

## 配送時間を考慮した因果関係を保存するメッセージ配達

6 T - 4

吉本 忠司 多田 知正 樋口 昌宏 藤井 譲

大阪大学大学院基礎工学研究科

### 1 まえがき

リアルタイムアプリケーションでは、メッセージが送信されてから受信されるまでの制限時間  $\Delta$  が設定されている場合があり、そのような場合送信されてから  $\Delta$  時間を超えて受信されたメッセージは捨てられる。

制限時間  $\Delta$  を考慮した  $\Delta$  因果関係を保存するメッセージ配達アルゴリズムが考えられている。各メッセージには  $\Delta$  因果関係を保存するために必要な情報がタグとして付加される。これまで提案されたアルゴリズムとして、配送可能になったメッセージはすべてすぐに配達されるがタグがかなり大きくなるものがある [1]。一方、タグは小さく抑えるがどのメッセージも送信されてから一定時間以上配達されないアルゴリズムが提案されている [2]。

本稿では、最悪時のタグの大きさを抑え、かつ多くのメッセージについて到着から配達までの時間が短縮される、メッセージ配達アルゴリズムを提案する。

### 2 準備

#### 2.1 因果関係

分散システムは  $N$  個のプロセス  $P_1, P_2, \dots, P_N$  からなるとする。各プロセスに対して通信エージェント  $A_1, A_2, \dots, A_N$  が存在し、プロセスは通信エージェントを介して通信する。

**定義 1** 2つのメッセージ  $m_1, m_2$  に対して、因果関係 ( causality )  $m_1 \rightarrow m_2$  が成り立つのは以下の条件のいずれかが成り立つ時、かつその時のみである。

1.  $m_1$  と  $m_2$  の送信元は同じプロセスであり、  
 $m_1$  が送信された後  $m_2$  が送信された。
2. あるプロセス  $P_i$  において、 $m_1$  が受信された後  $m_2$  が送信された。
3.  $m_1 \rightarrow m_3$  かつ  $m_3 \rightarrow m_2$  を満たす  
メッセージ  $m_3$  が存在する。

送信先が同じプロセスである 2 つのメッセージ  $m_1, m_2$  について、 $m_1 \rightarrow m_2$  であり、かつ  $m_2$  が  $m_1$  の前に受信されているとき、 $m_1, m_2$  の間の因果関係が破壊

されているという。どの 2 つのメッセージについても因果関係が破壊されていないとき、因果関係が保存されているという。

メッセージの通信には遅延が生じるために、因果関係が破壊される場合がある。因果関係を保存するためには、メッセージの受信を遅らせる必要がある。図 1 はこの例を示している。 $A_k$  が  $P_k \xrightarrow{} m_3, m_1$  の順に渡すと因果関係が破壊されるため、 $A_k$  は  $m_1$  を  $P_k \xrightarrow{} m_3$  まで  $m_3$  を渡すことを遅らせる。以降では、メッセージ  $m$  の受信プロセスを  $P_i$  とすると、 $A_i$  に  $m$  が届くことを到着するといい、 $A_i$  が  $P_i$  に  $m$  を渡すことを配達するという。

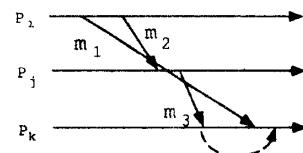


図 1: 因果関係の保存

#### 2.2 $\Delta$ 因果関係

メッセージが受信されるまでの制限時間を  $\Delta$ 、メッセージ  $m$  が送信された時刻を  $SendTime(m)$  とする。 $\Delta$  因果関係は以下で定義される [1]。

**定義 2** 2つのメッセージ  $m_1, m_2$  に対して、 $\Delta$  因果関係 ( $\Delta$ -causality)  $m_1 \xrightarrow{\Delta} m_2$  が成り立つのは以下の条件が共に成り立つ時、かつその時のみである。

1.  $m_1 \rightarrow m_2$
2.  $SendTime(m_1) + \Delta \geq SendTime(m_2)$

因果関係の場合と同様、 $\Delta$  因果関係が保存されているとは、任意の 2 つのメッセージについて、 $\Delta$  因果関係で示される順序と受信順序が同じであることをいう。図 2 は因果関係が破壊されているが、 $\Delta$  因果関係が保存されているメッセージ配達の例を示している。 $SendTime(m_1) + \Delta < SendTime(m_3)$  であるので  $m_1$  と  $m_3$  の間には  $\Delta$  因果関係は成り立たない。したがって、 $m_3$  を到着してすぐプロセス  $P_k$  に配達しても  $\Delta$  因果関係は保存されている。

この例では  $m_1$  は制限時刻を超えており、到着すると捨てられる。

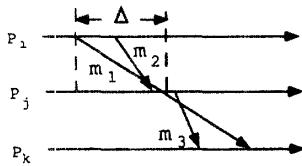


図 2:  $\Delta$  因果関係

### 3 提案アルゴリズム

#### 3.1 アルゴリズムの目的

以下では、制限時間  $\Delta$  を利用することによりタグを小さくすることを考える。メッセージ  $m$  が送信された時刻  $TS(m)$  をタグとして  $m$  に付加し、時刻  $TS(m) + \Delta$  までに到着したメッセージを時刻  $TS(m) + \Delta$  において配達すれば  $\Delta$  因果関係は保存される。この方法を用いると、タグの大きさは  $O(1)$  でよいことがわかる。しかし、到着後すぐに配達しても  $\Delta$  因果関係を破壊しないようなメッセージまでも、配達が時刻  $TS(m) + \Delta$  まで遅らされる。また、 $\Delta$  因果関係を破壊することなく配達出来るようになったメッセージは出来るだけ早く配達されるのが望ましい。このためには、到着したメッセージ毎に、どのメッセージの配達を待って配達されなければならないかを正確に知る必要がある。しかし、これを実現するにはメッセージに最悪時  $O(N^2)$  の大きさのタグを付加しなければならない。

そこで、タグの大きさに上限を定め、多くのメッセージについて到着から配達までの時間を短縮するメッセージ配達アルゴリズムを提案する。

#### 3.2 アルゴリズムの概要

提案アルゴリズムはタグの大きさの上限を決定する定数  $MAX\_CB$  を用いる。ここでは、すべての局所時計が完全に同期している場合についてのアルゴリズムの概略を示す。このアルゴリズムは任意の局所時刻の差が  $\epsilon$  以下であると仮定した場合にも拡張可能である。

メッセージ  $m$  について、送信先が  $P_k$  ( $1 \leq k \leq N$ ) であり  $m' \xrightarrow{\Delta} m$  を満たす  $m'$  の集合を  $CB_m[k]$  と表す。

メッセージ  $m$  には、 $m$  の送信先の  $A_i$  が  $m$  よりも前に  $P_i$  へ配達しなければならないメッセージ、すなわち、 $CB_m[i]$  に含まれるメッセージの送信時刻がタグとして付加される。また、 $P_i$  が  $m$  の受信後  $m'$  を  $P_j$  へ

と送信する場合を考えると、 $m'$  は  $CB_m[j]$  中に含まれるメッセージよりも後に  $P_j$  に配達されなければならなければならないため、 $m$  には  $CB_m[j]$  ( $1 \leq j \leq N$ ,  $j \neq i$ ) に含まれるメッセージの送信時刻もタグとして付加される。

提案アルゴリズムは以下のように動作する。

$P_i$  が  $P_j$  へ  $m$  を送信する時、まず  $m$  を  $A_i$  に渡す。 $A_i$  は  $CB_m[k]$  ( $1 \leq k \leq N$ ) 中のメッセージのうち、送信時刻が新しいものから  $MAX\_CB$  個までのメッセージの送信時刻をタグとして  $m$  に付加し、 $A_j$  へ送る。

$A_j$  は  $m$  が到着すると、 $m$  が制限時刻を超えていたら  $m$  を捨てる。制限時刻までに到着している場合、 $m$  が待たなければならぬメッセージの個数が  $MAX\_CB$  未満、すなわち  $|CB_m[j]| < MAX\_CB$  であるなら、 $CB_m[j]$  中のすべてのメッセージについて既に配達されているか制限時刻を超えたことを確認してから  $m$  を配達する。 $m$  が待たなければならぬメッセージの個数が  $MAX\_CB$  以上、すなわち  $|CB_m[j]| \geq MAX\_CB$  であるなら、 $CB_m[j]$  中でタイムスタンプが最も新しいメッセージ  $m'$  について、 $m'$  の制限時刻まで待って  $m$  を配達する。

すべてのメッセージ  $m$  について、 $\Delta$  因果関係を保存するために受信側の通信エージェントが  $m$  よりも前に配達しなければならないメッセージは、 $m$  の配達の時点では既に配達されているか制限時刻を超えていていることが保証されており、 $\Delta$  因果関係が保存される。

### 4 まとめ

提案アルゴリズムを用いれば  $\Delta$  因果関係は保存され、タグの大きさは最悪時  $O(MAX\_CB \times N)$  である。また、 $\Delta$  因果関係を保存するために待たなければならぬメッセージの個数が  $MAX\_CB$  個未満であるメッセージはすべて、配達出来るようになった時点で配達される。

このアルゴリズムの性能は定数  $MAX\_CB$  の値により変動する。今後は定数  $MAX\_CB$  のアルゴリズムへの影響について考察する予定である。

### 参考文献

- [1] R. Yavatkar, "MCP: A Protocol For Coordination and Temporal Synchronization in Multimedia Collaborative Applications", Proc. of IEEE ICDCS-12, 1992, pp.606-613.
- [2] F. Adelstein and M. Singhal, "Real-Time Causal Message Ordering in Multimedia Systems", Proc. of IEEE ICDCS-15, 1995, pp.36-43.