

评分: _____



上海大学

SHANGHAI UNIVERSITY

课程论文

COURSE PAPER

脑机接口技术与注意力机制

——基于脑机接口和注意力机制的未来发展研究

学	院	计算机工程与科学学院
专	业	智能科学与技术
学	号	20123101
学 生 姓 名		李昀哲
课 程		研究方法与前沿(智能)
打 印 日 期		2023.3.9

脑机接口技术与注意力机制

——基于脑机接口和注意力机制的未来发展研究

20123101 李昀哲

摘要：脑机接口技术现已成为研究热点，具有极为重要的理论意义和广阔的应用前景，但对于其安全性、伦理性的研究并不充分。本文将就脑机接口技术、注意力机制进行讨论，并从未来现实出发讨论其影响。

关键词：脑机接口技术；注意力机制；脑电（EEG）

一、引论

脑机接口(Brain Computer Interface)，也被称为智能大脑，是大脑电活动与外部设备（最常见的是计算机或机械臂）之间的直接通信途径。BCI 通常用于研究、绘制、辅助、增强或修复人类认知或感觉运动功能 BCI 的实现范围从非侵入性和部分侵入性(EECoG 和血管内)到侵入性(微电极阵列)，取决于电极与脑组织的距离

20 世纪 70 年代，加州大学洛杉矶分校(UCLA)的雅克·维达尔(Jacques Vidal)在国家科学基金会的资助下开始了对 bci 的研究^[1]，随后与 DARPA 签订了一份合同。维达尔 1973 年的论文标志着表情脑机接口首次出现在科学文献中。

由于大脑皮层具有可塑性，植入假体的信号经过适应后，可以像天然的传感器或效应通道一样被大脑处理。经过多年的动物实验，第一个植入人体的神经假体装置出现在 20 世纪 90 年代中期。



图 1 脑机接口示意图

最近，通过将机器学习应用于从额叶(EEG 脑波)数据中提取的统计时间

特征进行人机交互的研究，在将跌倒检测作为医疗警报、精神状态(放松、中性、集中)、精神情绪状态(消极、中性、积极)、和丘脑皮质节律障碍方面取得了很高的成功。如此人就可以直接通过脑来表达想法或操纵设备，而不需要语言或动作,这可以有效增强身体严重残疾的患者与外界交流或控制外部环境的能力，以提高患者的生活质量^[2]

脑—机接口是在大脑与外部设备之间建立的直接的交流通道。文中简单叙述了脑—机接口的发展现状,并探讨了未来发展中面临的挑战^[3]。

二、自注意力机制

自注意力机制（self-attention）是注意力机制^[9,10]（attention mechanism）的一部分，也是一种机器学习技术、它将单个序列的不同位置联系起来的注意机制，以便计算同一序列的表示。它已被证明在机器阅读、抽象摘要或图像描述生成方面非常有用。

Given a sequence of input tokens $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n$, where any $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^d$ ($1 \leq i \leq n$), its self-attention outputs a sequence of the same length $\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_n$, where

$$\mathbf{y}_i = f(\mathbf{x}_i, (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1), \dots, (\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_n)) \in \mathbb{R}^d \tag{10.6.1}$$

图 2 自注意力机制序列表示

在深度学习中，经常使用卷积神经网络（CNN）或循环神经网络（RNN）对序列进行编码。想象一下，有了注意力机制之后，我们将词元序列输入注意力池化中，以便同一组词元同时充当查询、键和值。具体来说，每个查询都会关注所有的键—值对并生成一个注意力输出^[1]。

接下来比较下面几个架构，目标都是将由 n 个词元组成的序列映射到另一个长度相等的序列，其中的每个输入词元或输出词元都由 n 维向量表示。具体来说，将比较的是卷积神经网络、循环神经网络和自注意力这几个架构的计算复杂性、顺序操作和最大路径长度。请注意，顺序操作会妨碍并行计算，而任意的序列位置组合之间的路径越短，则能更轻松地学习序列中的远距离依赖关系。

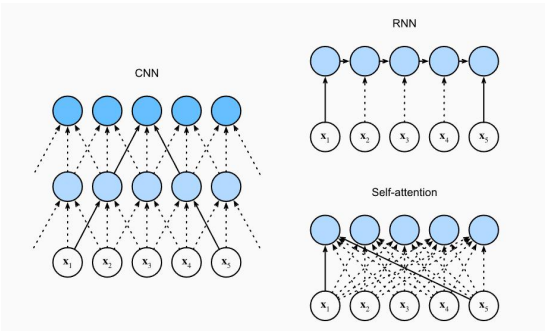


图 3 比较卷积神经网络（填充词元被忽略）、循环神经网络和自注意力三种架构

考虑一个卷积核大小为 k 的卷积层。在后面的章节将提供关于使用卷积神经网络处理序列的更多详细信息。目前只需要知道的是，由于序列长度是

n ，输入和输出的通道数量都是 d ，所以卷积层的计算复杂度为 $O(knd^2)$ 。

在自注意力中，查询、键和值都是 $n \times d$ 矩阵。缩放的“点-积”注意力，其中 $n \times d$ 矩阵乘以 $d \times n$ 矩阵。之后输出的 $n \times n$ 矩阵乘以 $n \times d$ 矩阵。因此，自注意力具有 $O(n^2d)$ 计算复杂性。正如在图 10.6.1 中所讲，每个词元都通过自注意力直接连接到任何其他词元。因此，有 $O(1)$ 个顺序操作可以并行计算，最大路径长度也是 $O(1)$ 。

总而言之，卷积神经网络和自注意力都拥有并行计算的优势，而且自注意力的最大路径长度最短。但是因为其计算复杂度是关于序列长度的二次方，所以在很长的序列中计算会非常慢。

三、位置编码

在处理词元序列时，循环神经网络是逐个的重复地处理词元的，而自注意力则因为并行计算而放弃了顺序操作^[1]。为了使用序列的顺序信息，通过在输入表示中添加。位置编码（positional encoding）来注入绝对的或相对的位置信息。位置编码可以通过学习得到也可以直接固定得到。接下来描述的是基于正弦函数和余弦函数的固定位置编码。

```
##save
class PositionalEncoding(nn.Module):
    """位置编码"""
    def __init__(self, num_hiddens, dropout, max_len=1000):
        super(PositionalEncoding, self).__init__()
        self.dropout = nn.Dropout(dropout)
        # 创建一个足够长的P
        self.P = torch.zeros((1, max_len, num_hiddens))
        X = torch.arange(max_len, dtype=torch.float32).reshape(
            -1, 1) / torch.pow(10000, torch.arange(
                0, num_hiddens, 2, dtype=torch.float32) / num_hiddens)
        self.P[:, :, 0::2] = torch.sin(X)
        self.P[:, :, 1::2] = torch.cos(X)

    def forward(self, X):
        X = X + self.P[:, :X.shape[1], :].to(X.device)
        return self.dropout(X)
```

图 4 position encoding 代码实现

在位置嵌入矩阵 P 中，行代表词元在序列中的位置，列代表位置编码的不同维度。从下面的例子中可以看到位置嵌入矩阵的第 6 列和第 7 列的频率高于第 8 列和第 9 列。第 6 列和第 7 列之间的偏移量（第 8 列和第 9 列相同）是由于正弦函数和余弦函数的交替^[1]。

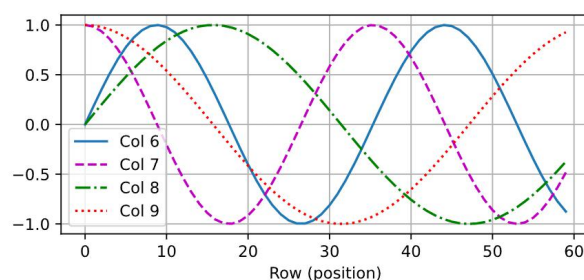


图 5 位置偏移信息

四、脑机接口未来对人类的影响

老 Q 思维和体觉能力获得修复后的生活并未持续太久，由于硬件寿命和软件需求，每过一个月或是一个季度，N 公司都会对软件进行一次更新以适配硬件和更新一定的芯片功能^[4]。

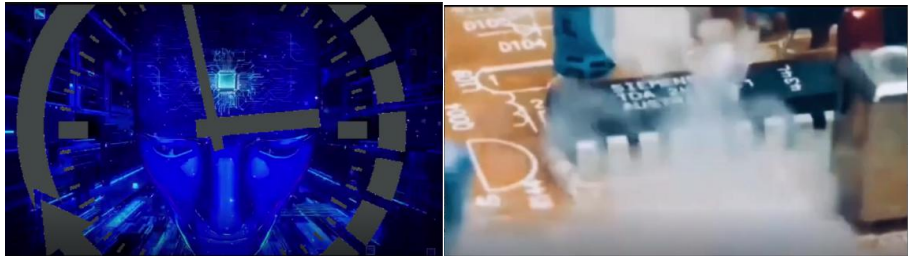


图 6 脑机芯片硬件故障



图 7 AR 展示芯片更新及选项

更新过程会对老 Q 进行提示，以 AR 形式展现在眼前，他可通过脑电波自行选择更新与否，绝大多数用户都会根据提示毫无顾忌更新软件，老 Q 也是如此。一天，老 Q 正在高速上狂飙，他收到了芯片更新的提示。

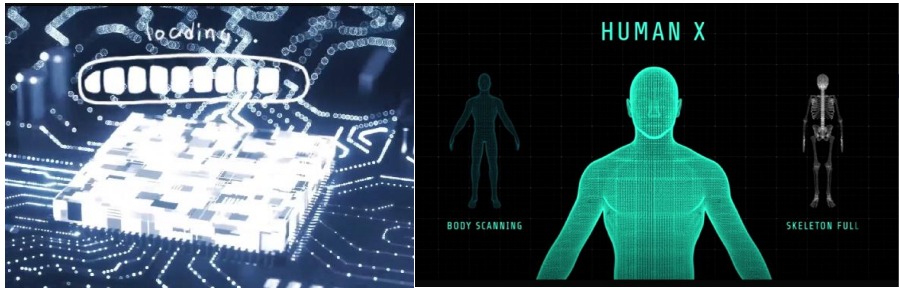


图 8 软件更新

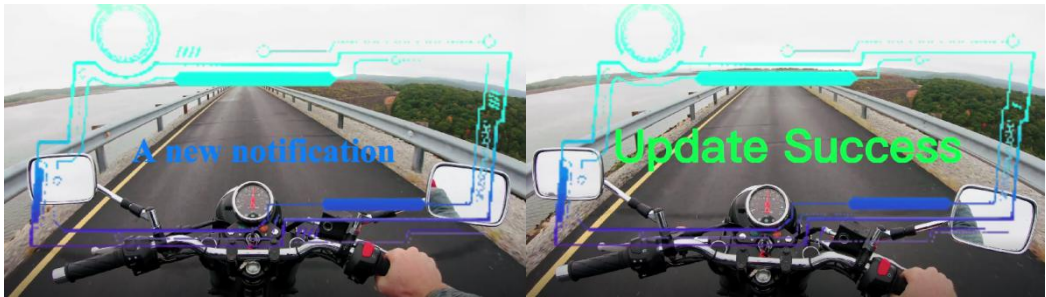


图 9 AR 软件更新提示

每过三年，硬件的老化会使得患者处于极端易损状态，芯片更新的功能会大幅衰弱，必须进行一次线下的芯片替换，插入芯片后的第三年老 Q 如期前往医院更换芯片。

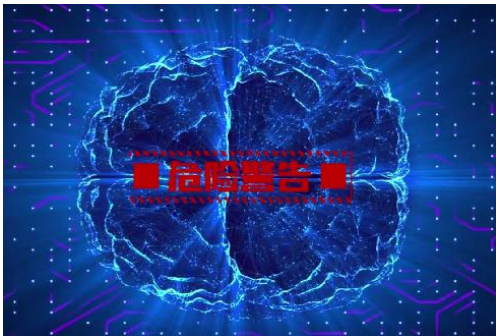


图 10 硬件易损状态

和最初安装一样，家属、律师、工程师、医师共同完成这个过程。芯片的替换可能导致不同的结果



图 11 芯片线下替换和结局选择

A. 运动天才

更换芯片后，老 Q 情绪大变，对政务消极怠工，每天对工作毫无兴致，但对于体育运动却突然燃起了极高的热情，他辞去了国会职务每天开始进行短跑训练，在三个月的训练中，他展现了对短跑从未显露过的极强天赋。多次在，非正式比赛中打破世界纪录。因此获邀加入国家队。在田径世锦赛中，以 53 岁的高龄一举夺魁并成为最年长的短跑冠军。



图 12 芯片更新



图 13 芯片原型更换

B. 乱臣贼子

但在软件更新和硬件替换过程的表象下，一股暗流也在伺机而动.....此后的一个月，老 Q 参与了多场国际会议，进行了多项违背人道主义的决策，包括主动向 B 国提供核武器援助。



图 14 软件更新和芯片危险预警

同时，他疑似违规挪用国库财产，但财产去向却并未转移至其个人账户，因此对老 Q 的诸多调查也无功而返，多项指控均以无从查证无法成立。但种种现象表明，老 Q 似乎受到了某种控制，无法时刻掌控自我意识。



图 15 签署违背人道主义决策



图 16 指控不成立

五、结论

BCI脑机接口是一种多学科交叉的新兴技术，它涉及神经科学、信号检测、信号处理、模式识别等多种学科领域。BCI 技术的研究具有重要的理论意义和广阔的应用前景。由于 BCI 技术的发展起步较晚，相应的理论和算法很不成熟，对其应用的研究很不完善，有待于更多的科技工作者致力于这一领域的研究工作。但对于脑机芯片的嵌入，务必做好相关的伦理、安全等威胁社会、他人的规范和制度，才能真正让科学技术同人类共同发展和进步。

参考文献

- [1] https://classic.d2l.ai/chapter_attention-mechanisms/nadaraya-watson.html
- [2] 杨立才,李佰敏,李光林等.脑-机接口技术综述[J].电子学报,2005(07):1234-1241.
- [3] 高上凯.浅谈脑-机接口的发展现状与挑战[J].中国生物医学工程学报,2007,No.115(06):801-803+809.
- [4] 程明,任宇鹏,高小榕等.脑电信号控制康复机器人的关键技术[J].机器人技术与应用,2003(04):45-48.
- [5] 尧德中,刘铁军,雷旭等.基于脑电的脑-机接口:关键技术和应用前景[J].电子科技大学学报,2009,38(05):550-554.
- [6] 马贇,王毅军,高小榕等.基于脑-机接口技术的虚拟现实康复训练平台[J].中国生物医学工程学报,2007,No.112(03):373-378.
- [7] Sun Sicong, Ye Zhongfu Robust adaptive beamforming based on a method for steering vector estimation and interference covariance matrix reconstruction[J].Signal Processing, 2021, 182
- [8] Fatah Bouchebbah, Hachem Slimani 3D automatic levels propagation approach to breast MRI tumor segmentation[J]. Expert Systems With Applications, 2021, 165
- [9] 梁斌,刘全,徐进等.基于多注意力卷积神经网络的特定目标情感分析[J].计算机研究与发展,2017,54(08):1724-1735.
- [10] 朱张莉,饶元,吴渊等.注意力机制在深度学习中的研究进展[J].中文信息学报,2019,33(06):1-11.