

普及型無線 LAN 回線を使用するリアルタイムデータ伝送システムの開発

重安 哲也[†] 松野 浩嗣[‡] 森永 規彦[†]

[†] 広島国際大学 工学部, [‡] 山口大学大学院 理工学研究科

音声、映像等をリアルタイムに伝送するシステムを開発するには、低遅延でデータを伝送できること、また、遅延時間のゆらぎ（ジッタ）の発生を極力抑制することが求められる。さて、近年、情報通信技術の進歩に伴い、高音質かつ高画質な音響データを取り扱うことのできる機器が盛んに開発されている。これらの高品質なデータを使用するリアルタイム伝送システムを開発するには、前述の条件に加えて、高速な通信回線を伝送システムに実装しなければならない。しかしながら、このような伝送システムを無線で実現するには周波数帯域の制限ならびに、機器開発コストが増大することが予想される。そこで、本稿では、低コストでこれらの条件を満たすことのできる方式として、高速な伝送速度を有する普及型無線 LAN (IEEE802.11) を利用したリアルタイム伝送システムを提案する。

Development of New Real-time Data Communication System Sharing Channels with Commonly Used Wireless LAN

Tetsuya Shigeyasu[†] Hiroshi Matsuno[‡] Norihiko Morinaga[†]

[†] Faculty of Engineering, Hiroshima International University

[‡] Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

Low delay and small delay jitter characteristics are strongly required for real-time data transmission system with audio and/or visual data. In tandem with the ICT (Information and Communications technology) advances, AV (audio-visual) hardwares employs high-quality audio and/or high-quality visual data have been produced. When we develop a real-time transmission system with these high-quality AV data, designing a high-speed transmission interface is needed in addition to the above mentioned delay limitation. If we develop such transmission interface on wireless, both developing cost and frequency resources increase. In this paper, we propose new real-time data communication system sharing channels with commonly used WLAN having higher transmission performance.

1 はじめに

近年の ICT 技術の進歩に伴い、高音質かつ高画質なオーディオビジュアル機器が多く開発されている。そのため、これらの機器をコンサートや講演会に用いれば、聴衆に高い満足度を与えることが期待できる。

さて、コンサートや講演会等では、音声等の情報をリアルタイムにワイヤレス伝送することが多い。音声、映像等をリアルタイムに伝送するシステムには、低遅延でデータを伝送できること、また、遅延時間のゆらぎ（ジッタ）の発生を極力抑制することが求められる。

ところで、現在一般的なコンサートではアナログ情報をリアルタイム伝送する機器が多いが、より高品質なデジタルデータを伝送するためには広帯域な通信媒体が必要となる。しかしながら、このような伝送システムを無線で実現するには周波数帯域の制限ならび

に、機器開発コストが増大することが予想される。

そこで、本研究では、高音質かつ高画質なデジタルデータをリアルタイム伝送するシステムを低コストで実現するシステムについて検討する。具体的には、広帯域なデジタルデータをリアルタイム伝送する媒体として、既に広く普及する高速無線 LAN[1, 2] の通信チャネルの使用することを提案する。また、提案システムでは、既存の無線 LAN 端末からの干渉の影響を低減するために、時間およびチャネルダイバーシチを用いる方式について検討したのでこれらについて報告する。

2 システム概要

図 1 に提案システムの構成を示す。提案システムは、リアルタイムデータはその種類を問わず、デジタル化さ

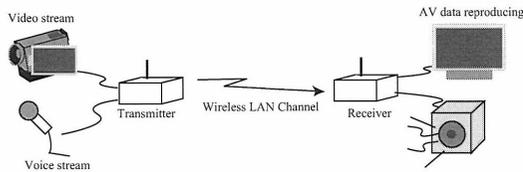


図 1: リアルタイムデータ伝送システムの構成図

れたものが全て送信機に入力される。送信機では、音声あるいは動画は特に圧縮せずにそのまま無線LANチャネルで受信機に向けて伝送される。

さて、本システムでは、以下に示す2つの理由からコーデックを使用した伝送データの圧縮は行わない。

1. データの圧縮・復元に要する処理を省くことによるデータ伝送遅延を削減するため
2. 圧縮データの種類に特化したコーデックを用いずにシステムを構築することで、多種多様なリアルタイムデータの伝送に対応するため

そこで、本稿ではこれらを踏まえた提案システムの構築について検討する。

3 普及型無線LAN (IEEE802.11DCF)

本論文で提案するリアルタイムデータ伝送システムはその伝送媒体として普及型無線LAN (IEEE802.11DCF) の通信チャネルを使用する。

そこで、以下ではIEEE802.11DCFについて述べる。

3.1 IEEE802.11DCFにおける送信制御

IEEE802.11DCFの基本となる送信制御方式を図3に示す。同方式では、physical carrier sense[3] (以下、キャリアセンス) によりパケット衝突を回避する。

まず、送信要求の生じた端末はキャリアセンスにより、通信範囲内の端末が送信を行っているかどうかを調査する。キャリアセンスの結果、どの端末も送信中でないことがわかると、DIFS (DCF Inter Frame Space) 時間待機した後にDATAパケットの送信を開始する (Terminal A)。また、送信先の端末において、正しくDATAパケットが受信された場合、SIFS (Short Inter Frame Space) 時間待機した後にACK (Acknowledgement) パケットを送信する (Terminal B)。DATAパケットを送信した端末は一定時間待機し、ACKパケットが送り返されるのを待つ。ACKパケットが一定時間内に送り返された場合は、無事に送信が終了したと判断し一連の送信動作を完了する。逆に、時間内にACKパケットが送り返されない場合にはDATAパケットの送信に失敗したと判断し、再度送信を試みる。再送回

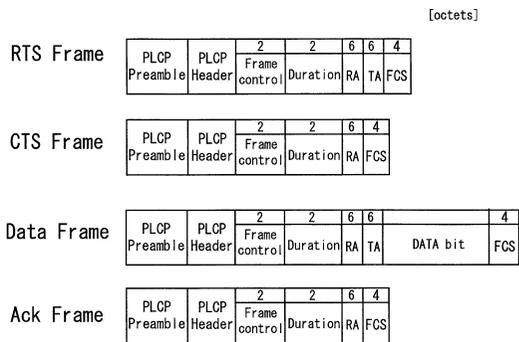


図 2: IEEE802.11でのフレームフォーマット

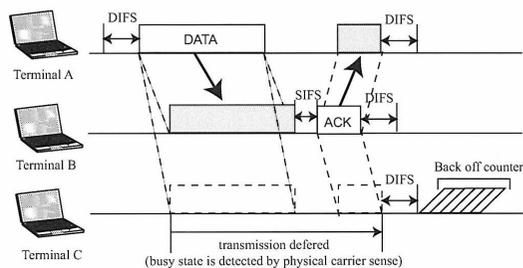


図 3: DCFにおける基本送信制御方式

数の上限はShort Retry Limitと呼ばれる値により規定されており、再送回数がその値に達した場合、それ以上の再送は行われずパケットが破棄される。こうして、一連の送信動作が終了した後、全ての端末はDIFS時間待機した後に必要に応じて新たな送信動作を行う。

さて、送信要求が生じた場合でもキャリアセンスによってその他の端末が既に送信を行っていると判断した場合には送信を一定時間延期する (Terminal C)。その場合、現在行われている送信が終了した後にバックオフカウンタと呼ばれるタイマを生成し、タイマの減算を開始する。このとき、タイマが0になるまでその端末の送信は禁止される。

ところで、各パケットの送信前にはIFS (Inter Frame Space) と呼ばれる待機時間を必ず設定するよう規定されており、DATAパケットの場合はDIFS、ACKパケットの場合はSIFSといったようにそれぞれ異なるIFSが設定される。これは、送信するパケットの種類に応じた優先制御を行うためである (SIFSはDIFSよりも短いために、ACKパケットの送信はDATAパケットの送信よりも高い優先順位が与えられることになる)。

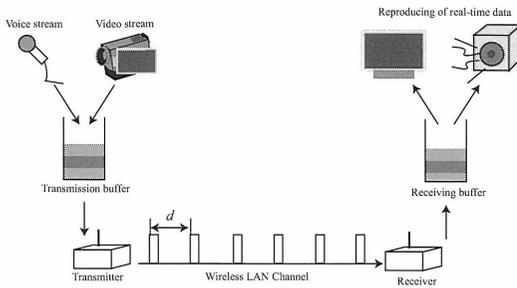


図 4: リアルタイムデータ伝送システムの構成図

4 提案システムにおけるリアルタイムデータの送信制御方式

前述のように、本稿で提案するリアルタイムデータ伝送システムでは、IEEE802.11 系無線 LAN と通信チャネルを共有する。

本節では、まず入力デバイスから入力されたデータをそのまま無線 LAN チャネルに送信する場合について図 4 に示す。

同図では、送信元デバイスで生成されたデータは、まず送信バッファに格納される。その後、バッファの先頭データから順に送信間隔 d で通信チャネルに送信される。受信側では、受信データを受信バッファに格納した後に、再生デバイスに送られる。

4.1 時間ダイバーシチ

前節で説明した方式は、周辺にリアルタイム伝送に影響を及ぼす干渉端末が全く存在しない場合を想定したものであった。しかしながら、無線 LAN は複数端末が同時に利用することを想定した通信システムである。そのため、提案システムと同一チャネルを使用する端末が存在する際は、それらの端末とのパケットの衝突等の影響を考慮しなければならない。

そこで、本節では、同チャネル内のパケット衝突の影響を軽減する方式として時間ダイバーシチを提案する。時間ダイバーシチとは、指定された多重度に応じて送信データの多重送信を行う方式である。図 5 に時間ダイバーシチの概要を示す。

同図において、提案方式では、多重度に応じた送受信パイプライン用バッファを送受信端末にそれぞれ実装する。リアルタイムデータを生成するデバイスに生じたデータは送信バッファに格納される。送信側は先ほどの図 1 に示した方式と同様に、データ発生間隔 d 毎に 1 パケットを送信するが、この際は、バッファ内の全てのデータを 1 パケットとして送信する。また、パケット送信終了毎にバッファの先頭データは 1 つ破棄

され、代わりに新たなデータがバッファの最後尾に追加される。このようにすることで、全てのデータは多重度に応じた回数送信される（例えば、図に示すように多重度が 4 であれば、全てのデータは 4 回送信されることとなる）。

一方、受信側では、送信側と同様に多重度に応じた受信バッファを用意し、エラー無く復調されたパケット中のデータはそれぞれ対応する受信バッファにコピーされる。また、このパケット復調処理の後に受信バッファ内のデータはバッファの先頭から 1 つずつ受信データとして再生デバイスに渡される。

以上のように時間ダイバーシチを導入することで、多重度を Mp とした場合は、連続受信失敗回数が Mp よりも少ない場合は全てのパケットを正しく送受信することができる。

4.2 チャネルダイバーシチ

前節では、同一チャネル内での衝突の影響を軽減する方式として時間ダイバーシチを提案した。同方式を採用すれば、周辺環境に応じた適切な多重度を設定することで、同一チャネル内の衝突の影響を軽減できると考えられる。

しかしながら、使用するチャネルが輻輳状態等にある場合は、パケット衝突の影響を完全に排除することはできない。そこで、ここでは、複数チャネルを使用してパケット送信を行うことで、個々のチャネルの影響を軽減するチャネルダイバーシチについて提案する。

図 6 にチャネルダイバーシチを使用した送信例を示す。チャネルダイバーシチは、前節で示した時間ダイバーシチと組み合わせて動作する。送信側は、時間ダイバーシチによって多重化されたパケットを送信毎に異なるチャネルを使用して送信する。受信側も、同様に送信側に同期してチャネルを切り替えて受信を行う。尚、チャネルの切り替え順序については、あらかじめ送受信間で取り決めるものとする。

5 性能評価

本節では、提案方式の有効性を示すために行った性能評価について述べる。なお、本節では、会議あるいはコンサート等で音声伝送を行う場合を想定し、伝送するリアルタイムデータは音声として評価を行う。

伝送する音声品質は表 5 に示すとおり、CD-DA (Compact Disc Digital Audio) 形式とした。

次に伝送媒体として使用する無線 LAN チャネルの諸元を表 5 に示す。

また、提案システムと同一チャネルを使用する他の無線 LAN 端末に生じる干渉トラフィックの詳細を表 3 に示す。

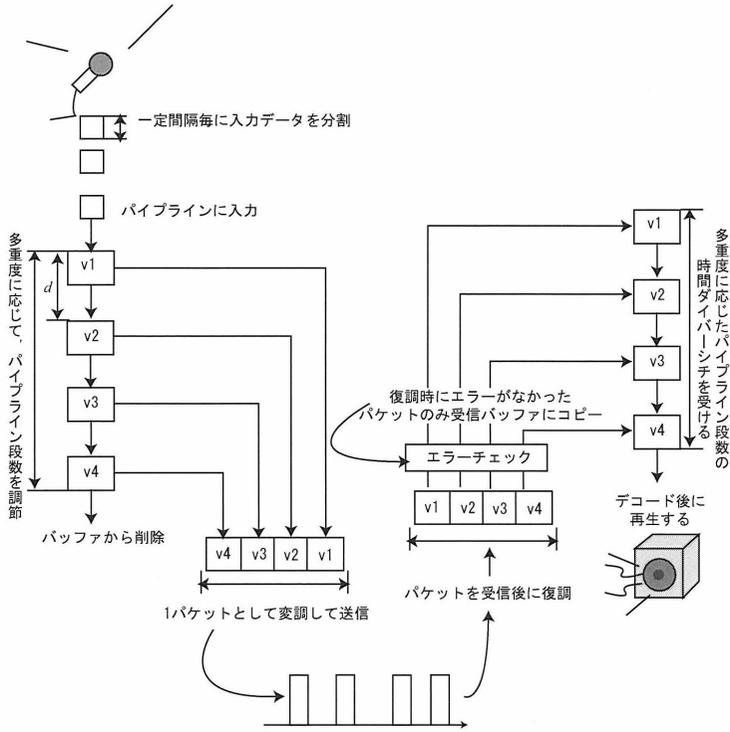


図 5: 時間ダイバーシチの概要

表 1: 伝送音声諸元

変調方式	PCM
サンプリングレート	44.1KHz
ビットレート	1411.2kbps
量子化 bit 数	16bit

表 2: 無線 LAN チャンネル諸元

Data Rate	11 Mbps
PLCP preamble	72 μ sec (short preamble)
PLCP Header	48bit/2Mbps (=24 μ sec)
SIFS	10 μ sec
DIFS	50 μ sec
Slot time	20 μ sec

表 3: 無線 LAN 端末の干渉トラフィック諸元

Data Rate	11 Mbps
PLCP preamble	72 μ sec (short preamble)
PLCP Header	48bit/2Mbps (=24 μ sec)
Packet Length	1024 byte
Packet Arrival Process	Poisson

5.1 時間ダイバーシチの性能評価モデル

本節では、時間ダイバーシチの有効性を評価する。既に述べたように、時間ダイバーシチでは、多重度に応じてデータを複数回送信することで、衝突等によるデータ損失の影響を軽減する。このとき、多重度を増加させることでデータ損失率を軽減できるが、多重度の増加は同時にチャネル負荷も増加させてしまう。

そこで、以下では多重度とチャネル負荷の関係について述べる。まず、図 7(a) に提案システムの送信サイクルを図示する。提案システムでは、定期的リアルタイムデータが送信されるため、同図 (a) に示すように、チャネル状態はアイドル (Idle time of proposed

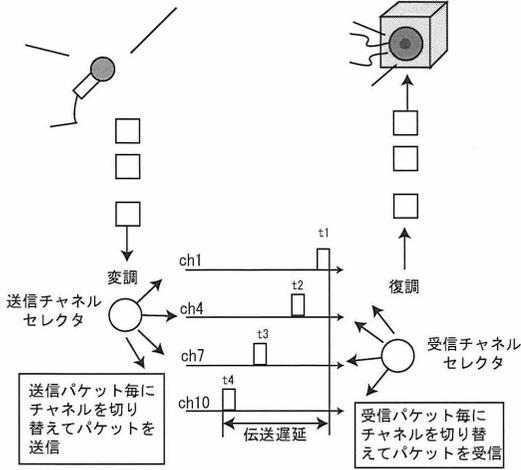


図 6: チャンネルダイバーシチの概要

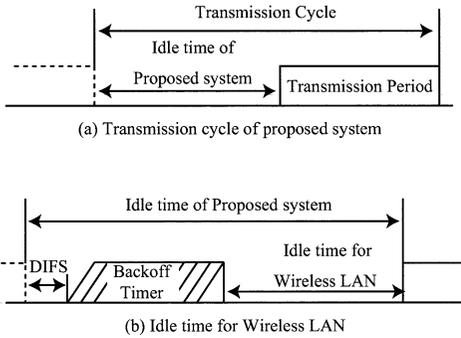


図 7: 提案システムの送信サイクル

system) と送信 (Transmission period) を 1 サイクルとした繰り返しとしてチャンネルをモデル化できる。

ここで、提案システムによる伝送遅延の許容値について検討する。既に述べたとおり、本節での評価モデルは、会議やコンサートにおける音声伝送としている。そのため、ここでは、システムによる遅延は映像に対して音声を送れる音遅れ状態が発生するものとする。さて、文献 [4] では、音声と映像を同時に視聴する状況において、音声と映像のずれの許容範囲について報告している。同文献によると、音声と映像のずれを視聴者が気づく検知限は、音進み、音遅れではそれぞれ、46msec, 122msec であると報告されている。これらから、提案システムの伝送遅延 (音遅れ遅延時間) を 100msec 以下となるように条件を設定する。

表 4 に多重度を変化させた場合のデータ長ならびにチャンネル使用率等を算出した値を示す。同表中に示すチャ

表 4: 多重度を変化させた場合のデータ長ならびにチャンネル使用率

多重度	音声時間 (msec/data)	データ量 (kbit/data)	パケット長 (msec/packet)	チャンネル 使用率 (%)
1	100	70.56	7	7
2	50	35.28	3	54
3	33	23.52	2	69
5	20	14.11	1	82
7	14	10.08	1	87
10	10	7.06	1	91

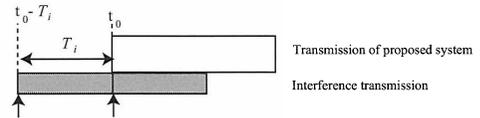


図 8: 提案システムにおけるパケット衝突モデル

ネル使用率は、図 7(a) に示す送信期間に DIFS+Back-off の平均長を加えた時間長が 1 送信サイクルに占める割合を示している。また、パケット長の算出においては、同チャンネルを共有する無線 LAN 端末が提案システムの packets をキャリアセンスできるように同期捕捉のための PLCP プリアンブルならびに PLCP ヘッダを含んだ長さとしている。

図 8 に提案システムにおける衝突発生モデルを示す。提案システムでは、パケット形式を無線 LAN フレームと同じ形式で変調することを前提としているため、キャリアセンスが機能する電波到達範囲内のみ無線 LAN 端末が存在する場合は、図 7(b) に示す DIFS+Back-off 期間を除くアイドル期間のみリアルタイムデータの受信に影響を及ぼす干渉送信が生じることとなる。ここで、干渉送信となる無線 LAN から送信されるパケットの時間長を T_i 、リアルタイムデータの受信開始時刻を t_0 とする。さて、リアルタイムデータ送信後は、キャリアセンスにより無線 LAN 端末は新たな送信を延期することができるため、図 8 に示すように、干渉送信が生じた場合にリアルタイムデータの受信に影響を与える可能性があるのは、時刻 $t_0 - T_i$ から t_0 の T_i 間に受信側に干渉送信の到着が開始した場合となる。

5.2 時間ダイバーシチにおける多重度とパケットエラー率の関係

前節までの議論から、本節では、時間ダイバーシチを用いた場合における多重度とパケットエラー率の関係について示す。

ここでは、リアルタイムデータの伝送はその他の干渉を及ぼす無線 LAN 端末の送信と時間上の一切の重

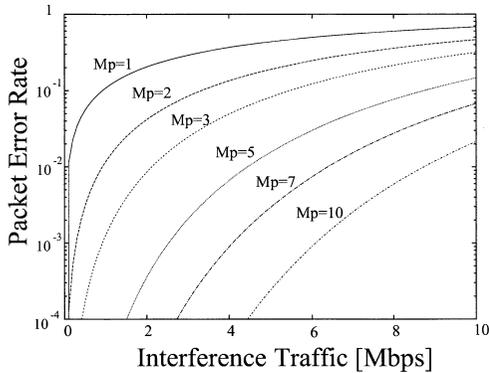


図 9: 提案システムにおけるパケットエラー率

なりがない場合のみ正しく受信されるものとする。また、干渉送信パケットの時間長ならびに、干渉送信パケットを送信する無線 LAN 端末に供給されるオフアード干渉トラフィックをそれぞれ、 T_i 、 G_{int} とおく。

このような場合において、提案システムにおける多重度が Mp であるならば、リアルタイムデータの受信に失敗する確率 P_{error} は以下の式で与えられる。

$$P_{error} = (1 - e^{-G_{int}T_i})^{Mp} \quad (1)$$

図 9 に式 (1) を用いて、多重度とパケットエラー率の関係を算出した結果を示す。なお、同結果では、多重度は 1 から 10 までの 6 種類について示している。同図から、多重度 Mp が増加するに伴い、パケットエラー特性も大きく向上することが確認できる。特に、 $Mp = 10$ の場合では、干渉トラフィックが 4Mbps 程度の場合であっても、パケットエラー率 10^{-4} を達成できることがわかる。

6 おわりに

本稿では、高品質なリアルタイムデータを伝送する方式として、普及型的高速無線 LAN を同一チャンネルを共有する方式について提案を行った。

提案方式では、リアルタイムデータの受信に干渉を及ぼす既存の無線 LAN 端末の影響を軽減する方式として、時間ダイバーシチならびにチャンネルダイバーシチの提案を行った。

また、提案方式の有効性を評価するために、時間ダイバーシチを用いた場合におけるパケットエラー率特性の評価を行い、多重度を増加させることにより、エラー特性を大きく向上できることを確認した。

今後は、複数チャンネルにおいて不均一な干渉トラフィックが発生する環境下などを想定した上で、時間ダイバー

シチならびにチャンネルダイバーシチの性能評価を行っていくつもりである。

参考文献

- [1] B.P.Crow, I.Widjaja, J.G.Kim, and P.Sakai, "IEEE802.11 Wireless LocalArea Network," IEEE Communications Magazine, September 1997.
- [2] Editors of IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC and Physical Layer(PHY) specifications, Draft Standard)," IEEE802.11, 1997.
- [3] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II - The Hidden Terminal Problem in CSMA and Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. on Communications*, COM-23, pp. 1417-1433, 1975.
- [4] 赤井田 卓郎, 黒住 幸一, 岡田 清孝, 林 俊一, 深谷 崇史, "リップシンク～映像と音声のタイミング～," <http://www.nhk.or.jp/strl/publica/dayori/dayori9705/kaisetsu1-j.html>