

常识知识的思维机理

朱平

(泰豪智慧城市研究院,北京 100176)

摘要:人类思维是以大量常识知识记忆和浅层有限推理为特征的,因此,类人思维机器实现应该着力发展知识存储和思维方式的研究。该文对于常识知识的处理过程包括语义识别和逻辑计算两个部分,语义识别又分为常识知识表示和匹配检索,而逻辑计算又包含以规则推理为核心的基本逻辑计算、以场景模式类比为核心的类比逻辑计算和以试探枚举为核心的创造性思维计算。首先讨论了常识知识的思维模型,然后以小学数学应用题类人机器求解为例,详细讨论了以数据配置为基础的语义识别方法,解释了类比逻辑计算和创造性思维计算的机器实现过程。最后,总结了后续技术要点,并提出了提高常识知识表示和积累效率的工程研究方向。

关键词:类人求解;常识知识;思维机理;语义识别;逻辑计算

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)0041-06

Thinking Mechanism of Commonsense Knowledge

ZHU Ping

(Tellhow Institute of Smart City, Beijing 100176, China)

Abstract: Human thinking is characterized by massive commonsense knowledge memory and shallow limited reasoning. Therefore, the machine realization of humanoid thinking should focus on the development of commonsense knowledge storage and thinking mode. The processing workflow of commonsense knowledge includes two parts: semantic identification and logic calculation. Semantic identification is divided into commonsense knowledge representation and matching retrieval. Logic calculation includes basic logic calculation with rule reasoning as the core, analogy logic calculation with scene pattern analogy as the core, and creative thinking calculation with exploratory enumeration as the core. The thinking model of commonsense knowledge is discussed firstly. Then, taking the humanoid resolving of primary school mathematics application problems as example, the semantic recognition method based on configuration files is discussed in detail, and the machine implementation workflow of analogy logic calculation and creative thinking calculation is explained. Finally, the following technical points are summarized, and the engineering research direction to improve the efficiency of knowledge representation and accumulation is proposed.

Key words: humanoid resolving; commonsense knowledge; thinking mechanism; semantic identification; logic calculation

0 引言

人类思维是以大量常识知识记忆和浅层有限推理为特征的,因此,类人思维机器实现应该着力发展常识知识存储和思维方式的研究。常识知识的处理过程包括语义识别和逻辑计算两个部分,而语义识别又分为常识知识表示(数据)和匹配检索(程序),逻辑计算又包含以规则推理为核心的基本逻辑计算、以场景模式类比为核心的类比逻辑计算和以试探枚举为核心的创造性思维计算。

目前,国内外的类人机器思维实现还聚焦在常识语义识别和简单公式计算融合方面^[1-4]。常识知识表达有三种形式:(1)隐式表达。比如,已知距离和速度,隐含可计算出时间。(2)显式表达。比如,直接表

达某变量比另一个变量多多少或是另一变量的多少倍。(3)显隐结合表达。比如,“把正方体锯成体积相等的8个小正方体”,隐含大正方体的体积为小正方体体积之和的常识,显式表示小正方体的数量为8个。对应于三种常识知识表达形式,需要设计不同的表示、存储和理解机制。另外,还必须解决语义工程实现多个实例的积累问题,即对某个实例常识知识的延伸拓展。比如,正方体的切割体积的常识表示,延展到长方体切割的体积表示。处理的方式有两种:(1)其他实例特征库的补充;(2)特征库数据增添以及宏观策略编程方法的设计。常识知识的语义识别就是原文与存储的常识知识表示数据的匹配过程,对于每种常识知识表示,对应应有相应的访问、比较和匹配程序。

收稿日期:2020-11-24

作者简介:朱平(1970-),男,硕士,教授级高级工程师,CCF会员(F6538M),研究方向为思维机器设计、文本语义识别和软件工程。

类人机器思维的代表性相关研究是数学应用题自动求解^[5]。目前国内外已有用概念层次网^[6]和依存句法^[7]做题理解的研究;用深度学习技术研发自动求解器的研究^[8-9];知识库构建求解系统的研究^[10];知识表示方面,有从描述逻辑入手的^[11],又从本体入手的^[12],还又从中间语言表示入手的。上述研究主要是针对数学问题求解的,不是针对人类思维模拟研究,大部分只是针对某个求解环节的技术讨论。该文主要以数学应用题求解的完整流程研讨常识知识的思维机理和逻辑计算能力的模拟。

常识知识的逻辑计算不仅包含基于规则的基本逻辑计算,还包含类比逻辑计算,以及创造性思维计算等形式。基本逻辑计算主要依靠规则推理,是场景模式类比逻辑计算和试探枚举为特征的创造性思维计算的基础。基本逻辑计算通常表示成求解规则的集合,通过次序地激活规则,求解问题的答案;场景类比逻辑计算,通过比较问题和场景实例模板,确定问题符合模板

表示的类似场景后,按照场景要求修改数据元变量的意义和确定求解公式的集合,然后按照基本逻辑计算功能求解问题答案。创造性思维计算主要通过试探枚举某些数据元变量的值,通过基本逻辑计算求解其他数据元变量满足某些约束条件的情况,输出满足约束的数据元变量的值。

1 思维模型

常识知识的思维模型包括自然语言输入、人脑的处理和语言特征输出三个主要模块。自然语言输入是指自然语言问题的描述或者事实的陈述;类人脑的处理是指输入样例积累、知识表示和积累、冲突消解、综合识别、思维推理和计算;语言特征输出不仅包含样例的检索、常识知识的检索、自然语言问题的问答以及对输入自然语言事实的真伪判断等基本逻辑问题,还包含总结凝练、创新创作和自我意识等创造性思维问题(常识知识的思维模型参见图1)。

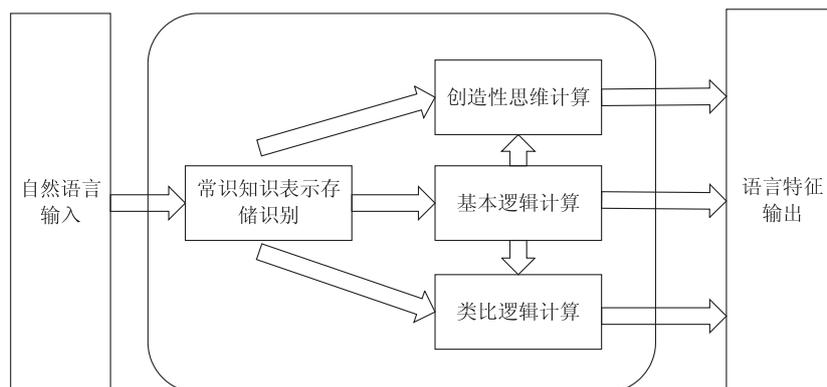


图1 常识知识的思维模型

类人脑处理部分的机器运行模型包括常识知识实例、表示、存储、积累、匹配、识别、扩展、综合和分析等过程,完成这些语义工程过程之后,自然语言表示的内涵意义就识别出来了。下一步就是按照显式数值和逻辑关系、隐式常识数值和逻辑关系,进行基本逻辑计算、类比逻辑计算和创造性思维计算等思维模拟过程。上述语义工程过程的实现是个实验性的探索过程,需要积累问题及分析过程中间步骤的大量实例,也就是说,原始和中间步骤语料要以系统工程的方法保留在语料库中,和分析配置文件形成一个完整的系统支撑体系,以备经常性地回溯对比分析时使用。语义工程也采取增量式实例知识累积的方式实现,也就是说,确保软件开发过程中,实例优先执行,分析总结的推广模型或者类比模型只用于其它未调试过问题的求解。这样确保已经调试过的实例成为系统的“锚点”,也避免新的调试实例的修改反过来影响调试过的实例的运行流程。

常识知识表示使用许多数据访问接口及其配置文

件来完成。比如,量词的识别包括常用量词表文件及其判断是否为量词的程序访问接口;地板砖常识蕴含属性有面积和体积,对应长方形和长方体的计算属性,配置文件包含地板砖属性有面积和体积,系统实现的时候,只开发对于长方形和长方体的面积和体积计算逻辑,其他都以常识知识配置文件及其对应访问接口实现。因数学抽象和计算规则的数量是有限的,系统的扩展会聚焦在实例概念与数学抽象之间的映射的常识知识扩展上。文中的开发模型就是必要的识别访问编程与大量数据配置文件的扩充。

基本逻辑计算由公式配置文件、求解规则配置文件及其访问接口组成。常识知识识别出来的变量与公式变量之间的匹配关系确定之后,调用相应的求解规则,求取问题结果。基本逻辑计算是其他两种计算方式的基础。类比逻辑计算包括有实例的类比、场景的类比、特征词组的类比、属性和规则的类比等方式,目的是通过类比取得与实例近似的问题的解。创造性思维计算包括使用基本运算概念与计算规则,探索组合

求解问题的计算方式,创造性思维计算处理按步骤推理不能解决的思维跳跃性问题。

2 基础逻辑计算

无论是语料和知识积累,还是知识表示和思维计算过程,思维模型的模拟运行依赖大量的常识知识配置文件及其访问接口。文中以小学数学应用题类人求解系统为例,详细讨论各种基础逻辑计算的常识知识配置文件及其访问接口的设计。

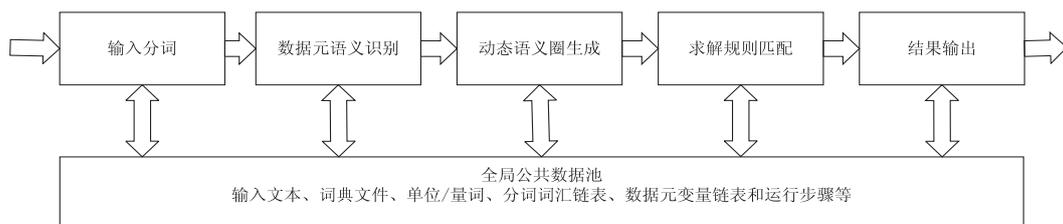


图2 小学数学应用题类人求解功能架构

2.1 输入分词

输入分词成员函数主要包括输入问题检索算法和分词算法,调用三个辅助类:问题类、词典类和分词特例类。其中,问题类包括原始问题及其问题特征(原始问题、子句、数据元、数据元变量、蕴含常识等个数和性质特征)数据文件,和问题检索和特征检索函数接口;词典类包括词典文件及其访问函数(全量匹配检索和按词查询词汇属性等)接口;分词特例类包含分词歧义特例、解决特征数据实例文件,及其调用匹配函数接口等。输入分词的主要输入数据是原始问题,输出是分词词汇链表。原始问题及其特征数据以及分词词汇链表,都存入全局公共数据池,供全局所有函数参考访问。

2.2 数据元语义识别

数据元语义识别的目标是确定数据元变量的无歧义名称,一般用3元组<直接称呼,隶属概念,性质分类>描述。比如,实例“小明家装修房子,客厅和卧室打地

小学数学应用题类人求解系统的运行流程为:输入分词、数据元语义识别、动态语义圈生成、求解规则匹配、结果输出等功能步骤,所有功能步骤都在全局公共数据池的支撑下执行,全局公共数据池包含输入文本、词典、单位/量词、分词词汇链表、数据元变量链表、运行步骤等全局数据(参见图2)。按照面向对象程序设计思想,小学数学应用题类人求解封装成一个主类,五个主要功能步骤封装为成员函数,全局公共数据池封装成私有成员变量。

板,正好用了200块长50厘米,宽80厘米,厚2厘米的木质地地板,小明家客厅和卧室的面积是多少平方米?他家买地板多少立方米?”中,数据元及数据元变量识别结果如表1所示。

表1 数据元和数据元变量

序号	数据元	直接称呼	隶属概念	性质分类
1	200块			个数
2	50厘米	长	地板	长度
3	80厘米	宽	地板	长度
4	2厘米	厚	地板	长度
5	多少平方米	面积	地板	面积
6	多少立方米	地板	地板	体积

数据元变量的三元组名称是数据元的语义描述和推理计算的唯一标识,其构成的部分识别算法描述见表2。

表2 数据元变量意义识别算法描述

	直接称呼	隶属概念	性质分类	算法描述
量词识别			√	依据数据元量词数据文件判定变量性质
实例特征匹配			√	没有量词的时候,依据数据元周围的模式配置文件,比如,“体积是多少”,“多大的体积”等性质显式表达,来判定数据元性质
最近特征名词搜索	√			搜索数据元距离最近的特征名词(量词除外),确定直接称呼,比如,上例中“长”、“宽”和“高”等
特征名词归类模式匹配	√			在数据元交接处的特征名词,依据归类模型文件划归特征名词称呼,比如,上例中,“200块长50厘米,”中的特征名词“长”划归数据元“50厘米”
概念属性推理		√		依据概念属性配置文件,识别概念隶属关系。比如,依据长、宽、高的配置文件,识别出其隶属“地板”概念
指代推理		√		依据指代关系,识别数据元的隶属概念

2.3 动态语义圈生成

动态语义圈描述问题求解所需要的公式知识及数据元变量与公式变量的对应关系。隐式常识使用常识概念配置文件和数学概念配置文件实现;显式和显隐结合式语言表述,实用显式关系配置文件实现。比如,上例中,常识概念配置文件格式如下:

```

1 /// ID
2 /// 配置信息条数
长方体、 /// 数学概念
地板、 /// 实际常识概念
2 /// ID
2 /// 配置信息条数
长方形、 /// 数学概念
地板、 /// 实际常识概念

```

数学概念配置文件格式如下:

```

1 /// ID
23 /// 公式 ID
长方体、 /// 数学概念
体积、;长、长度、;宽、宽度、;高、高度、厚、厚度、;///实际概念属性列表

```

长方体体积;长方体宽;长方体长;长方体高;///公式变量表

```

2 /// ID
11 /// 公式 ID
长方形、 /// 数学概念
面积、;长、长度、;宽、宽度、;///实际概念属性列表
长方形面积;长方形边长;长方形宽度;///公式变量表

```

注:实际概念属性列表和公式变量表中的概念变量是一一位置对应关系。

一个数量倍数和比较关系的显式关系配置文件格式如下:

```

1 /// ID
六年级,五年级,倍数,多余量, /// 数据元变量表
29 /// 公式 ID
倍比多余公式 /// 公式名称
9 /// 配置信息条数
s 六年级|| * * /// s 表示实体名词概念, * * 表示可为其他名词概念替换的数据元变量
t 比||是、 /// t 表示特征词汇
s 五年级|| * * /// s 表示实体名词概念, * * 表示可为其他名词概念替换的数据元变量
v 植树||@@ /// v 表示实体动词概念,@@ 表示可以忽略或缺失的词汇
d 的||@@ /// d 表示助词“的”,@@ 表示其可以忽略或缺失
b 倍数 /// b 表示倍数的数据元变量
v 还||@@ /// v 表示实体动词概念,@@ 表示可以忽略或缺失的词汇
t 多 /// t 表示特征词汇
n 多余量 /// n 表示数量的数据元变量

```

系统设计实现了上述配置文件的访问、匹配、识别算法和接口。前面例子中,动态语义圈生成结果为:

```

1 23::地板::体积,长::地板::距离,宽::地板::距离,厚::地板::距离=-长方体体积,长方体长,长方体宽,长方体高
2 11::地板::面积,长::地板::距离,宽::地板::距离=-长方形面积,长方形边长,长方形宽度
3 31::总::地板::体积,地板::体积,个数=-总体积数量,单个体积数量,个数
4 32::总::地板::面积,地板::面积,个数=-总面积数量,单体面积数量,个数

```

要说明的是:动态语义圈中间变量的命名,一般采用同一公式中数据元变量的宏观概念特征,加上自身的属性特征,然后创建新的中间变量。

2.4 求解规则匹配

依据动态语义圈中数据元变量与公式变量的对应关系,以及数据元变量取值的属性(未知/已知),匹配现有数据元变量与公式变量,调用激活的公式求解规则,计算未知数据元变量的值。下面是一个求解规则的例子:

```

11 /// 所属公式 ID
26 /// 求解规则 ID
等式 /// 求解规则类型
长方形面积公式, /// 公式名称
长方形边长,长方形宽度,长方形面积, /// 公式变量表
已知,已知,未知, /// 公式变量取值属性,
/// 公式中间变量表
-999999999.0 /// 公式中间变量取值表
起始,异性,异性, /// 公式变量传递属性
VAL(IA==长方形边长)!=-999999999.0、VAL(IA==长方形宽度)!=-999999999.0、VAL(IA==长方形面积)=-999999999.0->长方形边长 * * 长方形宽度-=长方形面积
///求解规则
VAL(IA==长方形面积)=-999999999.0 ///回退操作

```

2.5 结果输出

匹配求解规则,并依据求解规则计算中间变量的值,直到求解出疑问变量结束推理。比如,上例中,输出的结果如下:

```

step:26 53 65 68 /// 调用求解规则的 ID 次序
答案 长方体::体积=0.008000
答案 长方形::面积=0.400000
答案 总::地板::面积=80.000000
答案 总::地板::体积=1.600000

```

注:从疑问变量倒推,求解疑问变量没有贡献的中间步骤从求解步骤中剔除,取得局部最优解。

3 类比逻辑计算

本节中,讨论一个场景类比的计算实例。

问题:“一个长方体水缸,长 10 分米,宽 8 分米,水深 4.5 分米,放入一块石头,这时水面上升到 6 分米;

这块石头的体积是多少?”

3.1 数据元变量识别

- 10 长::长方体::距离
- 8 宽::长方体::距离
- 4.5 水::深::长方体::距离
- 6 这时::水面::距离
- 多少 这块::石头::体积

3.2 数学常识识别

- 1 23::水::长方体::体积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离,1::水::深::长方体::距离=-长方体体积,长方体长,长方体宽,长方体高
- 2 37::四周::水::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离,1::水::深::长方体::距离=-长方体四周面积,长方体长,长方体宽,长方体高
- 3 38::底部::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离=-长方体底部面积,长方体长,长方体宽
- 4 38::顶部::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离=-长方体底部面积,长方体长,长方体宽

3.3 类比场景模式识别

文中刻画这道题的类比场景模式如下:

- 1
- 3
- 水::体积,底部::面积,1::深,
- 22
- 长方体体积,截面面积,长方体长,
- 石头::水::体积,底部::面积,2::深,
- 22
- 长方体体积,截面面积,长方体长,
- 石头::体积,石头::水::体积,水::体积,
- 6
- A 部分,总量,B 部分,
- 9
- ...
- v 放入|投入、放进去、投进去、投掷、掷入、投掷进去、掷进去、
- c1
- s 石头|* *
- ...
- s 水面|水、
- v 上升
- t 至|到、到达、达到、
- n2::深
- 经过场景类比模式匹配,数据元变量语义表示改变为(其中-999999999.000000 表示待求解的值):
- 999999999.000000 水::长方体::体积
- 999999999.000000 四周::水::长方体::面积
- 999999999.000000 底部::长方体::面积
- 999999999.000000 顶部::长方体::面积
- 999999999.000000 石头::水::体积
- 10 长::长方体::距离

- 8 宽::长方体::距离
- 4.5 1::水::深::长方体::距离
- 6 2::深
- 999999999.000000 这块::石头::体积

3.4 动态语义圈表示

- 1 23::水::长方体::体积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离,1::水::深::长方体::距离=-长方体体积,长方体长,长方体宽,长方体高
- 2 37::四周::水::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离,1::水::深::长方体::距离=-长方体四周面积,长方体长,长方体宽,长方体高
- 3 38::底部::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离=-长方体底部面积,长方体长,长方体宽
- 4 38::顶部::长方体::面积,长::长方体::距离,宽::长方体::距离=-长方体底部面积,长方体长,长方体宽
- 5 22::水::长方体::体积,底部::长方体::面积,1::水::深::长方体::距离=-长方体体积,截面面积,长方体长
- 6 22::石头::水::体积,底部::长方体::面积,2::深=-长方体体积,截面面积,长方体长
- 7 6::这块::石头::体积,石头::水::体积,水::长方体::体积=-A 部分,总量,B 部分

3.5 求解结果

- 7 total 7 step:53 75 76 52 52 17 76
- 答案 水::长方体::体积=360.000000
- 答案 四周::水::长方体::面积=162.000000
- 答案 底部::长方体::面积=80.000000
- 答案 顶部::长方体::面积=80.000000
- 答案 石头::水::体积=480.000000
- 答案 这块::石头::体积=120.000000

4 创造性思维计算

在本节,讨论一个面向对象方法的增量式开发常识语义识别的实例的类人求解过程。系统求解采用枚举试探的求解思路,不仅仅依靠规则推理求解,而是观察求解过程的状态趋势变化,并做出下一步试探计算的判断。

问题:“五年级(1)班学生进行队列表演,每行 12 人或 16 人都正好整行,已知这个班的学生不到 50 人,这个班有多少人?”

4.1 数据元变量语义识别

- 12 1::个数::行::队列::效率
- 16 2::个数::行::队列::效率
- 50 nValStrict 1 队列::个数
- 多少 队列::个数

其中,nValStrict 1 表示变量的“小于”约束。

4.2 约束关系识别

约束关系识别分别识别数据元变量迭代模式和数据元变量数值约束关系。下面是 2 个例子,一个是数据元迭代变量的词汇匹配框架,一个是数据元变量数

值约束的词汇匹配框架。

```

1
1::个数::列::队列::效率,2::个数::列::队列::效率,
1
两迭代器约束函数
10
c1
n1::效率
t 或
n2::效率
t 都
t 正好||@
t 整
s 行
w1::个数::列::队列::效率
w2::个数::列::队列::效率
2
约束::个数,
2
单数值约束函数
8
v 已知||@
t 这个||这、
s 班
d 的
s 学生
t 不
v 到
n 约束::个数

```

4.3 数学常识识别

下面例子表示了数学常识表示数据元概念属性为“队列”的数据元变量与计算公式及变量的对应关系。

```

8 //数学常识 ID 号
11 ///公式 ID 号
队列、 //概念属性
队列::个数;队列::1::行::个数::效率;队列::1::列::
个数::效率; //数据元变量表
长方形面积;长方形边长;长方形宽度; ////公式变量表

```

4.4 动态语义圈表示

依据数学常识识别,生成所有的数据元变量与可能的计算公式之间的关系,即动态语义圈,表示了数据元变量集中所有可能的计算推导过程。

```

1 11:: 队列:: 个数,1:: 个数:: 行:: 队列:: 效率,1:: 个
数:: 列:: 队列:: 效率=-长方形面积,长方形边长,长方形宽度
2 11:: 队列:: 个数,2:: 个数:: 行:: 队列:: 效率,2:: 个
数:: 列:: 队列:: 效率=-长方形面积,长方形边长,长方形宽度

```

4.5 迭代枚举算法

系统对于第一个数据元迭代变量赋给初值 1,依次激活求解规则,计算各问题变量值,系统运行至结束条件判断:约束变量都满足条件,迭代次数小于最大限

制次数,并且所有迭代变量均为整数,若不满足结束条件,第一个数据元迭代变量的值加 1 后,系统重新循环运行,直到结束条件全部满足。

在迭代过程中,系统不断观察迭代满足数据元约束变量的程度,如表 3 所示。

表 3 迭代数据跟踪

第一迭代变量	约束变量	约束	数值差	第二迭代变量
1	12	小于 50	38	0.75
2	24	小于 50	26	1.5
3	36	小于 50	14	2.25
4	48	小于 50	2	3
5	60	小于 50	-10	3.75

观察上表可以看出,数值差为正的迭代满足数值约束条件,在所有数值差为正的迭代中,只有第四次迭代时,第二迭代变量的取值为正整数,满足迭代枚举结束条件。数值差的减小,预示着迭代经过有限次数终会结束。

4.6 求解结果

依据迭代枚举算法,在第 4 次迭代时,上述示例满足了所有求解结束条件,并输出运行结果如下:

```

total 2 step:26 27
答案 队列::个数=48.000000
答案 1::个数::列::队列::效率=4.000000
答案 2::个数::列::队列::效率=3.000000

```

5 结束语

大型常识知识工程都是增量式研发的过程^[14-15]。增量式体现在字典、配置文件语料、配置文件及配套识别功能的数量和知识冲突和冗余的渐进处理上。目前的研发,将围绕更多的配置文件类型、语义冲突^[16]和冗余处理机制等方面数据积累展开,为自然语言常识知识的思维建立基本数学基础,为类比思维和创造性思维的实现积累环境和数据,最终目标是用机器实现常识知识思维模型的完整过程。

参考文献:

[1] SIYAM B, SAA A A, ALQARYOUTI O, et al. Arabic arithmetic word problems solver[J]. Procedia Computer Science, 2017, 117:153-160.

[2] SUNDARAM S S, KHEMANI D. Natural language processing for solving simple word problems[C]//Twelfth international conference on natural language processing (ICON-2015). Kerala: [s. n.], 2015.

[3] GUNAWAN A A S, MULYONO P R, BUDIHARTO W. Indonesian question answering system for solving arithmetic