

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 31日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760285

研究課題名（和文）無線ネットワークのための多中継伝送に適した新しい再送制御方式の提案

研究課題名（英文）Proposal of Novel Automatic Repeat Request Scheme applicable to Multihop Transmissions for Wireless Networks

研究代表者

和田 忠浩（WADA TADAHIRO）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：00303529

研究成果の概要（和文）：現在，通信トラフィックの増大に対し，限られた通信資源を有効に利用し，高信頼で高速な通信技術が益々求められている．本課題では，要素技術として再送制御（ARQ）に着目する．はじめに，マルチホップ通信における新しい再送制御方式としてパケット合成に基づく方式ならびに適応中継方式を提案する．さらに，実環境として流星バースト通信に適した再送制御方式として GBi-ARQ 方式を提案し，その性能を評価する．

研究成果の概要（英文）：Nowadays, there is a large demand for new communication systems having high data rate and high reliability using limited resources. In this study, we focus on Automatic Repeat Control techniques. Firstly, new ARQ schemes for multi-hop transmissions based on Packet Combination and Adaptive Relaying are proposed. Next, an ARQ scheme suitable to meteor burst communications, named GBi-ARQ scheme is proposed and evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21年度	1,700,000	510,000	2,210,000
22年度	700,000	210,000	910,000
23年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・ネットワーク工学

キーワード：再送制御、マルチホップ伝送、LDPC 符号、流星バースト通信、GBi-ARQ

1. 研究開始当初の背景

最近の通信トラフィックの増大に対し，限られた通信資源を有効に利用し，高信頼で高速な通信技術が益々求められている．そのための研究が OSI 参照モデルにおけるさまざまなレイヤにおいて盛んに行われており，本研究課題では，要素技術としてリンクレイヤにおける再送制御に着目する．再送制御（ARQ）とは，送信側から伝送されたデータが正しく受

信側に届けることを保証するために必須となる技術で，誤り検出符号や誤り訂正符号と適切に組み合わせることで，その特性がさらに改善する（HARQ）．

本課題では次世代の無線通信技術として大きな着目を集めているマルチホップ伝送（多中継伝送），ならびに実環境として再送制御によって特性に大きな影響を受ける流星バースト通信に着目する．

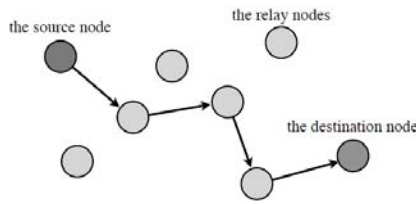


図1 マルチホップ伝送の概要

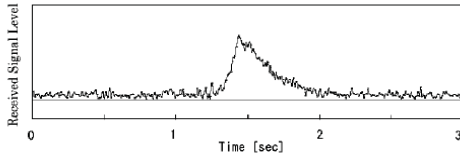


図2 流星バースト通信路の例

マルチホップ伝送とは、図1のように送信端末と受信端末の間にある複数の中継端末を経由して通信を行う技術である。マルチホップ伝送を行うことにより、直接波の届かない端末間の通信や長距離伝送、アドホックなネットワークの実現などが可能となる。

流星バースト通信(MBC)とは、流星が地球の大気圏に突入する際に大気との摩擦により発生する細長い電離気体柱(流星バースト)による低 VHF 帯電波の反射現象を利用した見通し外通信である。流星バースト通信路は、その発生が確率的であり、通常数分の一秒程度継続して消滅する。また図2に示すようにその受信信号電力はほとんどの場合発生時に最大値をとり、その後指数的に減衰する。

2. 研究の目的

マルチホップ伝送では、中継端末は移動端末を前提としておりバッテリーに制限がある場合が多い。そのため本伝送方式では、中継端末における負荷はできるかぎり小さくする必要があり、また、中継端末のシステムは簡易であることが望まれる。マルチホップ伝送における中継方式には、例えば Amplify-and-Forward(AF), Decode-and-Forward(DF), Detect-and-Forward(DetF) といった方式がある。中でも DetF 方式は、中継端末が信号を受信したときに硬判定を行い、次の端末にその硬判定値を送信する方式であり、中継端末に大きな負荷をかけないという大きな利点を持っている。一方 DetF 方式は中継の際の硬判定によって信号の軟値情報を失うという問題があり性能劣化につながる。そのため本研究では、DetF 方式を用いた場合に適した再送制御方式の提案し性能を評価する。

さらに、実際の通信環境として流星バースト通信を想定する。流星バースト通信路は前述のようにその発生が確率的であり、通常数分の一秒程度継続して消滅する。また、その

受信信号電力はほとんどの場合発生時に最大値をとりその後指数的に減衰する。そのため、再送制御技術は MBC システムの性能に大きく影響し、本研究ではこの MBC システムに適した再送制御技術を提案する。

3. 研究の方法

マルチホップ伝送において提案する再送制御方式の性能評価についてはコンピュータシミュレーションで実施する。また流星バースト通信のための再送制御方式の提案では、実測した通信路特性を利用し、さらにコンピュータシミュレーションを利用して性能を評価する。

4. 研究成果

(1) 多中継伝送での再送制御におけるパケット合成

DetF 方式に基づくマルチホップ伝送では中継端末で硬判定を行うため、軟値が破棄されてしまい、結果として全通信路の通信路情報を推定することは困難である。そこで、全ての通信路環境を必要とせず受信端末で得られる硬値のみを活用し、さらに受信している複数のパケットを同時に活用する方法を考える必要がある。

本課題ではビット単位でパケットを合成する方法を提案する。一般的な Type-I HARQ 方式では受信側がパケットの復号に失敗した場合は誤ったパケットを全て破棄し、新たなパケットの再送を送信端末に要求する。しかし、誤ったパケットでもビット単位で考えた場合多くのビットは正しく受信できている可能性が高く、そこで提案方式では正しく受信できている可能性の高いビットをなんらかの方法で見つけ出し、LDPC 符号の sum-product 復号における尤度情報として利用することでスループットの改善を図る。その方法を本課題ではパケット合成法と名付ける。

ビット単位の尤度を用いるパケット合成では、受信端末が再送パケットを受信したとき、これまで受信した全てのパケットと、新たに受信したパケットをビット単位で信頼度を比較する。図3において各ビットは`0`か`1`のいずれかであり、2つのパケットの同じ位置のビットを比較したとき、両者が同じであればそのビットは正しく受信されている可能性が高く、異なっていれば誤っている可能性が高い。この`0`の多さ、`1`の多さという情報を尤度情報として sum-product 復号に利用する。

さらにスループット特性を高めるために、再送パケットを分割して送信する方式を提案する(図4)。この方式では再送要求を受信した送信端末は、パケットを L 個に等しく分割し、分割したものを再送パケットとして順に

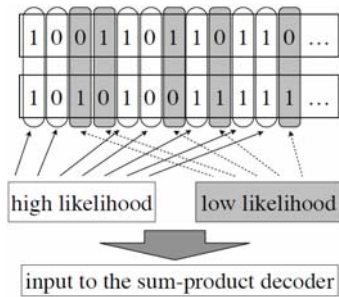


図3 ビット単位パケット合成

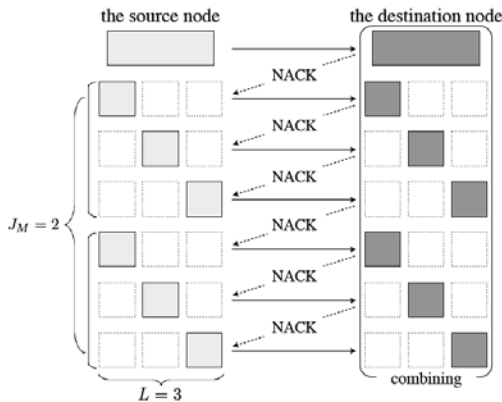


図4 パケット分割を用いた再送制御

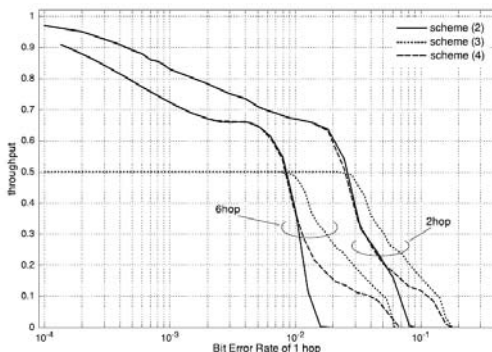


図5 パケット合成に基づくスループット特性

送信する。受信端末は新たに受信した分割された再送パケットと、これまで受信したパケットを組み合わせて復号を行う。

送信側でパケットを分割しても、受信側の sum-product 復号のために信頼度の向上がパケット全体に及ぶ。また、再送パケットを分割して送信することにより再送する情報を少なく抑えることができるため、スループット特性の向上が期待できる。このように、ビット単位でのパケット合成を適用することによって、再送するビット数が少なくても復号性能の維持が期待できる。

この提案手法の有効性を確認するため、スループット特性を図5に示す。まず方式(2)は従来方式であり、通常 type-I HARQ を用いるが RC-LDPC 符号を利用することで通信路環境に応じて柔軟に符号化率を変化させる

方式である。方式(3)は提案方式であり、パケット合成・パケット分割に基づく再送制御方式で一般的な LDPC 符号を利用する方式である。方式(4)も提案方式でその動作は方式(3)とほぼ同様であるが、RC-LDPC 符号を用いている点異なる。

図5よりまず、通信路環境が良い場合において方式(2)(4)は方式(3)よりも高い特性を得ていることが確認される。これは、RC-LDPC 符号によって通信路環境に応じて適切な符号化率で符号化することができ、不必要に長いパケットの送信を抑えられたためと考えられる。次に、通信路の環境が悪い場合において比較すると提案方式の方式(3)(4)が方式(2)の特性を上回ることがわかる。つまり、提案したパケット合成法は通信路の環境が劣悪な場合に特に有効であることが確かめられた。

(2) 適応的に中継端末を選択する方法

中継方式として DetF 方式を利用した場合、DF 方式に対して中継負荷は極めて軽くなるが、本質的に DF 方式に匹敵する性能を得ることができない。この DetF 方式で DF 方式に近い性能を得るためには、なんらかの方法で中継端末において蓄積した誤りを取り除く必要がある。そこで負荷が大きいが高いスループット特性を持つ DF 方式と、負荷は小さいがスループット特性は劣る DetF 方式を適切に組み合わせ、中継端末で適度に復号を行うことにより受信端末まで誤りを蓄積させない方法を考える。つまり、各中継端末が中継方式として DF 方式、DetF 方式を適応的に選択することで、負荷を低減させつつ信頼性の高い通信を実現する方法を提案する。その評価のための中継モデルとして図6にある方式(a)-(e)の5つについて考察する。方式(a)は通常の DetF 方式で中継を行う方式、方式(b)は DF 方式で中継を行う方式である。方式(b)では、中継端末が信号を受信するたびに復号を行い、復号に成功した場合は次の端末に情報を伝送し、復号に失敗した場合は直前の端末に再送要求を返す。この方式は、通信路環境が劣悪な場合でも復号を行うことにより通信の信頼性を保つことができたため、全ての方式の中で最も通信性能が良い。方式(c)(d)は提案方式であり中継端末で受信したパケットの品質を推定し、その端末で復号を行うべきかどうかを判断することにより通信の信頼性を保ちつつ中継端末の負荷を低減する方式である。なお方式(c)と方式(d)はパケットの品質推定の手法が異なっている。これらの方式(a)-(d)では再送制御の際に、復号に成功した端末ないしは送信端末に再送を要求するが、実際にはその直前の端末が DetF 方式で中継していてもその直前の端末では受信したパケットに誤りが十分に蓄積していないと判断していたことになる。その

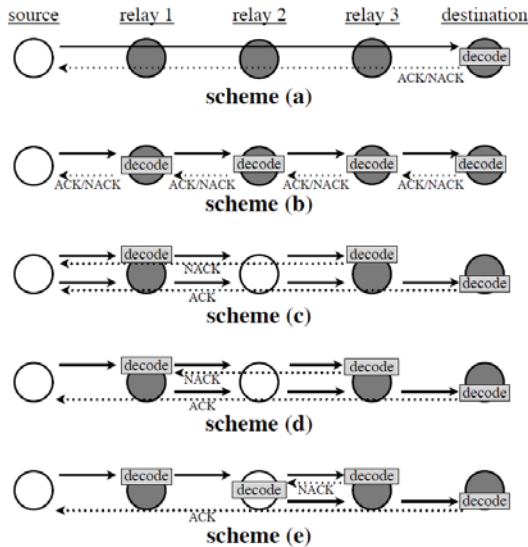


図6 適応中継のシステムモデル

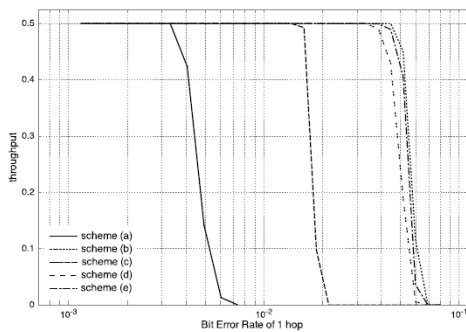


図7 適応中継方式のスループット特性

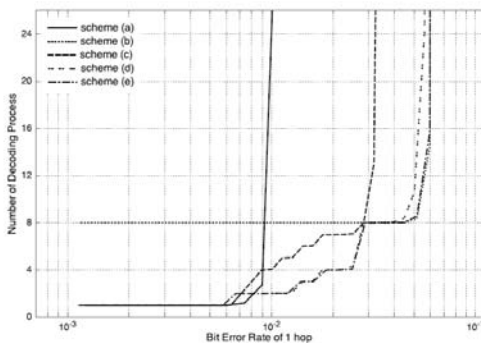


図8 適応中継方式の平均復号回数

ため、この直前の端末が受信していたパケットは復号に成功する可能性が高いと考えられ、そこで方式(e)では、ある端末で復号に失敗した場合にその直前の端末に再送の要求をすることとする。

図7に各方式のスループット特性、図8に復号回数を示す。図7よりDF方式を利用している方式(b)の特性と比較し、方式(d)、方式(e)の特性がそれに匹敵していることが分かり、適応選択方式でも十分な通信性能を得ることができる。さらに図8から、方式(d)、方式(e)の平均復号回数は方式(b)と比較し少な

く、提案方式によって中継端末の負荷が軽減している様子が分かる。

(3) 流星バースト通信のための再送制御方式：GBi-ARQ方式の提案

流星バースト通信における通信路は前述のように確率的に発生し継続時間も極めて短いため、誤り訂正技術や再送制御技術が極めて大きな役割を示す。例えば従来の Stop and Wait 型の ARQ 方式を用いると、たとえパケットの後半部分にのみ誤りが発生したとしても、パケット全体の再送を要求せざるを得ず、通信可能時間が短いMBCにおいては大きな損失となる。そこで本課題では新しい再送制御方式としてGBi-ARQ方式を提案する。図9に一般的なGBN-ARQ方式、および提案したGBi-ARQ方式の概要図を示す。GBN-ARQ方式では、受信側が誤りを検出した場合に、誤ったブロック以降のみの再送をブロック毎に要求するため、通信効率が改善できな

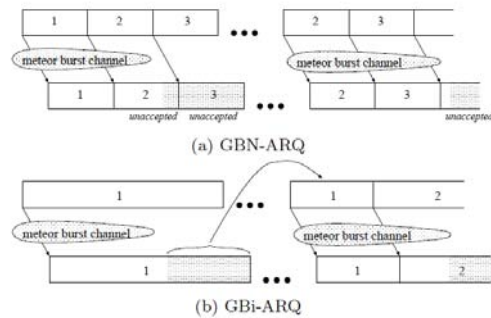


図9 GBi-ARQ方式の概要

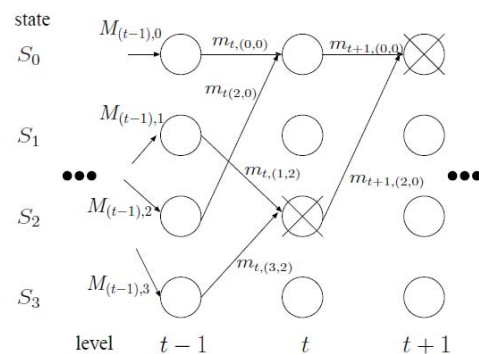


図10 GBi-ARQの信頼度判定

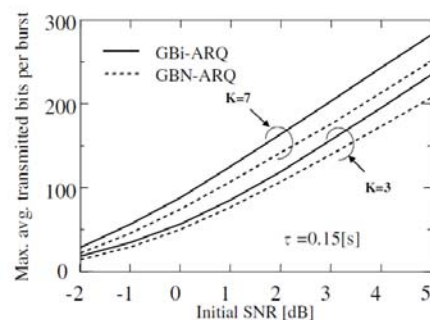


図11 GBi-ARQ方式のスループット特性

い. 一方, GBi-ARQ 方式ではシンボル単位での再送を要求することで信頼性の不十分なシンボルだけの再送を要求するため通信性能が改善する. このシンボル単位の再送制御を実現するために畳み込符号のビタビ復号を利用する. 図 10 にビタビ復号で利用されるトレリス線図を示す. トレリス線図においてある状態においてサバイパスを選択する場合, メトリックの大きなものを選択するが, その際にメトリック差の小さい場合は信頼度が低いと判断する. 全てのサバイパスの信頼度が低いと判断された場合, 再送を要求する.

図 11 に GBi-ARQ 方式を利用した場合のスループット特性を示す. GBi-ARQ 方式を利用した場合, ブロック単位の GBN-ARQ 方式に対し性能の向上が得られ, 本方式が有効であることが分かる.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

①永田, 椋本, 和田, 石橋, " Proposal of Go-Back-i-symbol ARQ Scheme and Its Performance Evaluation in Meteor Burst Communications," IEEE Trans. Commun, 掲載決定, 2012, 査読有

②橋本, 和田, 石橋, " A Proposal of New Hybrid ARQ Scheme using Rate Compatible LDPC Codes for Multi-hop Transmissions," IEEE 2009 Global Communications (Globecom2009), pp. 1-5, 2009, 査読有

[学会発表] (計 2 件)

①波多野, 和田, 石橋, " 無線マルチホップ伝送における中継方式の適応選択に関する一検討," 電子情報通信学会無線通信システム研究会, 23. 7. 22, 旭川市市民文化会館

②波多野, 和田, 石橋, " パケット合成によるビット単位尤度更新に基づく Hybrid ARQ 方式の提案と特性評価," 電子情報通信学会無線通信システム研究会, 22. 7. 16, 網走市民会館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 忠浩 (WADA TADAHIRO)
静岡大学・工学部・準教授
研究者番号: 00303529

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号: