

面向英语时间的形式语义学

张文彦 北京大学哲学系

拿事件的关系来解释语言中的时间现象，

一、动词的语义解释----事件之间的关系

关于动词语义的解释，目前在形式语义学领域还没有定论。传统逻辑的做法是把动词解释成 n 元关系谓词。后来 Davidson 在 1967 年给出一种新的解释：认为动词指示 denote 的是事件和事件论元之间的关系。前面我们已经介绍过了。我要做的是在 Davidson 的理论下对动词的部分意义给出形式的解释。

既然动词指示的是事件之间的关系。那么我们就从事件之间有哪些关系入手。直觉上，事件之间的关系有很多种，有些是以事件内部的论元决定的关系，例如：转折关系，叙述关系，隐喻关系等等；有些是以事件为整体考虑的事件之间的关系，如：因果关系，先后关系等。其中最简单的事件关系应该是时序上的先后关系。我们就从事件的时序关系为出发点。

和事件之间的**时序关系**直接对应的动词的语义是哪一部分呢？大多数人都会认可时态这个答案，具体地说是时 tense,体 aspect,相 phase 三部分。不同的自然语言表达这三部分语义的方式有所不同，甚至有些语言可能缺少某种时态的表达。但这不影响我们对动词形式语义的研究。甚至可以说，在完成了对事件之间的所有时序关系的明确形式表示之后，这些形式结果还可以拿来指导个别语言现象的解释。

二、事件之间的关系之一----时序关系

谈到时序关系，免不了要谈时间。关于时间的概念主要有两种：牛顿的时空观和霍金的时空观。牛顿认为时间的间隔是绝对的，霍金则认为**时间**是人们认识宇宙的一个角度，**不可能脱离事件单独存在**。也就是说，霍金认为时间是由事件决定的。我认同霍金的观点。如果没有了事件，也就无所谓时间。所谓天地间一片混沌，不就是没有时间也没有空间的阶段吗？

自然语言表达事件时间的方式大体有两种：

A 有明确公认时间点的表达。

如：2014 年 12 月 20 日北京没有下雪。

常项：昨天、去年、一会儿、yesterday、last month、……

B 若干个事件相互比较的表达（最少是两个事件相互比较）。

如：小明起床比小刚起床晚，但比小鹏起床早，和小花同时起床。

老师讲课的时候李磊进来了。

稍后我们会看到,明确时间点其实也可以转换成某个事件来表达。

首先我们来看英语中表达时序关系的方法：

英语时态：

时 / 态	一般	进行 (Ing)	完成 (hv)	完成进行 (hvIng)
现在 N	1 一般现在时	5 现在进行时	9 现在完成时	13 现在完成进行时
过去 P	2 一般过去时	6 过去进行时	10 过去完成时	14 过去完成进行时

将来 F 3 一般将来时 7 将来进行时 11 将来完成时 15 将来完成进行时

过去将来 4 一般过去将来时 8 过去将来进行时 12 过去将来完成时 16 过去将来完成进行时

例 1: Apple is sweet.

例 2: John was left.

例 3: Joey will do it tomorrow.

例 4: He said they would arrange a party.

例 5: King is running.

例 6: King was running at 5 p.m yesterday.

例 7: King will be running at tomorrow morning.

例 8: He would pay the rest as he would be leaving France.

例 9: He has left the city.

例 10: She had arrived at the village before 8 o'clock last night.

例 11: You will have reached Shanghai by this time tomorrow.

例 12: I thought you'd have left by this time.

例 13: We have been waiting for you for half an hour.

例 14: He had been writing the letter till two o'clock.

例 15: I shall have been working here in this factory for twenty years by the end of the year.

例 16: He told me that by the end of the year he would have been living there for thirty years.

1 时间介词: before, after, during,……

例 17: Sam left before Judy came.

例 18: After breakfast Amy took a taxi to the station.

例 19: Sandstorms are common during the Saudi Arabian winter.

2 时间状语: when, since, until,……

例 20: When did you get married?

例 21: She had a sort of breakdown some years ago, and since then she has been very shy.

例 22: I waited until it got dark.

我们的目标就是建立一个时间模型，能够表达上述自然语言涉及的时间现象。

三、以时间点为单位的时态逻辑的不足

但两个以上事件之间时间关系命题的表达在时态逻辑下就无法体现出足够的语义细节。因此也无法体现出语义上的部分蕴含关系。

如：小明起床比小刚起床晚，但比小鹏起床早，和小花同时起床。

老师讲课的时候李磊进来了。

例：老师讲课的时候小明走了进来。

⇒ 小明走进来的时候老师讲课还没结束。

小明走进来之前老师开始了讲课。

四、以事件所对应时长为基本单位的时间逻辑

很多时候，一个事件所对应的时长并不是一个或若干个时间点的集合，而是一个时间区间。因此我们需要建立一个以事件所对应的时长为单位的模型。并且给出一个描述这个模型的形式语言。

1 形式语言 \mathcal{L}_{TA}

语言 \mathcal{L}_{TA} 定义如下:

命题变元, 联结词 (\neg , \rightarrow);

时间常项: N (现在)

时间语境标记: $[\]$

时态算子

tense 算子: P (过去), F (将来), $-$ (空, 现在, 默认), 及其组合, 记作 T 。

aspect 算子: Ing (进行), Hv (完成), $-$ (空, 一般, 默认), 及其组合, 记作 A 。

时态组合: $Hv-Ing$, $Ps-Hv$, $Ft-Ing$, \dots

时态词 C :

时、态及其组合都是时态词。

时间逻辑命题公式集 \mathcal{L}_{TA} $\alpha ::= p \mid A p \mid \neg \alpha \mid (\alpha \rightarrow \beta) \mid T \alpha \mid [\mu \beta] \alpha \mid N$, 其中 p 是命题变元, $T \alpha = \{P \alpha, F \alpha\}$, $A p = \{Ing p, Hv p, Hv-Ing p\}$

当说到一个涉及时态的命题的真值时, 需要确定的是在哪个可能世界的哪个时间参照下为真。鉴于我们认为时间是由事件决定的, 所以也可以表示为在哪个可能世界的哪个事件(参照)下为真。

最基本的命题解释是

$S = \langle \mathcal{E}, B, E, < \rangle$, \mathcal{E} 是非空集, 称为事件域。 \mathcal{E} 中的元素记作 e 。

B, E 是 \mathcal{E} 上的部分函数 ($B, E: \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}$), 满足: $BB(e) = B(e)$; $EB(e) = B(e)$; $BE(e) = E(e)$, $EE(e) = E(e)$ 。直观来看, $B(e)$ 表示事件 e 的开始; $E(e)$ 表示事件 e 的结束。事件的开始和结束也看作事件。

$M \models p'$ 表示 “ p' 在 M 上为真。”

$M \models \neg p'$ 表示 “ p' 在 M 上不为真。”

$M \models p' \rightarrow q'$ 表示 “ p' 在 M 上不为真, 或者 q' 在 M 上为真”。

上述解释和传统逻辑的做法一致。

需要解释的是在时间逻辑中命题是有不同类型的。一种是和时间无关的命题, 或者可以称为永恒命题, 通常是表示状态或某些静态认知的; 一种是和时间有关的命题, 也就是大多数包含动词的命题。上述做法适用于表达和时间无关的命题, 记作 p' 。

表示和时间有关的命题, 记作 p 。

$M \models p$ 表示 “存在 $e \in \mathcal{E}$, $p^M = e$ 。”

$M \models P(\alpha, e)$ 表示 “ $p^M = e'$, 且 $e < e'$ 。”

$M \models F(\alpha, e)$ 表示 “ $p^M = e'$, 且 $e' < e$ 。” 通常情况下, 如果 e 没有特别说明, 则 $e = !$, 即当下说话的时间。

传统时态逻辑之所以会采取 $M \models Pa$ 的表达方式是因为它默认 “现在” 这个时间为参照点, 语言使用中还会存在大量不以 “现在” 而是采用别的事件所对应的时间作为参照点的做法。Reichenbach 认为对于事件时间、说话时间和参照时间在时轴上的相对位置有两种观察方法, 一种是以说话时间 (通常是 “现在”) 为基点, 确定它和参照时间的相对位置, 称作初级时制; 一种是以事件时间为基点, 确定它同参照时间的相对位置, 称作次级时制。传统的语法时假定说话时间和参照时间同时, 从而得到简单现在时和简单过去时以及简单将来时。(龚千炎, 《汉语的时相、时制、时态》1995, 北京商务印书馆)。但如果想要表达英语时态的复合情况, 则需要对过去, 将来有一个适用范围更广的表达。上述表达方式就是希望能把初级时制和次级时制统一起来, 不论参照时间和说话时间是否同一, 都可以实现精确表

示。

特殊的二元谓词/时间语境词: Before, After, When, During, Since, Until, ……; 记作 μ
事件影响算子: C

公式例

$p, \neg p, p \rightarrow \neg q,$

$\text{Ing } p, \text{Hv } p, \text{Hv-Ing } p,$

$\text{Ft}\alpha, \text{Ps}\alpha, \text{N}\alpha,$

$\text{Ft-Ps}\alpha, \text{Ps-Ft}\alpha,$

$\text{Ft-Ing } p, \text{Ft-Hv } p, \text{Ft-Hv-Ing } p,$

$\text{Pt-Ing } p, \text{Pt-Hv } p, \text{Pt-Hv-Ing } p,$

$[\text{Wn}p] \alpha, [\text{Af}p] \alpha, [\text{Bf}p] \alpha, [\text{Dr}p] \alpha, \text{Wn-when, Af-after, Bf-before, Dr-during.}$

$[\text{Wn-Pt } p] \alpha, [\text{Af-Ft } p] \alpha, [\text{Bf}p] \alpha, [\text{Dr}p] \alpha, \alpha,$

两类算子的运算规则:

$\text{AA}_1p := \text{Ap} \wedge \text{A}_1p$

$\text{TT}_1\alpha := \text{T}(\text{T}_1\alpha)$

$\text{TA}p := \text{T}(\text{Ap})$

需要注意的是 tense 算子和 aspect 算子后面所约束的公式有所不同, **tense 算子约束的是普通公式, aspect 算子则只能约束命题变元**, 因此 tense 算子的组合如 $\text{PF}(\alpha)$ 可以看成 $\text{P}(\text{F}\alpha)$, aspect 算子的组合如 $\text{Hv-Ing}(p)$ 必须看成 $\text{Hv}(p) \wedge \text{Ing}(p)$, tense 算子和 aspect 算子的组合如 $\text{Ps-Hv}(p)$ 则看作 $\text{Ps}(\text{Hv}(p))$, 因为 $\text{Hv}(p)$ 也是 α 。

2 语义基础

由于时间逻辑采取时间是由事件决定的观点, 因此时间逻辑的语义模型和事件模型密切相关。首先给定事件域模型 S。

事件域模型 $S = \langle \mathcal{E}, B, E, < \rangle$:

\mathcal{E} 是非空集, 称为**事件域**。 \mathcal{E} 中的元素记作 e。

B, E 是 \mathcal{E} 上的部分函数 ($B, E: \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}$), 满足: $\text{BB}(e)=B(e)$; $\text{EB}(e)=B(e)$; $\text{BE}(e)=E(e)$, $\text{EE}(e)=E(e)$ 。直观来看, B(e)表示事件 e 的开始; E(e)表示事件 e 的结束。**事件的开始和结束也看作事件。**

不同类型的事件要求的 aspect 也不相同, 因此需要给出不同类型事件的定义。

定义: e 是 \mathcal{E} 中的任意的**事件**, 则:

e 是**普通事件**, 如果 B(e), E(e) 都存在, 且 $B(e) \neq E(e)$;

e 是**准事件**, 如果仅有 B(e) 或 E(e) 其中之一存在。

e 是**瞬间事件**, 当且仅当, $B(e)=E(e)$;

e 是**广义事件**, 如果 B(e) 或 E(e) 都不存在。

由以上定义可以得出如下结论: 对任意的**事件 e**, B(e) 和 E(e) 都是**瞬时事件**。

有了事件模型做基础, 就可以定义出时间逻辑需要的时间关系。

事件域的投影

$\langle \mathcal{E}, B, E, \tau \rangle$, $\langle \mathcal{E}, B, E \rangle$ 是事件域, τ 是从 \mathcal{E} 出发的投影函数。

对任意的 $e \in \mathcal{E}$, $\tau(e) = e$, 称为事件 e 的 τ -投影。

τ 满足条件: $B(e)$ 和 $E(e)$ 的投影记作 $B(e)$, $E(e)$, 即 $\tau(B(e)) = B(e)$ 和 $\tau(E(e)) = E(e)$ 。对任意的普通事件 e 而言, $\tau(B(e)) \leq \tau(E(e))$ 。

时间轴:

令 $\mathcal{T}_{\mathcal{E}} = \{\tau(e) : e \in \mathcal{E}\}$, 称为由 \mathcal{E} 和 τ 决定的时间轴。

不同类型的事件 τ -投影的结果不同。普通事件的投影结果是一条**线段**; 准事件的投影结果是一条射线; 瞬时事件的投影结果是一个点; 广义事件是特殊的事件, 可以看作其投影结果是整个时间轴。也就是说广义事件是和时间无关的事件。

时间结构 $\langle \mathcal{T}_{\mathcal{E}}, \leq \rangle$ (直观上, \leq 是**瞬间事件**的顺序关系)

对任意的 $\langle \mathcal{E}, B, E, \tau \rangle$, $\langle \mathcal{T}_{\mathcal{E}}, \leq \rangle$ 是由 $\langle \mathcal{E}, B, E, \tau \rangle$ 决定的时间结构。

\leq 满足: 自返性, 传递性。

$\langle \mathcal{T}_{\mathcal{E}}, \leq \rangle$ 可以是偏序、线序或其他形状的结构。

任意的**普通事件** e, e' 的 τ -投影 e 和 e' , 是两个任意的线段。它们有**四种关系**¹: 用 $\langle e \rangle$ 形象表示线段)

先后关系, $e | e'$: $\langle e \rangle \langle e' \rangle$; $Ee < Be'$;

衔接关系, $e \downarrow e'$: $\langle e \rangle \langle e' \rangle$; $Ee = Be'$;

包括关系, $e \subseteq e'$: $\langle e \rangle \langle e' \rangle$; $Be' \leq Be$, $Ee \leq Ee'$

顺序相交², $e \cap e'$: $\langle e \rangle \langle e' \rangle$; $Be \leq Be'$, $Ee \leq Ee'$;

可以由顺序相交定义相交关系: $e \cap e'$: $e \cap e'$ 或者 $e' \cap e$ 。

定义 (事件域模型或投影模型上满足或真)

1 一般现在时是没有 **tense** 也没有 **aspect** 的命题, 即普通一阶逻辑命题, 不需要特殊表示。

当我们说一个命题的真值时, 总要谈论该命题在哪个模型上的哪个时间区间上为真。首先需要确定的是表达 (这个命题的) 事件对应的的时间区间, 或者是作为该命题所对应事件的参照事件的对应时间区间。这样才能讨论真值。很多时候表达事件和参照事件是同一事件, 但也有时候二者不是同一事件, 例: He left. 和 He left before Mary was born.

最基本的应该是

$\mathcal{M} \models Bp :: \exists e (e = Be', p^M = e')$ 。 B 是一个函数, 它给每一个 p 所对应的事件 p 指派一个事件 φ , φ 对应的是时间点。

$\mathcal{M} \models Ep :: \exists e (e = Ee', p^M = e')$ 。

$\mathcal{M} \models p :: \exists e \in \mathcal{E}, p^M = e$ 。

$\mathcal{M} \models \neg \alpha :: \forall e \in \mathcal{E}, \alpha^M \neq e$ 。

$\mathcal{M} \models (\alpha \wedge \beta) :: \mathcal{M} \models \alpha$ 且 $\mathcal{M} \models \beta$ 。

$\mathcal{M} \models (\alpha \rightarrow \beta)$,

2 $\mathcal{M} \models Ps(\alpha, e) :: e' | e$, 其中 $\alpha^M = e'$ 。如果 $e = !$ 则是 $\mathcal{M} \models Ps(\alpha, !)$ 。

3 $\mathcal{M} \models Ft(\alpha, e) :: e | e'$, 其中 $\alpha^M = e'$ 。

4 $\mathcal{M} \models Ps(Ft(\alpha, e), e') \Leftrightarrow \mathcal{M} \models Ps(Ft(\alpha, e), e')$

¹理论上两个事件之间应该还有无法比较时间状态的情况, 即两个事件之间没有关系。但语言使用中不会讨论没有关系的两个事件, 因此这里也不讨论没有关系的情况。

²称之为顺序相交是因为这个相交不满足交换率, A 交 B 不等于 B 交 A 。

$$\Leftrightarrow \text{Ps}(e|e''), e', \text{ 其中 } \alpha^M = e''$$

$$\Leftrightarrow \text{Ps}(e|e''), e', \text{ 其中 } \alpha^M = e''$$

$$\Leftrightarrow (e|e'')|e', \text{ 其中 } \alpha^M = e'', \text{ Ft } (\alpha, e)^M = e|e''.$$

如果 $e' = !$ 则 $\mathcal{M} \models \text{Ps-Ft } \alpha \Leftrightarrow (e|e'')|!, \text{ 其中 } \alpha^M = e''.$

原则上还应有一般将来过去时,只是英语中没有.

$$\mathcal{M} \models \text{Ft}(\text{Ps}(\alpha, e), e') \Leftrightarrow e'|e''|e, \text{ 其中 } \alpha^M = e'', \text{ Ft } (\alpha, e)^M = e|e''.$$

$$5 \quad \mathcal{M} \models \text{Ing}(p, e) :: (\text{Be}' < \text{Ee} \text{ 且 } \text{Ee} < \text{Be}', \text{ 其中 } p^M = e').$$

$$6 \quad \mathcal{M} \models \text{Ps}(\text{Ing}(p, e), e')$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{M} \models \text{Ps}(e \mathbb{E} e'', e'), \text{ 其中 } p^M = e''.$$

$$\Leftrightarrow e' \subseteq e''|e', \text{ 其中 } p^M = e''.$$

$$7 \quad \mathcal{M} \models \text{Ft}(\text{Ing } p, e), e') \Leftrightarrow e'|e \subseteq e'', \text{ 其中 } p^M = e''.$$

$$8 \quad \mathcal{M} \models \text{Ps}(\text{Ft}(\text{Ing } p, e), e'), e'') \Leftrightarrow \mathcal{M} \models \text{Ps}(e'|e \subseteq e''', e''), \text{ 其中 } p^M = e'''.$$

$$\Leftrightarrow (e'|e \subseteq e''')|e''), \text{ 其中 } p^M = e'''.$$

$$9 \quad \mathcal{M} \models \text{Hv}(p, e) :: \text{B}(p^M) < e \text{ 且影响还在}.$$

$$10 \quad \mathcal{M} \models \text{Ps}(\text{Hv}(p, e), e') \Leftrightarrow \text{B}(p^M) < e < e' \text{ 且影响还在}$$

11 -16 类似。

英语常用若干语境词的语义解释：语境词的作用其实是明确参照事件和主事件的时序位置，或者说语境词是给定参照事件的工具。和时态的表示方式不同的是，时态处理优先于语境词，也就是说，先处理 α 中的时态部分，然后 α 作为一个整体再处理和 β 的顺序关系。这样来看，语境词更像公式之间的二元关系词。

$$\mathcal{M} \models [\text{Wn } \beta] \alpha :: @\beta^M: \beta^M \cap \alpha^M^3$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{M}, \beta^M \models \alpha.$$

$$\mathcal{M} \models [\text{Af } \beta] \alpha :: @\beta^M: \beta^M | \alpha^M$$

$$\mathcal{M} \models [\text{Bf } \beta] \alpha :: @\beta^M: \alpha^M | \beta^M$$

$$\mathcal{M} \models [\text{Dr } \beta] \alpha, :: @\beta^M: \alpha^M \subseteq \beta^M$$

³ “ $\mathcal{M} \models [\text{Wn } \beta] \alpha :: @\beta^M: \beta^M \cap \alpha^M$ ”是说：

如果 $\mathcal{M} \models \beta^M$ ，则 $\mathcal{M} \models [\text{Wn } \beta] \alpha :: \beta^M \cap \alpha^M$ ；否则， $\mathcal{M} \models [\text{Wn } \beta] \alpha$ 无定义。

其他类似。

$M \models [\text{Sin } \beta] \alpha, :: @\beta^M: \beta^M \dagger \alpha^M$ (同: α 之后就 β)

$M \models [\text{Unt } \beta] \alpha, :: @\beta^M: \alpha^M \dagger \beta^M$ (同: α 直到 β)

.....

直观上, $@\beta^M$ 是用 β 描述的参照点。描述参照点的句子成立/是整句有意义的先决条件 (也就是预设)。

一般模式: $M \models [\mu\beta] \alpha :: @\beta^M: f(\beta^M, \alpha^M)$

这是说: 如果 $M \models \beta^M$, 则 $M \models [\text{Wn } \beta] \alpha :: \beta^M \cap \alpha^M$; 否则, $M \models [\text{Wn } \beta] \alpha$ 无定义。

对于语境词的准确形式刻画仅有时间逻辑是不够的。前文提到认知语言学认为 Tense 涉及三个时间参数: 1, 事件的时序/时位(就是先后); 2, 事件的时间参照点(客观标准); 3, 当前事件和参照事件的相对距离。时态逻辑目前还没能表达出事件之间的相对距离, 这也是日后努力的一个方向。

3 时间逻辑的公理

形式定义:

1 对任意的事件 e, e_1, e_2 , 若 $e \subseteq e_1, e_1 \subseteq e_2$, 则 $e \subseteq e_2$ 。其中, \subseteq 的定义如下: $Be \leq Be_1$

且 $Ee_1 \leq Ee$ 。

2 对任意事件 e, e_1, e_2 , 若 $e < e_1, e_1 < e_2$, 则 $e < e_2$ 。

3 任意事件 e , 有且仅有一个 Be 和 Ee 。换个更形式的说法. For any e , if $Be = e_1$, and $Be = e_2$, then $e_1 = e_2$.

Vendler 对几类动词时间模式 time schemata 的解释如下, 并且他认为如果我们找到的时间模式是对的, 那么它就应该能够解释任意的同类动词。

For **activities**: "A was running at time t" means that time instant/时间瞬间 t is on a time stretch/时间段 throughout which A was running.

即: A was running at time t这句话在时间瞬间/点t上为真, 当且仅当t属于一个时间段I, 并且在I上的所有点A was running 都为真。

For **accomplishments**: "A was drawing a circle at t" means that t is on the time stretch in which A drew that circle.

即: A was drawing a circle at t这句话在时间点t上为真, 当且仅当t属于一个时间段I, 并且在I上A drew a circle为真。

For **achievements**: "A won a race between t1 and t2" means that the time instant at which A won that race is between t1 and t2.

即: A won a race between t1 and t2这句话为真, 当且仅当存在一个时间点t, A won that race 在t上为真, 且 $t \in [t_1, t_2]$.

For **states**: "A loved B from t1 to t2" means that at any instant between t1 and t2 A loved B.

即：A loved B from t1 to t2这句话为真，当且仅当对任意 $t \in [t_1, t_2]$ ，A loved B在t上都为真。

也就是说 Vendler 认为只有表示 accomplishment 的一般现在时动词句在时间段上为真，（Partee 则认为只有一般现在时的句子在时间段上为真，）剩下的所有时态的句子都只能在时间点上为真。我不同意这个说法。

举例：英文

我昨天一直在做作业。

小李上班的时间我都在玩游戏。

上课铃响时，李明在睡觉，下课铃响时，李明还在睡觉。

我写作业的功夫妈妈把饭做好了。

这些饱含非一般现在时的句子都需要时间段来解释才更合理。

前面提到一般现在时在自然语言实际应用中的情况。一般现在时在应用中有如下几种用法：

1 表状态。例：人有两只手。

2 表习惯。例：李四抽烟。