doi:10.13582/j.cnki.1672－7835.2014.06.005

■ 逻辑今探

广义量词的推理模式研究①

林胜强,张晓君
(四川师范大学 政治教育学院,四川 成都 610066)

摘　要:基于 Peters 和 Westerståhl(2006)、Moss(2010, 2011)、Chow Ka Fat(2012)等相关文献的工作,可进一步概括出广义量词的三种主要推理模式:论元结构推理、单调性推理和广义三段论推理。可以用大量实例对这些推理模式加以说明。由于广义量词在自然语言中普遍存在,这些研究对计算机科学中的知识表示和知识推理等方面具有重要意义。

关键词:广义量词;论元结构推理;单调性推理;广义三段论推理

中图分类号:B81　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1672－7835(2014)06－0029－05

Research on Inferential Patterns of Generalized Quantifiers

LIN Shengqiang & ZHANG Xiaojun
(College of Political Education, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610066, China)

Abstract: This paper draws chiefly on the ideas and methods in Peters and Westerst? hl (2006), Moss (2010, 2011), and Chow Ka Fat (2012), etc. The new facts and corollaries discovered and proved in this paper are 11 and 2 respectively. These facts and corollaries mainly summarize three inferential patterns of generalized quantifiers as follows: (1) argument structure inferences; (2) monotonicities inferences; (3) generalized syllogistic inferences. These patterns are illustrated by many instances in this paper. Since generalized quantifiers are ubiquitous in natural languages, the study is very important for knowledge representation and reasoning in computer science.

Key words: generalized quantifiers; argument structure inferences; monotonicities inferences; generalized syllogistic inferences

20 世纪 80 年代以来,在 Barwise 和 Cooper, van Benthem, Keenan, Peters 和 Westerståhl, Szymanik, Moss, Chow Ka Fat 等工作成果的基础上,广义量词理论得到了很大的发展,其研究价值也日益得以呈现。广义量词理论处理问题的方式直观简洁,成果普适性很强,能够很好地处理自然语言所携带的信息[1],因而,其研究成果对现代逻辑学、理论语言学、计算语言学和计算机科学等交叉领域都有着重要的影响。本文基于 Peters 和 Westerståhl(2006)、Moss(2010, 2011)、Chow Ka Fat(2012)等相关文献的工作,进一步概括出广义量词的三种主要推理模式:论元结构推理、单调性推理和广义三段论推理,并用大量实例对这些推理模式加以说明。

一　问题的提出

广义量词理论是一阶逻辑理论的延伸和扩展。广义量词主要包括:1)一阶逻辑中的全称量词和存

---

① **收稿日期**:2014－07－05
基金项目:教育部人文社科规划基金项目(12XJA740007)
作者简介:林胜强(1963－),男,四川隆昌人,硕士,副教授,主要从事语言逻辑、哲学逻辑和批判性思维研究。

在量词;2)限定词;3)由限定词 a,an,the 或其他量化关系指称所形成的所有名词短语。比如:“我的手机”“最多五分之一的”“几个”“两者都”“大多数的”等等都是广义量词。广义量词理论以集合论为基础,广义量词的数学推理性质主要是利用其真值定义,来揭示广义量词所涉及的论元集合的性质,或不同论元集合之间的关系。我们认为,广义量词理论正是利用真值定义,来成批量地处理自然语言中有关量词的语义性质和推理性质的。在本文中,广义量词所涉及的论元所组成的集合用 A、B 、C 来表示,E 是所讨论的论域,“⇒”表示蕴涵,“⇔”表示相互蕴涵,若无特别说明,量词都是指广义量词。

在自然语言中最为普遍存在的广义量词是〈1〉类型和〈1,1〉类型的量词。由于对〈1〉类型量词的研究常常可转化为对其〈1,1〉类型的亲缘量词的研究,故本文重点研究〈1,1〉类型的广义量词[2]。〈1,1〉类型量词表示其左论元和右论元所涉及的集合之间的二元关系。比如:绝大多数限定词对应〈1,1〉类型量词。以〈1,1〉类型的广义量词开头的量化语句都具有 Q(A, B)这样的三分结构,这种结构在自然语言中普遍存在[3]。例如:在“不到三分之一的人喜欢韩剧”中,“不到三分之一的”对应的是〈1,1〉类型量词,这一语句可表示为$(\text{less than } 1/3 \text{ of})_E(A, B)$这样的三分结构,其中,A 表示论域 E 中所有人所组成的集合,B 表示论域 E 中“喜欢韩剧”的人所组成的集合。这一量词的真值定义是:$(\text{less than } 1/3 \text{ of})_E(A, B)$ ($|A\cap B| < 1/3|A|$。

任何广义量词 Q 有三种否定形式:外否定量词¬Q、内否定量词 Q¬ 、对偶否定量词 Q^d,而且 $Q^d = \neg(Q\neg) = (\neg Q)\neg = \neg Q\neg$ 。

定义 1 〈1,1〉类型量词的三种否定运算[4]130-132

令 Q 是一个〈1, 1〉类型量词,E 是任意的论域,且 A、B⊆E,则:

(1)$(\neg Q)_E(A, B) \Leftrightarrow$并非 $Q_E(A, B)$;

(2)$(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow Q_E(A, E-B) \Leftrightarrow Q_E(A, \neg B)$;

(3)$(Q^d)_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow (\neg Q)_E\neg(A,B)$。

定义 2 〈1,1〉类型量词的对称性(symmetry)

一个〈1,1〉类型量词 Q 是对称的,当且仅当,对所有的 E 和所有的 A、B⊆E,$Q_E(A, B) \Rightarrow Q_E(B, A)$。

定义 3 〈1, 1〉类型量词的单调性[3]

令 Q 是一个〈1, 1〉类型量词,E 是任意的论域:

(1)Q 是右单调递增的,当且仅当:若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(A, B)$ ($Q_E(A, C)$

(2)Q 是右单调递减的,当且仅当:若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(A, C)$ ($Q_E(A, B)$。

(3)Q 是左单调递增的,当且仅当:若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(B, A)$ ($Q_E(C, A)$。

(4)Q 是左单调递减的,当且仅当:若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(C, A)$ ($Q_E(B, A)$。

在 Peters 和 Westerståhl, Moss, Chow Ka Fat 等工作的基础上,通过多年的研究,我们发现,广义量词的推理模式的种类大致可分为:论元结构推理、单调性推理、数字三角形推理、对当推理、广义三段论推理。其中,绝大部分推理要么与广义量词的单调性有关,要么与广义量词的对称性有关,而自然语言中最为普遍存在的推理是单调性推理、论元结构推理、广义三段论推理。限于篇幅,本文只论述这三种主要推理模式。

二 论元结构推理

论元结构推理涉及到对广义量词或其论元进行操作,比如,对论元进行换位。有时涉及到广义量词与其三种否定量词之间的推理,有些论元结构推理与广义量词的对称性有关。

事实 1:$(\neg Q)_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(Q_E(A, B))$

证明:根据定义 1(1)外否定量词的定义$(\neg Q)_E(A, B) \Leftrightarrow$并非 $Q_E(A, B)$可知:$(\neg Q)_E(A, B) \Leftrightarrow$并非 $Q_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(Q_E(A, B))$,故结论得证。

实例 1:并非所有的人都喜欢韩剧。⇔“所有的人都喜欢韩剧”这一断定不成立。

实例 2:最多一半的女人爱做白日梦。⇔并非大多数女人爱做白日梦。

实例 3:最多五分之一的人喜欢追名逐利。⇔“超过五分之一的人喜欢追名逐利”这一断定不成立。

在实例 1 中，$Q = all$，$\neg Q = not\ all$，$Q\neg = no$，$Q^d = some$。在实例 2 中，$Q = most$，$\neg Q =$ at most half of the，$Q\neg =$ fewer than half of the，$Q^d =$ at least half of the。在实例 3 中，$Q =$ more than 1/5 of，$\neg Q =$ at most 1/5 of，$Q\neg =$ less than 4/5 of，$Q^d =$ at least 4/5 of。

事实 2：$(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow Q_E(A, \neg B)$

证明：根据定义 1(2)内否定量词的定义可知：$(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow Q_E(A, E-B) \Leftrightarrow Q_E(A, \neg B)$，故结论得证。

实例 4：没有人喜欢被欺骗。⇔所有的人都不喜欢被欺骗。

实例 5：不到一半的人喜欢卖萌。⇔大多数的人都不喜欢卖萌。

实例 6：不到五分之一的的女人爱哭。⇔超过五分之一女人不爱哭。

事实 3：$(Q^d)_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(Q_E(A, \neg B))$

证明：根据定义 1(3)对偶否定量词的定义可知：$(Q^d)_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(((Q\neg)_E(A, B))$，再根据内否定量词的定义$(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow Q_E(A, E-B)$可知：$\neg(((Q\neg)_E(A, B)) \Leftrightarrow \neg Q_E(A, E-B) \Leftrightarrow \neg(Q_E(A, \neg B))$，故$(Q^d)_E(A, B) \Leftrightarrow \neg(Q_E(A, \neg B))$。故结论得证。

实例 7：有些宠物很讨大家的喜欢。⇔并非有些宠物很不讨大家的喜欢。

实例 8：至少一半的人上过淘宝网。⇔并非大多数人都没有上过淘宝网。

实例 9：至少五分之四的女人爱打扮。⇔并非超过五分之一的人都不爱打扮。

若 Q 是一个任意单态量词，则其反义量词可记作 Q^{-1}。例如：$\langle 1, 1, 1\rangle$类型量词“比…更多…”的反义量词是“比…更少…”。

事实 4[5]91：对于$\langle 1, 1, 1\rangle$类型量词 Q 而言，$Q(A, B, C) \Leftrightarrow Q^{-1}(B, A, C)$

推论 1：(more …than…)(A, B, C) ⇔((fewer …than…)(B, A, C)

实例 10：爱看电视剧的女人比男人多。⇔爱看电视剧的男人比女人少。

其中，A 是论域中所有女人组成的集合，B 是论域中所有男人组成的集合，C 是爱看电视剧的个体组成的集合。根据广义量词理论，这两个量词的真值定义分别为：(more …than…)(A, B, C)$\Leftrightarrow |A\cap C| > |B\cap C|$与(fewer …than…)(B, A, C)$\Leftrightarrow |B\cap C| < |A\cap C|$，从这两个真值定义也可以看出，推论 1 显然成立。可见，广义量词理论以集合论为基础，深刻而准确地表达了自然语言所携带的信息。

在自然语言中，“没有”“有些”“某个”“五个”、被修饰的数字如“三个以上、最多七个”、以及不定冠词具有对称性，但是“所有的”“大多数”“除了三个外”、比例量词和定冠词都不具有对称性。根据广义量词的对称性的定义可证明事实 5。

事实 5：对于具有对称性的$\langle 1,1\rangle$类型量词 Q 而言，$Q(A, B) \Leftrightarrow Q\neg(B, A)$。

实例 11：有些妇产科大夫是男人。⇔有些男人是妇产科大夫。

实例 12：五个特警是女人。⇔五个女人是特警。

实例 13：没有男孩是留守儿童。⇔没有留守儿童是男孩。

事实 6：对于$\langle 1,1\rangle$类型量词 Q 而言，$Q_E(A, B) \Leftrightarrow (Q\neg)_E(A, \neg B)$。

证明：根据定义 1(2)内否定量词的定义$(Q\neg)_E(A, B) \Leftrightarrow Q_E(A, E-B)$可知：$(Q\neg)_E(A, \neg B) \Leftrightarrow Q_E(A, \neg(E-B)) \Leftrightarrow Q_E(A, B)$，故结论得证。

实例 14：所有的学生都吃早餐了。⇔没有学生没吃早餐。

实例 15：最多三个学生没有吃早餐。⇔最多除了三个学生之外的所有学生都吃早餐了。

实例 16：不到一半的学生吃了早餐。⇔大多数学生都没有吃早餐。

在实例 14 中，$Q = all$，$Q\neg = no$；在实例 15 中，$Q =$ at most n，$Q\neg =$ all but at most n；在实例 16 中，$Q =$ fewer than half of the，$Q\neg = most$；A 表示论域中所有学生组成的集合，B 表示论域中吃了早餐的学生组成的集合。

三　单调性推理

广义量词的单调性是广义量词最为重要也最为普遍的语义性质，国内外学者对此有不少研究成果。使用自然语言检测法或数字三角形法，可以检测一个广义量词是否具有单调性，以及具有怎样的单调

性[6]。〈1,1〉类型广义量词可能只在一个论元上具有单调性,也可能在两个论元上都具有单调性,还有可能在两个论元上都不具有单调性。根据单调性的定义可以直接得到下面的事实 7 ~ 10。

事实 7:对于右单调递增的〈1,1〉类型量词 Q 而言,若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(A, B)\Rightarrow Q_E(A, C)$。

在自然语言中,如 some, all, every, most, at least n(n 为自然数), more than n(n 为自然数), almost all 这些含肯定意义的量词都是右单调递增的〈1,1〉类型量词。

实例 17:几乎所有的男人都抽过雪茄。⇒几乎所有的男人都抽过烟。

实例 18:最少五亿个男人抽过雪茄。⇒最少五亿个男人都抽过烟。

实例 19:超过三亿的男人抽过雪茄。⇒超过三亿的男人抽过烟。

在实例 17 ~ 19 中,B 表示抽过雪茄的男人组成的集合,C 表示抽过烟的男人组成的集合,而且 $B\subseteq C\subseteq E$。这三个实例结构相同,内容相同,只是广义量词不同而已,这恰好说明了这些广义量词的普遍语义性质和推理性质。

事实 8:对于右单调递减的〈1,1〉类型量词 Q 而言,若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(A, C)\Rightarrow($ $Q_E(A, B)$。

在自然语言中,neither, no, almost no, at most half of the, not all, less than, less than half of the 这些含有否定意义的量词都是右单调递减的〈1, 1〉类型量词。

实例 20:最多一半的男人抽过烟。⇒最多一半的男人抽过雪茄。

实例 21:张三和李四都从来没有抽过烟。⇒张三和李四都从来没有抽过雪茄。

实例 22:并非所有的男人都抽过烟。⇒并非所有的男人都抽过雪茄。

事实 9:对于左单调递增的〈1,1〉类型量词 Q 而言,若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(B, A)\Rightarrow Q_E(C, A)$。

在自然语言中,not every, some, not all, a, several, many, at least five, infinitely many, nearly only 是左单调递增的〈1,1〉类型量词。

实例 23:至少三个女特警受伤。⇒至少三个特警受伤。

实例 24:并非所有的女特警受伤。⇒并非所有的特警受伤。

实例 25:无穷多个女特警受伤。⇒无穷多个特警受伤。

事实 10:对于左单调递减的〈1,1〉类型量词 Q 而言,若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(C, A)\Rightarrow Q_E(B, A)$。

在自然语言中,every, no, all, few, a finite number, at most five 都是左单调递减的〈1,1〉类型量词。

实例 26:最多三套房被卖掉了。⇒最多三套大三居房被卖掉了。

实例 27:没有一套房被卖掉了。⇒没有一套大三居房被卖掉了。

实例 28:所有的房屋被卖掉了。⇒所有的大三居房被卖掉了。

四　广义三段论推理

广义三段论也叫扩展三段论,它是指涉及广义量词的三段论。正如广义量词是亚氏量词的扩展一样,广义三段论是亚氏三段论的扩展。自然语言推理常常是根据语境进行了省略的多个广义三段论推理经过层层嵌套而成[7]。广义三段论的有效性常常与广义量词的单调性有关[8]。在此,我们给出事实 11,并加以详细证明。

事实 11:对于一个〈1, 1〉类型量词 Q 而言,Q 是左单调递减的,当且仅当,$Q(C, A)$ & $all(B, C)\Rightarrow Q(B, A)$,当且仅当,$\neg Q(B, A)$ & $all(B, C)\Rightarrow\neg Q(C, A)$,当且仅当,$Q\neg(B, A)$ & $all(B, C)\Rightarrow Q\neg(C, A)$,当且仅当,$Q^d(C, A)$ & $all(B, C)\Rightarrow Q^d(B, A)$。

证明:先从左到右证明。该证明可分为四个步骤:

1)假设 Q 是一个具有左单调递减性质的〈1, 1〉类型量词 Q,根据定义 3(4)可知,对于任意的论域 E 和集合 B 与 C,若 $B\subseteq C\subseteq E$,则 $Q_E(C, A)\Rightarrow Q_E(B, A)$。再根据“all”的真值定义知,对于任意论域 E,有:$all_E(B, C)\Leftrightarrow B\subseteq C\subseteq E$。即,此时有:$all(B, C)$ & $Q(C, A)\Rightarrow Q(B, A)$。

2)继续假设语句 $all(B, C)$ 成立,对 $Q(C, A)\Rightarrow Q(B, A)$ 的两边取否定运算,可得:$\neg Q(B, A)\Rightarrow\neg Q(C, A)$,此时就证明了 $all(B, C)$ &$\neg Q(B, A)\Rightarrow\neg Q(C, A)$。

3)再次利用定义 3(4)可知,对所有的 $B\subseteq C\subseteq E$,有:$Q_E(C, A)\Rightarrow Q_E(B, A)$。根据定义 1(2)可知,$(Q\neg)_E(C, A)\Leftrightarrow Q_E(C, E-A)$,$(Q\neg)_E(B, A)\Leftrightarrow Q_E(B, E-A)$,即,内否定只对其右论元取补运算,

对左论元没有影响。再由 $Q_E(C, A) \Rightarrow Q_E(B, A)$ 得,$Q_E(C, E-A) \Rightarrow Q_E(B, E-A)$,即 $Q\neg(B, A) \Rightarrow Q\neg(C, A)$,此时证明了 all(B, C) & $Q\neg(B, A) \Rightarrow Q\neg(C, A)$。

4)继续假设 all(B, C)成立,对 $Q\neg(B, A) \Rightarrow Q\neg(C, A)$ 的两边取否定运算,可得:$\neg Q\neg(C, A) \Rightarrow \neg Q\neg(B, A)$,再根据 $Q^d = \neg Q\neg$ 这一定义可知,$Q^d(C, A) \Rightarrow Q^d(B, A)$,此时就证明了 all(B, C) & $Q^d(C, A) \Rightarrow Q^d(B, A)$。可以类似地证明反方向的命题。证毕。

例如,由于“最多六分之一的学生在抽烟。⇒最多六分之一的女学生在抽烟。”这说明 at most 1/6 of 是左单调递减的⟨1, 1⟩类型量词,若令 Q = at most 1/6 of,则 ¬Q = more than 1/6 of, Q¬ = at least 5/6 of, Q^d = less than 5/6 of,根据事实 11 可得:

推论 2:at most 1/6 of 是左单调递减的,当且仅当,at most 1/6 of (C, A) & all(B, C)⇒(at most 1/6 of (B, A),当且仅当,more than 1/6 of (B, A) & all(B, C)⇒(more than 1/6 of (C, A),当且仅当,at least 5/6 of (B, A) & all(B, C)⇒(at least 5/6 of (C, A) ,当且仅当,less than 5/6 of (C, A) & all(B, C)⇒(less than 5/6 of (B, A)。

也就是说,这四个广义三段论都是有效的,而且它们之间可以相互化归。例如,下面的四个广义三段论实例都是有效的,而且实例[1]有效,当且仅当,实例[2]有效,当且仅当,实例[3]有效,当且仅当,实例[4]有效:

[1]前提 1:所有的女学生都是学生。
　前提 2:最多六分之一的学生在抽烟。
　结论:最多六分之一的女学生在抽烟。
[2]前提 1:所有的女学生都是学生。
　前提 2:超过六分之一的女学生在抽烟。
　结论:超过六分之一的学生在抽烟。
[3]前提 1:所有的女学生都是学生。
　前提 2:最少六分之五的女学生在抽烟。
　结论:最少六分之五的学生在抽烟。
[4]前提 1:所有的女学生都是学生。
　前提 2:不到六分之五的学生在抽烟。
　结论:不到六分之五的女学生在抽烟。

通过以上的论述可以看出,广义量词理论具有强大而简洁的描述自然语言推理的能力,它不仅可以清晰地表示自然语言中无处不在的广义量词的普遍语义特征及其数学推理性质,而且可以解释或判断传统三段论以外的大量广义三段论推理的有效性。对广义量词理论进行深入研究可以推动计算机的知识表示和知识推理等方面的研究。

参考文献:

[1] 张晓君,林胜强. 如何利用广义量词的语义性质判断扩展三段论的有效性[J]. 逻辑学研究,2013(2):42－56.
[2] 张晓君. 广义量词的各种单调性之间的关系[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版),2012(5):47－52.
[3] 张晓君,黄朝阳. 广义量词的单调性与其三种否定量词的单调性之间的关系[J]. 安徽师范大学学报(人文社科版),2012(6):673－678.
[4] Peters S, Westerståhl D. *Quantifiers in Language and Logic* [M]. Dxford: Claredon Press, 2006.
[5] Chow Ka Fat. Inferential Patterns of Generalized Quantifiers and their Applications to Scalar Reasoning [D]. Ph. D. dissertation, Hong Kong Polytechnic University, 2012.
[6] 张晓君,郝一江. 广义量词的单调性与数字三角形[J]. 重庆理工大学学报(社科版),2010(3):18－24.
[7] 张晓君. 扩展三段论的可化归性与广义量词的语义性质之间的关系[J]. 逻辑学研究,2012(2):63－74.
[8] 张晓君,黄朝阳. 基于广义量词理论的亚氏三段论的研究[J]. 重庆理工大学学报(社会科学版),2012(10):7－11.

(责任校对　莫秀珍)