

基于跨事件理论的缺失事件角色填充研究

侯立斌 李培峰 朱巧明 钱培德

(苏州大学计算机科学与技术学院 苏州 215006) (江苏省计算机信息处理技术重点实验室 苏州 215006)

摘要 事件抽取是信息抽取领域的研究热点。针对 ACE 事件抽取局限于当前单个句子而造成大量事件论元角色缺失的现象,提出了基于跨事件的缺失事件角色填充理论并实现了原型系统。系统分为缺失角色填充识别和缺失角色填充分类两个部分,识别部分用于判定缺失角色是否可被填充,分类部分用于从其它事件描述中选择合适的角色(实体)对可被填充的缺失角色进行填充。对 ACE2005 语料进行了后期标注,实验中两个阶段的 *F* 值分别达到 72.97 和 74.68。

关键词 角色填充,跨事件,事件抽取

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Using Cross-event Inference to Fill Missing Event Argument

HOU Li-bin LI Pei-feng ZHU Qiao-ming QIAN Pei-de

(School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

(Key Lab of Computer Information Processing Technology of Jiangsu Province, Suzhou 215006, China)

Abstract Event extraction is an important research direction in the area of information extraction. In response to the phenomenon that a large number of arguments are missing in ACE event extraction caused by focusing on the current single sentence, we proposed a theory of filling the missing event arguments based on cross-event inference and achieved the prototype system. The system is divided into two parts that are identification and classification of missing roles. Identification part is applied to decide whether a missing event argument can be filled while classification part is applied to decide which argument in other event mention can be used to fill the missing event argument. We annotated ACE 2005 corpus to reveal the filling relationships. The experimental results show that the *F* measure reaches 72.97 and 74.68 respectively.

Keywords Filling of missing event argument, Cross-event inference, Event extraction

1 引言

针对事件进行相关信息的抽取,称为事件抽取。本文的研究基于 ACE2005^[1]评测项目。首先引入 ACE 评测的相关术语:

实体(entity):语义类别上的对象或对象集合,每种实体具有相应类别,如人物、组织、地点、时间等。

实体描述(entity mention):文档中关于实体的描述,一个或多个实体描述构成一个实体。

事件描述(event mention):文中具体描述事件的句子或片段。

事件论元角色(event argument):在事件中担当某类角色的实体、数值或时间,主要包括事件参与者以及与事件相关的属性(如时间属性),本文中简称角色。

考虑如下两个事件句:

事件句 A:台东市的一名男子上午 8 点多突然拿了西瓜刀闯进了法院,砍杀一名法院职员(attack 事件)。

事件句 B:职员四处奔逃,但其中一人因为滑倒,被歹徒砍伤背部(Injure 事件)。

以上两个事件句出现在同一篇文章的不同位置,粗体词语为触发词。表 1 和表 2 分别列出了两个事件句对应事件描述的论元角色抽取情况。

表 1 事件描述 A 对应的论元角色

角色	对应内容
Attacker	一名男子
Target	一名法院职员
Instrument	西瓜刀
Place	法院
Time-within	上午 8 点多

表 2 事件描述 B 对应的论元角色

角色	对应内容
Agent	歹徒
Victim	一人
Instrument	
Place	
Time-within	

到稿日期:2011-09-02 返修日期:2011-11-22 本文受国家自然科学基金(90920004,60970056,61070123,61003153)和江苏省高校自然科学重大基础研究项目(08KJA520002)资助。

侯立斌(1986-),男,硕士生,主要研究方向为自然语言处理,E-mail:20094227021@suda.edu.cn;李培峰(1971-),男,副教授,主要研究方向为自然语言处理、分布式信息系统、网络计算;朱巧明(1963-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为自然语言处理、Web 信息处理、嵌入式系统。

根据 ACE 事件抽取的规定,事件的各个论元角色来自一个短语或句子。对事件句 A、B 以及表 1、表 2 进行分析,事件描述 A 的 5 类角色均可在当前事件句中获得;而事件描述 B 只有 Agent 和 Victim 角色在当前事件句中获得,其它角色均缺失。我们的问题是:事件描述 B 的 3 个缺失角色真的不存在吗?通过观察和分析可以发现,事件描述 B 的缺失角色 Instrument、Place、Time-Within 与事件描述 A 相应角色对应的内容一致,即事件描述 B 的这 3 个缺失角色可以从事件描述 A 得到填充。识别出哪些缺失角色可以被填充以及如何被填充(即确定填充内容的来源)是本文研究的重点。

对 ACE2005 语料(我们进行了后期标注,依据见本文第 4 节)进行统计。ACE2005 语料的 633 篇文档共包含 3333 个事件描述,对应 18437 个论元角色,其中缺失事件论元角色 10405 个,而有 2564 个论元角色可以被文档中的实体(在其他事件描述中担当某种角色)填充,即大约有 1/4 的缺失角色可以得到填充,使得事件论元角色更加完整,事件信息更明确。具体到各个角色的分布情况如表 3 所列。

表 3 缺失论元角色可填充比例分布

角色	缺失角色个数	可填充的角色个数
Place	1633	452
Origin	502	90
Agent	928	135
Crime	407	157
.....

本文的贡献体现在两个方面:1)对 ACE 语料进行了后期标注,为缺失事件角色填充理论研究提供了训练和测试语料。2)提出了缺失事件角色填充理论,阐明了其研究意义和内容,并给出了问题的解决思路及实验结果。

本文第 2 节介绍相关工作;第 3 节介绍缺失事件角色填充理论及本系统的总体框架;第 4 节介绍 ACE 语料后期标注的具体情况,并提出解决思路;第 5 节给出实验结果和分析;最后总结全文。

2 相关工作

目前,基于 ACE 语料的事件抽取相关研究较多,如 Grishman 等^[2],Ahn^[3],Ji 和 Grishman^[4]等。

与本文研究内容相关的工作较少,主要的研究包括:Gupta 和 Ji^[5]在 ACE2005 语料上使用规则和机器学习的方法对缺失 Time 角色的填充进行了研究;文中没有对当前 Time 角色是否可被填充进行识别。许^[6]利用同指事件聚类方法,将聚类到同一类的事件进行融合;文中将事件信息细化为具体元素(角色),因此对事件信息的融合相当于对缺失事件角色信息的填充。文中还对填充元素进行了可信度分析。Huang 和 Riloff^[7]在 MUC-4 语料上利用上下文和领域相关文档的信息,针对特定的几类角色,如 Target、Place 进行了识别和填充。Liao 和 Grishman^[8]提出文档级别的跨事件(cross-event)理论来提高事件抽取的性能。Heng Ji^[9]讨论了在跨文档、跨语言及跨媒体层面上信息抽取到信息融合的问题和挑战。本文的研究属于单文档中的跨事件领域信息融合。

在缺失事件角色填充阶段借鉴了中文零指代消解的理论。Zhao 和 Ng^[10]使用机器学习的方法对中文缺省项识别和消解做了研究;Kong 和 Zhou^[11]则使用树核方法,在同一框

架下对零指代项进行了识别和消解研究。

3 缺失事件角色填充理论及系统框架

定义如下术语。

当前语境:当前事件抽取所在的句子和短语。

第二语境:同一文档中的其它事件描述(句子或短语)。

缺失角色:ACE2005 中规定了每类事件对应的论元角色,若论元角色对应的内容不存在,即为缺失事件角色。表 2 中,Instrument、Time-Within、Place 角色为缺失事件角色。缺失角色分为可填充缺失角色和不可填充缺失角色,表 2 中,3 个缺失角色均为可填充角色,这也是本文研究的重点;而不可填充缺失角色,是指不能通过第二语境获得填充,即文档中不存在其对应内容的缺失角色。

候选填充角色:除缺失角色所在事件描述之外的事件描述中的所有论元角色。注意,候选填充角色是与缺失角色对应的,其包含实体类型的集合与缺失角色包含实体类型的集合必须一致(存在交集)。如表 4 所列,Place 角色可以作为 Attacker 角色的候选填充角色,因为二者包含共同的实体类型 GPE;而 Instrument 角色不能作为 Attacker 角色的候选填充角色,因为二者包含的实体类型集合无交集。

表 4 角色与对应实体类型

角色	对应实体类型		
Attacker	PER	ORG	GPE
Place	LOC	FAC	GPE
Instrument	WEA	VEH	SUB

ACE2005 规定,事件抽取范围在当前一句话或一个短语(第一语境)内。通过对事件抽取结果分析发现,大量事件论元角色缺失,这是由于一个完整的事件信息往往分布在一个文档的各个部分,甚至多个文档中。而这些缺失角色中,有一部分可以通过其他事件描述(第二语境)的候选填充角色得到填充,从而使当前事件描述的信息更加完整。针对事件抽取获得的信息不完整的特点,提出了缺失事件角色填充理论。

跨事件理论^[9]认为,文档中的事件分布有一定规律性,例如当审判(Trial-Hearing)事件发生时,量刑(Sentence)事件比结婚(Marry)事件发生的概率大。另外,论元角色之间存在关联性,例如,Attack 事件中的 Attacker 角色如果缺失,则可以被 Die 事件中 Agent 角色填充的概率比 Pardon 事件中的 Adjudicator 角色填充的概率大。本文的缺失事件角色填充理论基于跨事件理论。

Gupta 和 Ji^[6]仅对 Time 角色进行了填充研究。本文将事件缺失角色扩展到更多的事件角色,同时对规则以及特征的选取做了更深入的研究。图 1 示出了缺失事件角色填充的系统框架。

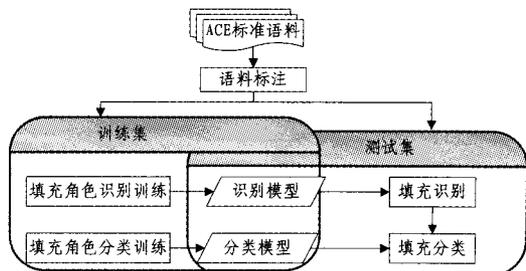


图 1 缺失事件角色填充框架图

首先对 ACE2005 语料进行了后期标注。实验分为两个阶段,即填充角色识别和填充分类阶段。填充角色识别,即判定当前缺失角色是否可被填充,这可以看作是二元分类问题;填充分类,即若当前缺失角色可被填充,从其它事件描述中选择合适的角色(实体)进行填充,这是一个多元分类问题。每个阶段均使用分类器训练模型,并使用其对测试文件进行测试。

4 语料标注及解决思路

4.1 语料标注

ACE2005 标准语料中标注了实体、关系和事件。每个事件描述属于特定的事件类型,ACE 规定了共 8 个大类、33 个小类事件。每类事件对应各自的论元角色,如表 5 所列。参考赵^[12]和 Chen^[13],本文以 33 个小类作为事件类型划分标准。

表 5 事件类型与对应论元角色

事件类别	论元角色				
Injure	Agent	Victim	Instrument	Time	Place
Marry		Person	Time	Place	
Start-Org	Agent	Org	Time	Place	
Attack	Agent	Target	Instrument	Time	Place
...			

每类事件对应的论元角色是已知并且确定的,因此可以很容易找到每个事件描述中缺失的论元角色。如表 2 所列,Injure 事件对应的论元角色有 5 个,其中 Agent 和 Victim 角色有对应的实体,而其余 3 个角色缺失。这些缺失角色是否可能被填充以及能被哪个实体填充是语料标注的主要工作。

ACE2005 标准标注语料中关于 event argument 的表示格式如图 2 所示。

```
<event_mention_argument ROLE="Target"
REFID=" CTV20001005.1330.0595-E33-81" >
<extent>巴勒斯坦</extent></event_mention_argument>
```

图 2 标准标注语料中论元角色的表示

参照上述格式,本文定义可以被填充的缺失角色以及不可以被填充的缺失角色的表示格式,分别如图 3 和图 4 所示。

```
<event_mention_argument ROLE="Place"
REFID=" CTV20001005.1330.0595-E35-24">
<extent>北京<@complete@></extent></event_mention_argument>
```

图 3 本文定义的可以被填充的缺失角色的表示

```
<event_mention_argument ROLE="TIME" REFID="">
<extent>(<@missing@></extent></event_mention_argument>
```

图 4 本文定义的不可被填充的缺失论元角色的表示

其中,论元角色的属性包括角色(ROLE)和实体编号(REFID)。与原有格式不同的是,图 3 实体内容后面加“(<@complete@>”说明其是后期标注的可以被填充的缺失论元角色。图 4 中实体内容“(<@missing@>”且 REFID 为空,表示此缺失角色不可被填充。

这里强调实体共指的问题。本文的研究基于实体识别均正确的前提。实体共指是说明两个实体指向现实世界中的同一个参照物。例如在同一文档中,“克林顿”“美国总统”“他”这 3 个实体描述(entity mention)实际指代同一个实体。ACE2005 标注语料中,这 3 个实体描述的编号不同,但这 3

个实体描述属于同一实体,这个实体的编号唯一。在比较两个角色对应的内容是否一致时,仅对比两个实体描述对应的实体编号。

4.2 解决思路

4.2.1 缺失角色填充识别

缺失角色填充识别,即判断某个缺失角色是否可被填充。这是一个二元分类问题。

训练文件与测试文件的生成:遍历文档的论元角色,实体内容以“(<@complete@>”结尾的论元角色为正样例,以“(<@missing@>”结尾的论元角色为负样例。

我们定义,缺失角色为 Arg_miss,所在事件描为 event_mention_miss。特征选择如下所示。

Arg_miss 在 event_mention_miss 中担当的角色。

Event_mention_miss 的事件类型。

Event_mention_miss 中已存在的论元角色与缺失角色个数的比例。

与 Event_mention_miss 同类型的事件在文档中的分布情况(个数)。

其它 32 类事件类型(Event_mention_miss 的事件类型除外)的事件在文档中是否出现(32 种特征)。

与 Arg_miss 角色相同的元素在文档中的分布情况(个数)。

与 Arg_miss 对应实体类型匹配的角色在文档中的分布情况(个数)。

4.2.2 缺失角色填充分类

缺失角色填充分类,即对于可以被填充的角色如何从其它事件描述选择合适的角色(实体)进行填充。对于此问题,本文采用基于规则和基于机器学习两种方法。

基于规则的方法:参考 Gupta 和 Ji^[6]关于规则的制定,基于对训练语料中缺失角色填充的分布情况,设定了规则。以 Attack 事件的 Target 角色为例,按如下优先级进行填充:

填充距离此事件最近的 Die 事件的 Victim 角色。

填充距离此事件最近的 Injure 事件的 Victim 角色。

填充距离此事件最近的 Attack 事件的 Target 角色。

若以上角色均不存在,则随机取一个实体类型匹配的角色进行填充。

注:“距离此事件最近”的事件,即以当前事件 E 为中心,同时向前后搜索,先找到的事件。若两个事件同时找到,选取位置靠前者。因为对训练语料统计发现,填充角色出现在缺失角色之前的概率为 75.72%,而出现在之后的概率为 24.28%。

基于机器学习的方法:在本系统中,选取正负样例的过程参考了零指代的经典方法^[10],将多元分类问题转换为二元分类。每个训练和测试用例均使用形式{M,C},其中 M 表示缺失角色,C 表示可能的候选填充角色。若 M 可由 C 填充,即 M 对应的实体编号与 C 对应的实体编号相同,则为正样例;否则,为负样例。根据 ACE2005 规定的语义实体类别进行样例对的过滤,去除不可能具有填充关系的样例对。

训练文件的生成,以缺失角色所在的事件为中心,同时向前后扫描,若候选填充角色与缺失角色匹配,即二者对应的实体编号一致,则为正例;否则,为负例。为了获得更多的训练样例,在遇到正样例后,扫描继续,直到遇到文档最前或最后一个正样例。

测试文件的生成:正负样例的获取与训练文件生成方式类似,区别在于一旦遇到正样例,扫描结束。

我们定义,缺失角色为 Arg_miss,所在事件描述为 event_mention_miss,所在事件句为 sentence_miss;候选填充角色为 Arg_complete,所在事件描述为 event_mention_complete,所在事件句为 sentence_complete。特征选择如下所示。

Arg_miss 在 event_mention_miss 中担当的角色。 <1>

Arg_complete 在 Event_mention_complete 中担当的角色。 <2>

Event_mention_miss 的事件类型。 <3>

Event_mention_complete 的事件类型。 <4>

Sentence_miss 与 Sentence_complete 的距离,若在同一句,则为 0。 <5>

Sentence_miss 和 Sentence_complete 在文档中的前后关系。 <6>

Event_mention_miss 和 Event_mention_complete 中拥有的共指论元角色个数。 <7>

与 Event_mention_miss 同类型的事件在文档中的分布情况(个数)。 <8>

与 Event_mention_complete 同类型的事件在文档中的分布情况(个数)。 <9>

与 Arg_miss 角色相同的元素在文档中的分布情况(个数)。 <10>

机器学习方法中关于负样例过滤的问题 缺失角色填充分类阶段,测试文件正负样例不平衡(比例 1:3)造成实验性能不理想。通过对训练语料的分析,统计出了填充角色和缺失角色的分布情况。以角色 Attacker 为例,其对应的实体类别包括 PER、ORG 和 GPE,角色分布如下: **Agent, Victim, Place, Attacker, Target, Adjudicator, Prosecutor, Defendant, Origin, Destination, Person, Entity, Plaintiff, Org, Giver, Recipient, Beneficiary, Artifact, Buyer, Seller**。其中,仅粗体部分的角色在训练语料中作为 Attacker 角色的填充角色,因此在测试语料中只选取粗体部分的角色作为样例。具体分布如图 5 所示。经过负样例过滤,最终正负样例比例为 2:3。

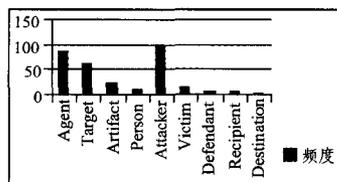


图 5 训练语料中与缺失 Attacker 角色有填充关系的角色分布

5 实验

本文对 ACE2005 语料中 Attack 事件的 5 类论元角色进行训练和测试。包含 Attack 事件 125 篇文章,取 17 篇作为测试集,8 篇作为开发集,剩余 100 篇作为训练集进行 5 倍交叉验证。

实验采用准确率 P、召回率 R 及 F 值作为评测标准。分类器使用 SVM¹⁾,参数使用默认值。

$$P = \frac{\text{识别正确的正样例数目}}{\text{实际上正样例的数目}}$$

$$R = \frac{\text{识别正确的正样例数目}}{\text{识别出的正样例的数目}}$$

$$F = \frac{2 * P * R}{P + R}$$

5.1 缺失角色填充识别

实验结果如表 6 所列。

表 6 缺失角色填充识别实验结果

P	R	F
63.76	82.93	72.97

实验结果表明,召回率尚可,而准确率较低。这主要是因为具有相当数量的负样例被误当作正样例,即不可填充的缺失角色被误当作可填充缺失角色。

5.2 缺失角色填充分类

本阶段选取的语料与填充识别阶段一致,使用真实的可被填充的角色作为训练和测试样例。实验结果如表 7 所列。

表 7 缺失角色填充分类实验结果

特征	P	R	F
规则方法	68.78	62.45	63.78
机器学习方法	71.36	68.6	69.95
机器学习方法(过滤负样例)	75.06	70.74	72.84

表 7 中第一行是使用规则方法所得结果;第二、三行均是机器学习方法所得结果,其中第三行对负样例进行了过滤。可以发现,对负样例进行过滤,使性能提升很大。机器学习的方法比规则的方法 F 值高 4 个百分点。

5.3 实验结果分析

5.3.1 特征贡献度分析

这里重点分析缺失角色填充分类阶段特征选取问题。我们定义特征<1>、<2>、<3>、<4>为基本特征;特征<5>、<6>为位置特征;F(5,6);特征<7>为共指论元特征;F(7);特征<8>、<9>、<10>为全局特征;F(8,9,10)。具体实验结果如表 8 所列。

表 8 特征对实验结果影响分布

特征	P	R	F
基本特征	68.78	62.45	63.78
+F(5,6)	71.36	68.6	69.95
+F(7)	73.55	65.14	69.1
+F(5,6)+F(7)	75.06	70.74	72.84
+F(8,9,10)	69.82	65.67	67.68
全部	76.3	73.12	74.68

通过对实验结果分析可以发现,基本特征取得 F 值 63.78,即不同的事件类型和角色之间存在很大关联,如 Injure 事件的 Victim 角色由 Attack 事件的 Target 角色填充的概率较大、Attack 事件与 Die 事件发生的时间和地点往往相同。位置特征 F(5,6)的加入,使得提高幅度较大,这是由于填充角色一般出现在缺失角色的前面,概率为 75.72。共指论元特征同样对性能有显著作用,而全局特征对结果相对提升较小。

5.3.2 评测中存在的问题

关于实验结果评测还存在一些问题,例如一个角色可能对应多个实体,在事件句“以巴冲突”中,Attacker 对应两个实体,即“以”和“巴”。目前本文的策略是只要其中之一正确,就

¹⁾ <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>

认为缺失角色填充正确。还有关于深层语义关系的问题,如事件发生的地点为“北京”,一般认为此事件发生在“中国”也是正确的。然而,在语料中,“北京”和“中国”两个实体编号不同,故在我们的评测中,认为此类填充是错误的(负样例)。

结束语 本文提出了缺失事件角色填充理论并实现了基本本台。实验的识别和分类阶段分别给出了基本特征集、实验过程和结果,两个阶段的 F 值分别达到 72.97 和 74.68。

对于缺失事件角色填充理论的研究,本文做了初步探索。目前,事件抽取总体性能不高,我们的研究基于 ACE2005 Golden 语料,下一步将结合事件抽取研究二者的联合学习方法。另外,缺失事件角色填充理论基于单文档的跨事件理论,下一步将扩展到跨文档领域。

参考文献

- [1] ACE Chinese Annotation Guidelines for Events [R]. http://www ldc upenn edu/Projects/ACE/docs/Chinese-Events-Guidelines_v5.5.1.pdf. 2005c
- [2] Grishman R, Westbrook D, Meyers A. NYU's English ACE 2005 System Description[R]. 2005
- [3] Ahn D. The stages of event extraction [C]// Proceedings of the Workshop on Annotations and Reasoning about Time and Events. Sydney, July 2006:1-8
- [4] Ji Heng, Grishman R. Refining Event Extraction through Cross-Document Inference [C]// Proceedings of ACL HLT, Columbus, 2008:254-262
- [5] Gupta P, Ji Heng. Predicting Unknown Time Arguments based

(上接第 184 页)

另外,MapReduce 参数调优以提高性能,以及尝试用 MapReduce 并行遗传算法解决更为实际的问题并对此做出更深入的理论探讨,也是笔者未来的工作之一。

参考文献

- [1] Mitchell T M. Machine Learning[M]. 曾华军,张银奎,等译.北京:机械工业出版社,2003
- [2] Cantú-Paz E. A Summary of Research on Parallel Genetic Algorithms[J]. IlliGAL R,1997(3)
- [3] Dean J, Ghemawat S. Mapreduce: Simplified data processing on large clusters[C]// Operating Systems Design and Implementation. 2004:137-149
- [4] Chu C-T, Kim S K, Lin Yi-an, et al. Map-Reduce for machine learning on multicore[C]// Neural Information Processing Systems 19 (NIPS 2006). Vancouver, British Columbia, Canada, 2006:281-288
- [5] McNabb A W, Monson C K, Seppi K D. Parallel PSO Using Map-Reduce[C]// Proc. of the Congress on Evolutionary Computation. Singapore, 2007
- [6] Panda B, Herbach J S, Basu S, et al. PLANET: Massively parallel learning of tree ensembles with MapReduce[C]// Proc. of the 35th International Conference on Very Large Data Based (VLDB

on Cross-Event Propagation [C]// Proc. ACL-IJCNLP. 2009: 369-372

- [6] 许荣华,等.基于指代消解得中文事件融合方法[J]. 计算机应用,2009,08(1):2264-2267
- [7] Huang, Riloff. Peeling Back the Layers: Detecting Event Role Fillers in Secondary Context[C]// Proceedings of the 49th Annual Meeting of ACL. 2011
- [8] Liao Sha-shaa, Grishman R. Using Document Level Cross-Event Inference to Improve Event Extraction[C]// Proc. ACL. Uppsala, Sweden, 2010:789-797
- [9] Ji Heng. Challenges from information extraction to information fusion[C]// Proceedings of COLING. Beijing, China, 2010:507-515
- [10] Zhao S H, Ng H T. Identification and Resolution of Chinese Zero Pronouns: A Machine Learning Approach[C]// ACL' 2007. 2007:541-550
- [11] Kong F, Zhou G D, Zhu Q M. Employing the Centering Theory in Pronoun Reslution from the Semantic Perspective[C]// EMNLP' 2009. 2009:987-996
- [12] 赵妍妍,秦兵,车万翔,等.中文事件抽取技术研究[J]. 中文信息学报,2007,22(1):3-8
- [13] Chen Zheng, Ji Heng. Language specific issue and feature exploration in Chinese event extraction[C]// Proceedings of NAACL HLT. Boulder, Colorado, USA, 2009:209-212
- [14] 付剑锋,刘宗田,付雪峰,等.基于依存分析的事件识别[J]. 计算机学报,2009,36(11):217-219
- [15] 2009). Lyon, France, 2009:1426-1437
- [7] Verma A, Llorca X, Goldberg D E, et al. Scaling genetic algorithms using mapreduce[C]// In International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Pisa, Italy, 2009
- [8] Jin C, Vecchiola C, Buyya R. Mrpqa: An extension of mapreduce for parallelizing genetic algorithms[C]// IEEE Fourth International Conference on eScience'08. 2008:214-221
- [9] <http://hadoop.apache.org/>
- [10] 王竹荣,巨涛,马凡.多核集群系统下的混合并行遗传算法研究[J]. 计算机学报,2011,38(7):194-199
- [11] Qiu J, Ekanayake J, Thilina Gunarathne, et al. Data Intensive Computing for Bioinformatics[EB/OL]. http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/DataIntensiveComputing_BookChapter.pdf, 2010
- [12] Deb K, Thiele L, Laumanns M, et al. Scalable multiobjective optimization test problems[C]// Proc. of Congress on Evolutionary Computation. 2002
- [13] Deb K. Multi-objective genetic algorithms: Problem test Functions[J]. Evolutionary Computation, 1999, 7(3), 205-230
- [14] 王斌,李元香,王治.一种求解 TSP 问题的单亲遗传算法[J]. 计算机学报,2003,30(5):73-75
- [15] 蔡之华,彭锦国,高伟,等.一种改进的求解 TSP 问题的演化算法[J]. 计算机学报,2005,28(5):823-828
- [16] <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>