

## RAID 型放送システムの提案

青野 正 宏<sup>†</sup> 辻 順 一 郎<sup>††</sup>  
渡 辺 尚<sup>†††</sup> 水 野 忠 則<sup>†††</sup>

放送においては、再送要求方式を用いて信頼性を上げるのは難しい。前方向誤り訂正方式も長期間のバーストエラーに対して不十分である。そのため、目的情報の聴取に失敗した場合は、再度同じ情報が放送されるのを待つのが一般的である。本論文で多重チャンネルを使用し、チャンネルを切り替えながら聴取することにより、信頼性を上げるスケジュール手法を提案する。障害をランダム障害、全チャンネルに共通な時間障害、チャンネル固有の障害に分類し、それぞれの誤りが全体に対して致命傷とならないようデータの配置を分散させるものである。これはちょうど磁気ディスクにおける RAID に相当する方式である。本論文では、考えられるスケジュール方式を提示し、複数チャンネル利用可能性の有無、誤り発生特性、待ちの許容性などの環境条件から、各方式の利害得失を論じる。次いで、端末の電力消費削減の観点も含めて待ち時間を小さくするスケジュール方式について考察する。

### A Proposal of RAID Type Broadcast System

MASAHIRO AONO,<sup>†</sup> JUNICHIROU TSUJI,<sup>††</sup> TAKASHI WATANABE<sup>†††</sup>  
and TADANORI MIZUNO<sup>†††</sup>

It is difficult to improve the reliability of the communication by automatic repeat request method in broadcast system. And also the forward error correcting method is insufficient to errors as the long-range burst error. Therefore, if a terminal fails to receive the information to be requested, it must wait for the re-broadcasting of the same information. In this paper, we propose a scheduling technique which the data server uses multi-channels to improve the reliability. It outputs a set of data through various channels in order. Errors that occur in broadcasting are classified into three errors as the random error, the temporary error which is common to all the channels and the channel error. For these errors do not cause the larger communication error, data are arranged in the dispersion on each channel and in each time. This technique is equivalent to RAID at the magnetic disk. This paper shows various scheduling techniques. Also, we consider about a scheduling technique that makes waiting time small while it controls the electric power consumption of terminals.

#### 1. はじめに

昨今の移动通信の発展により、移動中のユーザが携帯可能な情報端末（モバイル端末）を持ち歩いてどこからでも通信ができる時代となってきた。どこからでも通信できるためには基本的に無線で通信できなければならない。無線は同時に複数の端末で同じ情報を受信するのに適している。

モバイル端末に情報提供を行う 1 つの方法として、データ放送がある。放送局は端末に対して定期的

にデータを放送する。モバイル端末は放送されるデータを受信し、その端末に必要な情報のみを選択する。あるいは端末のローカルファイルに格納し、モバイル端末を持つユーザの要求に応じて求める最新データを表示する。いわば空中にデータベースを持つ考え方である。これにより、無線の帯域と情報提供側の負荷を節約することが可能となる。このような考え方は、無線教室<sup>1)</sup>、旅行案内システム<sup>2)</sup>、FM 波を用いた文字放送システムがあげられる。

しかし、無線通信の場合、有線通信に比べて信号の誤り確率が高い。かつ、放送の場合は再送方式の採用はかなり難しい。端末から送信局に対する上りの通信路を確保せねばならず、放送型の利点である一方的放送による簡便化と帯域の節約という目的を損ねる。また、多数の受信局のうち、一部の受信失敗局のためだけに再送することは、全体の放送の効率を落とし、ス

<sup>†</sup> 三菱電機

Mitsubishi Electric Corporation

<sup>††</sup> 通信・放送機構

Telecommunications Advancement Organization of Japan

<sup>†††</sup> 静岡大学

Shizuoka University

スケジュールを狂わせることになる。

そのため、データ放送においては、送信局は同じ種類の情報を繰り返し放送し、放送内容を正しく受信できなかった端末は、再放送されるまで待つて目的とする情報を得る手法が一般的である。しかし、これでは待ち時間が長くなる。その対策として、本論文は信頼性のあるデータ放送スケジュール方式を提案する。

機器やデータの信頼性を上げる方法として、冗長化が一般的な手法である。通信の場合においても、復元可能なコードを付加して送信する前方向誤り訂正方式 (FEC: Forward Error Correcting) や再放送まで待つ手法は時間的冗長度による信頼性向上ということがいえる。機器の多重化による信頼性向上策として、各種ダイバーシティ手法があるが、そのうち、周波数ダイバーシティは帯域を浪費するためと、シャドウイングなどでは、周波数を多重に使用しても同時に全周波数が無効となることが多いため、一般に採用されない。

本論文で提案する手法は、複数周波数 (チャネル) を用いて複数の情報を並列に放送する環境において、周波数浪費を軽減しつつ放送の信頼性を上げ、再放送待ちを軽減する。通信障害を、個々の通信チャネルのランダム誤り、チャネルに共通な時間的誤り、チャネル固有のバースト誤りに分け、時間誤り、チャネル固有誤りを、放送の組合せ変更により、全体としての障害を軽減するものとした。

そのため、磁気ディスクの効率的な冗長化手法である RAID (Redundant Arrays of Independent Disks) に準じた手法を放送に適用する。なお、本論文では端末でデータを受信することを、ラジオの放送受信になぞらえて以後「聴取する」と表現する。また、本論文では、送信局の放送スケジュールは端末で既知であることを前提とした。図 1 に RAID 型放送システムの構成概念を示す。

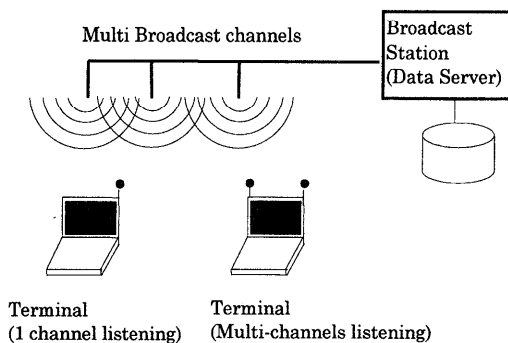


図 1 RAID 型放送システム

Fig. 1 RAID type broadcast system.

## 2. 関連研究

データを定期的に繰り返し放送し、それをデータベースとする研究は DataCycle<sup>3)</sup>などに見られる。Imielinski ら<sup>4)</sup>は、データ放送のスケジュールについて、モバイル端末のバッテリー節約の観点から研究を行っている。これは、端末が放送を聴取する時間をできる限り短くして、不要な情報が放送されている時間は休眠モードとできるように、放送スケジュールにインデックスをいかに付すかという点について検討したものである。

Franklin ら<sup>5)</sup>、Vaidya ら<sup>6)</sup>による研究では、一連のデータ放送の 1 周期をディスクと見立てて Broadcast Disks と名づけ、複数周期の放送スケジュール組合せにより、端末が目的とするデータを得るまでの時間をいかにして短くするかという観点から研究を行っている。その研究では主として、端末のメモリは必要とする情報量に比べてきわめて限られ、そのメモリにいかんデータをキャッシュすれば効率的であるかという点に主題がおかれている。データの信頼性については触れられていない。本論文での提案は、通信障害があってもなるべく 1 回の受信で目的情報を受信できる方式の検討に力点をおいた。

Bestavros<sup>7)</sup>は Broadcast Disks に立脚し、再送が許されないリアルタイム向け放送としてデータブロックを拡散して冗長度を増し、データの信頼性を上げるということについて研究を行っている。ここでは、冗長度の方向は時間軸に沿うのみである。チャネル障害については触れられていない。本論文ではマルチチャネルの観点からチャネル障害についても検討した点が異なる。

複数のチャネルに異なる情報を流し、端末が必要な情報を選択するアイデアについては、Imielinski ら<sup>8)</sup>が述べている。しかし、それは情報選択のインデックスの観点からしか述べられていない。我々の研究はマルチチャネルの観点から、総合的なトレードオフについて検討する。

Jain ら<sup>9)</sup>が、多重放送に磁気ディスクの RAID の名称を用いている点は、本論文に先行する。しかし、信頼性については単にチャネルの多重化や FEC の概念を述べているにすぎず、本論文で提案しているチャネル障害と時間障害の双方に耐えられる方策など、体系的な信頼性向上策については触れていない。

## 3. 放送方式

一般にモバイル端末に複数のチャネルを同時に聴

取できる機能を持たせることは経済的でない。一時点に1チャンネルのみを聴取し、必要に応じチャンネルを切り換えるのが適当である。放送されるデータはページ単位とし、ページを1つの情報の単位とする。ページの大きさはすべて等しいものとする。放送データはページ単位でブロック符号、畳込み符号などの手法により、信頼性が上げられているものとする。それらの手段によってもデータの復元ができない場合は、そのページが異常であることを端末が検出できるものとする。この前提で、既存のデータ放送の各方式と提案する RAID 型スケジュール方式について、信頼性と通信効率を検討する。

以下のパラメータを想定する。

- $F_{ij}$ : 方式  $i$  を用いたとき,  $j$  回の聴取を行っても, 単位区間の対象データの受信に失敗する確率である。
- $F_c$ : そのチャンネル特有の障害の発生確率である。送受信機の障害, フェージングなどにより, 補正不能な長期間の障害などをチャンネル特有の障害とする。
- $F_t$ : ページ受信単位時間帯における全チャンネルに共通の原因で障害となる確率とする。
- $F_r$ : あるページで他のチャンネルや時間帯と無関係に発生するランダム誤りの確率とする。
- $n$ : 評価の対象とする一連の総ページ数である。
- $m$ : 補正を行う場合, 補正の単位とするページ数である。  $m$  ページに1ページのパリティページを加えて補正する。
- $\alpha$ : チャンネル切換え時間とする。1ページ放送に対する比で示す。
- $b$ : 本論文では複数のページから障害となったページのデータを復元する方式, または同じページデータの再聴取により復元する方法を提案しているが, ページをまたがりバーストエラーが発生すると, 同時に複数のページが障害となる。そのため, インタリーブ方式により, 復元のためのページのグループ化の対象または, 同一内容のページの配置を  $b$  ページおきとする必要がある。起こりうるバーストエラーの長さが  $b-1$  ページ以下となるよう  $b$  を定めるものとする。たとえば, バーストエラーの長さが1ページ以下であれば  $b=2$  とする。

なお,  $R_{ij} = 1 - F_{ij}$ ,  $R_c = 1 - F_c$ ,  $R_t = 1 - F_t$ ,  $R_r = 1 - F_r$  とする。各ページが正しく聴取できるか否かの信頼性の要素は  $R_c$ ,  $R_t$ ,  $R_r$  の3つから成るものとする。

### (1) 無補正方式 (方式0)

特に補正を行わない。たとえば, 気象画像などのイメージデータを放送する場合, データの欠落は致命傷とならないので, 一定以上の信頼性があれば無補正でもかまわない。また, 放送周期が短ければ再放送まで待つことを許容できる場合もある。

### (2) 1チャンネル補正方式 (方式1)

時間的冗長を加え,  $m$  ページに1つのパリティページを加える FEC 方式である。通信効率  $m/(m+1)$  となる。チャンネル障害が無視できるなら, この方式で信頼性を保つことができる。バーストエラーに備えてインタリーブ方式の採用が必要である。

### (3) 2チャンネル交錯方式 (方式2および3)

方式1は, チャンネル障害を無視できる場合は, 有効で効率的であるが, チャンネル障害を無視できない場合には, 再聴取を行っても失敗する確率が高くなる。そのため, 図2に示すように AB 2つの相互に関連度が低い放送チャンネルを使用し, 両方のチャンネルで同じ長さの異なる一連の情報を放送する。次回の放送に同じ種類の情報を放送する場合, チャンネル間で放送データの内容を交換して放送する。この方式は1回目の聴取に対する信頼性を確保する手法でなく, 最悪の事態を回避するための手法である。これにより, チャンネル障害があっても別のチャンネルで再放送されるため, 2回目の聴取で正常に目的データを取得できる確率は高まる。無補正方式に対応する方式2と, 1チャンネル補正を行いさらに交錯を行う方式3が考えられる。転送効率は1 (方式2),  $m/(m+1)$  (方式3) である。端末は, 並行して流される情報のいずれか一方のみ聴取すればよいことが前提となる。別の観点から見れば, これらの方法は一連の放送データを周期を半分ずらして放送していることにもなる。複数のチャンネルが確保できる場合で, クライアントの目的データ受信をできるだけ短くしたい場合やチャンネルの信頼性があまり高くない場合に有効な方法である。ただし, 後述の方式5や6とは異なり, チャンネルエラーが発生すれば別のチャンネルでの再放送まで待たなければならない。

### (4) 2チャンネル同種並列方式 (方式4)

2チャンネルの放送が可能であるが, 一連の放送情報のすべてを聴取しなければならない場合がある。このような状況における高信頼性放送スケジュールとして,



図2 2チャンネル交換方式 (方式2および3)

Fig. 2 Data exchange method (Method 2, 3).

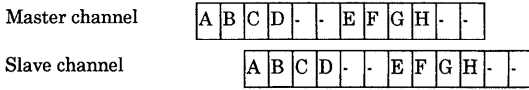


図3 2チャンネル同種並列方式(方式4)

Fig. 3 Semi-parallel output method (Method 4).

サーバは、正チャンネルにデータを出力し、 $b$  ページ出力時間に相当する時間差をおいて、同じ情報を副チャンネルに流す。端末は、正チャンネルを聴取し、あるページの聴取に失敗すれば、副チャンネルに切り換える。副チャンネルでは、遅れて同じデータを出力しているため、回復を図ることが可能となる。これは同じデータを複数持つという意味で、磁気ディスクにおける RAID1 に相当する。ただし、このままでは1回の聴取ミスしか許されないことになるので、 $m$  ページ放送することに  $b$  ページのダミーページを置いて、副チャンネルから正チャンネルに戻す機会を与えるものとする。この例を図3に示す。通信効率は  $m / (2 \cdot (m + b))$  となる。

出力情報が障害を含むリアルタイムデータの場合、パリティページを設ける方式はパリティページを読まないと、補正対象のすべてのデータが受信側で処理できない。処理の遅延が許されない場合は、それらの方式は採用できない。方式4は大きな遅延が許されずデータの欠損も避けたい場合に有効な方式である。

(5) マルチチャンネル補正放送方式(方式5)

前述した方式3は、同時に2式のデータを放送し、そのいずれかまたは両方を聴取する方法であるが、1回目の聴取の成功率は1チャンネルのみの方式と変わらない。方式3よりも通信効率を高め、1回目の聴取の成功率を高める方法として、3つ以上のチャンネル数と放送データ数が存在することを前提に RAID4 に相当するマルチチャンネル放送スケジュール方式を提案する。 $(m + 1)$  チャンネルの放送チャンネルが確保可能として、 $(m + 1)$  種類の情報データを並行して流す。端末はそのなかから必要な1種類の情報を聴取する。 $m$  ページに対して1ページの補正用パリティページを設ける。ある一連の情報については、パリティページも加えて、 $b$  ページを単位にして放送/聴取チャンネルを順次切り換えていく。

図4に  $m = 4$  の場合の配置例を示す。図4において、英字+数字は転送するページであり、英字+Pはパリティページである。図4のように配置することにより、あるチャンネルまたは時間帯に共通する障害が発生しても他のデータで補正することが可能となり、再放送まで待たなければならない確率が減少する(図4では分かりやすくするため  $b = 1$  としているが、実際

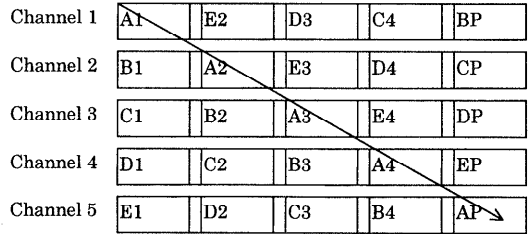


図4 マルチチャンネル補正方式(方式5)

Fig. 4 Multi-channels recover output method (Method 5).

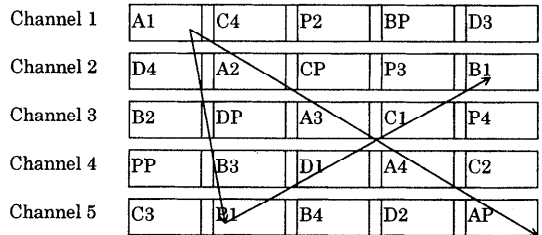


図5 マルチチャンネル分散配置方式(方式6)

Fig. 5 Multi-channels dispersion method (Method 6).

にはバーストエラーに対処するため  $b > 1$  が必要である。後述する図5も同様である)。単位通信効率は  $m / ((m + 1)(b + \alpha))$  となる。

(6) マルチチャンネル分散配置方式(方式6)

方式5の配列で、同時に必要とするデータが重ならないようにできるのは、一次元的にデータを分類する場合に限られる。しかし、2次元の情報を放送する場合、行の一連の情報を聴取したい端末と列の一連の情報を聴取したい端末とに分かれることがある。たとえば、地域別のすべての情報を聴取したい場合と、天気予報、交通情報といった全地域の種類別情報を聴取したいといった場合である。

RAID4 相当に放送スケジュールを設定配列すると、行または列のいずれかを犠牲としなければならない。たとえば、行中心に聴取することを優先すると同じ列の情報が同時に放送されるので、一連の列の情報を聴取したい端末は聞き逃すことになる。したがって、再度同じ情報が放送されるまで待たなければならない。それを緩和するため、RAID5 に相当するスケジュール方式を提案する。配置の方法として、チャンネル別、時間帯別にどの系列をとっても、1つの系列に同じ種類の行、列の情報が複数含まないように配置し、行列に対するパリティページを分散して送信する。5チャンネルの例を図5に示す。

図5において P+数字は同じ数字のページの合計パ

リティであり、PPは聴取する必要がないダミーページである。他は図4と同様の意味を示している。この配置により行または列を、順次チャンネルを変えながら聴取することが可能となり、かつ1つのチャンネルまたは時間帯の障害に対する耐性を持つこととなる。放送するチャンネル数が奇数の場合は、同一チャンネルと時間帯に同一行、列のアイテムを配置しない方法をとることができるが、偶数チャンネルの場合は不可能であり、1チャンネル分のダミーのページが必要になる。このため、ダミーページには行列のデータとは異なり、同時聴取の必要性が低い1次元的情報を配置するなどの工夫をこらす必要がある。

2次元データベースを一式の行と列に配置できない場合は、時間列上に順次配置する。データベースの行または列を(奇数のチャンネル数-1)で割って余りがでない最も効率が良い場合で、通信効率率は $m^2 / ((m+1)(1+\alpha))^2$ となる。RAID5に対応するこの方式はチャンネル数が少ない場合は通信効率が悪く、行と列の双方から聴取できるようにする効果が生きてこないが、同時に利用するチャンネル数が多くなれば、通信効率の差もRAID4に比べて小さくなるので、有効なスケジュール決定方法となる。なお、聴取成功率は $m$ の値に対してRAID4と同じとなる。

なお、通信効率を上げるためにはページの情報を大きくし、相対的に $\alpha$ の値を小さくする必要がある。1つのタプルの情報量が少なく行や列の数が多い2次元データベースを方式6で放送する場合は、複数の行や列をまとめて、1つのページに大きな情報を含めるような設計が必要である。

#### 4. 各方式比較

付録に各方式における聴取失敗率の算式を示す。

##### (1) 信頼性と通信効率

信頼性と通信効率はトレードオフの関係にある。図6は方式4において $F_t = F_r = 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ とそれぞれの場合において、 $F_c = 10^{-4}$ 、 $b = 2$ 、 $n = 128$ とおき、 $m$ の値を変化させた場合の聴取失敗率と通信効率との関係を示す図である。 $b = 2$ とおいた理由はバーストエラーへの対処とスレーブチャンネルからマスターチャンネルへの切り戻しの余裕を与えるためである。目標信頼性と通信効率の関係を示すために $F_t$ 、 $F_r$ がいくつかの値をとるケースについて示した。他のパラメータについては、本特性への影響が小さいため代表的な値を選んで固定値とした。図6において、信頼性が低いと $m$ の値を小さくせざるをえないが、信頼性が高ければ通信効率が高まるよう $m$ の値を大きくと

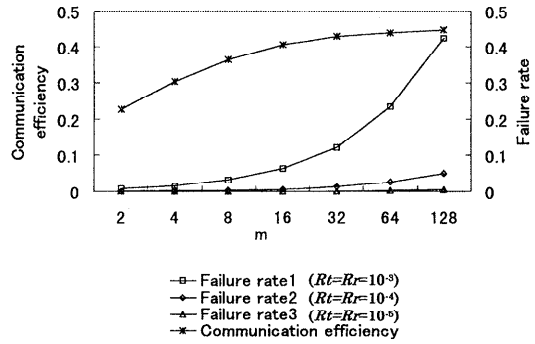


図6 転送効率と障害率との関係

Fig. 6 Relation between communication efficiency and failure rate.

ることが可能である。

##### (2) 連続データ聴取

一連の連続するページをまとめて聴取する場合の各方式の通信効率と聴取失敗率を比較する(方式6は取得失敗率が方式5と同じとなるため、省略する)。その場合のページ群は周期のすべてまたは、一部の区間のいずれでもよい。

時間的障害やランダム障害に対するチャンネル障害の比率により、聴取に失敗する確率の振舞いを確認するため、 $n = 40$ 、 $m = 4$ 、 $b = 2$ 、 $\alpha = 0.1$ 、 $F_t = F_r = 10^{-3}$ とした場合の、 $F_c$ の値による1回目の聴取に失敗する確率と、2回連続して失敗する確率の分布を図7と図8に示す。図7、8における凡例 $F_{ij}$ は方式*i*を用いて*j*回の受信を行っても、正しく受信できない確率を示す。後述の図9、10も同様である。各方式の通信効率は、ページ内の冗長度は無視すると、それぞれ方式0、2が100%、方式1、3が80%、方式4は33%、方式5は73%、方式6は58%となる。方式4は失敗率が最も低いが通信効率がきわめて悪い。方式3は通信効率も良く、再聴取の段階まで含めれば、次いで失敗率が低いが、方式2と同様に、1回目の聴取ではチャンネル切替効果がないため失敗率が高い。方式5は、通信効率と失敗率のバランスをとった結果となっている。なお、 $m = 6$ とすると、通信効率は方式0、2が100%、方式1、3は86%、方式4は75%、方式5は78%、方式6は67%となる。まとめの単位が大きくなると通信効率は向上する。しかし、図6において方式4の事例で示したように聴取失敗率は増加する。

##### (3) 部分ページ聴取

次に、端末は関心のある1ページしか聴取しない場合を考察する。聴取失敗率計算において、方式0、2の場合は $n = 1$ とおき、方式1、3、5の場合は $n = m$

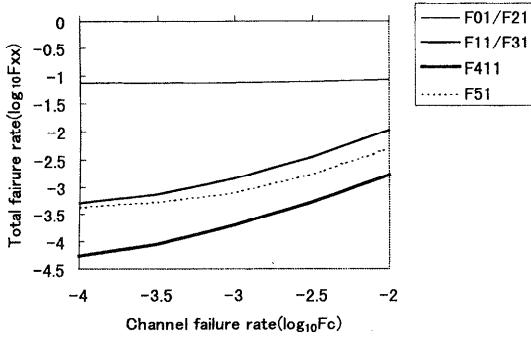


図7 連続受信聴取不成功率 (1回目)

Fig. 7 Continuous page listening failure rate (First listening).

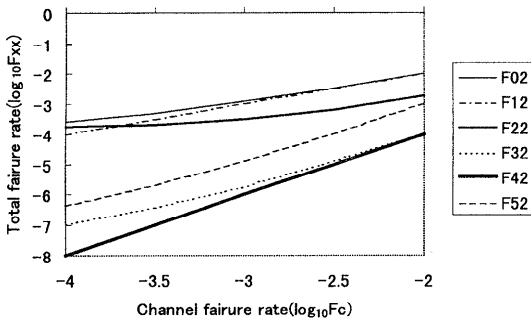


図8 連続受信聴取不成功率 (2回目)

Fig. 8 Continuous page listening failure rate (Second listening).

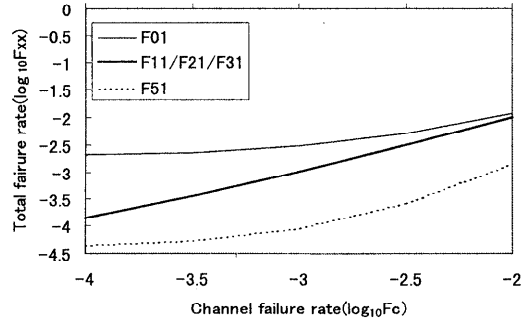


図9 1ページ聴取失敗率 (1回目)

Fig. 9 One page listening failure rate (First listening).

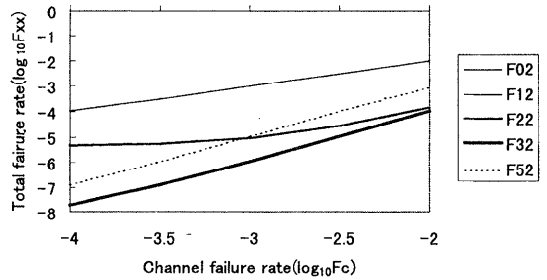


図10 1ページ聴取失敗率

Fig. 10 One page listening failure rate (Second listening).

とおけば1ページの聴取成功率となる。なお、方式4は、特定ページ聴取のためには方式2, 3と比べて利点はないので比較の対象外とする。図7, 8と同じ条件の場合、1回目と2回目の聴取失敗率を図9と図10に示す。方式0と1は、ほとんど失敗率がチャンネルエラー率に等しくなり、図では区別できない。他は連続ページ聴取の場合と同じ順だが、各々の差は大きくなる。

2回目の聴取の段階では方式2, 3が有利な場合もあるが、一般にチャンネルを複数確保でき、放送する情報の種類もチャンネルに応じて存在するならば、方式5, 6が有利であることが示された。

### 5. 目的とするページ聴取までの待ち時間と回数

データ放送のスケジュール決定上の課題に、目的とするデータ受信までの待ち時間とバッテリー節約のため実聴取時間(聴取回数)の抑制がある。部分ページ聴取を前提に検討する。一般に、ユーザの各ページの聴取率は一様ではない。ユーザの関心の高いページに

ついては聴取の頻度が高いし、他のページは相対的に低くなる。ユーザの関心の高い情報は放送頻度を高めれば全体として聴取までの時間が短くなる。これはBroadcast Disks<sup>5)</sup>やVaidyaら<sup>6)</sup>の提案などにおいて、放送の周期が異なるいくつかのスケジュールを組み合わせる考え方である。我々もこの考え方に立脚し、以下の検討を行う。

方式1, 3, 5の場合は目的とするページの聴取失敗に備えて、補正計算対象の最初のページから読む必要がある。無作為に配列すると同一補正組内連続聴取の場合を除いて1ページあたり平均して、 $(m+1)/2$ 回の聴取が必要となる。これは、端末のバッテリー消費に悪影響を与える。ここできわめて簡単な放送スケジュールを仮定する。聴取頻度が50%の情報A1, 10%の情報B1, B2, 5%の情報C1~C6があるとする。これは整数比で近似させると、放送頻度配分平方根の法則<sup>6)</sup>を適用してA, B, C各々の周期を4, 8, 12とするのが適切となる。 $m=4$ とする。パリティページを最後に、その他のページを無作為に配列する場合、平均聴取回数は補正対象の各組の、1~4番目の平均となるから2.5である。

これに対して、とるべき戦略は主として3つ考えられる。1つは、聴取頻度が高い順に各補正対象の組の

A	B1	C1	C2	P	A	B2	C3	C4	P	A	B1	C5	C6	P
---	----	----	----	---	---	----	----	----	---	---	----	----	----	---

図 11a 最小聴取回数戦略 1

Fig. 11a Strategy 1 for minimum listening times.

B1	C1	C2	A	P	B2	C3	C4	A	P	B1	C5	C6	A	P
----	----	----	---	---	----	----	----	---	---	----	----	----	---	---

図 11b 最小聴取回数戦略 2

Fig. 11b Strategy 2 for minimum listening times.

先頭から配列する戦略である (図 11 a)。この場合、聴取回数は加重平均で  $(1 \times 0.5 + 2 \times 0.1 + 3 \times 0.05 + 4 \times 0.05) / 0.7 = 1.5$  回となり、無作為に配列するより、1 回少なく済む。次は、聴取頻度が最も高い情報を補正対象の組の最後に配列する戦略である (図 11 b)。この A の情報を聴取するとき、先行する当該補正の組内のページは聴取しない。B は組の先頭に配置されるので、聴取に失敗しない限り補正のために組の他のページを聴く必要はない。C は周期が長いので、聴取に失敗すると長く待たなければならないので、補正の組情報を聴くものとする。この戦略では、平均聴取回数は  $(1 \times 0.5 + 1 \times 0.1 + 2 \times 0.05 + 2 \times 0.05) / 0.7 = 1.2$  に減る。その代わりに、A の情報の聴取に失敗した場合は A の次の周期まで待たなければならない。また第 3 の戦略として、方式 0 を採用すれば聴取回数は 1 で済む。なお、この平均聴取回数はいずれも次の放送で再聴取をしない場合の回数である。これらの戦略はバッテリー節約のため、聴取回数を減らすのを重視するか、情報聴取のための待ち時間増大リスク回避を重視するかのトレードオフとなる。これは聴取頻度の大きい情報の周期によっても選択の判断は変わってくるであろう。図 11 の例 A は他に放送データがないにもかかわらず 4 ページ分だけ待たばよいが、この補正単位のページの組の間に多くの他の情報があれば、長く待たされることになる。

## 6. まとめ

無線通信は有線通信と異なり、回線に冗長性があっても、必ずしも有効に作用するとは限らない。なぜなら、無線環境においては、各回線が同時に障害を起こす可能性が有線環境に比べてきわめて高いからである。本論文において、時間的冗長性とチャンネルの冗長性を持った放送スケジュールの信頼性とデータ取得待ち時間および聴取回数について考察し、磁気ディスクにおける RAID1, 4, 5 の方式に準じたマルチチャンネル放送スケジュールの方式について提案した。方式 0 と 1 は、1 チャンネルのみで放送しなければならない場合の方式であり、画像転送のようにデータの完全性を重視

しない場合は方式 0、通信効率よりもなるべく 1 回の放送で受信することを重視する場合は方式 1 が適している。方式 2 と 3 は放送に 2 チャンネルの確保が可能な場合で、チャンネルの信頼性に不安がある場合に有効な方式である。方式 2 と 3 の相違は方式 0 と 1 の相違に準ずる。方式 5 は放送に 3 チャンネル以上確保が可能な場合で、端末の情報受信の興味が多種類に分かれており、複数の情報を並行して放送できるような環境において特徴を発揮する。方式 6 は方式 5 の特殊な場合で、放送される情報が 2 次元に分類できる情報で、端末により聴取する情報がいずれかの次元に分かれるような場合に効果を発する。これら方式 4 を除く提案した方式は、各ページに異常が検出されれば、端末はパリティページを受信するまでデータを蓄積し、パリティページを受信や再送受信により、データを補完するので、リアルタイムでデータを再現しなければならないマルチメディア情報の転送には適しておらず、各方式は、非リアルタイムのデータ放送に適している。一方、方式 4 はリアルタイムデータの転送に適している。

データサーバが複数のチャンネルでいろいろな情報を定期的な放送で提供するような環境において、各ユーザ端末が自己の必要としている情報のみを選択して、確実に早く取得する手段として、複数のチャンネルを順次切り替えながら放送し、聴取する方式の有効性を示した。同時にそのような放送スケジュール設定の場合、考慮しなければならないいくつかの問題と対処策の方向を示した。

## 参考文献

- 1) Katz, R.H.: Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems, *IEEE Personal Communications First Quarter 1994*, Vol.1, No.1 (1994).
- 2) Shekhar, S. and Liu, D.: Genesis and Advanced Traveler Information Systems (ATIS): Killer Applications for Mobile Computing, *MOBIDATA Workshop*, Rutgers University NJ (1994).
- 3) Bowen, T.F., et al.: The Datacycle Architecture, *Comm. ACM*, Vol.35, No12, pp.71-81 (1992).
- 4) Imielinski, T., Viswanathan, S. and Badrinath, B.R.: Energy Efficient Indexing on Air, *Proc. ACM-SIGMOD*, pp.25-36, International Conference on Data Management, Minnesota (1994).
- 5) Franklin, M. and Zdonik, S.: Dissemination-Based Information Systems, *IEEE Data Engi-*

neering Bulletin, Vol.19, No.3 (1996).

- 6) Vaidya, N.H. and Hameed, S.: Scheduling Data Broadcast in Asymmetric Communication Environments, Texas A&M University Technical Report 96-022 (1996).
- 7) Bestavros, A.: AIDA-based Real-Time Fault Tolerant Broadcast Disks, *Proc. IEEE RTAS '96: The Real-Time Technology and Applications Symposium*, Boston MA (1996).
- 8) Imielinski, T. and Badrinath, B.R.: MOBILE WIRELESS COMPUTING, *Comm. ACM*, Vol.37, No.10 (1994).
- 9) Jain, R. and Werth, J.: Airdisks and AirRAID: Modeling and scheduling periodic wireless data broadcast (Extend Abstract), DIMACS Technical Report 95-11, Rutgers University (1995).

## 付 録

本論文で述べた各方式の1回目と2回目の受信失敗率を求める式を以下に示す。 $R_{mtr}$ は計算の導入過程で使用する中間値である。

$$\begin{aligned}
 F_{01} &= 1 - R_{01} = 1 - R_c \cdot R_t^n \cdot R_r^n \\
 F_{02} &= 1 - R_{02} = 1 - R_c(2R_t \cdot R_r - R_t^2 \cdot R_r^2)^n \\
 R_{mtr} &= (m+1)R_t^m R_r^m - m \cdot R_t^{m+1} \cdot R_r^{m+1} \\
 F_{11} &= 1 - R_{11} = 1 - R_c \cdot R_{mtr}^{\frac{n}{m}} \\
 F_{12} &= 1 - R_{12} = 1 - R_c(2R_{mtr} - R_{mtr}^2)^{\frac{n}{m}} \\
 F_{21} &= F_{01} \\
 F_{22} &= 1 - R_{22} = 1 - R_c \cdot R_{02} - 2R_{01}(1 - R_c) \\
 F_{31} &= F_{11} \\
 F_{32} &= 1 - R_{32} \\
 &= 1 - R_c^2(2R_{mtr} - R_{mtr}^2)^{\frac{n}{m}} \\
 &\quad - 2R_c \cdot R_{mtr}^{\frac{n}{m}}(1 - R_c) \\
 F_{41} &= 1 - R_{41} = 1 - R_c^2 \cdot R_{mtr} - 2R_{01}(1 - R_c) \\
 F_{42} &= 1 - R_{42} \\
 &= 1 - R_c^2(4R_{mtr} - 6R_{mtr}^2 + 4R_{mtr}^3 - R_{mtr}^4) \\
 &\quad - 2R_c(1 - R_c)(2R_{mtr} - R_{mtr}^2) \\
 F_{51} &= 1 - R_{51} \\
 &= 1 - R_c^{m+1} R_{mtr}^{\frac{n}{m}} - (m+1)R_c^m \\
 &\quad \cdot R_t^n \cdot R_r^n (1 - R_c) \\
 F_{52} &= 1 - R_{52} \\
 &= 1 - R_c^{m+1}(2R_{mtr} - R_{mtr}^2) - (m+1) \\
 &\quad R_c^m(2R_t^m \cdot R_r^m - R_t^{2m} \cdot R_r^{2m})^{\frac{n}{m}}(1 - R_c)
 \end{aligned}$$

(平成10年8月27日受付)

(平成11年5月7日採録)



青野 正宏 (正会員)

昭和21年生。昭和44年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。航空管制システム等のシステム開発に従事し現在に至る。平成9年静岡大学理工学研究科博士後期課程に社会人学生として入学、在学中。技術士(情報工学部門)。電子情報通信学会会員。



辻 順一郎 (正会員)

昭和30年生。昭和56年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。昭和57年より(財)新世代コンピュータ技術開発機構に出向。推論マシンのウィンドウシステムの研究開発に従事。現在、通信・放送機構新川崎リサーチセンターに勤務。ユーザインタフェースシステム、モバイルマルチメディアシステムの研究に従事。ACM会員。



渡辺 尚 (正会員)

昭和57年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和59年同大学大学院博士前期課程、昭和62年後期課程修了。工学博士。同年徳島大学工学部情報工学科助手。平成2年静岡大学工学部情報知識学科助教授。現在同大学情報学部情報科学科助教授。平成7年文部省在外研究員(カルフォルニア大学アーバイン校)。計算機ネットワーク、分散システム、マルチエージェントシステムに関する研究等に従事。訳書「計算機設計技法」(トッパン)、「コンピュータネットワークとインターネット」(プレンティスホール)等。電子情報通信学会、IEEE会員。



水野 忠則 (正会員)

昭和20年生。昭和43年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。平成5年静岡大学工学部情報知識工学科教授。現情報学部情報科学科教授。工学博士。情報ネットワーク、プロトコル工学、モバイルコンピューティングに関する研究に従事。著書「プロトコル言語」(カットシステム)、「分散システムコンセプトとデザイン」(電気書院)、「MAP/TOPと生産システム」(オーム社)、「分散システム入門」(近代科学社)等。電子情報通信学会、IEEE、ACM会員。