

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5194303号
(P5194303)

(45) 発行日 平成25年5月8日(2013.5.8)

(24) 登録日 平成25年2月15日(2013.2.15)

(51) Int.Cl.	F I
H O 4 W 74/04 (2009.01)	H O 4 W 74/04
H O 4 W 84/12 (2009.01)	H O 4 W 84/12
H O 4 W 28/06 (2009.01)	H O 4 W 28/06 1 1 0

請求項の数 9 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2008-264473 (P2008-264473)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成20年10月10日(2008.10.10)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2010-93738 (P2010-93738A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成22年4月22日(2010.4.22)	(74) 代理人	100112715
審査請求日	平成23年10月3日(2011.10.3)		弁理士 松山 隆夫
(出願人による申告) 平成20年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「高レスポンスマルチホップ自律無線通信システムの研究開発」に関する委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	近藤 良久
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
		(72) 発明者	株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
			四方 博之
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
		(72) 発明者	株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
			山口 真司
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パケットを周期的に送受信する無線ネットワークを構成する無線装置であって、
前記無線ネットワークを構成するN（Nは2以上の整数）個の無線装置のうちのN-1個の無線装置からn（nは $1 \leq n \leq N-1$ を満たす整数）個のパケットを第k（kは正の整数）番目の周期において受信する受信手段と、

前記受信手段によって受信された前記n個のパケットをランダムに発生されたランダム符号列を用いてネットワークコーディングするコーディング手段と、

送信するための自発パケットを周期的に生成するパケット生成手段と、

前記コーディング手段によって第k+1番目の周期においてネットワークコーディングされたコーディングパケットと、前記パケット生成手段によって前記第k+1番目の周期において生成された前記自発パケットと、前記コーディングパケットをデコードするためのデコード情報とを含む結合パケットを生成し、その生成した結合パケットを前記第k+1番目の周期においてブロードキャストする送信手段とを備える無線装置。

【請求項2】

他の無線装置からブロードキャストされた前記結合パケットを前記受信手段から受け、その受けた結合パケットから前記デコード情報および前記コーディングパケットを取り出し、その取り出したデコード情報を用いて前記コーディングパケットをデコードするデコード手段を更に備える、請求項1に記載の無線装置。

【請求項3】

10

20

前記コーディング手段は、前記ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、前記 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets と前記自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した前記符号ベクトルおよび前記 packets 行列の少なくとも一方において、前記受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して前記符号ベクトルと前記 packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングし、

前記送信手段は、前記符号ベクトルからなる前記デコード情報を含む前記結合 packets を生成してブロードキャストし、

前記デコード手段は、前記符号ベクトルからなる前記デコード情報と前記コーディング packets とを前記結合 packets から取り出し、その取り出した符号ベクトルを用いて前記コーディング packets をデコードする、請求項 2 に記載の無線装置。

10

【請求項 4】

前記コーディング手段は、前記ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、前記 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets と前記自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した前記符号ベクトルおよび前記 packets 行列の少なくとも一方において、前記受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して前記符号ベクトルと前記 packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングし、

前記送信手段は、前記 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets を前記受信手段が実際に受信したか否かを示すビット列からなる前記デコード情報を含む前記結合 packets を生成してブロードキャストし、

20

前記デコード手段は、前記ビット列からなる前記デコード情報と前記コーディング packets とを前記結合 packets から取り出し、その取り出したビット列と予め保持している前記ランダム符号列とを乗算して前記符号ベクトルを求め、その求めた符号ベクトルを用いて前記コーディング packets をデコードする、請求項 2 に記載の無線装置。

【請求項 5】

前記 packets 生成手段は、前記第 k 番目の周期において第 1 の自発 packets を生成し、前記第 $k+1$ 番目の周期において第 2 の自発 packets を生成し、

前記送信手段は、前記コーディング手段によって前記第 $k+1$ 番目の周期においてネットワークコーディングされたコーディング packets と、前記 packets 生成手段によって第 1 および第 2 の自発 packets と、前記デコード情報とを含む結合 packets を生成し、その生成した結合 packets を前記第 $k+1$ 番目の周期においてブロードキャストする、請求項 1 に記載の無線装置。

30

【請求項 6】

packets が周期的に送受信される無線ネットワークであって、

N (N は 2 以上の整数) 個の無線装置を備え、

前記 N 個の無線装置は、

$N-1$ 個の無線装置から n (n は $1 \leq n \leq N-1$ を満たす整数) 個の packets を第 k (k は正の整数) 番目の周期において受信し、その受信した n 個の packets をランダムに発生されたランダム符号列を用いて第 $k+1$ 番目の周期においてネットワークコーディングし、前記第 $k+1$ 番目の周期において送信するための自発 packets を生成するとともに、前記ネットワークコーディングしたコーディング packets と、前記自発 packets と、前記コーディング packets をデコードするためのデコード情報とを含む結合 packets を生成し、その生成した結合 packets を前記第 $k+1$ 番目の周期においてブロードキャストする第 1 の無線装置と、

40

前記第 1 の無線装置からブロードキャストされた結合 packets を受信し、その受信した結合 packets から前記自発 packets 、前記コーディング packets および前記デコード情報を取り出すとともに、その取り出したデコード情報を用いて前記コーディング packets をデコードする第 2 の無線装置とを含む、無線ネットワーク。

【請求項 7】

50

前記第 1 の無線装置は、前記ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、前記 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個の packets と前記自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した前記符号ベクトルおよび前記 packets 行列の少なくとも一方において、前記受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して前記符号ベクトルと前記 packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングするとともに、そのネットワークコーディングしたコーディング packets と、前記符号ベクトルからなる前記デコード情報と、前記自発 packets とを含む前記結合 packets を生成して前記第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストし、

前記第 2 の無線装置は、前記符号ベクトルからなる前記デコード情報と前記コーディング packets と前記自発 packets とを前記結合 packets から取り出し、その取り出した符号ベクトルを用いて前記コーディング packets をデコードする、請求項 6 に記載の無線ネットワーク。

【請求項 8】

前記第 1 の無線装置は、前記ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、前記 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個の packets と前記自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した前記符号ベクトルおよび前記 packets 行列の少なくとも一方において、前記受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して前記符号ベクトルと前記 packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングするとともに、そのネットワークコーディングしたコーディング packets と、前記 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個の packets を実際に受信したか否かを示すビット列からなる前記デコード情報と、前記自発 packets とを含む前記結合 packets を生成して前記第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストし、

前記第 2 の無線装置は、前記ビット列からなる前記デコード情報と、前記コーディング packets と、前記自発 packets とを前記結合 packets から取り出し、その取り出したビット列と予め保持している前記ランダム符号列とを乗算して前記符号ベクトルを求め、その求めた符号ベクトルを用いて前記コーディング packets をデコードする、請求項 6 に記載の無線ネットワーク。

【請求項 9】

前記第 1 の無線装置は、前記第 k 番目の周期および前記第 $k + 1$ 番目の周期においてそれぞれ第 1 および第 2 の自発 packets を生成し、その生成した第 1 および第 2 の自発 packets と、前記第 $k + 1$ 番目の周期においてネットワークコーディングしたコーディング packets と、前記デコード情報とを含む結合 packets を生成し、その生成した結合 packets を前記第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストし、

前記第 2 の無線装置は、前記第 1 の無線装置からブロードキャストされた結合 packets を受信し、その受信した結合 packets から前記第 1 および第 2 の自発 packets 、前記コーディング packets および前記デコード情報を取り出すとともに、その取り出したデコード情報を用いて前記コーディング packets をデコードする、請求項 6 に記載の無線ネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、無線装置およびそれを備えた無線ネットワークに関し、特に、 packets を定期的を送受信する無線装置およびそれを備えた無線ネットワークに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、 packets のブロードキャストにおける信頼性を高くするためにブロードキャストにおいて packets を再送することが行なわれている（非特許文献 1）。

【0003】

また、従来、パケットの送信回数を低減するために複数のパケットをネットワークコーディングして送信することも行なわれている（非特許文献2）。

【0004】

更に、従来、複数のパケットをネットワークコーディングし、そのネットワークコーディングしたパケットをブロードキャストすることも行なわれている（非特許文献3）。

【0005】

更に、従来、データの欠落を抑制するために、1個以上のデータを含むパケットを複数回送信することも行なわれている（特許文献1）。

【特許文献1】特開2005-123791号公報

【非特許文献1】S. Itaya, J. Hasegawa, Y. Kondo, P. Davis, R. Suzuki, and S. Obana, "Demonstration of Robust Multi-hop wireless packet broadcasts for moving vehicles using aggregated redundancy," Proc. of LCN, pp. 620-624, Oct. 2007.

【非特許文献2】P. A. Chou, Y. Wu, and K. Jain, "Practical network coding," Proc. of 41st Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing, October 2003.

【非特許文献3】C. Fragouli, J. Widmer, and J. Y. LeBoudec, "Efficient Broadcasting using Network Coding," IEEE/ACM Transaction on Networking, vol. 16, no. 2, pp. 450-463, April 2008.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、従来における各種の方法を用いてパケットを送信しても、送信先へのパケット到達率が低い、若しくは即時にパケットが到達しないという問題がある。そして、この問題は、携帯ゲーム機によるアドホック無線通信を用いて対戦型のゲームを行なう場合には、顕著な問題となる。また、リンク品質が動的に変動する環境では、効率的なエラー訂正が困難であるという問題がある。

【0007】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、送信先へのパケット到達の即時性を保持しつつパケットの到達率を向上可能な無線装置を提供することである。

【0008】

また、この発明の別の目的は、リンク品質が動的に変動する環境において効率的なエラー訂正が可能な無線装置を提供することである。

【0009】

更に、この発明の別の目的は、送信先へのパケット到達の即時性を保持しつつパケットの到達率を向上可能な無線装置を備える無線ネットワークを提供することである。

【0010】

更に、この発明の別の目的は、リンク品質が動的に変動する環境において効率的なエラー訂正が可能な無線装置を備えて無線ネットワークを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

この発明によれば、無線装置は、パケットを周期的に送受信する無線ネットワークを構成する無線装置であって、受信手段と、コーディング手段と、パケット生成手段と、送信手段とを備える。受信手段は、無線ネットワークを構成する N (N は2以上の整数)個の無線装置のうちの $N-1$ 個の無線装置から n (n は $1 \leq n \leq N-1$ を満たす整数)個のパケットを第 k (k は正の整数)番目の周期において受信する。コーディング手段は、受信手段によって受信された n 個のパケットをランダムに発生されたランダム符号列を用いてネットワークコーディングする。パケット生成手段は、送信するための自発パケットを周期的に生成する。送信手段は、コーディング手段によって第 $k+1$ 番目の周期においてネットワークコーディングされたコーディングパケットと、パケット生成手段によって第 k

10

20

30

40

50

+ 1 番目の周期において生成された自発パケットと、コーディングパケットをデコードするためのデコード情報とを含む結合パケットを生成し、その生成した結合パケットを第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストする。

【0012】

好ましくは、無線装置は、デコード手段を更に備える。デコード手段は、他の無線装置からブロードキャストされた結合パケットを受信手段から受け、その受けた結合パケットからデコード情報およびコーディングパケットを取り出し、その取り出したデコード情報を用いてコーディングパケットをデコードする。

【0013】

好ましくは、コーディング手段は、ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個のパケットと自発パケットとからなるパケット行列を生成し、その生成した符号ベクトルおよびパケット行列の少なくとも一方において、受信手段によって受信されなかったパケットに対応する要素を零に設定して符号ベクトルとパケット行列とを乗算することによりネットワークコーディングする。送信手段は、符号ベクトルからなるデコード情報を含む結合パケットを生成してブロードキャストする。デコード手段は、符号ベクトルからなるデコード情報とコーディングパケットとを結合パケットから取り出し、その取り出した符号ベクトルを用いてコーディングパケットをデコードする。

【0014】

好ましくは、コーディング手段は、ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個のパケットと自発パケットとからなるパケット行列を生成し、その生成した符号ベクトルおよびパケット行列の少なくとも一方において、受信手段によって受信されなかったパケットに対応する要素を零に設定して符号ベクトルとパケット行列とを乗算することによりネットワークコーディングする。送信手段は、 $N - 1$ 個の無線装置から送信された $N - 1$ 個のパケットを受信手段が実際に受信したか否かを示すビット列からなるデコード情報を含む結合パケットを生成してブロードキャストする。デコード手段は、ビット列からなるデコード情報とコーディングパケットとを結合パケットから取り出し、その取り出したビット列と予め保持しているランダム符号列とを乗算して符号ベクトルを求め、その求めた符号ベクトルを用いてコーディングパケットをデコードする。

【0015】

好ましくは、パケット生成手段は、第 k 番目の周期において第 1 の自発パケットを生成し、第 $k + 1$ 番目の周期において第 2 の自発パケットを生成する。送信手段は、コーディング手段によって第 $k + 1$ 番目の周期においてネットワークコーディングされたコーディングパケットと、パケット生成手段によって第 1 および第 2 の自発パケットと、デコード情報とを含む結合パケットを生成し、その生成した結合パケットを第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストする。

【0016】

また、この発明によれば、無線ネットワークは、パケットが周期的に送受信される無線ネットワークであって、 N (N は 2 以上の整数) 個の無線装置を備える。 N 個の無線装置は、第 1 および第 2 の無線装置を含む。第 1 の無線装置は、 $N - 1$ 個の無線装置から n (n は $1 \leq n \leq N - 1$ を満たす整数) 個のパケットを第 k (k は正の整数) 番目の周期において受信し、その受信した n 個のパケットをランダムに発生されたランダム符号列を用いて第 $k + 1$ 番目の周期においてネットワークコーディングし、第 $k + 1$ 番目の周期において送信するための自発パケットを生成するとともに、ネットワークコーディングしたコーディングパケットと、自発パケットと、コーディングパケットをデコードするためのデコード情報とを含む結合パケットを生成し、その生成した結合パケットを第 $k + 1$ 番目の周期においてブロードキャストする。第 2 の無線装置は、第 1 の無線装置からブロードキャストされた結合パケットを受信し、その受信した結合パケットから自発パケット、コーディングパケットおよびデコード情報を取り出すとともに、その取り出したデコード情報を

10

20

30

40

50

用いてコーディング packets をデコードする。

【0017】

好ましくは、第1の無線装置は、ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets と自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した符号ベクトルおよび packets 行列の少なくとも一方において、受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して符号ベクトルと packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングするとともに、そのネットワークコーディングしたコーディング packets と、符号ベクトルからなるデコード情報と、自発 packets とを含む結合 packets を生成して第 $k+1$ 番目の周期においてブロードキャストする。第2の無線装置は、符号ベクトルからなるデコード情報とコーディング packets と自発 packets とを結合 packets から取り出し、その取り出した符号ベクトルを用いてコーディング packets をデコードする。

10

【0018】

好ましくは、第1の無線装置は、ランダム符号列を構成する N 個の符号からなる符号ベクトルを生成するとともに、 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets と自発 packets とからなる packets 行列を生成し、その生成した符号ベクトルおよび packets 行列の少なくとも一方において、受信手段によって受信されなかった packets に対応する要素を零に設定して符号ベクトルと packets 行列とを乗算することによりネットワークコーディングするとともに、そのネットワークコーディングしたコーディング packets と、 $N-1$ 個の無線装置から送信された $N-1$ 個の packets を実際に受信したか否かを示すビット列からなるデコード情報と、自発 packets とを含む結合 packets を生成して第 $k+1$ 番目の周期においてブロードキャストする。第2の無線装置は、ビット列からなるデコード情報と、コーディング packets と、自発 packets とを結合 packets から取り出し、その取り出したビット列と予め保持しているランダム符号列とを乗算して符号ベクトルを求め、その求めた符号ベクトルを用いてコーディング packets をデコードする。

20

【0019】

好ましくは、第1の無線装置は、第 k 番目の周期および第 $k+1$ 番目の周期においてそれぞれ第1および第2の自発 packets を生成し、その生成した第1および第2の自発 packets と、第 $k+1$ 番目の周期においてネットワークコーディングしたコーディング packets と、デコード情報とを含む結合 packets を生成し、その生成した結合 packets を第 $k+1$ 番目の周期においてブロードキャストする。第2の無線装置は、第1の無線装置からブロードキャストされた結合 packets を受信し、その受信した結合 packets から第1および第2の自発 packets 、コーディング packets およびデコード情報を取り出すとともに、その取り出したデコード情報を用いてコーディング packets をデコードする。

30

【発明の効果】

【0020】

この発明においては、各無線装置は、第 k 番目の周期において他の無線装置から受信した n 個の packets をネットワークコーディングしてコーディング packets を生成し、その生成したコーディング packets と、第 $k+1$ 番目の周期において送信する自発 packets とを含む結合 packets を第 $k+1$ 番目の周期において生成し、その生成した結合 packets をブロードキャストする。そして、各無線装置は、第 $k+1$ 番目の周期において他の無線装置から受信したコーディング packets をデコードして第 k 番目の周期において他の無線装置から送信された packets を取得する。その結果、各無線装置は、第 k 番目の周期において他の無線装置から packets を受信できていなかったとしても、その受信できなかった packets を第 $k+1$ 番目の周期において受信できる。

40

【0021】

従って、この発明によれば、各送信先への packets 到達率を向上できる。また、第 k 番目の周期における packets は、第 $k+1$ 番目の周期で受信されるので、 packets の到達遅延は、1周期分程度であり、即時性を保持できる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0022】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0023】

図1は、この発明の実施の形態による無線ネットワークの概略図である。この発明の実施の形態による無線ネットワーク10は、無線装置1～6を備える。

【0024】

無線装置1～6の各々は、例えば、携帯ゲーム機からなる。無線装置1～6は、無線通信空間に配置され、自律的に無線ネットワーク10を構成する。そして、無線装置1～6は、相互にパケットを定期的を送受信し、対戦型のゲームを実行する。

10

【0025】

この対戦型のゲームにおける必要な性能は、例えば、無線装置1～6の各々が他の5個の無線装置の各々とパケットを送受信することであり、フレームレートが60fpsであり、パケット生成周期が16.7msであり、パケットサイズが50～200バイトであり、許容遅延が50msであり、パケット到達率が最も遠い無線装置間で99%以上である。

【0026】

無線装置1～6が対戦型のゲームを実行する場合、各無線装置1～6が他の無線装置からのパケットを受信できなければ、対戦型のゲームを実行することが困難になる。例えば、無線装置1が無線通信環境によって無線装置5からのパケットを受信できない場合、無線装置1と無線装置5との間で対戦型のゲームを実行することができなくなる。

20

【0027】

そこで、以下においては、無線ネットワーク10において、無線装置1～6の各々から他の5個の無線装置の各々へのパケットの到達率を向上させるパケットの送信方法について説明する。即ち、多：多の無線通信において、パケット到達率を向上させるパケットの送信方法について説明する。

【0028】

〔実施の形態1〕

図2は、図1に示す無線装置1の実施の形態1における構成を示す概略ブロック図である。

30

【0029】

無線装置1は、受信手段11と、制御手段12と、デコード手段13と、バッファ14と、再生手段15と、パケット生成手段16と、コーディング手段17と、送信手段18とを含む。

【0030】

受信手段11は、単一のパケットからなるパケットPKTを他の無線装置から受信し、その受信したパケットPKTを制御手段12へ出力する。また、受信手段11は、後述する方法によって、他の無線装置においてネットワークコーディングされたコーディングパケットと、他の無線装置が生成した自発パケットと、コーディングパケットをデコードするためのデコード情報とを含む結合パケットPKT__CBを他の無線装置から受信し、その受信した結合パケットPKT__CBを制御手段12へ出力する。

40

【0031】

制御手段12は、受信手段11からパケットPKTを受けると、その受けたパケットPKTの宛先を確認する。そして、制御手段12は、パケットPKTの宛先が無線装置1のアドレスからなる場合、パケットPKTを再生手段15へ出力し、パケットPKTの宛先がブロードキャストアドレスからなる場合、パケットPKTを再生手段15へ出力するとともに、パケットPKTをバッファ14に格納する。

【0032】

また、制御手段12は、受信手段11から結合パケットPKT__CBを受けると、その受けた結合パケットPKT__CBをデコード手段13へ出力する。

50

【0033】

デコード手段13は、制御手段12から結合パケットPKT_CBを受けると、その受けた結合パケットPKT_CBを後述する方法によってデコードし、そのデコードしたパケットを再生手段15へ出力する。

【0034】

バッファ14は、制御手段12によって格納されたパケットPKTと、パケット生成手段16によって格納されたパケットPKTと、コーディング手段17によって格納されたコーディングパケットおよびデコード情報とを保持する。

【0035】

再生手段15は、制御手段12またはデコード手段13からパケットを受け、その受けたパケットのデータを再生する。そして、再生手段15は、その再生したデータを表示手段（図示せず）によって視覚情報として無線装置1の操作者に与える。

10

【0036】

パケット生成手段16は、タイマー（図示せず）を内蔵しており、タイマーを参照して、他の無線装置へブロードキャストするための自発パケットPKT_Selfを周期 $T = 16.7$ [ms] 毎に生成する。そして、パケット生成手段16は、その生成した自発パケットPKT_Selfをバッファ14に格納するとともに送信手段18へ出力する。

【0037】

コーディング手段17は、パケット生成手段16が内蔵するタイマーと同期が取れたタイマー（図示せず）を内蔵しており、その内蔵したタイマーを参照して、バッファ14に格納されたパケットを後述する方法によって周期 T 毎にネットワークコーディングし、そのネットワークコーディングしたコーディングパケットPKT_cdと、コーディングパケットPKT_cdをデコードするためのデコード情報とをバッファ14に格納するとともに送信手段18へ出力する。

20

【0038】

送信手段18は、パケット生成手段16に内蔵されたタイマーおよびコーディング手段17に内蔵されたタイマーと同期が取れたタイマーを内蔵している。そして、送信手段18は、パケット生成手段16から自発パケットPKT_Selfを受け、コーディング手段17からコーディングパケットPKT_cdとデコード情報とを受けると、タイマーを参照して、自発パケットPKT_Self、コーディングパケットPKT_cdおよびデコード情報を含む結合パケットPKT_CBを周期 T 毎に生成し、その生成した結合パケットPKT_CBをブロードキャストする。

30

【0039】

なお、図1に示す無線装置2～6の各々も、図2に示す無線装置2の構成と同じ構成からなる。

【0040】

次に、ネットワークコーディングの方法について説明する。なお、各無線装置1～6のバッファ14は、無線ネットワーク10が N （ N は2以上の整数）個の無線装置によって構成される場合、受信手段11が他の $N-1$ 個の無線装置から受信した n （ n は、 $1 \leq n \leq N-1$ を満たす整数）個のパケット $P_1 \sim P_n$ と、パケット生成手段16によって格納された自発パケットPKT_Selfとの $n+1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{n+1}$ を格納しているものとする。この場合、 $n+1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{n+1}$ の各々は、単一のパケットPKTからなる。

40

【0041】

各無線装置1～6のコーディング手段17は、バッファ14に格納された $n+1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{n+1}$ を取り出し、その取り出した $n+1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{n+1}$ に基づいて、パケット $\langle P \rangle = (P_1, P_2, \dots, P_N)$ を生成する。なお、この発明の実施の形態においては、 $\langle X \rangle$ の表記は、行列 X またはベクトル X を表すものとする。

【0042】

$n = N-1$ である場合、 $N-1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{N-1}$ の各々は、受信手段11に

50

よって他の $N-1$ 個の無線装置から実際に受信されたパケットからなる。一方、 $n < N-1$ である場合、 $N-1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{N-1}$ のうち、 n 個のパケット $P_1 \sim P_n$ の各々は、受信手段 11 によって他の無線装置から実際に受信されたパケットからなり、 $N-1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{N-1}$ のうち、 $N-1-n$ 個のパケットの各々は、“0”からなる。

【0043】

無線ネットワーク 10 においては、各無線装置 1～6 は、相互にパケットを送受信するので、各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、無線ネットワーク 10 を構成する無線装置の個数 N を知っており、各周期 T において、バッファ 14 に格納されるパケットの最大数が N 個であることを知っている。

10

【0044】

従って、無線ネットワーク 10 を構成する無線装置の個数が N 個である場合、各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、最大で N 個のパケット $P_1 \sim P_N$ が各周期 T においてバッファ 14 に格納されていることを知っている。

【0045】

そうすると、各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、バッファ 14 から実際に取り出したパケットが N 個である場合 ($n = N-1$ である場合)、その取り出した N 個のパケット $P_1 \sim P_N$ からなるパケット $\langle P \rangle = (P_1, P_2, \dots, P_N)$ を生成する。

【0046】

また、各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、バッファ 14 から実際に取り出したパケットの個数が N 個よりも少ない場合 ($n < N-1$ である場合)、その取り出した $n+1$ 個のパケット $P_1 \sim P_{n+1}$ と、バッファ 14 に格納されていなかったパケットに対して設定された $N-(n+1)$ 個の“0”とからなるパケット $\langle P \rangle = (P_1, P_2, \dots, 0, \dots, 0, \dots, P_N)$ を生成する。

20

【0047】

この場合、パケット $\langle P \rangle$ の各要素 P_i ($i = 1 \sim N$) は、次式によって表される。

【0048】

【数 1】

$$\langle P_i \rangle = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iB}) \dots (1)$$

30

【0049】

なお、式 (1) において、 B は、各パケット $P_1 \sim P_N$ のパケットサイズをガロア体 ($GF 2^j$) (j は 2 以上の整数) の“ j ”によって除算し、小数点を切り上げた整数からなる。そして、パケット $\langle P_i \rangle$ の各要素 $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iB}$ は、 j ビットの“1”または“0”の数値列からなる。

【0050】

各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、ガロア体 ($GF 2^j$) を予め保持しており、パケット $\langle P \rangle$ を生成すると、ガロア体 ($GF 2^j$) からランダムに数値を取り出して符号列 ($c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}$) ($j = 1 \sim N$) を生成する。この場合、符号 $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}$ は、それぞれ、パケット $P_1, P_2, \dots, P_N$ に対応している。

40

【0051】

そして、各無線装置 1～6 のコーディング手段 17 は、符号列 ($c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}$) のうち、受信手段 11 が実際に受信しなかったパケット (パケット $P_1, P_2, \dots, P_N$ の少なくとも 1 つ) に対応する要素 ($c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}$ の少なくとも 1 つ) を“0”に設定して符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ を生成する。なお、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ は、無線装置 j におけるネットワークコーディングに用いられる符号ベク

50

トルである。

【0052】

そうすると、各無線装置1～6のコーディング手段17は、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ とパケット $\langle P \rangle$ とに基づいて、次式によってコーディングパケット $\langle y_j \rangle$ を生成する。

【0053】

【数2】

$$\begin{aligned} \langle y_j \rangle &= (c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}) \times (P_1, P_2, \dots, P_N)^T \\ &= (c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}) \times \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1B} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2B} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{NB} \end{pmatrix} \\ &= (d_{j1} \quad d_{j2} \quad \dots \quad d_{jB}) \quad \dots \quad (2) \end{aligned}$$

【0054】

なお、式(2)において、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ の各要素 $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN}$ は、 j ビットの“1”または“0”の数値列からなる。

【0055】

このように、各無線装置1～6のコーディング手段17は、ランダムに発生された符号に基づいて生成した符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ とパケット $\langle P \rangle$ とを乗算してパケット $P_1, P_2, \dots, P_N$ をネットワークコーディングする(即ち、コーディングパケット $\langle y_j \rangle$ を生成する)。

【0056】

図3は、自発パケットとコーディングパケットとを結合した結合パケットPKT_CBの実施の形態1における構成図である。

【0057】

結合パケットPKT_CBは、ヘッダと、自発パケット(Seq=k+1)と、デコード情報と、コーディングパケット(Seq=k)とを含む。ヘッダは、ブロードキャストアドレスを含む。自発パケット(Seq=k+1)は、第k+1(kは正の整数)番目の周期において生成されたパケットからなる。デコード情報は、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ からなる。コーディングパケット(Seq=k)は、第k番目の周期において他の無線装置から受信したN-1個のパケットと自発パケット(Seq=k)とからなるN個のパケットを上述した方法によってネットワークコーディングしたパケットからなる。

【0058】

従って、図3においては、自発パケット(Seq=k+1)のシーケンス番号Seqを“k+1”と表記し、コーディングパケット(Seq=k)のシーケンス番号Seqを“k”と表記している。

【0059】

引き続いて、各無線装置1～6の送信手段18における結合パケットPKT_CBの生成方法について説明する。

【0060】

各無線装置1～6の送信手段18は、パケット生成手段16から自発パケットPKT_Selfを受け、コーディング手段17からコーディングパケット $\langle y_j \rangle$ と符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ とを受けると、自発パケットPKT_Selfを“自発パケット(Seq=k+1)”に格納し、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ を“デコード情報”に格納し、コーディングパ

10

20

30

40

50

ケット $\langle y_j \rangle$ を“コーディングケット ($Seq=k$)”に格納し、ブロードキャストアドレスを“ヘッダ”に格納して結合ケット PKT_CB を生成する。

【0061】

各無線装置1～6のデコード手段13におけるコーディングケット $\langle y_j \rangle$ のデコード方法について説明する。この場合、各無線装置1～6は、他の $N-1$ 個の無線装置から $N-1$ 個の結合ケット $PKT_CB_1 \sim PKT_CB_N-1$ を受信しているものとする。なお、結合ケット $PKT_CB_1 \sim PKT_CB_N-1$ は、それぞれ、コーディングケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_{N-1} \rangle$ を含む。

【0062】

各無線装置1～6のデコード手段13は、制御手段12から $N-1$ 個の結合ケット $PKT_CB_1 \sim PKT_CB_N-1$ を受けると、その受けた $N-1$ 個の結合ケット $PKT_CB_1 \sim PKT_CB_N-1$ からそれぞれコーディングケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_{N-1} \rangle$ と、符号ベクトル $\langle c_1 \rangle \sim \langle c_{N-1} \rangle$ を取り出す。また、各無線装置1～6のデコード手段13は、コーディング手段17がネットワークコーディングして生成したコーディングケット $\langle y_j \rangle$ と、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ とをバッファ14から読み出す。

【0063】

この場合、他の無線装置から受信した $N-1$ 個のコーディングケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_{N-1} \rangle$ と、各無線装置1～6において生成されたコーディングケット $\langle y_j \rangle$ とを含む N 個のコーディングケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_N \rangle$ の各々は、式(2)によって表される。

【0064】

そうすると、各無線装置1～6のデコード手段13は、 N 個の符号ベクトル $\langle c_1 \rangle \sim \langle c_N \rangle$ および N 個のコーディングケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_N \rangle$ に基づいて、次式を生成する。

【0065】

【数3】

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} & d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1B} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} & d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2B} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} & d_{N1} & d_{N2} & \cdots & d_{NB} \end{pmatrix} \cdots (3)$$

【0066】

そして、各無線装置1～6のデコード手段13は、式(3)の右辺の先頭に配置された符号ベクトル $\langle c_1 \rangle \sim \langle c_N \rangle$ からなる符号行列 $\langle C \rangle$ の逆行列 $\langle C \rangle^{-1}$ を演算し、その演算した逆行列 $\langle C \rangle^{-1}$ を式(3)の両辺に乗算する。その結果、各無線装置1～6のデコード手段13は、次式を得る。

【0067】

【数 4】

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} & d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1B} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} & d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2B} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} & d_{N1} & d_{N2} & \cdots & d_{NB} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1B} \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2B} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NB} \end{pmatrix} \cdots (4)$$

【0068】

式(4)の右辺の要素 P_{11} , P_{12} , $\cdots$, P_{1B} , P_{21} , P_{22} , $\cdots$, P_{2B} , $\cdots$, P_{N1} , P_{N2} , $\cdots$, P_{NB} は、それぞれ、パケット P_1 , P_2 , $\cdots$, P_N である。

【0069】

従って、各無線装置1～6のデコード手段13は、元の N 個のパケット $P_1 \sim P_N$ を取得できる。

【0070】

このように、各無線装置1～6のデコード手段13は、式(3)に示す連立方程式を解くことによって元の N 個のパケット $P_1 \sim P_N$ を取得する。

【0071】

図1に示す無線ネットワーク10における通信方法について説明する。図4から図6は、それぞれ、図1に示す無線ネットワーク10における通信方法を説明するための第1から第3の概念図である。なお、図4から図6においては、無線装置1と無線装置5、6の間では、パケットは、直接受信できないものとする。

【0072】

図4に示すように、周期 T_1 において、各無線装置1～6のパケット生成手段16は、それぞれ、シーケンス番号 $Seq=1$ の単一のパケット $PKT1(1) \sim PKT6(1)$ を生成し、その生成した単一のパケット $PKT1(1) \sim PKT6(1)$ をバッファ14に格納するとともに送信手段18へ出力する。そして、各無線装置1～6の送信手段18は、周期 T_1 において、単一のパケット $PKT1(1) \sim PKT6(1)$ をブロードキャストする。なお、各パケット $PKT1(1) \sim PKT6(1)$ の(1)は、シーケンス番号 $Seq=1$ を表す。

【0073】

そして、無線装置1の受信手段11は、単一のパケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を受信し、その受信したパケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を制御手段12へ出力する。この場合、無線装置1の受信手段11は、単一のパケット $PKT5(1)$, $PKT6(1)$ を受信できない。

【0074】

無線装置1の制御手段12は、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を受けると、その受けたパケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ の宛先がブロードキャストアドレスからなることを確認し、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ をバッファ14に格納するとともに、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を再生手段15へ出力する。そして、無線装置1の再生手段15は、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ のデータをそれぞれ再生して表示手段(図示せず)によって視覚情報として無線装置1の操作者に

与える。

【0075】

また、無線装置2は、単一のパケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)を受信し、無線装置1と同様にして、パケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)をバッファ14に格納するとともに、パケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)のデータをそれぞれ再生手段15によって再生して無線装置2の操作者に視覚情報として与える。この場合、無線装置2は、単一のパケットPKT4(1)を受信できない。

【0076】

更に、無線装置3は、単一のパケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT4(1)、PKT5(1)、PKT6(1)を受信し、無線装置1と同様にして、パケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT4(1)、PKT5(1)、PKT6(1)をバッファ14に格納するとともに、パケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT4(1)、PKT5(1)、PKT6(1)のデータをそれぞれ再生手段15によって再生して無線装置3の操作者に視覚情報として与える。

【0077】

更に、無線装置4は、単一のパケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)を受信し、無線装置1と同様にして、パケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)をバッファ14に格納するとともに、パケットPKT1(1)、PKT3(1)、PKT5(1)、PKT6(1)のデータをそれぞれ再生手段15によって再生して無線装置4の操作者に視覚情報として与える。この場合、無線装置4は、単一のパケットPKT2(1)を受信できない。

【0078】

更に、無線装置5は、単一のパケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT6(1)を受信し、無線装置1と同様にして、パケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT6(1)をバッファ14に格納するとともに、パケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT6(1)のデータをそれぞれ再生して無線装置5の操作者に視覚情報として与える。この場合、無線装置5は、単一のパケットPKT1(1)を受信できない。

【0079】

更に、無線装置6は、単一のパケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT5(1)を受信し、無線装置1と同様にして、パケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT5(1)をバッファ14に格納するとともに、パケットPKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)、PKT5(1)のデータをそれぞれ再生して無線装置6の操作者に視覚情報として与える。この場合、無線装置6は、単一のパケットPKT1(1)を受信できない。

【0080】

その後、無線装置1のパケット生成手段16は、周期T2において、シーケンス番号Seq=2の単一のパケットPKT1(2)を生成し、その生成したパケットPKT1(2)をバッファ14に格納するとともに送信手段18へ出力する。また、無線装置1のコーディング手段17は、周期T2において、バッファ14に格納されたパケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)を読み出すとともに、ガロア体(GF2^j)から符号c₁₁、c₁₂、c₁₃、c₁₄、c₁₅、c₁₆をランダムに発生させる。そして、無線装置1のコーディング手段17は、受信手段11がパケットPKT5(1)、PKT6(1)を受信できていないので、パケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT3(1)、PKT4(1)をそれぞれパケットP₁₁、P₁₂、P₁₃、P₁₄として、パケット<P₁>=(P₁₁、P₁₂、P₁₃、P₁₄、0、0)を生成するとともに、符号c₁₅、c₁₆の各々を“0”に設定して符号ベクトル<c₁>=(c₁₁、c₁₂、c₁₃、c₁₄、0、0)を生成する。

【0081】

そうすると、無線装置1のコーディング手段17は、パケット $\langle P_1 \rangle = (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)$ および符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ に基づいて、上述した方法によって、コーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ を生成し、その生成したコーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ と、符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ とをバッファ14に格納するとともに送信手段18へ出力する。

【0082】

無線装置1の送信手段18は、周期T2において、パケット生成手段16からパケットPKT1(2)を受け、コーディング手段17からコーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ と符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ とを受けら

10

【0083】

そして、無線装置1の送信手段18は、ブロードキャストアドレスFFを“ヘッダ”に格納し、パケットPKT1(2)を“自発パケット(Seq=k+1)”に格納し、符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ を“デコード情報”に格納し、コーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ を“コーディングパケット(Seq=k)”に格納して結合パケットPKT_CB1(2) = [FF/PKT1(2)/(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, 0, 0)/(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, 0, 0) × (P₁₁, P₁₂, P₁₃, P₁₄, 0, 0)^T]を生成する。その後、無線装置1の送信手段18は、周期T2において、結合パケットPKT_CB1(2) = [FF/PKT1(2)/(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, 0, 0)/(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, 0, 0) × (P₁₁, P₁₂, P₁₃, P₁₄, 0, 0)^T]をブロードキャストする(図5参照)。

20

【0084】

また、無線装置2は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CB2(2) = [FF/PKT2(2)/(c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆)/(c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆) × (P₂₁, P₂₂, P₂₃, 0, P₂₅, P₂₆)^T]を生成し、その生成した結合パケットPKT_CB2(2) = [FF/PKT2(2)/(c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆)/(c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆) × (P₂₁, P₂₂, P₂₃, 0, P₂₅, P₂₆)^T]をブロードキャストする(図5参照)。この場合、パケットP₂₁, P₂₂, P₂₃, P₂₅, P₂₆は、それぞれ、パケットPKT1(1), PKT2(1), PKT3(1), PKT5(1), PKT6(1)からなる。

30

【0085】

更に、無線装置3は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CB3(2) = [FF/PKT3(2)/(c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆)/(c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆) × (P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆)^T]を生成し、その生成した結合パケットPKT_CB3(2) = [FF/PKT3(2)/(c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆)/(c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆) × (P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆)^T]をブロードキャストする(図5参照)。この場合、パケットP₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆は、それぞれ、パケットPKT1(1), PKT2(1), PKT3(1), PKT4(1), PKT5(1), PKT6(1)からなる。

40

【0086】

更に、無線装置4は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケットPK

50

$T_CB4(2) = [FF/PKT4(2) / (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) / (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) \times (P_{41}, 0, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46})^T]$ を生成し、その生成した結合パケット $PKT_CB4(2) = [FF/PKT4(2) / (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) / (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) \times (P_{41}, 0, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46})^T]$ をブロードキャストする(図5参照)。この場合、パケット $P_{41}, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46}$ は、それぞれ、パケット $PKT1(1), PKT3(1), PKT4(1), PKT5(1), PKT6(1)$ からなる。

【0087】

更に、無線装置5は、周期 $T2$ において、無線装置1と同様にして、結合パケット $PKT_CB5(2) = [FF/PKT5(2) / (0, c_{52}, c_{53}, c_{54}, c_{55}, c_{56}) / (0, c_{52}, c_{53}, c_{54}, c_{55}, c_{56}) \times (0, P_{52}, P_{53}, P_{54}, P_{55}, P_{56})^T]$ を生成し、その生成した結合パケット $PKT_CB5(2) = [FF/PKT5(2) / (0, c_{52}, c_{53}, c_{54}, c_{55}, c_{56}) / (0, c_{52}, c_{53}, c_{54}, c_{55}, c_{56}) \times (0, P_{52}, P_{53}, P_{54}, P_{55}, P_{56})^T]$ をブロードキャストする(図5参照)。この場合、パケット $P_{52}, P_{53}, P_{54}, P_{55}, P_{56}$ は、それぞれ、パケット $PKT2(1), PKT3(1), PKT4(1), PKT5(1), PKT6(1)$ からなる。

【0088】

更に、無線装置6は、周期 $T2$ において、無線装置1と同様にして、結合パケット $PKT_CB6(2) = [FF/PKT6(2) / (0, c_{62}, c_{63}, c_{64}, c_{65}, c_{66}) / (0, c_{62}, c_{63}, c_{64}, c_{65}, c_{66}) \times (0, P_{62}, P_{63}, P_{64}, P_{65}, P_{66})^T]$ を生成し、その生成した結合パケット $PKT_CB6(2) = [FF/PKT6(2) / (0, c_{62}, c_{63}, c_{64}, c_{65}, c_{66}) / (0, c_{62}, c_{63}, c_{64}, c_{65}, c_{66}) \times (0, P_{62}, P_{63}, P_{64}, P_{65}, P_{66})^T]$ をブロードキャストする(図5参照)。この場合、パケット $P_{62}, P_{63}, P_{64}, P_{65}, P_{66}$ は、それぞれ、パケット $PKT2(1), PKT3(1), PKT4(1), PKT5(1), PKT6(1)$ からなる。

【0089】

無線装置1の受信手段11は、周期 $T2$ において、無線装置2, 3, 4からそれぞれ結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ を受信し、その受信した結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ を制御手段12へ出力する。

【0090】

無線装置1の制御手段12は、受信手段11から結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ を受け、結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ がそれぞれコーディングパケット $\langle y_2 \rangle, \langle y_3 \rangle, \langle y_4 \rangle$ を含むことを検知し、結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ をデコード手段13へ出力する。

【0091】

無線装置1のデコード手段13は、制御手段12から結合パケット $PKT_CB2(2), PKT_CB3(2), PKT_CB4(2)$ を受けると、バッファ14からコーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ および符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ を読み出す。

【0092】

結合パケット $PKT_CB2(2)$ は、 $PKT_CB2(2) = [FF/PKT2(2) / (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26}) / (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26}) \times (P_{21}, P_{22}, P_{23}, 0, P_{25}, P_{26})^T]$ からなり、結合パケット $PKT_CB3(2)$ は、 $PKT_CB3(2) = [FF/PKT3(2)$

10

20

30

40

50

$\begin{bmatrix} c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} \end{bmatrix}^T$
からなり、結合パケット $PKT_CB4(2)$ は、 $PKT_CB4(2) = [FF / PKT4(2) / \begin{bmatrix} c_{41} & 0 & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} c_{41} & 0 & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{41} & 0 & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} \end{bmatrix}^T]$ となる。

【0093】

そうすると、無線装置1のデコード手段13は、受信手段11が周期T1においてパケット $P_{15} = PKT5(1)$ およびパケット $P_{16} = PKT6(1)$ を受信していないので、無線装置2~4から受信した結合パケット $PKT_CB2(2)$, $PKT_CB3(2)$, $PKT_CB4(2)$ のデコード情報 = $\begin{bmatrix} c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} c_{41} & 0 & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \end{bmatrix}$ を参照して、受信手段11が周期T1において受信できなかったパケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の情報を持っているコーディングパケットをコーディングパケット $\langle y_2 \rangle = \begin{bmatrix} c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{21} & P_{22} & P_{23} & 0 & P_{25} & P_{26} \end{bmatrix}^T$, $\langle y_3 \rangle = \begin{bmatrix} c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} \end{bmatrix}^T$, $\langle y_4 \rangle = \begin{bmatrix} c_{41} & 0 & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{41} & 0 & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} \end{bmatrix}^T$ から選択する。

【0094】

この場合、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ の各々がパケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の情報を持っており、無線装置1の受信手段11が周期T1において受信できなかったパケットは、パケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の2個である。

【0095】

従って、無線装置1のデコード手段13は、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ の中から任意の2個のコーディングパケットを選択する。この場合、無線装置1のデコード手段13は、2個のコーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$ を選択するものとする。

【0096】

そうすると、無線装置1のデコード手段13は、バッファ14に格納されたパケット $P_1 = PKT1(1)$, $P_2 = PKT2(1)$, $P_3 = PKT3(1)$, $P_4 = PKT4(1)$ を読み出し、その読み出したパケット $P_1 = PKT1(1)$, $P_2 = PKT2(1)$, $P_3 = PKT3(1)$, $P_4 = PKT4(1)$ からパケット $P_1 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, P_1)$, $P_2 = (0, 1, 0, 0, 0, 0, P_2)$, $P_3 = (0, 0, 1, 0, 0, 0, P_3)$, $P_4 = (0, 0, 0, 1, 0, 0, P_4)$ を生成する。

【0097】

そして、無線装置1のデコード手段13は、パケット $P_1 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, P_1)$, $P_2 = (0, 1, 0, 0, 0, 0, P_2)$, $P_3 = (0, 0, 1, 0, 0, 0, P_3)$, $P_4 = (0, 0, 0, 1, 0, 0, P_4)$ と、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$ と、符号ベクトル $\langle c_2 \rangle = \begin{bmatrix} c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} \end{bmatrix}$, $\langle c_3 \rangle = \begin{bmatrix} c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{bmatrix}$ とに基づいて、次式を作成する。

【0098】

【数 5】

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & P_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & P_4 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} & d \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} & d \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot (5)$$

10

【0099】

その後、無線装置1のデコード手段13は、式(5)の右辺において、縦に配列された P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , d , d の前に配列された符号からなる行列の逆行列を演算し、その演算した逆行列を式(5)の両辺に乗算し、次式によってパケット P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 をデコードする。

【0100】

【数 6】

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & P_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & P_4 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & 0 & c_{25} & c_{26} & d \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} & d \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot (6)$$

20

【0101】

そして、無線装置1のデコード手段13は、パケット $P_5 = \text{PKT}5(1)$ およびパケット $P_6 = \text{PKT}6(1)$ を取得する。

30

【0102】

そうすると、無線装置1のデコード手段13は、結合パケット $\text{PKT_CB}2(2)$, $\text{PKT_CB}3(2)$, $\text{PKT_CB}4(2)$ からそれぞれパケット $\text{PKT}2(2)$, $\text{PKT}3(2)$, $\text{PKT}4(2)$ を取り出し、その取り出したパケット $\text{PKT}2(2)$, $\text{PKT}3(2)$, $\text{PKT}4(2)$ と、デコードしたパケット $\text{PKT}5(1)$, $\text{PKT}6(1)$ とを再生手段15へ出力する。

【0103】

そして、無線装置1の再生手段15は、パケット $\text{PKT}2(2)$, $\text{PKT}3(2)$, $\text{PKT}4(2)$, $\text{PKT}5(1)$, $\text{PKT}6(1)$ のデータをそれぞれ再生し、無線装置1の操作者に視覚情報として与える。

40

【0104】

無線装置2は、無線装置4からのパケット $\text{PKT}4(1)$ を周期 $T1$ において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケット $\text{PKT_CB}1(2)$, $\text{PKT_CB}3(2)$, $\text{PKT_CB}5(2)$, $\text{PKT_CB}6(2)$ に基づいて、パケット $\text{PKT}4(1)$ を取得する。そして、無線装置2は、パケット $\text{PKT}1(2)$, $\text{PKT}3(2)$, $\text{PKT}4(1)$, $\text{PKT}5(2)$, $\text{PKT}6(2)$ のデータをそれぞれ再生する。

【0105】

また、無線装置4は、無線装置2からのパケット $\text{PKT}2(1)$ を周期 $T1$ において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケット $\text{PKT_CB}1(2)$, $\text{PKT_CB}3(2)$, $\text{PKT_CB}5(2)$, $\text{PKT_CB}6(2)$ に基づいて、パケット

50

P K T 2 (1) を取得する。そして、無線装置 4 は、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (1) , P K T 3 (2) , P K T 5 (2) , P K T 6 (2) のデータをそれぞれ再生する。

【 0 1 0 6 】

更に、無線装置 5 は、無線装置 1 からのパケット P K T 1 (1) を周期 T 1 において受信していないので、無線装置 1 と同様にして、結合パケット P K T _ C B 2 (2) , P K T _ C B 3 (2) , P K T _ C B 3 (2) , P K T _ C B 4 (2) , P K T _ C B 6 (2) に基づいて、パケット P K T 1 (1) を取得する。そして、無線装置 5 は、パケット P K T 1 (1) , P K T 2 (2) , P K T 3 (2) , P K T 4 (2) , P K T 6 (2) のデータをそれぞれ再生する。

10

【 0 1 0 7 】

更に、無線装置 6 も、無線装置 1 からのパケット P K T 1 (1) を周期 T 1 において受信していないので、無線装置 1 と同様にして、結合パケット P K T _ C B 2 (2) , P K T _ C B 3 (2) , P K T _ C B 4 (2) , P K T _ C B 5 (2) に基づいて、パケット P K T 1 (1) を取得する。そして、無線装置 6 は、パケット P K T 1 (1) , P K T 2 (2) , P K T 3 (2) , P K T 4 (2) , P K T 5 (2) のデータをそれぞれ再生する。

【 0 1 0 8 】

なお、無線装置 3 は、周期 T 1 において、パケット P K T 1 (1) , P K T 2 (1) , P K T 4 (1) , P K T 5 (1) , P K T 6 (1) の全てを受信しているので、コーディングパケットのデコードを行なわない。そして、無線装置 3 は、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (2) , P K T 4 (2) , P K T 5 (2) , P K T 6 (2) のデータをそれぞれ再生する。

20

【 0 1 0 9 】

その後、無線装置 1 ~ 6 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、それぞれ、結合パケット P K T _ C B 1 (3) ~ P K T _ C B 6 (3) を生成し、その生成した結合パケット P K T _ C B 1 (3) ~ P K T _ C B 6 (3) をブロードキャストする (図 6 参照) 。

【 0 1 1 0 】

そして、無線装置 1 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 2 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (3) , P K T 5 (2) , P K T 6 (2) を受信して再生する。また、無線装置 2 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (2) , P K T 5 (3) , P K T 6 (3) を受信して再生する。更に、無線装置 3 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (3) , P K T 2 (3) , P K T 4 (3) , P K T 5 (3) , P K T 6 (3) を受信して再生する。更に、無線装置 4 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (3) , P K T 2 (2) , P K T 3 (3) , P K T 5 (3) , P K T 6 (3) を受信して再生する。更に、無線装置 5 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (3) , P K T 6 (3) を受信して再生する。更に、無線装置 6 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (3) , P K T 5 (3) を受信して再生する (図 6 参照) 。

30

40

【 0 1 1 1 】

上述したように、無線装置 1 は、周期 T 1 においては、無線装置 5 , 6 からのパケット P K T 5 (1) , P K T 6 (1) を受信できないが、周期 T 2 において、無線装置 2 ~ 4 からの結合パケット P K T _ C B 2 (2) , P K T _ C B 3 (2) , P K T _ C B 4 (2) に基づいて、パケット P K T 5 (1) , P K T 6 (1) を受信できる。また、無線装置 1 は、周期 T 2 においては、無線装置 5 , 6 からのパケット P K T 5 (2) , P K T 6 (2) を受信できないが、周期 T 3 において、無線装置 2 ~ 4 からの結合パケット P K T _ C B 2 (3) , P K T _ C B 3 (3) , P K T _ C B 4 (3) に基づいて、パケット P K

50

T 5 (2), P K T 6 (3) を受信できる。

【0112】

従って、この発明によれば、無線装置 5, 6 から無線装置 1 へのパケット P K T 5 (1), P K T 6 (1), P K T 5 (2), P K T 6 (3), ... の到達率を向上できる。

【0113】

また、パケット P K T 5 (1), P K T 6 (1), P K T 5 (2), P K T 6 (3), ... が無線装置 5, 6 から無線装置 1 へ到達するときの遅延時間が 16.7ms 以下になるので、許容遅延 = 50ms 内に、P K T 5 (1), P K T 6 (1), P K T 5 (2), P K T 6 (3), ... を無線装置 5, 6 から無線装置 1 へ到達させることができる。その結果、無線装置 1 ~ 6 は、対戦型のゲームを実行できる。

10

【0114】

図 7 は、図 1 に示す無線ネットワーク 10 における無線通信のタイミングチャートである。

【0115】

無線装置 1 ~ 6 は、周期 T 1 において、それぞれ、シーケンス番号 S e q = 1 の単一のパケット P K T 1 (1) ~ P K T 6 (1) をブロードキャストする。その後、無線装置 1 ~ 6 は、周期 T 2 において、それぞれ、シーケンス番号 S e q = 1 のパケット P K T 1 (1) ~ P K T 6 (1) をネットワークコーディングしたコーディングパケット P K T _ c d (1) と、シーケンス番号 S e q = 2 の単一のパケット P K T 1 (2) ~ P K T 6 (2) との結合パケット P K T _ C B 1 (2) ~ P K T _ C B 6 (2) をブロードキャストする。更に、無線装置 1 ~ 6 は、周期 T 3 において、それぞれ、シーケンス番号 S e q = 2 のパケット P K T 1 (2) ~ P K T 6 (2) をネットワークコーディングしたコーディングパケット P K T _ c d (2) と、シーケンス番号 S e q = 3 の単一のパケット P K T 1 (3) ~ P K T 6 (3) との結合パケット P K T _ C B 1 (3) ~ P K T _ C B 6 (3) をブロードキャストする。無線装置 1 ~ 6 は、以下、同じ動作を繰返し実行して無線通信を行なう。

20

【0116】

このように、無線装置 1 ~ 6 は、周期 T 2 以降、同じシーケンス番号のパケット P K T をネットワークコーディングしてブロードキャストする。

【0117】

30

一方、非特許文献 2, 3 に記載された従来のネットワークコーディングでは、無線装置 A がシーケンス番号 S e q = 1, 2, 3 のパケット P K T A (1), P K T A (2), P K T A (3) を 3 周期間で無線装置 B へ順次送信し、無線装置 B がパケット P K T A (1), P K T A (2), P K T A (3) をネットワークコーディングして送信する。このように、従来のネットワークコーディングでは、各無線装置は、シーケンス番号が異なる複数のパケットをネットワークコーディングする。

【0118】

従って、各無線装置 1 ~ 6 は、従来のネットワークコーディングと異なる方法によってパケットをネットワークコーディングする。

【0119】

40

シーケンス番号が同じであるパケットをネットワークコーディングして送信することによって、第 k 番目の周期において到達しなかった複数のパケットを第 k + 1 番目の周期において同時に到達させることができ、パケットの即時性を保持できる。その結果、対戦型のゲームを実行できる。

【0120】

上述した通信方法を用いた場合のパケットエラーレートのシミュレーション結果について説明する。

【0121】

シミュレーションの条件は、以下のとおりである。無線通信範囲を 500m × 250m の範囲とし、通信モードを I E E E 802.11g とする。また、各無線装置の通信レー

50

トを6Mbpsとし、フェージングのライス係数Kを $K=4.84$ とする。更に、シャドウイングの対数正規分布における長区間平均値を4とし、伝搬方式をtwo-ray方式とした、更に、パケット生成周期を16.7msとし、IP(Internet Protocol)層におけるパケットサイズを50バイトとした。更に、比較対象を通常のブロードキャスト、FEC(Forward Error Correction)(1/1)、FEC(2/1)、およびMPR(Multi Point Relay)を用いた転送方式(以下、「MPR」という)とした。

【0122】

図8は、平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す図である。図8において、縦軸は、平均パケットエラー率を表し、横軸は、無線装置の個数を表す。また、曲線k1は、この発明による通信方法を用いた場合の平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k2は、FEC(2/1)を用いた場合の平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k3は、FEC(1/1)を用いた場合の平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k4は、通常のブロードキャストを用いた場合の平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k5は、MPRを用いた場合の平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す。

10

【0123】

この発明による通信方法を用いた場合の平均パケットエラー率は、無線装置の個数が50個まで増加しても、他の方法を用いた場合よりも低い(曲線k1~k5参照)。特に、通常のブロードキャスト、FEC(1/1)、FEC(2/1)、およびMPRを用いた場合、無線装置の個数が20個よりも多くなると、平均パケットエラー率は、増加するが(曲線k2~k5参照)、この発明による通信方法を用いた場合には、平均パケットエラー率は、無線装置の個数が20個よりも多くなっても、殆ど増加せず、1%よりも低い(曲線k1参照)。

20

【0124】

図9は、最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す図である。図9において、縦軸は、最大パケットエラー率を表し、横軸は、無線装置の個数を表す。また、曲線k6は、この発明による通信方法を用いた場合の最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k7は、FEC(2/1)を用いた場合の最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k8は、FEC(1/1)を用いた場合の最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k9は、通常のブロードキャストを用いた場合の最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示し、曲線k10は、MPRを用いた場合の最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す。

30

【0125】

この発明による通信方法を用いた場合の最大パケットエラー率は、無線装置の個数が50個まで増加しても、他の方法を用いた場合よりも低い(曲線k6~k10参照)。特に、通常のブロードキャスト、FEC(1/1)およびFEC(2/1)を用いた場合、無線装置の個数が30個よりも多くなると、最大パケットエラー率は、増加し(曲線k7~k9参照)、MPRを用いた場合、無線装置の個数が20個よりも多くなると、最大パケットエラー率が増加するが(曲線k10参照)、この発明による通信方法を用いた場合には、最大パケットエラー率は、無線装置の個数が40個までは、殆ど増加せず、無線装置の個数が50個になっても、約1%と低い(曲線k6参照)。

40

【0126】

従って、この発明による通信方法は、対戦型のゲームにおける必要な性能であるパケット到達率=99%以上を満たすことが解った。

【0127】

[実施の形態2]

図10は、図1に示す無線装置1~6の実施の形態2における構成を示す概略ブロック図である。

【0128】

50

図1に示す無線装置1～6の各々は、実施の形態2においては、図10に示す無線装置1Aからなる。無線装置1Aは、図2に示す無線装置1のデコード手段13、コーディング手段17および送信手段18をそれぞれデコード手段13A、コーディング手段17Aおよび送信手段18Aに代えたものであり、その他は、無線装置1と同じである。

【0129】

デコード手段13Aは、他の無線装置から送信された符号列FC1と他の無線装置のアドレスとを含むパケットを制御手段12から受け、その受けたパケットから符号列FC1と他の無線装置のアドレスとを取り出し、その取り出した符号列FC1と他の無線装置のアドレスとを相互に対応付けて予め保持する。そして、デコード手段13Aは、他の無線装置から送信された結合パケットPKT__CBBと、予め保持した符号列FC1と、コーディング手段17AがネットワークコーディングしたコーディングパケットPKT__cdとに基づいて、後述する方法によって、コーディングパケットPKT__cdをデコードする。デコード手段13Aは、その他、デコード手段13と同じ機能を果たす。

10

【0130】

コーディング手段17Aは、パケットPKTの周期的な送受信が開始される前に、自己が搭載された無線装置jにおいてガロア体($GF2^j$)から符号列 $FC1 = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ をランダムに発生させ、その発生させた符号列 $FC1 = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ を送信手段18Aへ出力する。

20

【0131】

また、コーディング手段17Aは、第k+1番目の周期において、シーケンス番号Seq=kの単一のパケットPKT1(k)～PKTn(k)をバッファ14から読み出し、その読み出したパケットPKT1(k)～PKTn(k)に基づいて、パケットPKT1(k)～PKT6(k)の有無を示すビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ を生成する。より具体的には、コーディング手段17Aは、n=6である場合、パケットPKT1(k)～PKT6(k)の全てが存在することを示すビット列 $FC2 = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$ を生成する。また、コーディング手段17Aは、n<6である場合、例えば、パケットPKT3(k)が存在しないことを示すビット列 $FC2 = (1, 1, 0, 1, 1, 1)$ を生成する。なお、コーディング手段17Aは、各パケットPKT1(k), PKT2(k), PKT4(k), PKT5(k), PKT6(k)が存在

30

【0132】

そうすると、コーディング手段17Aは、符号列 $FC1 = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ とビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ とに基づいて、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ を生成する。より具体的には、コーディング手段17Aは、ビット列FC2が(1, 1, 1, 1, 1, 1)からなる場合、符号ベクトル $\langle c_j \rangle = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ を生成する。また、コーディング手段17Aは、ビット列FC2が(1, 1, 0, 1, 1, 1)からなる場合、符号ベクトル $\langle c_j \rangle = (c_{j1}, c_{j2}, 0, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ を生成する。なお、コーディング手段17Aは、ビット列FC2の3番目の要素b₃以外の要素b₁, b₂, b₄, b₅, b₆が“0”からなる場合も、同様にして符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ を生成する。

40

【0133】

そして、コーディング手段17Aは、符号ベクトル $\langle c_j \rangle$ と、パケットPKT1(k)～PKTn(k)とに基づいて、コーディング手段17と同じ方法によって、パケットPKT1(k)～PKTn(k)をネットワークコーディングしてコーディングパケットPKT__cd(k)を生成する。

【0134】

そうすると、コーディング手段17Aは、ビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ と、コーディングパケットPKT__cd(k)とを送信手段18Aへ出力

50

する。

【0135】

コーディング手段17Aは、その他、コーディング手段17と同じ機能を果たす。

【0136】

送信手段18Aは、コーディング手段17Aから符号列 $FC1 = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ を受けると、その受けた符号列 $FC1 = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}, c_{j5}, c_{j6})$ と、無線装置jのアドレス Add_j とを含むパケットPKTを生成し、その生成したパケットPKTを他の全ての無線装置へユニキャストによって送信する。

【0137】

また、送信手段18Aは、第 $k+1$ 番目の周期において、パケット生成手段16からパケットPKT $j(k+1)$ を受け、ビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ とコーディングパケットPKT $_cd(k)$ とをコーディング手段17Aから受ける。そして、送信手段18Aは、第k番目の周期においてパケット生成手段16によって生成され、かつ、格納されたパケットPKT $j(k)$ をバッファ14から読み出す。

【0138】

そうすると、送信手段18Aは、パケットPKT $j(k)$ と、パケットPKT $j(k+1)$ と、ビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ と、コーディングパケットPKT $_cd(k)$ とを含む結合パケットPKT $_CBB$ を生成し、その生成した結合パケットPKT $_CBB$ をブロードキャストする。

【0139】

送信手段18Aは、その他、送信手段18と同じ機能を果たす。

【0140】

図11は、自発パケットとコーディングパケットとを結合したパケットの実施の形態2における構成図である。

【0141】

結合パケットPKT $_CBB$ は、図3に示す結合パケットPKT $_CB$ に自発パケット($Seq. = k$)を追加したものであり、その他は、結合パケットPKT $_CB$ と同じである。

【0142】

なお、結合パケットPKT $_CBB$ においては、デコード情報は、ビット列 $FC2 = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ からなる。

【0143】

自発パケット($Seq. = k$)は、第 $k+1$ 番目の周期において結合パケットPKT $_CBB$ を送信する無線装置において、第k番目の周期において生成された単一のパケットPKTからなる。

【0144】

このように、実施の形態2においては、各無線装置1~6は、第 $k+1$ 番目の周期において、第 $k+1$ 番目の周期において生成された自発パケット($Seq. = k+1$)のみならず、第k番目の周期において生成された自発パケット($Seq. = k$)も含めて結合パケットPKT $_CBB$ を生成し、その生成した結合パケットPKT $_CBB$ をブロードキャストする。これによって、第k番目の周期において、パケット衝突によって、送信先へ到達しなかったパケットPKT(k)の送信先への到達率を向上できる。

【0145】

図10に示すデコード手段13Aにおけるコーディングパケット $\langle y_j \rangle$ のデコード方法について説明する。この場合、各無線装置1~6は、他の $N-1$ 個の無線装置から $N-1$ 個の結合パケットPKT $_CBB_1 \sim PKT_CBB_N-1$ を受信しているものとする。結合パケットPKT $_CBB_1 \sim PKT_CBB_N-1$ は、それぞれ、ビット列 $FC2_1 \sim FC2_N-1$ およびコーディングパケット $\langle y_1 \rangle \sim \langle y_{N-1} \rangle$ を含む。

10

20

30

40

50

【0146】

各無線装置1～6のデコード手段13Aは、結合パケットPKT__CBB__1～PKT__CBB__N-1からそれぞれビット列FC2__1～FC2__N-1およびコーディングパケット<y₁>～<y_{N-1}>を取り出す。

【0147】

そして、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、他のN-1個の無線装置から送信されたN-1個の符号列FC1__1～FC1__N-1を他のN-1個の無線装置のアドレスに対応付けて保持しているので、符号列FC1__1～FC1__N-1と、ビット列FC2__1～FC2__N-1とに基づいて、N-1個の符号ベクトル<c₁>～<c_{N-1}>を生成する。この場合、符号列FC1__1～FC1__N-1は、それぞれ、ビット列FC2__1～FC2__N-1に対応している。

10

【0148】

より具体的には、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、相互に対応する符号列FC1__1およびビット列FC2__1がそれぞれFC1__1=(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, c₁₅, c₁₆), FC2__1=(1, 1, 1, 1, 1, 1)からなる場合、符号列FC1__1およびビット列FC2__1に基づいて、符号ベクトル<c₁>=(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, c₁₅, c₁₆)を生成する。また、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、符号列FC1__1およびビット列FC2__1がそれぞれFC1__1=(c₁₁, c₁₂, c₁₃, c₁₄, c₁₅, c₁₆), FC2__1=(1, 0, 1, 1, 1, 1)からなる場合、符号列FC1__1およびビット列FC2__1に基づいて、符号ベクトル<c₁>=(c₁₁, 0, c₁₃, c₁₄, c₁₅, c₁₆)を生成する。なお、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、ビット列FC2__1の2番目の要素b₂以外の要素b₁, b₃, b₄, b₅, b₆が“0”からなる場合も、同様にして符号ベクトル<c₁>を生成する。

20

【0149】

その後、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、同様にして、符号列FC1__2～FC1__N-1と、ビット列FC2__2～FC2__N-1とに基づいて、符号ベクトル<c₂>～<c_{N-1}>を生成する。

【0150】

また、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、コーディング手段17Aがネットワークコーディングしたコーディングパケット<y_j>と、そのネットワークコーディングに用いた符号ベクトル<c_j>とをバッファ14から読み出す。

30

【0151】

これによって、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、N個の符号ベクトル<c₁>～<c_N>と、N個のコーディングパケット<y₁>～<y_N>とを取得する。

【0152】

そうすると、各無線装置1～6のデコード手段13Aは、N個の符号ベクトル<c₁>～<c_N>と、N個のコーディングパケット<y₁>～<y_N>とに基づいて、上述したデコード手段13における方法と同じ方法によって、コーディングパケット<y₁>～<y_N>をデコードする。

40

【0153】

このように、実施の形態2においては、デコード手段13Aは、他の無線装置から予め送信されて保持している符号列FC1と、結合パケットPKT__CBBに含まれるビット列FC2とに基づいて、符号ベクトル<c>を生成し、その生成した符号ベクトル<c>を用いてコーディングパケット<y>をデコードする。

【0154】

実施の形態2においては、無線装置1～6は、周期T1において、それぞれ、パケットPKT1(1)～PKT6(1)を生成してブロードキャストする(図5参照)。そして、各無線装置1～6は、他の無線装置から受信したパケットPKT(1)のデータを再生して視覚情報として各無線装置1～6の操作者に与える。

50

【0155】

その後、無線装置1の packets 生成手段16は、周期T2において、シーケンス番号Seq=2の単一の packets PKT1(2)を生成し、その生成した packets PKT1(2)をバッファ14に格納するとともに送信手段18Aへ出力する。また、無線装置1のコーディング手段17Aは、周期T2において、バッファ14に格納された packets PKT1(1), PKT2(1), PKT3(1), PKT4(1)を読み出すとともに、符号 $c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{16}$ をランダムに発生させ、符号列 $FC1_1 = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{16})$ を生成する。

【0156】

そして、無線装置1のコーディング手段17Aは、受信手段11が packets PKT5(1), PKT6(1)を受信できていないので、 packets PKT1(1), PKT2(1), PKT3(1), PKT4(1)をそれぞれ packets $P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}$ として、 packets $\langle P_1 \rangle = (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)$ を生成するとともに、符号列 $FC1_1$ の符号 c_{15}, c_{16} の各々を“0”に設定して符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ を生成する。

【0157】

そうすると、無線装置1のコーディング手段17Aは、 packets $\langle P_1 \rangle = (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)$ および符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ に基づいて、上述した方法によって、コーディング packets $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ を生成する。

【0158】

そして、無線装置1のコーディング手段17Aは、符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ に基づいて、上述した方法によって、ビット列 $FC2_1 = (1, 1, 1, 1, 0, 0)$ を生成し、その生成したビット列 $FC2_1 = (1, 1, 1, 1, 0, 0)$ とコーディング packets $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ とを送信手段18Aへ出力する。

【0159】

無線装置1の送信手段18Aは、周期T2において、 packets 生成手段16から packets PKT1(2)を受け、コーディング手段17Aからビット列 $FC2_1 = (1, 1, 1, 1, 0, 0)$ とコーディング packets $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ とを受ける。

【0160】

そして、無線装置1の送信手段18Aは、バッファ14から packets PKT1(1)を読み出すとともに、ブロードキャストアドレスFFを“ヘッダ”に格納し、 packets PKT1(1)を“自発 packets (Seq=k)”に格納し、 packets PKT1(2)を“自発 packets (Seq=k+1)”に格納し、ビット列 $FC2_1 = (1, 1, 1, 1, 0, 0)$ を“デコード情報”に格納し、コーディング packets $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ を“コーディング packets (Seq=k)”に格納して結合 packets PKT_CBB1(2) = [FF/PKT1(2)/PKT1(1)/(1, 1, 1, 1, 0, 0)/(c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) × (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T]を生成する。その後、無線装置1の送信手段18Aは、周期T2において、結合 packets PKT_CBB1(2) = [FF/PKT1(2)/PKT1(1)/(1, 1, 1, 1, 0, 0)/(c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) × (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T]をブロードキャストする(図5参照)。

【0161】

また、無線装置2は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合 packets PKT_CBB2(2) = [FF/PKT2(2)/PKT2(1)/(1, 1, 1, 0, 1

10

20

30

40

50

, 1) / (c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆) × (P₂₁, P₂₂, P₂₃, 0, P₂₅, P₂₆)^T] を生成し、その生成した結合パケット PKT_CBB2 (2) = [FF / PKT2 (2) / PKT2 (1) / (1, 1, 1, 0, 1, 1) / (c₂₁, c₂₂, c₂₃, 0, c₂₅, c₂₆) × (P₂₁, P₂₂, P₂₃, 0, P₂₅, P₂₆)^T] をブロードキャストする (図5参照)。この場合、パケット P₂₁, P₂₂, P₂₃, P₂₅, P₂₆ は、それぞれ、パケット PKT1 (1), PKT2 (1), PKT3 (1), PKT5 (1), PKT6 (1) からなる。

【0162】

更に、無線装置3は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケット PKT_CBB3 (2) = [FF / PKT3 (2) / PKT3 (1) / (1, 1, 1, 1, 1, 1) / (c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆) × (P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆)^T] を生成し、その生成した結合パケット PKT_CBB3 (2) = [FF / PKT3 (2) / PKT3 (1) / (1, 1, 1, 1, 1, 1) / (c₃₁, c₃₂, c₃₃, c₃₄, c₃₅, c₃₆) × (P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆)^T] をブロードキャストする (図5参照)。この場合、パケット P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄, P₃₅, P₃₆ は、それぞれ、パケット PKT1 (1), PKT2 (1), PKT3 (1), PKT4 (1), PKT5 (1), PKT6 (1) からなる。

【0163】

更に、無線装置4は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケット PKT_CBB4 (2) = [FF / PKT4 (2) / PKT4 (1) / (1, 0, 1, 1, 1, 1) / (c₄₁, 0, c₄₃, c₄₄, c₄₅, c₄₆) × (P₄₁, 0, P₄₃, P₄₄, P₄₅, P₄₆)^T] を生成し、その生成した結合パケット PKT_CBB4 (2) = [FF / PKT4 (2) / PKT4 (1) / (1, 0, 1, 1, 1, 1) / (c₄₁, 0, c₄₃, c₄₄, c₄₅, c₄₆) × (P₄₁, 0, P₄₃, P₄₄, P₄₅, P₄₆)^T] をブロードキャストする (図5参照)。この場合、パケット P₄₁, P₄₃, P₄₄, P₄₅, P₄₆ は、それぞれ、パケット PKT1 (1), PKT3 (1), PKT4 (1), PKT5 (1), PKT6 (1) からなる。

【0164】

更に、無線装置5は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケット PKT_CBB5 (2) = [FF / PKT5 (2) / PKT5 (1) / (0, 1, 1, 1, 1, 1) / (0, c₅₂, c₅₃, c₅₄, c₅₅, c₅₆) × (0, P₅₂, P₅₃, P₅₄, P₅₅, P₅₆)^T] を生成し、その生成した結合パケット PKT_CBB5 (2) = [FF / PKT5 (2) / PKT5 (1) / (0, 1, 1, 1, 1, 1) / (0, c₅₂, c₅₃, c₅₄, c₅₅, c₅₆) × (0, P₅₂, P₅₃, P₅₄, P₅₅, P₅₆)^T] をブロードキャストする (図5参照)。この場合、パケット P₅₂, P₅₃, P₅₄, P₅₅, P₅₆ は、それぞれ、パケット PKT2 (1), PKT3 (1), PKT4 (1), PKT5 (1), PKT6 (1) からなる。

【0165】

更に、無線装置6は、周期T2において、無線装置1と同様にして、結合パケット PKT_CBB6 (2) = [FF / PKT6 (2) / PKT6 (1) / (0, 1, 1, 1, 1, 1) / (0, c₆₂, c₆₃, c₆₄, c₆₅, c₆₆) × (0, P₆₂, P₆₃, P₆₄, P₆₅, P₆₆)^T] を生成し、その生成した結合パケット PKT_CBB6 (2) = [FF / PKT6 (2) / PKT6 (1) / (0, 1, 1, 1, 1, 1) / (0, c₆₂, c₆₃, c₆₄, c₆₅, c₆₆) × (0, P₆₂, P₆₃, P₆₄, P₆₅, P₆₆)^T] をブロードキャストする (図5参照)。この場合、パケット P₆₂, P₆₃, P₆₄, P₆₅, P₆₆ は、それぞれ、パケット PKT2 (1), PKT3 (1), PKT4 (1), PKT5 (1), PKT6 (1) からなる。

【0166】

そうすると、無線装置1の受信手段11は、周期T2において、無線装置2, 3, 4か

10

20

30

40

50

らそれぞれ結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ を受信し、その受信した結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ を制御手段 12 へ出力する。

【0167】

無線装置 1 の制御手段 12 は、受信手段 11 から結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ を受け、結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ がそれぞれコーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ を含むことを検知し、結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ をデコード手段 13A へ出力する。

10

【0168】

無線装置 1 のデコード手段 13A は、制御手段 12 から結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ を受けると、バッファ 14 からコーディングパケット $\langle y_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0) \times (P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, 0, 0)^T$ および符号ベクトル $\langle c_1 \rangle = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, 0, 0)$ を読み出す。

【0169】

結合パケット $PKT_CBB2(2)$ は、 $PKT_CBB2(2) = [FF / PKT2(2) / PKT2(1) / (1, 1, 1, 0, 1, 1) / (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26}) \times (P_{21}, P_{22}, P_{23}, 0, P_{25}, P_{26})^T]$ からなり、結合パケット $PKT_CBB3(2)$ は、 $PKT_CBB3(2) = [FF / PKT3(2) / PKT3(1) / (1, 1, 1, 1, 1, 1) / (c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36}) \times (P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}, P_{35}, P_{36})^T]$ からなり、結合パケット $PKT_CBB4(2)$ は、 $PKT_CBB4(2) = [FF / PKT4(2) / PKT4(1) / (1, 0, 1, 1, 1, 1) / (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) \times (P_{41}, 0, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46})^T]$ からなる。

20

【0170】

その後、無線装置 1 のデコード手段 13A は、結合パケット $PKT_CBB2(2)$ からビット列 $FC2_2 = (1, 1, 1, 0, 1, 1)$ と、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle = (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26}) \times (P_{21}, P_{22}, P_{23}, 0, P_{25}, P_{26})^T$ とを取り出す。また、無線装置 1 のデコード手段 13A は、結合パケット $PKT_CBB3(2)$ からビット列 $FC2_3 = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$ と、コーディングパケット $\langle y_3 \rangle = (c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36}) \times (P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}, P_{35}, P_{36})^T$ とを取り出す。更に、無線装置 1 のデコード手段 13A は、結合パケット $PKT_CBB4(2)$ からビット列 $FC2_4 = (1, 0, 1, 1, 1, 1)$ と、コーディングパケット $\langle y_4 \rangle = (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) \times (P_{41}, 0, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46})^T$ とを取り出す。

30

【0171】

そうすると、無線装置 1 のデコード手段 13A は、予め無線装置 2 から受信して保持している符号列 $FC1_2 = (c_{21}, c_{22}, c_{23}, c_{24}, c_{25}, c_{26})$ と、ビット列 $FC2_2 = (1, 1, 1, 0, 1, 1)$ とに基づいて、上述した方法によって符号ベクトル $\langle c_2 \rangle = (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26})$ を生成する。

40

【0172】

また、無線装置 1 のデコード手段 13A は、同様にして、符号ベクトル $\langle c_3 \rangle = (c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36})$ を生成するとともに、符号ベクトル $\langle c_4 \rangle = (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46})$ を生成する。

【0173】

そして、無線装置 1 のデコード手段 13A は、受信手段 11 が周期 $T1$ においてパケッ

50

ト $P_{15} = PKT5(1)$ およびパケット $P_{16} = PKT6(1)$ を受信していないので、無線装置 2～4 から受信した結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(3)$, $PKT_CBB4(2)$ のデコード情報 $= FC2_2 = (1, 1, 1, 0, 1, 1)$, $FC2_3 = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$, $FC2_4 = (1, 0, 1, 1, 1, 1)$ を参照して、受信手段 11 が周期 $T1$ において受信できなかったパケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の情報を持っているコーディングパケットをコーディングパケット $\langle y_2 \rangle = (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26}) \times (P_{21}, P_{22}, P_{23}, 0, P_{25}, P_{26})^T$, $\langle y_3 \rangle = (c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36}) \times (P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}, P_{35}, P_{36})^T$, $\langle y_4 \rangle = (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46}) \times (P_{41}, 0, P_{43}, P_{44}, P_{45}, P_{46})^T$ から選択する。

10

【0174】

この場合、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ の各々がパケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の情報を持っており、無線装置 1 の受信手段 11 が周期 $T1$ において受信できなかったパケットは、パケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ の 2 個である。

【0175】

従って、無線装置 1 のデコード手段 13A は、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ の中から任意の 2 個のコーディングパケットを選択する。この場合、無線装置 1 のデコード手段 13A は、2 個のコーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$ を選択するものとする。

20

【0176】

そうすると、無線装置 1 のデコード手段 13A は、バッファ 14 に格納されたパケット $P_1 = PKT1(1)$, $P_2 = PKT2(1)$, $P_3 = PKT3(1)$, $P_4 = PKT4(1)$ を読み出し、その読み出したパケット $P_1 = PKT1(1)$, $P_2 = PKT2(1)$, $P_3 = PKT3(1)$, $P_4 = PKT4(1)$ と、コーディングパケット $\langle y_2 \rangle$, $\langle y_3 \rangle$, $\langle y_4 \rangle$ と、符号ベクトル $\langle c_2 \rangle = (c_{21}, c_{22}, c_{23}, 0, c_{25}, c_{26})$, $\langle c_3 \rangle = (c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36})$, $\langle c_4 \rangle = (c_{41}, 0, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{46})$ とに基づいて、上述した式 (5), (6) を用いてパケット $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ をデコードする。

30

【0177】

そして、無線装置 1 のデコード手段 13A は、パケット $P_5 = PKT5(1)$ およびパケット $P_6 = PKT6(1)$ を取得する。

【0178】

そうすると、無線装置 1 のデコード手段 13A は、結合パケット $PKT_CBB2(2)$, $PKT_CBB3(2)$, $PKT_CBB4(2)$ からそれぞれパケット $PKT2(2)$, $PKT2(1)$, パケット $PKT3(2)$, $PKT3(1)$, およびパケット $PKT4(2)$, $PKT4(1)$ を取り出し、その取り出したパケット $PKT2(2)$, $PKT2(1)$; $PKT3(2)$, $PKT3(1)$; $PKT4(2)$, $PKT4(1)$ と、デコードしたパケット $PKT5(1)$, $PKT6(1)$ とを再生手段 15 へ出力する。

40

【0179】

そして、無線装置 1 の再生手段 15 は、周期 $T1$ において、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を既に再生していれば、パケット $PKT2(2)$, $PKT3(2)$, $PKT4(2)$, $PKT5(1)$, $PKT6(1)$ のデータをそれぞれ再生し、無線装置 1 の操作者に視覚情報として与える。

【0180】

一方、無線装置 1 の再生手段 15 は、周期 $T1$ において、パケット $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$ を再生していなければ、パケット $PKT2(2)$, $PKT3(2)$, $PKT4(2)$, $PKT2(1)$, $PKT3(1)$, $PKT4(1)$, $PKT5(1)$, $PKT6(1)$ のデータをそれぞれ再生し、無線装置 1 の操作者に視覚情報と

50

して与える。

【0181】

また、無線装置2は、無線装置4からのパケットPKT4(1)を周期T1において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CBB1(2)、PKT_CBB3(2)、PKT_CBB5(2)、PKT_CBB6(2)に基づいて、パケットPKT4(1)を取得する。そして、無線装置2は、パケットPKT1(2)、PKT3(2)、PKT4(1)、PKT5(2)、PKT6(2)のデータをそれぞれ再生する。

【0182】

また、無線装置4は、無線装置2からのパケットPKT2(1)を周期T1において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CBB1(2)、PKT_CBB3(2)、PKT_CBB5(2)、PKT_CBB6(2)に基づいて、パケットPKT2(1)を取得する。そして、無線装置4は、パケットPKT1(2)、PKT2(1)、PKT3(2)、PKT5(2)、PKT6(2)のデータをそれぞれ再生する。

【0183】

更に、無線装置5は、無線装置1からのパケットPKT1(1)を周期T1において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CBB2(2)、PKT_CBB3(2)、PKT_CBB3(2)、PKT_CBB4(2)、PKT_CBB6(2)に基づいて、パケットPKT1(1)を取得する。そして、無線装置5は、パケットPKT1(1)、PKT2(2)、PKT3(2)、PKT4(2)、PKT6(2)のデータをそれぞれ再生する。

【0184】

更に、無線装置6も、無線装置1からのパケットPKT1(1)を周期T1において受信していないので、無線装置1と同様にして、結合パケットPKT_CBB2(2)、PKT_CBB3(2)、PKT_CBB4(2)、PKT_CBB5(2)に基づいて、パケットPKT1(1)を取得する。そして、無線装置6は、パケットPKT1(1)、PKT2(2)、PKT3(2)、PKT4(2)、PKT5(2)のデータをそれぞれ再生する。

【0185】

なお、無線装置3は、周期T1において、パケットPKT1(1)、PKT2(1)、PKT4(1)、PKT5(1)、PKT6(1)の全てを受信しているので、コーディングパケットのデコードを行なわない。そして、無線装置3は、パケットPKT1(2)、PKT2(2)、PKT4(2)、PKT5(2)、PKT6(2)のデータをそれぞれ再生する。

【0186】

その後、無線装置1～6は、周期T3において、上述した方法によって、それぞれ、結合パケットPKT_CBB1(3)～PKT_CBB6(3)を生成し、その生成した結合パケットPKT_CBB1(3)～PKT_CBB6(3)をブロードキャストする(図6参照)。

【0187】

そして、無線装置1は、周期T3において、上述した方法によって、パケットPKT2(3)、PKT3(3)、PKT4(3)、PKT5(2)、PKT6(2)を受信して再生する。また、無線装置2は、周期T3において、上述した方法によって、パケットPKT1(3)、PKT3(3)、PKT4(2)、PKT5(3)、PKT6(3)を受信して再生する。更に、周期T3において、上述した方法によって、無線装置3は、パケットPKT1(3)、PKT2(3)、PKT4(3)、PKT5(3)、PKT6(3)を受信して再生する。更に、無線装置4は、周期T3において、上述した方法によって、パケットPKT1(3)、PKT2(2)、PKT3(3)、PKT5(3)、PKT6(3)を受信して再生する。更に、無線装置5は、周期T3において、上述した方法に

よって、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (3) , P K T 6 (3) を受信して再生する。更に、無線装置 6 は、周期 T 3 において、上述した方法によって、パケット P K T 1 (2) , P K T 2 (3) , P K T 3 (3) , P K T 4 (3) , P K T 5 (3) を受信して再生する (図 6 参照)。

【0188】

上述したように、実施の形態 2 においては、各無線装置 1 ~ 6 は、第 $k + 1$ 番目の周期において、第 k 番目の周期において生成したパケット P K T (k) と、第 $k + 1$ 番目の周期において生成したパケット P K T ($k + 1$) と、コーディングパケット P K T _ c d とを含む結合パケット P K T _ C B B を生成してブロードキャストするので、第 k 番目の周期において、パケット衝突によってパケット P K T (k) を正しく受信できない場合でも、第 $k + 1$ 番目の周期において、パケット P K T (k) を正しく受信して再生できる。

10

【0189】

従って、この発明によれば、送信先へのパケット到達率を向上できる。

【0190】

その他、実施の形態 2 において、実施の形態 1 と同じ効果を享受できる。

【0191】

上述した実施の形態 1 , 2 においては、コーディング手段 1 7 は、コーディングパケットを生成する場合、符号ベクトル $\langle c \rangle$ およびパケット $\langle P \rangle$ の両方において、受信手段 1 1 が実際に受信していないパケットに対応する要素を “ 0 ” に設定すると説明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、コーディング手段 1 7 は、符号ベクトル $\langle c \rangle$ およびパケット $\langle P \rangle$ の少なくとも一方において、受信手段 1 1 が実際に受信していないパケットに対応する要素を “ 0 ” に設定してコーディングパケットを生成するようにしてもよい。

20

【0192】

なお、この発明の実施の形態においては、パケット $\langle P \rangle$ は、「パケット行列」を構成する。

【0193】

また、この発明においては、ガロア体 $(G F 2^j)$ からランダムに発生させた符号列は、「ランダム符号列」を構成する。

【0194】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

30

【産業上の利用可能性】

【0195】

この発明は、送信先へのパケット到達の即時性を保持しつつパケットの到達率を向上可能な無線装置に適用される。また、この発明は、リンク品質が動的に変動する環境において効率的なエラー訂正が可能な無線装置に適用される。更に、このは、送信先へのパケット到達の即時性を保持しつつパケットの到達率を向上可能な無線装置を備える無線ネットワークに適用される。更に、この発明は、リンク品質が動的に変動する環境において効率的なエラー訂正が可能な無線装置を備えて無線ネットワークに適用される。

40

【図面の簡単な説明】

【0196】

【図 1】この発明の実施の形態による無線ネットワークの概略図である。

【図 2】図 1 に示す無線装置の実施の形態 1 における構成を示す概略ブロック図である。

【図 3】自発パケットとコーディングパケットとを結合した結合パケットの実施の形態 1 における構成図である。

【図 4】図 1 に示す無線ネットワークにおける通信方法を説明するための第 1 の概念図である。

50

【図 5】図 1 に示す無線ネットワークにおける通信方法を説明するための第 2 の概念図である。

【図 6】図 1 に示す無線ネットワークにおける通信方法を説明するための第 3 の概念図である。

【図 7】図 1 に示す無線ネットワークにおける無線通信のタイミングチャートである。

【図 8】平均パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す図である。

【図 9】最大パケットエラー率と無線装置の個数との関係を示す図である。

【図 10】図 1 に示す無線装置の実施の形態 2 における構成を示す概略ブロック図である。

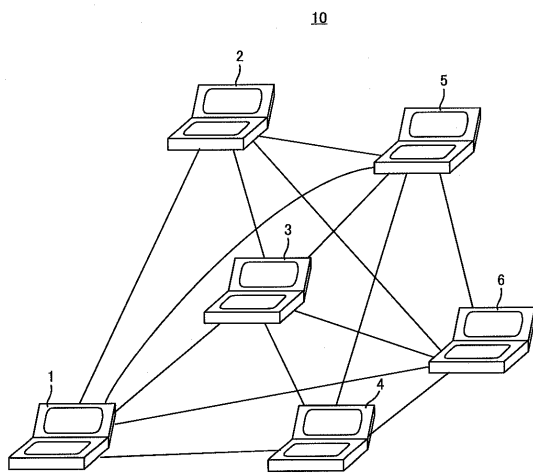
【図 11】自発パケットとコーディングパケットとを結合した結合パケットの実施の形態 2 における構成図である。 10

【符号の説明】

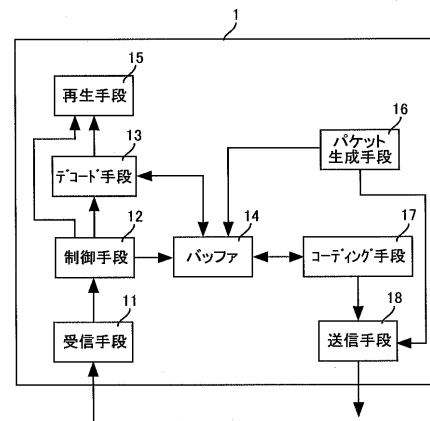
【0197】

1～6 無線装置、10 無線ネットワーク、11 受信手段、12 制御手段、13、13A デコード手段、14 バッファ、15 再生手段、16 パケット生成手段、17、17A コーディング手段、18、18A 送信手段。

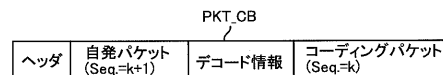
【図 1】



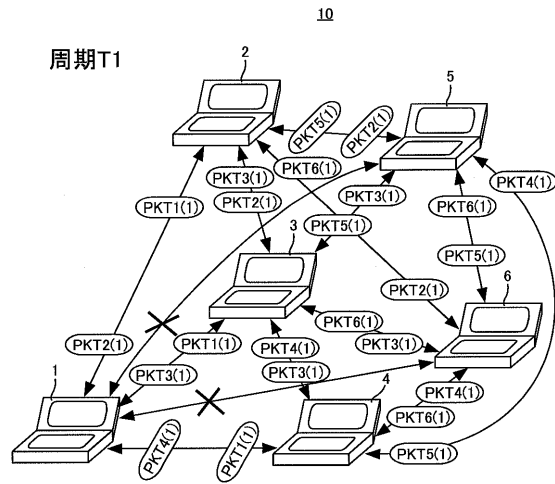
【図 2】



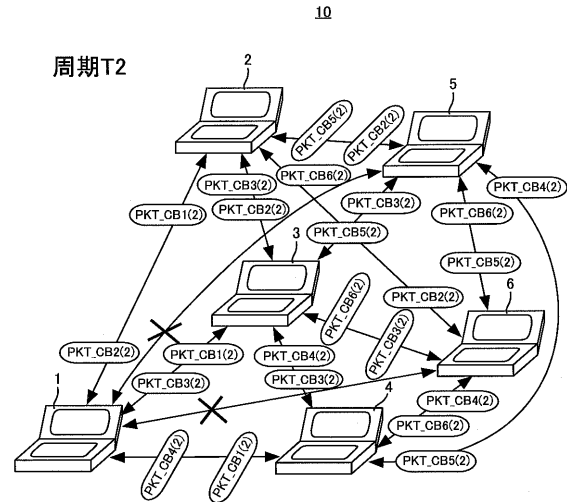
【図 3】



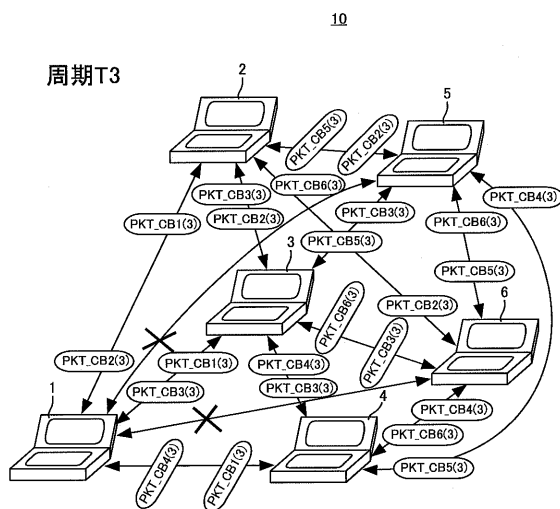
【図 4】



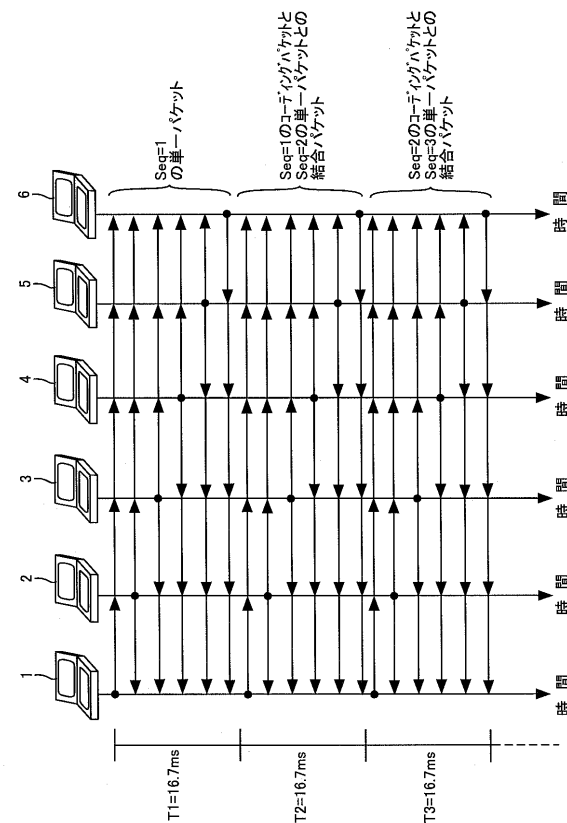
【図 5】



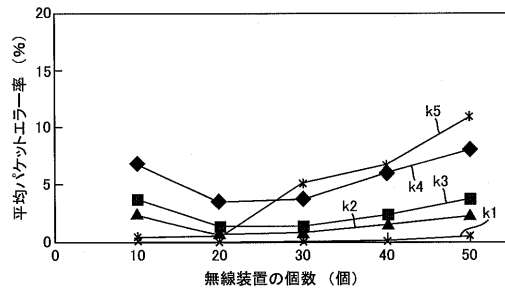
【図 6】



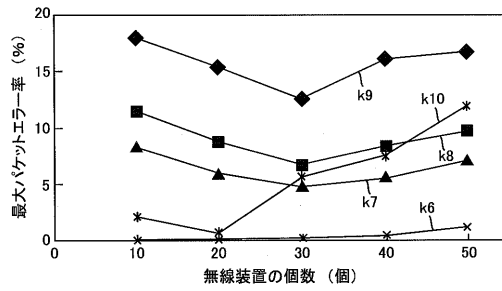
【図 7】



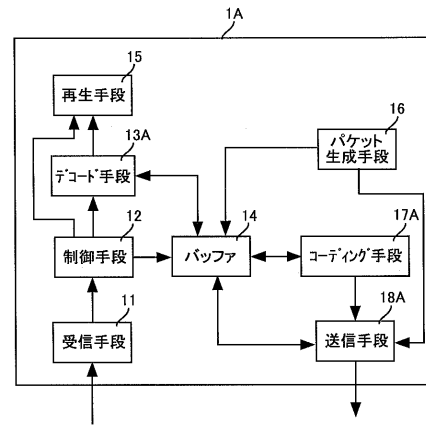
【図 8】



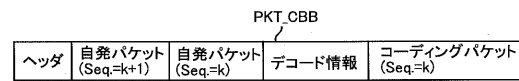
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 ピーター デイビス
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 三浦 龍
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 小花 貞夫
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 小林 正明

- (56)参考文献 特開2004-147081 (JP, A)
特開2005-123791 (JP, A)
特開2005-94628 (JP, A)
特開2008-99078 (JP, A)
特開2004-88246 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04W 74/04
H04W 28/06
H04W 84/12