才能以在线方式应用。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章八** |
| **标题** | Discriminative Manifold Learning Based Detection of Movement-Related Cortical  Potentials |
| **期刊/等级** | IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering |
| **种类** | MRCP检测 |
| **方法** | 本文中提出了一种基于判别流形学习方法的检测器--局部敏感判别分析(LSDA) ，以提高MRCPs的检测性能。该检测器基于从训练集构造类内图和类间图，并寻找线性变换矩阵以将高维数据映射到低特征空间。通过变换矩阵，数据的局部邻域信息和全局判别信息都被有效地保留。最后，使用最近邻分类器进行检测，分别设置了离线与在线实验测试所提检测器与之前文献提出的LPP性能比较，此外，本研究中使用了对应于运动执行（ME）和运动想象（MI）的信号。 |
| **结果** | 结果显示，在MRCP检测中，提议的应用LSDA提取特征的方法优于LPP，因为在保持类似的TPR水平的情况下，FPR明显降低。在线实验中，本研究发现的两种方法的ITR,LPP（73.5±11.7%）和LSDA（75.5±12.0%）， |
| **个人观点** | 本文提出的新检测方案通过发现全局判别结构并同时保留局部结构，自动提取了判别性的内在特征。然后为了满足流形假设，通过移动与MRCP相关的时间窗口，人为地再现了更多的样本，从而有效地保留了较高的真阳性率（TPR），同时也抑制了FPR。考虑到FPR的降低在BCI应用中具有根本意义，一次该方法对MRCP作为BCI系统的源信号的应用是有希望的。 |
|  | |
| **序号** | **文章九** |
| **标题** | Improving BCI-based emotion recognition by combining EEG feature selection and kernel classifiers |
| **期刊/等级** | Expert Systems with Applications |
| **种类** | BCI应用 |
| **方法** | 本文提出了一个新的基于特征的情绪识别模型。与其他方法不同的是，其探索了更广泛的情绪类型，并在情绪的维度模型的基础上加入了与信号预处理和识别分类任务相关的额外特征：Valence和Arousal，主要通过结合基于相互信息的特征选择方法和内核分类器来提高情绪分类任务的准确性。 |
| **结果** | 总体结果显示，在对情绪进行分类时，基于MRM的特征选择方法在两个维度（唤醒和情感）上的表现都优于GA-SVM（准确率为60.72%和62.4%，而57%和53.4%）。此外，对于这两个维度，拟定方法减少了相关特征的数量，几乎能够减少在63%，准确率更高，在每个维度有相同数量的类时，拟定方法优于最先进的方法（即73%对62%）。此外，当其他最先进的方法对em Valence进行分类时，提出的方法能够对每个维度更多的类进行分类。 |
| **个人观点** | 该研究结合特征选择方法（mRMR）和使用RBF核的SVM分类器在准确性上有了明显的改善，其通过使用mRMR特征选择方法作为信号预处理步骤，选择与分类变量相关性最强的特征，利用相互信息（MI）方法减少坏特征和好特征之间的信息冗余，可以有效地选择最佳的特征集。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **文章十** |
| **标题** | Frameworks for Efficient Brain-Computer Interfacing |
| **期刊/等级** | IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems |
| **种类** | BCI框架 |
| **方法** | 本文提出了三种潜在的框架，用于研究 BCI 电路的面积和能源效率实现。框架 I 使用体内尖峰检测器通过仅发送检测到的尖峰用于片外分类和解码来减少数据传输。最小化能量的第二个潜在框架是在可植入大脑的芯片上应用尖峰压缩，通过利用神经信号的稀疏性，可以显着降低通过颅骨的数据速率，从而降低能量耗散。框架 III 在片上执行尖峰排序，以进一步减少用于片外解码的数据无线传输，但代价是更多的片上体内处理。还采用人工神经网络 (ANN) 来对尖峰排序的片上计算。 |
| **结果** | 实验结果表明，与原始神经信号采样相比，所提出的每个框架都能降低数据率，但降低整体功耗的理想框架是在可植入大脑的芯片上使用人工神经网络（ANN）有效实现尖峰排序。此外表明，整体功耗由系统的输出数据率主导，因此数据率的降低是体内处理整体功耗降低的最重要指标之一。 |
| **个人观点** | 在第三种框架中，采取了一种替代传统方法的方法有效地实现峰值排序，设计了一个专门用于峰值排序的ANN，就是波形的每个样本可以被视为一个特征，并传递给分类ANN，ANN的输入向量的长度和尖峰分类的数量分别定义了输入和输出层的大小。 |