

## コネクション型とコネクションレス型複合方式による マルチキャスト伝送方式の提案と性能評価

西澤 彩子 高橋 篤史 服部 武

上智大学理工学部電気・電子工学科

〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: {ayako, atsush-t, thattori}@mmc.ee.sophia.ac.jp

あらまし 移動通信におけるマルチキャスト伝送方式として、コネクション型とコネクションレス型複合方式によるマルチキャスト伝送方式を提案する。マルチキャストグループに属する受信機を、確認応答できるコネクション型の受信機 (Co) と確認応答できないコネクションレス型の受信機 (Cls) に分類することで、フィードバックの衝突を完全になくし、不必要な再送を防ぐ。本提案方式について、ランダムエラーチャネルとバーストエラーチャネルにおいて、無限受信バッファを仮定してシステム評価した。また、本提案方式に Co と Cls それぞれ異なる準正常状態を追加し、有限受信バッファを仮定して同様のシステム評価を行った。シミュレーションより、高スループットで短時間伝送を可能にすることがわかった。

キーワード 移動通信、マルチキャスト、SR-ARQ、ギルバート通信路、無線通信

## A Proposal and Evaluation of Wireless Multicast System with Connection and Connectionless Modes

Ayako NISHIZAWA, Atsushi TAKAHASHI, and Takeshi HATTORI

Department of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University

7-1, Kioi-Cho, Chiyoda-Ku, Tokyo, 102-8554

E-mail: {ayako, atsush-t, thattori}@mmc.ee.sophia.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a novel method of wireless multicast communication with mixed modes of connection and connectionless orientation. In this method, a host designates a receiver that communicates with connection mode 'Co'. And other receivers, 'Cls', while the host transmits data frames to the designated receiver, intercept the frames with connectionless mode and store them if there is no error. Thus, the collision of feedback is never caused. The systems of the proposed methods are evaluated on both random error channel and burst error channel with infinite receiver buffer. Then, we add a modulo to the frames and evaluate the systems with finite receiver buffer. The simulation result showed that the total transmission time is shorter and the throughput is higher than that of conventional.

**Key words** Mobile Communication, Multicast, SR-ARQ, Gilbert channel, Wireless

## 1. はじめに

マルチキャストとは多数のコンピュータ宛に同一の情報を配信する技術で、サーバの負荷を軽減し、またネットワークの帯域を効率的に利用することを可能にするため、注目を集めている。マルチキャスト通信においてデータを誤りなく転送するために、再送制御を負荷してパケット単位の信頼性を実現するリライアブルマルチキャストプロトコルが提案[1][2]されている。

移動通信においてリライアブルマルチキャスト伝送を行う際、重要な問題となるのが、再送要求を含めた各受信機からのフィードバックの衝突である。そこで、本論文では、フィードバックの衝突を起こさずに、高信頼かつ従来の方式よりも効率良く通信できる方法を提案し、シミュレーションによりシステム評価を行う。

## 2. 提案マルチキャスト方式

コネクション型とコネクションレス型複合によるマルチキャスト伝送方式を提案する。ソースホストがある特定の端末1台とコネクションを確立して通信しているとき、他の端末はコネクションレスで、送信されているフレームを傍受している。応答を返す端末は常に1台だけであるため、フィードバックの衝突が起こらない。また、コネクションレスの端末は、再送されているフレームも傍受できるので、必要以上の再送がなく、総合伝送時間が短縮され、ネットワークの負荷が軽減される。

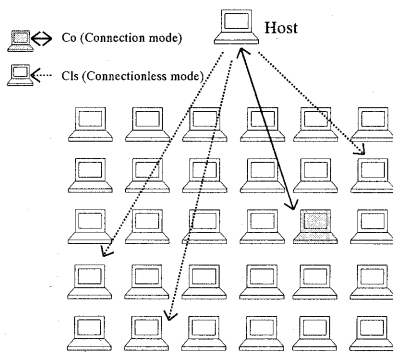


図1 ネットワークモデル

### A. ネットワークの構成

ネットワークモデルを図1に示す。マルチキャストグループの中の1台だけがコネクション型（‘Co’）で1フレームの受信に対しACKかNACKで確認応答をする。その他の端末はコネクションレス型（‘Cls’）で一切応答を行わずに送信データを傍受している。

### B. 通信手順

提案方式は通常モード（Coとの通信）と回復モード（Clsの未受信フレームの再送）から成る。通信手順を以下の通りまとめる。

#### [通常モード]

- (1) Hostは、コネクション型で通信する特定の端末1台を選定する。（これをCoとする。）残りの端末はコネクションレス型に設定される。（これらをClsとする。）
- (2) Hostはマルチキャストフレームを送出する。
- (3) マルチキャストグループに属する全端末は、そのフレームを受信する。
- (4) Coはそのフレームに対する応答をACKかNACKで返す。
- (5) CoからNACKを受信すると、Hostはフレームを再送する。再送方式はSR-ARQ[3]。
- (6) Clsは応答せずに、Hostから送信（再送）されているフレームを傍受する。エラーフレームを受信したら棄却し、そのフレーム番号を管理しておく。
- (7) Coが全フレームの受信を完全に終わったらClsの未受信フレームの回復モードに進む。全てのClsが全フレームを完全に受信できていれば、ここで終了となる。

#### [回復モード]

回復モードでは、現時点でClsが未受信であるフレームを再送する。衝突を起こさない再送方法を2つ提案する。

#### \*Proposed1

ポーリングを用い、各端末と順番にコネクショ

ンを持ち、1:1で再送する。

- (1) Hostは全ての Clsの中から1台を選定(Cls')し、未受信フレームをユニキャストで再送する。
- (2) Cls'はACKとNACKで確認応答する。再送はSR-ARQで行う。
- (3) 残りの Clsは待機しているだけである。
- (4) Cls'が未受信フレームを完全に受信できたら、残りの Clsから再び Cls'を選定し、(1)⋯(3)と同様のことを行う。
- (5) 全ての Clsが未受信フレームを完全に受信できたら通信は終了する。Cls'を選定する順番は、ランダムに決定される。

**\*Proposed2**

Clsの中から新たに Coを選定、CoとCls複合による通信を繰り返す。

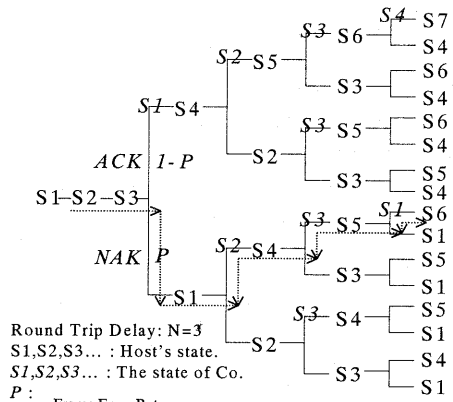
- (1) Hostは全ての Clsの中から1台をコネクション型として選定(Co')し、残りの Clsはコネクションレス型とし、未受信フレームを送出する。
- (2) Co'はACKとNACKで確認応答する。再送はSR-ARQで行う。
- (3) 残りの Clsは応答せずに、Hostからのフレームを傍受している。エラーフレームは棄却し、そのフレーム番号を管理しておく。
- (4) Co'が未受信フレームの完全に受信できたら、残りの Clsから再び Co'を選定し、(1)⋯(3)と同様のことを行う。
- (5) 全ての Clsが未受信フレームを完全に受信できたら通信は終了する。Co'を選定する順番はランダムに決定される。

**C. Tree 構造による状態遷移図**

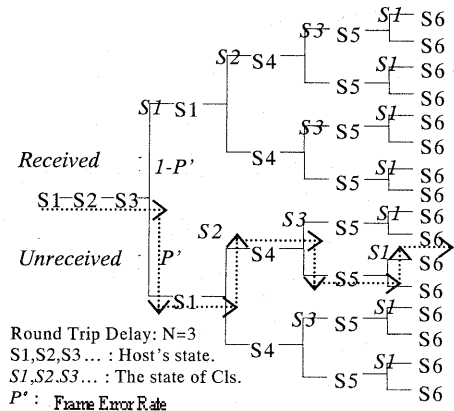
通常モードでの状態遷移をツリー構造であらわす。“S1,S2,S3…”はHostの状態、“S1',S2',S3'…”はCoとClsの状態、PとP'はそれぞれCoとClsのフレーム誤り率、ラウンドトリップ遅延フレーム数は3である。

図2(a)において、ホストの状態がS1, S2, S3, S1, S4, S5, S6, …(Dotted line)のように遷移した時、Clsの状態遷移を描くツリーは、図2(b)のように表わされる。Hostが状態S1で送信したフ

レームを、状態S1でCoやClsが受信し、それがエラーかそうでないかを判断する。PまたはP'の確率で、フレームにエラーが生じ、エラーならばツリーの枝を下へ進む。エラーでなければ枝を上へ進む。



(a) 'Co'の状態遷移



(b) 'Cls'の状態遷移

図2 ツリー構造による状態遷移図

図の例では、最初のS1で送信されたフレームが、S1'でCoによってエラーと判断され、NACKが返され、再送されている。一方、図(b)でも、1つ目の枝で下へ進んでいる。ClsもS1'で受信したフレームがエラーと判断したからである。この

ように Co、Cl<sub>s</sub> ともにエラーであった場合、Cl<sub>s</sub> は応答（再送要求）しなくても、エラーフレームが再送される。従来の方式で起こりうる応答の重複や衝突を回避できている。

図の例では、S1 以外の状態で送信されたフレームは、Co はエラー無く全て受信（図(a)より）できている。一方、Cl<sub>s</sub> は（図(b)より）S3で受信したフレーム（Host が S3 で送信したフレーム）がエラーだったため、Tree の枝を下へ進んでいる。しかし、Host の状態は S5 へと遷移しており、S3 は再送されていない。Co がエラー無く受信し ACK を返していたからである。このように、Co が ACK を返し Cl<sub>s</sub> がエラーであった場合、再送はされない。そのため、Cl<sub>s</sub> の未受信フレームが生じてしまう。

### 3. システム評価

提案したコネクション型とコネクションレス型複合方式がどの程度効率良く通信できるかを従来の方式と比較して考察する。従来の方式とは、各端末が ACK や NACK により応答するものとした。シミュレーション条件を表 1 に示す。

表 1 シミュレーション条件

Conditions	Values
Error Control Scheme	SR-ARQ
Channel model	Random error channel Burst error channel ( $\rho=0.8$ )
Bit rate	2Mbps
Frame length	1000bytes
Number of stations	30
Number of transmission frames	100
Reception buffer	Infinity

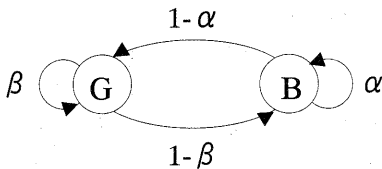


図 3 ギルバート通信路

受信バッファは無限であるとした。通信路にはランダムエラーチャンネルとバーストエラーチャンネルを用いた。バーストエラーチャンネルとしては、

フレーム誤りが 2 状態 Markov 連鎖に従って発生する Gilbert 通信路（図 3）[4] を仮定する。バースト性を表す相関係数  $\rho$  は、

$$\rho = \alpha + \beta - 1 \quad (1)$$

で与えられる。

#### A. スループット

図 4 は、受信機数が 30 台の時のランダムエラーチャンネルでのスループット特性を示している。ただし受信端末の BER は全て同じと仮定している。提案した 2 方式はいずれも従来の方式より高いスループットが得られている。提案した方式は、コネクション型の端末が常に固定された一台であるため、同一フレームに対する NACK の重複による不必要な再送を防げるからである。

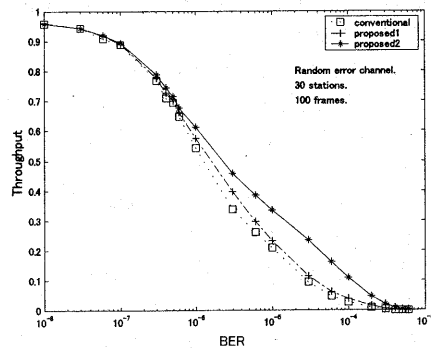


図 4 ランダム誤り通信路でのスループット

ランダムエラーチャンネルでの受信機数とスループットの関係を図 5 に示す。全受信機の BER は  $10^{-4}$  とした。端末数が増加するに従って、スループットは低下した。しかし、Proposed2 は最も低下が小さく、5・6 台以上になるとほぼ一定値となる。5・6 台に再送しているうちに、傍受している他の端末も完全にデータの受信を終えてしまうからだと考えられる。

バーストエラーチャンネルにおいても、同様のスループット特性が得られた。しかし、低 BER ではバーストエラーチャンネル、高 BER ではランダムエラーチャンネルの方が高スループットであった。

そこで、受信機の BER が  $2 \times 10^{-4}$  のときと、 $10^{-6}$  のときの、スループットとバースト性の関係を調べた。ここでは、BER =  $2 \times 10^{-4}$  のときの結果を図 6 に示す。  $\rho$  が大きくなるとスループットは低下した。一方、BER =  $10^{-6}$  のときは上昇した。提案方式はバースト性が高くても高スループットを提供し、バースト性の高い通信路にも強いことがわかった。

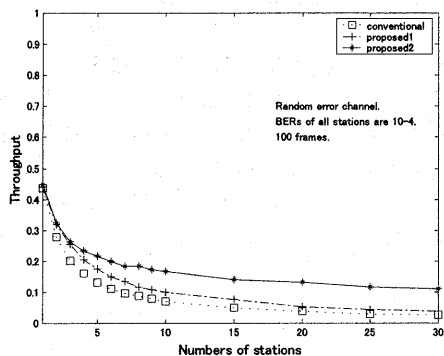


図 5 ランダム誤り通信路での受信機数とスループットの関係

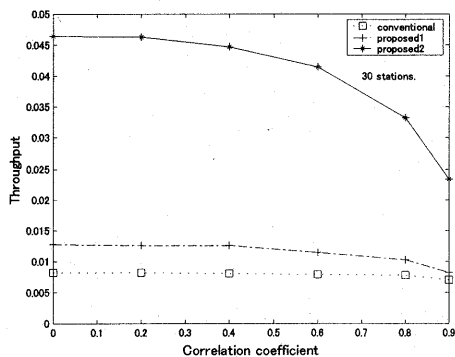


図 6 BER =  $2 \times 10^{-4}$  のときの相関係数  $\rho$  とスループットの関係

## B. 総合伝送時間

ここでは、受信機に異なる BER を与えて、どの端末を  $C_0$  に選定するのが効率良いかを、総合伝送時間をシミュレートして考察する。全 Cls の BER を  $10^{-4}$  とし、 $C_0$  の BER を変えた時のラン

ダムエラーチャネルでの総合伝送時間を図 7 に示す。

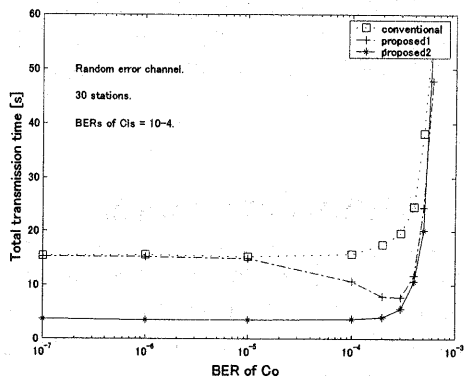


図 7 ランダム誤り通信路での  $C_0$  の BER と総合伝送時間の関係 (Cls の BER は  $10^{-4}$ )

Proposed2 は、 $C_0$  の BER 値にかかわらず、短時間で伝送できている。どの端末を  $C_0$  に設定しても、効率の良さは同じであることがわかった。Proposed1 は、 $C_0$  の BER が小さいときには従来の方式と比較してもほとんど効果が見られないが、 $C_0$  の BER 大きくなるにしたがって伝送時間が短縮されており、特定の BER 値をとったときに、最小値を示している。この点では、 $C_0$  に再送をしているうちに多くの Cls が受信をほぼ終わてしまい、回復モードを必要としなくなり、その結果時間短縮されたと考えられる。バーストエラーチャネルでも同様の結果となった。

Cls の BER を  $10^{-5}$  にして、同様のことを行ったら、図 7 のような差は現れなかった。Cls の BER が小さければ、Cls が再送 (回復モード) を必要としない可能性が高いため、 $C_0$  への伝送 (通常モード) だけで、通信が終了しやすいからである。

この章では、提案した方式について、無限受信バッファという仮定のもとで、システム評価してきた。再送制御に用いた SR-ARQ が、順序関係を正しくするために容量無限の受信バッファを必要とするものだからである。しかし、現実には受

信バッファは有限であるため、オーバーフローを起こす可能性があり、また、フレーム番号付与にも制約があり、本提案方式をこのまま有限バッファに適用することはできない。そこで、提案方式の有限受信バッファへ適用について次の章で述べる。

#### 4. 有限受信バッファへの適用

提案した方式を有限受信バッファシステムに適用するために、準正常状態を提案方式に追加する。Co と Cls が存在するため、それぞれの別の対応を考えなければならない。そこで、次のような対応を考えた。

- Co が最大アウトスタンディングフレームに達したら、ソースホストは新規のフレームの送信を一時的に中断し、Co の最旧未確認フレームを回復させる。
- Cls が最大アウトスタンディングフレームに達したときは、その後に受信した順序関係のわからないフレームを、エラーのあるなしに関わらず、全て棄却する。

(以上を準正常状態とする。)

このようにすることで、提案方式の特徴でもある応答の衝突完全回避が有限バッファでも可能となる。第 2 章で提案した 2 方式 (Proposed1, Proposed2) それぞれに、この処理を追加し、新たに Proposed3, Proposed4 と呼ぶことにする。

\*Proposed1 (無限バッファ)

→Proposed3 (有限バッファ)

\*Proposed2 (無限バッファ)

→Proposed4 (有限バッファ)

※各モードの通信手順は基本的に第 2 章のものと同じで、準正常状態が組み込まれているだけなので、詳細は省略する。

#### A. 再送制御

再送制御は、通常は SR 方式、準正常状態では再送するフレームを順々に繰り返して再送する。Co

の再送制御の例を図 8 に示す。(モジュロ 8)

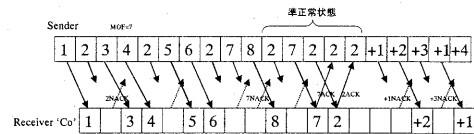


図 8 準正常状態を含む Co の再送制御の例

#### B. コネクションレス型の対応

コネクション型への送信状況が図 8 のようになったときの、Cls の受信状況例と最大アウトスタンディングフレームに達したときの対応を、図 9 に示す。1 が未受信であるとする。すると、その後受信できた+2 と+3 を棄却し、未受信フレームとして扱う。(注：フレーム番号 2、+2 のような SF 識別は実際にはできない。)

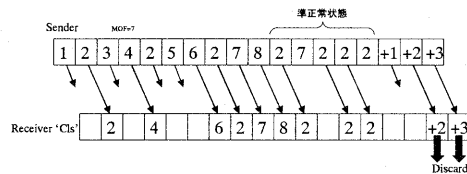


図 9 Cls の再送制御の例

#### C. シミュレーション

有限受信バッファを仮定してシミュレーションを行った。

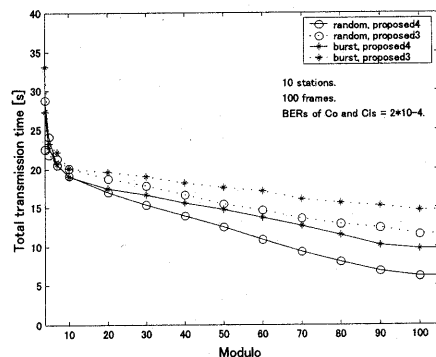


図 10 モジュロと総合伝送時間の関係

モジュロ数と総合伝送時間の関係を図 10 に示

す。受信機数は10台、全て $BER=2 \times 10^{-4}$ とした。

送信フレーム数は100個。

モジュロ数に関わらずランダムエラーチャネルの方が短時間で伝送できている。モジュロが大きいき、Proposed4の方が伝送時間が短いのは、基本がProposed2だからである。モジュロが小さくなると、伝送時間は長くなった。準正常状態となり新規フレームの送信を中断する回数が増えるためであると考えられる。

その他、第3章と同様のシミュレーションを行った。その結果を以下にまとめる。

- ・ モジュロが小さくなるとスループットが低下した。特にProposed3のスループット低下が大きかった。
- ・ 受信機のBERが大きいき、モジュロが小さくなるとProposed4の回復モードでの傍受効果がなくなり、伝送時間が長くなった。
- ・ バースト性の影響は、無限受信バッファのときと同様だった。
- ・ Proposed3はCoがある特定のBERを持つときのみ伝送時間を短縮できたが、モジュロが小さくなるとあまり短縮されなくなった。
- ・ Proposed4はどのBERを持つ端末をCoに選定しても伝送時間は変わらなかった。

本提案方式では、コネクションレス型が、最大アウトスタンディングフレーム到達後に受信できたはずのフレームを棄却してしまう、という点で無駄があるようにも思える。しかし、ここでコネクションレス型がコネクション型と同様に、新規フレームの中断要求を出してしまうと、衝突の問題が起こってしまう。確実に衝突をなくすには、コネクションレス型は応答しない方が良い。

## 5. まとめ

本論文では、無線リライアブルマルチキャスト伝送方式として、コネクション型(Co)とコネクションレス型(Cls)複合方式によるマルチキャスト伝送方式を提案した。無限受信バッファと有限受信バッファを仮定して、ランダムエラーチャ

ネルとバーストエラーチャネル上でシステム評価を行ったところ、総合伝送時間が短縮され、高スループットが得られることがわかった。

## 文献

- [1] Shingo Kinoshita, "A Survey of Reliable Multicasting", Technical report of IEICE.
- [2] Yasuhiko INOUE, et al., "Reliable Multicast Protocol with a Representative Acknowledgment Scheme for Wireless Systems", IEICE Trans. Commun., No.4, Apr., 2001
- [3] Shu Lin, et al., "Automatic-Repeat-Request Error-Control Schemes", IEEE Commun. Mag., No.12, Dec., 1984
- [4] James R. Yee, et al., "Evaluation of the Performance of Error-Correcting Codes on a Gilbert Channel", IEEE Trans. Commun., Vol.43, Aug., 1995