システムソフトウェアと
オペレーティング・システム　64－28
マルチメディア通信と分散処理　65－28
（１９９４．　５．　２０）

ＬＯＴＯＳの時間拡張に関する研究と その標準化動向について

中野　宣政、　渡辺　尚、　水野　忠則

静岡大学工学部

現行ＬＯＴＯＳの時間拡張として、ＪＴＣ１／ＳＣ２１よりこのほど発行された、ワーキングドラフトに関しその内容を紹介し、また、過去に発表のあった拡張案より、異なるポリシーに基づく主張を合わせて紹介するとともに、それに対する筆者等の見解を示す。論点としては、基本的にイベントか、プロセスか、いずれに時間属性を与えるか、その与え方が問題となること、また、時間付与に基づく必然として、平行プロセスにおけるインターリービングの可能性に関する規定をどうとるかが問題となる。いずれに関しても、本ワーキングドラフトの選択とその論理は、種々のポリシーの一つの選択の結果にすぎないと言えるが、筆者等の目指すタイムクリティカル通信に関する仕様記述に必要な特性を有していると判断する。

Survey of the Research works regarding Time enhancement for LOTOS and Introduction of its International Standardization activity

Nobumasa Nakano, Takashi Watanabe, Tadanori Mizuno

Shizuoka University

In this paper, the contents of JTC1/SC21 Working Draft for Time enhanced LOTOS is introduced relating to other papers which select and apply the different key ideas based on the different policies for Time enhancement of LOTOS, and also our opinions for these selection are described together.

The points of argument are, first, to what object(it means whether to Event, or to Process ,or to both) to endow the time characteristics, and second , the method how to endow it. And the next important argument regarding Time enhancement of LOTOS is the selection of the prescription for Interleaving of parallel process.

It is true that this Working Draft is based on the choices for those selections mentioned above and describes prescriptions and deduced definitions based on these choices of the Policy, however, in our opinion these methods and characteristics derived from this paper are adequate for the definition and description of TCCA (Time Critical Architecture) and systems especially for the systems and the architecture relating to Factory Automation arena.

１．はじめに

近来、産業界における、マルチベンダー、分散処理システム対応ＯＳＩベースネットワークへのリアルタイム機能、性能の付与の要求が高まり、今後、それら（および一般マルチメディア通信へのサービスもふくめて）通信プロバイダーとアプリケーション間インターフェースの在り方、プロバイダーへのリアルタイム機能実現のための、メカニズムの提案、議論が始まるが、それら議論、提案に使用されるであろう形式記述技法においても性能記述を可能とすること、特に時間概念の記述を可能とすることが求められている。

過去のＬＯＴＯＳの時間拡張の議論は、未だその種々の論点が集約されたとは言えないようであり、また、昨年末発行されたＪＴＣ１のＬＯＴＯＳ拡張に関するワーキングドラフト[1]も、一つの立場から書かれた論文[2]そのものが寄書となっている。従って、今後のＪＴＣ１における本ＬＯＴＯＳ時間拡張作業に関し、その成り行きは予断を許さないが、本稿ではＦＡ用ＬＡＮのタイムクリティカル仕様記述の視点から、前記ＪＴＣ１ワーキングドラフトを中心に、その他ＬＯＴＯＳ時間拡張に関する論文から、その論点を探りその主張に関し検討する。

２．ＬＯＴＯＳの時間拡張に関する論点について

今まで前記ＳＣ２１対応ワーキングドラフトを含め、ＬＯＴＯＳに関し種々の拡張案が提案されて来た。拡張の検討そのものは、従来のＬＯＴＯＳシンタックス、セマンティックスへの時間の付与に関し、論理構造として考えられる多くの組み合わせから、ある特定のセットの切り出しをおこなうことを意味する。従って論理面の追求だけではなく、それを提案する側の選択ポリシーに依存するところが大きい。表　１．に、ＬＯＴＯＳ時間拡張に関するその拡張ポリシーとそのの内容について典型的なものを示し、その論点を説明する。

（１）時間データの付与の対象

基本的には、時間データをＬＯＴＯＳの抽象データタイプの一つとするのであるが、イベント、プロセスの属性としてのその与えかたがポリシーにより異なる。

多数派としては、イベント、すなわちアクションプリフィックスの生起する時間を確定的に規定するもの、またはその時間領域のみを決定的に与え、実際の生起時間はその時間内で非決定的に生起させるものである。小数派として、イベントの実行時間を有限とし、その時間値を属性とするもの、または、イベントが発生してから所定のプロセス開始するまでのディレー時間を規定するもの、プロセスの処理時間を有限としその経過時間を規定するもの、がある。

これは前者（多数派）はＬＯＴＯＳの基本的なイベント、プロセスに関する基本概念をできるだけ保存し、現行ＬＯＴＯＳの理論、環境を最大限適用しようとするのに対し、後者は、実態ベースで、イベント、プロセスの実行時間を有限とする、プラクティカルなポリシーを採用していると言える。

（２）インターリービングに関する規定

平行プロセス間のインターリービングに関して、イベントに時間を付与することから、現行ＬＯＴＯＳの非決定性が失われ、生起順に関する制限が生じるのは当然であるが、また相互の生起可能組合わせに対する規定が必要となり、その選択をめぐり、現行のイベントの生起に関する無規定に対し生起条件を満足したら即生起を義務づけるＡＳＡＰ(As Soon As Possible)ルールが提唱されている。

また同じＡＳＡＰルールにおいても、すべてのタイミングに関する生起可能性をみる”ｍａｙ”タイミングと、前後関係により、後のイベントの生起条件として、前のイベントの生起を必要条件とする”ｍｕｓｔ”タイミング、の選択がある[3]。更には、生起順の可能性に関し、外部環境の意志に

左右される外部イベントに関しては正確にインターリービングが規定できないとし、内部イベントに関してのみ前記ＡＳＡＰルールを適用するとするポリシーもある。（この場合、外部イベントの生起順の解析は、ｈｉｄｅにより内部イベント化することによりその可能性を検討するか、または内部イベントとの組み合わせ表現により等価的にその可能性の検討をおこなう）

表　１．ＬＯＴＯＳの時間拡張に関するポリシーとその内容

拡張　ｐｏｌｉｃｙ	採用論文／略称	ISO/IEC JTC 1/SC 21 N 8023（ＬＯＴＯＳ－Ｔ）での選択
action p. への時間属性付与 deterministic non-deterministic （時間幅で生起）	拡張案の大勢である。 LOTOS-T(JTC1)等で採用 TIC, LOTOS-T(阪大)[4] およびEXT-LOTOS等で採用	同左 同左 choiceへのgurd構文で対応
（上記以外） プロセス実行時間への時間付与 action実行時間として時間付与	 ET-LOTOS[5]で採用 STOC. LOTOS[7]で採用	 採用せず 採用せず
discrete Time によるaction （時間の離散値としての表現） dense Timeによるaction	 LOTOS/T、ET-LOTOS LOTOS-T	Time domainを利用者が任意のデータ・ソートとして選択する (descrete, dense両使用可)
ASAP action prefix （インターリービングの規定）	"ｍａｙ"タイミングを主張 "ｍｕｓｔ"タイミングを主張 その他（右記など）	内部アクション対応のＡＳＡＰルールを適用 action prefix の hide による内部action置き換え分析を主張
Time dead lockの存在	ET-LOTOS (stop状態で時間停止する)	時間は永続的 (stop状態でも時間は経過) 各プロセスはIndependent Evollutionで動作
action 生起確率の指定	STOC. LOTOS (probabilistic choice) LOTOS-T(?)	JTC1のベースとなった論文ではふくまれているとしているがJTC1　版では削除されている
時間測定用プリミティブ	$t=X_0$等の一階述語記述(LOTOS/T) g@t　(ET-LOTOS)	なし 変数choice文でその応用として対処
内部action への時間付与 禁止 付与	 阪大LOTOS/T JTC1 LOTOS-T	ＡＳＡＰを適用する対象として基本的である。
その他 Guard Expression での 1'st order predicate 時間記述	 阪大LOTOS/T	一般的ＬＯＴＯＳセマンティクスの範囲で可能

３．ＬＯＴＯＳ－Ｔ（ＩＳＯ／ＪＴＣ１／ＳＣ２１　Ｎ８０２３）について

３．１．ＬＯＴＯＳ－Ｔのシンタックス、セマンティックス

以下の２つの時間に関シンタックス、セマンティックスをスタンダードＬＯＴＯＳに追加している。

表記	ＬＯＴＯＳにおける意味	ＬＯＴＯＳ－Ｔにおける意味
ａ；Ｂ	アクション”ａ”が起きてプロセスは”Ｂ”として振る舞う。”ａ”が生起する時間は不定	アクション”ａ”はＡＳＡＰ（できるだけ早く）に生起すること。”ａ”の生起後プロセスは”Ｂ”として振る舞う。”ａ”の生起を環境がブロックしても時間は経過する。
ｅｘｉｔ	プロセスの正常完了が生起する。但し、いつ生起するかは不定。	プロセスの正常完了はＡＳＡＰに生起すること。
ａ｛ｔ｝；Ｂ	—	アクション”ａ”は時間ｔが経過した時点でまさにその時生起する。 同時刻に環境が”ａ”の生起をブロックした場合は”ａ”は生起し得ない。但し其の場合でも時間経過はブロックされない
ｅｘｉｔ｛ｔ｝	—	プロセスの正常終了が時間ｔの経過時点に生起する。

３．２．ＬＯＴＯＳ－Ｔにおける時間プロパティーの例（以下に限らない）

LOTOS-Tにおいて、"a{0};B"と、"a;B"は異なる。前者はアクションaは即時発生する必要がある（時間ゼロで）が、後者はａが発生するまでまたされることになる。その意味ではLOTOS-Tにおける後者の意味合いはLOTOSのそれと変わらず、実質的な違いは無い。

時間の概念は、３．１．の２つの拡張、即ちアクションプレフィックスおよび正常プロセス終了においては新たに設けたシンタックス、セマンティクスにより直接的あるが、他の遷移においては、単なる数値（または一般的な変数）として扱われることになる。例えば、下記の例において、

$choice\ t{:}\ nat\ []\ [f(t)]\ ->\ a\{t\};B$

アクションaは、f(t)が真となる条件を満たすtの値で生起することになる。ここではtは単なるnatural numberとしてLOTOSシンタックス、セマンティックス上で扱われ、それ以上の時間としての意味は、アプリケーションとしてつける。以下、定量的な性能仕様記述に必要となる各種プロパティーをLOTOS-Tのアプリケーション上で意味を持たせた例として示す。

●Ｄｅｌａｙｓ

$choice\ \ t{:}\ nat\ []\ [t>5]\ ->\ a\ \{t\}\ ;\ B$

アクションａは、５単位時間経過後生起し、Ｂとして振る舞う。上記述において、ー＞の左では単なるnatとしての扱いであるが、ー＞の右では値が時間としての意味を持つ。

●Ｗａｉｔｓ（Ａｓｙｎｃｈｒｏｎｏｕｓな推移）

$data\_req\ ?\ d : data\ ;\ Data\_transfer\_Phase\ []\ disc\_req\ ;\ Disc\_Phase$

ASAPの特性により外部環境がゲートdata_reqまたはdisc_reqのいずれかを生起させるまで待ち、ゲートdata_reqの場合はdata_transfer_phaseへ、disc_reqの場合はdisc_phaseへと移行する。

●Ｓｙｎｃｈｒｏｎｏｕｓ　な推移

$process\ clock\ [tick] : noexit :=$

$\quad tick\ \{3\}\ ;\ clock\ [tick]$

$endproc$

外部環境より供給されるtickは、process clockにより、３単位時間毎にのみ同期され生起し得る。

●Ｔｉｍｅ－ｏｕｔｓ

$ack\ ;\ send\_next\_msg\ []\ i\ \{5\}\ ;\ retransmission$

ackが生じたらsend_next_msgへ移行する。またackが生じる前に５単位時間経過したらretransmissionへ移行する。

●Ａ　Ｔｉｍｅｒ

$process\ timer\ [start\ ,\ time\_out] : noexit :=$

$\quad start\ ?\ t_0 : nat\ ;\ (time\_out\ \{t_0\}\ ;\ timer\ [start\ ,\ time\_out])$

$\quad\quad []\ timer\ [start\ ,\ time\_out]$

プロセスtimerは、ゲートstartで環境より設定時間をt0に受け、設定時間t0経過で環境よりのtime_outと同期し、次のタイマー設定に備えるか、または設定時間満了以前の再設定を受け付ける。

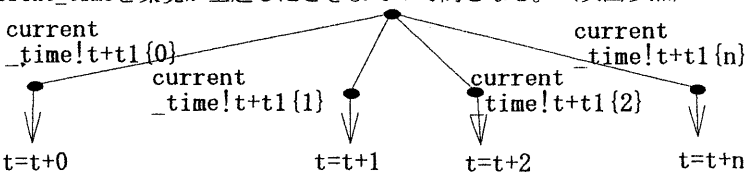
●時間測定

$process\ global\_time\ [current\_time](t{:}\ nat) : noexit :=$

$\quad choice\ t_1 : nat\ []\ current\_time\ !\ t+t_1\ \{t_1\}\ ;\ global\_time\ [current\_time](t+t_1)$

$endproc$

choice t1～により、t1の値は任意のnatをとれる。即ち、{t1}は、{0}, {1}, {2}・・・・{n|n∈nat}・・・・のいずれもある。従って、時間の経過にしたがってゲートcurrent_timeは次々と開き得る。しかしながら、環境がcurrent_timeを生起するまで、生起し得ず、環境がcurrent_timeを生起したときたまたま開いていた{n}すなわちプロセスglobal_timeを呼んでからの計時時間に等しい値nがt1の値となる。この時のt(tはプロセスがインスタンシエートされたときに0にセットされている）の値とt1を加算し、tに代入する。従って、tの値はプロセスがインスタンシエートされてから、current_timeを環境が生起したときまでの時間となる。（次図参照）



3．2．時間ドメイン

LOTOS-Tでは、時間（エレメント）を自然数による指定の他、リアルタイム記述の場合いわゆるdence domainによる指定が可能としている。数値としてはいずれの場合もLOTOS標準データタイプ・ライブラリーのNATURALS/Positive natural Numbersの定義を援用できる。

3．3．遷移ルール

紙面の都合により省略する。

3．4．ＡＳＡＰプロパティー

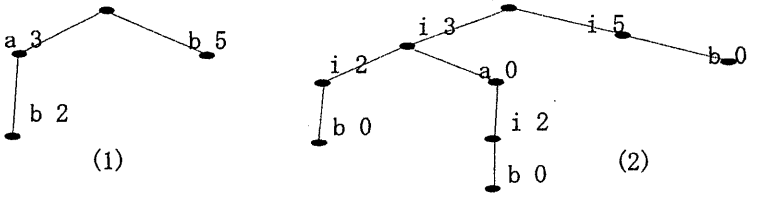
本ワーキングドラフトにおけるＡＳＡＰ規定とは、厳密にはシステムの遷移可能性を外部の意志によらない内部アクションに置き換えて分析することとするものである。

例えば、

$(a\{3\};\ stop)\ |||\ (b\{5\};\ stop)$

遷移ルール（３．３で省略）をあてはめると次図(a)のアクション木で示される振る舞いとなる。右の枝は、時刻3で環境がイベントaを発生できず、時刻5でイベントbを発生したもの、左のアクション枝は、a ,bとも生起したものを示す。次のプロセスは、次図(b)でその挙動が示される。この時、

$(i\{3\};\ a\{0\};\ stop)\ |||\ (i\{5\};\ b\{0\};\ stop)$



i5が生起することによりi3以降が生起し得ないことになる。この場合、ASAPルールでは、時刻が短いi3がまず発生し、i5は発生し得ない、と解釈する。したがって、i3でaが生起し得ればa0が生起し、ついでi2の生起の後、b0が生かされる。i3でaが生起不能であればi2が生起し、b0が生かされる。

ASAPルールによれば、システムの遷移は、各イベントが内部アクションであった場合起こり得る順序で生起する。従って、hideオペレータを仮において分析する。

hide a in (a{3}; *stop*) ||| (b{5}; *stop*)
then, the result should be " i 3, b 2 ". *or*
hide a in (i{3}; a{0}; *stop*) ||| (i{5}; b{0}; *stop*)
then, the result should be "i3, i0, i2, b0".

3．5．仕様等価性の検証

強、弱 bisimulation についてのルールが規定されているが、紙面の都合で省略する。

4．ＴＣＣＡ記述からの評価

ＪＴＣ１拡張ワーキングドラフトの内容は、ＴＣＣＡ関連仕様の記述に必要な特性を有していると思われるが、今後実際の仕様記述に適用し、その記述性、問題点の詳細の検討をおこなう。

5．異なるポリシーについての主張検討

今までに提唱されたＬＯＴＯＳの時間拡張に関する主張内容を紹介し、それに対する筆者等のＦＡ、ＴＣＣＡ仕様記述の観点からの見解を表　3．に示す。

表　3．ＬＯＴＯＳ時間拡張に関するポリシーに関する主張と見解

ポリシー／提唱者	主　張　概　要	ＴＣＣＬ記述対応での筆者の見解
ＬＯＴＯＳの時間拡張に反対[7] BoH93, U. ofKent FORTE' 93. pp469-484	ＬＯＴＯＳに時間拡張を持ち込むことにより、形式仕様記述としてのＬＯＴＯＳの基本的抽象性質が損なわれる。 時間仕様記述にＱＴＬを併用する。	記述対象が何であるかにより一概に言えない。但しセマンティックスが明確であればアプリケーションで記述内容を選択すればよいのではないか。
action prefixへの時間制限付与に反対[5] LeL93, F. N. R. S. FORTE' 93. pp485-500	action prefixは、外部環境にその生起は依存しているから、時間制約を設けることは本来的でない。振るまいに時間概念を入れるべき。	仕様記述の点から言えば、外部環境を含めた振る舞いを記述しているのであって時間制約が仕様そのものであるのではないか。振る舞いに時間概念を入れると、今度は振舞同士の同期をどうするかなどの問題が生じ、プロセス間での新たなシグナルを設けたりする事になる。

6．おわりに

以上、ＪＴＣ１のＬＯＴＯＳ－Ｔ時間拡張案を中心にその拡張内容について、他の主張を合わせて紹介し、また筆者等の見解を述べた。また、本ワーキングドラフトは、ＴＣＣＡ関連仕様記述に必要な特性を有していると判断している。今後はＴＣＣＡ関連仕様の具体例の記述による記述性の評価と問題点の把握をおこなうとともに、そのシミュレーション実行環境の構築をおこなう所存である。

参考文献

[1] ISO/JTC1/SC21 N 8023 Working Draft pp157-179

[2] C. Miguel,A. Fernandez, L.Vidaller, Extending LOTOS Towards Performance Evaluation, FORTE '92 Perticipant's Precedings, pp115-130

[3] J.Quemada et al,TIC:A TIMED CALCULUS FOR LOTOS FDT2,IFIP,1990 Preceding,pp197-198

[4] A.Nakata ,T.Higashino,K.Taniguchi LOTOS enhancement to specify time constraint among non-adjacent actions using 1st-order logic,FORTE '93 Perticipant's Procedings,pp453-467

[5] L. Leonard and G. Leduc An Enhanced Version of Timed LOTOS and its Application to a Case Study,FORTE'93 Proceding,pp485-500

[6] N.Rico and G.v.Bochmann,Performance description and analysys for distributed systems using a variant of LOTOS, 11th International IFIP WG6.1 Symposium on Protocol Specification, Testing, and Verification

[7]H.Bowman, G.S.Blair, L.Blair,A.G.Chetwynd, TIME VERSUS ABSTRACTION IN FORMAL DESCRIPTION, FORTE'93 Proceding,pp469-475