

翻译认知视角下的神经网络翻译研究

——以 Systran PNMT 为例

赵硕 西北工业大学

摘要: 基于人工神经网络技术的机器翻译技术,是目前世界上新兴的机器翻译技术,备受学界、业界乃至全球很多大型实体企业、组织机构的关注和青睐。本文对 Systran PNMT (Pure Neural Machine Translation) 的研究背景、翻译系统应用价值、翻译效果等方面进行了分析,进一步阐明与认知相结合的信息翻译技术对翻译实践的辅助作用,并基于翻译认知理论对神经网络翻译技术的进一步发展提出建议和展望。

关键词: 神经网络; 认知翻译; 机器翻译; Systran PNMT

中图分类号: H059

文献标识码: A

文章编号: 1000-873X (2018) 04-0079-07

当下,我们正处在一个技术大变革的时代,以人工智能、大数据、云计算、物联网等为代表的高新技术正在逐渐改变人们的生活。信息交流变得越来越高效和便捷,越来越多的高新技术被应用到翻译领域中。从早期的词典匹配,到词典结合语言学专家知识的规则翻译,再到基于语料库的统计机器翻译,各类翻译软件已经深入到我们社会生活的方方面面,为人们提供了实时、便捷的语言服务。目前市场上的主流翻译软件主要有两种:基于统计的机器翻译与基于规则的机器翻译。这两种翻译技术虽然可以快速并准确地翻译一些内容单一、文字叙述简单的词句,但是目前,这类翻译技术也存在着词库不完善,不能很好地把握篇章语义,在语法、修辞、逻辑等方面的灵活应用等不足之处,面对语法、语义相对复杂的篇章常常会出现一些似是而非的翻译输出语。随着科学技术的不断发展和创新,人工智能发展推动了机器翻译的进步。为了弥补上述两种机器翻译的缺点,一些翻译软件开始应用人工智能先进技术,引入深度学习,基于神经网络进行认知翻译,通过借助计算机模拟的神经元模仿人脑理解语言,生成译文,较好地提高了翻译的质量和水平。神经网络翻译有两个关键的技术: Gating 和 Attention,即语言中长距离调序,比如中英文结构差异较大,词语顺序存在全局调整,神经网络翻译系统处理这种情况就显示了其优势,生成的译文要比传统的方式生成的译文流利和客观,这也是神经网络翻译突出的特点。

一、研究背景

(一) 基于神经网络的机器翻译

基于神经网络的语言模型 (Bengio et al., 2003) 最早由 Bengio 教授在 2003 年提出,通过将每个词映射成为一个固定长度的实数向量(词向量)有效缓解了数据稀疏性问题。再后来, Mikolov 等人提出基于循环神经网络的语言模型 (Mikolov et al., 2010) 等,但是这些语言模型在加入计算机翻译系统时都只考虑了目标语言端前 $n-1$ 个词,而 Devlin 等人认为,源语言端的信息也非常重要,由此他们提出神经网络联合模型 (Neural Network Joint Model, NNJM) (Devlin et al., 2014),利用源语言与目标语言端的上下文信息构建 NNJM (神经网络联合模型),使得统计机器翻译效果有了很大提升。神经网络翻译目前主要技术是端到端的模式 (End-to-End),将输入文本(源语言)同对应的翻译结果(目标语)连接起来。其最大的优点是建立翻译模型时考虑到了句法、语义等信息。

2014 年 LISA 公司推出了世界上第一例在线神经机器翻译演示 (Bahdanau et al., 2014)。2015 年 5 月百度上线首个互联网 NMT (Neural Machine Translation, 神经网络机器翻译) 系统,2016 年 9 月 29 日,谷歌宣布发布 Google 神经网络机器翻译系统 (Google Neural Machine Translation, 简称 GNMT)。2016 年 12 月,SYSTRAN INTERNATIONAL 公司全球首次推出支持 60 个语言对的、基于人工神经网络技术的 PNMT (Pure Neural Machine Translation, 神经网络技术

机器翻译引擎)。

作为机器翻译行业最早的开发者和软件提供商, Systran公司于1968年由Dr. Peter Toma创办。Peter Toma是一位从事自然语言研究的科学家, 当时恰好在美国乔治敦大学为美国政府的一个机器翻译项目工作, 这个项目主要是为冷战时期美国空军将大量俄语的科技文档翻译成英语的需要服务的, 之后他以该大学机器翻译系统研发小组为班底创办 Systran 机器翻译公司。1986年, Systran 被出售给法国巴黎的 Gachot 家族, 并于2000年在法国证券交易所上市。Systran 是目前应用广泛、开发语种较丰富的翻译软件。它不但提供翻译技术给 Yahoo、AltaVista 等大型搜索引擎, 还提供给美国空军(US Air Force)及欧盟委员会(European Commission)使用。融合了多年来积累的自然语言处理技术及机器翻译技术经验, SYSTRAN PNMT 是将人工智能、深度学习、神经网络技术与机器翻译有机融合的新一代机器翻译技术。故本文以该技术为例, 对基于神经网络技术的机器翻译进行分析探索。

(二) 基于认知翻译理论的神经网络研究概述

自从哲学从20世纪60年代后出现了第四转向, 迈入后现代时期, 科学技术和软件开发也得到了巨大发展, 其方法也辐射到语言学和翻译学界(王寅, 2014)。而对翻译认知过程的研究也逐渐成为认知科学一些分支学科的重要课题。Martin(2010)基于近年来这类研究, 正式提出了建构“认知翻译学”(Cognitive Translatology)的设想, 主张在该学科中尽快建立理论与实证紧密结合的方法, 将“人文主义与科学主义”两大思潮嫁接起来, 尝试在后现代理论框架中创建具有“科学—人文性”的认知翻译学, 将传统的“定性+定量”研究取向推向了一个新阶段。认知翻译学(Cognitive Translatology)是指基于认知科学, 尤其是认知心理学和认知语言学理论的翻译研究, 研究者借助认知科学的理论和方法来解释翻译现象, 揭示口、笔译的认知过程——包括译者的心理过程, 进而揭示翻译的本质和规律。

认知途径的翻译研究者认为, 翻译研究的注意力应放在对翻译过程的客观描述上, 对译者的大脑活动进行认知研究(Lorscher, 2005)。在他

们看来, 翻译本质上就是一个信息加工过程。因此, 译者在翻译过程中采用的信息加工模式、加工策略和加工单位便成了认知途径翻译研究的主要内容(颜林海, 2008)。同时, 翻译能力及其习得、翻译专长以及译者认知努力等方面也是认知途径翻译研究的重要内容。

认知翻译学研究的方法论源自认知科学, 而认知科学的产生得益于信息科学、语言学、心理语言学、认知心理学和人工智能的研究成果。因此, 翻译认知研究的方法主要借自心理学、认知神经科学、认知心理学和认知语言学等认知科学分支学科。

自从20世纪中期以来, 基于符号加工理论和联结主义理论研究范式的认知心理学应运而生。其中, 符号加工范式在多年的发展中逐渐构成认知科学的经典研究范式。1986年由拉梅哈特、麦克莱兰德等出版了《并行分布加工: 认知结构的微观探索》, 该书中作者提出多层神经网络模型的反向传播学习算法(Back Propagation Algorithm), 并证明多层神经网络的计算能力可以用来完成很多学习任务并解决其中的很多学习问题。在以后关于神经网络的研究中, 学者们提出了可以用来处理不同信号能力的多种神经网络模型, 这些模型又被应用到信息处理的各个领域, 包括模式识别、人工智能和认知处理等。联结主义模式是指通过简单加工单元之间的联结方式进行计算或加工信息的输入和输出模式。这种模式是对真实源语神经网络的模拟, 试图以此构建一个更接近神经活动的认知语言输出模型, 即基于认知的神经网络。从认知角度看翻译认知转换过程包括原语感知、理解、双语信息处理、译语输出过程等几个阶段, 具体表现为理解、解码、存储、编码和输出五个阶段。虽然翻译的过程从本质上看兼具心理和认知的因素, 同时也反映了译者语际转换的内在心理机制和言语信息加工的认知过程(王柳琪、刘绍龙, 2008)。因此, 基于认知角度的翻译信息转换的神经网络模型将神经网络与认知翻译研究相结合, 在人工智能翻译研究领域具有一定的应用和借鉴价值。

二、SYSTRAN PNMT 系统翻译分析

SYSTRAN PNMT 是人工智能、深度学习、神经网络技术与机器翻译有机融合的新一代机器

翻译技术,体现了翻译转换过程的源语感知、理解、双语信息处理、译语输出过程等阶段,将理解、解码、存储、编码和输出五个认知阶段融入到双语信息的处理中,是翻译编码—解码的认知语言处理的系统工程。

2016年哈佛大学 NLP (自然语言处理研究组)小组研发的开源项目 (OpenNMT) seq2seq-attn “编码—解码 (Encoder-Decoder)” 系统构成了 SYSTRAN PNMT 的主要系统,其 OpenNMT 系统使用了 Torch 数学工具包 (深度学习工具),随着不断的翻译实践达到了一定的应用效果。

作为网络机器翻译手段的有效补充,该系统能提高输出效率和保持相对最佳的翻译准确度。该系统特点可概括为:(1)通用型接口较为简易,可实现源文件和目标文件的相互转换;(2)GPU (图形处理器)速度和内存优化性功能较快;(3)翻译输出性能的最新研究特性得以提高;(4)预训练模型配有多个语言对可供选择;(5)允许其它序列生成任务的扩展,可用于归纳和文本的转换生成。

OpenNMT 系统包含三条指令:(1)预处理数据;(2)训练模型;(3)翻译句子。2014年 Seq2seq 的神经网络模型开始用于机器翻译,在带有注意 (Attention) 标准 Seq2seq 模型的 Torch 实现中,其编码器—解码器 (Encoder-Decoder) 模型表现为 LSTM (Long-Short Term Memory, 长短期记忆模型),编码器可以是一个双向 LSTM。此外还能在字符嵌入 (Character Embedding) 上运行一个卷积神经网络后再运行一个信息高速网络 (Highway Network),从而将

字符作为输入来使用。该注意模型来源于发表在 2015 年 EMNLP (自然语言处理实证方法) 会议上的论文 Effective Approaches to Attention-based Neural Machine Translation。Systran 公司使用该论文中的带有输入—反馈方式的全局通用注意力模型 (Global-General-Attention Model with the Input-Feeding Approach),其中的输入—反馈是可选项。里面字符模型来源于 2016 年 AAAI (美国人工智能协会) 会议上的论文 Character-Aware Neural Language Models。Seq2seq 模型有效地建模了基于输入序列与预测未知输出序列的问题。模型由两部分构成:一个编码阶段的 Encoder 和一个解码阶段的 Decoder。

LSTM 模型的特点是记忆性功能,但是 Encoder 阶段会出现输入序列较长的情况,LSTM 在解码时也无法很好地针对已经输入序列进行解码。基于此,应用 Attention 注意力分配机制就是为了解决该问题。由于在 Decoder 阶段的每一步解码都有一个输入,可对输入序列所有隐藏层的信息进行加权处理。就是说,每次在预测下一个词时都会把所有输入序列的隐藏层信息先浏览一遍,然后决定预测当前词和输入序列的最相关输出,从而实现神经网络翻译的认知效果。

此外,Attention 模型的特点在于其自主解码时的选择性功能,Encoder-Decoder 模型要求编码器将所输入信息都编码进一个固定长度的向量之中,Attention 模型则将输入编码成一个向量的序列,这样可以在解码时通过选择性从向量序列中挑选一个子集进行语言的输出处理。从输出效果看,它能够充分利用输入序列的相关信息,而这种方法在翻译实践中也取得了不错的认知效果,可以作为目前网络翻译技术应用的有效补充。

三、Systran PNMT 翻译效果案例分析

目前,SYSTRAN 正在向亚洲区主要客户提供 PNMT™ 翻译引擎的 Beta 测试。SYSTRAN 的 R&D 研究所为了 PNMT™ 的开发,进行了长达 5 万多小时的语言

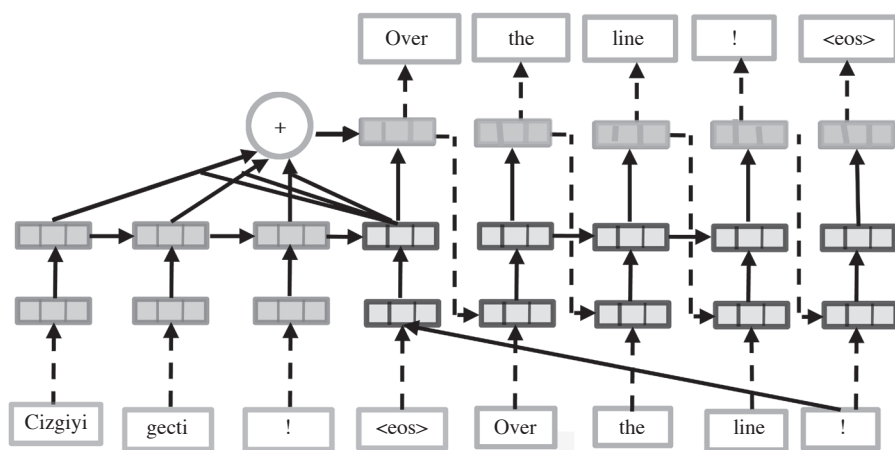


图 1 OpenNMT 模型^①

模型训练。为了体验 Systran PNMT 的翻译效果,笔者选取了英汉语言对的句子和语篇材料,用 Systran PNMT 测试页进行英汉在线互译。并将翻译结果同传统的机器翻译软件、Google 翻译、百度翻译以及人工翻译进行了对比(结果见表1、表2、表3)。

通过上述翻译结果对比,我们可以看出,采用了神经网络机器翻译技术的翻译引擎,尽管翻译结果同人工翻译相比还有瑕疵有待提高,但同传统机器翻译结果比较,基于神经网络的机器翻译在语义、语法、语气等方面的准确度明显提升,翻译结果的实用性也更高。如表1中, Systran PNMT 的翻译结果不仅可以突出时态(原文1),选词和叙述语气更符合目标语受众的文化认知习惯和表达习惯(原文2)。并且,笔者认为部分词汇的翻译甚至超越人工翻译,更贴近目标语受众的语言习惯(原文1、2斜体部分)。同传统的基于统计规则的机器翻译软件相比,采用 Input-Feeding Approach 编码解码模型的 Systran PNMT,在编码过程中不再是过去那种对源语言不加细致分析,直接输入进行编码,而是对每一条源语言所携带的信息,进行充分细致的分析和选择,在解码的时候,每一步都会选择性的从向量序列中挑选一个子集进行进一步认知处理。这样,在产生每一个输出的时候,都能够做到充分利用输入序列携带的信息。所以 Systran PNMT 的翻译过程模拟人脑信息处理系统,具有智能化的选择性,体现出

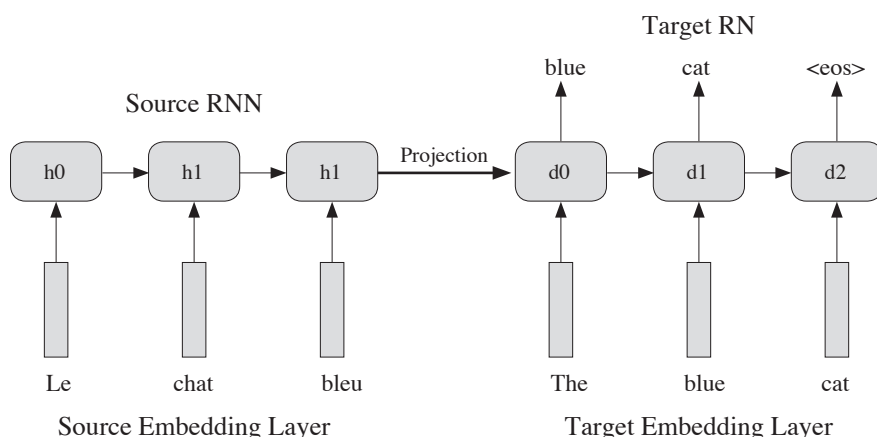


图2 Seq2Seq 模型^②

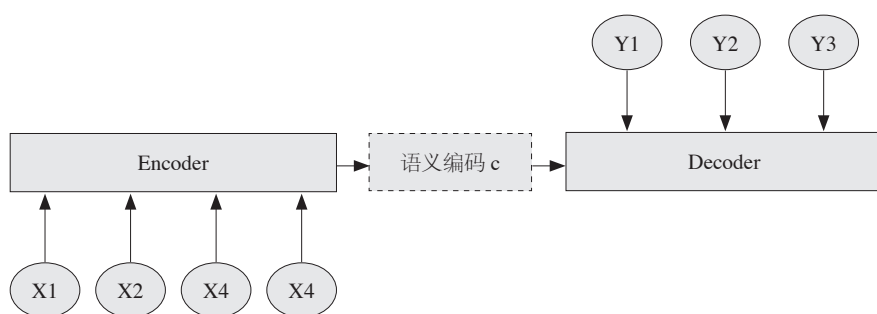


图3 Encoder-Decoder 模型^③

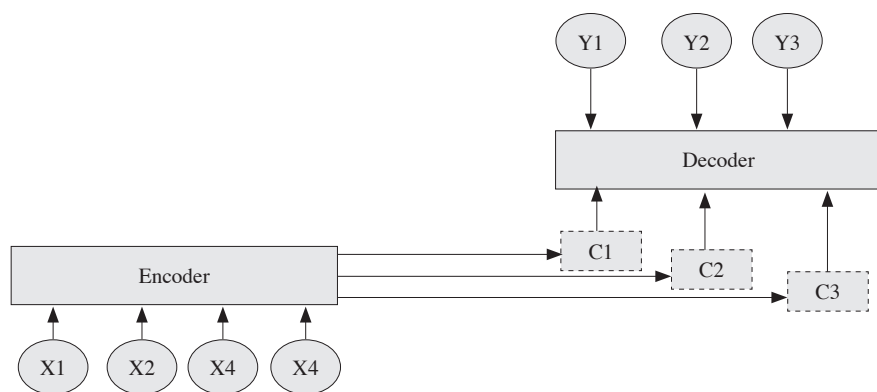


图4 Attention 模型^④

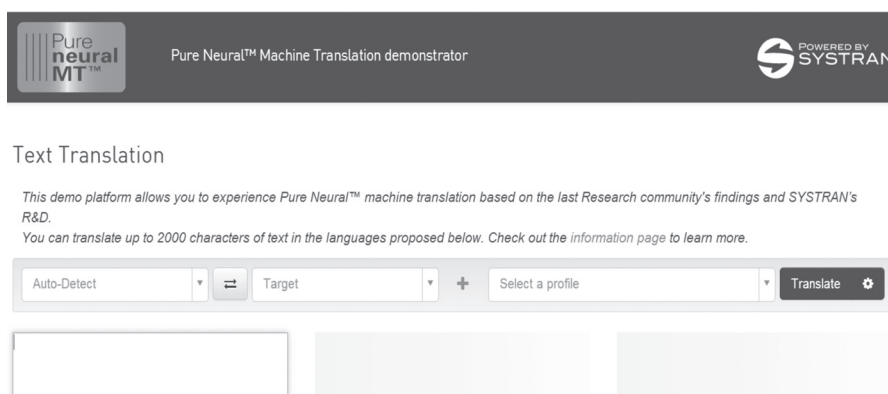


图5 Systran PNMT 测试页界面

表1 Systran PNMT 的句子翻译对比^⑤

原文 1		The machine did not stop because the fuel had run out.
翻译软件 / 译文	金山快译 (传统机器翻译)	因为燃料跑出去了, 机器没停止。
	Systran PNMT	机器没有停止, 因为燃料已经用完了。(此处突出了时态)
	Google 翻译	机器没有停止, 因为燃料用完了。
	百度翻译	机器没有停下来, 因为燃料用完了。
	人工翻译	这台机器并不是因为燃料用完而停止运转的。
原文 2		Science plays an important role in the society in which we live.
翻译软件 / 译文	金山快译 (传统机器翻译)	科学在我们生活的协会起一个重要的作用。
	Systran PNMT	科学在我们生活的社会中发挥着重要作用。(此处突出认知情感)
	Google 翻译	科学在我们生活的社会中起着重要的作用。
	百度翻译	科学在我们生活的社会中起着重要的作用。
	人工翻译	科学在我们社会生活中起着重要的作用。

表2 Systran PNMT 的汉—英段落翻译对比

原文 (摘自沪江英语学习网) http://www.hjenglish.com/new/p73820/page2/		My father was a self-taught mandolin player. He was one of the best string instrument players in our town. He could not read music, but if he heard a tune a few times, he could play it. When he was younger, he was a member of a small country music band. They would play at local dances and on a few occasions would play for the local radio station.
翻译软件 / 译文	Systran PNMT	我父亲是一个自学成才的 mandolin。他是我们小镇上最棒的弦运动员之一。他不能读音乐, 但如果他听过几次的话, 他就能演奏。当他年轻时, 他就是一个小国家音乐乐队的成员。他们会在当地的舞蹈中玩, 一会儿会在当地的电台播放。
	Google 翻译	我的父亲是一个自学的曼陀林球员, 他是我们镇上最好的弦乐器之一, 他不能读音乐, 但是如果他听到几首歌, 他可以玩。当他年轻的时候, 他是一个小乡村音乐乐队的成员, 他们将在当地舞蹈演出, 并会在当地广播电台播放几次。
	百度翻译	我父亲是个自学成才的球员。他是最好的一种弦乐器的球员在我们的城市, 他看不懂乐谱, 但是如果听几次曲子, 他就能演奏出来。当他年轻的时候, 他是一个小乡村乐队的成员, 他们在当地舞厅演奏, 有几次还为当地电台播放。
	人工翻译 (摘自沪江英语学习网) http://www.hjenglish.com/new/p73820/page2/	我父亲是个自学成才的曼陀林琴手, 他是我们镇最优秀的弦乐演奏者之一。他看不懂乐谱, 但是如果听几次曲子, 他就能演奏出来。当他年轻一点的时候, 他是一个小乡村乐队的成员。他们在当地舞厅演奏, 有几次还为当地广播电台演奏。

表3 Systran PNMT 的英—汉段落翻译对比^⑥

原文 (摘自可可英语网) https://www.kekenet.com/read/201704/503494.shtml		皮尤研究中心的最新调查显示, 有更多的美国人对中国抱有好感。这项公布于上周二的调查发现, 44% 的美国人对中国抱有好感, 比一年前的 37% 有所上升。调查称, 美国人对中国的好感度上升的部分原因是他们对来自中国的经济威胁的担忧降低。
翻译软件 / 译文	Systran PNMT	The Pew research Center's latest survey shows that more Americans are sympathetic to China. The survey, published on Tuesday, found that 44% per cent of Americans were comfortable with China, up from 37% per cent a year earlier. The rise in US sensitivity to China was partly due to their concern about the economic threat from China, according to the survey.
	Google 翻译	The latest survey by the Pew Research Center shows that more Americans have a good impression of China. The survey on Tuesday revealed that 44 percent of Americans had a good impression of China, up from 37 percent a year ago. Investigations say the rise in Americans' appetite for China is partly due to lower concerns about the economic threat from China.
	百度翻译	According to a recent study by the Pugh Research Center, more Americans are interested in china. The survey, released on Tuesday, found that 44% of Americans have a favorable impression of China, an increase of more than a year ago of 37%. The survey says the rise in American sentiment in China is in part due to concerns about the economic threat from china.
	人工翻译 (摘自可可英语网) https://www.kekenet.com/read/201704/503494.shtml	More people in the US have favorable views of China, according to the latest survey by the Pew Research Center. The survey released last Tuesday finds that 44% of Americans have a favorable opinion of China, up from 37% a year ago. It describes the growth in positive ratings for China as partly due to declining concerns about economic threats from China.

较强的逻辑性, 翻译结果更符合目标语言受众的文化认知习惯和语言表达习惯, 具有更强的文化认知性, 具有明显的文化和认知特点。在表2和表3的篇章翻译中, 百度翻译、Systran PNMT、Google 翻译这几种翻译引擎都采用了神经网络技术, 可以看到这几种翻译引擎的翻译结果各有千秋。在英译汉篇章翻译中, 百度基于在汉化方面的先天优势, 翻译结果更符合汉语语法规则、表达习惯和汉语受众的认知习惯。但是在汉译英篇章中, Systran PNMT 的翻译结果更为准确 (例如,

表2中百度将最关键的皮尤研究中心英文名翻译错误),更符合英语语法和句式规则,更符合英语受众的认知习惯(如partly due to与人工翻译几乎一致)。综合上述分析,虽然Systran PNMT在篇章翻译汉化方面有待提高,但其在多语言对翻译领域相对具有更丰富的经验(可翻译的语言对在上述三种机器翻译引擎中最多),翻译结果具有较强的实用价值和文化价值,较符合目标语言受众的认知习惯,并且其在商业翻译应用领域所创造的价值也是百度翻译和Google翻译所不能及的。

四、神经网络机器翻译的发展前瞻

虽然基于神经网络的机器翻译技术大大提升了翻译质量,使得机器翻译产生了质的飞跃,但是面对复杂语篇,尤其是文学和感情色彩浓厚的复杂语篇,机器翻译和人工翻译质量仍相差甚远。这其中关键的一点就在于,目前的人工智能技术只能模拟人脑进行简单的信息处理,但是对于人脑复杂的信息加工、情感认知、文化素养储备等功能还不能进行复制和学习。中国数学家、语言学家周海中曾在论文《机器翻译五十年》中指出,要提高机译的质量,首先要解决的是语言本身问题而不是程序设计问题,单靠若干程序来做机译系统,肯定无法提高机译质量的。

面对这种情况,翻译认知理论为我们提供了一个很有潜力的研究方向。认知理论认为翻译本质上就是一个信息加工过程,翻译研究的注意力应放在对翻译过程的客观描述上,对译者的大脑活动进行认知研究。因此,译者在翻译过程中采用的信息加工模式、加工策略和加工单位便成了认知途径翻译研究的主要内容。同时,翻译能力及其习得、翻译专长以及译者认知努力等方面也是认知途径翻译研究的重要内容。

因此,在机器翻译的研发过程中,在基于语料库储备、大量模拟训练、翻译模型构建和程序设计的同时,文本认知、翻译策略选择、翻译文本情感认知/表达、文化背景、翻译能力习得等人文因素也应该被考虑其中,将技术的工具理性与翻译的人文理性张力相结合。因此,笔者对上文的Attention模型进行完善(如图6),以期对基于神经网络的机器翻译提供认知支持。

图6中笔者以Systran PNMT的Attention模型为例,建议在设计神经网络翻译模型时,在编码(Encoder)阶段加入文本认知模块,不同的文本类型设置相对应的翻译策略,在带有选择性的Attention阶段将翻译策略选择考虑进去,从而帮助解码转换成目标语的过程中选择更符合目标语言受众的认知习惯和原文文本表达的翻译策略。同时在Attention模块中设置模拟人脑的翻译文本情感认知/表达、翻译心理认知、文化认知等模块,使得语码转换不仅仅考虑单一的信息符号,也考虑更多的情感和文化因素,使得翻译结果更加具有文化价值和情感价值,更智能,最大限度地接近人工翻译。最后,在编码和解码过程中,考虑上述众多人文因素,会帮助神经网络翻译模型进行更高级的翻译能力习得,同时,已经习得的翻译能力会反过来影响下一轮的翻译过程,如此循环往

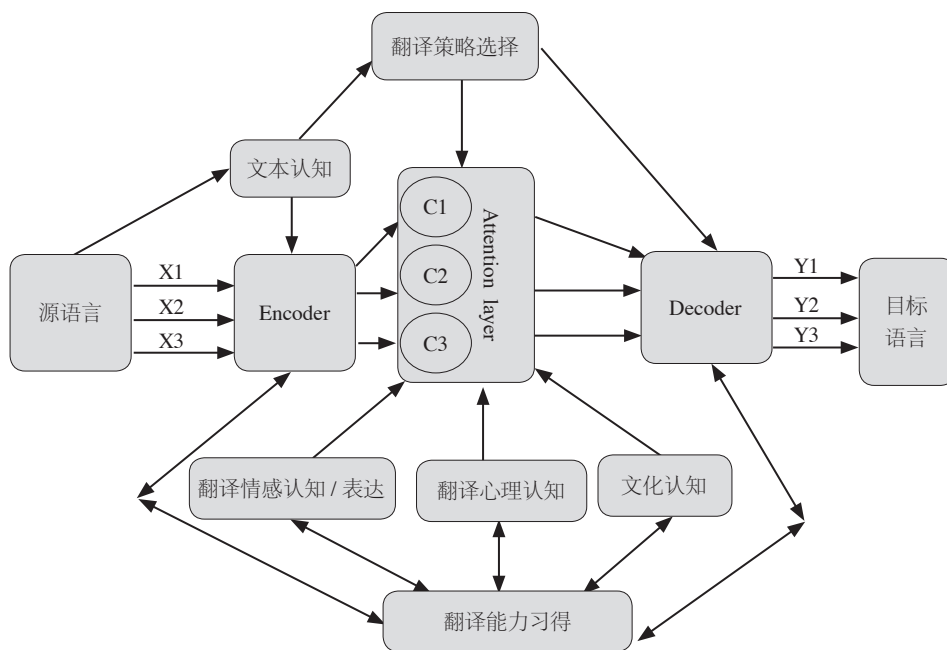


图6 基于认知视角的神经网络翻译模型

复形成一个良性的具有自我学习功能的认知神经网络翻译系统。

结语

在市场全球化和经济发展一体化的当下,语言服务的本地化已成为经济文化全球化的强有力工具,博洛尼亚进程的欧洲大学语言翻译实践也说明了这一点。狭义上讲,语言服务就是翻译服务。语言服务能力直接关系着国家的政治、经济、文化、科技发展的方方面面,大力发展翻译产业,提升汉语在国际语言转换体系中的地位,对于提高国家语言能力、文化软实力以及信息安全保障等领域具有重大的战略意义和积极的现实意义。本文基于翻译认知理论对当下新兴的神经网络翻译技术提出了一些建议和设想,希望能对我国的机器翻译技术有所助益,同时作为机器翻译手段的有效补充,为机器翻译的认知化发展提供更多的可选择性。

基金项目:本文为2016年中国国家社科基金年度项目“博洛尼亚进程的欧洲大学语言教育研究”(项目编号:16BYY082)阶段性成果。

注 释

- ① OpenNMT. An Open-source Neural Machine Translation System by Harvard NLP. <http://opennmt.net/>.
- ② Bahdanau et al. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. ICLR, May 19, 2016.
- ③ Encoder-Decoder 模型和 Attention 模型. CSDN 博客. <http://m.blog.csdn.net/article/details?id=53991971>, 2016-10-15.
- ④ 神经网络机器翻译学习笔记. Neural Machine Translation (2): Attention Mechanism. <https://blog.csdn.net/u014595019/article/details/52826423>, 2016-10-15.
- ⑤ 表中基于统计的机器翻译原文选自《对我国几种机器翻译软件译文质量的测评》(何岚湘, 硕士论文, 西安电子科技大学, 2001: 35-40)。
- ⑥ 本研究翻译效果测试得到了张琳等的大力支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈伟、莫爱屏. 数字化时代的翻译述评 [J]. 外语教学与研究, 2014 (2): 309-313.
- [2] 何岚湘. 对我国几种机器翻译软件译文质量的测评 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001: 35-40.
- [3] 昆凌. SYSTRAN 在人工智能自动通翻译领域强化全球领导力 [J]. 计算机与网络, 2017 (4): 79.
- [4] 刘满芸. 翻译技术时代模式的裂变与重构 [J]. 中国科技翻译, 2016, 29 (4): 17-20.
- [5] 刘绍龙. 翻译心理学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 1-27.

- [6] 陆艳. 云计算下的翻译模式研究 [J]. 上海翻译, 2013 (3): 57-61.
- [7] 卢卫中、王福祥. 翻译研究的新范式——认知翻译学研究综述 [J]. 外语教学与研究, 2013 (4): 606-616.
- [8] 唐智芳. “互联网+”时代的语言服务变革 [J]. 中国翻译, 2015 (4): 74.
- [9] 颜林海. 试论翻译认知心理学的研究内容与方法 [J]. 四川师范大学学报 (社会科学版), 2008, 35 (2): 96-101.
- [10] 叶浩生. 西方心理学研究新进展 [M]. 北京: 人民教育出版社, 2003: 356-367.
- [11] 赵铁军. 机器翻译原理 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001: 1-5.
- [12] 周海中. 机器翻译五十年 [C]. 合肥: 第十一届全国机器翻译研讨会 (CWMT2015), 2015-9-23.
- [13] 王寅. 认知翻译研究: 理论与方法 [J]. 外语与外语教学, 2014 (2): 1-7.
- [14] 王柳琪、刘绍龙. 翻译信息加工的神经网络模型研究——基于认知心理学联结主义范式的思考与构建 [J]. 中国外语, 2008 (5): 82-88.
- [15] 赵硕. 英汉口译转换过程的鲁棒性研究 [J]. 西安外国语大学学报, 2018 (1): 111-112.
- [16] 搜狐网. 哈佛大学 NLP 组开源神经机器工具包 OpenNMT: 已达到可用水平 [EB/OL]. http://www.sohu.com/a/122234436_494939, 2016-12-21.
- [17] Bahdanau et al., Dzmitry Bahdanau, Kyunghyun Cho and Yoshua Bengio. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. CoRR, abs/1409.0473. Demoed at NIPS 2014: <http://lisa.iro.umontreal.ca/mt-demo/>.
- [18] Bengio, Ducharme & Vincent, Jauvin. A Neural Probabilistic Language Model [J]. *Journal of Machine Learning Research*, 2003(3): 1137-1155.
- [19] Devlin, J., R. Zbib, Z. Huang, T. Lamar, R. M. Schwartz & J. Makhoul. Fast and Robust Neural Network Joint Models for Statistical Machine Translation [J]. *ACL*, 2014(1): 1370-1380.
- [20] Josep Crego, Jungi Kim, Guillaume Klein, et al. Pure Neural Machine Translation Systems [J]. *Computation and Language (CL)*, 2016(1).
- [21] Lorsche, W. The Translation Process: Methods and Problem of Its Investigation [J]. *Meta: Translator's Journal*, 2005, 50(2):597-608.
- [22] Martin, R.M. On Paradigms and Cognitive Translatology [A]. Shreve, G. M. & Angelone, E. (eds.). *Translation and Cognition* [C]. Amsterdam: John Benjamins, 2010: 169-187.
- [23] Mikolov T, Karafiát M, Burget L, et al. *Recurrent Neural Network Based Language Model* [C]. Proceeding of the 11th Annual Conference of International Speech Communication Association. Makuhari, Japan, 2010: 1045-1048.
- [24] Mikolov T, Kombrink S, Burget L, et al. *Extensions of Recurrent Neural Network Language Model* [C]. Proceeding of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal. Prague, Republic of Czech, 2011: 528-531.

[作者简介] 赵硕, 西北工业大学外国语学院教授、博士后。研究方向: 翻译理论与实践、应用语言学。

[作者电子信箱] zhaoshuo@nwpu.edu.cn