

コンテンツ多重選択型放送スケジュールの考察

青野正宏* 上田尚純**

複数のチャンネルでニュースや音楽などのコンテンツを並行して流し、視聴者は複数のコンテンツをあらかじめ選択しておき、そのコンテンツを蓄積しておいて順次視聴する。このような将来のデジタル TV 放送の形態を予想し、求めるコンテンツの放送までの待ち時間を抑える手法を考察した。視聴率を想定してスケジュールを決める方法では、垂直最適配分方式を提案する。また、視聴者の要求数によるスケジュールを決める方法では、修正型待ち時間の総和順方式を提案する。

Broadcast Schedule for Multiple Contents Selection

Masahiro Aono* Takasumi Ueda**

A broadcasting station outputs the contents as news or music in parallel on multiplex channel. Audiences choose some contents beforehand and accumulate them, then, they view them in order. We expect the form of the digital TV broadcasting in such future, and consider the methods to suppress waiting time to view the contents. In case of the way of deciding a schedule in the assumed audience rating, we propose the vertical optimal distribution method. Also, in case of the way of deciding the schedule in the number of audience requests, we propose the Modified Long Wait First method.

1. 背景

インターネットの普及により、ニュースや天気予報など、自宅の PC からいつでも閲覧できるようになった。例えば、新聞社のホームページにアクセスし、ニュースの一覧メニューのなかから、興味のある記事をクリックすると、通常の混雑度で広帯域の常時接続環境であれば、ほとんど待ち時間のストレスを感じることなく、テキスト中心の記事の画面を読み出すことができる。放送局のホームページにアクセスしても同様に記事を読み出すことができる。さらに、放送局の場合、いくつか主要な記事はビデオでも読み出すことができる。ただし、現状では読み出しまでかなり待たされ、かつ画質、画面サイズともに貧弱である。今後、インターネットの広帯域化が進むにつれて改善されることが期待されるが、改善されれば需要

者も増えると考えられるので、TV 並の画質を即時に得るには、まだ、かなり無理があるのではないと思われる。

一方、TV 放送のデジタル化が進むと、放送可能なチャンネル数も増える。現状のような総合的な TV 番組構成だけではなく、有線放送にみられるように、ニュース専門局、音楽専門局など専門局化が進むと考えられる。ニュース局、お天気放送局などは、同じコンテンツを繰り返し放送しながら、時間の経過とともに少しずつ内容を変えようという形態になろう。視聴者は任意の時間に TV のスイッチを入れ、興味あるコンテンツを視聴すると、一般のコンテンツを放送している局にチャンネルを切り替える。

一方、放送のデジタル化により、放送とインターネットの融合が進むと予測される。WWW から

*東京工業高等専門学校 Tokyo National College of Technology

**三菱電機 Mitsubishi Electric Corp.

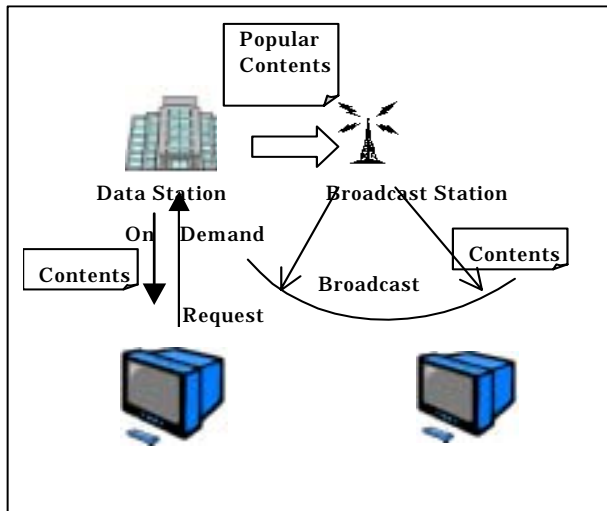


Fig.1 Concept of Integrated Contents Supply System

オンデマンドによるダウンロードでは時間がかかり、かつアクセス頻度の高いコンテンツは、放送から得るほうが、効率は良い。かつ、どちらのルートでコンテンツをダウンロードしているかは、一々ユーザは意識しない。このような TV とパソコンが融合した複合体の受信装置が普及する将来環境を想定する。(図 1)

TV 放送のデジタル化と関連してもうひとつの大きな潮流として、大容量固定ディスク内蔵型の TV が普通になるのではないと思われる。VTR や DVD のような媒体の場合は、設定の操作が必要なので、ユーザは一般に録画したいコンテンツを決めて目的意識を持って作業する。大容量固定ディスクの場合、そこに何を録画するか意識しない。常に電源をオンにしておき、放送されるコンテンツを全て録画しておき、ユーザが再生するときは任意のタイミングで再生する。このような使い方が中心であれば、待ち時間最適化スケジュールなどはあまり考慮する必要ない。しかし、現実にはこのような使い方をするとは限らないのではない。保守的なユーザは使用していないときに、TV やパソコンの電源を入れっぱなしにしておくには抵抗感がある。また、モバイル端末の場合は、電力の節約のため、不要なときは電源を切ることが望ましい。従って、必要なタイミングにおいて、受信装置の電源をオンにするような使い方は今後も主流であると考えられる。しかし、一度受信装置の電源を入力すればその時点から録画は可能となることから、現在と変わってくる。

ニュースなどのコンテンツの場合、現状のインターネットアクセスでは、コンテンツをひとつ選択してそのコンテンツを読み終えたあと、次のコンテンツ読み出しに進む。しかし、TV とパソコンを複合した受信装置の場合、あらかじめメニューから複数のコンテンツを選択しておき、順次視聴するという手順が考えられる。

2. マルチコンテンツ選択のモデル

ここでニュース局を想定して次のモデルを考える。

- ・ 放送局はアクセス頻度の高いコンテンツを繰り返し、放送する。
- ・ アクセス頻度の低いコンテンツは WWW による個別ダウンロードで対応する。
- ・ 放送局は、帯域に余裕があり、同時に複数のコンテンツの放送が可能とする。すなわち、複数のチャンネルを持っているものとする。現在の TV ニュースのようにすべて、動画であるよりも静止画、文字、グラフと動画を組み合わせたほうがむしろ効果的な場合もあり、小さい帯域で現在よりもわかりやすい番組を構築することも可能である。
- ・ 放送スケジュール決定に際し、現実的なコンテンツの数はそれほど多くないと考えられ、コンテンツの放送も分単位やそれに近い単位の間隔となるので、スケジュール決定の計算は複雑でもかまわない。
- ・ ユーザはパソコンと TV の機能を融合した受信装置において、電源投入後、メニューを読み出す。それほど待たなくてもすむよう、狭帯域のチャンネルで繰り返し放送しているものとする。一部に、小さな静止画像が加わることも考えられるが大部分はタイトルやニュースの 1 行要約程度のタイトルで充分なので、必要な帯域はわずかで良い。
- ・ ユーザは興味のあるコンテンツを選択する。選択したコンテンツは放送受信またはオンデマンドのダウンロードで入手して再生する。
- ・ 各コンテンツの再生順序は不定でかまわないものとする。
- ・ 電源投入後は放送されている複数のコンテンツを同時に録画できるものとする。
- ・ 要求率の低いコンテンツは、オンデマンドで

Time					
Channel 1	A	C	E	G	A
Channel 2	B	D	F	H	B
View	-	A	B	wait	G
		Request Content			
		A,B,C,D,E,F,G,H..... Content			

Fig.2 Schedule of Multiplex Broadcast and View Contents

受信するほうが効率的である。コンテンツの数はそれほど多くない。例えば、1つ2分のニュースが40個程度を標準としてそのバリエーションを考える。

・ 関心の高いコンテンツは100%に近い場合もある。例えば、ニュースを見ようとする人間は、その日のトップニュースやそれに準じたニュースは関心をもってほとんど見るのでないかという場合も想定する。

図2に簡単な事例を示す。視聴者は、コンテンツA、B、Gを視聴対象としたとする。2つのチャンネルがあり、同時に2つのコンテンツを並行して放送している。視聴者の受信装置は放送されたコンテンツを記憶する。最初の時間帯でA,Bのコンテンツを受信し、次の2つの時間帯でA,Bのコンテンツを出力する。その次の時間帯は視聴を指定したコンテンツがないため、待ちとなり、その次の時間帯で視聴を指定したGのコンテンツが出力可能となるので出力する。

3. 待ち時間の試算

3.1 チャンネルの数と要求コンテンツ数の関係

このモデルにおいてどのようなスケジュールが望ましいかシミュレーションを用いて考察する。検討の最初のステップとして、簡略化のため、コンテンツのサイズ(放送出力時間)と再生時間は一定とする。また、コンテンツのアクセス頻度は放送局で把握しているものとする。放送チャンネルは複数(CH)あるものとする。まず、全てのコンテンツの要求率が等しく、コンテンツは順次繰り返し放送していくものとする。チャンネル数が複数であれば同時に複数のコンテンツを放送する。m(コ

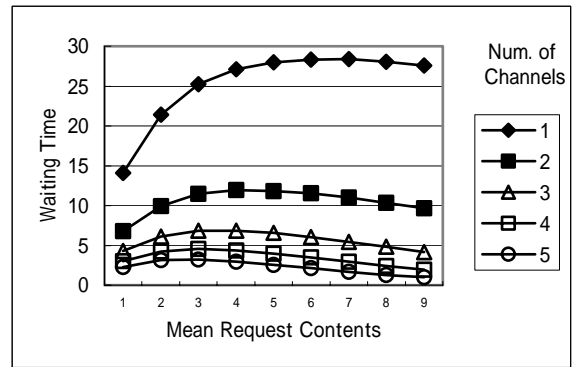


Fig.3 Waiting time to Mean Request Contents

ンテンツ数)=40とし、チャンネル数が1から5の各ケースについて、平均要求コンテンツ数を1から9に変化させたときの平均待ち時間を図3に示す。待ち時間の単位は、1つのコンテンツを放送する時間を1とした時間単位である。チャンネル数1の場合、要求コンテンツ数が増加すると、当然待ち時間が増加するが、要求コンテンツ数が増加するにつれその増え方が小さくなっている。チャンネル数が増えるにつれ、要求コンテンツ数が増加しても、待ち時間は増加しない。チャンネル数5の場合、要求コンテンツ数5がピークで、さらに要求コンテンツ数が増加すると、待ち時間が減少する。これは、要求コンテンツ数とチャンネル数が増加するとあるコンテンツを視聴している間に、他の視聴したいコンテンツが同時に放送され、ディスクに蓄積される確率が高まるからである。

図4は比較を示すため、待ち時間をチャンネル数で乗じた値を示したものである。チャンネル数が増加すると、待ち時間はチャンネル数の増加比率以上の割合で減少していく。

3.2 コンテンツ要求率が一樣でない場合

要求コンテンツの比率が一樣でない場合を検討する。コンテンツの要求率分布は次のzipf分布[1]に従うものとする。

$$p_i = \frac{1}{i^\theta \cdot \sum_{j=1}^m (1/j)^\theta} \quad (1)$$

式(1)において、iはコンテンツ番号、mはコンテンツ数、 θ はSkew係数と称し、 θ の値が大きいくほどコンテンツ要求の比率に偏向があることになる。 $\theta=0$ の場合は、全て同じであることを示して

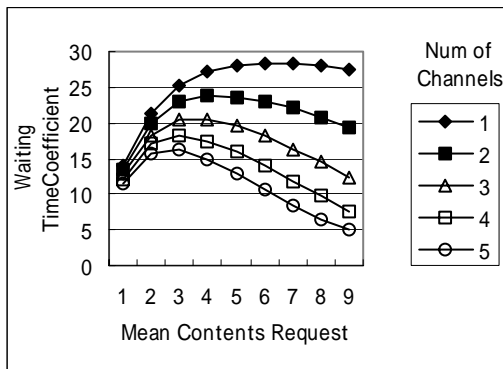


Fig.4 Waiting Time Coefficient to Mean Contents Request

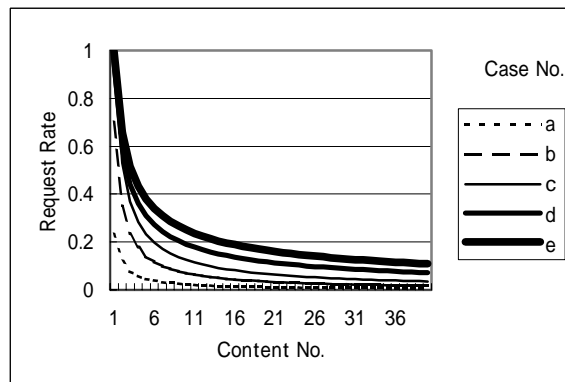


Fig.5 Distribution of Contents Request

いる。平均要求コンテンツ数を \overline{CR} とする。コンテンツ i がある視聴者から要求される確率 cr_i を次の式で与えるものとする。

$$cr_i = \frac{\overline{CR} \cdot p_i}{\sum_{j=1}^m p_j}$$

本シミュレーション実験では、 $\overline{CR} = 1, 3, 5, 7, 9$ の場合を行うものとし、それぞれの \overline{CR} に対応して $\phi = 1.0, 1.0, 0.9, 0.7, 0.6$ とする。それぞれを実験ケース a, b, c, d, e とする。また、 m (コンテンツの種類) = 40 とする。これは、要求率 100% を超えるコンテンツが存在しないため、 ϕ の値を調整したものである。図 5 に実験例の分布図を示す。

従来のデータ放送のモデル (放送チャンネルは 1 つ、受信者が待ち受けるコンテンツの数もひとつ) の場合、待ち時間を最小にする放送スケジュールは、各コンテンツの要求率の平方根をとり、その数値の比率で配分して放送することが最適であることが明かされている [2]。しかし、同時に要求するコンテンツがひとつに限らない場合や放送されるチャンネル数が複数の場合は、必ずしも平方根の比率で放送することが最適であるとは限らない。この点をシミュレーションにより確認する。ここで、コンテンツ配分係数を定義し、それを ϕ とする。コンテンツ放送の比率 BR_i を次の式で与える。

$$q_i = CR_i^\phi$$

$$BR_i = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^m q_j} \quad (2)$$

$\phi = 0$ の場合、各コンテンツは平等に放送され、 $\phi = 0.5$ の場合、各コンテンツ要求率の平方根に比例させて放送し、 $\phi = 1$ の場合は、各コンテンツの要求率に応じて放送するものである。まず、放送チャンネル数を 1 とし、コンテンツ要求率の分布ケース a, b, c, d, e の各々の場合において、 $\phi = 0$ から 1 まで変化させた場合の待ち時間を図 5 に示す。平均要求コンテンツ数が 1 である a のケースでは、従来のデータ放送の最適配分の理論どおり、ほぼ、 $\phi = 0.5$ が最適値となっているが、ケース b 以降、同時要求コンテンツ数が増えると、最適 ϕ の値は小さくなる。つまり、コンテンツ放送の比率はコンテンツ 1 つのみを要求する場合に比べて、平等に近く放送したほうが良いことになる。ケース a のコンテンツ要求率分布の場合においても、厳密には平均コンテンツ要求数を 1 としたのみであり、同時に複数のコンテンツの要求がありうるため、実際の ϕ の最適値は 0.5 よりやや小さな値となっている。

次に同時に放送可能なチャンネル数を増やしていけばどうなるであろうか。図 7-1~5 にコンテンツ要求率分布 c の場合において、放送チャンネル数を 1 から 5 までの平均待ち時間を示す。放送可能なチャンネル数が増えると、最適 ϕ の値は大きくなる。コンテンツ要求率に近い配分で放送する方法が最適となる。

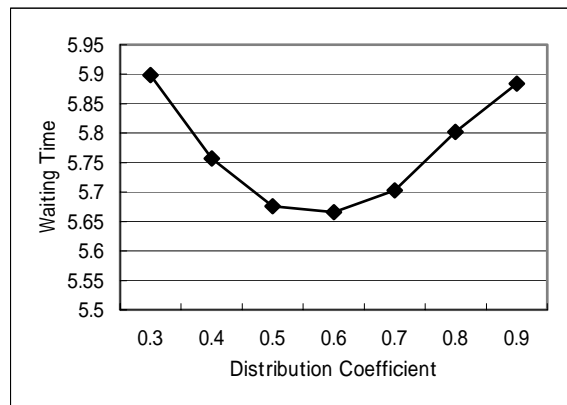
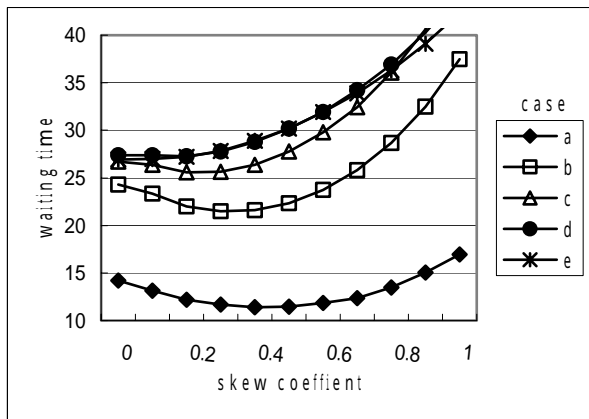


Fig.7-1 Waiting Time to Distribution Coefficient (1 Channel)

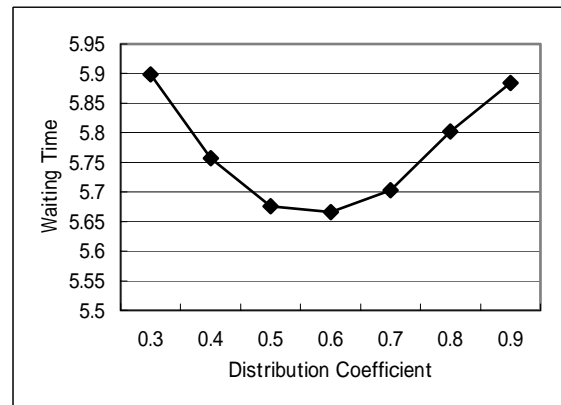
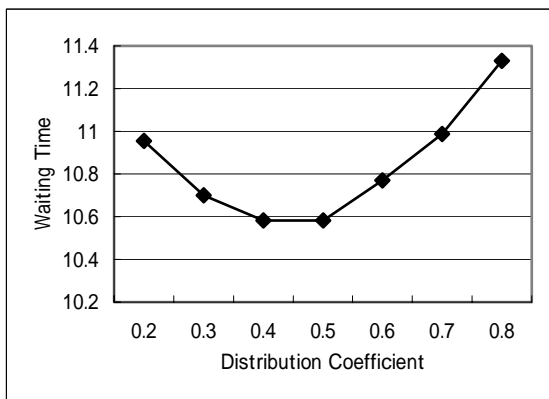


Fig.7-2 Waiting Time to Distribution Coefficient (2 Channel)

Fig.7-3 Waiting Time to Distribution Coefficient (3 Channel)

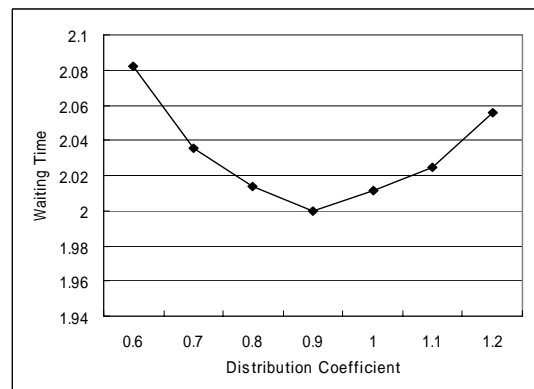
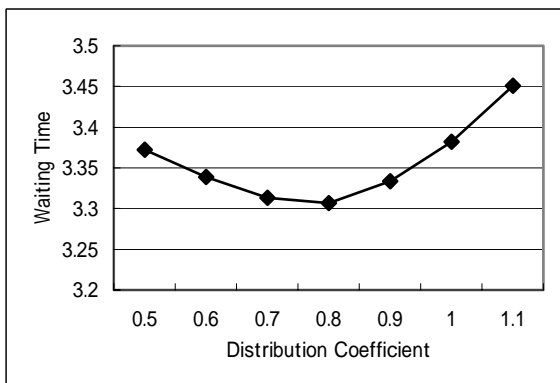


Fig.7-4 Waiting Time to Distribution Coefficient (4 Channel)

Fig.7-5 Waiting Time to Distribution Coefficient (5 Channel)

3.3 水平配分と垂直配分

次の単純な例を考える。対象となるコンテンツが A, B, C, D の4つあり、A, Bのコンテンツ

要求率は80%、C, Dのコンテンツ要求率は20%とする。チャンネルは2つあり、視聴者は同時に2つのコンテンツを要求するものとする。最初に視聴した時間帯に要求するコンテンツがあれば、次

Case1	Time 1	Time 2
Channel 1	A(80%)	C(20%)
Channel 2	B(80%)	D(20%)
Case2		
Channel 1	A(80%)	B(80%)
Channel 2	C(20%)	D(20%)

Fig.8 Example of Output Order

の時間帯には、要求する2番目のコンテンツが放送されるか最初の時間帯に放送されたコンテンツが蓄積されているので待つ必要はない。最初の時間帯に希望するコンテンツが放送されなければ1時間単位だけ待つ。このとき、同時にAとB、CとDを同時に放送する組み合わせをおこなって、繰り返し放送を行ったとき(ケース1)平均待ち時間を計算すると、前の時間帯で視聴しないコンテンツが放送される確率は4%、後の時間帯で64%、平均すると34%となり、平均待ち時間は0.34となる。同時にAとC(または、D) BとD(またはC)と組み合わせた放送を行ったとき(ケース2)前後いずれの時間帯も視聴しないコンテンツが放送されない確率は16%となり、平均待ち時間は0.16となる。(図8参照)要求率が高いコンテンツはなるべく同時に放送しないほうが、結果的に待ち時間が小さくなるだろうと予測される。これをシミュレーションで確認する。いくつかの手法を比較する。第1の手法(水平巡回配分法)は、3.1節で実験した要求率の大きいコンテンツ順に放送する方法である。第2の手法(垂直巡回配分法)は、コンテンツをチャンネル数で割り、要求率が大きい順にグループとしてチャンネルに割り付ける方法である。第3の手法(水平最適配分法)は、3.2節で検討したコンテンツ要求率に一定の指数で変換した放送率で順次放送する方法である。最初は要求率の大きい順に放送されるが、放送を繰り返すうちに順番はバラバラとなる。第4の手法(垂直最適配分法)は、要求率が大きいコンテンツ順に、各コンテンツの放送率がひとつのグループになるよう配分するものである。チャンネル1はコンテンツ1からコンテンツk1まで、チャンネル2はコンテンツk1+1からコンテンツk2まで・・・チャンネルnはコンテンツk(n-1)+1からコンテンツmまで割り付けるとしたら、次式が成り立つよ

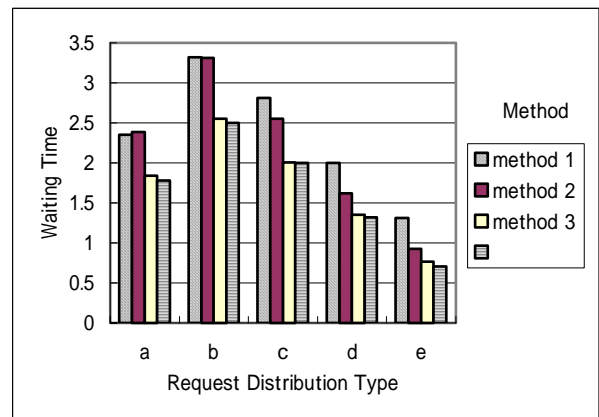


Fig.9 Waiting Time with Horizontal Method and Vertical Method

うに配分する。

$$\sum_{i=1}^{k1} BR_i \cong \sum_{i=k1+1}^{k2} BR_i \Lambda \cong \sum_{i=k(n-1)+1}^m BR_i$$

グループ内では、所定の配分比率で放送する。これは、筆者らが提案した計算の簡略化と待ち時間の一定化を目的とした放送までの待ち時間抑制スケジュール法であるDCS法[3]を応用し、放送比率配分に対応させたものである。ただし、各チャンネル内では、計算負荷を気にする必要がないので、順次放送でなく所定の配分比率で放送する。実験では、m=40、チャンネル数5、コンテンツ要求の分布ケースa、b、c、d、eの各ケース、各手法について行った。コンテンツ配分係数はケースa、b、c、d、eに対応して=0~1.5まで変化させ、その最小値をとるを選択した。その結果採用したの値は表1のとおりである。

表1 最適値をとるの値

	a	b	c	d	e
水平最適配分法	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9
垂直最適配分法	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3

同じ分布、コンテンツ数、チャンネル数でも、水平配分と垂直配分では、コンテンツの最適放送比率が大きく異なる。これは、水平配分が各チャンネル相互を融通するのに対し、垂直配分の場合は各チャンネルにコンテンツを固定的に割り付け、1つのチャンネルの寄せ集めの形をとるからである。各方式の待ち時間を図9に示す。コンテンツ要求数が多くなると垂直配分方式が有利となる。巡回方式

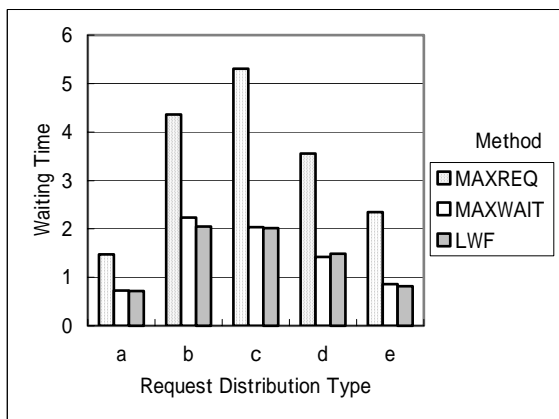


Fig.10 Waiting time with on demand Methods

が水平と垂直の差異が大きいものに対して、最適配分方式が水平と垂直の差異が小さいのは、垂直方式の場合、チャンネル単位の配分では、完全に最適になるよう分割ができないため、分割損が生じるためと思われる。

3.4 視聴者からのコンテンツの要求によりスケジュールを決定する場合

これまではコンテンツの要求率が判明している前提でスケジュールを検討したが、次に各コンテンツを放送局に要求し、要求に基づいてスケジュールを決める方法を考察する。スケジュールを決定する方法として、要求が放送局に届いてから放送まで滞留している要求数が最も多いコンテンツを選択する方法 (MAXREQ 法)、要求が放送局に届いてから最も長く待っているコンテンツを選択する方法 (MAXWAIT 法)、各要求の待ち時間を全て合計してその総和を最も大きいコンテンツを選択する方法 (Long Wait First 法) がある。各視聴者が選択するコンテンツが1つでチャンネルが1つの場合は、計算に時間がかかるが、LWF 法が最も良い[2]。ここで対象としているモデルはコンテンツ数が少なく、コンテンツ出力間隔は長いので計算は苦にならない。複数チャンネル、複数コンテンツ要求の場合でも、LWF 法がだいたい平均待ち時間が少ない。(図 10 参照。いずれもコンテンツ数が 40 でチャンネル数が 5、分布が a ~ e の各ケース)しかし、MAXWAIT 法と比べて大差が

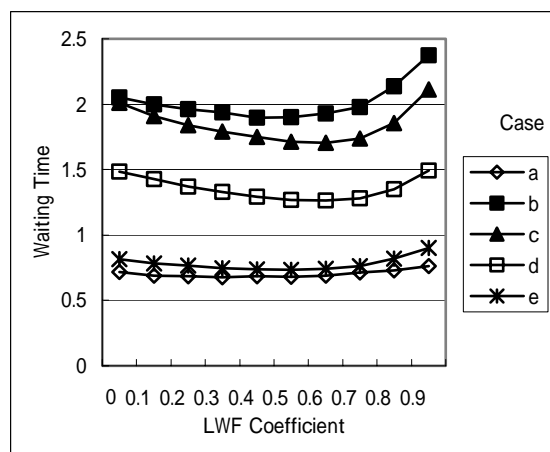


Fig11. Waiting Time with Modified LWF Method

ない。場合によっては、MAXWAIT 法のほうが待ち時間が短い場合もある。これは、次のように考えることができる。時間単位にあるコンテンツ要求の発生期待値が一定とすると、待ち時間の総和は待ち時間の自乗に比例する。総和がある値となったらコンテンツが出力されると考えると、結局コンテンツの平均出力間隔は単位時間あたりのコンテンツ要求率の平方根に比例することになる。つまり、コンテンツ配分係数 =0.5 ということになるので、チャンネル数=1、コンテンツ要求数=1 の場合は最適であることがわかる。しかし、3.2 節で検討したように、複数チャンネル、複数コンテンツ要求の場合は、の値が変化する。そのため、修正型 LWF 法として次の補正を行う。

コンテンツ要求待ち時間の総和を SUMWAIT、コンテンツ要求総数を REQ、LWF 係数を、比較値を MLWF とする。

$$MLWF = \frac{SUMWAIT}{REQ^p}$$

MLWF を最大にするコンテンツを選択する。どのようなが良いか試算したのが図 11 である。(チャンネル数は 5、コンテンツ数は 40 とする。) =1 の場合 LWF 法と同じである。その結果、同時要求コンテンツ要求数が多くなれば、の値をある程度大きくすれば LWF 法を改善できることがわかる。

4. 既存研究との関係

多くのコンテンツを繰り返し放送し、受信者は放送されるコンテンツのなかから、必要なコンテンツを受け取る。このコンテンツ受信までの平均待ち時間を抑えるため、コンテンツの要求率との関係に着目し、これを整理したのが Wong らによる Broadcast Delivery[2]である。この研究により、基本的な放送コンテンツ配分方式や、コンテンツ要求を受け付け、出力するコンテンツを決定する方式が比較検討されている。これを発展させ、コンテンツのグループ化により、管理や計算を容易とする方式は Zdonik, Franklin, Acharya らによる Broadcast Disks[4]である。彼らはこの研究の発展形として一時的に受信装置に情報を蓄えるキャッシュ機能を設けた場合についても研究している。キャッシュについてはデータの参照頻度や参照時間などをキーとした入替法についていろいろと提案されている[5],[6]。その他、計算を簡単にする方法については、Vaidya らの研究[7]があり、筆者も計算を簡単にする提案を行なった。これらの研究は、比較的コンテンツの数が多く目的とするコンテンツはひとつで、コンテンツ受信時間そのものは短い環境を想定している。本研究では、ビデオなどコンテンツの読み込みや出力に長時間を想定している。用途から、コンテンツ数は少なく、許容される待ち時間はひとつのコンテンツを放送する時間を基準とすると短いと考えるべきである。

複数のチャンネルでストリームデータを受信し、固定ディスクに保存して、必要な時点で必要なデータを出力すると観点としては Paris らの研究[8]がある。これはもっぱら長時間番組の最初から視聴するための待ち時間を小さくするにはどうしたら良いかという目的で記述されている。

5. まとめと今後の課題

ここまでの検討では、コンテンツの出力時間と入力時間はすべて同じという単純な例のみで検討してきた。実際には入力時間も出力時間もコンテンツにより異なる。同じ出力時間のコンテンツ同士でも入力に要する時間は異なる。時間が相違した場合のスケジューリングへの拡張を検討する必要がある。また、同時要求コンテンツ数により、最適値をとる係数が変わってくる。事前にコンテンツ要求の状況など把握することが一般に困難で

あると考えられるので、実用に適用するにはどうすれば良いかなど、検討の余地がある。

参考文献

- [1] D.E. Knuth, "The Art of Computer Programming Vol. 3, Sorting and Searching Second Edition", Addison Wesley, 1998
- [2] J. W. Wong, "Broadcast Delivery", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No.12, December 1988
- [3] 青野正宏, 田窪昭夫, 渡辺尚, 水野忠則, "データ放送におけるスケジュール決定法「二重循環法」の提案と評価", 情報処理学会論文誌 Vol.39 No.3 pp.1267-1275, (1999年3月)
- [4] S. Acharya, M. Franklin, S. Zdonik, "Dissemination-based Data Delivery Using broadcast Disks", IEEE Personal communications Vol. 12, No6, December 1995
- [5] E. J. O'Neil, P. E. O'Neil, G. Weikum, "The LRU-K Page Replacement Algorithm For Database Disk Buffering", Proc. ACM SIGMOD Conference, pp.297-306, 1993
- [6] V. Liberatore, "Broadcast Disk Paging with a small Cache", DIMACS Technical Report 98-36, September 1998
- [7] N. H. Vaidya, S. Hameed, "Scheduling Data Broadcast in Asymmetric Communication Environments", Texas A&M University Technical Report 96-022, November 1996
- [8] J.-F. Paris, S. W. Carter and D. D. E. Long: "Efficient Broadcasting Protocols for Video on Demand," in Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '98), pp. 127-132 (1998).