

面向专利领域的汉英机器翻译融合系统

1. 北京师范大学中文信息处理研究所 北京 100875; 2. 北京奇虎科技有限公司 北京 100015;
3. 中科鼎富(北京)科技发展有限公司 北京 100107

李洪政¹ 赵凯² 胡韧奋¹ 蒋宏飞³ 朱筠¹ 晋耀红³

摘要 面向专利领域的机器翻译近年来已成为机器翻译的重要应用领域之一。本文提出了一个汉英专利文本机器翻译融合系统,该系统以规则系统为主导搭建,并把规则翻译方法和基于短语的统计翻译系统相结合。在融合系统中,规则系统主要负责源语言的分析 and 转换阶段的处理,生成相应的源语言句法分析树与转换树,并确定目标语言的基本句法框架。统计翻译系统则在目标语生成阶段根据生成的目标语句法结构寻找合适的对译词形,并产生最终的候选译文。通过利用自动评测指标对融合系统进行测试,融合系统的结果均优于单个规则系统和统计系统的结果,表明了融合方法的有效性和可行性,可以改善系统的翻译性能,提高翻译质量。

关键词: 专利, 规则方法, 统计方法, 融合系统, 机器翻译

中图分类号: TP391

A Hybrid System for Chinese-English Patent Machine Translation

1. Institute of Chinese Information Processing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Beijing Qihu Technology Co., Ltd., Beijing 100015, China;
3. Beijing Dinfo Technology Co., Ltd., Beijing 100107, China

LI HongZheng¹ ZHAO Kai² HU RenFen¹ JIANG HongFei³ ZHU Yun¹ JIN YaoHong³

基金项目: 本文受国家高技术研究发展计划基金项目“海量文本多层次知识表示及中文文本理解应用系统研制”(2012AA011104)的资助。

作者简介: 李洪政(1990-), 博士研究生, 研究方向: 自然语言处理、机器翻译, Email: lihongzheng@mail.bnu.edu.cn; 赵凯(1988-), 硕士, 研究方向: 数据挖掘; 胡韧奋(1988-), 博士研究生, 研究方向: 自然语言处理; 蒋宏飞(1982-), 博士, 研究方向: 数据挖掘、信息抽取; 朱筠(1983-), 博士, 讲师, 研究方向: 自然语言处理; 晋耀红(1973-), 博士, 博导, 研究方向: 数据挖掘、信息抽取。

Abstract Machine translation towards patent domain has become one important application of machine translation in recent years. This paper presented a novel hybrid system, which combines rule-based machine translation (RBMT) with phrase-based statistical machine translation (SMT), to translate Chinese patent texts into English. The hybrid architecture is basically guided by the RBMT engine which processes source language parsing and transformation, generating proper syntactic trees for the target language. In the generation stage, the SMT subsystem provides proper lexical selection according to the generated grammatical structures and produces final translation. According to the experimental evaluation, the hybrid approach outperforms each individual system over sets of automatic evaluation metrics, indicating that the proposed method performs well in improving translation results.

Keywords: Patent, rule-based, statistical-based, hybrid system, machine translation

1 引言

面向专利领域的机器翻译近年来已成为机器翻译的重要应用领域之一,并引起了国内外的广泛关注。例如:每年在日本召开的 NTCIR 会议上近些年来都有针对专利文本翻译的评测项目;从 2005 年开始,著名的 MT Summit 也专门为专利和科技文献翻译设立了 workshop(Workshop on Patent and Scientific Literature Translation, PSLT),吸引了众多研究机构和业界的积极参与。

与其他领域文本不同,汉语专利文本有其特殊性和复杂性:文本中一个以句号结尾的长句中经常包含多个子句,语句具有更多的字数,以及更冗长、更复杂的语法结构,而且,语句中还充斥着大量的专业技术词汇和未登录词。这给专利机器翻译带来了很大的挑战。整体来看,专利机器翻译的效果一直不理想。但另一方面,专利文本作为一种规范性很强的文本,从词语层面到句子层面都具有很多固定的表达方式和结构,利用形式化的规则很容易刻画和

描写其中的语言学信息和语境信息等。

本文面向汉语专利文本,提出了一种融合了规则和统计方法的汉英专利机器翻译策略。该融合系统把一种规则翻译系统^[1,2]和著名的基于短语的 Moses 翻译系统^[3]结合,并以规则系统为主导进行搭建。融合系统首先利用规则系统完成源语言的分析 and 转换处理,产生相应的分析和转换句法树;在此基础上, Moses 在目标语生成阶段根据产生的句法结构框架提供最优的对译词语,并产生最终的系统译文,完成整个翻译流程。在实验中,利用目前流行的一些自动评测指标考察了融合方法的翻译性能。实验结果显示,融合系统在各方面的指标均优于单个的规则系统和统计系统。由此表明了混合策略的有效性和可行性,有助于改善翻译结果。

本文剩余部分结构如下:第二部分给出了相关的研究;第三部分详细讨论了规则系统和短语翻译系统,以及融合翻译系统的架构;第四部分设计了相关实验,并给出了实验分析;最后一部分是总结。

2 相关研究

2.1 句法调序

在机器翻译中,由于源语言和目标语言之间句法结构的差异性,词语和短语的句法调序对于改善最终的翻译质量有着重要影响,语序调整也一直是机器翻译的热门研究话题之一,产生了很多代表性的研究成果^[4-6]。

在汉英机器翻译方面,比较典型的工作有:Zhang 等人针对基于短语的翻译,首先对源语言进行浅层句法分析,系统然后根据源语言的语块和词语对齐自动学习调序规则,并为每个句子生成句法框架,最后产生系统译文^[7]。Cai 等人提出了一种基于依存分析的预调序模型,在 NIST 测试集上将 BLEU 值提高了 1.61 点左右^[8]。Zhang 等人首先从源语言分析树中获得一些硬性或软性的调序规则,然后将这些规则在解码阶段作为指导句法短语和非句法短语调序的特征融入到解码器中,同样在 NIST 的测试上比基线系统有了大幅提高^[9]。

2.2 融合翻译技术

Frederking 和 Nirenburg 在 1994 年最早将系统融合技术应用到机器翻译领域中^[10],他们将三个不同的翻译系统(基于知识、实例和词转换的机器翻译系统)的输出结果采用图表遍历算法进行融合,然后对融合结果进行后编辑处理得到了最终的系统译文。然而由于当时缺乏有效的译文质量自动评价工具,系统融合后的性能与参与融合的系统性能无法进行定量的可信度比较^[11]。

Banglor 等^[12]将 ROVER 方法^[13](Recognizer Output Voting Error)引入机器翻译中,利用多重序列比对方法将几个系统的输出译文对齐在一起,实验表明融合后的译文要优于单个系统的翻译结果。从此,融合翻译策略逐渐引起了广泛关注。在融合翻译系统的策略中,混淆网络方法通常是最常见的方法之一,首先使用混淆网络方法将多个不同系统的片段结合起来,然后利用卷积网络技术在 n-best 结果列表中寻找最优译文^[14,15]。

纵观融合翻译系统的研究,多以主流的统计翻译系统为基础搭建,而以规则系统为主导的融合系统的研究要少一些。规则主导的融合系统常用于小范围的文本领域^[16]。这样的系统译文输出通常更具有语法性,系统融合后目标词语选择和译文的质量也有所提升与改善^[17]。一个典型的例子是,著名的翻译公司 SYSTRAN 一直以规则方法的机器翻译著称,近些年已经开发了以规则系统为基石,融合了统计翻译技术(如统计后编辑处理)的融合系统。

在专利领域中也有一些这样的融合系统。Enache 等^[18-20]基于大规模语料库和语法框架理论提出了用于英法德三种语言之间专利翻译的语法规则和翻译系统,并以此为基础,将摩西解码器融入其中,规则系统完成大部分的源语言分析,没有分析的语块则由 SMT 完成,最后由规则系统和翻译系统共同产生译文。在日本举行的 NTCIR 会议的专利机器翻译评测项目中,也有一些融合规则方法的系统参与^[21,22]。

与很多前人的研究不同,本文没有采用常见的混淆网络技术,也没有以统计翻译系统为主导构建融合系统,而是以规则系统为基础。

这样做的主要原因在于，统计方法虽然一直是主流，而且在短语调序转换研究方面也有很多积极的成果，但主要集中在较短距离的句法搭配，对于长远距离的搭配结构的调序还是显得有些无能为力，效果也不甚理想，而汉语专利文本表达的特殊性，更适合由规则方法进行刻画。另外，有研究表明规则方法在诸如专利等特殊文本领域的性能通常要优于统计方法^[23,24]。在本研究中，由规则系统完成源语言的句法语义分析和转换处理，统计系统主要根据产生的目标语句法结构实现对译词语和最终系统译文的生成。这样就充分利用了两种方法的优势，既保证了系统译文输出有合理的语法性，又有准确的目标对译词语，从而提高了译文的可读性和流畅性，有效地改善整体的翻译质量。

3 融合翻译系统架构

本部分将介绍组成融合系统的规则翻译系统和短语翻译系统，以及融合系统的整体架构。由于规则系统是整个融合系统的主导和基础，所以接下来会用较大的篇幅说明该系统。

3.1 基于规则的翻译系统

规则翻译系统将分词器、句法分析器和翻译功能等融合在一起，从最开始的分词处理到最后的译文生成，都是在同一个系统中完成的。利用中国专利局提供的大规模汉英双语专利对齐语料，我们构建标注了一个规模超过五万词的专利词语知识库和一部汉英词语对译词典。在知识库中，每个词语都标注有丰富的词汇句

法和语义等特征。同时，人工书写了千余条形式化的源语言分析和转换规则。翻译系统主要分为三个处理阶段：源语言分析阶段、源语言转换阶段和目标语生成阶段。

3.1.1 源语言分析阶段

在分析阶段，翻译系统把以句号结尾的一个复杂长句作为整体的分析单位。构成整个长句S的每个子句记作SS，子句之间通常由逗号等标点符号连接，即 $S = SS_1, SS_2, \dots, SS_n$ 。源语言句法分析自上而下分为三个层次：第一层，根据逗号等标点符号的位置将长句切分为若干子句；第二层，对每个子句进行分析，得到子句的直接组成成分；第三层，将可以继续分析的非终结节点进一步分析为句法树上的叶子节点（终结节点）。其中，最重要的是第二层次的分析。在每个处理层次中，系统会按照一定顺序依次调用各个规则文档分析源语言语句，每完成一个过程，就会继续下一步的分析。

在第二层次的子句分析中，重点在于识别每个子句的核心谓语动词。由于汉语缺少词形变化，当多个动词同时出现在一个句中时，要识别真正的核心动词会比较困难。为了解决这一问题，我们设计了一种权重比较的方法来识别谓语动词。其基本策略是，根据动词出现的语境和具体特性，为动词设计了一系列大小不等的权值，以表示它们成为核心动词的可能性。这些权重作为规则的一部分，出现在识别规则中。在识别中，首先排除一些显然不是谓词的情况（例如：前面有修饰成分或者后面紧邻“的”字的动词一定不是核心谓词），以缩小筛选范围，然后为剩余的候选动词根据它们匹配到的规则

分配不同的权值，最后比较这些权值，权值最高的动词就会被识别为核心动词。

当完成这三个层次的句法分析后，系统会

生成一棵完整的句法分析树，树上包含丰富的信息。

下面是翻译系统产生的句法分析树的截图。



图1 系统生成的句法分析树

图1中的例句“在上述结构中，单电池由突起部支撑，因此可以提高耐振动性。”由两个逗号和两个子句组成，其中第一个逗号前面是状语结构。从图1中可以看到，每个子句下面的橘红色圆点表示该节点是子句的直接组成成分，点击圆点前面的“+”按钮可以展开相应非终结节点，进一步看到下面叶子节点的信息。尖括号“<>”中的各种符号代表了系统识别的节点词语和标点符号的结果以及相应的句法语义等信息。

3.1.2 源语言转换阶段

对应于源语言分析阶段，转换处理自上而下地同样分为三个层次：子句的句间关系转换、子句中短语语块前后位置的转换和语块内部转

换处理。

子句句间关系转换主要针对汉英语句的表达特点，根据子句之间的语义关系进行转换。由于汉语和英语的语句表达结构有所不同，例如汉语的子句通常变换为英语中的从句形式，因此有必要根据子句之间的语义关系添加相应的连接词等内容，以保证目标语输出的连贯性。

例2：本发明的特征在于，它可以调节输出装置的参数。

例句中包含两个子句，其中第二个子句可以看作是第一个子句的宾语，当翻译成英语时，采用了宾语从句的形式将两个子句合二为一，并且在宾语从句前面添加了“that”。形式化的规则表示如下：

{(-1)SS1&CHN[在于， 包括]&END%}+(0)

CHN[,]+(1)SS2 → (-1)+DEL_NODE(0)+ADD_NODE(ENG=[that])+(1)

子句中不同短语成分的转换涉及很多处理,包括核心动词的时态、语态等的转换,状语结构和介词结构的位置调整等,以使转换后的结构符合英语的表达习惯。

在语块内部转换中,具有修饰成分的名词短语转换比较有代表性。汉语名词短语最常见的形式是修饰语+“的”+核心名词,其中修饰成分可以是名词短语、动词短语、数量短语、形容词短语等,甚至还可以是从句形式。一般情况下,由名词短语和句子修饰的名词短语在转换成英语时通常需要调整。

如果修饰成分是单纯的名词短语,规定的

转换规则是将修饰成分和核心名词换位,并将“的”字替换为“of”。

(-1)NP1+(0)的 +(1)NP2 → DELETE_NODE(0)+(1)+ADD_NODE[of]+(-1)

如果修饰成分是比较复杂的从句,基本规则是将整个名词短语转换为以核心名词为先行词,修饰成分为定语从句的形式。

(-4)CHN[将,把]+(-3)NP1+(-2)VP+(-1)NP2+(0)CHN[的]+(1)NP3 → DEL_NODE(-4)+(1)+ADD_NODE(ENG=[that])+(-2)+(-3)+(-1)+DEL_NODE(0)

图2展示了例句“将在性能测试中产生的电能传输给车辆的装置。”转换前后的句法结构。

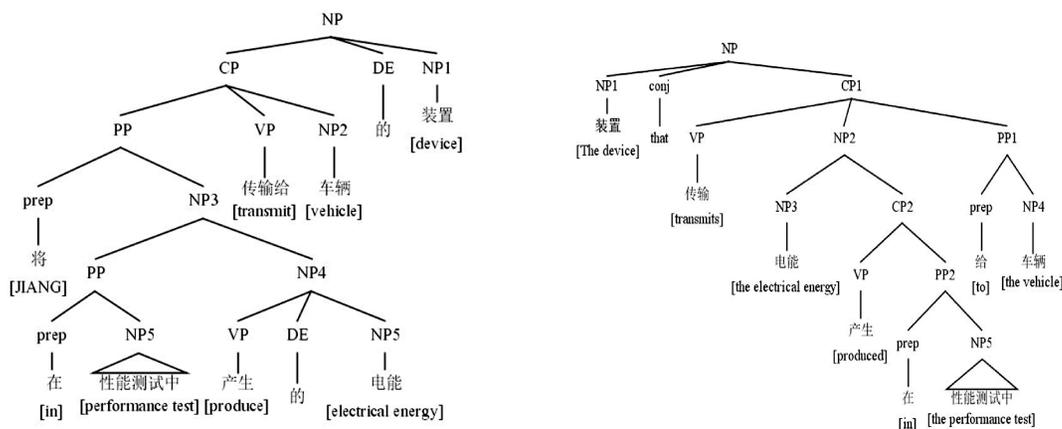


图2 例句转换前后的句法分析树

3.1.3 目标语生成阶段

根据已生成的句法树上的节点词性等信息,系统会在汉英词语对译词典中寻找合适的对译词形,同时根据节点上标注的形态特征,对目标词语进行变形,最终形成尽量符合英文表达习惯和语法的译文。

3.2 基于统计的短语翻译系统

基于短语的 Moses 统计翻译基线系统主要由以下开源工具包搭建而成:用于词对齐的 GIZA++ 工具包^[25],语言模型工具包 IRSTLM^[26],训练了 5-gram 的语言模型,以及 Moses 解码器。翻译系统按照 Moses 官方网站

^① <http://www.statmt.org/moses/?n=Moses.Baseline>

①上提供的默认参数搭建。我们使用 NTCIR9^② 专利评测任务提供的 100 万汉英双语语料句对的训练集作为训练翻译模型的语料，从 NTCIR9 的开发集（规模为 2000 双语句对）中任选 1000 句对作为开发集，采用 MERT 算法进行 tuning。

3.3 融合翻译系统

图 3 是融合翻译系统的基本架构。如图 3 所示，在融合系统中，经过规则系统分析转换后的源语言字符串将不会进入目标语生成阶段，而是

作为统计翻译系统的输入，直接进入已经训练过的统计系统中，在这里完成对译词语的选择和最终的译文生成。

在融合翻译系统的架构中，基于规则方法的翻译系统能够有效地最大限度地调整源语言的句法结构，使之尽可能符合目标语言的表达方式，从而构建了符合目标语语法结构的基本翻译框架，在此框架的指导下，统计翻译系统只需针对句法结构中的具体节点从训练的模型中寻找合适的翻译假设，最终实现整体译文的输出。

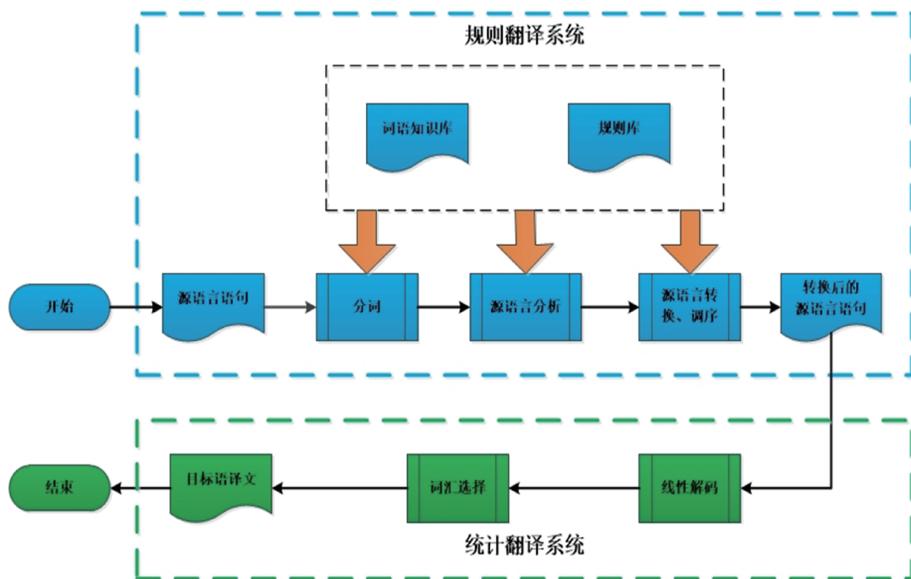


图3 融合翻译系统架构图

4 实验及分析

4.1 实验设置及结果

在这一部分，利用几个流行的评测指标分别对规则系统、统计系统和融合系统的翻译结果进行评测。评测指标包括：WER^[27]，PER^[28]，TER^[29]，BLEU^[30]，NIST^[31]，GTM^[32]，METEOR^[33] 以及 ROUGH^[34]。所有

指标都通过 Asiya 工具包^[35] 计算得出。实验采用了 NTCIR9 的 100 万句对双语语料为训练集，从 2000 句对的开发集中任选一千句对作为开发集，剩下的 1000 句汉语语料作为测试集。

表 1 是本次实验的评测结果。（R、S、H 分别代表规则，统计和融合系统，每一栏的首字母分别代表每项测试指标。）

^② <http://research.nii.ac.jp/ntcir/ntcir-9/index.html>

表1 实验结果

	B	N	M	G	W	P	T	R
R	0.1144	4.44	19.03	13.90	93.08	71.45	87.55	40.19
S	0.2930	7.57	34.47	22.58	61.33	32.62	52.73	53.44
H	0.3122	7.84	35.16	24.65	59.41	30.63	51.68	56.46

在 NTCIR9 汉英翻译评测任务中, 分别有 3 个融合系统参与了汉英翻译任务, 主办方还提供了几个基线系统, 其中包括两个商用规则系统和摩西短语翻译系统。表 2 评测任务中是几个不同系统的结果:

表 2 NTCIR9 的评测结果

翻译系统	BLEU	NIST
Moses	0.2932	7.7498
RBMT1	0.1075	4.5461
RBMT2	0.128	5.1744
Hybrid1 ^[36]	0.2649	7.4924
Hybrid2 ^[37]	0.2597	7.2282
Hybrid3 ^[38]	0.2927	7.8671

4.2 实验分析

从上面的表格可以看出, 在实验中, 融合系统的各项指标均优于单个的规则系统和统计系统结果。以 BLEU-4 值为例, 融合系统的结果比单独的规则系统和短语翻译系统分别提升了近 10 个点和 2 个点。另一方面, 将本实验的结果与 NTCIR9 的结果相比, 除了 RBMT2 的 BLEU 值以及 Hybrid-3 的 NIST 值, 本实验中每种系统的结果均优于 NTCIR9 的评测结果, 这清楚表明了提出的融合方法有较好的可行性, 能够有效地结合两个系统的优势, 在改善系统

译文效果方面确实有不错的效果。

在实验中, 与统计翻译系统和融合系统相比, 规则系统的 BLEU 值相对要低得多。分析认为可能有以下几方面的原因: (1) 分词错误和一些歧义结构会导致不准确甚至错误的句法分析和转换, 从而产生不准确的译文输出, 影响了译文质量; (2) 现有的翻译系统尚存在一些程序问题。有时候无法正常处理一些字数特别多, 结构特别复杂的长句子; (3) 在汉英对译词典中, 每个词语基本只有一个对译词形, 译文选择相对受限, 很多对译词形虽然正确, 但未必会与参考译文的选词完全一致, 这样也会引起 BLEU 的下降。

需要指出的是, 尽管规则系统的 BLEU 值较低, 但译文的句法结构整体较好, 更具有语法性和逻辑性, 尤其是对于复杂的长距离结构的调序处理令人满意。下面是一个例句在规则系统和 Google 翻译中的结果。

组成例句的两个子句都缺少主语, 在翻译成时如果采用被动语态的形式会更符合英文表达特点。规则系统成功地将句子转换为被动语态, 而且动词的形态也正确, 译文整体非常顺畅; 相反, Google 的译文可读性却很差, 基本没有语法性, 更糟糕的是, 第二个子句中的核心动词“设置”居然翻译成了名词“set”, 导致整个子句缺少谓语, 让人不可思议。

表3 规则系统和Google翻译对比

源语言	在活塞缸 52 与基底构件 48b 之间设置第二弹簧 58, 而另外在第二弹簧 58 与基底构件 58b 之间设置一个或一组垫片 60。
参考译文	A second spring 58 is positioned between the piston cylinder 52 and the base member 48b, and a shim 60 or series of shims 60 is further positioned between the second spring 58 and the base member 58b.
RBMT	Second spring 58 <i>is arranged</i> between the piston jar 52 and the basement member 48b, the other one or one group gasket 60 <i>is arranged</i> between second spring 58 and the basement member 58b.
Google	<i>Disposed</i> between the base member 52 and the piston cylinder 48b of the second spring 58, while the other <i>set</i> of one or a group of the spacer 60, between the second spring 58 and the base member 58b.

5 总结及展望

本文面向汉语专利文本领域提出了一种将规则方法和统计方法融合的汉英翻译策略。与以往的很多研究不同,融合系统以基于规则的翻译系统为基石搭建而成,规则系统对源语言进行句法分析和转换,生成符合英语表达的句法树,统计翻译系统负责根据已有的句法框架选择最优的目标词语,并最终生成系统译文。通过利用自动评测指标对几个系统的翻译结果进行验证,融合系统的各项指标均优于个体的规则系统和统计翻译系统,并且有了较大程度的提升,表明提出的融合策略方法对于改善翻译结果是非常有帮助的,也是可行的。

本文研究仍存在需要改进的地方。在未来,要针对发现的问题改善规则系统的性能,提高系统的鲁棒性,同时对不准确的规则加以修正;另一方面,扩大训练统计模型的语料规模,优化参数设置,希望能进一步提升融合系统的整体译文质量。

参考文献

[1] Zhu Y, Jin YH. A Chinese-English Patent Machine Translation System Based on the Theory of Hierarchical Network of Concepts [J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. 2012,

19(2): 140-146.

[2] 朱筠. 基本句群处理及其在汉英专利机器翻译中的应用 [D]. 北京: 北京师范大学, 2013.

[3] Koehn, Philipp, Hoang, et al. Moses: Open Source Toolkit for Statistical Machine Translation[C]// ACL 2007, Proceedings of the Meeting of the Association for Computational Linguistics, June 23-30, 2007, Prague, Czech Republic. 2007: 177-180.

[4] Collins M, Koehn P, Ivona K, et al. Clause Restructuring for Statistical Machine Translation[C]// Meeting on Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 2005: 531-540.

[5] Galley M, Manning C D. A Simple and Effective Hierarchical Phrase Reordering Model[C]// Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2008, Proceedings of the Conference, 25-27 October 2008, Honolulu, Hawaii, USA. 2008: 848-856.

[6] Nguyen T. and Vogel S. Integrating Phrase-Based Reordering Features into Chart Based Decoder for Machine Translation[C]// Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2013, 1587-1596.

[7] Zhang Y, Zens R, Ney H. Chunk-level Reordering of Source Language Sentences with Automatically Learned Rules for Statistical Machine Translation[C]// Proceedings of NAACL-HLT 2007. 2007, 1-8.

[8] Cai J, Utiyama M, Sumita E, et al. Dependency-based Pre-ordering for Chinese-English Machine

Translation[C]// Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2014: 155-160.

[9] Zhang JJ, Zong CQ. A Framework for Effectively Integrating Hard and Soft Syntactic Rules into Phrase Based Translation[C]// Proceedings of 23rd Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation. 2009, 579-588.

[10] Frederking R, Nirenburg S. Three Heads are Better Than One[C]// Conference on Applied Natural Language Processing. Association for Computational Linguistics, 2002: 95-100.

[11] 李茂西, 宗成庆. 机器翻译系统融合技术综述 [J]. 中文信息学报, 2010, 24(4): 74-84.

[12] Bangalore S, Bordel G, Riccardi G. Computing Consensus Translation from Multiple Machine Translation Systems[C]// Automatic Speech Recognition and Understanding, 2001. ASRU '01. IEEE Workshop on. IEEE, 2002: 351-354.

[13] Fiscus J G. A Post-processing System to Yield Reduced Word Error Rates: Recognizer Output Voting Error Reduction (ROVER)[C]// IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition & Understanding. 2010: 347-354.

[14] 杜金华, 魏玮, 徐波. 基于混淆网络解码的机器翻译多系统融合 [J]. 中文信息学报, 2008, 22(4): 48-54.

[15] Matusov E, Ueffing N, Ney H. Computing Consensus Translation for Multiple Machine Translation Systems Using Enhanced Hypothesis Alignment[C]// Eacl 2006, Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference, April 3-7, 2006, Trento, Italy. 2006: 33-40.

[16] Simard M, Ueffing N, Isabelle P, et al. Rule-Based Translation with Statistical Phrase-based Post-editing[C]// The Workshop on Statistical Machine Translation. Association for Computational Linguistics, 2007.

[17] Dugast, Lo, Senellart J, Koehn P. Statistical Post-editing on SYSTRAN's Rule-based Translation System[J]. Second Workshop on Smt, 2007, 7(4): 220-223.

[18] EspañaBonet C, Enache R, Slaski A, et al. Patent Translation within the MOLTO Project[J]. Proc of Workshop on Patent Translation Mt Summit XIII, 2011: 70-78.

[19] Espã C, Labaka G, Ilarraza A D D, et al. Hybrid Machine Translation Guided by a Rule-based System[C]// Proceedings of the 13th Machine Translation Summit. 2011, 554-561.

[20] Enache R, Na-Bonet C E, Aarne R, et al. A hybrid system for patent translation[C]// Proceedings of the 16th Annual Conference of the European Association for Machine Translation (EAMT12). 2012, 269-276.

[21] Isao G, Chow K P, LU B, et al. Overview of the Patent Machine Translation Task at the NTCIR-10 Workshop[C]// Proceedings of the 10th NTCIR Conference. 2013, 260-287.

[22] Feng M, Freitag M, Ney H, et al. The System Combination RWTH Aachen: SYSTRAN for the NTCIR-10 PatentMT Evaluation[C]// Ntcir Conference. 2013: 301-308.

[23] Wang D. Chinese to English Automatic Patent Machine Translation at SIPO[J]. World Patent Information, 2009, 31(2): 137-139.

[24] List J. Review of Machine Translation in Patents – Implications for Search[J]. World Patent Information, 2012, 34(3): 193-195.

[25] Och F J. Minimum Error Rate Training in Statistical Machine Translation[C]// Proceedings of 41st ACL conference. 2003, 160-167.

[26] Federico M, Bertoldi N, Cettolo M. IRSTLM: An Open Source Toolkit for Handling Large Scale Language Models[C]// INTERSPEECH

2008, Conference of the International Speech Communication Association, Brisbane, Australia, September. 2008: 1618-1621.

[27] Sonja N, Och F J, Leusch G, et al. An Evaluation Tool for Machine Translation: Fast Evaluation for MT Research[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Language Resources and Evaluation. 2000, 39-45.

[28] Tillmann C, Vogel S, Ney H, et al. Accelerated Dp Based Search For Statistical Translation[C]// European Conference on Speech Communication & Technology. 2002: 2667-2670.

[29] Snover M, Dorr B, Schwartz R, et al. A Study of Translation Edit Rate with Targeted Human Annotation[J]. Machine Translation Workshop North Bethesda Md, 2006(1): 223-231.

[30] Papineni K, Roukos S, Ward T, et al. BLEU: A Method for Automatic Evaluation of Machine Translation[C]// Proceedings of 40th ACL Conference. 2002, 311-318.

[31] Doddington G. Automatic Evaluation of Machine Translation Quality Using N-gram Co-occurrence Statistics[C]// International Conference on Human Language Technology Research. Morgan Kaufmann Publishers Inc. 2002: 138-145.

[32] Melamed I, Green R, Turian J P. Precision and Recall of Machine Translation[C]// Proceedings of

HLT-NAACL. 2003, 61-63.

[33] Banerjee S, Lavie A. METEOR: An Automatic Metric for MT Evaluation with Improved Correlation with Human Judgments[C]// Proceedings of the ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and/or Summarization, 2005, 65-72.

[34] Lin CY, Och F J. Automatic Evaluation of Machine Translation Quality using Longest Common Subsequence and Skip-bigram Statics[C]// Proceedings of the 42nd ACL. 2004, 605-612.

[35] Giménez J, Márquez L. Asiya: An Open Toolkit for Automatic Machine Translation (Meta-) Evaluation[J]. The Prague Bulletin of Mathematical Linguistics, 2011, 94(Dec): 77-86.

[36] Chao WH, Li ZJ. ZZ_X_MT: the BeiHang MT System for NTCIR-9 Patent MT Task[C]// Proceedings of NTCIR-9 Workshop. 2011, 629-633.

[37] Ehara T. Machine Translation System for Patent Documents Combining Rule-based Translation and Statistical Post-editing Applied to the Patent MT Task[C]// Proceedings of NTCIR-9 Workshop. 2011, 623-628.

[38] He YQ, Shi C D, Wang HL. ISTIC Statistical Machine Translation System for Patent Machine Translation in NTCIR-9[C]// Proceedings of NTCIR-9 Workshop. 2011, 634-637.