距離、速度を考慮した移動の記述 *

1C-3

佐藤 光弘　　中川 裕志
*横浜国立大学　工学部

1 はじめに

時空間中の物体などの移動を記述したり、常識的な推論を行なおうとする時、距離や速度の情報を考慮することはかなり重要であると思われる。本稿ではこれらの情報を記述する一つの方法を提案し、距離、速度、時間がどのような相関関係を持つかについて考察する。

2 時空間中の状態の記述法

定式化を行なうにあたり、時空位置を扱いやすい状況理論[1]のフォーマットを用いる。時空間中の状態を記述するための事態は基本的に次の形をとるものとする。

$$\langle\langle\, at\langle p,t\rangle : R, a, b, c, \ldots ; i \,\rangle\rangle$$

ここで、p,t はそれぞれ空間ロケーション、時間ロケーションを表し、R は引数 $(a,b,c,\ldots)$ 間の関係、i は極性を表す。この事態は「地点 p で時間 t に、R という関係が $a,b,c,\ldots$ の間に成り立つ(あるいは成り立たない)」ということを表している。簡単のために、以下では特に明記しない限り極性は 1(すなわち真) であるとし、極性を省略して記述する。

3 移動の基礎概念

「ある場所から他の場所へ移動した」ということを記述する場合、より動的にするためには移動の途中の状態を記述する必要がある。そこで、“移動途中のロケーション”を次のように記述することにする。

$$p \mid \langle\langle\, on\_the\_track, \dot{p}, p_1, p_2 \,\rangle\rangle$$

on_the_track という関係は、p が p_1 と p_2 とを結ぶ軌道上にある、ということを表している。簡単のために、上記の関係で表されるロケーション p を、p_{p1-p2} と記述することにする。すなわち、

$$p_{p1-p2} \equiv_{Df} p \mid \langle\langle\, on\_the\_track, \dot{p}, p_1, p_2 \,\rangle\rangle$$

また、移動の時に“常に一方向に向かって移動している”ことを記述するために次のような事態を考える。

$$\langle\langle\, at\langle p,t\rangle : direct\_to, a, p' \,\rangle\rangle$$

これは、「ある個体 a が、地点 p' へ向かって移動しようとしている」ことを表している。この *direct_to* という関係を先ほどの“移動途中のロケーション”上で定義してやることにより、一方向性の移動が記述できる。

また移動の概念を厳密にするため、物体が同じ時間に2箇所以上の地点に存在することはないとし、以下で扱う移動の記述は全てこの考えに基づくものとする。

以上より、物体のある地点から別の地点への移動は次のような状況のタイプとして記述される。

$$\begin{aligned}[E_m \mid \dot{E}_m \models\ & \langle\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : there\_is, \dot{a} \,\rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle\, at\langle \dot{p}_{p1-p2}, \dot{t}\rangle : (\langle\langle\, there\_is, \dot{a} \,\rangle\rangle \wedge \\ & \qquad \langle\langle\, direct\_to, \dot{a}, \dot{p}_2 \,\rangle\rangle) \,\rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle\, at\langle \dot{p}_2, \dot{t}_2\rangle : there\_is, \dot{a} \,\rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle\, \prec, \dot{t}_1, \dot{t}_2 \,\rangle\rangle]\end{aligned}$$

ここで、記号 $\prec$ は時間の前後関係を表している。すなわち上の例の場合、「$\dot{t}_1$ は $\dot{t}_2$ より先行する時間である」ということになる。また“移動途中のロケーション”における時間ロケーションは、必ず移動前の時間ロケーションと移動後の時間ロケーションの間に存在する。すなわち、暗黙に次の制約が成り立つものとし、移動途中のロケーションにおける時間 $\dot{t}$ の前後関係については明記しない。

$$\langle\langle\, \Rightarrow, E_m, [E_t \mid \dot{E}_t \models \langle\langle\, \prec, \dot{t}_1, \dot{t} \,\rangle\rangle \wedge \langle\langle\, \prec, \dot{t}, \dot{t}_2 \,\rangle\rangle] \,\rangle\rangle$$

4 距離、速度の定義

1. 距離

一般的に、距離とは絶対的な概念である。すなわち、ある地点から別の地点までの距離というのは恒久的に変化しないものである。しかしながら我々人間は、ある地点までの距離を、他の地点との比較から単純に“近いか遠いか”で認識しているのではないかと考えられる。そこで、距離情報を次のような事態によって記述する。

$$\langle\langle\, at\langle p,t\rangle : nearer, p_1, p_2 \,\rangle\rangle$$

ここでいう *nearer* という関係は、厳密には次のように定義される。

$$\begin{aligned}\langle\langle\ \Rightarrow,\ & \\ & [E_1 \mid \dot{E}_1 \models \langle\langle\, at\langle \dot{p}, \dot{t}\rangle : nearer, \dot{p}_1, \dot{p}_2 \,\rangle\rangle], \\ & [E_2 \mid \dot{E}_2 \models \langle\langle\, shorter, \\ & \qquad \dot{d} \mid \langle\langle\, distance, \dot{p}, \dot{p}_1, \dot{d} \,\rangle\rangle \\ & \qquad \dot{d}' \mid \langle\langle\, distance, \dot{p}, \dot{p}_2, \dot{d}' \,\rangle\rangle \ \rangle\rangle] \ \rangle\rangle\end{aligned}$$

---

*An representation of movement considering about distance and speed
Mitsuhiro SATO, Hiroshi NAKAGAWA
Fuculty of Engineering, Yokohama National University

ここで関係 *distance* によって導かれる距離 d 自体は絶対的なものであり、対象となる空間 (地点) に依存して決まる。しかしながら本稿では、距離をあくまでも相対的なものとして扱う。

2. 速度

速度は、物理的には (移動した距離／移動にかかった時間) で定義される。しかしながら、我々の速度に対する概念はもっと抽象的なものであると思われる。例えば、「歩くより走った方が速い」という常識は、“走る”という関係が“歩く”という関係より速い“速度”を持っている、という知識から推論される。そこで本稿では、速度をこのような移動の状態を表す関係が持っている成分であると仮定する。すなわち、次のような関数によって抽出される成分を速度とする。

$$v = speed(walking)$$

これを用いて、速度は次のような事態によって記述される。

$$\langle\!\langle\, at\langle p_{p1-p2}, \dot{t}\rangle : moving, a, v \,\rangle\!\rangle$$

上述の事態は、「個体 a が速度 v で移動している」ということを表している。ここで、速度は先に述べた“移動途中のロケーション”でのみ定義されるとし、また、その間の速度は変わらないものとする。

また、速度リレーション間の大小関係 (どちらが速いか) を表すリレーションを次のように記述する。

$$\langle\!\langle\, faster, v, v' \,\rangle\!\rangle$$

5 距離、速度と時間の相関関係

次に、状況理論における制約を用いて距離、速度、時間の関係がどのように記述されるかについて考える。

1. 等距離への移動における速度と時間の関係

$$\begin{aligned}
\langle\!\langle\ \ \Rightarrow,\\
&[E_{v1} \mid \dot{E}_{v1} \models \langle\!\langle\, faster,\\
&\quad \dot{v} \mid \dot{E}_{m1} \models \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_{p1-p2}, \dot{t}\rangle : (\langle\!\langle\, there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, direct_to, \dot{a}, \dot{p}_2 \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, moving, \dot{a}, \dot{v} \,\rangle\!\rangle) \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_2, \dot{t}_2\rangle : there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle,\\
&\quad \dot{v}' \mid \dot{E}_{m2} \models \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_{p1-p2}, \dot{t}'\rangle : (\langle\!\langle\, there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, direct_to, \dot{b}, \dot{p}_2 \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, moving, \dot{b}, \dot{v}' \,\rangle\!\rangle) \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_2, \dot{t}_3\rangle : there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle \quad \rangle\!\rangle],\\
&[E_{t1} \mid \dot{E}_{t1} \models \langle\!\langle\, \prec, \dot{t}_1, \dot{t}_2 \,\rangle\!\rangle \wedge \langle\!\langle\, \prec, \dot{t}_2, \dot{t}_3 \,\rangle\!\rangle] \quad \rangle\!\rangle
\end{aligned}$$

2. 等速度の移動における距離と時間の関係

$$\begin{aligned}
\langle\!\langle\ \ \Rightarrow,\\
&[E_{v2} \mid \dot{E}_{v2} \models \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : (\langle\!\langle\, there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, nearer, \dot{p}_2, \dot{p}_3 \,\rangle\!\rangle) \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_{p1-p2}, \dot{t}\rangle : (\langle\!\langle\, there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, direct_to, \dot{a}, \dot{p}_2 \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, moving, \dot{a}, \dot{v} \,\rangle\!\rangle) \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_2, \dot{t}_2\rangle : \langle\!\langle\, there_is, \dot{a} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_{p1-p3}, \dot{t}'\rangle : (\langle\!\langle\, there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, direct_to, \dot{b}, \dot{p}_3 \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad\qquad \langle\!\langle\, moving, \dot{b}, \dot{v} \,\rangle\!\rangle) \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_3, \dot{t}_3\rangle : there_is, \dot{b} \,\rangle\!\rangle],\\
&[E_{t1} \mid \dot{E}_{t2} \models \langle\!\langle\, \prec, \dot{t}_1, \dot{t}_2 \,\rangle\!\rangle \wedge \langle\!\langle\, \prec, \dot{t}_2, \dot{t}_3 \,\rangle\!\rangle] \quad \rangle\!\rangle
\end{aligned}$$

3. 距離に関する推移則

$$\begin{aligned}
\langle\!\langle\ \ \Rightarrow,\\
&[E_{S1} \mid \dot{E}_{S1} \models \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : nearer, \dot{p}_2, \dot{p}_3 \,\rangle\!\rangle \wedge\\
&\qquad \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : nearer, \dot{p}_3, \dot{p}_4 \,\rangle\!\rangle],\\
&[E_{S2} \mid \dot{E}_{S2} \models \langle\!\langle\, at\langle \dot{p}_1, \dot{t}_1\rangle : nearer, \dot{p}_2, \dot{p}_4 \,\rangle\!\rangle] \quad \rangle\!\rangle
\end{aligned}$$

3 の制約は距離に関する推移則である。同様にして速度に関する推移則も記述できる。

1 の制約は「速度が速い方が時間がかからない」という常識を、また 2 の制約は「距離の近い方が時間がかからない」という常識を記述したものである。これらの制約は、速度、あるいは距離の比較から時間の前後関係を導くものであるが、これとは逆に、時間の前後関係から距離の近さ、あるいは速度の大きさの関係を導くような制約を記述することも可能である。

6 おわりに

本稿では物体の移動と、それに付随する距離、速度の記述、およびこれらの時間との相関関係について述べた。今後はこのような考え方の様々な推論 — 例えば「同じ目的地へ、違う道順、同じ速度で移動する場合、どちらが速く着くか?」など — への応用を検討していく予定である。本稿で述べた定式化は抽象的な時空間を対象にしており、これを実際の時空間へ対応させるにはまだ様々な問題点を抱えている。これらの問題点を解決し、推論メカニズムを考えていくのが今後の課題となる。

[参考文献]

[1] Barwise,J and Perry,J : “*Situations and Atitudes*”, MIT Press (1983)

[2] 佐藤、中川 : “状況理論による時空間の表現”, 情報処理学会第 38 回全国大会 3F–6