3F-2

定量値を考慮した時間推論

友納正裕
日本電気（株） C＆C情報研究所

1．はじめに

計画作成においては、動作の順序関係や[Allen83]の時間述語で記述されるような定性的な時間関係だけでなく、「何時までに・・・をして」というような具体的な時刻や時間を考慮した定量的な時間関係がしばしば問題になる。たとえば、次のような例題を考えてみる。

「東京から大阪まで出かける。午後１時まで東京で用事があり、午後３時までに大阪に到着したい。」

ここで、交通機関として新幹線、飛行機、自動車などが考えられる。移動時間は、新幹線で３時間、飛行機で１時間とする。自動車は速度を調節でき、移動時間が可変のため、最高速度を２００Ｋｍ／時として与えておく。東京－大阪間の距離は５００Ｋｍとする。

このような条件においては、飛行機以外の交通機関では午後３時に大阪に到着できないので、飛行機を使用すべきであり、また、遅くとも午後２時には東京を出発すべきことがわかる。このようなことは[Allen83]にあるような定性的な時間関係だけから導くことはできない。

このような定量的な情報は、状況の理解にも有用である。この例題では、飛行機を使ったことが推測できるし、仮に、新幹線を使って計画通りに行なったという発言があれば、それが虚偽であることがわかる。

本稿では、上記のような定量的な値を考慮した時間推論を支援するシステムについて論ずる。

2．定量的時間推論モデル

2．1 事象とウィンドウ

物事の状態や動作をまとめて事象（event）と呼ぶことにする。簡単のため、事象は、それ以上分解できない原子的（atomic）なものとして議論を進める。事象は開始時刻、終了時刻、継続時間をもち、事象の成立する時間帯はこれら３つで表現される。

定量的な時間推論を行なうために、時刻や時間などに対して、その値の範囲を管理するためのウィンドウという概念を導入する[Vere83]。ウィンドウは、少なくとも下限値と上限値から構成される。ウィンドウwを次のように表わす。

w = [w_min, w_max]

w_minはウィンドウwの下限値、w_maxは上限値を意味する。

事象の開始時刻、終了時刻、継続時間それぞれにウィンドウを対応させることにより、事象の成立する時間帯を可変なものとして柔軟に管理することができる。これらのウィンドウの間には、次節で述べる制約関係がある。

2．2 制約

事象の開始時刻、終了時刻、継続時間は互いに独立ではなく、事象内部あるいは他の事象から種々の制約を受ける。その制約の種類として大きく２種類考えられる。

（１）ウィンドウ演算

まず、事象の内部だけで考えると、前述の①式の関係が成り立つ。

終了時刻＝開始時刻＋継続時間 ①

この関係は単なる加法ではなく、次のような制約条件として展開される（<=は一種の代入を表わす）。

終了時刻 <= 開始時刻＋継続時間
開始時刻 <= 終了時刻－継続時間 ②
継続時間 <= 終了時刻－開始時刻

②式は、右辺のある変数が変化すれば、左辺の変数にその影響が伝搬することを意味している。

動作の継続時間は、処理速度などから制約をうけることがある。動作の処理速度、継続時間、処理量の間に次の関係がある。

処理量＝処理速度＊継続時間 ③

この関係も単なる乗法ではなく、①式と同様に値の変化が伝搬する制約条件として与えられる。

①式や③式を計算するには、まずウィンドウに関する演算を定義する必要がある。四則演算は、[simmons86]の区間演算と同様に定義される。たとえば、加法は、

w1(+)w2 = [(w1_min + w2_min),(w1_max + w2_max)]

となる。(+)はウィンドウの加法を表わす。一般に、実数を引数とする関数ｆを流用してウィンドウ演算Ｆを定義する場合は、次のようになる。

F(w1,w2) = [F_min(w1,w2), F_max(w1,w2)]
F_min(w1,w2) = min{f(x,y) | x∈w1, y∈w2}
F_max(w1,w2) = max{f(x,y) | x∈w1, y∈w2}

F_min(w1,w2)、F_max(w1,w2)はウィンドウw1,w2を定義域として得られる関数ｆの最小値と最大値を意味している。

さて、これらの演算を用いて、②式のようなウィンドウの制約条件 w1 <= F(w2,w3)を次のように定義する。

w1_min1 = max{w1_min , F_min(w2, w3)}
w1_max1 = min{w1_max , F_max(w2, w3)}

w1_min1、w1_max1はw1_min、w1_maxの更新後の値である。これにより、w1の範囲は、元のw1の範囲とF(w2,w3)の範囲のどちらも満たすように狭められる。

Quantitative Temporal Reasoning
Masahiro Tomono
NEC Corporation C&C Info. Tech. Res. Labs.

（2）時間的前後関係

事象の開始時刻や終了時刻は、他の事象との時間関係によって制約されることがある。たとえば、東京で午後1時まで用事があるので、「東京にいる」状態の終了時刻は早くても午後1時であり、そのため、「東京から大阪に移動する」動作の開始時刻は午後1時以降に制約される。

このような時間関係は、時刻の大小関係に帰着される。上の例では、「東京にいる」状態の終了時刻が、「東京から大阪に移動する」動作の開始時刻より小さければよい。このためには、ウィンドウに関する大小関係が必要になる。

ウィンドウの大小関係（w1 ≧ w2）を次のように定義する。ただし、左辺のw1_min1などは更新後の値である。

```
w1_min1 = max{w1_min , w2_min}
w1_max1 = w1_max
w2_min1 = w2_min
w2_max1 = min{w1_max , w2_max}
```

この一例を図1に示す。たとえば、ウィンドウw1を移動動作の開始時刻、ウィンドウw2を「東京にいる」状態の終了時刻と考えるとよい。大小関係の制約により、w1ではAの部分が、w2ではBの部分が圧縮される。これは、Aの中のどの値に対しても、それより小さな値をw2から取ることができず、また、Bの中のどの値に対しても、それより大きな値をw1から取ることができないためである。

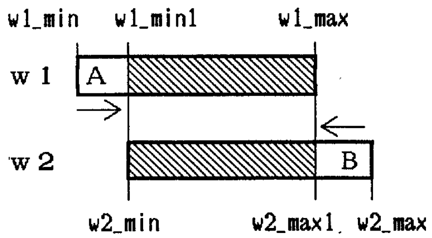

図1　大小関係による制約の一例

2．3　制約条件の適用

定量的な時間推論は、事象間の時間関係や処理速度などの制約をウィンドウ間の制約条件として表現して、その制約条件にしたがってウィンドウの幅を徐々に狭めていくことにより、時刻や時間の実現可能な範囲を求めていくことにより行なわれる。

その様子を、第1章の例題を用いて説明する。制約関係のネットワークを図2に示す。事象として、東京にいる状態、移動動作、大阪にいる状態があり、移動速度と距離も考慮されている。STは開始時刻、FTは終了時刻、Dは継続時間を意味する。このネットワーク上で制約伝搬を行い、各ウィンドウの範囲を求めていく。

まず、初期値として次の値が与えられる。

```
東京にいる：FT1=[1, ?]（早くとも1時まで）
移動　　　：ST2=[?, ?], FT2=[?, ?]
　　　　　　D2 =[1, ?]（飛行機が一番速い）
大阪にいる：ST3=[?, 3]（遅くとも3時まで）
距離　　　：[500, 500]
速度　　　：[0, ?]
```

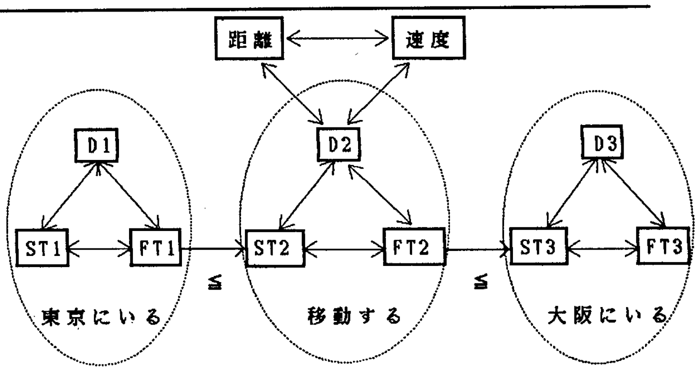

図2　制約ネットワーク

？は未定値を意味する。ここで、ネットワーク上で制約伝搬を行なうと、

```
FT1=[1, 2]
ST2=[1, 2], FT2=[2, 3], D2=[1, 2]
ST3=[2, 3]
速度=[250, 500]
```

が得られる。ここで、継続時間D2=[1, 2]から、新幹線では間に合わないことがわかり、また、速度=[250, 500]から自動車でも間に合わないことがわかる。

3．関連研究との比較

定量的な時刻や時間を考慮するものとして、ＤＥＶＩＳＥＲ[Vere83]やＲｉｔのモデル[Rit86]がある。

ＤＥＶＩＳＥＲでは、ウィンドウとして扱われているのは開始時刻だけであり、継続時間はウィンドウではない。Ｒｉｔのモデルでは、継続時間もウィンドウとして扱われているが、速度や距離などの時間以外の変数をウィンドウとして扱う枠組みは提供されていない。

本システムの特徴は、ウィンドウを一般化して、時間に限らず、一般的な数式関係を制約条件として扱える点である。これにより、速度、距離、コストなどの制約条件も推論に利用することができる。

4．まとめ

値の範囲を扱うウィンドウの概念を一般化して、時間だけでなく、速度などの他の制約条件を含めた定量的時間推論について述べた。このような推論は、計画作成の支援や、アリバイ崩しのような状況の理解に有用である。また、[Allen83]のような定性的な時間推論と結合して、相補的に利用することができる。

参考文献

[Allen83] J.F.Allen,"Maintaining knowledge about temporal intervals",Communications of ACM,Vol.26, No.11,Nov. 1983.

[Vere83] S.A.Vere,"Planning in Time",IEEE Trans.on Pattern Analysis and Machine Intelligence,Vol.PAMI-5,No.3,pp.246-267,May 1983.

[Rit86]J.F.Rit,"Propagating temporal constraints for scheduling",AAAI-86,pp.383-388,1986.

[Simmons86] R.Simmons, "Commonsense Arithmetic Reasoning",AAAI-86,pp.118-124,1986.