4K-6

Ambient Calculus の時間拡張とそれに基づく物流監視システム

村山 静香† 樋口 昌宏‡

近畿大学 理工学部 情報学科

1 はじめに

ambient calculus は動的に変化するオブジェクトの階層関係の記述に適した形式モデルであり，我々はこれに基づく物流監視システムの検討を行っている [1]．しかしながら，ambient calculus は実時間を記述するための仕組を備えていないため，荷物の積み込みや移動に一定の時間を要する等の時間制約を含む物流の記述には不十分である．そこで本報告では時間拡張した ambient calculus の構文規則と遷移規則を定め，その記述例，ならびに物流監視システムの構築について述べる．

2 時間付 ambient calculus

2.1 ambient calculus

ambient とは階層構造を持ち，互いに出入りが可能な「境界を持った場」であり，ambient calculus はその振る舞いを記述するために導入されたプロセス代数である．ambient(名前 [プロセス式] で表す) の振る舞いは以下の遷移規則により特徴づけられる．

$n[in\ m.P \mid Q] \mid m[R] \rightarrow m[n[P \mid Q] \mid R]$

$m[n[out\ m.P \mid Q] \mid R] \rightarrow n[P \mid Q] \mid m[R]]$

$open\ n.P \mid n[Q] \rightarrow P \mid Q$

それぞれ，$n[]$ が in ケーパビリティを消費して $m[]$ の中に入る遷移，$n[]$ が out ケーパビリティを消費して $m[]$ から出る遷移，$open$ ケーパビリティを消費して $n[]$ を消滅させる遷移を表している．

2.2 時間拡張

以下では $t \in \{1, 2, \ldots\}$, $t' \in \{1, 2, \ldots\} \cup \{\infty\}$ とする．時間拡張のために通常の ambient calculus のケーパビリティ (in, out, $open$) に加えて，有効期限付き ($in(t')$, $out(t')$, $open(t')$) および待機 ($wait(t)$) ケーパビリティを導入する．

通常の ambient calculus における遷移関係を「→」で表し，$P \rightarrow Q$ なる Q を持たない式 P を安定な式と呼ぶ．安定な式のみに適用できる，有効期限付きケーパビリティに関する遷移関係「⇒」，時間経過による遷移関係「$\underset{T}{\Rightarrow}$」を以下のように定める ($in$ についての遷移のみ示すが，out, $open$ についても同様の遷移を持つ)．

$n[in(t')\ m.P \mid Q] \mid m[R] \Rightarrow m[n[P \mid Q] \mid R]$

$in\ m.P \underset{T}{\Rightarrow} in\ m.P$

$in(t)\ m.P \underset{T}{\Rightarrow} in(t-1)\ m.P \quad (t \geq 2)$

$in(1)\ m.P \underset{T}{\Rightarrow} 0$

$in(\infty)\ m.P \underset{T}{\Rightarrow} in(\infty)\ m.P$

$wait(t).P \underset{T}{\Rightarrow} wait(t-1).P \quad (t \geq 2)$

$wait(1).P \underset{T}{\Rightarrow} P \quad (t \geq 2)$

$P \underset{T}{\Rightarrow} P'$ かつ $Q \underset{T}{\Rightarrow} Q'$ ならば $P \mid Q \underset{T}{\Rightarrow} P' \mid Q'$

$P \underset{T}{\Rightarrow} P'$ ならば $n[P] \underset{T}{\Rightarrow} n[P']$

4 番目の遷移規則の「0」は inactivity プロセスであり，有効期限の切れたケーパビリティ とそれに引き続く部分プロセス式 P が無効化されることを表している．

以上の定義により，例えば $n[wait(5).in(3)\ m]$ により，ambient n が 5〜8 単位時間の間に m に入ることができることを表現できる．また，「⇒」および「$\underset{T}{\Rightarrow}$」が安定な式のみに適用できるという条件は，通常のケーパビリティによる遷移が有効期限付きケーパビリティによる遷移に優先し，実行可能なものは瞬時的に実行しなければならないことを表している．

3 時間付 ambient calculus による物流の記述

3.1 物理 ambient と制御用 ambient

物流に現れるトラック，コンテナなどを (物理)ambient として表現することで物流システムを記述できる．それらの移動を制御するため制御用 ambient を用いる [1]．時間付き ambient calculus では，実際のモノの移動を伴う物理 ambient 間の遷移は有効期限付きケーパビリティを用いて記述する．一方，制御情報の移動のみを表す制御用 ambient の関連する遷移は瞬時的に実行されるべきものなので通常のケーパビリティを用いて記述する．

3.2 タイムアウトの記述

時間に依存した振舞いを記述するにはタイムアウトが表現できる必要があるとされる．例えばπ計算の時間拡張 [2] では「+」演算子 (排他的な選択) を用いてタイムア

On Timed Ambient Calculus and its Apllication to Logistics Management Systems

† Shizuka Murayama: School of Science and Engineering, Kinki University

‡ Masahiro Higuchi: School of Science and Engineering, Kinki University

Copyright ©2011 Information Processing Society of Japan. All Rights Reserved.

ウトが表現できるとしている．ambient calculus は「+」を持たないが，制御用 ambient を用いることで以下のような形でタイムアウトが表現できる．

$n[in(t)\ m.open\ notYet.P\ |$
$\quad wait(t).open\ notYet.Q \mid notYet[0]]$

この式は n が t 単位時間以内に $in\ m$ を実行すると，

$\Rightarrow n[open\ notYet.P\ |$
$\quad wait(k).open\ notYet.Q \mid notYet[0]] \quad (k \geq 1)$
$\rightarrow n[P \mid wait(k).open\ notYet.Q \mid 0]$

と遷移し，その後「$\underset{T}{\Rightarrow}$」により $wait(t)$ が消費されても，既に $notYet[]$ が消滅しているため引き続く $open\ notYet$ 実行できないので，$open\ notYet.Q$ は式中には残るものの以降の遷移には影響を与えず，以降 n は P として振る舞う．一方，t 単位時間以内に $in\ m$ を実行しない場合，

$\underset{T}{\Rightarrow}^{t} n[0 \mid open\ notYet.Q \mid notYet[0]] \rightarrow n[0 \mid Q \mid 0]$

と遷移し，以降 n は Q として振る舞う．結局 n は t 単位時間以内に $in\ m$ を実行すると，その後 P として振る舞い，実行しない (タイムアウトする) と Q として振る舞う．このような表現では式が煩雑化してしまうが，上記の式を $n[in(t)\ m.(P \text{ timeout } Q)]$ と記述するような略記法を導入することで記述を簡潔化できる．また

$n[in(t)\ m.(P \text{ timeout } in\ m.P)]$

のような形で，t 時間以内に必ず実行しなければいけない遷移を表すこともできる．

3.3 記述例

定められた時間内に作業を完了させないと不都合が生じるシステムの例として，陸上競技においてランナーがトラックを周回している間に，スタート時にランナーが使用したスタートブロックを作業員が撤去するシステムを記述した．その際，ランナーが周回に要する時間の下限，作業員がスタートブロックの撤去に要する時間の下限と上限を定め，タイムアウト表現を用いることでランナーと作業員が同時にスタートゴールゾーンを表す ambient に存在することが無いようなプロセス式を記述することができた．この記述では物理 ambient7 つ，制御用 ambient3 つ，および非常事態の発生を表す特別な ambient を用いた．非常事態を表す ambient は作業員が作業時間の上限までに作業を終了しない場合に，システムに異常を知らせるために導入したものである．

4 物流監視システムの構築

時間付き ambient calculus による物流記述をもとに，(i) 物流監視システムは現時点の物流の状況と，以降の物流計画を表現するプロセス式を保持し，(ii) 各物理 ambient に IC タグを装着し，他の物理 ambient が出入りしうる物理 ambient にタグリーダを装着し物理 ambient の移動を検知することにより，物流が記述に従って実行されているかどうかを監視するシステムが構築できる．監視システムはプロセス式の遷移を実行する機構を備え，以下の処理を実行すればよい．

(1) 単位時間の経過の度に，保持しているプロセス式の「$\underset{T}{\Rightarrow}$」遷移を行い，その結果実行可能になる通常のケーパビリティがあれば，安定な式が得られるまで「$\rightarrow$」遷移を実行する
(2) 物理 ambeint の移動を検知すると保持しているプロセス式で，その移動に対応した「$\Rightarrow$」遷移が実行可能かどうかを確認し，実行可能であればその遷移を実行し，さらに安定な式が得られるまで新たに実行可能になった「$\rightarrow$」遷移を実行する．実行可能でない場合は然るべき警告を発する．
(3) 保持している式で非常事態を表す ambient が活性化した (先行するケーパビリティを持たない) 場合然るべき警告を発する．

このような処理系は文献 [1] で作成した物流検査システムを拡張することで実現可能である．

また，現時点で，どういう動作が許可されているかを信号機のような形で表示したり，許可されていない動作を遮断機のような装置を用いて阻害することで，記述に沿ったモノの流れを誘導するようなシステムの構築も可能であると考えられる．

5 おわりに

本稿では時間付 ambient calculus の構文と遷移規則を定義し，タイムアウトが表現できること，ならびにこれを用いて時間に依存した動作を含む物流の記述が自然に行えることを示した．また，記述をもとにした物流監視システムの構築について議論した．

謝辞 本研究は科研費 (22500040) の助成を受けたものである．

参考文献

[1] 森本他: Ambient Calculus を用いた物流検査システム, 情処論, Vol.48, No.SIG10(PRO33), pp.151–164 (2007-06).
[2] 桑原他: 時間付きπ計算によるリアルタイムオブジェクト指向言語の形式的記述，情処論, Vol.45, No.6, pp.1498–1507 (2004-06).

Copyright ©2011 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.