

多人数参加型アプリケーションデータのマルチキャスト配信手法 に関する一考察

南川 敦宣 村松 茂樹 横山 浩之

(株) KDDI 研究所

〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: {at}minamikawa, mura, yokoyama@kddilabs.jp

本稿では、携帯電話網を利用した多人数参加型アプリケーションを想定し、マルチキャストにてコンテンツ配信を行う際に必要なスケジューリング問題を扱う。多くの携帯端末はマルチキャストチャネルとユニキャストチャネルを同時に利用できないため、サーバとの通信中にマルチキャストコンテンツを受信できない。そこで携帯端末がサーバへのアップロードを定期的の実施しつつ、所望のマルチキャストコンテンツを受信できるマルチキャストスケジューリングの生成手法を提案する。また、シミュレーションによって本手法の有効性を評価し、議論する。

A Multicast Scheduling Scheme for Multi-Massive-Online Application on Mobile Networks

Atsunori Minamikawa, Shigeki Muramatsu, and Hiroyuki Yokoyama

KDDI R&D Laboratories, Inc.

2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502 Japan

This paper describes a new multicast scheduling scheme for Multi-Massive-Online application on mobile networks. Since most mobile terminals cannot communicate using both uni- and multi-cast channel at the same time, they miss contents downloaded via multi-cast channel during unicast communication with servers. We propose a scheduling method with which multicast servers enable most mobile terminals to have upload time while they get multicast contents which they preferred. We also evaluate the effectiveness of our proposed method in simulations.

1 はじめに

近年、ブロードバンド環境の普及に伴い、オンラインゲームや仮想空間サービスのような多人数参加型サービスが提供されている。多人数参加型サービスでは、各ユーザが互いの状況をほぼリアルタイムで交換することで、同時に体験を共有するといった臨場感の高いコミュニケーション体験を提供できる。また、多数の移動端末から収集される情報を集約し、その結果を各移動端末へ配信する携帯ブロープシステムのようなアプリケーションも、利用者に遠隔地の情報を伝える新たな手段として今後の発展が見込まれている。これら多人数参加型アプリケーションでは参加ユーザが多くなるほど、大量のデータを交換する必要があるため、帯域制限の強いモバイル環境においては、複数ユーザで共通するデータをマルチキャストによって一斉に配信することにより、無線帯域の利用効率を高めることが重要である。

携帯電話網におけるマルチキャスト配信手法としては、CDMA2000方式における BCMCS (Broadcast and Multicast Services) 等がある。しかし、多くの携帯端末ではユニキャストチャネルとマルチキャストチャネルの二つを同時に利用できないため、クライアントが自分の情報をサーバへアップロードしている間は、マルチキャストで配信される情報を受信できないという問題がある。一方で、多人数参加型アプリケーションのような、頻繁に更新が発生するようなコンテンツでは、連続的にコンテンツが配信されるため、マルチキャスト中にアップロードを行う必要性が生じる。そこでクライアントが所望のコンテンツを受信しつつ、データのアップロードを実

現するためには、サーバ側にてクライアントから送付される要求を受け、マルチキャスト配信を適切にスケジューリングする必要がある。本稿では、多人数参加型コンテンツをマルチキャストする際のスケジューリング問題を定式化し、これを解くための実用的なアルゴリズムを提案する。

2 関連研究と課題

2.1 関連研究

マルチキャストコンテンツの配信スケジューリングに関する研究としては、リクエスト頻度の高いコンテンツの配信頻度を優先的に増やす手法がある [1][4]。さらに放送するコンテンツ形態に応じて様々なスケジューリング手法が提案されている。例えば [2] では、選択型コンテンツを取り上げ、コンテンツの視聴順序グラフを考慮し、各コンテンツの再生タイミングでの受信待ち時間を短くするスケジューリングを提案している。また、仮想空間システムを対象としたものとして、[5] は放送型サイバースペースを提案し、クライアントからのリクエストに相当する参加ユーザの空間内密度を考慮した RID 方式や、空間の連続性を考慮した LinkDFS 方式を提案している [3]。これら従来研究では放送網と通信網を別のインフラとして想定しているか、又はクライアントに十分な回線容量が提供されている有線ネットワークを想定している。同時にユニキャストチャネルとマルチキャストチャネルを利用できることを前提としているため、本研究が対象とする問題への適用は難しい。

2.2 本研究の課題

本研究では携帯電話網のような帯域制限のあるインフラ上の多人数参加型サービスを対象とし、携帯電話網でのマルチキャストを利用して各ユーザで共有する情報を配信することを想定している。配信シナリオは以下の通りとなる（図1）。

- サーバの配信するコンテンツは複数に分割され ($C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$)、1回の放送期間中に1度配信
- クライアント端末 $a_i \in A$ はユーザの操作情報やセンシング情報（以下、プロフィールデータ）を1回の配信期間中に1度、サーバへアップロード
- サーバは多数のクライアント端末からアップロードされるデータを集約し、マルチキャストにて配信するコンテンツを更新
- サーバは更新後の全コンテンツを次のマルチキャストタイミングで配信
- 配信コンテンツの更新頻度が短いため、前回の配信タイミング終了から次のマルチキャスト配信タイミングまでの時間間隔は非常に短い

BCMCS は特定の通信チャンネルをマルチキャストチャンネルに割り当てる配信手法であるが、多くのクライアント端末はハードウェアの制約上、同時に複数のチャンネルを利用できないことが多い。そのためクライアント端末がサーバへプロフィールデータをアップロードする際にユニキャストチャンネルを使用すると、その間にマルチキャストチャンネルで配信されるコンテンツを受信できなくなる。この影響を軽減するためには、例えばクライアント端末が、前回の配信スケジュールから自身にとって優先度の高いコンテンツの配信時間帯を推定し、この時間帯を避けてアップロードを実施するといった対処が考えられる。しかし、所望コンテンツが配信時間帯中に分散していると、アップロードのために割り当て可能な時間間隔が短くなり、必要な連続時間を確保することが困難となる（図2）。本研究の課題は、できるだけ多くの端末がサーバへアップロードしながら所望するコンテンツを受信できるようなスケジュールを作成することである。

3 提案手法

本章では、2.2 で記載した課題を定式化し、携帯電話向け多人数参加型コンテンツのマルチキャスト配信に適したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、各クライアントから見て、所望コンテンツがスケジュール上のできるだけ近い時間帯に集中するように配置され、アップロード時間の確保が容易になるよう、コンテンツの配信スケジュールを決定する。

3.1 課題の定式化

本節では対象とする問題を 2.2 で挙げたシナリオに沿って定式化する。

1. クライアント a_i は、マルチキャスト期間中に、各コンテンツに対する優先度ベクトル $P(a_i) = \{p(a_i, c_1), p(a_i, c_2), \dots\}$ をプロフィールデータに含めてサーバへ送信する（又は、サーバは、プロフィールデータ

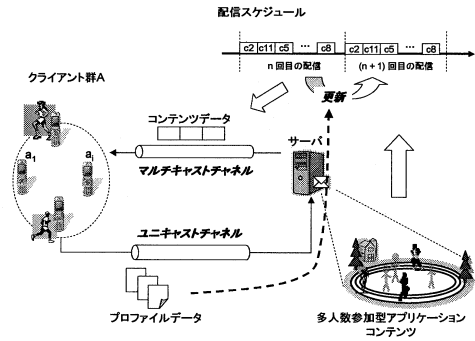


図1: 配信シナリオ

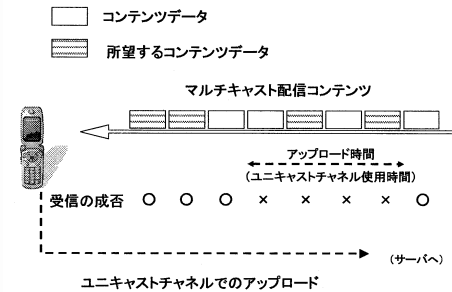


図2: アップロードによるマルチキャストコンテンツ受信不可の例

1. からクライアント毎の各コンテンツに対する優先度を推定できるとしても良い)
2. クライアントは各回の配信においてスケジュール S によって順番に配信される D 個のコンテンツのうち、サーバへのアップロードによって連続する w 個のコンテンツが受信できなくなる
3. サーバは各クライアントから受け取ったプロフィールデータに含まれる優先度ベクトルを集計し、集計結果を基に次の配信スケジュール S を導出する

クライアントが配信順序を何らかの方法で知っているとすると、 a_i の受信達成度 $e(a_i)$ は以下のように表すことができる。

$$e(a_i) = \max_k \left(\sum_{c_j \in C} p(a_i, c_j) \times \text{success}(a_i, c_j, k, S) \right) \quad (3.1)$$

$\text{success}(a_i, c_j, k, S)$ は a_i がスケジュール S の配信期間中の時間 k にアップロードを実施した場合のコンテンツ c_j の受信の成否を表す関数で、受信に成功した場合は 1 を、失敗した場合には 0 を返す。 a_i は配信前に何らかの方法で S を知り、それを基に受信達成度を最大にするよう k を決定できるため、クライアントの受信達成度はスケジュール S によってのみ決まる。そこで、本課題において、スケジュール S の評価関数 $E(S)$ は、各クライアントの受信達成度の平均値として、以下のように定義する。

$$E(S) = \frac{1}{N} \sum_{a_i \in A} e(a_i) \quad (3.2)$$

N はクライアント数を示す。これにより、本課題は $E(S)$ を最大とする S を探索する最適化問題となる。

3.2 提案手法によるスケジューリング

前節では本課題を最適化問題へと定式化した。しかし、スケジューリングがとり得る状態はコンテンツ数の階乗個存在し、コンテンツ数が増えるに従ってその探索空間は膨大となるため、実時間内の最適解の導出は困難となる。そこで、コンテンツ間の相関に着目して、スケジューリングをヒューリスティックに決定する手法を提案する。ここでいうコンテンツ間の相関とは、クライアントが二つコンテンツを同時に所望する度合いを表し、例えばコンテンツ c_i, c_j 間の相関指数として $r_0(c_i, c_j)$ を以下の様に定義する。

$$r_0(c_i, c_j) = \sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_i) \times p(a_k, c_j)\} \quad (3.3)$$

上記によって定義される相関指数は、全クライアントから送付される優先度ベクトルから計算することができる。提案手法はこの相関指数を使用して、各クライアントの受信達成度が高くなるようにスケジューリングを決定する。アルゴリズムを以下に示す。

- 1) コンテンツのリスト $f(i)$ (例: $f(1) = (c_{12}, c_5, c_8)$, $f(2) = (c_3, c_1), \dots$) を要素に持つ集合 F を設定し、初期値を空集合とする;
- 2) 2 つのコンテンツの組み合わせ (例: (c_0, c_1) , $(c_3, c_8), \dots$) を要素に持つ集合 G を設定し、初期値として全ての組み合わせの集合とする。
- 3) 集合 G から $r_0(x, y)$ を大きい順に (x, y) を抜き出し、以下の条件に従い、集合 F を更新
 - x, y が F の同一の要素 $f(i)$ に含まれる:
 - ・ F を更新しない;
 - x が $f(i)$, y が $f(j)$ に含まれる:
 - ・ $f(i) = \text{connect}\{f(i), f(j), x, y\}$;
 - ・ $f(j)$ を F から削除;
 - x (または y) のみが F の要素 $f(i)$ に含まれている:
 - ・ $f(i) = \text{connect}\{f(i), (y), x, y\}$;
 - x, y とも F のどの要素にも含まれない:
 - ・ F に新たな要素として $f(k) = (x, y)$ を生成;
- 4) 集合 G が空になるまで 3) を繰り返す;
- 5) 集合 G が空集合になった時点で集合 F に一つだけ残る要素の順番を配信スケジュールとする。

ここで $\text{connect}\{a, b, x, y\}$ とは、 x と y の位置が最短となるよう、リスト b の順序をそのままか、ひっくり返すかをした状態でリスト a の先頭か末尾に結合する処理を示す。例えば、 $a = (c_8, c_2, c_3)$, $b = (c_{10}, c_5, c_6, c_{12})$ で $x = c_8$, $y = c_5$ の時、 c_8 と c_5 が最も近くなるよう、 b の順をひっくり返して、 a の先頭にこれを結合し、リスト $a = (c_{12}, c_6, c_5, c_{10}, c_8, c_2, c_3)$ を返す。上記アルゴリズムでは、相関の強い 2 つのコンテンツほど、配信スケジュール上において近い位置に配置されるため、各クライアントから見て優先度の高いコンテンツが集中的に配信される可能性が

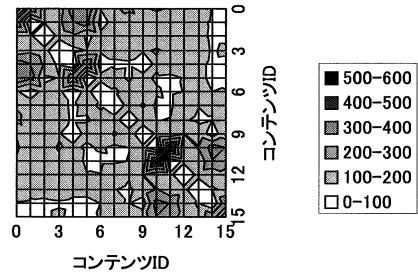


図 3 : パターン②におけるコンテンツ間の相関指数の分布例

高くなり、これらを受信できるよう、マルチキャスト期間中からアップロード時間を確保することが容易になる。

3.3 相関指数

前節では、提案手法にて使用する相関指数を式 (3.3) のように定義した。クライアントの優先度ベクトルをコンテンツ間の共起関係とみなすと、相関指数は式 (3.3) 以外にもいくつか考えることができる。以下にその派生形を列挙する。

$$r_1(c_i, c_j) = \frac{r_0(c_i, c_j)}{\sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_i)\} \times \sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_j)\}} \quad (3.4)$$

$$r_2(c_i, c_j) = \frac{r_0(c_i, c_j)}{\sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_i)\} + \sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_j)\} - r_0(c_i, c_j)} \quad (3.5)$$

$$r_3(c_i, c_j) = \frac{r_0(c_i, c_j)}{\min \left[\sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_i)\}, \sum_{a_k \in A} \{p(a_k, c_j)\} \right]} \quad (3.6)$$

式 (3.4), (3.5) は、2 つのコンテンツの共起回数に対して、各コンテンツの出現頻度によって正規化したものとみることができる。これにより、出現頻度の低いコンテンツにおいても、互いの相関が強い 2 つのコンテンツは、スケジュール上の近い位置に配置される可能性が高くなる。また (3.6) も同様に出現頻度の小さいコンテンツにて正規化したものとみることができる。

ここで挙げた相関指数は 3.1 で示した提案アルゴリズムの r_0 の代わりに使用する。使用する相関指数の差異は、提案アルゴリズムの 2) における評価の順番に影響を与えるため、最終的に導出されるスケジュールは大きく異なる可能性がある。そこで、提案手法の改良として、(3.3) から (3.6) の相関指数それぞれを使用して導出されるスケジュールから、最大の平均受信達成度を得るスケジュールを採用するといった方法をとることも可能である。

4 提案手法の評価

本章では提案したスケジューリングアルゴリズムの有効性をシミュレーションによって評価する。ここで着目す

る値は、各手法で導出されたスケジュール S に対するクライアントの受信達成度と、スケジュールの導出に要した処理時間である。

4.1 評価シナリオ

評価にあたりパラメータを以下の通り設定する。

- ・ コンテンツ数 D : 16
- ・ クライアント数 N : 300
- ・ アップロードによる受信不可コンテンツ数 w : 6

1 回のマルチキャストにおいて、16 個のコンテンツがスケジュール S で指定された順に配信される。クライアントはマルチキャスト中でのサーバへアップロードに伴い、スケジュール S 上の連続する 6 つのコンテンツを受信できない。

問題の単純化のため、各クライアントの指定する優先度ベクトル P(a)は、16 のコンテンツから所望コンテンツを 5 つ選択し、うち 2 つの優先度を 5、残り 3 つの優先度を 1、選択されなかったコンテンツの優先度を 0 とするものとして生成する。5 つの所望コンテンツの指定方法は以下の 2 つのパターンにて評価を行う。

- ① ランダム選択
- ② $C_a = \{c_0, c_1, c_4, c_5\}$ 、 $C_b = \{c_{10}, c_{11}, c_{14}, c_{15}\}$ として、 C_a 、 C_b それぞれに含まれるコンテンツ間の相関が高くなるよう、優先度ベクトルを設定

パターン①では、各クライアントがランダムにコンテンツ 5 つを選択する。一方、パターン②では例えば、クライアントが 1 つ目に C_a の要素 c_4 を選択すると残りの 4 つの選択において、 C_a の残りの要素 c_0, c_1, c_5 のいずれかが選択される確率が 60%となる。1 つ目に C_b の要素が選択された場合も同様とする。パターン②における式 (3.3) で定義した各コンテンツ間の相関指数の分布例を図 3 に示す。この例では $ro(c_{10}, c_{11})$ が最も大きく、次に $ro(c_0, c_5)$ 、 $ro(c_4, c_5)$ の順で相関指数の偏りが設定されている。

4.2 比較対象

提案手法の有効性を評価するために、表 1 に列挙する各アルゴリズムにてスケジュールを生成し、各スケジュールに対するクライアントの平均受信達成度の比較を行う。

表 1 : 検証で使用するスケジューリングアルゴリズム

random	ランダムに生成
request	優先度の高い順
prop1	提案手法 (式(3.3)を利用)
prop2	提案手法 (式(3.4)を利用)
prop3	提案手法 (式(3.5)を利用)
prop4	提案手法 (式(3.6)を利用)
prop_max	prop1~4 から評価関数 E(S) が最大となるスケジュールを採用
SA	焼きなまし法 (Simulated Annealing) によって探索されたスケジュール
RI	random に探索を実施

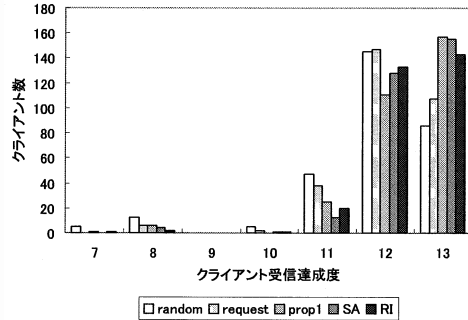


図 4 : クライアントの受信達成度分布

一般的な比較対象として、ランダムにスケジュールを生成するものとの比較を行う。また、全クライアントの優先度ベクトルの集計から優先度の高いコンテンツから順に配信する request も比較対象とした。これは、優先度ベクトルを利用した簡単なスケジューリング手法の一例として比較対象に含んでいる。

一方、3.1 で定式化した問題に対して最適解に近いスケジュールを導出する手法として焼きなまし法 (SA)、及び RI を比較対象とした。

SA では random に生成されたスケジュールを初期スケジュール S_0 とし、以下の手順で探索を行う。

- 1) 探索回数 $t=0$;
- 2) 温度 $T(t)$ を更新;
- 3) S_0 上で近接する任意のコンテンツ 2 つの順序を入れ替えたものを遷移先候補として、各候補への遷移確率を同じにして、遷移先スケジュール S_1 を選択;
- 4) 確率分布 $(P(Z=1), P(Z=0)) \equiv (A(S_0, S_1; t), 1 - A(S_0, S_1; t))$ で乱数 Z を発生;
- 5) $Z=1$ なら $S_0 = S_1$, $Z=0$ なら S_0 の変更無し;
- 6) $t=t+1$;
- 7) $t=20000$ となるまで、2)~6) の処理を実施;

ここで $T(t)$ 、 $A(S_0, S_1; t)$ は

$$T(t) = \frac{k}{\ln(t+2)} \quad (4.1)$$

$$A(S_0, S_1; t) = \frac{1}{1 + \exp((E(S_0) - E(S_1))/T(t))} \quad (4.2)$$

とし、 k を 5 とした。上記探索によって最大の受信達成度を得るスケジュール S_{max} を SA によって導出されたスケジュールとする。

RI は random によるスケジュール生成を 20000 回実施し、最大の受信達成度を得たスケジュールを比較対象とした。

4.3 クライアントの受信達成度

本節では評価結果として各手法によって導出されたスケジュールに対するクライアントの平均受信達成度を示す。

図 3 はパターン②による 1 回の試行で導出された各スケジュールに対するクライアントの受信達成度の分布を示したものである。受信達成度が 9 以下のクライアント

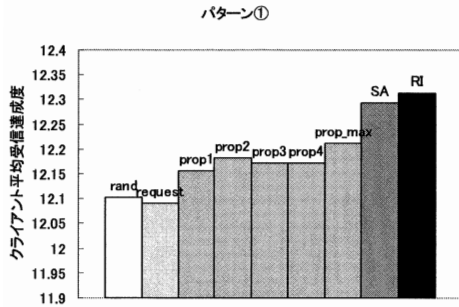


図 5：平均クライアント評価値（パターン①）

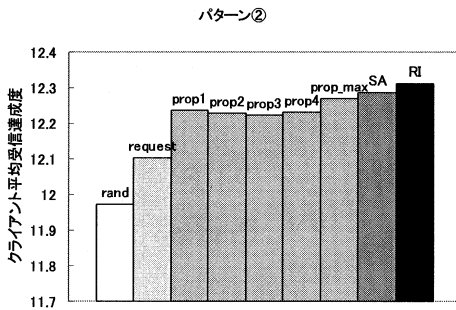


図 6：平均クライアント評価値（パターン②）

は優先度の高い($p(a_i, c_j)=5$)コンテンツを1つ以上受信できなかったことを意味する。また受信達成度が13のクライアントは所望する全コンテンツを受信できたことを意味しており、その数は prop1 が最も多く、次に SA、RI の順となった。

一方、優先度の高いコンテンツを受信できなかったクライアント数は RI が最も少なく、次に SA が少なかった。prop1 を request ではこの数は同数で、random がもっとも多く17クライアントであった。この時のクライアントの平均受信達成度を表2に示す。

表 2：クライアントの平均受信達成度（パターン②）

random	request	prop1	SA	RI
11.85	12.14	12.34	12.42	12.36

提案手法 prop1 は random や request よりも平均受信達成度が高く、探索解 SA に近い値を実現している。

図 5, 6 は、パターン①②それぞれによるクライアントの所望コンテンツ指定パターンに対して30回のシミュレーションを実施した際の、各手法に対するクライアントの平均受信達成度を示している。パターン①はクライアントがランダムにコンテンツを選択した場合であるため、コンテンツ間の相関に強い偏りが生じにくい、図5では random や request に比べ、提案手法が高い平均受信達成度を実現していることを示している。パターン②のようにコンテンツ間の相関に偏りがある場合には、さらに提案手法が有効に機能することが図6から示されている。一方、3.3にて挙示した提案手法にて使用する相関指数

表 3：スケジュール導出処理時間の比較

手法	平均処理時間 (sec)	平均探索回数
prop1	0.031	1
prop2	0.032	1
prop3	0.031	1
prop4	0.031	1
prop_max	0.125	4
SA	56.81	3832
RI	138.88	9694.8

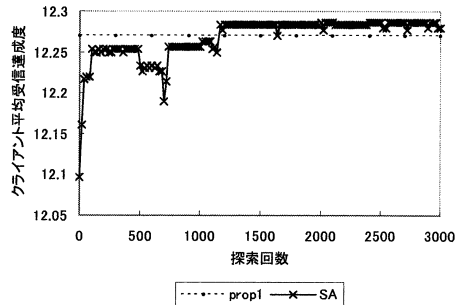


図 7：探索回数に対する SA の平均クライアント評価値の変動例

の違いが、クライアントの平均受信達成度に有意な差として現れていないが、4種の相関指数から最大の平均受信達成度になるスケジュールを選択する prop_max は、他の提案手法を単体で使用する場合に比べ、より SA に近い平均受信達成度を実現している。これは、コンテンツの指定パターンに応じて各相関指数が機能する状況があることを示している。

以上の結果から、提案手法がクライアントのアップロード時間の確保に有効に機能していることが示された。

4.4 処理時間

前節において SA、RI によって導出されるスケジュールは、共に提案手法を上回る平均受信達成度を示していた。しかし、これらの手法では最適解の探索のため、評価関数の計算を繰り返し実施する必要があり、多くの計算時間を要する。そこで、提案手法が処理時間の観点でどの程度有効であるかを、SA、RI との比較により評価する。評価に使用した計算機環境は以下の通りである。

- CPU : Core2Duo 2.66GHz
- メモリ : 2GB

表3に4.1と同様の評価シナリオにおける各手法の処理時間を示す。実際には SA と RI では20000回の探索に約300秒の処理時間を要したが、ここでは最大の平均受信達成度になるスケジュールが導出されるまでの平均処理時間を評価値とした。提案手法は、SAの1800分の1以下、RIの4400分の1以下の処理時間となっていることがわかる。SA と RI は、毎回の探索時に式(3.2)の計算

を行うことから、処理時間はクライアント数の増加に伴って線形に増えることになる。

図 6 に SA の各探索による平均受信達成度の変化と、提案手法のそれとを比較した一例を示す。このケースでは SA が提案手法の平均受信達成度に到達するまでに約 1200 回の探索を行っており、これは処理時間にして約 18 秒に相当する。一方、提案手法は 0.03 秒で同等の平均受信達成度を得るスケジュールを導出できていることから、処理時間の観点から提案手法は SA、RI と比較しても非常に有効な手法であることが確認できる。

4.5 考察

提案手法は、コンテンツ間の相関を前提にスケジューリングを行うことから、パターン②のようなコンテンツ間の相関に偏りがある場合には効果的なスケジューリング手法となる。一方、相関に偏りがない場合、各コンテンツ間の相関指数に差が生じず、提案手法の効果は大きく低下することが想定される。実際にパターン①での評価では、パターン②に比べその効果が小さくなっているが、この場合においても提案手法が random や request に比べ良い結果を示しており、多くの場合において、提案手法を適用することが可能であることがわかる。

処理時間に着目すると、本稿で対象としている多人数参加型アプリケーションでは、各コンテンツの配信間隔が短いことが想定しているため、SA や RI のような探索に時間を要する手法の適用は、実運用の観点から非常に難しい。そこで、クライアントの受信達成度では SA や RI に若干劣るものの、短時間での処理ではほぼ同等かそれ以上の効果が期待できる提案手法は、上記アプリケーションでのコンテンツ配信のスケジューリングに非常に効果的な手法であると言える。

5 まとめ

多人数参加型サービスを携帯電話網などの無線通信環境で提供するためのマルチキャスト配信スケジューリング問題を定式化し、これを解くための実用的なアルゴリズムを提案して有効性を検証した。提案手法ではコンテンツ間の相関に着目して、スケジュールをヒューリスティックに導出する。提案手法をシミュレーションにて評価し、クライアントの受信達成度、及び処理時間の観点から有効性を確認することができた。今後は具体的なアプリケーションシナリオを想定し、提案手法の適応領域を明確化していく予定である。

参考文献

- [1] 謝, 戸出, 村上, "ハイブリッド型コンテンツ配信スケジューリング法の検討", 電子情報通信学会研究報告, NS-2003-330, pp. 183-186 (2003)
- [2] 義久, 金澤, "連続メディアデータ放送における選択型コンテンツのためのスケジューリング手法", 情報処理学会研究報告, 2005-BCCgr-11, pp. 31-38 (2005)
- [3] 小川, 塚本, 西尾, "放送帯域幅と仮想空間内でのユーザ移動速度を考慮した放送型仮想空間システムの提案", 情報処理学会研究報告, 2002-DBS-129-7, pp. 49-56 (2002)

[4] D. Aksoy, M.J. Franklin, and S. Zdonik, "Data Staging For On-Demand Broadcast," in Proc. Conf. Very Large Data Bases(VLDB2001), pp. 571-580 (2001)

[5] T. Ogawa, M. Tsukamoto, and S. Nishio, "Virtual Space Broadcasting Based on the Speed of Avatar Movement," Proc. of IASTED Int'l Conf. on Internet and Multimedia Systems and Applications (EuroIMSA 2005), pp. 311-317 (2005)