

RAID 型空中データベースの提案

青野 正宏* 渡辺尚** 水野忠則**

三菱電機* 静岡大学**

本稿では、複数のチャネルを用いて一連の複数の情報を並列して、順次チャネルを切り換えながら放送するスケジュールする方式を提案している。無線放送に伴う誤りをランダム誤り、全チャネルに共通する時間的誤り、特定のチャネルに起こるチャネル誤りに分類し、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。本稿では、提案方式も含めて考えられるスケジュール方式を提示し、複数チャネル利用可能性の有無、端末側の条件、誤り発生の特性などの環境条件から、各方式の利害得失を論じた。

RAID Type Database on Air

Masahiro Aono* Takashi Watanabe** Tadanori Mizuno

Mitsubishi Electric Corp.* Shizuoka University**

This paper proposes a schedule technique below. The data server broadcasts information in parallel with the multichannel. A series of information is broadcast while it changes a channel in order. The error which accompanies broadcasting is classified into the random error, the temporal error which is common to all the channels and the channel error. For their each error makes not become the whole error, data are arranged in the dispersion on each channel and in each time. This is the technique which is equivalent to RAID at the magnetic disk. This paper shows various schedule techniques including the proposed technique. Then, we argue about the aptitude of each technique from the multichannel availability, the terminal ability, the characteristic of the error and so on.

1. 概説

昨今の移動通信の発展により、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。本稿では、モバイル端末に情報提供を行うひとつの方法として、データ放送のスケジュール方式を検討した。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、その端末で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。

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。その対策を検討する。

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言える。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、周波数ダイバーシティは帯域を浪費するため、シャドウイングなどにより周波数を多重に使用しても無効となることが多いため、一般に省みられない。

本稿では、複数周波数（チャンネル）を用いて複数の情報を並列して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手法を提案する。通信障害を、個々の通信チャンネルのランダム誤り、チャンネルに共通な時間的誤り、チャンネル固有のバースト誤りに分け、時間誤り、チャンネル固有誤りを、放送の組み合わせ変更により、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ことを検討した。なお、本稿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、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。

2. 関連研究

Imielinski らは、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¹⁾。Zdonik らによる研究では、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み合わせを MultiDisk という名で概念付け、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²⁾。ここでは主として、端末のメモリは必要とする情報量に比べて極めて限られ、そのメモリにいかに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。Bestavros らは 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³⁾。ここでは、冗長度の方向は時間軸に沿うもののみである。チャンネル障害については触れられていない。本稿ではマルチチャンネルの観点からチャンネル障害について検討している。複数のチャン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⁴⁾で述べられている。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ンネルの観点から、総合的なトレードオフについて検討を行った。

3. 放送方式

一般にモバイル端末に複数のチャン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。ある時点では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、ページをひと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ある程度上げられているものとし、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、正常データを聴取できなかったことを端末で検知できるものとする。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。 R_c ：対象データを、単位区間の中で正しく聴取または復元できる確率である。 R_e ：そのチャンネル特有の障害を除いたチャンネル信頼性である。送受信機の障害、フェージングなどによりその聴取区間において、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。 R_t ：その時間帯における全チャンネルが共通の原因で障害となる時間帯障害を除いた確率とする。 R_p ：あるページで他のチャンネルや時間帯と無相関に発生するランダム誤りを除いた確率とする。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_e , R_t の3つから成るものとして検討する。 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で以って補正する。 α ：チャンネル切り換え時間とする。1ページ放送に対する比で示す。 k ：複数のページに1ページのパリティページを設ける方式の場合、ページをまたがりバーストエラーを起こるとパリティの計算ができなくなるので、インターリーブ方式により、パリティ計算の対象のページを k ページおきとする必要がある。ただし、本稿では説明を簡単にするため、ミラー方式の場合を除いてインターリーブ配置を無視するが、インターリーブ配置を行っても以下に説明する各方式の本質は変わらない。

(1) 無補正方式

ページ内の補正を除いて、特に補正を行わない。例えば、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るわけではないので、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十分許容できることもある。

(2) 1チャンネル補正（以後1CH補正と略す。）方式

時間的冗長を加え、 m ページにひとつのパリティページを含める方式である。通信効率は $(m-1)/m$ となる。

(3) 2チャンネル交錯（以後交錯と略す。）方式

1CH補正方式は、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、2つの相互に相関度が低い放送チャンネルを使用し、放送内容を交錯させる方式が考えられる。両方のチャンネルで異なる一連の情報を放送する。次回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、正常に聴取できる確率は高まる。無補正方式に対応する交錯方式と1CH補正を行いさらに交錯を行う方式が考えられる。

(4) 2チャンネル同種並列（以後ミラーと略す。）方式

2チャンネルの放送が可能であるが、一連の放送情報の全てを聴取したい場合は、複数の情報を流すことはできない。また、通信効率が悪くとも確実に情報を聴取したいニーズもある。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、時間差を置いて同じ情報を2つのチャンネルに流し、端末が正規チャンネルにおいてあるページの聴取に失敗すれば、バックアップチャンネルに切り換え、遅れて同じ放送のデータを聴取することにより、回復を図る方式を提案する。これはちょうど磁気ディスクにおける RAID1 に相当し、ミラーディスクに対応する方式となる。必要な時間差は k ページが必要である。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 ページ放送する毎に k ページのダミーページを置いて、バックアップチャンネルから正規チャンネルに戻す機会を与えるものとする。通信効率は $m/2(m+k+\alpha)$ となる。この例を図1に示す。

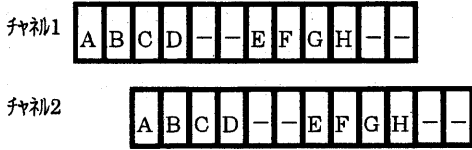


図1 ミラー方式

(5)マルチチャンネル補正放送(多CH補正)方式

前述した交錯方式は、同時に2式のデータを放送し、そのいずれかを聴取する方法であるが、1回目聴取の場合の成功率は1チャンネルのみの方式と変わらない。ミラー方式よりも通信効率を高め、1回目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 ページに1ページの補正用パリティページを設けることにより、通信効率を上げる。ある一連の情報については、パリティページも加えて、1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2に $m=4$ の場合の配置例を示す。図2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。端末は、 m 種類の放送情報から1種類を選択して聴取することを前提とする。図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。なお、通信効率は $m/(m+1)(1+\alpha)$ となる。

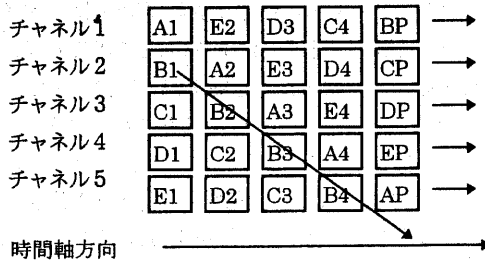


図2 多CH補正方式

4. 各方式比較

(1)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

の聴取成功率を比較する。その場合のページ群は周期の全てまたは一部の区間のいずれでも良い。聴取失敗率は信頼性計算の手法から解析的に求めたが、紙面の都合上割愛する。 $n=40$, $m=4$, $k=2$, $\alpha=0.1$, $R_1=R_2=0.999$ において、 R_0 を変化させた場合の1回目と2回目の聴取に失敗する1チャンネル聴取各方式の確率を図3と図4に示す。ミラー方式の通信効率は33%と悪いが、その失敗率は最も低い。多CH補正方式が通信効率が73%となるが次いで失敗率が低い。交錯方式は、再聴取の段階にならないとチャンネルの切替効果が現れてこない。しかし、関係するチャンネルの数が多CH補正方式より少ないので、再聴取段階における交錯補正あり方式の失敗確率は、多CH補正方式の失敗確率よりも低くなる。

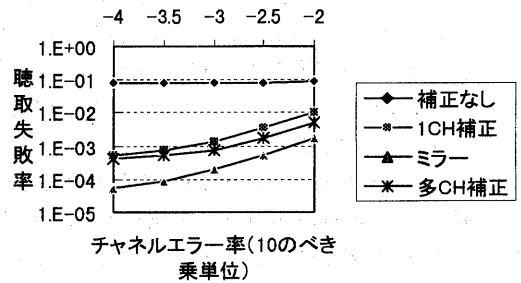


図3 連続ページ1チャンネル聴取失敗率(1回目)

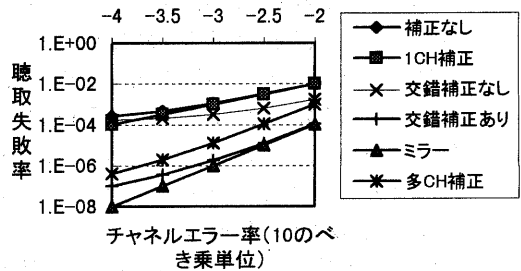


図4 連続ページ1チャンネル聴取失敗率(2回目)

(2)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。なお、ミラー方式は、特定ページ聴取のためには交錯方式と比べて利点はないの

で比較の対象外とする。図3、4と同じ条件の場合、1回目は多CH補正方式、1CH補正方式、無補正の順で聴取失敗率が低くなることは、計算するまでなく明白である。2回目の聴取失敗率を図6に示す。無補正と1CH補正は、ほとんど失敗率がチャンネルエラー率に等しくなる。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。

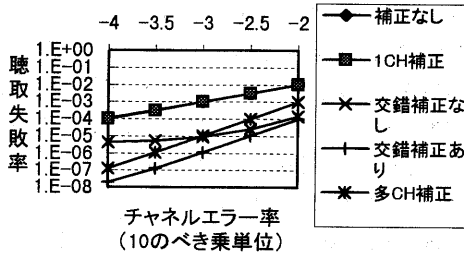


図6 1ページ聴取失敗率 (2回目)

一般に望ましい放送スケジュールの各方式を環境条件別に表1に示す。2回目の聴取の段階では交錯方式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るならば、多CH補正方式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

多CH補正方式において、端末が複数のページを個別に聴取する場合には、放送スケジュールに別の問題が出てくる。同時にひとつのページしか聴取できないとし、同時に聴取したい情報が並行して別のチャンネルから放送されると、一方のページの聴取には次の周期まで待たなければならない。次の周期でもかち合うとなれば、逆にもう一方のページが聴取できなくなる。入手できる情報の鮮度が半分に落ちてしまう。例えば、 $m=4$ とすると1回の補正単位に20ページの情報を放送するが、このうち任意にある2ページを聴取すると仮定すれば、21%は同時放送のため、次の周期まで聴取を待たなければならない。また、63%はいずれかのページの補正を期待することができない。しかし、一般にはユーザにとって興味ある事項は相互に関連性があるの

表1 推奨方式

Table 1 Recommendable Technique

再放送待ち許容性	チャンネル障害無視	複数放送選択性	放送チャンネル数	選択方式
Y	Y	-	-	無補正
Y	N	-	1	無補正*
Y	N	-	2	交錯/無補正
N	Y	-	-	1CH補正
N	N	-	1	1CH補正*
N	N	Y	2	交錯/1CH補正
N	N	N	2	ミラー
N	N	Y	m	多CH補正
N	N	N	m	ミラー**

注 Y:あり/可能 N:なし/不能

*チャンネル障害に対する対処策なし

**2チャンネルで十分

が通常である。関連性の高いページを1つの補正の組に纏めれば、聴取したい情報が同時に重なる確率は低くなる。ジャンル別にまとめれば、同じジャンル内で聴取する情報がまとまる可能性が高い。いかにまとめるかが課題となる。

図3に示した多CH補正方式の配列で、ある程度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、一次的にデータを分類する場合にかぎられる。しかし、リレーショナルデータベースのように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。例えば、地域別の全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。例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、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。放送におけるRAID5の手法は、磁気ディスクの場合と目的が異なるが、分散配置の考え方において類似の方法をとる。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、ひと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7に示す。

図中英字+Pは、英字+1~4のパリティページ、P+数字はA~D+数字に対するパリティページである。PPは聴取する必要がないページである。上記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、かつひと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。

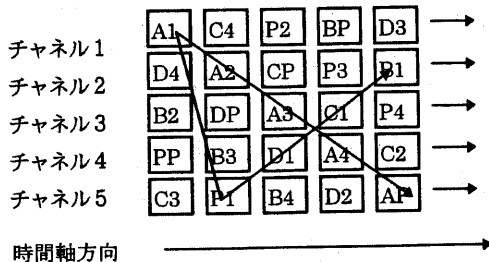


図7 RAID5対応のスケジュール

2次元データベースをひとつの行列に配置できない場合は、チャンネルの行に限界があるため、時間列上に順次配置していくことになる。データベースの行と列を(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、通信効率は $m^2 / ((m+1)(1+\alpha))$ 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良くなく、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の場合と同じとなるので、信頼性の比較などは省略する。

6. まとめ

本稿において、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及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。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、各ユーザー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。

本稿では、補正方式としてもっとも簡単なパリティページを用いる方法を示したが、他の手法を用いても同様に適用できる部分が多い。また、本稿では並列スケジュール方式について基本的な考え方と課題を示したのみである。掘り下げるべき課題は多く残されている。今後はそれらについて研究する予定である。

参考文献

- 1) T. Imielinski, S. Viswanathan, B.R. Badrinath, "Data on Air: Organization and Access", IEEE Transactions in Data and Knowledge Engineering, 1995
- 2) Stan Zdonik, Michael Franklin, Rafael Alonso, Swarup Acharya, "Are 'Disks in the Air' Just Pie in the Sky?" IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, December, 1994
- 3) Azer Bestavros, "AIDA-based Real-Time Fault Tolerant Broadcast Disks", Proceedings of IEEE RTAS'96: The Real-Time Technology and Applications Symposium, Boston MA, June 1996
- 4) T. Imielinski, B.R. Badrinath, "MOBILE WIRELESS COMPUTING", Communications of ACM, Vol37, No.10 September 1994