数理解析研究所講究録
902巻 1995年 133-144

Towards a Formal Framework for Multimedia Data and Their Players With QoS

京都大学数理解析研究所 田辺 誠 (Makoto TANABE)
京都大学数理解析研究所 中島 玲二 (Reiji NAKAJIMA) *

要旨

マルチメディア・システムに要求される重要な機能の一つは, 連続データ演奏を与えられたQoSで実現することの可否を, 分析する能力である. 本稿では, マルチメディア・システムを論ずるための形式的な枠組を導入する. まず, 連続データ演奏に必要となる資源を扱うため, 時間区間と実行能力 (計算能力や通信能力など) の二つの次元を持つ構造を概念化する. これを用いて, QoSを満足する連続データ演奏の実現可能性を形式化する. 実現可能性の推論規則を導入することにより, メディア間の同期制御, 演奏の部分共有などの, マルチメディア・システムの種々の性質を論ずることが可能となる.

*{tanabe,reiji}@kurims.kyoto-u.ac.jp

1 はじめに

1.1 マルチメディア・システムとは？

近年の, CPU の高速化やディスクの大容量化などのハードウェア技術の発達は, コンピュータの, マルチメディア・システムとしての利用をうながした [1, 6]. 動画データ, 音声データなどのメディア・データの演奏を, コンピュータによって制御・統合することが可能となったのである.

マルチメディア・システム (以後, システムと呼ぶ) **とは何であるか？**利用者は, システムに連続データの演奏要求を行なう. 演奏要求には, 演奏時間 (duration) の指定やメディア間の同期指定等, 様々な時間的制約が含まれる. 利用者は通常, 演奏データを指定すると同時に, 行なわれる演奏の質についての要求も行なう (QoS の指定). QoS の指定は, システムにさらなる制約を課す. システムは, 課された要求と利用可能な資源 (CPU 能力, ネットワークの帯域幅など) を解析し, 演奏が実現可能であれば適切な資源を確保し, 演奏を実行する. 演奏が実現不可能であれば利用者にその旨を伝え, 要求の変更をうながす.

マルチメディア・システムをリアルタイム・システムの一つに位置付けることは可能であるが, マルチメディア・システムに課せられる時間的制約は, これまでの, 管制塔の飛行機管理, エレベーター制御 [2] などにおける時間的制約とは, 基本的に異なる性質を持つ. それは, 制約の内容が時間的な連続性を持つことである. 例えば, 「動画データの, 15 フレーム毎秒以上の滑らかさを保持したままの 10 秒間の演奏」は, 10 秒間に渡る連続した制約としてのとらえ方が自然である.

では, **マルチメディア・システムにおいて, 何が本質的な問題となるか？**

QoS の保証 QoS を満足する演奏を得ることが, システムの利用者にとっての第一義である. 従って, 連続データの演奏を扱う際には, QoS を利用者に保証することが重要となる.

資源の確保 質の高い演奏を実現するためには, CPU, ネットワークなどの資源を適切に利用することが必要である. 従って, 利用者に QoS を保証するためには資源をあらかじめ確保することが必要となる.

時間区間の構造 上述のように, 連続データの演奏要求は, 時間区間に渡る連続的な制約を生み出す. 従って, データ演奏, 資源等を形式化する際には, それらに時間区間としての構造を与えることが望ましい.

演奏の共有 複数の利用者が, 同一の演奏の共有を要求することがある. このような共有演奏を取り扱うことも, システムには要求される.

1.2 μ-logic の概観

マルチメディア・システムの問題を形式的に論ずるための枠組として, 以下の特徴を持つ μ-logic を導入する.

- 連続データの演奏要求を, 形式的に扱う. これまでにも, 連続データを扱うフォーマル・システムとして, ペトリネットによるシステムがあった [3]. これは, 演奏時間の固定された連続データをペトリネットのノードに, 複合データの並列合成, 逐次合成をノードの合成に, それぞれ対応させるものである. QoS 指定の概念を取り入れたこと, 演奏時間の固定されない連続データを扱うことも可能としたことが, μ-logic の特徴である.

- 演奏に必要となる資源を, 時間区間と実行能力 (計算能力や通信能力) の二つの次元を持つ構造 ("連続資源") として概念化し, その性質の記述に 区間論理 [5] を応用した.
- 利用可能な資源と QoS を満足する連続データ演奏との関係を, "実現可能性" として形式化し, その推論規則も与えた. 特に, 共有演奏の実現可能性について議論ができることが μ-logic の特徴である.

マルチメディア演奏の例を挙げる.

例 1 : **Restricted Blockings[4]** 圧縮動画データ M_2 を演奏する. データ解凍などの演奏準備の間, 静止画 M_1 の表示を行なう.

例 2 : **TV ニュース放映の共有** 中央の放送局が, 全国ニュース N にひきつづき, 地方ニュース N_A を放映する. 地方の放送局は, N を中継放送した後, 地方ニュース N_B を放送する.

2 QoS を満足する連続データ演奏

以下の A_1, A_2 のように, 演奏データとその QoS を指定する記述を, **"演奏記述"(performance description)** と呼ぶ.

A_1	:	静止画像データ M_1 の表示を 32.000 色で行なう. 演奏の持続時間は特に指定しない.
A_2	:	圧縮動画データ M_2 の演奏を 256 色以上で行なう. 演奏時間は短くて 10 秒, 長くて 15 秒とする. また, 毎秒 10 フレーム以上の表示を要求する.

演奏記述を合成するためのオペレータを定義する.

$$\boldsymbol{D} ::= \boldsymbol{A} \mid (\boldsymbol{D}_1 \| \boldsymbol{D}_2) \mid (\boldsymbol{D}_1; \boldsymbol{D}_2) \mid \boldsymbol{D}^{\mu} \mid (\boldsymbol{D}_1 \wedge \boldsymbol{D}_2)$$

ここで, “A” は上例の A_1, A_2 のようなプリミティブな演奏記述, “$(D_1 \| D_2)$” は, 同一の時間区間上での D_1, D_2 双方の実現 (区間同期) を指定する演奏記述, “$(D_1; D_2)$” は, D_1, D_2 双方の隣あった区間上での実現 (逐次実行) を指定する演奏記述, “$(D_1 \wedge D_2)$” は, D_1, D_2 双方の実現を指定する演奏記述である. また, 同一の識別子 μ の付いた複数の演奏記述の出現は, それらが同一の演奏によって実現されることを指定する.

記述例 例 1 の 静止画データ M_1 と動画データ M_2, 例 2 のニュース N, N_A, N_B の演奏記述がそれぞれ A_1, A_2, $Global$, $Local_A$, $Local_B$ で与えられているとする. 例 1 , 例 2 において要求される演奏は, それぞれ演奏記述

“$(\boldsymbol{A}_1; \boldsymbol{A}_2)$”

及び

“$((\boldsymbol{Global}^{\mu}; \boldsymbol{Local}_A) \wedge (\boldsymbol{Global}^{\mu}; \boldsymbol{Local}_B))$”

で表される. ここで識別子 μ は, 二箇所に出現する演奏記述 $Global$ が, 同一のニュース放映によって満たされることを指定する.

3 演奏に必要となる資源 - 連続資源

演奏記述は, 演奏データに加え, 演奏の QoS をも指定する. 従って, 演奏記述を満たすためには, 一定の時間区間に渡って, 適切なコンピューティング資源, ネットワーク資源などを確保することが必要となる. ある時間区間に渡って, 計算能力や通信能力などを連続的に提

供する資源を, 連続データに対応して **“連続資源”** あるいは **“プロセッサ”(processor)** と呼ぶ.

演奏記述の実現に必要となるプロセッサは, **“プロッセッサ記述” (processor description)** を用いて記述する. プロセッサ記述は多くのオペレータを持つため, 各々の定義を記すことはしない. 図1を参照されたい.

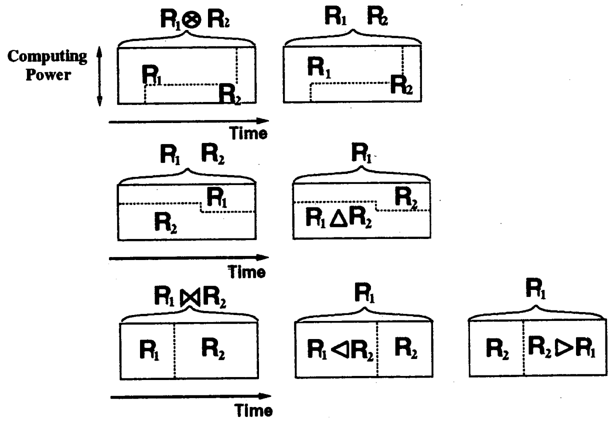

図 1: プロセッサ記述

プロセッサ記述の例として, A_1, A_2 の実現に必要であり, かつ, A_1, A_2 と同一区間に存在するプロセッサの記述を考える. “同一区間である” ことは, 4節の “演奏の実現可能性” を取り扱う上で重要である.

- **A_1 の実現に必要なプロセッサの記述**

  静止画の書き込みに必要なプロセッサの記述を R_1 とする. A_1 の実現にはこのプロセッサのみが必要であるため, 求めるプロセッサ記述は,

  $$(\boldsymbol{R}_1 \bowtie \mathit{True})$$

  となる. ここで “*True*” とは, 任意のプロセッサによって満たされ

るプロセッサ記述である.

- **A_2 の実現に必要なプロセッサの記述**
  動画の解凍と演奏に必要なプロセッサの記述を R_2 とし, 解凍に 10 秒間かかるとする. この時, 求めるプロセッサ記述は,

  $$(Measure_{10} \triangleright \boldsymbol{R}_2)$$

  となる. ここで $Measure_{10}$ とは, 10 秒間の区間幅を持つ任意のプロセッサによって満たされるプロセッサ記述である.

4　演奏の実現可能性と推論規則

演奏記述とプロセッサ記述との関係を, μ-logic では**演奏の実現可能性 (playability)** として以下のように導入する.

$[\boldsymbol{R}]\boldsymbol{D}$	:	R を満たす任意のプロセッサ r を用いて, r と同一の区間上での D の実現が可能.
$\langle \boldsymbol{R} \rangle \boldsymbol{D}$	:	R を満たすあるプロセッサ r を用いて, r と同一の区間上での D の実現が可能.

$$\boldsymbol{P} ::= [\boldsymbol{R}]\boldsymbol{D} \mid \langle \boldsymbol{R} \rangle \boldsymbol{D} \mid \boldsymbol{P}_1 \wedge \boldsymbol{P}_2$$

であり、$P_1 \wedge P_2$ とは, 実現可能性 P_1, P_2 が共に保証されていることを示す.

μ-logic には 実現可能性の推論規則がいくつか用意されている. 例 1 の A_1, A_2 の実現可能性をそれぞれ "$[R_1 \bowtie True]A_1$", "$[Measure_{10} \triangleright R_2]A_2$" とすると, $(A_1; A_2)$ の実現可能性は図 4のように推論される. ここで、プロセッサ記述 $(R_1 \& R_2)$ は, R_1 と R_2 の双方を満たすプロセッサを記述する.

この推論は, 直観的には図 3のようにとらえられる.

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{\overset{\vdots}{[R_1 \bowtie \mathit{True}]A_1} \quad \overset{\vdots\,\pi}{\mathit{Measure}_{10} \to \mathit{True}}}{[R_1 \bowtie \mathit{Measure}_{10}]A_1} \qquad \overset{\vdots}{[\mathit{Measure}_{10} \rhd R_2]A_2}}{[(R_1 \bowtie \mathit{Measure}_{10}) \bowtie (\mathit{Measure}_{10} \rhd R_2)](A_1; A_2)}\,[;]}{[R_1 \bowtie R_2'](A_1; A_2)}$$

ここで, $R_2' \equiv_{defs} (\mathit{Measure}_{10} \bowtie \mathit{True}) \& R_2$

(R_2 を満たし, 10 秒間以上の区間幅を持つプロセッサーの記述)

図 2: $(A_1; A_2)$ の実現可能性

特に, 規則 [;] について説明する.

$$\frac{[R_1]D_1 \quad [R_2]D_2}{[R_1 \bowtie R_2](D_1; D_2)}\,[;]$$

実現可能性 $[R_1]D_1, [R_2]D_2$ が与えられた時, これらを用いて実現可能性
$[R_1 \bowtie R_2](D_1; D_2)$ を保証することが可能である. なぜなら, R_1, R_2 をそれぞれ満たす二つのプロセッサが隣あった区間上に与えられたならば, その各々を用いて D_1, D_2 の実現が可能, すなわち, $(D_1; D_2)$ の実現が可能となるからである.

5 共有演奏

共有演奏の実現可能性を推論するための規則を導入する.

$$\frac{\overset{\vdots}{[R]D} \quad \overset{\vdots\,\pi}{\mathcal{E}(R)}}{[R^{+a}]D^{\mu} \wedge \langle R^{-a} \rangle D^{\mu}}\,[sharing]$$

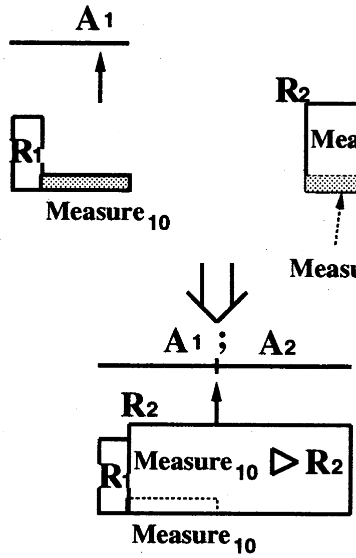

図 3: $(A_1; A_2)$ の実現可能性

(ここで, 識別子 a, μ は, この規則の適用毎に新しいものを用意する. また, $\mathcal{E}(R) \equiv ((R \otimes \mathit{True}) \Uparrow \mathit{True})$ は, R を満たすプロセッサが少なくとも一つは存在することを表す.)

この規則を, 例 2 の実現可能性の推論への適用に即して説明する. 全国ニュースの演奏記述 "*Global*" の実現可能性が "$[Net]Global$" で与えられているとする. ここで, "*Net*" は, ニュースの放映に必要となる (ネットワーク) 資源のプロセッサ記述である. この実現可能性に "$[sharing]$ 規則" を適用することによって, 実現可能性 "$[Net^{+a}]Global^{\mu} \wedge \langle Net^{-a}\rangle Global^{\mu}$" を得る. これは, 次のように説明される.

- 全国局, 地方局がそれぞれ実現可能性 $P_1 \equiv [Net^{+a}]Global^{\mu}$, $P_2 \equiv \langle Net^{-a}\rangle Global^{\mu}$ を得る.
- *Global* の二箇所の出現に付加された識別子 "μ" は, 二つの記述 "*Global*"

が同一のニュース放映によって満たされることを指定する.

- 全国局は, Net を満たす任意のプロセッサによるニュース放映を行なうことが可能であるため, P_1 の様相は "[ ]" となっている. 一方, 地方局は放映の中継を行なうのみであるため, Net を満たすどのプロセッサをニュース放映に用いるかを決定できない. 従って, P_2 の様相は "$\langle\ \rangle$" となる.
- P_1 中の Net に付加された識別子 "$+a$" は, Net を満たすプロセッサを全国局が確保せねばならないことを示す. 一方, P_2 中の Net に付加された識別子 "$-a$" は, Net を満たすプロセッサが全国局によって確保されるため, 地方局にはこれを確保する必要がないことを示す.

6 おわりに

本稿では, マルチメディア・システムを形式的に論じるための枠組として, μ-logic を導入した. 今後の課題を挙げる. まず, 演奏の実行中にマウス操作によって演奏速度を変更するなどの, 動的な演奏を扱うための拡張が考えられる. また, μ-logic は抽象度の高い枠組であるため, 実際のプログラミングのためにはより具体的なモデルが必要となろう. このようなモデルを考察し, μ-logic への対応づけを行なっていきたい. μ-logic の表現力, 整合性などの理論的な考察も今後の課題である.

参考文献

[1] : マルチメディア・ネットワーク QOS の発想が基盤技術を再 構築, *Nikkei Electronics*, No. 583(1993), pp. 39–92.

[2] Hale, R.: Using Temporal Logic for Prototyping: The Design of a Lift Controller, *Temporal Logic in Specification (LNCS 398)*, Altincham,UK, April 1987, pp. 375–408.

[3] Little, T. D. and Ghafoor, A.: Spatio-Temporal Composition of Distributed Multimedia Objects for Value-Added Networks, *COMPUTER*, (1991), pp. 42–50.

[4] Steinmetz, R.: Synchronization Properties in Multimedia Systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 8,No. 3(1990), pp. 401–412.

[5] VENEMA, Y.: A Modal Logic for Chopping Intervals, *Journal of Logic of Computation*, Vol. 1,No. 4(1991).

[6] 船渡大地, 徳田英幸: Real-Time Mach 3.0 における連続メディアサーバの実験 —QOS 制御を取り入れた Quick Time Player の評価, 情報処理学会研究報告 *(IPSJ SIG Notes)*, 7 1993.

Appendix : μ-logic の推論規則

Deduction rules of playabilities are given as follows.

axiom $\quad [R]A$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R]D} \quad \overset{\vdots\ \pi}{\mathcal{E}(R)}}{\langle R\rangle D}\ \langle\rangle$$

where, $\mathcal{E}(R) \equiv_{defs} ((R\otimes \mathit{True})\&\mathit{True})$.

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R_1]D} \quad \overset{\vdots\ \pi}{R_2 \to R_1}}{[R_2]D}\ [\to] \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{\langle R_1\rangle D} \quad \overset{\vdots\ \pi}{R_1 \to R_2}}{\langle R_2\rangle D}\ \langle \to \rangle$$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R]D} \quad \overset{\vdots\ \pi}{\mathcal{E}(R)}}{[R^{+a}]D^{\mu} \wedge \langle R^{-a}\rangle D^{\mu}}\ [sharing] \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{\langle R\rangle D}}{\langle R^{+a}\rangle D^{\mu} \wedge \langle R^{-a}\rangle D^{\mu}}\ \langle sharing\rangle$$

where, identifiers $a \in \Sigma_{\pi}, \mu \in \Sigma_{\delta}$ are selected uniquely

at eachtime of applications of these rules.

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R^{+a}]D} \quad \overset{\vdots\ \pi}{\mathcal{E}(R)}}{[R^{+a}]D^{\mu} \wedge \langle R^{-a}\rangle D^{\mu}}\ [sharing+] \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{\langle R^{+a}\rangle D}}{\langle R^{+a}\rangle D^{\mu} \wedge \langle R^{-a}\rangle D^{\mu}}\ \langle sharing+\rangle$$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{\langle R_1\rangle D_1 \wedge \langle R_2\rangle D_2}}{\langle R_1 \otimes R_2\rangle (D_1 \wedge D_2)}\ \wedge \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{\langle R^{-a}\rangle D}}{\langle R^{-a}\rangle D^{\mu} \wedge \langle R^{-a}\rangle D^{\mu}}\ \langle sharing-\rangle$$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R_1]D_1} \quad \overset{\vdots}{[R_2]D_2}}{[R_1 \Updownarrow R_2](D_1||D_2)}\ [||] \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{[R_1]D_1} \quad \overset{\vdots}{\langle R_2\rangle D_2} \quad \overset{\vdots\ \pi}{R_2 \to (\mathit{True} \bigtriangleup R_1)}}{\langle R_1 \Updownarrow R_2\rangle (D_1||D_2)}\ \langle||\rangle$$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{[R_1]D_1} \quad \overset{\vdots}{[R_2]D_2}}{[R_1 \bowtie R_2](D_1;D_2)}\ [;]$$

$$\dfrac{\overset{\vdots}{\langle R_1\rangle D_1} \quad \overset{\vdots}{[R_2]D_2} \quad \overset{\vdots\ \pi}{R_1 \to (R \triangleleft R_2)}}{\langle R\rangle (D_1;D_2)}\ \langle;] \qquad \dfrac{\overset{\vdots}{[R_1]D_1} \quad \overset{\vdots}{\langle R_2\rangle D_2} \quad \overset{\vdots\ \pi}{R_2 \to (R_1 \triangleright R)}}{\langle R\rangle (D_1;D_2)}\ [;\rangle$$